



SZENT ISTVÁN
EGYETEM

DR. BENKŐ JÁNOS

Anyagmozgató gépek és eszközök



DR. BENKŐ JÁNOS
egyetemi tanár

ANYAGMOZGATÓ GÉPEK ÉS ESZKÖZÖK

Szent István Egyetemi Kiadó

A SZIE Gépészmérnöki Karán javasolt tankönyv

Lektorálta:

DR. FAUST DEZSŐ

egyetemi tanár, kandidátus

DR. KAIFÁS FERENC

egyetemi tanár, tudományok doktora

Minden jog fenntartva. A könyv egészét vagy részleteit a Szerző engedélye nélkül bármilyen formában vagy eszközzel reprodukálni, tárolni és közölni tilos.

© Benkő János,

Harmadik átdolgozott kiadás, 2013.

ISBN 978-963-269-124-4

Kiadja a Szent István Egyetemi Kiadó

2103 Gödöllő, Páter K. u. 1.

Felelős kiadó: Dr. Solti László, rektor

Kiadóvezető: Lajos Mihály, igazgató

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ	13
1. ANYAGMOZGATÁSI ALAPFOGALMAK	15
1.1. AZ ANYAGMOZGATÁS FOGALMA	13
1.2. AZ ANYAGMOZGATÁSI ALRENDSZER	15
1.2.1. Az anyagmozgatás és a logisztika	15
1.2.2. Az anyagmozgatási rendszer elemei	17
1.2.3. Az anyagmozgató gépek csoportosítása	28
2. FOLYAMATOS MŰKÖDÉSŰ ANYAGMOZGATÓ GÉPEK	25
2.1. HEVEDERES SZÁLLÍTÓSZALAGOK	27
2.1.1. Szállítószalagok szerkezeti kialakítása	28
2.1.2. Szállítószalagok szállítóképessége	32
2.1.3. A hajtás teljesítményszükséglete	38
2.1.4. A heveder hajtása és kiválasztása	41
2.1.5. Az anyag leválása a hevederről	46
2.2. CSUKLÓTAGOS SZÁLLÍTÓSZALAGOK	49
2.2.1. A csuklótagos szállítószalagok szerkezeti kialakítása	49
2.2.2. A csuklótagos szállítószalagok tervezése	50
2.3. SERLEGES ELEVÁTOROK	53
2.3.1. Az elevátorok szerkezeti felépítése	53
2.3.2. Az elevátorok töltése és ürítése	57
2.3.3. Serleges elevátorok tervezése	59
2.4. KAPARÓSZALAGOK	69
2.4.1. Kaparószalagok szerkezeti kialakítása	69
2.4.2. Kaparószalagok tervezése	71
2.5. RÉDLEREK	73
2.5.1. Rédlerek elrendezése és szerkezeti kialakítása	73
2.5.2. Anyagréteg magasság és láncosztás	77
2.5.3. A rédler szállítóképessége	83
2.5.4. A hajtás teljesítményigénye	83
2.6. SZÁLLÍTÓCSIGÁK	87
2.6.1. A szállítócsigák szerkezeti kialakítása	87
2.6.2. A szállítócsiga elmélete	89
2.6.3. A szállítócsigák szállítóképessége	105
2.6.4. A hajtás teljesítményigénye	111
2.7. FÜGGŐKONVEJOROK	115
2.7.1. A függőkönvejorok szerkezeti felépítése	115
2.7.2. Szállítóképesség és teljesítményszükséglet	122
2.7.3. A függőkönvejorok automatizálása	124
2.8. RÁZÓ SZÁLLÍTÓGÉPEK	125
2.8.1. Lengővályúk	126
2.8.2. Rázóvályúk	133
2.8.3. Vibrációs vályú	135

2.8.4. A rázó szállítógépek teljesítményigénye	137
2.8.5. A rázó szállítógépek szerkezeti kialakítása	138
2.9. PNEUMATIKUS ÉS FLUIDIZÁCIÓS SZÁLLÍTÓGÉPEK	141
2.9.1. Pneumatikus szállítóberendezések	142
2.9.2. Fluidizációs szállítóberendezések	153
2.9.3. Dobószállítás	158
2.10. GÖRDÜLŐELEMES SZÁLLÍTÓPÁLYÁK	159
2.10.1. Hajtás nélküli pályák	159
2.10.2. Hajtott pályák	162
2.10.3. Pályaelemek és pályakapcsolások	167
3. SZAKASZOS MŰKÖDÉSŰ ANYAGMOZGATÓ GÉPEK	169
3.1. A DARUK TEHERFELVEVŐ SZERKEZETEI	171
3.1.1. Horogszerkezetek	171
3.1.2. Emelőgerendák	176
3.1.3. Fogószerkezetek	177
3.1.4. Emelőmágnesek	178
3.1.5. Konténer megfogó szerkezetek	178
3.1.6. Szállítóedények	179
3.1.7. Markolók	179
3.1.8. Vákuumos emelők	183
3.2. DARUK	187
3.2.1. A daruk szerkezeti részei	187
3.2.2. Egyszerű futódaruk	189
3.2.3. Bakdaruk (portáldaruk)	190
3.2.4. Híddaruk	191
3.2.5. Gémes- és forgódaruk	191
3.2.6. Járműre szerelt daruk	194
3.2.7. Daruk acélszerkezete és terhelése	195
3.3. FELVONÓK	207
3.3.1. A felvonók szerkezeti elemei	208
3.3.2. A felvonók hajtása és vezérlése	211
3.3.3. Erőhatások a felvonón	213
3.4. SZAKASZOS MŰKÖDÉSŰ RAKODÓGÉPEK	217
3.4.1. Homlokrakodók	219
3.4.2. Fejfeletti rakodógépek	225
3.4.3. Forgórakodók	226
3.4.4. A kotró-rakodó gép	230
3.4.5. Traktorral működtetett rakodógépek	232
3.4.6. A kanalas rakodógépek szállítóképessége	236
3.4.7. A rakodógépek stabilitása	238
3.5. TARGONCÁK	241
3.5.1. Szállítótargoncák	242
3.5.2. Vontatótargoncák	243
3.5.3. Emelőtargoncák	244
3.5.4. Az emelőtargoncák stabilitása	251
3.5.5. A targoncák teljesítőképessége	252

3.6. FELRAKÓGÉPEK	255
3.6.1. A felrakógépek csoportosítása	255
3.6.2. A felrakógépek felépítése és működése	256
4. EGYSÉGRAKMÁNY- KÉPZŐ ESZKZÖK	261
4.1. AZ EGYSÉGRAKOMÁNY-KÉPZÉS	263
4.1.1. Az egységrakomány-képzés jelentősége	263
4.1.2. Az eszközök megválasztásának elvei	264
4.2. RAKODÓLAPOS SZÁLLÍTÁS	265
4.2.1. A rakodólapok kialakítása és főbb típusai	265
4.2.2. Csomagolási méretrendszerek	268
4.2.3 A raklapos egységrakományok összeállítása	269
4.2.4. A rakományok rögzítése a rakodólapon	271
4.2.5. A rakodólapos egységrakományok mozgatása	272
4.3. LÁDÁK, REKESZEK	275
4.3.1. Fémládák	275
4.3.2. Műanyag-ládák	276
4.4. SZÁLLÍTÓTARTÁLYOS SZÁLLÍTÁS	279
4.4.1. A konténerek egységesítése, szabványok	279
4.4.2. A konténerek osztályozása	281
4.4.3. A konténerek mozgatása	284
4.5. EGYÉB MÓDON KÉPZETT EGYSÉGRAKOMÁNYOK	291
5. A RAKTÁROZÁS ESZKÖZEI ÉS FOLYAMATAI	293
5.1. A RAKTÁROZÁSI RENDSZER ÉRTELMEZÉSE	295
5.1.1. A tárolási módok és megválasztásukat befolyásoló tényezők	297
5.1.2. A raktárak csoportosítása	298
5.2. A DARABÁRU-RAKTÁROZÁSI RENDSZEREK	301
5.2.1. A darabáruk tárolásáról általában	301
5.2.2. Hagyományos darabáru-raktározási rendszerek	302
5.2.3. A raktárak anyagmozgatási folyamatai	311
5.2.4. Magasraktári rendszerek	314
5.3. KOMISSIÓZÁS A RAKTÁRAKBAN	321
5.3.1. A komissiózási folyamat	321
5.3.2. A komissiózási rendszer megválasztása	326
5.3.3. A komissiózás gépei és eszközei	328
IRODALOM	331

ELŐSZÓ

Az anyagmozgatás sokrétű tevékenység, amely szervesen beépül a gazdaság minden ágazatába. Nehéz lenne olyan termelési folyamatot vagy szolgáltatást említeni, ahol nem jelenne meg az anyagok (a nyersanyagoktól a készáruig) mozgatásának igénye, ugyanis bármilyen szervezetről, termelő vagy szolgáltató vállalatról legyen is szó, a benne zajló folyamatok között anyagi természetűek mindig előfordulnak, és ezek között az anyagáramlás, illetve az ezt realizáló anyagmozgatás teremt kapcsolatot.

Az anyagi folyamatok a tér és az idő szakaszosan folytonos függvényei. A szakadások alapvető okai a munkamegosztás és a termelés szakosodása, amelyek térbeni és időbeni különbségeket eredményeznek a termelésben és az elosztásban. Mindezek miatt az anyagokat, félkész- és késztermékeket az egyik helyről a másikra kell mozgatni, továbbá ha azt akarjuk, hogy a szakadási pontokon a kapacitás különbségek miatt ne legyenek fennakadások, a termékek bizonyos készletét fel kell halmozni, azaz tárolni, raktározni kell. Az anyagáramok, a készletek és az ezeket mozgásba hozó információk áramlásának vizsgálata, elemzése, irányítása ma már önálló tudomány, amit logisztikának nevezünk. Ebben az értelemben az anyagmozgatás a logisztika alrendszérének tekinthető, amely a térben és időben elkülönülő folyamatokat egységes rendszerré kapcsolja össze.

A gazdaságot jellemző élesedő verseny, a fogyasztók minőségi igényeinek növekedése, illetve ezeknek a kihívásoknak megfelelni akaró termelés területén jelentkező változások, amelyek között a beszerzési és értékesítési piacok globalizálódása, a termékféleségek számának növekedése, a rendelésre orientált gyártás, a gyártási mélység csökkenése, a JIT (Just in Time) elvű ellátás térhódítása, a kisvállalkozások számának a növekedése, stb. említhető, mind a mozgatással szembeni igények növekedését eredményezik. A mozgatással szembeni mennyiségi és minőségi igények növekedése pedig értelemszerűen felértékeli az anyagmozgatás szerepét.

Az anyagmozgatás gépesítése a termelékenység növelésének fontos eszköze, mivel mentesíti az embert a nagy erőfeszítést igénylő fizikai munkák alól. Az anyagmozgatás gépesítése ezért szociális szempontból is nagy jelentőségű. Az emelést, szállítást, rakodást végző dolgozót nemcsak megkíméli a megerőltető munkától, hanem egyidejűleg magasabb rendű munka végzésére szabaddá teszi.

Új létesítmények tervezésekor, meglévő üzemek korszerűsítésekor az anyagmozgatás gépesítésének megoldása, a gépek kiválasztása, rendszerbeállítása, egyes esetekben a tervezése a gépészmérnökre hárul. Az anyagmozgató gépek oktatása ezért a gépészmérnöki ismeretek megalapozását szolgálja.

Az anyagmozgatás gépei tantárgy feladata: alapvető ismereteket nyújtani a gépek üzemének megismeréséhez, kiválasztásához, szerkezeti kialakításhoz, tervezéséhez és méretezéshez. A tankönyv a mechanika, szilárdságtan, szerkezeti anyagok technológiája és a gépelemek tantárgyak anyagaira épít, és öt nagy részre tagolódik. A fokozatosság elvének betartásával először az anyagmozgatási alapfogalmakat ismerteti, majd a folyamatos és szakaszos üzemű anyagmozgató gépek működési elvét, szerkezeti kialakítását, méretezését, üzemi tulajdonságait és alkalmazási területeit mutatja be. Külön fejezet foglalkozik az anyagmozgatás hatékonyságának növelését szolgáló egységgrakomány-képzés és a raktározás eszközeivel.

Az irodalmi lista felsorolásakor távolról sem törekedtem a teljességre, hiszen az több ezer forrásra való hivatkozást kívánt volna. Céлом elsősorban az volt, hogy néhány nemzetközileg és

hazailag elismert szakkönyvre felhívjam a figyelmet. Ezek iránymutatást adhatnak egy-egy témakör további tanulmányozásához.

Befejezésül köszönetem fejezem ki mindazoknak, akik e könyv megjelenését valamilyen formában elősegítették. Munkatársaimnak és hallgatóimnak, akik hasznos tanácsaikkal és megjegyzéseikkel ösztönöztek a tananyag csiszolására. Hálás köszönettel tartozom a könyv a lektorainak, dr. Faust Dezső és dr. Kaifás Ferenc professzoroknak a kézirat gondos átnézéséért és hasznos észrevételeikért.

Gödöllő, 2010.

A SZERZŐ

1.

ANYAGMOZGATÁSI ALAPFOGALMAK

1.1. AZ ANYAGMOZGATÁS FOGALMA

Az **anyagmozgatás** szó jelentése a „Magyar értelmező kéziszótár” szerint: „A szükséges (nyers)anyagoknak, munkadaraboknak stb. a megfelelő munkahelyre való (üzemen belüli) szállítása.” Ez az értelmezés az anyagmozgatást belső, üzemben belüli tevékenységnek tekinti, ami nem tartalmazza a nagyobb távolságú vasúton, közúton, vízi úton és a légi úton végzett szállításokat. Ezt az értelmezést több szerző is szélesítette, abból a megfontolásból, hogy a külső és a belső mozgatók közös megnevezésére nincs a magyar nyelvben külön kifejezés. Például Jákó J. definíciója [64]: „A termelés, raktározás és tárolás folyamán végzett szállítási és rakodási tevékenység összefoglaló közös neve anyagmozgatás; az üzemben belüli a belső, a termelő üzemek közötti, valamint az üzemek és a fogyasztó közötti szállítás pedig a külső anyagmozgatás.” A szűkebb értelmezés az élelmiszer-gazdaságban, de különösen a nagy területre kiterjedő mezőgazdaságban, amelyet a telephelyek szétszórtsága jellemez, ellentmondásokhoz vezet. Sokszor ugyanis az üzem belüli szállítások távolsága több kilométer is lehet. A jegyzetben ezért mi is a szélesebb értelmezést használjuk, azzal a megjegyzéssel, hogy ha szükséges annak hangsúlyozása, hogy üzemben belüli folyamatról van szó, akkor azt a *belső* jelzővel különböztetjük meg.

Az anyagmozgatás fogalma olyan sokféle tevékenységet és műveletet foglal magában, továbbá annyiféle gépet és mechanizmust használ, hogy mielőtt részletes tárgyalásába foglalnánk, meg kell állapodnunk az elnevezésekben, illetve azok értelmezésében. Arra törekszünk, hogy a már közhasználatú kifejezéseket megtartsuk, és minél kevesebbet újítsunk e téren. Azt viszont fontosnak tartjuk, hogy az elnevezések jelentéstartalmát szabatosan körülhatároljuk, mert a névalkotók fantáziája meglehetősen csapongó. A ma használatos elnevezések, szakkifejezések nagy részét tágran értelmezik mind a tervezőmérnökök, mind a berendezések használói. A jegyzetben a kifejezéseken mi a következőket érjük:

Szállítás:	valamely tárgyat hordozva egyik helyről a másikra vinni.
Átszállítás:	valamely tárgy megfogása, hordozása (szállítása) és letétele.
Felrakás:	olyan részművelet összessége, amelyek egy tárgynak az anyagmozgató gépre, vagy szállítóelemére helyezéséhez szükségesek.
Lerakás:	olyan részművelet összessége, amelyek az anyagmozgató gépet megszabadítják a tárgytól.
Rakodás:	a fel és lerakás műveleteinek összessége.
Anyagmozgatás:	a termelő- vagy elosztóhelyeken belül vagy azok között a termékek átszállítása; felrakása, szállítása és lerakása.
Anyagmozgató gép:	minden olyan gép, amely az anyagmozgatási művelet végez
Szállítógép:	minden olyan gép, amely a szállítási műveletet végez.
Konveor:	olyan anyagmozgató gép, amelynek a szállítóeleme végigkíséri a tárgyat, annak helyváltoztatása folyamán.
Szállítópálya:	olyan eszköz, amely megszabott nyomvonalon való haladásra kényszeríti a tárgyat, de nem kíséri azt.

Az anyagmozgatás szót tehát gyűjtőfogalomként használjuk, amely magában foglalja a szállítást és a rakodást.

1.2. AZ ANYAGMOZGATÁSI ALRENDSZER

1.2.1. Az anyagmozgatás és a logisztika

Bármilyen vállalatról vagy szervezetről legyen is szó, a benne zajló folyamatok között anyagi természetűek is előfordulnak. Egyes esetekben ezek az anyagi folyamatok, áramlások a vállalat küldetésének hordozói: ilyenek a szállítási vállalatok, de előfordulnak olyan szervezetek, ahol az anyagmozgatásnak csak kiegészítő funkciója van, pl. egy kórház, ahol az anyagmozgatás nem tartozik a tevékenység lényegéhez. A vállalat működéséhez azonban nemcsak a belső, hanem a külső, egymás közötti anyagi jellegű kapcsolatok is hozzátartoznak. A vállalatok ezen a folyamatokon keresztül kapcsolódnak be a gazdaság egészének anyagi vérkeringésébe.

Az anyagi folyamatok a tér és az idő szakaszosan folytonos függvényei. A szakadások alapvető oka a régiók előnyös gazdasági adottságainak megfelelő szakosodás, ami helyben és időben különbségeket eredményez a termelésben, ugyanakkor általában a kereslet sem ott jelentkezik, ahol az árut megtermelik. Mindezek miatt az anyagokat, félkész- és késztermékeket az egyik helyről el kell juttatni a másikra. Ha azt akarjuk, hogy a szakadási pontokon a kapacitás különbségek miatt ne legyenek fennakadások, fel kell halmozni a termékek bizonyos készletét.

Az anyagok és termékek mozgását eredményező folyamatok, a készletezés, valamint az ezeket indukáló információk áramlásának az irányítása (menedzsmentje) ma már önálló tudomány, amit **logisztikának** neveznek. A **logisztikai menedzsment** egy olyan unikum, amely az egyik legrégebb és az egyik legújabb vállalati tevékenység. A logisztikai műveletek (operációk): a **rakodás**, a **szállítás**, a **tárolás**, a **csomagolás**, az **egységrakomány-képzés** és **-bontás**, stb., mind ismertek, mióta a termelés specializálódott. Nehéz lenne olyan marketing vagy termelési tevékenységet találni, amely ne igényelne, vagy korábban ne igényelt volna logisztikai támogatást. Ami napjainkban újdonságot jelent, az nem maga a szó, hanem a tartalma, ami egy integrált, rendszerszemléletű közelítése a logisztika operációk irányításának.

A logisztika az összes mozgatással és tárolással kapcsolatos tevékenységet integrálja, amelyek egyrészt elősegítik a termékek áramlását a nyersanyaglelőhelyektől a végső felhasználásig, másrészt az információk áramlását, amelyek mozgásba hozzák a terméket, azzal a céllal, hogy biztosítsák a megfelelő szintű és elfogadható költségű áruellátást. A logisztika tehát az áruk (anyagok, félkész- és késztermékek, szolgáltatások) mozgatásának, tárolásának, készletezésének stratégiája a beszerzéstől a fogyasztásig. Feladata biztosítani az áruválasztékot a megfelelő mennyiségben, a megfelelő időben, a megfelelő minőségben és a megfelelő helyen a lehető legkisebb költséggel. Ez jelenti az áruk áramoltatását a termelő vagy feldolgozó helyekre, beleértve ebbe az üzemen belüli mozgásokat is, és a késztermékek eljuttatását a fogyasztókhoz a disztribúciós csatornákon keresztül.

Egy vállalatnál az *operációk* szempontjából a logisztika a termeléshez szükséges anyagok és félkész-termékek, valamint a kimenő oldalon a késztermékek mozgását, illetve ezek menedzsmentjét jelenti. A logisztikai operációk tekinthetők úgy

is, mint a termelés kezdő és befejező műveletei: az anyagok, alkatrészek szállítása a beszerzési helyekről a feldolgozás vagy felhasználás helyére, illetve a feldolgozott termékek mozgatása az elosztás vagy fogyasztás helyére. Az ipari és a mezőgazdasági termelésben a logisztikai operációk nagyon sokféle vállalaton belüli és kívüli mozgatást jelenthetnek, amelyek végpontjai a további ipari felhasználók, viszonteladók, nagykereskedelmi vállalatok, kiskereskedők, vagy a piac egyéb közvetítői.

A logisztikai tevékenységek csoportosítása:

	Anyagellátás	Készletgazdálkodás	Disztribúció
Anyagi folyamat	beszállítás, raktárnyitáshoz és bontás, stb.	anyag, félkész és késztermék raktározás, belső anyagmozgatás, stb.	belső anyagmozgatás, csomagolás, kiszállítás, stb.
Információs folyamat	kínálat nyilvántartás, beszerzés, rendelés, stb.	termelésprogramozás, leltári nyilvántartás, stb.	vevő és kereslet nyilvántartás, stb.

A logisztikát a szakirodalom három nagy területre osztja fel: anyagellátás, készletgazdálkodás és fizikai disztribúció, amelyekhez különböző anyagi és információs folyamatok kapcsolódnak.

Anyagellátás

Az anyagellátás magában foglalja az áruk (anyagok, félkésztermékek, késztermékek) beszerzését, rendelését, a különböző földrajzi pontok közötti mozgatását a beszerzés helyétől a gyártó vagy feldolgozó helyig, illetve a beszerzés helyétől a nagykereskedelmi vagy kiskereskedelmi raktárig.

A szervezettől függően az anyagellátási folyamat elnevezése különböző lehet. A gépiparban és a mezőgazdasági üzemekben általában *anyag- és alkatrészellátásról* beszélnek, az élelmiszeriparban a *felvásárlás* kifejezés honosodott meg, a nagy- és kiskereskedelemben a *beszerzés* kifejezés használatos. A későbbiekben általánosan az anyagellátás kifejezést használjuk. Hasonlóan az anyag szót is szélesebben értelmezzük, ami jelenthet anyagot, alkatrészt, félkész-terméket. A termék alatt pedig a készterméket értjük. Így az anyagáramlás az input áramot és a belső leltári mozgásokat jelenti, míg a termékek áramlása az outputáramlás az üzemtől a vevőig. Alapvető különbség az anyag és a termék között, hogy a termék esetén a gyártás vagy az összeszerelés következményeként valamilyen érték adódik az anyag értékéhez.

Az anyagellátás, hasonlóan a később részletezett fizikai disztribúcióhoz, úgy tekinthető, mint a kívánatos anyagválaszték elérhetőségének biztosítása a megfelelő helyen és időben. Amíg azonban disztribúció a vállalaton kívüli mozgásokat, addig az anyagellátás a belső folyamatokat: a gyártást, az összeszerelést, a mezőgazdasági műveleteket stb. is támogatja. E tekintetben egy integrált termelési láncban ugyanaz az anyagmozgatási folyamat az egyik üzemnél disztribúciót, a másikon pedig anyagellátást jelent.

Készletgazdálkodás

A készletgazdálkodás az anyagok és termékek üzemen belüli mozgásának leltári nyilvántartása, vagyis a készletgazdálkodás nemcsak az anyagok üzemen belüli mozgását követi, hanem a késztermékekét is az üzemtől a készáruraktárig. Ugyanakkor a készletgazdálkodás nemcsak egyszerű nyilvántartás, hanem a termelési program ismeretében feladata gondoskodni az raktári készletek optimális szintjéről, továbbá a termékek raktározásáról és megővéséről.

A belső szállításnak és nyilvántartásnak van egy olyan lényeges tulajdonsága, ami megkülönbözteti az anyagellátástól és a disztribúciótól, még pedig az, hogy amíg az anyagellátásnak és disztribúciónak mindig szembe kell néznie a piaci erők bizonytalanságával, addig a készletgazdálkodás teljes vállalati kontroll alatt tartható. A külső bizonytalansági tényezők, a véletlenszerű vevői döntések, az anyaghiány stb. a belső operációkat jelentő készletgazdálkodásból kiküszöbölhetők. Ilyen módon a belső szállítások és az ehhez kapcsolódó adminisztráció elkülöníthető befelé és kifelé irányuló mozgásoktól.

Fizikai disztribúció

A fizikai disztribúció (elosztás) úgy tekinthető, mint a termékek mozgatása a termelőhelyről a vevő vagy fogyasztó felé. A vevő vagy fogyasztó a marketing csatorna utolsó állomása. A termékek elérhetőségének biztosítása a marketing törekvések alapvető része. Ha a termék megfelelő választéka a megfelelő helyen nincs biztosítva, az veszélyeztetheti a teljes marketing tevékenységet. Ez azt jelenti, hogy a disztribúciót, mint a vevő helyben és időben való kiszolgálóját a marketing egyenrangú partnerének kell tekinteni. A disztribúció tehát egy olyan híd, amely fizikailag köti össze a termelőt a vevővel. A fejlett piacgazdasággal rendelkező társadalmakban a marketing rendszerek támogatására sokféle disztribúciós rendszert alkalmaznak a vállalatok. Lényegében, ezek a rendszerek kapcsolják össze a gyártókat, a nagykereskedőket, a kiskereskedőket és a vevőket a marketing csatornákon keresztül, és gondoskodnak a termékek elérhetőségéről.

1.2.2. Az anyagmozgatási rendszer elemei

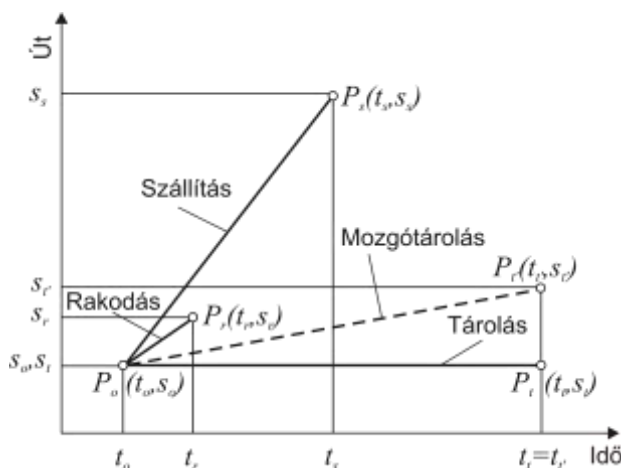
Az anyagmozgatás korszerű rendszerszemléletű értelmezése már a logisztikai szemlélet megjelenése előtt a 60-as években kialakult. Korábban az anyagmozgatási műveleteket egymástól elszigetelten kezelték, és egyszerű segédüzemi tevékenységnek tekintették. A rendszerelmélet térhódításának köszönhetően, amely a részletekre is figyelve és optimumra törekedve, alrendszerekből építi fel az egymással szorosan összefüggő folyamatokat, ez a tarthatatlan szemlélet megváltozott. Az új értelmezés szerint az anyagmozgatást súlyának megfelelően a vállalati termelési rendszer egyik alrendszerként kezelik. A felértékelődés azóta is tart, annak ellenére, hogy a logisztika mint integráló rendszer magába olvasztotta az anyagmozgatást. Ma azt mondhatjuk: *az anyagmozgatás, a logisztikai rendszer alrendszere, amely a térben és időben elhatárolható termelési, elosztási folyamatokat és marketing tevékenységeket egységes rendszerre kapcsolja össze.*

Feladata: a termelési és elosztási folyamatok során valamilyen cél érdekében az anyagok és termékek egyik helyről a másikkra való mozgatása, szállítása.

Anyagmozgatási műveletek

Az anyagmozgatás szélesebb értelmezése szerint az anyagmozgatás műveletei: a rakodás és a szállítás. Ha ezeket a tárolással kiegészítjük, akkor ún. **RST** folyamatot kapunk. Az RST folyamatok a hely és idő függvényei $r=r(t)$.

A **szállítás** az áruk helykoordinátáinak megváltozása a felhasználás vagy a tárolás megkezdése céljából; a **tárolás** során a helykoordináták általában nem változnak (kivétel a mozgó tárolás), a cél az áruk minőségének megóvása; a **rakodás** az áruk helykoordinátáinak megváltoztatása a szállítás vagy a tárolás megindítása vagy befejezése céljából (1.2.1. ábra).



1.2.1. ábra: RST folyamatok

Az RST folyamatok a korábban leírtak szerint úgy tekinthetők, mint a logisztika anyagi folyamatai. Újabban egyes szerzők találóan az RST folyamatokat logisztikai alapfolyamatokként említik. *Prezenszki* például az anyagáramlást megvalósító logisztikai folyamatokat két nagy csoportra osztja: fizikai és információs folyamatokra. A fizikai folyamatokon belül az RST folyamatokat *alapfolyamatoknak*, az ezekhez kapcsolódó csomagolást, kommissiózást, egységrakomány-képzést, illetve bontást pedig *kiegészítő logisztikai folyamatoknak* nevezi [50].

Az anyagmozgatási rendszerelemek

A mikrologisztikai rendszerekben (vállalatok, áruelosztó központok, közlekedési csomópontok, stb.) az anyagáramlást az anyagmozgatási rendszerek valósítják meg. Ezek feladata (alapfunkciója) a térbeli különbségek áthidalása, az anyagok, termékek helyének megváltoztatása a fel- és leadó helyek között. Ugyanakkor az anyagmozgató rendszerek nem öncélúan léteznek, hanem mindig valamilyen termelési, szolgáltatási, elosztási stb. rendszert szolgálnak ki. Ennek megfelelően beszélhetünk:

termelési (gyártási) rendszert kiszolgáló,

raktári,
rakodóhelyi és
egyéb anyagmozgató rendszerekről.

Az anyagmozgató rendszerek tehát alapfunkciójukat illetően azonosak, míg működési területük szerint lényegesen különbözhetnek egymástól.

Rendszertechnikai szempontból számunkra a közös vonások és rendszerelemek lényegesek. Az alapfunkció ellátása az anyagmozgató rendszerekben mindig feltételezi a következő rendszerelemek létezését:

mozgatott anyagok,
a mozgatást végző eszközök, gépek, berendezések,
a mozgatáshoz szükséges energia,
a mozgatásban közreműködő dolgozók,
a mozgatáshoz szükséges információk.

Az anyagmozgató gépek tervezésekor és üzemeltetésekor elemi követelmény a **mozgatott anyag** pontos ismerete. A szállítandó anyag fizikai tulajdonságainak ismeretében kell megválasztani az anyagmozgató gép fajtáját, típusát, főméreteit, a szállítási sebességet, stb. Magától értetődik például, hogy más rendszerű és méretű gépet használunk a könnyen ömlő gabona, mint a darabos és koptató hatású salak szállítására.

Az anyagmozgatás **eszközei, gépei**, és a mozgatáshoz szükséges **energia** részletes tárgyalása képezi e tantárgy tartalmát, ezért itt e kérdéssel nem foglalkozunk.

A mozgatásban közreműködő **dolgozók** az anyagmozgatási rendszer legfontosabb elemei. Általánosan értelmezve, ide tartoznak az anyagmozgatási folyamatok tervezői, irányítói és a végrehajtásban közreműködő dolgozók.

A mozgatáshoz szükséges **információkat** két csoportba sorolhatjuk: közvetlen és közvetett információk. A közvetlen információk a mozgatás tárgyára, eszközére, minőségére, az útvonalára, időpontjára stb. vonatkoznak. A közvetett információk köre ennél sokkal szélesebb. Ezek az anyagmozgatási döntések előkészítéséhez szolgáltatnak adatokat, és gyakorlatilag a logisztikai rendszer információs adatbázisának részét képezik.

A mozgatott anyagok jellemzői

Az anyagok különböző szempontok, úgy mint fajta, halmazállapot, alak, méret, csomagolás módja stb. szerint csoportosíthatók. Ezek közül a legnagyobb jelentősége a fajta szerinti csoportosításnak van, amely alapján megkülönböztetnek **darabárúkat** és **ömlesztett anyagokat**. A darabárúk lehetnek egyedi darabok vagy egységgrakományok. Az ömlesztett anyagok rendszerint csomagolás nélkül mozgatott inhomogén szemcsenagyságú halmazok.

Darabárúk

Darabárúnak nevezzük az egyedenként kezelt, különböző méretű, tömegű, egyedenként vagy darabonként szállított áru fajtákat. A szállítás szempontjából darabárúnak minősülnek az összefoglaló néven egységgrakományoknak nevezett külön-

féle ömlesztett anyaggal vagy kisebb méretű darabokkal megrakott vagy feltöltött szállítótartályok (konténerek), rakodólapok, ládák, gyűjtőedények, zsákok, stb.

A darabáruk jellemzői: a tömeg, az alak, a méret, a felület minősége és különleges tulajdonságok.

A darabáruk tömege tág határok között mozoghat. Alak szerint a darabáruk lehetnek szabályos alakú ládák, rekeszek, dobozok, hordók, kannák, ballonok, stb., vagy nem szabályos alakú zsákok, rugalmas konténerek, bálák, alkatrészek, bútorok, stb. A szabályos alakú testeknek a méreteit általában mindhárom dimenzióban megadjuk. A szabálytalan testeket a legnagyobb és a legkisebb méretükkel jellemezzük. A felület minőségét az áru vagy a csomagoló anyag szabja meg, ami lehet fa, fém, műanyag, papír, textil stb. Különleges tulajdonságok a törékenységi, a magas hőmérséklet, a gyúlékonyság, a robbanékonyság stb.

Ömlesztett anyagok

Ömlesztett anyagnak nevezzük azokat az általában egynemű halmazokat, amelyek szállítása és rakodása rendezetlenül, nagyobb tömegben és csomagolás nélkül történik. Ilyen anyagok a homok, a kavics, a gabonafélék, stb., de ömlesztett anyagnak tekinthetők az apró alkatrészek, például szegek, csavarok stb. is. A szállítás és rakodás szempontjából az ömlesztett anyagok legfontosabb tulajdonságai: a szemcsenagyság, a halmazsűrűség, a külső súrlódási tényező, a természetes részsűszög, a belső súrlódási tényező és kohézió, a nedvességtartalom, a nedvszívóképesség, a tapadás.

Szemcsenagyság: az ömlesztett anyag szemcsenagysága tág határok között változhat, ami nem mindig az anyag jellemzője, hanem valamilyen technológiai folyamat eredménye. Az ömlesztett anyag szemcseösszetételét a súlyszázalékban megadott eloszlásfüggvényekkel, illetve ezek momentumaival (átlag, szórás, stb.) jellemezzük. Az eloszlásfüggvények szítalással határozhatók meg. Fontos lehet a legnagyobb és legkisebb méretek megadása is.

Halmazsűrűség (ρ_h): az ömlesztett anyag halmazsűrűségén a térfogategységben elhelyezkedő anyaghalmaz tömegét értjük, és kg/m^3 vagy t/m^3 mértékegységben adjuk meg. Nem tévesztendő össze az anyag sűrűségével. A halmazsűrűség az anyagsűrűségénél kisebb érték, amit a befolyásolhat a szemcseösszetétel, a tömörödöttség, a nedvességtartalom. Ezért a halmazsűrűség két szélső határértékkel adható meg. A méretezés biztonsága érdekében célszerűbb a kedvezőtlenebb értékkel számolni.

Külső súrlódási tényező: az ömlesztett anyagok kemény felületekkel való érintkezésekor és azokon való mozgatasakor megjelenő súrlódás befolyásolja a mozgattal szemben fellépő ellenállást. Sok esetben a súrlódás jelensége döntő szerepet játszik, mivel meghatározza az adott berendezés vagy gép működését. Vízszintes felületen a mozgás megindításához, illetve fenntartásához szükséges súrlódási erő (S) és az érintkezési felületre ható normális erő (N) közötti kapcsolatot a *Coulomb-törvény* fejezi ki:

$$S = \mu N,$$

ahol μ a súrlódási tényező. Általában tapadási és csúszási súrlódást különböztetünk meg. A nyugalmi állapotban mért *tapadási* (μ_0) és a mozgás közbeni *csúszási* (μ) súrlódási tényező közötti arány:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = 0,7 \dots 0,9.$$

A súrlódási tényező azon lejtő hajlásszögének a tangense, amelyen az anyag nyugalmi állapotában éppen megcsúszik, vagy mozgás közben még egyenletes sebességgel mozog. Ezért gyakran használjuk a

$$\mu_0 = \operatorname{tg} \rho_0 \text{ és a } \mu = \operatorname{tg} \rho$$

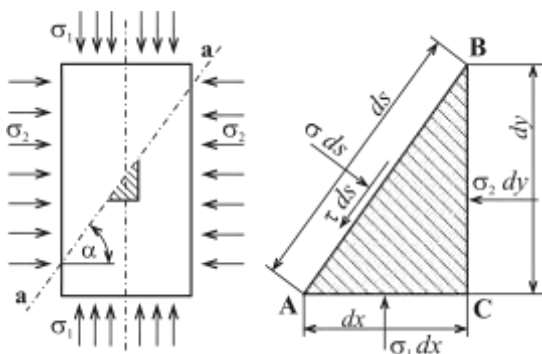
azonosságokat.

A súrlódási problémák megfogalmazásakor feltételezzük, hogy a súrlódási erő arányos a normális erővel, független a csúszó felületek méretétől és sebességétől. E megállapítások a mezőgazdasági anyagokra nem mindig teljesülnek. A biológiai anyagok súrlódási kérdéseivel részletesen a tribológia foglalkozik. E helyen csupán megemlítjük, hogy a nedves mezőgazdasági anyagok már kisebb felületi nyomások esetén is deformálódnak, és ezzel a csúszó felületük megváltozik. A nedves anyagok csúszásakor nem hagyható figyelmen kívül a felület nagyságától is függő adhézió, ami lényegesen módosíthatja a súrlódás törvényszerűségeit. Az érintkezési felületen a folyadék nedvesítő képességétől függően folyadékfilm alakulhat ki [55].

Belső súrlódási szög és belső ellenállás: Az ömlesztett anyagok legfontosabb súrlódási jellemzője a belső súrlódási szög. A *belső súrlódási szögön* az egyes szemcsék között fellépő, a súrlódási folyamat hatására jelentkező súrlódási szöget értjük:

$$\mu_i = \operatorname{tg} \varphi_i,$$

ahol μ_i a belső súrlódás tényezője, φ_i a belső súrlódás kúpszöge.



1.2.2. ábra: Síkbeli feszültségállapot

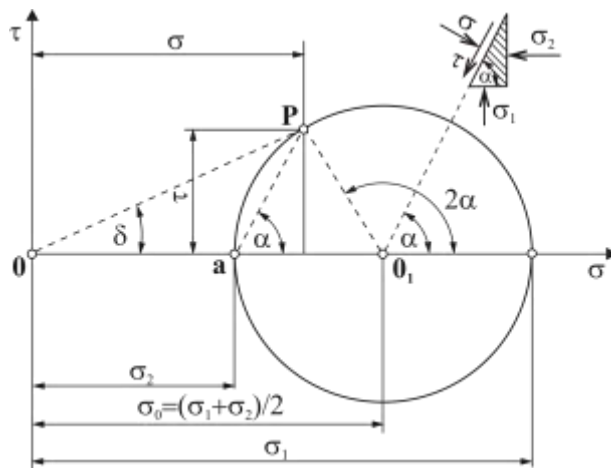
A szemcsés anyagok mechanikájában használatos a *Mohr-féle* törési elmélet *Coulomb* által egyszerűsített alakja szerint a $\tau = f(\sigma)$ függvénykapcsolat lineáris, amelyben a belső súrlódási kúpszög fontos szerepet játszik.

A síkbeli feszültségállapot vizsgálatához vegyünk a halmazból egy elemi derékszögű háromszöget, amelynek dx és dy befogóira σ_1 és σ_2 főfeszültségek hatnak (1.2.2. ábra). A ds átfogó a legnagyobb

főfeszültség (σ_1) síkjához α szögben hajlik. Határozzuk meg az átfogón ébredő σ és τ feszültségeket. A prizma ható elemi erők egyensúlya alapján:

$$\sigma_2 \sin \alpha ds - \sigma \sin \alpha ds + \tau \cos \alpha ds = 0,$$

$$\sigma_1 \cos \alpha ds - \sigma \cos \alpha ds - \tau \sin \alpha ds = 0.$$



1.2.3. ábra: A feszültségállapot Mohr-féle ábrázolása

Fejezzük ki a keresett σ és τ értékeket:

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha,$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha.$$

A feszültségek ábrázolásához vezessük be a

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \text{ és az } R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

jelöléseket, akkor

$$\sigma = \sigma_0 + R \cos 2\alpha,$$

$$\tau = R \sin 2\alpha.$$

Mindkét egyenletet négyzetre emelve, majd az α -t kiküszöbölve, a σ - τ koordinátarendszerben a Mohr-féle kör egyenletét kapjuk

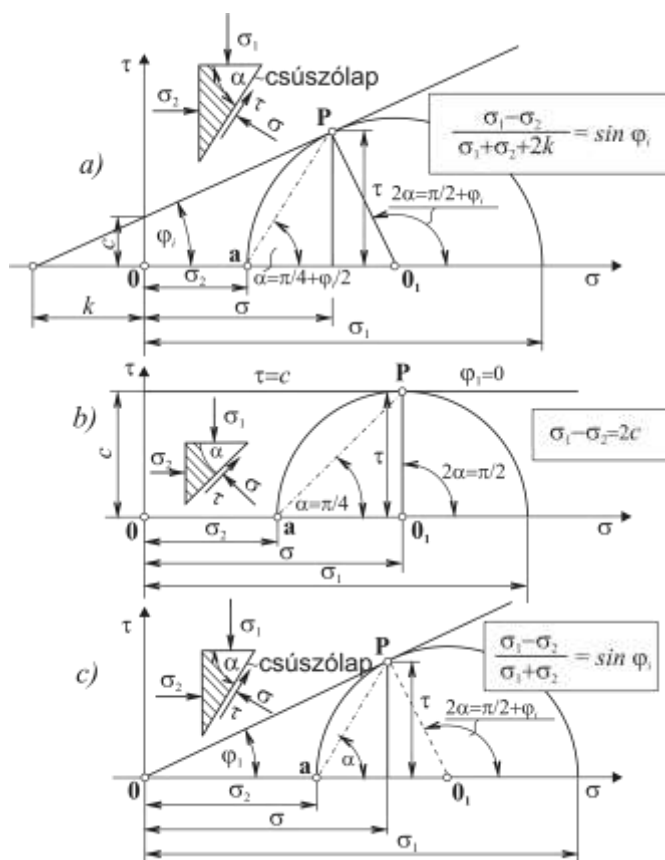
$$(\sigma - \sigma_0)^2 + \tau^2 = R^2,$$

amelynek középpontja a σ tengelyen σ_0 pontban van, a kör sugara pedig R .

A halmazban ébredő σ és τ feszültségek a Mohr-féle kör segítségével is meghatározhatók (1.2.3. ábra). A σ - τ koordinátarendszerben σ_1 és σ_2 főfeszültségek ismeretében a kör megrajzolható. Az a pontból α szög alatt, vagy a középpontból

2α szög alatt húzott egyenes kimetszi a P pontot, amelynek koordinátái a keresett σ és τ feszültségek.

Ha az ömlesztett anyag belső feszültsége a külső erők hatására annyira megnövekszik, hogy legyőzi az anyag belső ellenállásait, az anyag megcsúszik, vagyis alakváltozást szenved. Azt a feszültséget, amelynél ez az állapotot bekövetkezik **határfeszültségnek** nevezzük. Az ömlesztett anyagokkal kapcsolatos számításainkban a *Mohr-féle* elméletet, illetve annak a talajmechanikában elterjedt, *Coulomb* szerint egyszerűsített lineáris alakját fogjuk használni. A törést okozó feszültségi állapotokra megrajzolva a legnagyobb és a legkisebb főfeszültségek *Mohr-köréit*, a körök közös burkolója a *Coulomb* elmélet szerint φ_i hajlásszögű egyenes lesz, amely c magasságban metszi a τ tengelyt. A zérus normálfeszültséghez tartozó nyírószilárdságot nevezzük **kohézió**nak, amely a szemcsék egymás közötti vonzása következtében keletkezik, és független a normál feszültségtől.



1.2.4. ábra: A *Coulomb-féle* törési feltétel általános és speciális esetei

A *Coulomb* szerint tehát az anyag törését az idézi elő, hogy a nyírófeszültség túllépi az anyag szemcséi közötti belső súrlódást és kohéziót. Az anyag nyírószilárdsága:

$$\tau = \sigma \tan \varphi_i + c,$$

ahol φ_i a korábban definiált belső súrlódási kúpszög (1.2.4/a ábra). A törés akkor következik be, amikor a feszültségállapotot jellemző *Mohr-féle kör* a *Coulomb-egyenest* érinti. Ekkor a 2α nagyságú szög O_1P szára merőleges a *Coulomb-egyenestre*, és az O_1P szár φ_i szöget zár be a függőlegessel, ami miatt $2\alpha = \pi/2 + \varphi_i$. Ezért a törés, a megcsúszás nem azon a síkon fog bekövetkezni, ahol a nyírófeszültség a legnagyobb ($\alpha = 45^\circ$), hanem ott, ahol az eredő feszültség iránya (ez a *Coulomb-egyenes*) a lehetséges legnagyobb szöget zárja be a felületelem normálisával (O_1P irány). Ha a vízszintes tengely azon sík irányát jelzi, amelyen a legnagyobb feszültség működik, akkor az aP vonal a *csúszólap* irányát adja meg. Ez az irány, mint az 1.2.4/a ábrából leolvasható, a főfeszültség irányával

$$\alpha = 45^\circ + \varphi_i / 2$$

szöget zár be.

A törési feltétel a főfeszültségekkel is kifejezhető:

$$\sin \varphi_i = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2c},$$

amelyből a

$$\sigma_2 = \sigma_1 \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_i / 2) - 2c \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi_i / 2).$$

Ha a $\varphi_i = 0$, akkor a nyírószilárdság állandó, a normálfeszültségtől független (1.2.4/b ábra), ekkor

$$\sigma_2 = \sigma_1 - 2c.$$

A könnyen ömleszthető anyagok (gabona, kavics, száraz homok, stb.) kohéziója zérus (1.2.4/c ábra), azaz a $c = 0$, ekkor a nyírószilárdság csak a súrlódásból származik. Ez a közelítés tovább egyszerűíti a *Coulomb-egyenlet* használatát. Határfeszültségi állapotban ekkor a főfeszültségek közötti összefüggés:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_i / 2).$$

A $k_a = \sigma_2 / \sigma_1 = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_i / 2)$ hányadost oldalnyomás tényezőnek, vagy *Ran-kine-tényezőnek* nevezik. Az előző egyenletből a

$$\sigma_2 = \sigma_1 \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_i / 2).$$

Megjegyezzük az előző összefüggések $\sigma_1 > \sigma_2$ esetben állnak fenn. Ha a $\sigma_2 > \sigma_1$, vagyis az oldalnyomás nagyobb, mint a függőleges irányú nyomás, akkor a *Ran-kine-tényező*: $k_p = \sigma_2 / \sigma_1 = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi_i / 2)$.

Az anyag nyírószilárdsága még számos a *Coulomb-egyenletben* nem szereplő tényezőnek is függvénye, így a valóságos viszonyokat csak közelítőleg tükrözi. Mindezek ellenére a *Coulomb-egyenlet* általánosan használt segédeszköz az ömlesztett anyagok határfeszültség állapotának vizsgálatában.

1.2.1. táblázat

Ömlesztett anyagok jellemzői

Anyag	Halmaz- sűrűség [kg/m ³]	Természetes rézsűszög [°]	Súrlódási szög [°]				belső
			nyugvásbeli		mozgásbeli		
			fán	vason	fán	vason	
Agyag nedves	2000	18 - 20			23	20	
Agyag száraz	1600						
Árpa	650-750	25-35	23	20-21	20-21	19-20	27
Barnaszén	700	15					
Bazalt	3000						
Brikett	1000	10					
Burgonya	750	10-15					
Búza	750-850	30-38	22	22-23	19-20	19-20	25-26
Cement	1200	10	20	22			
Cukor (barna nádcuk.) r	850-900	30-35	50	45	38,5	35	33,5
Cukor (fehér répacuk.)	700-850	35-40	50	45	38,5	35	37
Cukorrépaszelet	300						
Darabos szén	900						
Égetett mész	2600						
Faszén	300						
Finomszén	800						
Formahomok	1200						
Foszfor műtrágyák	1000-1100	43-49	31-32	33-34			
Föld	1700	15-20					
Fűrészforgács	250						
Gabonaliszt	500-650	40-50					
Gázkoksz	400						
Liszt	1300						
Gipszhabarcs	1200						
Gránit	2600						
Habarcs	1700						
Habkő	1200						
Habkőhomok	700						
Hamu	900						
Homok nedves	2100	20	20-25	12 - 15			
Homok száraz	1600	15	11-15	10-12			
Hüvelyesek fejtv	700-800	25-30	20-21	18-19			29-30
Kavics nedves	2000	18					
Kavics száraz	1700	15					
Kálium műtrágyák	1000-1200	44-48	25-26				
Köles	700						
Kukorica	700-750	25-35	20-21	18-19			29-30
Liszt	500						
Maláta	550						
Márvány	2700						
Mész	900						

Anyag	Halmaz- sűrűség [kg/m ³]	Természetes rézsűszög [°]	Súrlódási szög [°]				belső
			nyugvásbeli		mozgásbeli		
			fán	vason	fán	vason	
Méscement	2000						
Mészhabarcs	1700						
Méskő	2600						
Napraforgó	380-410	31-42	25	21-22			36-37
Nádliszt	1000						
Nagyolvasztó salak	1500	15					
Nagyolv. salakhomok	700						
Nitrogén műtrágyák	800-1400	43-55					
Pala	2700		18	17			
Pernye	1000						
Répa	650						
Rosz	700-760	23-34	23		20-21	19-20	26-27
Szója		32-34	15	15			
Szénpor	700						
Szénsalak	1000						
Zab	400-560	30-35	27-28	22-23			26-27

1.2.1. táblázat folytatása

Természetes rézsűszög: A természetes rézsűszög (φ_0) alatt az ömlesztett szabad anyagkúp alkotójának a vízszintessel bezárt szögét értjük. A φ_i és a φ_0 szögek extrém esetektől eltekintve nem függetlenek egymástól, de nem is azonosak egymással. A tapasztalat szerint a statikus és a dinamikus állapotban mérhető rézsűszögek is különböző értékűek: $\varphi'_0 \geq \varphi_0$. A kohézió nélküli anyagoknál $\varphi_i \approx \varphi_0$.

Nedvességtartalom: az ömlesztett anyagok fontos jellemzője a nedvességtartalom, amely döntően befolyásolja a fizikai-mechanikai tulajdonságukat. A vegyileg kötött víz az anyag mechanikai tulajdonságaira nincs hatással, ellentétben az adszorpciósan kötött vízzel, amely megváltoztatja az anyag halmazsűrűségét, ömleszthetőségét, rézsűszögét, belső súrlódását stb. A nedvességtartalmat a nedves vagy száraz bázisra vonatkoztatva százalékban fejezzük ki. A nedves bázisra vonatkoztatott nedvességtartalom:

$$W = \frac{m_w}{m_w + m_{sz}} 100 [\%],$$

ahol:

m_w az anyagban lévő nedvesség tömege,

m_{sz} az anyag száraz tömege.

A száraz bázisra vonatkoztatott nedvességtartalom:

$$u = \frac{m_w}{m_{sz}} 100 [\%].$$

Tapadás: a tapadás vagy adhézió jelensége főleg nedves anyagok csúszásakor jelentkezik, ami a *Coulomb-féle* súrlódási törvényt lényegesen módosíthatja. A jelenség az érintkezési felületen kialakuló folyadékfilm nedvesítő képességétől függ, ami alatt az adhézió tenziójának és a folyadék felületi feszültségének viszonyát értjük. Ha az adhézió feszültsége nagyobb, mint a felületi feszültség, akkor a folyadék nedvesíti a felületet. A felület nagyságától is függő adhéziós erők növekedése növeli a súrlódási erőket.

Az anyagáramlás jellemzői

Az anyagmozgató rendszerek elemzésének, tervezésének, működtetésének elengedhetetlen feltétele az általuk generált anyagáramlás számszerűsített leírása.

Az anyagáramlás alapjellemezői: az út, az idő és az anyagmennyiség. Az út (s) az anyagmozgatási útvonal vagy szállítópálya vonalvezetése és annak hossza. Az idő (t) mint valamely esemény bekövetkezésének időpontja, vagy valamely tevékenység elvégzésének időtartamaként jelenik meg. Az anyagmennyiség (M) a mozgatott anyagot jellemzi, amit tömeg- vagy térfogategységben fejezhetünk ki.

Az anyagáramlás mozgásjellemezői: a sebesség (v) és a gyorsulás (a). Lényeges lehet a pillanatnyi és az átlagos sebesség ($\bar{v}$) és gyorsulás ($\bar{a}$) megkülönböztetése. A gépek működése szempontjából fontos lehet a maximális értékek ismerete is ($v_{\max}$, $a_{\max}$).

Az anyagáram jellemzők az anyagáram erősség és az anyagáram erősség változása. Az **anyagáram erősség** azt az elemi anyagmennyiséget jellemzi, amely adott időpillanatban a rendszer adott pontján áthalad:

$$E(t) = \frac{dM}{dt} = \dot{M}.$$

Az anyagáram erősség a definícióból fakadóan, csak folytonos vagy szakaszosan folytonos anyagáram jellemzésére alkalmas. Tömegegységben kifejezve:

$$E_m(t) = \frac{dm}{dt} = \dot{m},$$

térfogategységben:

$$E_v(t) = \frac{dV}{dt} = \dot{V}.$$

A diszkrét szakaszos függvényekkel leírható anyagáram jellemzésére az E -vel analóg **rakománygyakoriságot** használják:

$$H = \frac{\Delta z}{\Delta t},$$

ahol Δz a Δt idő alatt mozgatott rakományok száma.

Az átlagos anyagáram erősség két időpont között:

$$\bar{E} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} E(t) dt.$$

Az anyagáram erősség változása

$$\dot{E}(t) = \frac{dE}{dt} = \frac{d^2 M}{dt^2} = \ddot{M}$$

a dinamikus terhelések és a szükséges hajtásteljesítmény összehangolása szempontjából lehet lényeges.

Sokszor az anyagáram változásaira nem vagyunk kíváncsiak, csak az érdekel bennünket, hogy adott időszakban (óra, nap, év) átlagosan mekkora anyagmennyiség áramlik keresztül a rendszeren. Ennek jellemzésére az **anyagáram intenzitást** használjuk:

$$I = \frac{\Delta M}{\Delta t},$$

ahol az anyagmennyiség tömeg-, térfogat- vagy darabegységben fejezhető ki.

1.2.3. Az anyagmozgató gépek csoportosítása

Az anyagmozgatás gépei sokféleségük ellenére meghatározott szempontok szerint csoportosíthatók. A szempontok (pl. szállított termék fajtája, a berendezés felhasználási területe, stb.) közül a működési elv szerinti a legjelentősebb. Ezt az elvet szem előtt tartva folyamatos és szakaszos működésű gépeket különböztetünk meg [23].

Folyamatos működésű anyagmozgató gépek

A folyamatos működésű anyagmozgató gépek az anyagot pálya mentén, állandó sebességgel, folyamatos vagy adagokra bontott anyagáramban és általában egy irányban továbbítják. Az anyagtovábbítás különféle módokon és eszközökkel valósítható meg, például gumihevederrel, láncsal, kötéllel, csővezetékben áramló gázzal vagy folyadékkal, a gravitációs vagy a tehetetlenségi erő hasznosításával.

A folyamatos üzemű anyagmozgató gépek szállítóképessége általánosan a

$$Q = \frac{m}{t} = 3,6vq \quad [\text{t/h}]$$

összefüggéssel számítható, ahol:

- m a mozgatott tömeg [t],
- t a mozgatás időtartama [h],
- q az egy méter szakaszra eső tömeg [kg/m],
- v a szállítás sebessége [m/s].

Folyamatos anyagáramra:

$$Q = 3,6vA\rho_h \quad [\text{t/h}],$$

ahol:

- A az áramló anyag keresztmetszete [m],
- ρ_h az anyag halmazsűrűsége [kg/m³].

Csoportosításuk szempontjai a szerkezeti kialakítás, az anyagtovábbítás módja és a mozgatott anyag jellege lehetnek. Az anyagtovábbítás módja szerint a folyamatos üzemű anyagmozgató gépek az 1.2.2. táblázat szerint rendszerezhetők.

Adagokra bontott anyagáramra:

$$Q = 3,6v \frac{V_i}{a} \rho_h \quad [\text{t/h}],$$

ahol:

V_i egy szállítóelem térfogata [m^3],

a a szállítóelemek osztása [m],

ρ_h az anyag halmazsűrűsége [kg/m^3].

1.2.2. táblázat

Folyamatos működésű anyagmozgató gépek csoportosítása az anyagtovábbítás módja szerint

A szállítóelem a teherrel együtt mozog	A teher mozgatása szállítópályán mechanikus úton	A teher mozgatása szállítópályán gravitációs úton
hevederes szállítószalagok	kaparógépek	gravitációs görgős szállítópályák
csuklótagos szállítószalagok	rédlerék	gravitációs hidraulikus szállítópályák
függőkonveorok	tolattyús szállítógépek	síkcúszdák
billenőelemes szállítógépek	rázó szállítógépek	csigacsúzdák
elevátorok	hajtott görgős szállítópályák	ejtőcsövek
szállító láncpályák	vonóelemes görgős szállító pályák	
mozgóasztalok	szállítócsigák	
páternoszterek	szállítócsövek	
kötélpályák	pneumatikus szállító berendezések	
	csőposták	
	nyomóüzemű hidraulikus berendezések	

1.2.3. táblázat

Szakaszos működésű anyagmozgató gépek csoportosítása

Sínpályához kötött		Sínpályához nem kötött	
Padlószinti	Nem padlószinti	Padlószinti	Nem padlószinti
vasúti járműves daruk	futómacskák	kézi szállítóeszközök	emelődobok
csillék és ipari pálya kocsik	futódaruk	szállítójárművek:	helyhez kötött forgódaruk
ipari vasúti kocsik		pótkocsik	felvonók
tehergépjárművek		tehergépkocsik	teherfelvonók
bakdaruk		Rakodógépek:	ipari felvonók
portáldaruk		traktorvontatású	
kábeldaruk		traktorra szerelt	
raktári állvány kiszolgálógépek		magajáró	
toronydaruk		targoncák	

Szakaszos működésű anyagmozgató gépek

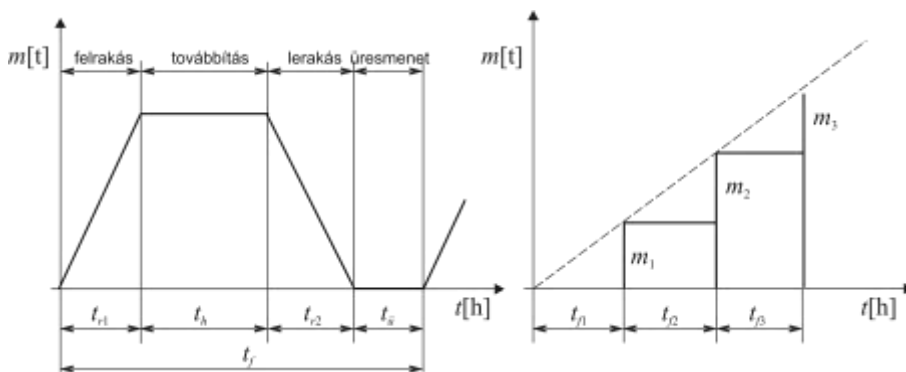
A szakaszos működésű anyagmozgató gépek váltakozva teherrel, illetve üresen üzemelnek. Könnyű és nehéz darabárukat, valamint ömlesztett anyagokat egyaránt mozgathatnak.

Mozgásuk térbeli és általában több szabadságfokú (pl. a daruk függőleges és vízszintes mozgásai), amit gyakran több különálló meghajtással érnek el. A teher felvétele vagy lerakása adott körzeten, a munkaterületen belül bárhol megvalósítható. A szakaszos üzemű anyagmozgató gépek pályához kötött, illetve pályához nem kötött gépek lehetnek. E két csoporton belüli további felosztást az 1.2.3. táblázat foglalja össze.

Anyagmozgatási ciklus és ciklusidő fogalma

A szakaszos üzemű anyagmozgató gépek működését a ciklikusság jellemzi. A ciklusok műveletekből, mozdulatokból épülnek fel, amelyek meghatározott szabály szerint ismétlődnek. Az 1.2.5. ábra egy ciklus egyfajta, önkényes felosztását mutatja, ami szerint a ciklus négy műveletre (felrakás, a továbbítás, lerakás és üres menet) osztott. Az ábra alapján az anyagmozgatási ciklusidő:

$$t_{fi} = t_{r1} + t_h + t_{r2} + t_{\bar{u}}$$



1.2.5. ábra: A szakaszos anyagmozgatás egy ciklusa és időbeni lefolyása

Egyszerűbb esetben a t_{fi} ciklusidők ismert eloszlású valószínűségi változók, amelyek jól jellemezhetők a mozgítás gyakoriságával

$$f = n/t,$$

ahol:

$$t = \sum_{i=1}^n t_{fi} \text{ a mozgítás időtartama [h],}$$

n a ciklusok száma [db].

A mozgítás gyakoriságával a szakaszos működésű anyagmozgatógépek szállító-képessége:

$$Q = \frac{f}{n} \sum_{i=1}^n m_i = \bar{f} \bar{m} \quad [t/h],$$

ahol $\bar{m}$ a ciklusonként átlagosan mozgatott anyag tömege [t].

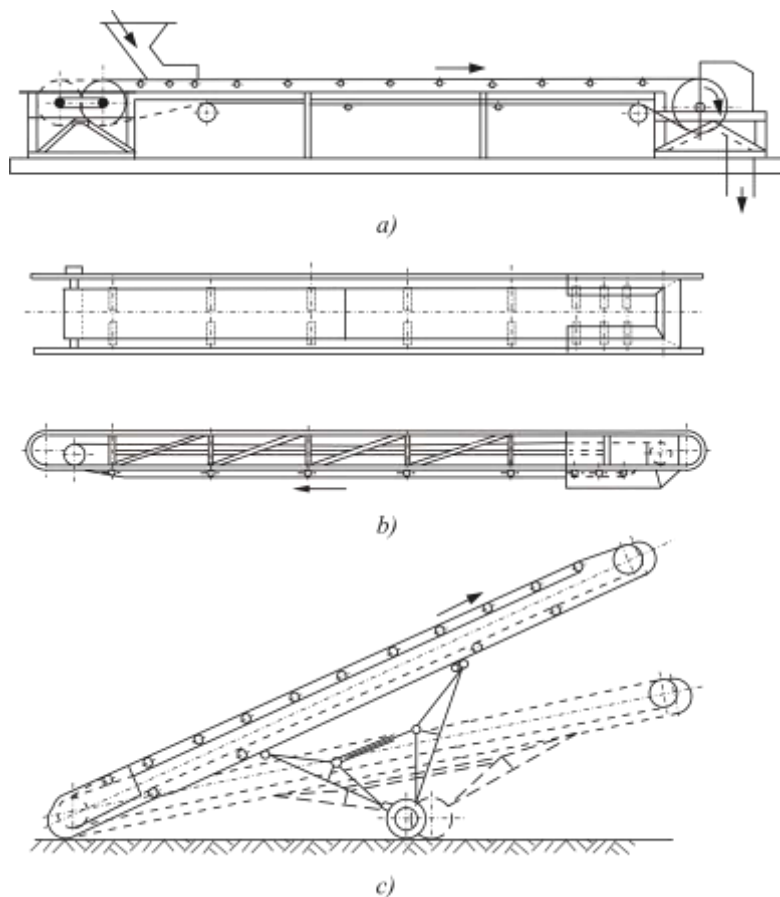
Tekintettel a tantervben rendelkezésre álló korlátozott időre, továbbá a felsőoktatásban a különböző diszciplínák között kialakult munkamegosztásra, a táblázatokban felsorolt valamennyi anyagmozgató gép bemutatására nincs lehetőségünk, illetve egyes gépek más tantárgyak keretében kerülnek ismertetésre. A továbbiakban csak a mezőgazdaságban és az élelmiszeriparban leggyakrabban előforduló (az 1.2.2. és 1.2.3. táblázatokban kiemelt) berendezésekkel foglalkozunk.

2.

FOLYAMATOS MŰKÖDÉSŰ ANYAGMOZGATÓ GÉPEK

2.1. HEVEDERES SZÁLLÍTÓSZALAGOK

Az ömlesztett és darabárak továbbításának az egyik leggyakrabban használt szállítóeszköze a hevederes szállítószalag. Vonó- és egyben szállítóeleme a végdobok között kifeszített, görgőkkel alátámasztott, végtelenített heveder, amely vízszintes vagy ferde pályán továbbíthatja az árut. A heveder hajtását általában súrlódó hajtással biztosítják. A heveder anyaga lehet szövetbetéttel erősített gumi, műanyag, vagy acélsodrony.



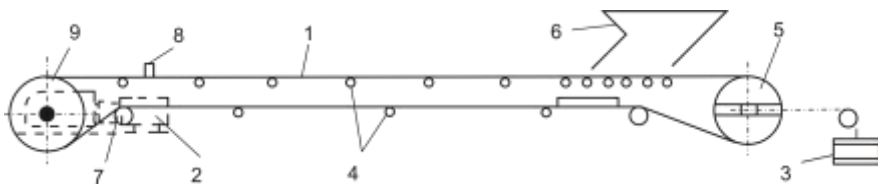
2.1.1. ábra: A hevederes szállítószalagok
a) helyhez kötött; b) hordozható; c) mozgatható

A hevederes szállítószalagok sokféle változata ismert, működési elvük és szerkezeti kialakításuk azonban nagyon hasonló. Fontosabb jellemzőik: a szalaghossz (L), amely alatt a végdobok tengelytávolságát értjük és a szállítóképesség (Q). A szalaghossz szerint megkülönböztetünk **rövid** ($L < 20$ m), **közepes** ($20 \text{ m} \leq L < 100$ m) és **hosszú** ($L \geq 100$ m) szállítószalagokat. Szállítóképességük széles határok között $Q = 0 \dots 5000 \text{ m}^3/\text{h}$ változhat. Egyszerű szerkezetük miatt karbantartási igényük nem jelentős, fajlagos teljesítményigényük viszonylag kicsi.

Az alkalmazási területtől és az üzemi körülményektől függően eltérő kivitelben készülnek. Kivételük szerint beszélünk **helyhez kötött**, **hordozható** és **mozgatható** szalagokról (2.1.1. ábra). Nehezebb üzemi viszonyok mellett a szállítószalag erősebb felépítésű, a csapágyak védelme gondosabb. Az ömlesztett áru mozgatására általában vályús alátámasztást alkalmaznak. A darabárut szállító szalagok sík alátámasztásúak, lassú járásúak.

2.1.1. Szállítószalagok szerkezeti kialakítása

A hevederes szállítószalag szokásos felépítését a 2.1.2. ábra szemlélteti. A szalag vonó- és szállítóeleme a heveder (1), amit a felső- és alsó ágba szalaggörgők (4) támasztanak alá. A szerkezet mozgatásához szükséges kerületi erő a villamos motorral (2) hajtott hajtódobról (9) súrlódással adódik át a hevederre.



2.1.2. ábra: A hevederes szállítószalag felépítése

1) heveder, 2) villamos motor és hajtómű, 3) hevederfeszítő szerkezet, 4) szalaggörgők, 5) feszítő- és visszaterelő-dob, 6) feladógarat, 7) terelődob, 8) egyenesbe-vezető, 9) hajtódob

A heveder előfeszítését az alsó ágba elhelyezett feszítő vagy visszaterelő dob (5) keresztül a feszítő szerkezet (3) biztosítja. Az átfogási szög növelését szolgálja a terelődob (7). A görgőket, dobokat támasztó bakok és csapágyak a szalagvázra oldható kötéssel rögzítettek, amely hordozza és egységbe foglalja az elemeket.

Hevederek és heveder-elrendezések

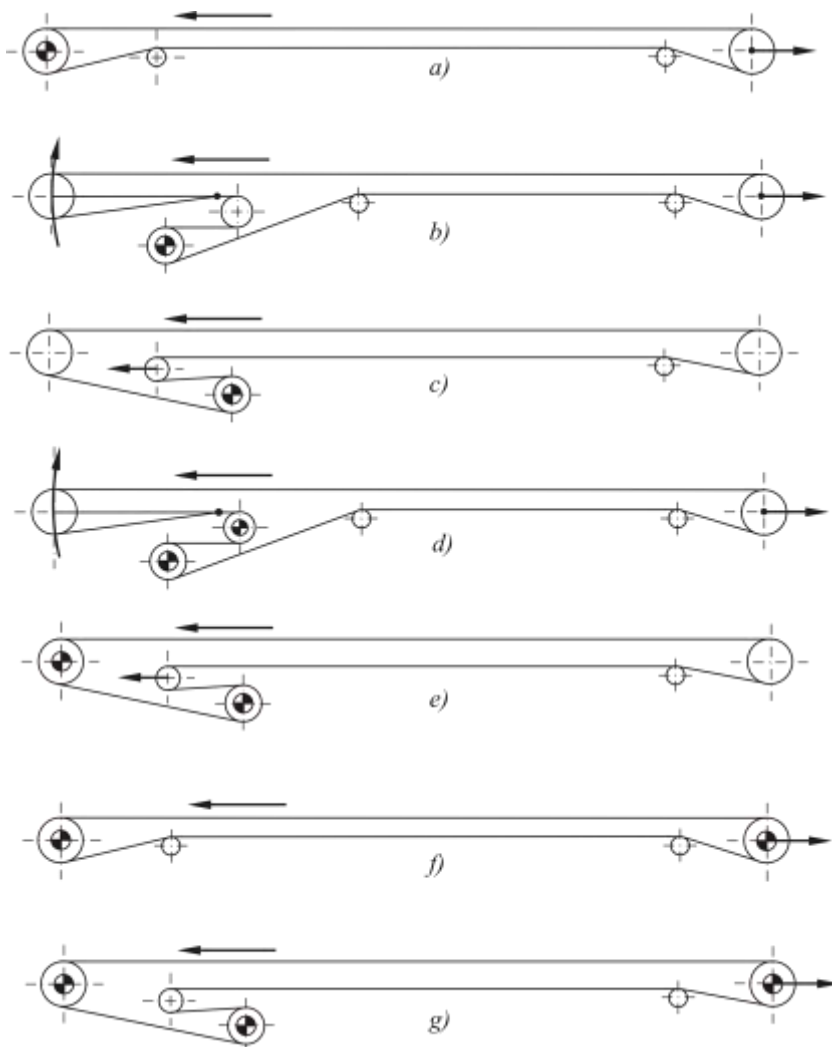
A szövethétes gumihevederek teherviselő eleme a kettő vagy több rétegű, vulkanizálással egyesített szövethétes.

A hevederelrendezést a hajtás módja határozza meg, amely a szalag terhelésétől függően lehet **egy** vagy **több dobos**. Nagy kerületi erőigény esetén az átfogási szöget vagy a súrlódási tényezőt kell növelni. Ha ezek nem vezetnek eredményre, akkor több hajtódobot kell beépíteni. A leggyakrabban előforduló elrendezéseket a 2.1.3. ábra mutatja.

Dobok

A dob funkcióját tekintve lehet: hajtódob, visszaterelő-dob, irányváltó-dob, terelődob, ledobódob és feszítődob. A **hajtódob** feladata a heveder mozgatása. A súrlódási tényező növelése érdekében a felületét gyakran fa, gumi, szövet vagy kerámia betéttel látják el. A visszaterelő-, az irányváltó- és a terelődob olyan dobok, amelyeken a heveder mozgásiránya kisebb-nagyobb mértékben megváltozik. Ha az irányváltóztatás kisebb, mint 30° , akkor **terelődobról**, ha $30-120^\circ$, akkor **irányváltó-dobról**, és ha 120° -nál nagyobb, akkor **visszaterelő-dobról** beszélünk. A **ledobó-dob**, amint azt a neve is jelzi, olyan dob, amelyről a szállított

anyag leválik. Ez lehet maga a hajtódob, vagy pedig a közbenső ledobóhely valamelyik dobja. A **feszítődob** feladata heveder feszítése, az erőátvitel biztosítása, illetve a káros mértékű belógások megakadályozása. Egydobos hajtásnál a feszítődob funkcióját általában a visszaterelő-dob tölti be.



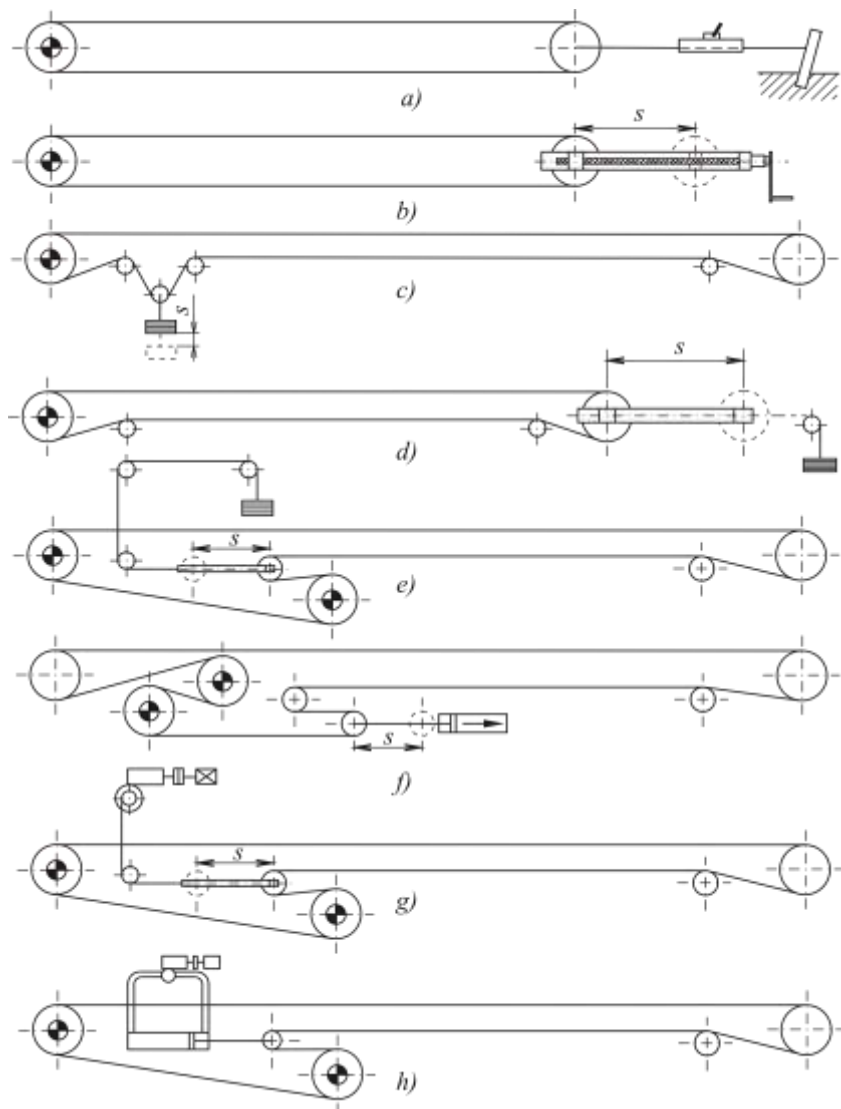
2.1.3. ábra: Heveder-elrendezések

- a) egydobos hajtás közvetlen ledobással, b) egydobos hajtás lengőkarral és ledobó-dobbal, c) egydobos hajtás ledobó-dobbal, d) kétdobos hajtás lengőkarral és ledobó-dobbal, e) kétdobos hajtás közvetlen ledobással, f) fej és visszaterelő-dob hajtás, g) kétdobos fej és visszaterelő-dob hajtás

Hevederfeszítő szerkezetek

A heveder feszítőszerkezet kialakítása és működési módja szerint lehet: merev, súlyfeszítésű, pneumatikus, elektrohidraulikus, illetve kézi szabályozású és önmű-

ködő. A különböző feszítőszerkezetek elvi vázlatai a 2.1.4. ábrán láthatók. A merev feszítőszerkezeteket főként a rövid szalagokhoz ($L < 20$ m) használják.



2.1.4. ábra: Hevederfeszítő szerkezetek

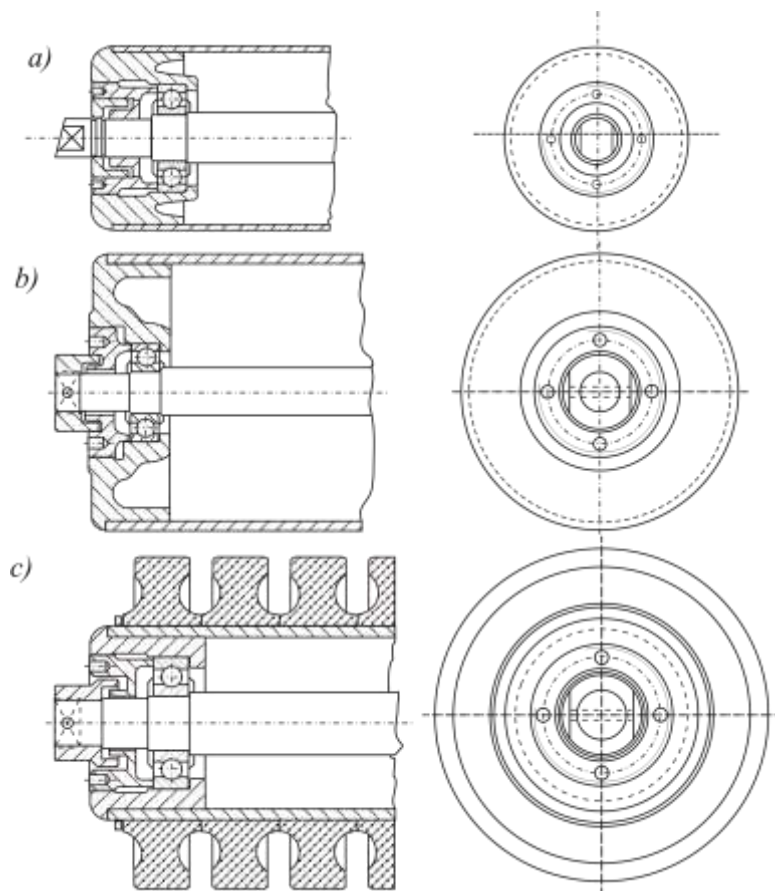
- a) feszítő készülékes, b) csavarorsós, c) feszítő súlyos, d) feszítő súlyos feszítőkocsival, e) feszítő súlyos terelődobbal és feszítőkocsival, f) feszítés pneumatikus munkahengerrel, g) elektromos feszítőszerkezet, h) elektrohidraulikus feszítőszerkezet

Többnyire a visszaterelő-dob tölti be a feszítődob szerepét, amit csavarorsóval (2.1.4/b ábra) vagy feszítőcsörlővel (2.1.4/a ábra) mozgatnak. Hosszabb szalagok és maradandó nyúlásra hajlamos hevedertípusok esetén célszerű automatikus feszítőszerkezetet alkalmazni. E célra a leggyakrabban az egyszerű és jól bevált feszítő súlyos szerkezetet használják (2.1.4/c, d, e ábrák). A feszítési utat úgy kell meghatározni, hogy a kezdeti nyúlás mellett az üzem közbeni maradandó hevedernyúlást is (ez a tengelytávolság 1,2...1,5%-a) ki tudja egyenlíteni. Hosszabb

szalagoknál a feszítődob csapágyazásához kapcsolódó, pneumatikusan, elektrohidraulikusan vagy elektromosan működtetett feszítőkocsit alkalmaznak.

Szalaggörgők

A szalaggörgők feladata a heveder alátámasztása a szállító és az alsó ágba. A görgők megválasztása, elhelyezése, a támok kialakítása a megoldandó szállítási feladattól és az üzemeltetési körülményektől függ. A szállító ágba vályúsított vagy sík, a visszatérő ágba mindig sík alátámasztást alkalmaznak. A 2.1.5. ábrán különböző kivitelű és rendeltetésű görgők láthatók.



2.1.5. ábra: Különböző rendeltetésű szalaggörgők
a) könnyű görgő, b) nehéz görgő, c) feladó görgő.

Szalagváz

A szalagvázat legtöbbször egy vagy két rácsos hossztartó alkotja, amelyeket keresztvázak kötnék össze. A különböző szerkezeti hosszúságok kialakítása céljából a hegesztett tartó gyakran előregyártott elemekből (pályaváz, hajtófej, feszítőfej, stb.) áll, amelyek csavarkötéssel köthetők egymáshoz. A vázat szalaglábak, ún. ingaoszlopok vagy járószerkezet támasztják alá. A helyhez kötött berendezések

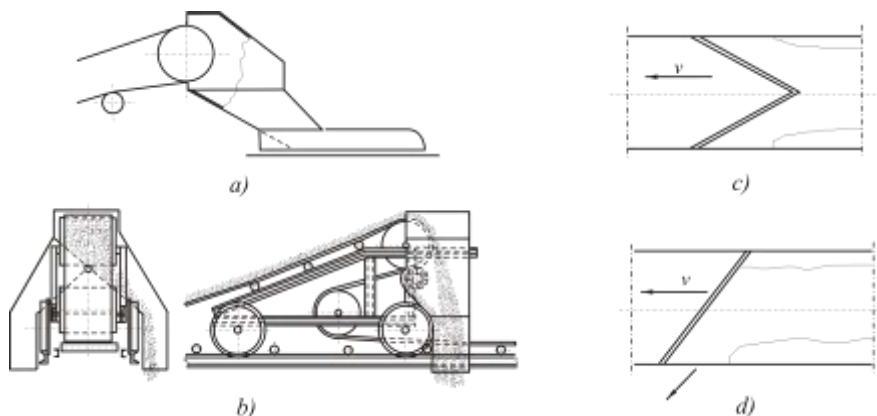
váza általában hengerelt szerkezeti acél (L, U szelvény). A hordozható és mozgatható szalag váza inkább könnyebb zártszelvény vagy csőprofil.

Heveder és dobtisztító szerkezetek

A szállított anyag a hevederhez és a dobokhoz kisebb-nagyobb mértékben hozzátapadhat, ezért esetenként gondoskodni kell ezek tisztításáról. A heveder tisztítás legegyszerűbb módja a gumiból készített tisztítólap, amit élével a hevederhez szorítanak. A tapadós, nehezen eltávolítható anyagokhoz forgó kefét, spirálkést, rázógörgőt stb. alkalmaznak. A kevésbé sérülékeny dobok tisztítása lényegesen egyszerűbb feladat, általában a dobhoz rugalmasan hozzányomott acéllemezzel oldható meg.

Feladó- és leadószerkezetek

A heveder egyenetlen terhelése gyakran a helytelen anyagfeladásra vezethető vissza. A legjobb megoldás az, amikor a feladás iránya és sebessége megegyezik a hevederével. Ezt az ideális állapotot surrantókkal vagy gépi feladással lehet elérni. Gépi feladásra különböző adagolók (feladószalag, cellás adagoló stb.) alkalmasak.



2.1.6. ábra: Anyagleválasztás a szállítószalagon

a) ledobódob b) ledobókocsi, c), d) lekotróeke

Az anyag a heveder végén, vagy ha szükséges közbenső helyen választható le. A végdob lehet hajtódob vagy lengőkarral mozgatható ledobó-dob. A közbenső leválasztás lekotróekével vagy ledobókocsival valósítható meg (2.1.6. ábra). Mindkét berendezés csökkenti a heveder élettartamát, ezért alkalmazásukat lehetőség szerint kerülni kell.

2.1.2. Szállítószalagok szállítóképessége

Folyamatos anyagáram esetén a szalag szállítóképessége:

$$Q=3,6A\rho_h v c_1 c_2 \text{ [t/h]}$$

ahol:

- A a hevederen kialakuló anyagáram keresztmetszete [m^2],
 ρ_h a szállított anyag halmazsűrűsége [kg/m^3],
 v a heveder sebessége [m/s],
 c_1 és c_2 teljesítménycsökkentő tényezők.

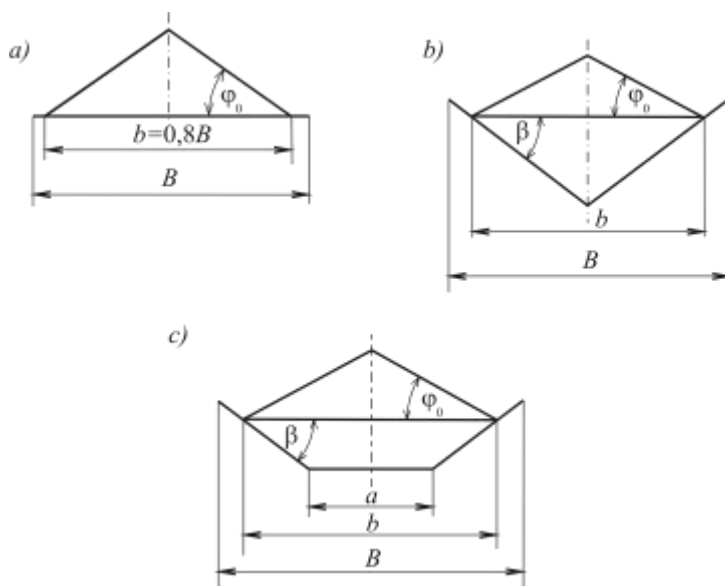
Az anyagkeresztmetszet a heveder szélességétől (B), a szalag kialakításától és a szállított anyag rézsűszögétől (φ_0) függ. A hasznos heveder szélesség $\cong 0,8B$, a szabvány által javasolt érték:

$$b=0,9B-0,05 \text{ [m]},$$

ahol B a hevederszélesség [m].

Az anyagkeresztmetszet egyszerű geometriai összefüggésekkel számítható. Sík szalag esetén (2.1.7/a ábra):

$$A=\frac{b^2}{4}\text{tg}\varphi_0 \text{ [m}^2\text{]}.$$



2.1.7. ábra: Az anyag-keresztmetszet a hevederen
 a) sík, b) két görgős, c) háromgörgős

Kétgörgős alátámasztású szalagnál (2.1.7/b ábra):

$$A=A_1+A_2=\frac{b^2}{4}\text{tg}\varphi_0+\frac{b^2}{4}\text{tg}\beta=\frac{b^2}{4}(\text{tg}\varphi_0+\text{tg}\beta) \text{ [m}^2\text{]}.$$

Három görgővel alátámasztott szalagnál (2.1.7/c ábra):

$$A=A_1+A_2=\frac{b^2}{4}\text{tg}\varphi_0+\frac{b+a}{2}\frac{b-a}{2}\text{tg}\beta,$$

2.1.1. táblázat

Ömlesztett anyagokra jellemző rézsűszög és legnagyobb emelkedési szög

Anyag fajtája	Minőség	Mozgó szalagon előálló rézsűszög φ_0	Az alkalmazható legnagyobb emelkedési szög ($\delta_{\max}$) felfelé szállítás esetén
Agyag	nedves	18° - 20°	23°
Bauxit	őrölt	20°	20°
Betonkeverék	sűrű	-	27°
	tésztaszerű		24°
Brikett	kocka	15°	12° - 14°
	tojás	10°	10°
Burgonya		10° - 15°	12°
Cement		10°	20° - 22°
Cukorrépa		-	14°
Érc			18° - 25°
Föld	laza, száraz	15°	20°
	nedves	20°	23°
Földpát		13°	18°
Fűrészpor		12°	25° - 27°
Gabona		10°	14° - 17°
Gipsz	por		22°
	apró száraz	8°	22°
	darabos	8°	15° - 18°
Hamu		15°	18°
Homok	vizes	20°	20° - 25°
	száraz	15°	11° - 15°
	formázó	20°	22° - 26°
Kavics	homokos	15°	15°
Kő	fejtett	15°	16°
	zúzott	20°	20°
	osztályozott	15°	20° - 18°
Kén		15°	18° - 20°
Koksz	dara	15°	20°
	nyers	15°	17°
	tört	15°	18°
Kréta		15°	12° - 15°
Márga		18°	20°
Mészpor		15°	23°
Mészke		15°	20° - 23°
Műtrágya	granulált	12°	15°
	porított	12°	20°
Pala			18°
Salak	kazán	15°	18° - 22°
	kohó	15°	17°
Só	osztályozott		16°
	tört	12° - 15°	19° - 20°
Sóder		15°	12° - 20°
Barnaszén	fejtett, akna	15°	15° - 18°
	osztályozott	15°	17°
	tört	15°	19°
	por	15°	20° - 22°
Kőszén	fejtett akna	15°	17°

A 2.1.1. táblázat folytatása

Anyag fajtája	Minőség	Mozgó szalagon előálló rézsűszög φ_0	Az alkalmazható legnagyobb emelkedési szög ($\delta_{\max}$) felfelé szállítás esetén
Antracit	osztályozott	15°	16°
	tört	15°	18°
Lignit	fejtett	15°	18°
	osztályozott	15°	17°
Szódá		15°	16° - 22°
Szulfát		15°	20°
Szuperfoszfát	sima	15°	20°
	granulált	12°	15°
Tőzeg		20°	20° - 28°
Vasérc	osztályozott	15°	20° - 11°
	tört	20°	18°
	por	15°	22°

megjegyzés: akna, fejtett = termelt állapotú

tört, zúzott = 0-tól a törési határig

osztályozott = szűk határok között azonos szemmagyságú

$$A = \frac{b^2}{4} \operatorname{tg} \varphi_0 + \frac{b^2 - a^2}{4} \operatorname{tg} \beta \quad [\text{m}^2],$$

ahol az $a \approx 0,4B$.

A φ_0 rézsűszögre és a ρ_h halmazsűrűsége vonatkozó tájékoztató értékek az 1.2.1. és a 2.1.1. táblázatokban találhatók.

A szabvány által ajánlott hevedersebesség értékeket anyagcsoportonként a hevederszélesség függvényében az 2.1.2. táblázat foglalja össze. A hevedersebességet az ajánlott határokon belül főleg gazdasági szempontok határozzák meg.

2.1.2. táblázat

Ajánlott hevedersebességek [m/s] (MI 8634-76)

Heveder szélesség B [mm]	Könnyű anyag nem kop- tató pl. gabona	Könnyű anyag koptató pl. száraz homok	Nehéz anyag nem kop- tató pl. föld, ka- vics, med- dő	Nehéz anyag koptató pl. érc, salak	Porszerű anyag	Darab- áru
400	1,0-2,5	1,0-1,6	1,3-2,0	1,3-2,0		
500	1,6-3,2	1,3-1,6	1,6-2,5	1,3-2,0		
650	1,6-3,2	1,3-2,0	2,0-3,2	1,6-2,5		
800	1,6-4,0	1,6-2,5	2,5-4,0	1,6-2,5		
1000	1,6-4,0	1,6-4,0	2,5-4,0	1,6-2,5	0,8-1,0	0,2-0,8
1200	2,0-4,0	2,0-4,0	3,2-4,0	2,0-2,5		
1400	2,5-4,0	2,0-4,0	3,2-4,0	2,0-2,5		
1600	2,5-5,0	2,0-5,0	3,2-5,0	2,0-2,5		
1800	3,2-5,0	2,0-5,0	3,2-5,0	2,0-2,5		
2000	3,2-4,0	2,0-5,0	3,2-4,0	2,0-2,5		

A sebesség növelésével ugyan növekszik a szalag szállítóképessége, de nő a karbantartás munkáigénye, és csökken a heveder élettartama. A gyorsjárású szalagok általában erősebb kopásnak vannak kitéve. A görgőkön áthaladó hevedert a na-

gyobb függőleges irányú gyorsulás miatt nagyobb ütések érik. A gyorsjárás okozta rázás nemcsak nagyobb igénybevételt jelent, hanem növeli a leszóródás veszélyét is. Ezt túlfeszítéssel ugyan kompenzálhatjuk, de a túlfeszítés is csökkenti az élettartamot. A sebességet a felsorolt szempontokat és a felhasználói igényeket mérlegelve kell megválasztani.

A vízszintestől eltérő szállítás esetén a szállított anyagrészekre ható erők iránya a δ szállítási szög függvénye. Ennek hatását a c_1 teljesítménycsökkentő tényezővel vesszük figyelembe. A tényező értékei a δ szállítási szög függvényében a 2.1.3. táblázatban találhatók. A bordázat nélküli gumihevederes szállítószalagok δ emelkedési szögének felső határait a 2.1.1. táblázat tartalmazza.

2.1.3. táblázat

A c_1 teljesítménycsökkentő tényező értékei

Ha a feladás helyén $\delta < 8^\circ$

δ°	0	4	8	12	14	16	18	20	22	24
c_1	1	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88	0,85	0,81	0,78

Ha a feladás helyén $\delta > 8^\circ$

δ°	0	4	8	12	14	16	18	20	22	24
c_1	1	0,99	0,97	0,93	0,91	0,88	0,85	0,81	0,76	0,72

2.1.4. táblázat

A c_2 teljesítménycsökkentő tényező értékei

Feladás módja	c_2
Kézi feladás	0,5-0,8
Gépi feladás	
átadó szalaggal	1,0
rezgő adagolóval	1,0
lāncos kaparóval	1,0
forgólapátos adagolóval	0,8-0,9
serleges v. cellás adagolóval	0,7
Gépi feladás több helyen	0,6-0,9

A c_2 teljesítménycsökkentő tényező az anyagfeladás egyenetlenségéből fakadó szállítóképesség csökkenést veszi figyelembe. Kézi feladással és a feladó berendezések jelentős részével nem biztosítható folyamatos anyagáram (pl. cellás adagolóval), ezért a heveder tényleges kihasználtsága az elméletinél kisebb. Az adagolás módjától függő c_2 tényező értékeit a 2.1.4. táblázat tartalmazza.

A hevederszélesség előzetes becslését igyekszik megkönnyíteni a 2.1.5. táblázat, amelyben különböző kialakítású szalagok $v=1$ m/s sebességhez tartozó volumetrikus szállítóképessége (Q_v) szerepel a hevederszélesség (B) függvényében. A táblázat használatához először a tervezés kiindulási adataként megadott szállítóképességből a

$$Q_v = \frac{Q}{\rho_h} [\text{m}^3/\text{h}]$$

összefüggéssel kiszámítjuk a volumetrikus szállítóképességet, majd ezt összevetően a táblázatból kiválasztjuk az ennek megfelelő hevederszélességet és a vályúsítás alakját, illetve szögét.

2.1.5. táblázat

A szalag elméleti volumetrikus szállítóképessége

($v = 1 \text{ m/s}$, $c_1 = 1$, $c_2 = 1$)

Vályúsítás szöge β	0°			15°			20°		
Vályúsított alak	Sík			Kétdörgős			Háromdörgős		
Anyag ré- zsúszöge φ_0	10°	15°	20°	10°	15°	20°	10°	15°	20°
A heveder szélessége B [mm]	$Q_v [\text{m}^3/\text{h}]$								
400	15	23	32	36	43	50			
500	25	38	52	60	72	85	63	75	90
650	45	70	95	105	130	150	115	135	160
800	70	110	150	170	200	240	175	210	250
1000	115	175	240				285	340	400
1200	170	255	350				420	500	580
1400	230	350	480				580	690	810
1600	310	470	640				760	910	1070
1800	390	590	810				970	1160	1360
2000	490	740	1000				1200	1440	1690

Vályúsítás szöge β	30°			35°			45°		
Vályúsított alak	Háromgörgős								
Anyag ré- zsúszöge φ_0	10°	15°	20°	10°	15°	20°	10°	15°	20°
A heveder szélessége B [mm]	Q_v [m³/h]								
800	215	245	280	230	260	290			
1000	350	400	450	370	420	470	420	470	520
1200	510	580	660	540	610	690	620	690	760
1400	700	810	920	750	860	960	860	950	1050
1600	930	1070	1200	980	1120	1260	1130	1250	1380
1800	1180	1350	1550	1260	1430	1620	1440	1600	1760
2000	1450	1700	1900	1550	1780	1980	1780	1980	2180

2.1.3. A hajtás teljesítményszükséglete

A szállítószalag vonóelemét, a hevedert a hajtódobról súrlódással átadott kerületi erő mozgatja. A kerületi erőnek a következő ellenállásokat kell legyőznie:

- F_1 a heveder vontatási ellenállása,
- F_2 a dobok ellenállása,
- F_3 a terelőpalánk ellenállása,
- F_4 a heveder- és dobtisztítók ellenállása,
- F_5 a szállított anyag gyorsítási ellenállása,
- F_6 a kisegítő berendezések ellenállása,
- F_7 a szállított anyag emelkedési ellenállása.

A teljesítményszükséglet meghatározására két számítási módszer kínálkozik. Az egyik módszer szerint a legkisebb igénybevételű helyről kiindulva a vonóelemben ébredő húzóerőket összegezzük. Ennek hátránya, hogy a számítást többször meg kell ismételni, mivel a számítás kezdetén több tényező, pl. a feszítés mértéke ismeretlen. A gyakorlatban általában az MI 8634 sz. szabványban ajánlott módszert követik, amely a tapasztalati adatok alapján becsült ellenállásokat összevontan kezeli, így egyszerűbben és gyorsabban ad eredményt. A továbbiakban mi is ezt az eljárást ismertetjük.

A heveder mozgatásához szükséges erő és a dobok ellenállása

A két ellenállás összege, amely magába foglalja a terheletlen heveder és az anyag mozgatásához szükséges erőt, valamint a pálya- és a dobellenállásokat, a következő képlettel számítható:

$$F_1 + F_2 = f k L_0 (2q_h + q_g + q_a) \quad [\text{N}],$$

ahol:

- f a pályaellenállás szorzója,
- k az egyenértékű pályaellenállás szorzótényezője,
- L_0 a végdobok tengelytávolsága [m],
- q_h a heveder folyóméter súlya [N/m],
- q_g az alsó és a felső heveder ágat alátámasztó görgők 1 m pályahosszra eső súlya [N/m],
- q_a a szállított anyag 1 m pályahosszra eső súlya [N/m].

A csapsúrlódásból, a heveder és a dobok közötti gördülési és hajlítási ellenállásból származó hajtó- és terelődob ellenállást a képlet a k egyenértékű pályaellenállással úgy veszi figyelembe, hogy a dobokat egyenértékű pályahosszal helyettesíti.

A számítás egyszerűsítésére, a tényleges hosszúságot (L_0) a k tényezővel szorozzuk. A k tényező értékeit az L szalaghossz függvényében 2.1.6. táblázatban foglaltuk össze.

2.1.6. táblázat

Az egyenértékű pályaelenállás szorzótényezője (k) L a szalaghossza [m]

L	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
k	9	7,6	6,6	5,9	5,1	4,5	4,1	3,6	3,2	2,9
L	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
k	2,65	2,4	2,2	2,0	1,85	1,74	1,64	1,53	1,45	1,37
L	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
k	1,29	1,23	1,19	1,15	1,12	1,10	1,08	1,06	1,05	1,04

A pályaelenállás f szorzóját, mint az üzemeltetési viszonyok függvényét az 2.1.7. táblázat tartalmazza. A hevederek folyóméter súlya a gyártók katalógusaiban elérhető.

2.1.7. táblázat

A pályaelenállás szorzója (f)

Üzemeltetési viszonyok	f
Gondos karbantartás tiszta környezet	0,019-0,020
Közepes viszonyok	0,021-0,023
Mostoha üzemi viszonyok	0,024-0,027

A szalaggörgők folyóméter súlyára vonatkozó tájékoztató értékek a 2.1.8. táblázatban találhatók.

Az 1 m pályahosszra eső szállított anyagsúly a szállítóképességből és a heveder sebességéből számítható:

$$q_a = \frac{Qg}{v} \quad [\text{N/m}],$$

ahol:

Q szalag szállítóképessége [kg/s],

g a nehézségi gyorsulás [m/s^2],

v heveder sebessége [m/s].

2.1.8. táblázat

Tájékoztató értékek az alsó és a felső hevederágot alátámasztó görgők 1 m pályahosszra eső súlyáról [N/m]

Típus	Hevederszélesség mm	400	500	650	800	1000	1200	1400
Könnyű Ø80-110	Felső ág (sík)	36	46	61	81	112		
	Felső ág (vályús)	45	55	70	92	125		
	Alsó ág	14	18	23	29	37		
Közép- nehéz Ø120-140	Felső ág (sík)		104	133	166	225	258	
	Felső ág (vályús)		165	198	237	305	340	
	Alsó ág		39	49	60	75	86	
Nehéz Ø150-160	Felső ág (sík)			188	237	308	355	402
	Felső ág (vályús)			272	330	408	459	504
	Alsó ág			66	82	103	118	134

A terelőpalánk ellenállása

A terelőpalánk ellenállása:

$$F_3 = 2l_p h p \mu_p \quad [\text{N}],$$

ahol:

- l_p a palánk hossza [m],
- h az anyagréteg magassága a palánknál [m],
- p az anyag nyomása a palánkon [N/m²],
- μ_p a palánk és az anyag közötti súrlódási tényező.

Feltételezve, hogy az oldalnyomás-tényező $k_a=1/2$, a palánkra ható oldalnyomás a függőleges irányú nyomás fele, azaz, a

$$p = \frac{1}{2} h \rho_h g$$

amelyből az

$$F_3 = l_p h^2 \rho_h g \mu_p \quad [\text{N}]$$

A súrlódási tényező $\mu_p=0,1\dots0,4$.

A heveder és dobtisztítók ellenállása

A heveder és dobtisztítók ellenállása:

$$F_4 = p l_1 \mu \quad [\text{N}],$$

ahol:

- p a tisztító vonalnyomása [N/m],
- l_1 a tisztító hossza [m],
- μ a súrlódási tényező.

A gyakorlatban használatos értékek $p=200\text{-}500$ N/m, $\mu = 0,6\text{-}0,8$.

A szállított anyag gyorsítási ellenállása

Az impulzus tételből:

$$F_5 = Q(v - v_0) \quad [\text{N}],$$

ahol:

- Q a szállítószalag szállítóképessége [kg/s],
- v a heveder sebessége [m/s],
- v_0 az anyag kezdeti sebességének a heveder mozgásirányába eső komponense.

A kisegítő berendezések ellenállása

A lekotró eke és a ledobó kocsi tapasztalati úton meghatározott ellenállásait a hevederszélesség függvényében a 2.1.9. táblázatba foglaltuk.

2.1.9. táblázat

A lekotróeke és a ledobókocsi ellenállása [N]

Hevederszélesség mm	400-500	650-800	1000-1400	1600-2000
Lekotró eke	800	1500	3000	5000
Ledobó kocsi	1000	2000	4000	10000

A szállított anyag emelkedési ellenállása

Az emeléséhez szükséges erő:

$$F_7 = q_a h = \frac{Qgh}{v} \quad [\text{N}]$$

ahol:

- Q a szalag szállítóképessége [kg/s],
- g a nehézségi gyorsulás [m/s^2],
- h az emelés magassága [m],
- v a heveder sebessége [m/s].

Az összes ellenállás

Az ellenállásokat összegezve megkapjuk azt a kerületi erőt, ami a vonóelem mozgatásához szükséges:

$$F = \sum_{i=1}^7 F_i \quad [\text{N}].$$

A hajtás teljesítményszükséglete:

$$P = \frac{Fv}{1000\eta} \quad [\text{kW}],$$

ahol: η a hajtószerkezet hatásfoka.

2.1.4. A heveder hajtása és kiválasztása

A hajtás lehet egy vagy többdobos. Az egydobos hajtással átvihető kerületi erő (2.1.8/a ábra):

$$F = T_1 - T_2,$$

ahol:

- T_1 a hajtódobra való felfutás helyén a hevederben ébredő erő,
- T_2 a hajtódobról való felfutás helyén a hevederben ébredő erő.

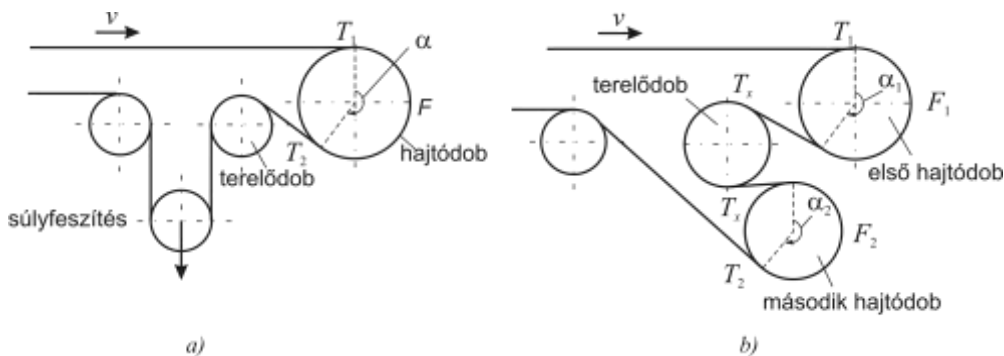
A jól ismert $T_1 = T_2 e^{\mu\alpha}$ összefüggést helyettesítve az

$$F = T_2(e^{\mu\alpha} - 1)$$

ahol:

μ a súrlódási tényező,

α a heveder dombra való felfutási és lefutási pontjai között mérhető kerületi szög, amit átfogási szögnek neveznek.



2.1.8. ábra: Egy- és két-dobos hajtás vázlata

a) egydobos hajtás, b) két-dobos hajtás

Az F kerületi erő átviteléhez a lefutó ágba

$$T_2 = \frac{F}{(e^{\mu\alpha} - 1)} = rF \quad [\text{N}]$$

nagyságú erőt kell előfeszítéssel biztosítani, ahol. $r = 1/(e^{\mu\alpha} - 1)$ a hajtástényező.

A hajtástényező értéke a hajtódob és a heveder anyagától, valamint az üzemi viszonyoktól függően 0,15...3,25 között változik.

2.1.10. táblázat

A gumiheveder és a hajtódob közötti súrlódási tényező

Hajtódob felületének anyaga	A dob felülete üzem közben		
	nedves v. erősen poros	nyirkos v. kissé poros	száraz
Simán esztergált acél	0,10-0,15	0,15-0,20	0,30
Alumínium	0,15-0,20	0,25-0,30	0,40
Fával bevont	0,10-0,15	0,20-0,25	0,35
Szövettel vagy gumival bevont	0,15-0,20	0,20-0,30	0,40
Hornyolt gumibevonatú	0,30-0,35	0,35-0,40	0,50
Kerámiai bevonatú	0,35-0,40	0,40-0,45	0,55

Az átvihető kerületi erő a fentiek szerint a súrlódási tényezőnek, az átfogási szögnek és az előfeszítő erőnek a növelésével fokozható. A súrlódási tényezőt a hajtódob felületének bevonásával javíthatjuk (2.1.10. táblázat). Az átfogási szög egydobos hajtásnál csekély mértékben ($\approx 240^\circ$ -ig) növelhető terelődob, vagy a visszaterelő-dobnál nagyobb átmérőjű hajtódob alkalmazásával. Ennél nagyobb átfogási szög többdobos hajtással érhető el.

A **kétdobos hajtás** vázlatát a 2.1.8/b ábrán látható. Az ábra szerinti elrendezésnél a második dob tiszta heveder felülettel érintkezik. A kétdobos hajtásnál az egyes dobok különböző nagyságú kerületi erőt visznek át ($F_1 \neq F_2$). Ha a kerületi erőre felírt összefüggést értelemszerűen alkalmazzuk, akkor az első hajtódobnál az

$$F_1 = T_x (e^{\mu \alpha_1} - 1),$$

a második hajtódobnál pedig az

$$F_2 = T_2 (e^{\mu \alpha_2} - 1),$$

ahol: T_x az első hajtódob lefutó és a második hajtódob felfutó ágában ébredő erő (2.1.8/b ábra).

Az összes átvihető kerületi erő:

$$F = F_1 + F_2.$$

Az előző eredményeket helyettesítve:

$$F = T_x (e^{\mu \alpha_1} - 1) + T_2 (e^{\mu \alpha_2} - 1).$$

Mivel $T_x = T_2 e^{\mu \alpha_2}$, az

$$F = T_2 e^{\mu(\alpha_1 + \alpha_2)} - T_2 e^{\mu \alpha_2} + T_2 e^{\mu \alpha_2} - T_2 = T_2 (e^{\mu(\alpha_1 + \alpha_2)} - 1),$$

vagyis az átfogási szög $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ -re növekszik.

A két dobos hajtásnál a kerületi erők különbsége miatt a hevederek megnyúlása is különböző, amit úgy kompenzálnak, hogy a dobok átmérőjét, a nyúlásdifferenciának megfelelően, különböző méretűre választják. Nagyobb kerületi erő különbségeket bolygómuves hajtóművel egyenlítik ki. A probléma úgy is megoldható, hogy a hajtódobokat egymástól távol helyezik el, és egymástól független, de teljesen azonos motorral és hajtóművel hajtják meg. Ekkor az átvihető kerületi erő kismértékben csökken, mivel

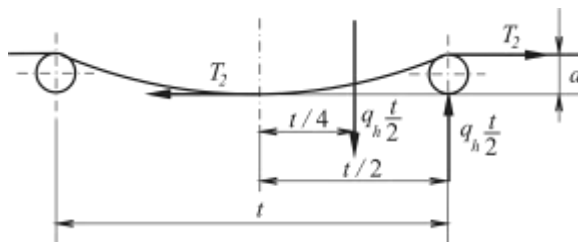
$$F' = 2T_2 (e^{\mu \alpha} - 1) < T_2 (e^{2\mu \alpha} - 1),$$

ahol: $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$.

A hevedert terhelő legnagyobb húzóerő

A hevederben a legnagyobb húzóerő a hajtódobra felfutó hevederágban a felfutás helyén ébred. Ennek nagysága az előzőek alapján:

$$T_{\max} = T_1 = F + T_2 \text{ [N]}.$$



2.1.9. ábra: Heveder belógás az alsó ágban

A T_2 -nek, amint azt már jeleztük, egyrészt a kerületi erő átvitelét kell biztosítani, másrészt meg kell akadályoznia a lefutó alsó ágban a heveder káros mértékű belógását. A két szalaggörgő között a belógás a következő gondolatmenet szerint számítható. Az alsó ágban (2.1.9. ábra) a megoszló terhelés q_h , a görgőosztás t , a

heveder belógása pedig a . A legnagyobb belógás helyére felírható nyomatéki egyenlet:

$$-\frac{q_h t^2}{8} + \frac{q_h t^2}{4} T_2 a = 0,$$

amelyből a

$$T_2 = \frac{q_h t^2}{8a}.$$

2.1.11. táblázat

A görgős alátámasztások osztástávolsága

Heveder szélesség [mm]	Osztás a szállító ágban [mm]		Osztás az alsó ágban [mm]
	$\rho_h \leq 1,2 \text{ t/m}^3$	$\rho_h > 1,2 \text{ t/m}^3$	
400	1300-1600		3400-4000
500	1200-1500	1100-1350	3200-3800
650	1100-1400	1000-1250	3000-3600
800	1000-1300	900-1100	2800-3400
1000	1000-1200	800-1000	2600-3200
1200	1000-1200	800-1000	2400-3000
1400	1000-1200	800-1000	2400-3000

Az egyenes vonalvezetésű szállítószalagoknál a görgős alátámasztások egymástól mért távolsága a szállító és az alsó ágban 2.1.11. táblázat szerinti. Az anyagfeladás helyén az alátámasztások osztása kisebb (400...600 mm).

A táblázatban javasolt legnagyobb osztás az alsó ágban $t=4 \text{ m}$, a belógás megengedett értéke pedig $a=0,02 \text{ t}$. Ezeket helyettesítve, megkapjuk a szabványban a súlyfeszítés esetére közölt összefüggést:

$$T_2 = 25q_h.$$

Csavarorsós feszítésre a fenti érték 1,2-szeresét javasolják:

$$T_2 = 30q_h.$$

A legnagyobb húzóerő tehát, ha az

$$rF \geq \frac{q_h t^2}{8a},$$

akkor a

$$T_{\max} = F + rF = F(1+r),$$

különben a

$$T_{\max} = F + \frac{q_h t^2}{8a}.$$

A heveder kiválasztása

A gumihevederek szilárdsági méretezése rendkívül nehéz, ezért csak mérésekre alapozott közelítő számításokra van lehetőség. A legtöbb előírás a hevederben ébredő legnagyobb húzóerőt és a dobbon való hajlítást veszi figyelembe. Az *MI 8634* szerint a szükséges betétszám:

$$z = \frac{10n T_{\max}}{K_z B},$$

ahol:

$T_{\max}$ a hevederben ébredő legnagyobb húzóerő [N],

B a heveder szélessége [mm],

n biztonsági tényező,

K_z a hevederbetét szakítószilárdsága [N/cm].

2.1.12. táblázat

A különböző hevedertípusok szakítószilárdsága

Fajlagos szakítószilárdság zK_z [N/cm]	Betétszám					
	B 63	R1 25	EP 125	R 160	EP 160	EP 200
	betéttípus					
1000	2					
1250	2					
1600	3					
2000		2	2			
2500	4	2	2			
3150	5	3	3	2	2	
4000		4	4	3	3	2
5000		4	4			3
6300		5	5	4	4	3
8000				5	5	4
10000						5
12500						5

Az n biztonsági tényező értéke a betét minőségétől és az igénybevétel körülményeitől függően 6-10,

A heveder kiválasztáshoz rendezzük át az előző összefüggést:

$$zK_z = 10n \frac{T_{\max}}{B}.$$

A heveder típusát és betétszámát a 2.1.12. táblázatból a zK_z szorzat alapján választhatjuk ki. (Megjegyezzük: szállítószalagok hevedereinél 4-nél több betétet nem célszerű alkalmazni, mert a nagyobb betétszám merevebb, nehezen hajlítható hevedert eredményez.)

A dobbon fellépő hajlító igénybevételt a dobátmérő helyes megválasztásával korlátozzuk. Ha húzásra a heveder kevésbé kihasznált, akkor csökkenthető a dobok átmérője, vagyis növelhető a hajlító igénybevétel.

A heveder kihasználási foka:

$$0,3 \leq \frac{10n}{zK_z} \frac{T_{\max}}{B} \leq 0,8,$$

amit célszerű 0,3 és 0,8 között tartani. Ha a kihasználási fok nagyobb mint 0,8, akkor a heveder húzásra erősen kihasználtság; 0,8...0,6 értéknél közepes, 0,6-nál kisebb esetben gyengén kihasználtnak minősíthető. A dobátmérők a kihasználási fok és a hevederminőség és a betétszám függvényében a 2.1.13. táblázatból választhatók ki.

2.1.13. táblázat

Hajtó-, feszítő- és terelődobok átmérője [mm] a heveder minősége és kihasználtsága függvényében

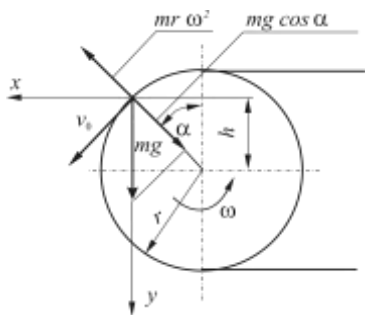
Dob jellege	Kihasználtság %	Heveder típusa	Betétszám			
			2	3	4	5
Hajtó és feszítő-dob	60-100	B63, EP125	250	400	500	630
		EP160, EP200, R125, R 160	315	500	630	800
		R250	500	800	1000	1250
	30- 60	B63, EP125	200	315	400	500
		EP160, EP200, R125, R160	250	400	500	630
		R250	400	630	800	1000
	0- 30	B63, EP125	160	250	315	400
		EP160, EP200, R125, R160	200	315	400	500
		R250	315	500	630	800
Terelő-dob	60-100	B63, EP125	160	250	315	400
		EP160, EP200, R125, R 160	200	315	400	500
		R250	315	500	630	800
	30- 60	B63, EP125	125	200	250	315
		EP160, EP200, R125, R160	160	250	315	400
		R250	250	400	500	630
	0- 30	B63, EP125	100	160	200	250
		EP160, EP200, R125, R160	125	200	250	315
		R250	200	315	400	500

2.1.5. Az anyag leválása a hevederről

A ledobó dobát elhagyó anyag részecske kezdeti sebessége megegyezik a heveder sebességével (v_0), ezt követően a ferde hajítás törvénye szerint parabola pályán mozog. A leválás helye a 2.1.10. ábra alapján egyszerűen számítható.

A leválás pillanatában a normális irányú erő 0, ekkor az

$$mg \cos \alpha = m r \omega^2 = m \frac{v_0^2}{r},$$



2.1.10. ábra: Az anyag leválása a hevederről

amelyből a leválás helyét jellemző szög:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{v_0^2}{rg}\right).$$

A leválás magassága pedig a dob közép-pontjától számítva:

$$h = r \cos \alpha.$$

Az anyag részecske pályája:

$$x = v_0 t \cos \alpha, \quad y = v_0 t \sin \alpha + \frac{gt^2}{2},$$

vagy a t időt kiküszöbölve, az

$$y = x \tan \alpha + \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2.$$

2.2. CSUKLÓTAGOS SZÁLLÍTÓSZALAGOK

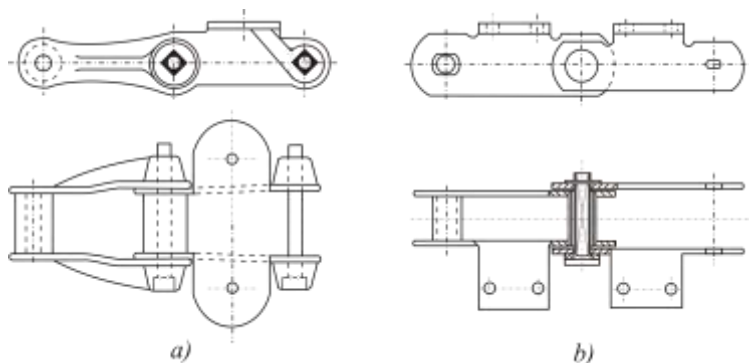
A csuklótagos szállítoszalagok ömlesztett vagy darabos árut szállíthatnak vízszintes vagy ferde irányban. A szállítóelemek egymáshoz tompán vagy átlapoltan illeszkedő lemezek, serlegek, szekrények. A vonóelem pedig egy soros vagy két párhuzamosan vezetett végtelenített lánc. A szállítóelemek a lánchevederekre vagy a párhuzamosan futó láncokat összekötő csapokra erősítettek. Szállítóképességük felső határa 100...150 t/h. A szállítóelemek kialakítása szerint megkülönböztetünk sík, vályús és szekrényes csuklótagos szállítoszalagokat.

A csuklótagos szállítoszalagokat darabáruk és nehéz, darabos, erősen koptató hatású, magas hőmérsékletű anyagokállítására használják, általában ott, ahol a hevederes szállítoszalagok nem viselnék el a különleges igénybevételt.

Vonalvezetésük lényegében azonos a hevederes szállítoszalagokéval, de a serleges és a szekrényes szállítóelemekkel 35...50°-os hajlásszögben is lehet szállítani. További előnyös tulajdonságuk, hogy megfelelő kialakítás és szükség esetén önállóan is tudnak anyagot felvenni. Ezzel szemben a bonyolultabb szerkezet és a nagyobb súly miatt beszerzési költségük a hevederes szállítoszalagokénál magasabb. A csuklós kapcsolatokból adódóan a hajtásukhoz szükséges teljesítmény nagyobb.

2.2.1. A csuklótagos szállítoszalagok szerkezeti kialakítása

Vonóelemként rendszerint szétszedhető görgősláncokat, vagy nehezebb üzemben hevederes láncokat alkalmaznak (2.2.1. ábra). Serleges szalagokhoz gyakran szemesláncot is használnak. A láncosztás $t=100\ldots400$ mm, a lánc ágak száma lehet egy vagy kettő. A kétsoros láncok pontos együtt futását közös átmenőcsappal biztosítják.

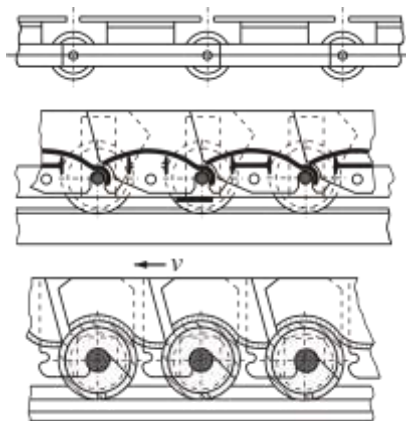


2.2.1. ábra: Láncok a csuklótagos szállítoszalagokhoz
a) acélsapos lánc, b) hevederes lánc

A csuklótagok legtöbbször futógörgőkkel támaszkodnak a szalagvázhoz erősített vezetősínre, de vannak olyan csuklótagos szállítoszalagok is, amelyeknél a tago-

kat görgők támasztják alá, vagy a hevederes vonólánc keresztkötései vezetősínben csúsznak.

A szállítóelem formája a szállított anyagtól függ. A sima síklemezes elemet darabáruhoz, a sima átlapolt lemezest, a vályús átlapolt lemezest és a szekrényest ömlesztett anyagokhoz használják.



2.2.2. ábra: Sík és vályús csuklótagos szalagok

A lapokat legtöbbször fából, acéllemezből vagy műanyagból készítik (2.2.2. ábra), és a vonóelemhez csavarral, szegeccsel esetleg hegesztéssel rögzítik. Az anyag lecsúszását gyakran a hevederes szállítószalagoknál is alkalmazott terelőpalánkkal akadályozzák meg.

A vályús, átlapolt lemezes csuklótagok acéllemezből készülnek (2.2.2. ábra), és csak egyirányú szállításra alkalmasak. Az előírt szállítási iránytól való eltérés esetén az anyag a

lemezek közé szorulhat, ami deformációt okozhat.

A csuklótagos szállítószalagokat hajtóművön keresztül villamos motorral hajtják meg. A hajtómű gyakran fokozat nélküli, ami lehetővé teszi a szállítási sebesség szabályozását. A hajtóművet és a villamos motort rugalmas tengelykapcsolóval kötik össze.

A hajtónyomatékot a vonóelemre, a vonóláncnak megfelelő kialakítású, egy vagy két lánckerék viszi át. Az üzem közben megnyúló láncok állandó mértékű előfeszítését speciális feszítőszerkezet biztosítja. Ha két lánc ág van, akkor az egyik lánckerék a feszítőszerkezet tengelyéhez rögzített terelőkerék, a másik pedig szabadon fut, annak érdekében, hogy beállhasson a láncsukló mindenkori helyzetének megfelelően. Ezt a megoldást az ágankénti különböző láncnyúlások is szükségessé teszik.

2.2.2. A csuklótagos szállítószalagok tervezése

A síklapos és a vályús szalagok szállítóképessége

$$Q = 3,6 A \rho_h v c_1 c_2 \quad [\text{t/h}],$$

ahol:

A a szállítóelemre felrakható anyagkeresztmetszet területe [m^2],

ρ_h a szállított anyag halmazsűrűsége [kg/m^3],

v a vonóelem sebessége [m/s],

c_1 és c_2 teljesítménycsökkentő tényezők.

A c_1 teljesítménycsökkentési tényező a szállítási szög függvénye (2.2.1. táblázat).

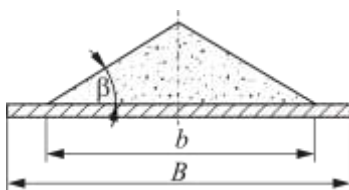
A c_2 a feladás módjától függ, értékeit lásd a hevederes szállítoszalagoknál.

2.2.1. táblázat

A c_1 teljesítménycsökkentési tényező értékei

Szállítás szöge	Sima síkszalag	Vályús szalag
10°	1,0	1,0
10°...20°	0,9	0,95
20° felett	0,85	0,9

A szállítási keresztmetszet



2.2.3 ábra: Síkszalag

Sík szalagnál:

$$A = \left(\frac{b}{2}\right)^2 \operatorname{tg} \beta \quad [\text{m}^2],$$

ahol: $b = 0,85 B$, $\beta = \varphi_0/3$, (φ_0 az anyag rézsűszöge).

Vályús és terelőpalánkkal ellátott szalagnál:

$$A = Bh + \frac{1}{2}B\frac{B}{2}\operatorname{tg} \beta = B\left(h + \frac{1}{4}B\operatorname{tg} \beta\right) \quad [\text{m}^2],$$

ahol $h \approx (0,65 \dots 0,75)H$, $\beta = \varphi_0/3$.

Durvaszemcsés anyagnál:

$$A = BH\phi \quad [\text{m}^2],$$

ahol ϕ a töltési tényező $\approx 0,8 \dots 0,85$.

A minimális szalagszélességet a d_k szemcseméret függvényében a következő összefüggéssel számíthatjuk:

$$B = (1,7 \dots 2,7)d_k + 200 \quad [\text{mm}].$$

A szokásos szalagszélesség 300...1600 mm.

Szekrényes szalagok szállítóképessége

$$Q = 3,6 \frac{V_1}{l} \rho_h v \quad [\text{t/h}],$$

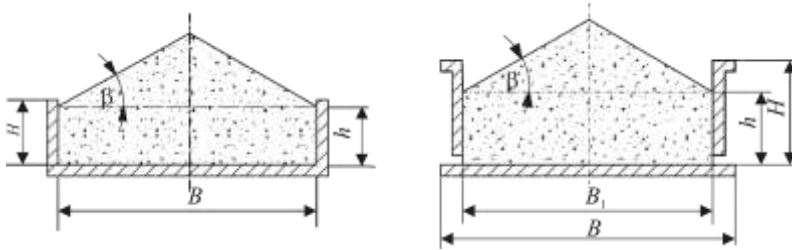
ahol:

V_1 a szekrény térfogata $[\text{m}^3]$,

l a szekrény hosszúsága $[\text{m}]$,

ρ_h a szállított anyag halmazsűrűsége $[\text{kg/m}^3]$,

v a vonóelem sebessége [m/s].



2.2.4. ábra: Vályús és terelőpalánkkal ellátott szalag

A hajtás teljesítményszükséglete

A teljesítményszükséglet ismert kerületi erő F_k esetén:

$$P = \frac{F_k v}{1000 \eta} [\text{kW}].$$

A kerületi erőt a hevederes szállítószalagoknál követett eljárással számíthatjuk. Ennek részletes leírása az irodalomban [64] megtalálható.

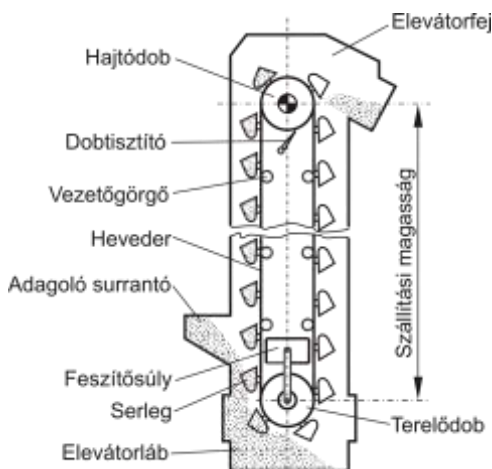
2.3. SERLEGES ELEVÁTOROK

Az ömlesztett anyagok függőleges szállítására alkalmas elevátorok szállítóeleme a serleg, vonóeleme pedig végtelenített heveder vagy lánc. A hajtást és visszatere-
lést dobok vagy lánckerekek végzik.

Az elevátorok a legkülönbözőbb anyagok (gabona, liszt, cement, homok, vegyi anyagok stb.) függőleges, néha ferde szállítására használhatók, ezért a mezőgaz-
daságban, élelmiszeriparban, építőiparban, vegyiparban egyaránt elterjedtek. Nagy emelési magasság érhető el velük kis helyszükséglet mellett. Szerkezeti ma-
gasságukat csak a vonóelem terhelhetősége korlátozza. Szokásos szállítóképessé-
gük 5...150 m³/h, szállítási magasságuk 25...90 m.

2.3.1. Az elevátorok szerkezeti felépítése

Vonó- és szállító elemek



2.3.1. ábra: A serleges elevátor szerkezeti kialakí-
tása

Az elevátorok szerkezeti egységeit a 2.3.1. ábra szemlélteti. A surrantón át az elevátorlábba, vagy közvetlen a serlegekbe adagolt anyagot a vonó-
elemhez rögzített serleg az elevá-
torfejben ágyazott hajtódobig emelik,
majd azon átbillentve a serleg a
gravitációs és a centrifugális erő hatá-
sára ürülnek. Az anyag az elevátorfej
ürítőnyílásánál hagyja el az elevátort.

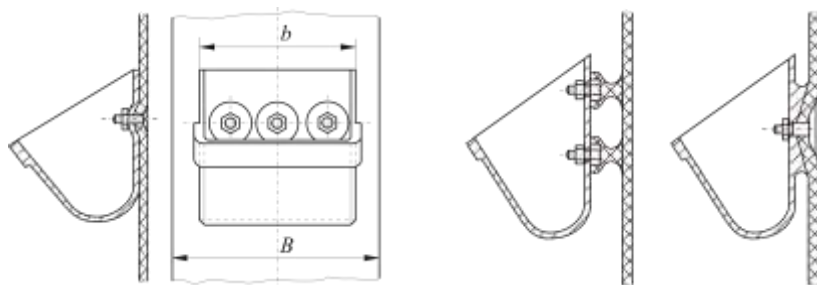
A függőleges elevátorok rendszerint teljesen zárt házban működnek, amely
együttal a gép tartószerkezetét is ké-
pezi. A burkolat három részre: elevá-
torfejre, elevátorlábba és a közbenső
burkolatra osztható (2.3.1. ábra).

A **vonóelemek** szövethétes gumihevederek vagy láncok. A **hevedereket** na-
gyobb ($v=1...5$ m/s) sebességekhez, kis és közepes szállítási teljesítményhez
(5...70 m³/h), 30 m szállítási magasságig használják. A serlegeket speciális csava-
rokkal vagy vulkanizálással erősítik a hevederhez. A csavarok sülyesztett fejűek,
így a heveder futását nem akadályozzák (2.3.2. ábra).

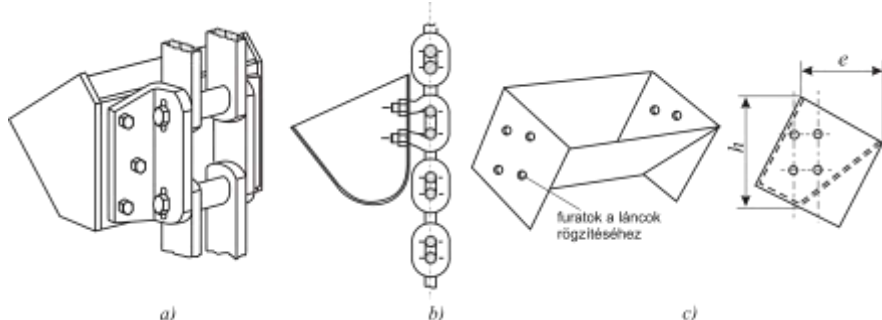
A szükséges heveder szélesség:

$$B=b+(30...100) \text{ mm},$$

ahol b a serleg szélessége. A gumiheveder méretezésére a hevederes szállítószala-
goknál közöltek érvényesek. A legkisebb betétszám $z_{\min}=4$. A furatok okozta
gyengítést pótbetéttel ellensúlyozzák.

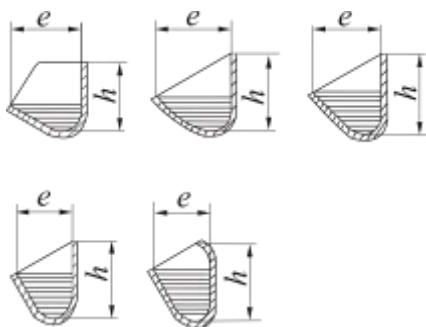


2.3.2. ábra: Serlegek rögzítése hevederre



2.3.3. ábra: Serlegek rögzítése láncra

A **láncokat** kisebb sebességhez ($v=0,3\ldots1,2$ m/s), nagy szállítási teljesítményhez ($150\text{ m}^3/\text{h}$ -ig) és magassághoz (90 m-ig) alkalmazzák. A serlegeket szögvasból kialakított elemmel és csavarokkal, esetleg szegeccsel erősítik a lánchoz. Általában csapos hevederes (2.3.3/a ábra) vagy szemes (2.3.3/b ábra) láncot használnak. A 2.3.3/c ábra szuper kapacitású elevátorhoz ($600\ldots1000\text{ t/h}$) kifejlesztett serleget mutat, amelynél a láncokat nem a serlegek hátoldalához, hanem az oldalfalaihoz rögzítik.



2.3.4. ábra: Serlegalakok

A serlegek öntött, hegesztett kivitelben készülnek. Az öntött változatok anyaga temperöntvény, ötvöztött alumínium vagy acélöntvény lehet. A hegesztett kivitelűek anyaga 1...8 mm vastagságú acéllemez. Az élelmiszeripar számára zománcozott, horganyzott, műanyag és gumi bevonatú serlegek is készülnek. Kistérfogatsúlyú, agresszív anyagokhoz pedig műanyag vagy gumi serlegek is használatosak. Néhány serlegtípusra vonatkozó méret és úrtartalom a 2.3.1.-2.3.5. táblázatokban [71] található.

A **serlegek** anyaga, alakja és mérete a szállított anyagok sokféleségének megfelelően változatos (2.3.4. ábra). A serlegek alakját, méretét a szállítóképesség, a szállítási sebesség, az ürítés módja és az anyag tulajdonságai szabják meg. A mély serlegek száraz és könnyen ömlő, a lapos serlegek nedves, tapadós anyagok továbbítására alkalmasak. A darabos anyagok szállításakor fellépő igénybevételnek a vastagabb falú, hegyes serlegek felelnek meg.

2.3.1. táblázat

Lapos serlegek könnyű anyagokhoz (pl. liszt, dara)

Szélesség b	Kinyúlás e	Mélység h	Egy serleg tömege [kg], ha a falvastagság mm-ben						Serleg űrtartalom [l]
[mm]			0,88	1	1,5	2	3	4	
80	75	67	0,13	0,15					0,10
100	90	80	0,20	0,22	0,33				0,16
125	106	95	0,28	0,32	0,48	0,64			0,28
160	125	112		0,48	0,70	0,96			0,50
200	140	125		0,65	0,95	1,30	1,90		0,80
250	160	140		0,86	1,30	1,75	2,60		1,25
315	180	160			1,80	2,40	3,60	4,80	2,00
400	200	180				3,25	4,90	6,50	3,15
500	224	200					6,60	8,80	5,00

2.3.2. táblázat

Lapos serlegek szemcsés anyagokhoz (pl. gabona)

Szélesség b	Kinyúlás e	Mélység h	Egy serleg tömege [kg], ha a falvastagság mm-ben						Serleg űrtartalom [l]
[mm]			0,88	1	1,5	2	3	4	
80	75	80	0,14	0,16					0,17
100	90	95	0,21	0,24	0,36				0,30
125	106	112	0,30	0,34	0,51	0,68			0,53
160	125	132		0,50	0,75	1,00			0,90
200	140	150		0,68	1,02	1,40	2,10		1,40
250	160	170		0,94	1,40	1,90	2,80		2,24
315	180	190			1,95	2,60	3,85	5,20	3,55
400	200	212				3,55	5,30	7,10	5,60
500	224	236					7,20	9,60	9,00

2.3.3. táblázat

Középmély serlegek tapadós anyagokhoz (pl. cukor)

Szélesség b	Kinyúlás e	Mélység h	Egy serleg tömege [kg], ha a falvastagság mm-ben						Serleg űrtartalom [l]
[mm]			2	3	4	5	6	8	
160	140	160	1,23	1,86					0,95
200	160	180	1,66	2,57	3,46				1,50
250	180	200	2,24	3,63	4,48				2,36
315	200	224		4,56	6,08	7,85			3,75
400	224	250		6,06	8,15	10,30			6,00
500	250	280			11,50	14,40	17,30		9,50
630	280	315			16,10	20,20	24,30		15,00
800	315	355				27,50	33,30	44,30	23,60
1000	355	400				38,20	46,00	61,20	37,50

2.3.4. táblázat

Síkhátlapú mély serlegek nehéz, porszerű anyagokhoz
(pl. homok, cement, szénpor)

Szélesség b	Kinyúlás e	Mélység h	Egy serleg tömege [kg], ha a falvastagság mm-ben						Serleg űrtartalom [l]
			2	3	4	5	6	8	
	[mm]								
160	125	160	1,17	1,78					1,20
160	140	180	1,38	2,08					1,50
200	140	180	1,59	2,41	3,24				190
200	160	200	1,85	2,80	3,76				2,36
250	160	200	2,15	3,26	4,37				3,00
250	180	224	2,49	3,77	4,96				3,75
315	180	224		4,44	5,95	7,72			4,75
315	200	250		5,09	6,82	8,59			6,00
400	224	280		7,03	9,40	11,80			9,50
500	250	315			12,80	16,10	19,40		15,00
630	280	355			17,60	22,10	26,60		23,60
800	315	400				30,60	36,90	49,60	37,50
1000	355	450				4200	50,30	67,00	60,00

2.3.5. táblázat

Görbe hátlapú mély serlegek könnyen folyó vagy guruló anyagokhoz (pl. pernye,
burgonya)

Szélesség b	Kinyúlás e	Mélység h	Egy serleg tömege [kg], ha a falvastagság mm-ben						Serleg űrtartalom [l]
			2	3	4	5	6	8	
	[mm]								
160	140	200	1,51	2,228					1,50
200	160	224	2,04	3,07	4,15				2,36
250	180	250	2,74	4,14	6,56				3,75
315	200	280		5,59	7,41	9,46			6,00
400	224	315		7,72	10,40	13,00			9,50
500	250	355			14,10	17,70	21,40		15,00
630	280	400			1920	24,10	29,00		23,60
800	315	450				32,50	39,30	52,50	37,50
1000	355	500				44,50	53,50	71,20	60,00

Hajtó- és feszítő szerkezetek

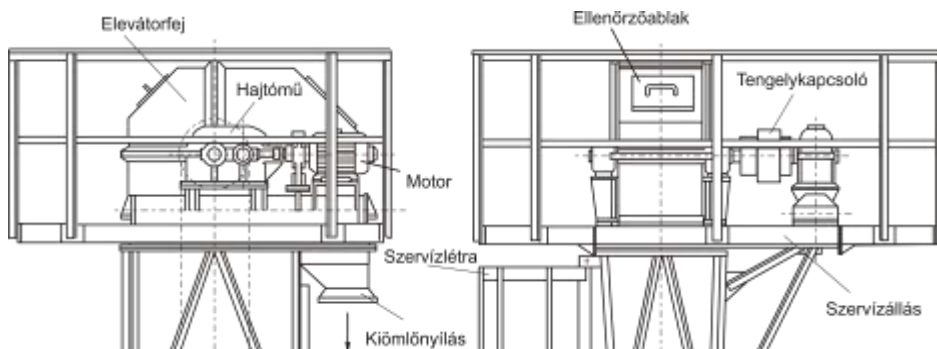
Az elevátorhajtás főbb egységei: a villamos motor, a tengelykapcsoló, a hajtómű, a visszafutás-gátló és a hajtódob vagy a lánckerékpár (2.3.5. ábra). Az elevátorok általában fejhajtásúak. A hajtódob átmérőjét közelítőleg a következő tapasztalati összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$D=(100...150)z,$$

ahol:

- D a dobátmérő [mm],
 z a heveder betétszáma.

A használatos dobátmérők: 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 mm. Láncos elevátoroknál a hajtó lánckerekek fordulatszáma 5...75 f/min.



2.3.5. ábra: Elevátorok hajtószerkezete

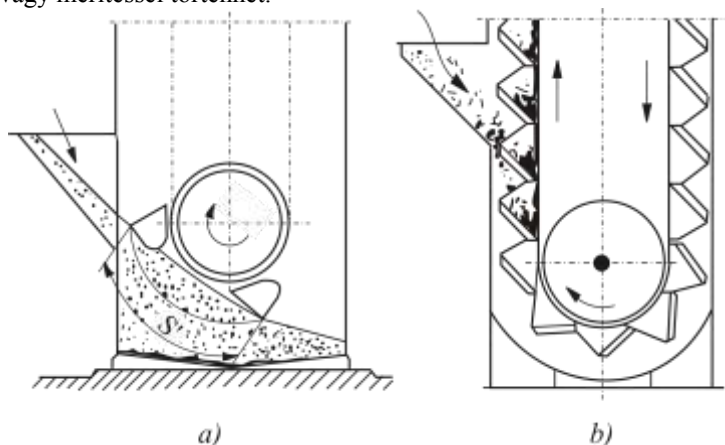
Nagyobb szállítóképességű elevátoroknál gyakran hidrodinamikus tengelykapcsoló könnyíti az indítást, a túlterhelés pedig csúszó tengelykapcsolóval akadályozható meg. A serlegek visszafutását a hajtódobba beépített visszafutás-gátló akadályozza meg, ami lehet kilincsműves vagy görgőzáras szerkezet, esetleg elektromágneses fék is.

A feszítőszerkezet a visszaterelő-dob csapágyazásához kapcsolódik, és az elevátor burkolatához vagy vázához erősített. Legtöbbször csavarorsós feszítőszerkezetet használnak 200...500 mm feszítési úttal.

2.3.2. Az elevátorok töltése és ürítése

A serlegek töltése

Az ömlesztett anyagot surrantóval vezetik az elevátor lábrészéhez. A surrantó 30...45°-os szögben hajlik a függőlegeshez. A serlegek töltése közvetlen adagálással vagy merítéssel történhet.



2.3.6. ábra: Serlegek töltése

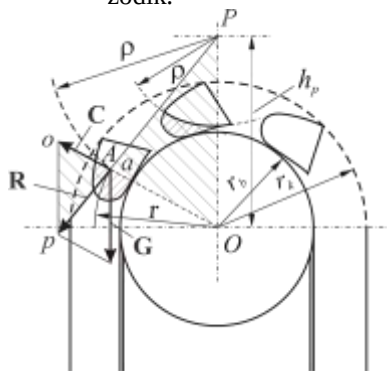
a) merítés; b) közvetlen töltés

Merítésnél az elevátor lábrészébe vezetett anyag felhalmozódik, és az átforduló serlegek ebbe belemerülve töltődnek (2.3.6/a ábra). Ez a módszer porszerű, szemcsés és apró darabos anyagok felvételére egyaránt alkalmas. Hátrányos tulajdonsága, hogy bizonyos esetekben az elevátorlábban visszamaradó anyagot kezelni kell kiüríteni.

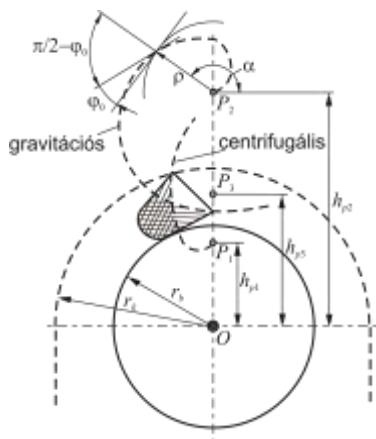
Közvetlen töltésnél a surrantón keresztül bevezetett anyag közvetlen a serlegekbe kerül (2.3.6/b ábra). A dinamikus hatások a serlegek mozgásirányával ellentétes irányú anyagáram sebességének helyes megválasztásával csökkenthetők, amit a surrantó elé épített adagolóval lehet elérni. Közvetlen módon csak a kis serlegosztású elevátorokat célszerű töltetni. Nagyobb serlegosztásnál ugyanis az anyag egy része az elevátorlábbba szóródik, és az átforduló serlegek maguk előtt tolják a le-szóródott anyagot addig, amíg valamelyik serleg fel nem kanalazza.

Serlegürítés

A hajtódobon átforduló serleg a centrifugális és a gravitációs erő hatására szabadon vagy irányítva ürülhet. Az ürítés módja nagymértékben függ a szállítóelem sebességétől. A serleg alakja, az elevátorfej kialakítása is az ürítési módhoz igazodik.



2.3.7. ábra: Serlegürítés



2.3.8. ábra: Az anyagfelszín alakulása a serlegben centrifugális és gravitációs ürítéskor

A serlegben elhelyezkedő anyagszemcsékre a G súlyerő és a C centrifugális erő hat (2.3.7. ábra). E két erő eredője (R) a dob függőleges szimmetriatengelyét a serleg bármely helyzetében ugyanabban a pontban, az ún. P póluspontban metszi.

A póluspont magassága az $APO\Delta$ és az $apo\Delta$ háromszögek hasonlósága alapján számítható:

$$\frac{h_p}{r} = \frac{|G|}{|C|} = \frac{mg}{mr\omega^2}, \text{ amelyből a}$$

$$h_p = \frac{mgr}{mr\omega^2} = \frac{g}{\omega^2} \quad [\text{m}].$$

A pólusmagasság tehát csak a dob szögsebességétől függ, és független a serleg, illetve a szemcsék a serlegben belüli helyzetétől.

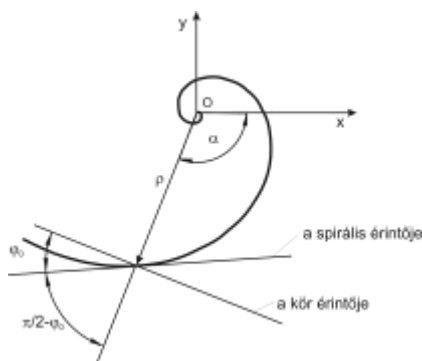
Az anyag felszíne a serlegben egy olyan logaritmikus spirális, amely a póluspontból indul ki, és érintői a póluspontból megrajzolt ρ sugarú körvek érintőivel az anyag természetes részsúszögének (φ_0) megfelelő szöget zárnak be (2.3.8. ábra). A logaritmikus spirális egyenlete poláris koordinátarendszerben:

$$\rho = ae^{k\alpha},$$

ahol a és k állandó, az α pedig a paraméter.

Mint az ismeretes, a logaritmikus spirális olyan görbe, amelynek érintői a pólusból induló félegyenesekkel ugyanakkora szöveget zárnak be (2.3.9. ábra). Ez a szög esetünkben $\pi/2 - \varphi_0$, és a k állandó értéke: $k = \text{ctg}(\pi/2 - \varphi_0)$.

A serlegben elhelyezkedő anyag mennyisége a spirálistól, a póluspont magasságától és a serleg helyzetétől függ. Az átfordulás folyamán az anyagfelszín és a töltési tényező állandóan változik a serleg teljes kiürüléskéig (2.3.8. ábra).



2.3.9. ábra: A logaritmikus spirális

Az anyag a póluspont helyétől függően a külső vagy a belső serlegélen csúszik ki, vagy pedig az élek érintése nélkül. Ezért szokás megkülönböztetni centrifugális, gravitációs és vegyes ürítést. **Centrifugális** ürítéskor az

$$r_b > h_p,$$

az anyagfelszínt meghatározó spirális a külső serlegélen megy át, és az anyag a külső élen repül ki, ($r_b = D/2$ a hajtódob sugara). **Gravitációs** ürítéskor az

$$r_k < h_p,$$

az anyagfelszínt a belső serlegélen átmenő spirális burkolja. Az anyag a belső élel érintve csúszik ki. **Vegyes** ürítéskor

$$r_b < h_p < r_k,$$

az anyagfelszín meghatározásához a serleg mindkét élére meg kell szerkeszteni a spirálisokat. Az anyag a serlegszájon át esik ki.

2.3.3. Serleges elevátorok tervezése

Az elevátorok tervezéséhez ismerni kell a kívánatos szállítóképességet (Q), a szállítás magasságát (H), a szállított anyagot és annak technológiai jellemzőit.

Szállítóképesség

A szakaszokra bontott anyagáram esetén a szállítóképesség:

$$Q = 3,6v \frac{V_s}{t_s} \rho_h \phi \quad [\text{t/h}],$$

ahol:

v	a vonóelem sebessége [m/s],
V_s	a serlegtérfogat [m ³],
t_s	a serlegosztás [m],
ρ_h	a szállított anyag halmazsűrűsége [kg/m ³],
ϕ	a töltési tényező ($\approx 0,5 \dots 0,9$).

Ha a vonóelem lánc, akkor a serlegosztás értelemszerűen a láncosztás egész számú többszöröse.

A **felhordó üzemelési és ürítési módját** a szállított anyag technológiai jellemzői alapján határozhatjuk meg. A száraz, szemcsés, szennyeződésmentes és nem tapadó anyagok szállításához centrifugális ürítést alkalmaznak és a póluspont magasságának szokásos értékei:

$$h_p = (0,35 \dots 0,8) D/2,$$

ahol: D a hajtódob átmérője.

Nagyobb nedvesség tartalmú, szennyezett szemcsés anyagok szállítására centrifugális és vegyes ürítés használható, amelyeknél a póluspont magassága:

$$h_p = (0,8 \dots 1,2) D/2.$$

2.3.6. táblázat

Hevederes vonóelemű serleges felhordóval szállított anyagok technológiai tulajdonságai

Szállított anyag			Töltési tényező ϕ	Serleg-alak	Ajánlott üzem és ürítési mód	Ajánlott max. szállítási sebesség v [m/s]
Jellemzői	Megnevezése	Halmaz-sűrűsége ρ_h [kg/m ³]				
Poros, Száraz	Szénpor	700	0,7	A	Gyorsjárású, centrifugális $h_p = (0,35 \dots 0,8) D/2$	2,7
	Cement	1200	0,8	A		2,5
	Liszt	500	0,9	B		3,5
Apró szemcsés, nyirkos, tapadós	Föld	1700	0,7	B	Gyorsjárású, centrifugális v. vegyes $h_p = (0,8 \dots 1,2) D/2$	2,4
	Homok(nedv.)	2100	0,4	B		2,5
	Homok(szár.)	1600	0,7	A		2,5
	Cukor	700	0,8	B		2,7
	Konyhasó	800	0,8	B		2,5
	Szuperfoszfát	800	0,8	B		2,5
Szemcsés, kis darabos, alig koptató ($w < 60$ mm)	Árpa	650	0,7	B	Gyorsjárású, centrifugális $h_p = (0,35 \dots 0,8) D/2$	3,0
	Búza	750	0,7	B		3,0
	Zab	550	0,8	B		3,0
	Kukorica	700	0,7	B		3,0
	Köles	700	0,8	B		3,0
	Rozs	700	0,8	B		3,0
	Hüvelyesek (fejtve)	850	0,7	B		2,8
Szemcsés, kis darabos erősen koptató ($w < 60$ mm)	Kőzúzalék	1600	0,8	D	Lassú járású, gravitációs $h_p = (1,2 \dots 1,7) D/2$	0,8
	Vasérc	2100	0,8	D		0,8
	Salak (kazán)	1400	0,6	D		1,0
	Kavics(nedv.)	2000	0,7	A	Gyorsjárású, centrifugális v. vegyes $h_p = (0,8 \dots 1,2) D/2$	2,0
	Kavics(szár.)	1700	0,7	A		2,0
	Hamu (kazán)	900	0,8	A		2,0
Közepes és nagy darabos alig koptató ($w > 60$ mm)	Répa	650	0,5	A	Gyorsjárású, centrifugális $h_p = (0,35 \dots 0,8) D/2$	2,0
	Burgonya	750	0,6	A		2,0

A - mély serleg, B - lapos serleg, D – éles-szögű serleg

Nedves, rosszul üríthető vagy kisdarabos erősen koptató anyagok szállításakor célszerű vegyes és gravitációs ürítést választani. Ezeknél a póluspont magassága:

$$h_p = (1,2 \dots 1,7) D/2.$$

A tervezéshez segítséget nyújtanak a 2.3.6. és a 2.3.7. *táblázatok*, amelyek néhány anyagra és tervezési tapasztalatra vonatkozó értékeket tartalmaznak. A 2.3.10.

ábra a hevedersebesség változását szemlélteti a dobátmérő függvényében különböző póluspont magasságoknál.

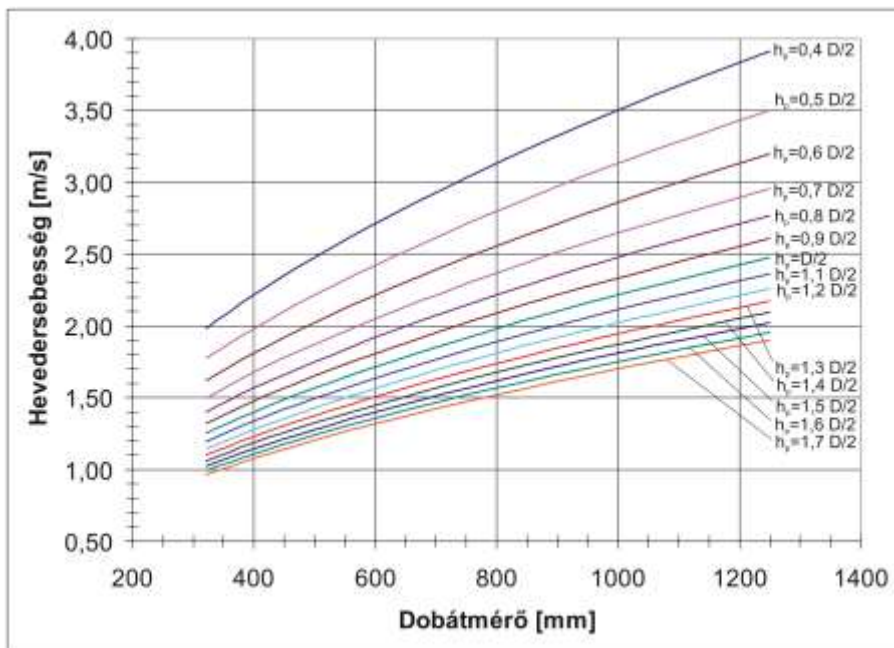
2.3.7. táblázat

Elevátorral szállított anyagok jellemző tulajdonságai

Szállított anyag	Halmazsűrűség [kg/m ³]	Töltési tényező	Ajánlott maximális szállítási sebesség [m/s]	Szállított anyag	Halmazsűrűség [kg/m ³]	Töltési tényező	Ajánlott maximális szállítási sebesség [m/s]
Agyag	2000	0,7	1,8	Homok, nedves	2100	0,4	2,5
Agyag, nedves	2000	0,4	1,8	Homok, száraz	1600	0,7	2,5
Agyag, száraz	1600	0,7	2,0	Hüvelyes termékek	850	0,7	2,9
Barnaszén	700	0,5	1,9	Kavics, nedves	2000	0,7	2,5
Bazalt	3000	0,5	1,0	Kavics száraz	1700	0,7	2,5
Bazaltláva	2800	0,5	1,2	Köles	700	0,8	3,0
Brikett	1000	0,5	1,8	Liszt	500	0,9	3,5
Burgonya	750	0,6	2,0	Maláta	550	0,7	3,0
Búza	750	0,7	3,0	Márvány	2700	0,5	1,2
Cement	1200	0,8	2,5	Mész	900	0,8	2,5
Cukor	700	0,8	2,7	Mészcement	2000	0,7	2,0
Cukorrépaszelet	300	0,7	3,0	Mészhabarcs	1700	0,7	2,0
Darabos szén	900	0,5	1,5	Mészke	2600	0,5	1,2
Égetett mész	2600	0,7	1,4	Nádliszt	1000	0,8	3,5
Faszén	300	0,6	2,5	Nagyolvasztó salak	1500	0,5	2,0
Finomszén	800	0,8	2,6	Nagyolv. salakhomok	700	0,8	2,7
Formahomok	1200	0,8	2,5	Pala	2700	0,5	1,2
Föld	1700	0,7	2,4	Pernye	1000	0,8	2,8
Fűrészforgács	250	0,8	3,0	Répa	650	0,5	2,0
Gázkocsz	400	0,6	2,5	Rosz	700	0,8	3,0
Gipsz	1300	0,8	2,7	Szénpor	700	0,7	2,7
Gipszhabarcs	1200	0,7	2,0	Szénsalak	1000	0,5	2,0
Gránit	2600	0,5	1,3	Szuperfoszfát	800	0,8	2,5
Habarcs	1700	0,7	2,0	Tufa	2000	0,5	1,6
Habkő	1200	0,5	1,8	Zab	550	0,8	3,0
Habkőhomok	700	0,7	2,7				
Hamu (salak)	900	0,7	2,5				

A hevedersebesség meghatározása. A szállított anyag ismeretében a 2.3.6. és a 2.3.7. táblázatokról aállítás maximális sebessége ($v_{\max}$), a töltési tényező (ϕ), a serleg típusa (alakja) és az elevátor üzemelési módja kiválasztható. Ezt követően a választott üzem mód és a maximális sebesség ismeretében a 2.3.10. ábrából meghatározható a végleges hevedersebesség (v) és a hajtódob átmérője. A **hevedersebessége** tág határok között változhat egyrészt a szállított anyagtól, másrészt a szállítóképességtől függően. A leggyakoribb értékek: 1,25...2,5 m/s. Általános szabály, hogy az adott határok között alacsony pólusmagassággal és nagy sebességgel kell dolgozni a szerkezeti méretek csökkentése érdekében. Ennek ellenére

előfordulhat, hogy a maximális sebességhez képest a hevedersebességet csökkenteni kell, annak érdekében, hogy a szállítóképességgel arányos, megfelelő nagyságú dobátmérőt kapjunk. A diagram használatakor célszerű szem előtt tartani a szabvány által javasolt dobátmérőket (320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 mm).



2.3.10. ábra: A hevedersebesség változása a dobátmérő és a póluspont függvényében

A hevedersebesség meghatározása után az adott szállítóképesség (Q) eléréséhez szükséges V_s/t_s viszonyszám a szállítóképességre adott összefüggésből kiszámítható:

$$\frac{V_s}{t_s} = \frac{Q}{3,6v\rho_h\phi}$$

Ezután a 2.3.1.-2.3.5. táblázatokból a serleg térfogatát (V_s) úgy kell megválasztani, hogy műszaki szempontból elfogadható serlegosztást (t_s) kapjunk.

A **serlegosztás** közelítőleg: $t_s = \lambda_1 e$ [m], ahol e a serlegkinyúlás [m], és $\lambda_1 = 1,5 \dots 2,5$. A nagyobb osztást nagyobb nedvességtartalmú, szennyezett anyagokhoz és kisebb szállítóképességű elevátorokhoz használjuk. A **serlegszélességet** szintén a serlegkinyúlás függvényében választjuk: $b = \lambda_2 e$, ahol $\lambda_2 = 1,25 \dots 2$. A **serlegkinyúlás** értelemszerűen összefügg a szállítóképességgel is. A serlegtérfogat közelítőleg: $V_s = 0,6e^2b = 0,6\lambda_2e^3$. Ezt felhasználva, a

$$\frac{V_s}{t_s} = \frac{Q}{3,6v\rho_h\phi} = \frac{0,6\lambda_2e^3}{\lambda_1e},$$

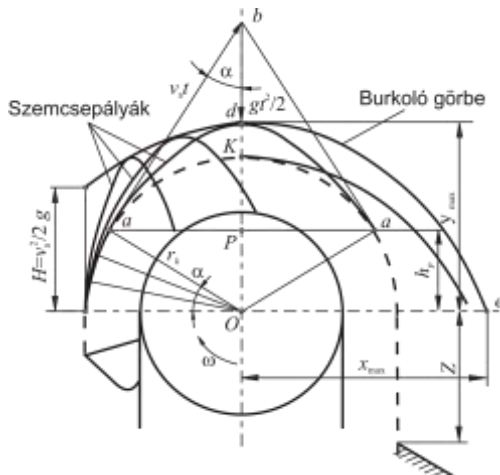
amelyből az

$$e = \sqrt{\frac{\lambda_1 Q}{2,16\lambda_2 v \rho_h \phi}}.$$

Az elevátorfej burkolatának kialakítása. Centrifugális ürítéskor a burkolat körvonalát a serleg külső élénél kilépő szemcsék pályái határozzák meg. A technológiai követelményektől függően a kirepülő szemcsék vagy szabadon áramlanak, ekkor a szemcsék mozgási irányát a burkolat nem változtatja meg, vagy az anyagáramot a burkolat megtöri és vékony sugárban a levezetőcsőbe vagy a gyűjtőtartályba irányítja.

Az első esetben a burkolat alakját a szemcsék mozgáspályáinak (trajektóriáinak) a legmagasabb pontját érintő burkológörbe határozza meg. Ekkor a szemcse nem ütközik a burkolatba, repülése szabad marad. A második esetben a felső burkolat körvonala folyamatosan átlépi a szabad magáram belső határát, eltérítve az anyagáramot a szükséges irányba. A szemcsék keveredésének viszonylagos sebessége aránylag kicsi, és elhanyagolható. A szemcsék v_a kilépési (kezdeti) sebességének iránya és nagysága megegyezik a serlegek külső élének kerületi sebességével, azaz merőleges a serleg külső élét burkoló kör r_k sugarára és $r_k\omega$ nagyságú.

A serlegből kirepülő szemcsék parabolikus pályán mozognak. A parabolák a serleg külső élét burkoló kör különböző pontjaitól indulnak ki (2.3.11. ábra). Például az a pontból v_a kezdeti sebességgel induló szemcse t idő alatt $v_a t$ utat, ugyanezen t idő alatt az mg nehézségi erő hatására függőlegesen lefelé $gt^2/2$ utat tesz meg. Végeredményben a parabola pályán mozgó szemcse a t idő eltelte után a d pontba jut.



2.3.11. ábra: A burkolóparabola szerkesztése

Attól függően, hogy a szemcse kirepülésekor a serleg milyen szögben helyezkedik el, a szemcsék különböző röppályákon mozognak. Ha a szemcse abban a pillanatban hagyja el a serleget, amikor a serleg a dob vízszintes tengelyét elérte, akkor a szemcse egyenletesen lassuló mozgást végez függőleges irányban $H = v_a^2 / 2g$ magasságig (2.3.11. ábra). Elérve a H magasságot, a szemcse lefelé kezd esni.

A parabolikus pályán mozgó szemcse emelkedési magassága a serlegnek a szemcse kirepülésekor elfoglalt helyzetétől függ. A legmagasabbra emelkedő szemcse kezdeti helyzete (α) és emelkedési magassága ($y_{\max}$) a következő megfontolások alapján számítható.

A szemcse addig emelkedik, ameddig a sebesség függőleges komponense zérus nem lesz. Az emelkedésének időtartama így a

$$v_y(t_e) = v_a \cos \alpha - gt_e = 0$$

egyenletből:

$$t_e = \frac{v_a \cos \alpha}{g}.$$

A t_e időtartamhoz tartozó emelkedési magasság (2.3.11. ábra):

$$y_{\max} = r_k \sin \alpha + v_a t_e \cos \alpha - \frac{gt_e^2}{2}$$

A t_e értékét helyettesítve:

$$y_{\max} = r_k \sin \alpha + \frac{v_a^2 \cos^2 \alpha}{2g}.$$

Az $y_{\max}(\alpha)$ szélsőérték helyét a

$$\frac{dy_{\max}(\alpha)}{d\alpha} = r_k \cos \alpha - \frac{v_a^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g} = 0,$$

$$r_k - \frac{v_a^2 \sin \alpha}{g} = 0$$

egyenletből számíthatjuk. Rendezve és a felhasználva a $h_p = g/\omega^2$ összefüggést, a

$$\sin \alpha = \frac{r_k g}{v_a^2} = \frac{r_k g}{r_k^2 \omega^2} = \frac{h_p}{r_k}.$$

A 2.3.11. ábra alapján ez azt jelenti, hogy a legmagasabbra emelkedő szemcse $y=h_p$ magasságban hagyja el a serleget, amely

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{h_p}{r_k}\right)$$

szögben helyezkedik el. A legmagasabbra tehát az a szemcse emelkedik, amely az a pontból indul (2.3.11. ábra), azaz a h_p pólustávolságnyi magasságban elhelyezkedő serlegből repül ki.

Ennek parabolapályája a dobhoz képest szimmetrikusan helyezkedik el. A parabola legfelső d pontjának $y_{\max}$ koordinátájának számításához az eredményünket az $y_{\max}$ -ra felírt összefüggésbe helyettesítve, az

$$y_{\max} = r_k \frac{h_p}{r_k} + \frac{r_k^2 \omega^2 \cos^2 \alpha}{2g} = h_p + \frac{r_k^2}{2h_p} (1 - \sin^2 \alpha) = h_p + \frac{r_k^2}{2h_p} - \frac{r_k^2}{2h_p} \sin^2 \alpha.$$

$$y_{\max} = \frac{h_p}{2} + \frac{r_k^2}{2h_p}$$

egyenlet határozza meg.

A serlegek különböző helyzeteiből kirepülő szemcsék által leírt parabolikus pályákat körül lehet venni egy parabolával, amely hasonló a dob függőleges tengelyén levő K pontból kilépő szemcse mozgás pályájával. A burkolóparabola és a dob meghosszabbított vízszintes tengelyének e metszéspontjához tartozó $x_{\max}$ koordinátát (a levezetés ismertetésétől eltekintünk) az

$$x_{\max} = \frac{r_k \sqrt{r_k^2 + h_p^2}}{h_p}$$

képlet határozza meg.

Így az elevátor felső részét burkoló parabola átmegy a H magasságú és az $y_{\max}$ magasságú (d) pontokon, továbbá az $x_{\max}$ koordinátájú e ponton. A burkolóparabola és a belső leválási pontokhoz tartozó, a K ponton átmenő parabola közötti teret megtöltik a serlegből kirepülő szemcsék.

Ha a szemcse repülését nem korlátozzuk pl. a magtisztítók betöltési helyén, ahol a mag szabad áramlása a csatornák egyenletesebb kitöltését biztosítja, akkor a fel-

hordó felső részének határvonalát a burkolóparabolánál magasabbra kell készíteni.

A dob vízszintes szimmetriatengelyétől az elvezető cső (surrantó) pereméig mért távolságot, $Z = 1,5 r_{dob} \dots 2 r_{dob}$ határok közé esően állapítjuk meg. A nagyobb Z értéket a mélyebb serlegekhez használjuk.

A hajtás teljesítményigénye

A hajtás teljesítményigénye többféle módon határozható meg. A módszerek a kerületi erő számításában mutatnak eltérést. Az általánosan használható összefüggés:

$$P = \frac{F_k v}{1000 \eta} \quad [\text{kW}],$$

ahol:

- F_k a kerületi erő [N],
- v a vonóelem sebessége [m/s],
- η a hajtás hatásfoka.

A kerületi erő legegyszerűbben az ún. összesített veszteségtényező segítségével számítható:

$$F_k = f_o H (q + q_a) + q_a H \quad [\text{N}],$$

ahol:

- f_o az összesített veszteségtényező,
- H a szállítási magasság [m],
- q az üres serlegág folyóméter súlya [N/m],
- q_a a szállított anyag 1 folyóméter serlegágra eső súlya [N/m].

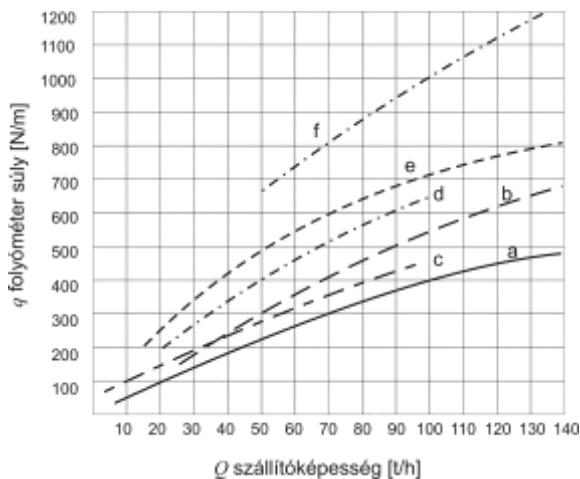
Ez a kerületi erő meghatározási módszer mind a hevederes, mind a láncos elevátoroknál használható. Az üres serlegág folyómétersúlyára vonatkozó tájékoztató értékeket a 2.3.12. ábra tartalmazza. A különböző fajta elevátorok összesített veszteségtényezői pedig a 2.3.13. diagramból olvashatók ki.

Hevederes vonóelemmel ellátott elevátoroknál nagyobb pontosságú a következő eljárás. Az ellenállásokat részellenállásokra bontjuk, és azokat külön-külön számítjuk, azaz

$$F_k = F_e + F_{gy} + F_m + F_{h_1} + F_{h_2},$$

ahol:

- F_e az emelési ellenállás,
- F_{gy} a gyorsítási ellenállás,
- F_m a merítési ellenállás,
- F_{h_1} a heveder hajtódobra hajlításához szükséges erő,
- F_{h_2} a heveder visszaterelő-dobra hajlításához szükséges erő.

**Hevederes elevátor:**

a) mély és lapos serlegek;

b) hegyes serlegek

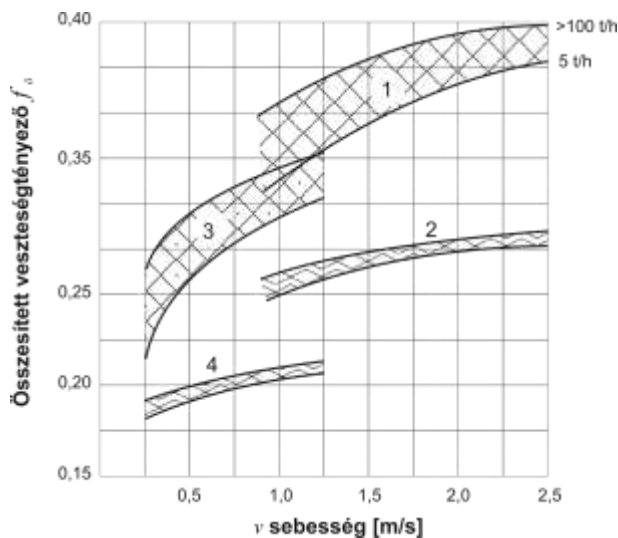
Láncos elevátor:

c) mély és lapos serleg egy ágon;

d) hegyes serleg egy ágon

e) mély és lapos serleg két ágon;

f) hegyes serleg két ágon

2.3.12. ábra: Az üres serlegág folyómétersúlya a szállítóképesség függvényében**2.3.13. ábra:** Az összesített veszteségtényező értékei
hevederes elevátorok: 1) mély és lapos serleg, 2) hegyes serleg;
láncos elevátorok: 3) mély és lapos serleg, 4) hegyes serleg**Az emelési ellenállás:**

$$F_e = q_a H$$

ahol:

 q_a a szállított anyag 1 folyóméter serlegágra eső súlya [N/m], H a szállítási magasság [m].**A merítési ellenállás:**

$$F_m = f_k \frac{L_m q_a}{g}$$

ahol:

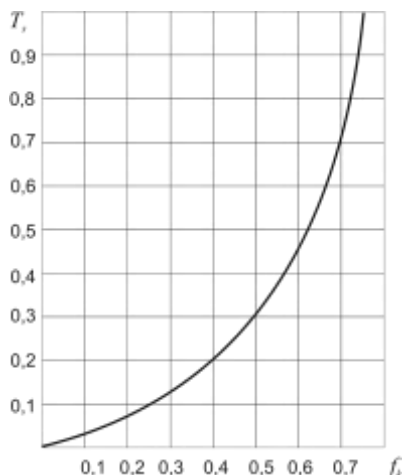
- f_k a serlegosztástól függő tényező,
 L_m a fajlagos merítési munka [Nm/kg],
 g a nehézségi gyorsulás.

Az f_k tényező értéke a 2.3.14 ábrából nyerhető, a relatív serlegkövetési idő ismeretében. A relatív serlegkövetési idő:

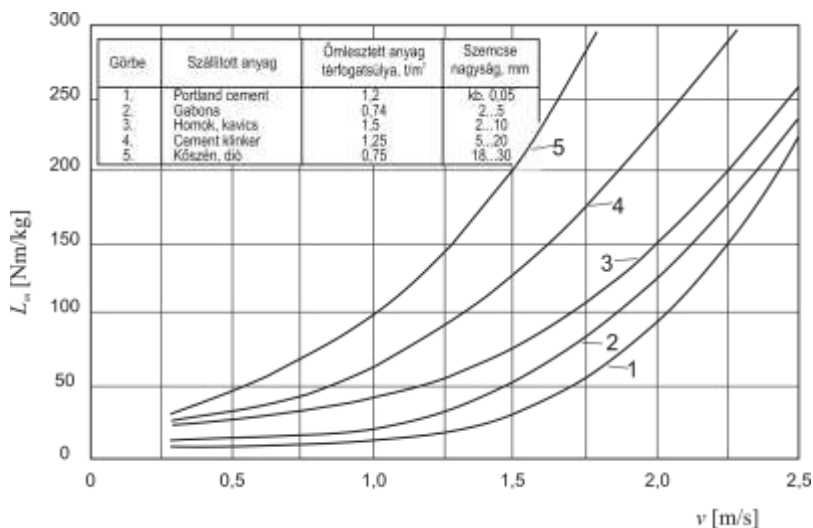
$$T_s = 0,224 \frac{t_s}{ev},$$

ahol:

- t_s a serlegosztás [m],
 e a vonóelemtől mért serlegki-nyúlás [m],
 v a vonóelem sebessége [m/s].



2.3.14. ábra: Az f_k tényező a relatív serlegkövetési idő függvényében



2.3.15. ábra: Néhány anyag merítéséhez szükséges fajlagos munka

Néhány anyag merítéséhez szükséges fajlagos munka a vonóelem sebesség függvényében a 2.3.15. ábrából olvasható ki. A **merítési ellenállás** $v=0,75 \dots 2,5$ m/s hevedersebesség tartományban közelítőleg a következő kifejezéssel is kiszámítható:

$$F_m = q_a k_m,$$

ahol: k_m [1/m] az anyagmerítéskor jelentkező ellenállás tényező, amelynek értéke $0,12v \dots 0,3v$.

A gyorsítási ellenállás:

$$F_{gy} = Q(v - v_0) = \frac{q_a v}{g}(v - v_0),$$

ahol:

- Q az elevátor szállítóképessége [kg/s],
 v a vonóelem sebessége [m/s],
 v_0 az anyagfeladás közepes sebessége [m/s].

A hevederhajlítási ellenállások:

A hajtódobra való ráhajlítás ellenállása

$$F_{h_1} = 2\kappa(2\xi B + T_1 + T_2) \frac{s}{D},$$

ahol:

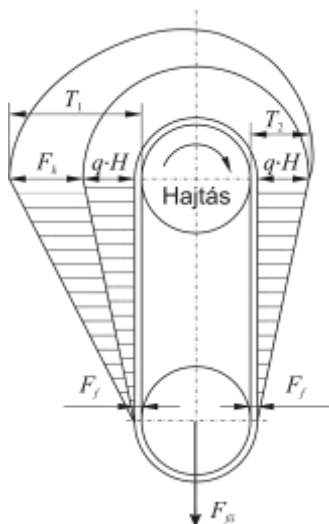
- κ segédtényező: textilbetétes hevederre 0,09, acélhuzalos hevederre 0,12,
 ξ segédtényező: textilbetétes hevederre 14000 N/m, acélhuzalos hevederre 20000 N/m,
 B a heveder szélessége [m],
 T_1 a hajtódobra való felfutás helyén ébredő erő [N],
 T_2 a hajtódobról való lefutás helyén ébredő erő [N],
 s a heveder vastagsága [m],
 D a hajtódob átmérője [m].

A visszaterelő-dobra való ráhajlítás ellenállása:

$$F_{h_2} = 4\kappa(\xi B + F_f) \frac{s}{D},$$

ahol: F_f az ágankénti előfeszítő erő.

A vonóelemben ébredő erők



2.3.16. ábra: Húzóerő diagram

A vonóelemben ébredő erőket a 2.3.16. ábra szerinti húzóerő-diagram szemlélteti. Az üres serlegágot a saját súlya (qH) és az előfeszítő erő (F_f) terheli:

$$T_2 = qH + F_f.$$

Az ágankénti előfeszítő erő (F_f) hevedernél és egy láncnál $F_g / 2$, két láncnál $F_g / 4$.

A maximális erő a hajtódobra való felfutás helyén ébred:

$$T_{\max} = T_1 = F_k + T_2.$$

Ha az F_k erő ismeretlen, akkor a maximális vonóerő a következő tapasztalati képlettel határozható meg:

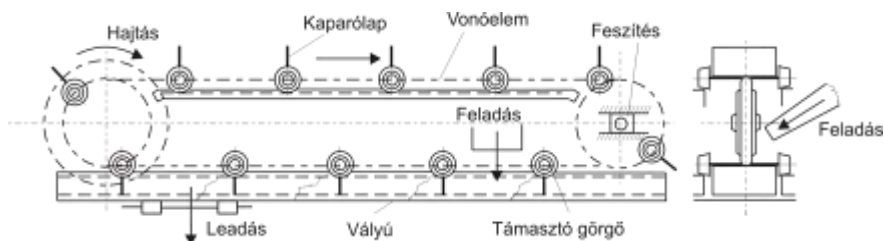
$$T_{\max} \approx 1,15H(q_a + kq).$$

A k állandó a hajtástól és a serlegalaktól függő mozgási ellenállások együtthatója. Ennek értékei: **hevederes elevátoroknál**: mély és lapos serlegre $k=2,5$, hegyes serlegre $k=2$, **láncos elevátornál**: mély és lapos serlegre $k=1,5$, hegyes serlegre $k=1,25$.

2.4. KAPARÓSZALAGOK

A kaparó vagy láncos szállítógépek működésének közös ismérve, hogy az anyag mozgása a szállítópályán (csatornában, vályúban) valamilyen mechanikus kényszerítő hatására jön létre. A kaparó szállítógépek két nagy csoportba oszthatók: **rédler** és **kaparószalag**.

A kaparószalagok a végtelenített vonóelemükre erősített kaparólapokkal nyitott vagy zárt csatornában ömlesztett anyagot mozgathatnak. A szállítás pályája vízszintes vagy ferde lehet.



2.4.1. ábra: Láncos kaparószalag

Alkalmazási területük: a kohászat, vegyipar, élelmiszeripar és mezőgazdaság, ahol porszerű, szemcsés és darabos ömlesztett anyagokat szállítanak velük. A mezőgazdaságban önálló anyagmozgatógépként ritkán fordul elő, inkább a betakarító-, tisztító- és rakodógépek felszedő, felhordó szerkezeteként használják.

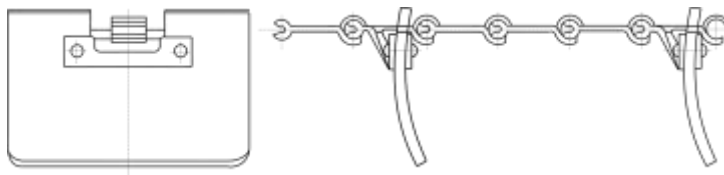
A láncos kaparószalag működési elvét a 2.4.1. ábra szemlélteti. A hajtó- és a tere-lőkeréken futó vonóelemre felerősített kaparólapok az anyagot maguk előtt tolják. A feladás és a leadás helye a két lánckerék között tetszőleges pontban elhelyezhe-tő, és több tolózáras leadóállomás is kialakítható. Általában az alsó láncágat hasz-nálják az anyag továbbítására, de speciális kialakítással a felső ág is alkalmassá tehető szállításra.

A kaparószalagok alkalmazását az egyszerű szerkezet és előállítás, a kis beruhá-zási költség, a kétirányú szállítás lehetősége, valamint az anyag egyszerű fel- és leadása indokolják. Hátrányos tulajdonságuk viszont a nagy energiaszükséglet, erősen koptató anyagok szállításakor pedig a kaparólapok és a vályú gyors el-használódása.

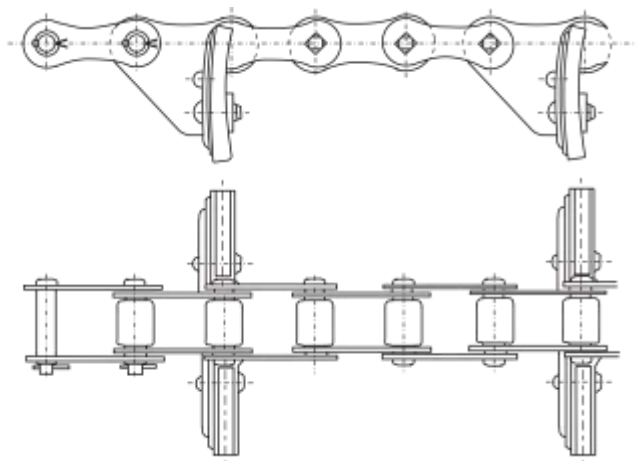
A szállítási út hosszúsága elérheti a 100 m-t, maximális szállítóképessége 300 t/h, a szállítási sebessége 1 m/s. Vonalvezetésük a rédlerekéhez hasonló, az irányvál-tások ívei 4-10m sugarúak, a szállítás legnagyobb szöge 60°.

2.4.1. Kaparószalagok szerkezeti kialakítása

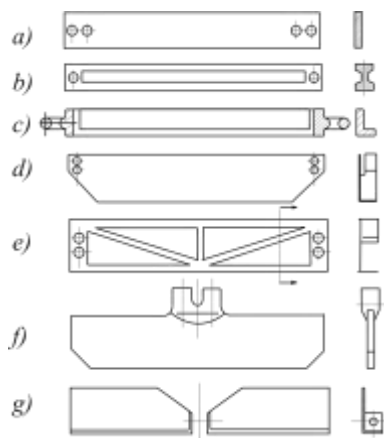
A **vonóelem** hevederes-, szemes- speciális horgos lánc (2.4.2. és 2.4.3. ábrák), esetleg sodronykötél lehet. Kisebb szállítási szélességhez egy láncot, 400 mm felett kettőt alkalmaznak. A láncot támasztógörgők vezetik, általában az anyag-áramon kívül.



2.4.2. ábra: Sajtolt horgos lánc kaparólapokkal



2.4.3. ábra: Hevederes görgős lánc kaparólapokkal



2.4.4. ábra Kaparólapok

A változatos alakú **kaparólapok** (2.4.4. ábra) kopásálló anyagból, rendszerint 4...6 mm-es acéllemezből vagy acélöntvényből készülnek. Szélességük 200... 1200 mm. A szemes termékek szállítására használt mezőgazdasági kaparószalagokat inkább acéllemezrel merevített, textilbetéttel erősített gumi kaparólapokkal szerelik.

A kaparólap magassága és szélessége közötti arány:

$$h=(0,25..0,4)b \text{ [m]}.$$

A kaparólapok a láncra szimmetrikusan vagy aszimmetrikusan szerelhetők fel. Egy láncos berendezésnél a lánc közepén a kaparólapok fellett, két láncosnál oldalt helyezkedik el.

A **vályú** a kaparólapok alakjának megfelelően négyszög, trapéz, félkör keresztmetszetű. Általában 4...6 mm-es acéllemezről hajlítják vagy hegesztik. A vályú és a kaparólap közötti hézag 3...6 mm.

A **hajtó- és feszítőszerkezet** felépítése és kialakítása hasonló a rédlerekéhez. A villamos motort tengelykapcsolóval kötik a homlokkerekes vagy csigahajtású

hajtóműhöz. A nagy távolságra szállító berendezéseket gyakran hidraulikus tengelykapcsolóval látják el. A láncok feszítésére csavarorsós szerkezetet használnak. A feszítési út a láncosztás 1,6...2 –szerese.

2.4.2. Kaparószalagok tervezése

A kaparószalagok szállítóképessége:

$$Q=3,6Bh\rho_h v\phi c \quad [\text{t/h}],$$

ahol:

- B a vályú szélessége [m],
- h a kaparólap magassága [m],
- ρ_h a szállított anyag halmazsűrűsége [kg/m^3],
- v a vonóelem sebessége [m/s],
- ϕ a töltési tényező,
- c a szállítás szögétől függő teljesítménycsökkentési tényező.

A ϕ töltési tényező értéke darabos anyagra 0,7...0,8, szemcsés, poros anyagra 0,5...0,6. A teljesítménycsökkentési tényező értékeit a 2.4.1. táblázat tartalmazza.

2.4.1. táblázat

A c teljesítménycsökkentési tényező értékei

Emelkedési szög [°]	0	10	20	30	35
Könnyen ömlő anyag	1,0	0,85	0,65	0,5	-
Nehezen ömlő anyag	1,0	1,0	0,85	0,75	0,6

A kaparószalag vonóerő-szükséglete, illetve teljesítményigénye a következő rész-ellenállásokat foglalja magába:

- a szállított anyag és a vályú közötti súrlódás,
- a vonó- és szállítóelem, valamint a vályú közötti csúszó vagy gördülő ellenállás,
- az anyagemelés ellenállása,
- a hajtó és terelő elemek ellenállása,
- az anyag keverése és törése miatti ellenállás.

A kaparószalag teljesítményszükséglete közelítőleg a következő formulával számítható:

$$P=\frac{QLg}{1000\eta}(k_1k_2+\sin\delta) \quad [\text{kW}],$$

ahol:

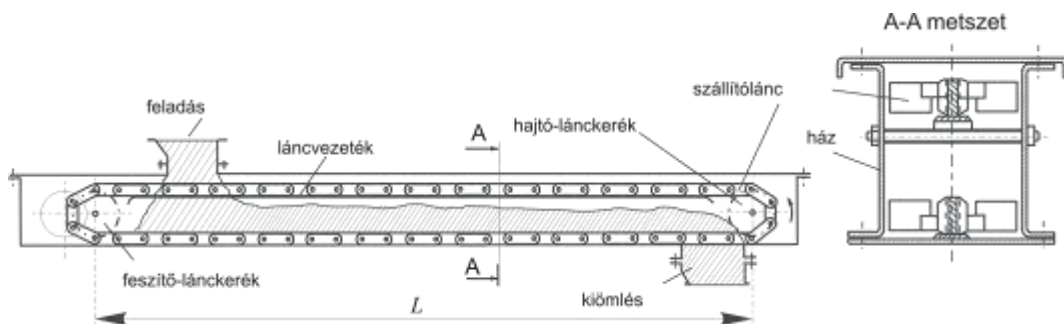
- Q a szállítóképesség [kg/s],
- L a szállítás távolsága [m],
- g a nehézségi gyorsulás [m/s^2],
- k_1 a szállított anyagtól függő ellenállási tényező,
- k_2 a vonóelem vezetési módjától függő ellenállási tényező,
- δ a szállítás szöge,

η a hajtás hatásfoka.

A k_1 tényező az anyag koptató hatásától függően 1...5, erősen koptató anyagoknál nagyobb értékű. A k_2 tényező csúszó vezetésnél 2,1...0,7, gördülő vezetésnél 1,2...0,45.

2.5. RÉDLEREK

A rédler vonó- és szállító eleme zárt vályúban mozgó, különféle alakú továbbító-karokkal, bordákkal, stb. ellátott végtelenített lánc, amely a szállított szemcsés, apródarabos, porszerű anyagba belemerül és azzal együttmozgó egységet alkot (2.5.1. ábra.). A továbbító-karok az anyagot folyamatosan, folytonos réteggként mozgatják. Az anyagáram, teljesen vagy részben kitölti a berendezés keresztmetszetét, magassága jelentősen meghaladja a lánc tagok vízszintes, illetve a függőleges bordáinak magasságát. Az **anyag továbbításának feltétele**: az oldal és fenék lapokon kisebb legyen a súrlódási erő, mint az anyagréteg szakadás nélküli mozgásához szükséges erő [27].



2.5.1. ábra: A rédler felépítése

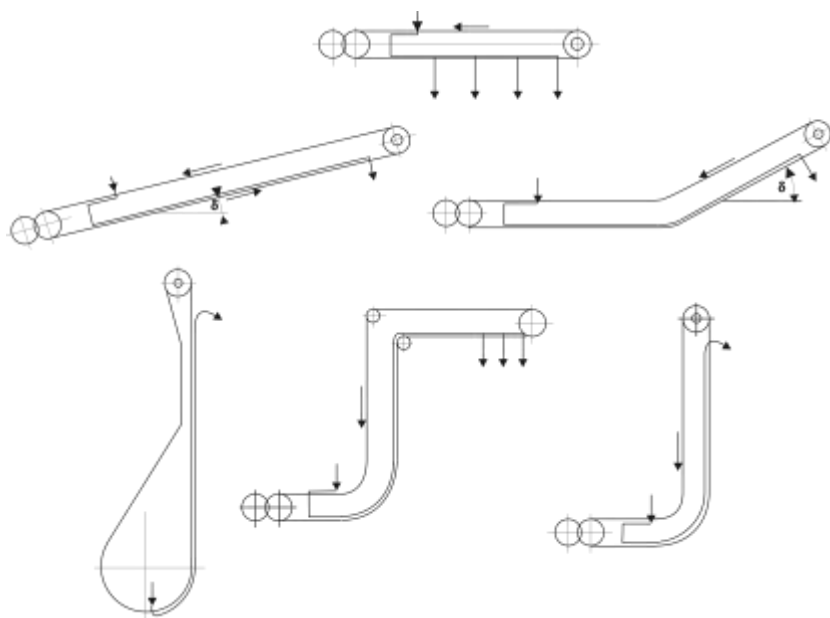
Jelenleg egyes szerkezeti változatokkal akár $150 \text{ m}^3/\text{h}$ szállítási teljesítmény, és 60 m szállítási hossz érhető el. A lánc sebessége $0,1 \dots 0,7 \text{ m/s}$.

A rédler előnyös tulajdonságai: a kis helyszükséglet, az egyszerű, könnyen szerelhető szerkezet, a pormentes üzem, a tetszés szerint választható fel- és leadóhely, a hőállóság, a kétirányú szállítás, a változatos pályaelrendezés. Önszabályzó adagolású, ezért különleges feladó szerkezetet nem igényel. Hátrányként a nagy vonóerő szükséglet, és koptató anyagok szállítása esetén a gyors elhasználódás említhető. Alkalmazási területe széles, az iparban és a mezőgazdaságban egyaránt közkedvelt szállítóberendezés.

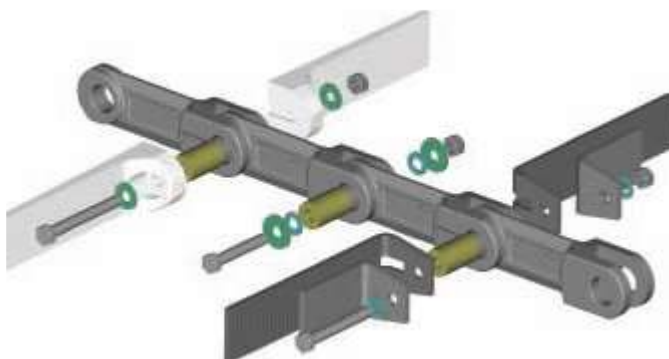
2.5.1. Rédlerrek elrendezése és szerkezeti kialakítása

A szállítás iránya vízszintes, ferde és függőleges lehet. Az átmenetek íve $2 \dots 5 \text{ m}$ sugarú. Az iránytörések jelentősen növelik a vonóerő-szükségletet, ezért változó irányú pályaelrendezés esetén inkább tagoltan, több különálló rédlerrel oldják meg a szállítást. A leggyakrabban előforduló elrendezéseket a 2.5.2. ábra mutatja be.

A **vonóelem** a hevederes lánchoz hasonló kialakítású, speciális vonólánc, vagy szemes lánc lehet. A vonóláncre rögzített **szállítóelemek** (ezek elnevezése: továbbító-kar, lap, szárny, kereszttag, stb.) anyaga, kialakítása és formája változatos.



2.5.2. ábra: Rödler elrendezések

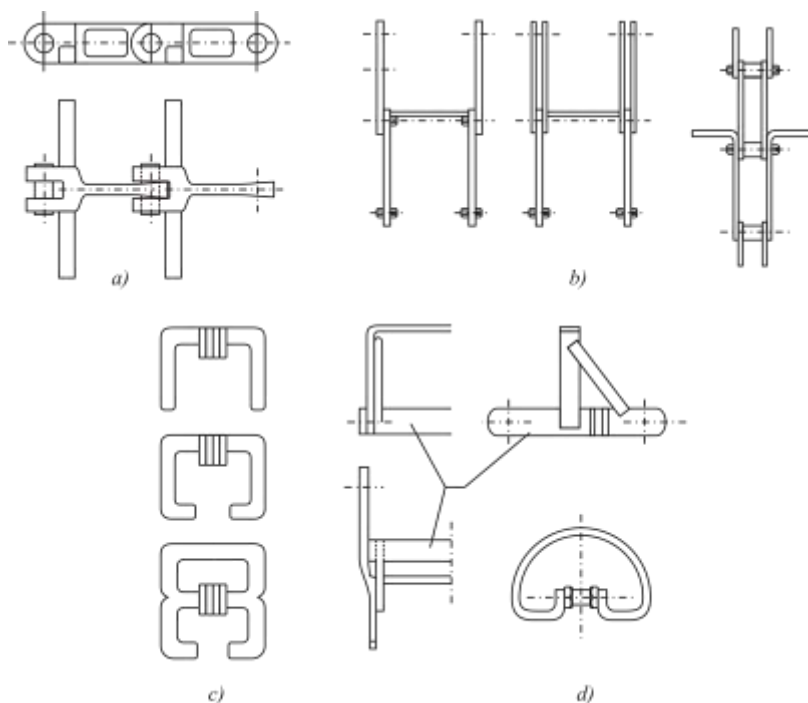


2.5.3. ábra. Acélöntvény vonólánc fém- és műanyagból készült kereszttagokkal

A **vonólánc** acélöntvényből, hegeszthető hengerelt vagy kovácsolt kopásálló acélból készül. A lánc lehet egy- és kétágú. A szemeket összekötő hüvelyek keresztirányú mozgását a hüvelyen átmenő csavarral (2.5.3. ábra), vagy csappal és sasszeggel akadályozzák meg. A szállítóelemeket is az említett csavarok vagy csapok rögzítik a láncszemekhez. A szállítóelemek fém- vagy műanyagból készülnek (2.5.3. ábra). A szabványos vonólánccok (DIN 8165/8167–ISO 1977) osztástávolsága 40–500 mm között változik. Ezek a láncok 30...70 ezer N szakítóerőig terhelhetők.

A szállítóelem-osztás megegyezhet a láncosztással, vagy annak a kétszerese. A szállítóelemek szélessége 140...500 mm.

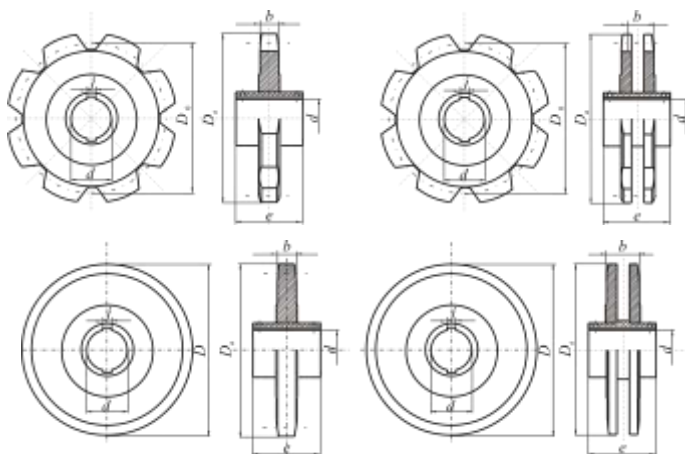
A leggyakrabban előforduló láncok és szállítóelemek a 2.5.4. ábrán láthatók. A lapos kereszttagos láncokat vízszintes és ferde, az alakos kereszttagos láncokat függőleges szállításra használják.



2.5.4. ábra: Szállítóláncok

a), b) alacsony kereszttagos vízszintes szállításhoz; c), d) alakos kereszttagos függőleges szállításhoz

A szállítóelemek kialakításánál figyelembe kell venni a szállítandó anyag tulajdonságait és a rédler vonalvezetését. A legkedvezőbb alakot általában kísérleti úton határozzák meg, szem előtt tartva a kicsi önsúlyt, és az anyag visszamaradás minimalizálását. A láncsapok kenés nélkül üzemelnek, a csapnyomás a $p=2000 \dots 3000 \text{ N/cm}^2$ értéket is elérheti.



2.5.5. ábra. Fogazott hajtó és fogazás nélküli visszaterelő lánckerekek

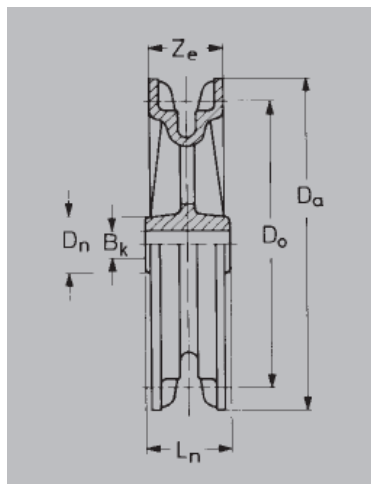
A lánckerekek a mérete és alakja a vonólánchoz igazodó, gyakran hegesztetett kivitelű. A hajtó lánckerék mindig fogazott, a visszaterelő lánckerék lehet fogazás nélküli is (2.5.5. ábra). A fogszám általában 6-8.



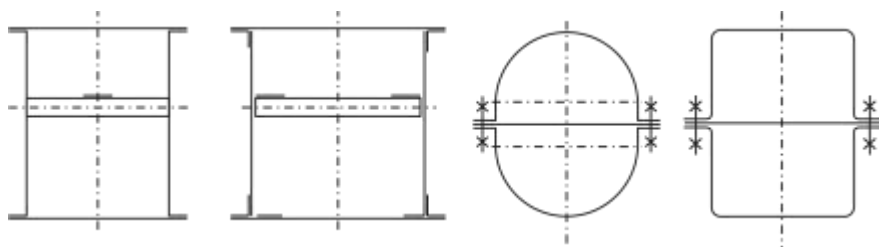
2.5.6. ábra. Szemes lánc műanyag lapáttal

Az utóbbi időben vonóelemként, a hevederes vonólánc helyett, egyre gyakrabban alkalmaznak könnyebb és olcsóbb **szemes láncot** (MSZ 5501-63). A szemes láncra erősített szállítóelemek fém vagy műanyag lapátok. A műanyaglapátba sajtolt láncszemet csavarkötéssel rögzítik (2.5.6. ábra). A fém lapátokra általában a vonólánchoz kapcsolható szemeket hegesztenek.

A szemes láncokhoz speciális öntött lánckereket, ún. **láncdiót** használnak (MSZ 13275-61, DIN 766). A láncszemek nem fogakba, hanem a kerék homlokfelületén kialakított ún. láncfészekbe kapaszkodnak (2.5.7. ábra). A láncdiók anyaga szürkeöntvény vagy acélöntvény. A megmunkált felületeket rozsdásodást gátló zsírral kenik.



2.5.7. ábra. Láncdió szemes lánc-hoz (DIN 766)

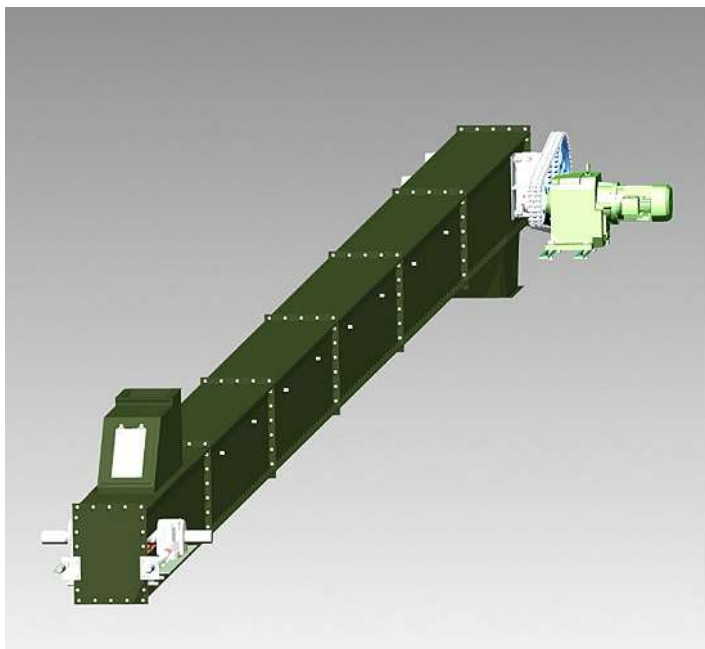


2.5.8. ábra: Rédler vályúszelvények

A **vályút** 2...4 mm vastagságú acéllemezből hajlított, 2...4 m hosszúságú, egymáshoz köthető elemek alkotják. Keresztmetszete általában téglalap, néhány esetben az alakja a választott lánc-hoz igazodó. Méretét pedig a megkívánt szállítóké-

pesség szabja meg (2.5.8. ábra). A csatlakozó felületeket gondosan tömítik. A láncágakat könnyen cserélhető sínek vezetik, néha a vályú falait is cserélhető, kopásálló béléssel látják el.

A **hajtóberendezés** felépítése és elrendezése hasonló más lánc vonóelemes szállítógépekéhez. A hajtást a szállítási irányba eső végén, az utolsó leadási pont után helyezik el (2.5.9. ábra). Nagy szállítási távolság esetén az indítás megkönnyítésére indokolt tengelykapcsolót iktatni a motor és a hajtómű közé. A fordulatszám-csökkentő hajtómű az anyagáram folyamatos szabályozhatósága érdekében sokszor fokozatmentesen állítható.



2.5.9. ábra. Vízszintes elrendezésű rédler axonometrikus képe

A **feszítőszerkezetet** a hajtással ellentétes oldalon az első feladási pont előtt helyezik el (2.5.9. ábra). A feszítés a lánc hajtás zavartalan üzemét biztosítja, de a túlzott előfeszítést a vonóerő-szükséglet növekedése miatt kerülni kell.

2.5.2. Anyagréteg magasság és láncosztás

A 2.5.10. ábra egy vízszintes rédlerben i hosszúságú, h magasságú anyagrétegben kialakuló feszültségeket, illetve az arra ható erőket szemlélteti. (Az i a szállítóelemek osztástávolsága.) A kiragadott tömeget x, y, z derékszögű koordináta rendszerben vizsgáljuk, és merev testnek tekintjük. (Az ömlesztett anyag merevtestnek tekinthető mindaddig, amíg a halmazban húzóerő nem lép fel, és a nyíróerők az anyag nyírószilárdságát nem lépik túl.)

Az ábrán a továbbító-karok és a láncok h_2 magasságú mozgó rekeszeket képeznek. A rekeszekben lévő rétegre nehezedik a h_1 magasságú anyagréteg, amely a vályú falán sűrűsödik. A **folytonos anyagáram kialakulásának feltételei**: az ol-

dalfalakon fellépő súrlódási erők okozta nyírófeszültség kisebb legyen, mint a szállítólánc felső élénél, a $z=0$ magasságú x - y síkban (a szállítólánc felső éle) a nyírószilárdság, továbbá e sík alatt az anyagréteg folytonos legyen.

Az anyagtest tetszőleges pontjában ébredő z és x irányú nyomás:

$$p_z = (h_1 - z)\rho_h g, \quad [\text{Pa}],$$

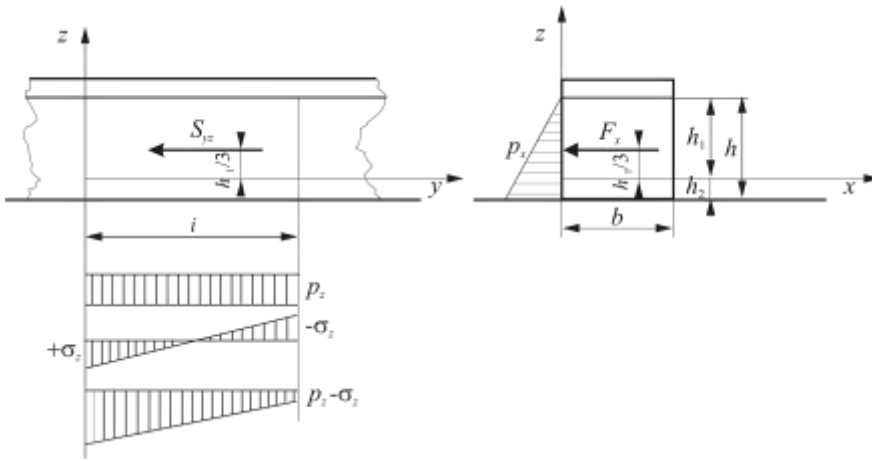
$$p_x = k_a p_z = (h_1 - z)\rho_h g k_a \quad [\text{Pa}],$$

ahol:

$k_a = \tan^2(45^\circ - \varphi_i/2)$ az oldalnyomás tényező,

ρ_h az ömlesztett anyag halmazsűrűsége $[\text{kg/m}^3]$,

φ_i az anyag belső súrlódási szöge, $\mu_i = \tan \varphi_i$.



2.5.10. ábra: Erők és feszültségek az anyagtesten

Az oldalfalakra ható erő:

$$F_x = i \int_0^{h_1} p_x dz = i \rho_h g k_a \int_0^{h_1} (h_1 - z) dz = i \rho_h g k_a \left(h_1 [z]_0^{h_1} - \left[\frac{z^2}{2} \right]_0^{h_1} \right) = \frac{h_1^2}{2} i \rho_h g k_a \quad [\text{N}].$$

Az F_x erő okozta súrlódás az oldalfalon, ha az anyag és a vályú között a súrlódási tényező μ_v :

$$S_{yz} = \mu_v F_x = \mu_v \frac{h_1^2}{2} i \rho_h g k_a \quad [\text{N}],$$

amely a lineáris nyomáseloszlás miatt $h_1/3$ magasságban ébred. Ezért az y - z síkban a $2 S_{yz}$ nagyságú súrlódási erő mellett

$$M = 2 S_{yz} \frac{h_1}{3} = \mu_v \frac{h_1^3}{3} i \rho_h g k_a \quad [\text{Nm}]$$

hajlító nyomaték is hat.

A $z=0$ magasságú pontokban (2.5.10. ábra) a

$$p_z = h_1 \rho_h g \text{ [Pa]}$$

nyomófeszültségen kívül a hajlításból eredő

$$\pm \sigma_z = \frac{M}{K} = \frac{6M}{bi^2} = \frac{2h_1^3 \rho_h g \mu_v k_a}{bi} \text{ [Pa]}$$

nyomó és húzó feszültség is ébred. Mivel a szemcsés halmaz húzóerőt nem tud felvenni a

$$\sigma_z < p_z$$

feltételnek teljesülnie kell. Ekkor az $y=i$ helyen a nyomófeszültség $p_z - \sigma_z$ nagyságú lesz. A *Coulomb*-féle elmélet szerint a szemcsés halmazok nyírószilárdsága

$$\tau = \mu_i \sigma + c.$$

Ezt felhasználva, és feltételezve, hogy a kohézió $c=0$, az x - y síkban a legkisebb nyírószilárdság

$$\tau_{xy \min} = \mu_i (p_z - \sigma_z) = \mu_i \left(h_1 \rho_h g - \frac{2h_1^3 \rho_h g \mu_v k_a}{bi} \right) \text{ [Pa]}.$$

Az oldalfalakon fellépő $2S_{yz}$ nagyságú súrlódási erő okozta nyírófeszültség:

$$\tau_s = \frac{2S_{yz}}{bi} = \frac{h_1^2 \mu_v \rho_h g k_a}{b} \text{ [Pa]}.$$

Ennek kisebbnek kell lennie, mint a legkisebb nyírószilárdság, azaz

$$\tau_s \leq \tau_{xy \min}.$$

Helyettesítés után:

$$\frac{h_1^2 \mu_v \rho_h g k_a}{b} \leq \mu_i \left(\rho_h g h_1 - \frac{2h_1^3 \rho_h g \mu_v k_a}{bi} \right) \text{ [Pa]}$$

Az egyenlőtlenséget $\frac{bi}{h_1 \rho_h g}$ -vel szorozva és rendezve, határesetben h_1 -re nézve másodfokú egyenletet kapunk:

$$2\mu_v \mu_i k_a h_1^2 + \mu_v k_a i h_1 - \mu_i bi = 0,$$

amelynek pozitív gyöke

$$h_{1\max} = \frac{1}{4\mu_i} \left(\sqrt{\frac{8ib\mu_i^2 + i^2 k_a \mu_v}{k_a \mu_v}} - i \right) > h_1 \text{ [m]}$$

adja a **szakadás nélkül szállítható rétegmagasság maximális értékét**. Ha h , illetve h_1 adott, akkor az egyenlőtlenséget i -re rendezzük:

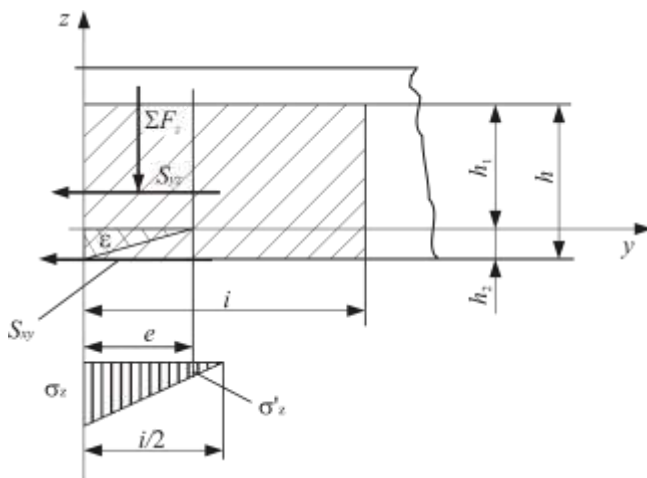
$$i_{\min} \geq \frac{2\mu_i \mu_v h_1^2 k_a}{b\mu_i - h_1 k_a \mu_v} [\text{m}].$$

Ez a **legkisebb szállítóelem-osztás**, amellyel a h_1 magasságú réteg továbbítható. A gyakorlatban a szállítóelem-osztás a vályúszerűség függvényében vehető fel: $i=b/2+40$ [mm], ami általában a legkisebb osztásnál jóval nagyobb érték.

A **maximális szállítóelem-osztás** vizsgálatára ismét a *Coulomb*-féle elméletet alkalmazzuk. Az elmélet szerint törés akkor következik be, ha az elemi ds felület nyírószilárdságát a nyírófeszültség túllépi. Azt a felületet, melynek minden pontjában a fellépő normális és nyírófeszültség (feszültségállapot) kielégíti a

$$\tau = \mu_i \sigma + c$$

összefüggést, **csúszólapnak** nevezzük. Esetünkben a mozgó szállítóelemen fellépő y irányú feszültség (σ_y) nagyobb, mint a z irányú (σ_z), ezért a csúszólap a 2.5.11. ábra szerint alakul ki, ahol az $\varepsilon = 45^\circ + \varphi_i / 2$ a csúszólap irányát meghatározó szög.



2.5.11. ábra: A csúszólap kialakulása a vonólánc előtt

A prizma alakú test megcsúszása (kiemelkedése) elkerülhető, ha a prizma feszültségállapota nem éri el a határfeszültségi állapotot. Határfeszültség állapotban a főfeszültségek közötti összefüggés:

$$\sigma_z = \sigma_y \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_i / 2), \text{ vagy } \sigma_y = \operatorname{tg}^2 \sigma_z (45^\circ + \varphi_i / 2).$$

Bevezetve a $k_e = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi_i / 2)$ jelölést a

$$\sigma_y = k_e \sigma_z.$$

A feszültségeket az erőkkel kifejezve a

$$\frac{\sum F_y}{h_2 b} = k_e \frac{\sum F_z}{e b}.$$

A 2.5.11. ábrából az $e=h_2 \operatorname{tg} \varepsilon$, amit az előző egyenletbe helyettesítve a

$$\operatorname{tg} \varepsilon \sum F_y = k_\varepsilon \sum F_z.$$

Az y irányú erők eredője:

$$\Sigma F_y = 2S_{yz} + S_{xy} = \mu_v \rho_h g i (h^{*2} k_a + hb).$$

Az összefüggésben az első tag az oldalfalakon, a második pedig a fenéken ébredő súrlódási erő. Megjegyezzük, az első tagban a h^* a vályú falával érintkező anyagréteg magasság. Egy láncág esetén a $h^* = h$, két láncág esetén pedig $h^* = h_1$.

A függőleges (z irányú) erők eredője három összetevőből áll:

(1) a prizma alakú test súlyából

$$F_{z1} = \frac{1}{2} e h_2 b \rho_h g = \frac{1}{2} h_2^2 \operatorname{tg} \varepsilon b \rho_h g,$$

ahol az elcsúszási sík hajlásszögének tangense $\operatorname{tg} \varepsilon = \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi_i / 2)$;

(2) a prizma feletti test súlyából

$$F_{z2} = e b h_1 \rho_h g = b h_1 h_2 \operatorname{tg} \varepsilon \rho_h g;$$

és (3) a hajlításból származó nyomóerőből

$$F_{z3} = b e \sigma_i = b h_2 \operatorname{tg} \varepsilon \sigma_i,$$

ahol a

$$\sigma_i = \frac{\sigma_z + \sigma'_z}{2} = \frac{\sigma_z + \sigma_z \left(1 - \frac{2e}{i}\right)}{2} = \sigma_z \left(1 - \frac{e}{i}\right) = \sigma_z \left(1 - \frac{h_2 \operatorname{tg} \varepsilon}{i}\right)$$

az átlagos nyomófeszültség a prizma felett (2.5.11. ábra).

A három komponens helyettesítése után a z irányú erők eredője:

$$\Sigma F_z = h_2 \operatorname{tg} \varepsilon b \left(\frac{h_2}{2} \rho_h g + h_1 \rho_h g + \sigma_i \right).$$

A σ_i értékét beírva, a

$$\Sigma F_z = \frac{h_2 \operatorname{tg} \varepsilon \rho_h g}{i^2} \left[\left(\frac{h_2}{2} + h_1 \right) b i^2 + 2 h_1^3 \mu_v k_a i - 2 h_1^3 h_2 \operatorname{tg} \varepsilon \mu_v k_a \right].$$

A határfeszültség állapothoz tartozó láncosztás a $\operatorname{tg} \varepsilon \sum F_y = k_\varepsilon \sum F_z$ egyensúlyi egyenletből számítható. Az erők eredőit helyettesítve, egyszerűsítés után a

$$\mu_v (h^{*2} k_a + hb) i^3 = k_\varepsilon h_2 b \left(\frac{h_2}{2} + h_1 \right) i^2 + 2 k_\varepsilon \mu_v k_a h_1^3 h_2 i - 2 k_\varepsilon \operatorname{tg} \varepsilon \mu_v k_a h_1^3 h_2^2.$$

Ezt rendezve, a

$$\mu_v (h^{*2} k_a + hb) i^3 - k_\varepsilon h_2 b \left(\frac{h_2}{2} + h_1 \right) i^2 - 2 k_\varepsilon \mu_v k_a h_1^3 h_2 i + 2 k_\varepsilon \operatorname{tg} \varepsilon \mu_v k_a h_1^3 h_2^2 = 0,$$

ami i -re nézve egy harmadfokú egyenlet.

A harmadfokú egyenlet a baloldal tényezőkre bontásával, a *Cardano-képlet* alkalmazásával, táblázatok segítségével, vagy valamilyen numerikusan eljárással oldható

meg. A megoldás pozitív valós gyökeinek valamelyike lesz egyenlő a határfeszültség állapothoz tartozó maximális szállítóelem-osztással ($i_{\max}$).

A legegyszerűbben alkalmazható numerikus eljárás az iteráció. A σ_i helyettesítése előtti egyensúlyi egyenletből a szállítóelem-osztást kifejezve, olyan iterációs összefüggést kapunk, amellyel az $i_{\max}$ értéke gyorsan és tetszőleges pontossággal közelíthető:

$$i_{\max} = \frac{k_\varepsilon h_2 b}{2\mu_v \rho_h g} \frac{h_2 \rho_h g + 2h_1 \rho_h g + 2\sigma_i}{h^* k_a + hb} \text{ [m]},$$

ahol a

$$\sigma_i = \sigma_z \left(1 - \frac{h_2 \operatorname{tg} \varepsilon}{i} \right), \text{ és a } \sigma_z = \frac{2h_1^3 \rho_h g \mu_v k_a}{bi}.$$

Az iterációs eljárás a következő:

1. Az i kezdeti értékét vegyük fel a vályúszelesség függvényében. A gyakorlatban a vízszintes rédlerek szállítóelem-osztása:

$$i^{(1)} = \left(\frac{b}{2} + 40 \right) / 1000 \text{ [m]},$$

ahol: b a vályúszelesség [mm].

2. A $k+1$ -edik iterációhoz számítsuk ki a $\sigma_i^{(k)}$ értékét:

$$\sigma_i^{(k)} = \frac{2h_1^3 \rho_h g \mu_v k_a}{bi^{(k)}} \left(1 - \frac{h_2 \operatorname{tg} \varepsilon}{i^{(k)}} \right).$$

3. Számítsuk ki az i értékét a $k+1$ -edik iterációban:

$$i^{(k+1)} = \frac{k_\varepsilon h_2 b}{2\mu_v \rho_h g} \frac{h_2 \rho_h g + 2h_1 \rho_h g + 2\sigma_i^{(k)}}{h^* k_a + hb}$$

4. Minden lépés után megvizsgáljuk a

$$|i^{(k+1)} - i^{(k)}| \leq \varepsilon$$

feltétel teljesülését, ahol ε tetszőlegesen kicsi szám. Ha a feltétel teljesül, akkor az

$$i_{\max} = i^{(k+1)},$$

különben az iterációt megismételjük.

Ha az $i_{\max}$ kisebb, mint a választott szállítóelem-osztás, akkor növeljük a h_1 értékét. (Ne felejtjük el, hogy ez a korrekció megváltoztatja a szállítási keresztmetszetet.)

Megtehetjük azt is, hogy a választott lánc által meghatározott szállítóelem-osztáshoz tartozó **minimális h_1 rétegmagasság** értékét számítjuk ki a határfeszültség állapotra felírt egyenletből. Ehhez az egyenletet h_1 -re rendezzük:

Ha a $h^* = h$, akkor a $h^* = h_1 + h_2$, és a

$$2k_{\epsilon}\mu_{\nu}k_a h_2(i-h_2\operatorname{tg}\epsilon)h_1^3 - \mu_{\nu}i^3k_a h_1^2 + i^2(k_{\epsilon}bh_2 - 2\mu_{\nu}ik_a h_2 - \mu_{\nu}ib)h_1 + \\ + i^2h_2(k_{\epsilon}b\frac{h_2}{2} - \mu_{\nu}ik_a h_2 - \mu_{\nu}ib) = 0,$$

ha a $h^*=h_1$, akkor a

$$2k_{\epsilon}\mu_{\nu}k_a h_2(i-h_2\operatorname{tg}\epsilon)h_1^3 - \mu_{\nu}i^3k_a h_1^2 + bi^2(k_{\epsilon}h_2 - \mu_{\nu}i)h_1 + bi^2h_2(k_{\epsilon}\frac{h_2}{2} - \mu_{\nu}i) = 0,$$

amelyek ugyancsak harmadfokú egyenletek. Ezeknek az egyik valós, pozitív gyöke a határfeszültség állapothoz tartozó $h_{1\min}$ rétegmagasságot adja. Ha a $h_1 > h_{1\min}$, akkor a megcsúszás, illetve a prizma kiemelkedése nem következik be.

2.5.3. A rédler szállítóképessége

A vízszintes rédler szállítóképessége:

$$Q=3,6bh\rho_h v c_1 c_2 c_3 \text{ [t/h]},$$

ahol:

- b a vályú szélessége [m],
- h az anyagréteg magassága [m],
- ρ_h az ömlesztett anyag halmazsűrűsége [kg/m³],
- v a lánc sebessége [m/s],
- c_1 a keresztmetszet-csökkenés a szállítólánc miatt (0,9...0,95),
- c_2 az anyag-visszamaradási tényező,
- c_3 a szállítás szögétől függő tényező.

Az anyagkeresztmetszet $A=bh$. A h/b viszony értéke 0,6...0,8, a vályú szélessége pedig $b > 5d$, ahol d az anyag szemcsenagysága. Az anyag-visszamaradási tényező a h/b viszonyszám függvénye: szemcsés anyagoknál $h/b=0,6$ esetén $c_2=0,95$, $h/b=0,8$ esetén $c_2=0,85$; poros, száraz anyagoknál $c_2=0,5...0,6$. A szállítás szögétől függő c_3 értéke $\delta=0...15^\circ$ között 1...0,94.

A függőleges rédler szállítóképessége:

$$Q=3,6ab\rho_h v c_1 c_4 \text{ [t/h]},$$

Az anyagkeresztmetszet $A=ab$ megegyezik a vályú keresztmetszetével, ahol az $a/b=0,6...0,8$. A c_4 anyag-visszamaradási tényező: darabos anyagoknál 0,8, poros anyagoknál 0,5 értékre vehető fel.

2.5.4. A hajtás teljesítményigénye

A vonóláncban ébredő vonóerőt az egyes pályaszakaszok ellenállásainak a mozgás irányában való összegzésével nyerjük. Az összegzést mindig a legkisebb terhelésű pontból indítjuk. Az egyes szakaszok ellenállásait a következő képletekkel számíthatjuk:

vízszintes üres szakasz

$$F_{vu} = \mu_l q_l L [\text{N}],$$

vízszintes szállító szakasz

$$F_{vs} = (\mu_v q_a + \mu_v k_a h^2 \rho_h g + \mu_l q_l) L [\text{N}],$$

függőleges szállító szakasz

$$F_{\bar{s}} = (q_a + q_l) H + S_{\bar{s}} [\text{N}],$$

ahol:

- μ_l a vonólánc és vezetéke közötti súrlódási tényező,
- μ_v a vályú és az anyag közötti súrlódási tényező,
- ρ_h az ömlesztett anyag halmazsűrűsége $[\text{kg/m}^3]$,
- h^* a vályú falával érintkező rétegmagasság $[\text{m}]$,
- q_l a vonólánc folyómétersúlya $[\text{N/m}]$,
- q_a az anyag folyómétersúlya $[\text{N/m}]$,
- L a vízszintes szakasz hossza $[\text{m}]$,
- H a függőleges szakasz magassága $[\text{m}]$.

Egy láncág esetén a $h^* = h$, két láncág esetén pedig $h^* = h_1$.

A függőleges szakaszon a falsúrlódás:

$$S_{\bar{s}} = 2\mu_v p_f (a+b) H [\text{N}],$$

ahol a p_f falnyomást a láncgeometriának megfelelően kell számítani.

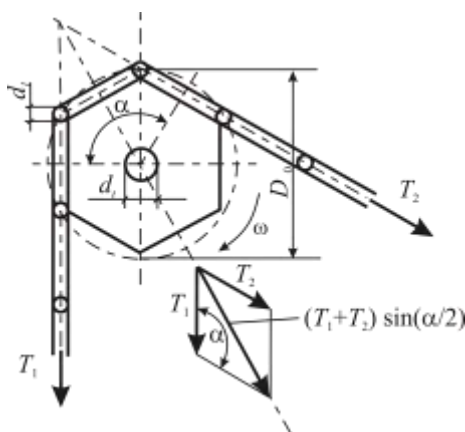
A vonólánc ellenállása irányváltotatáskor az **íves szakaszokon**:

$$F_v = F_h + F_{cs},$$

ahol:

- F_h a láncsapokon ébredő csapsúrlódási ellenállása,
- F_{cs} a láncréc tengelyének csapsúrlódási ellenállása.

Tekintsük a 2.5.12. ábrán az óramutató járásával megegyező irányban szabadon



forgó terelő vagy irányváltó lánckereket, amelynek felfutó és lefutó láncágában T_1 , illetve T_2 húzóerő ébred.

A láncrécerekre felfutó lánc hevederei, a hevedereket összekötő csapokon, egymáshoz viszonyítva elfordulnak. A csapokat $T_1 + T_2$ húzóerő terheli, ezért a **hevederek elfordításával szemben ébredő csapsúrlódási ellenállás**, a forgástengelyre írt nyomatéki egyenletből:

$$F_h = \mu_l \frac{d_l}{D_0} (T_1 + T_2),$$

2.5.12. ábra: A visszaterelő láncrécerekre ható erők

ahol:

- μ_l a láncsap csapsúrlódási tényezője,

- d_l a lánccsap átmérője [m]
 D_0 a lánckerék osztókör átmérője [m],
 T_1 a lánckerékre felfutó láncágban ébredő húzóerő [N],
 T_2 a lánckerékről lefutó láncágban ébredő húzóerő [N].

A lánccsap csapsúrlódási tényezője a szennyezés és a rossz kenés miatt meglehetősen nagy értékű, $\mu_l = 0,2 \dots 0,4$.

Mivel a $T_1 \approx T_2$, akkor az

$$F_h = 2\mu_l \frac{d_l}{D_0} T_1.$$

Legyen $k = 2\mu_l d_l / D_0$, amit helyettesítve, a lánccsuklón ébredő **csapsúrlódási ellenállás**:

$$F_h = kT_1.$$

A lánckerék tengelyén átmenő erő: $(T_1 + T_2)\sin\alpha/2$ (2.5.12. ábra), így **tengely csapsúrlódási ellenállása**:

$$F_{cs} = \mu \frac{d_t}{D_0} (T_1 + T_2) \sin\alpha/2$$

ahol

- μ a kerékcso csapsúrlódási tényezője,
 d_t a kerékcso átmérője,
 D_0 a lánckerék osztókör átmérője [m]
 α a fel és lefutó láncág egymással bezárt szöge (2.5.12. ábra).

A kerékcso csapsúrlódási tényezője gördülő csapágyazásnál $0,005 \dots 0,04$, csúszócso csapágyazásnál $0,15 \dots 0,3$.

Ismét használjuk fel a $T_1 \approx T_2$ közelítést, amellyel a **csapsúrlódási ellenállás**:

$$F_{cs} = 2\mu \frac{d_t}{D_0} T_1 \sin \frac{\alpha}{2}.$$

A lánccsapok és a lánckerék tengely csapsúrlódási ellenállásra kapott eredményeket helyettesítve, az

$$F_{iv} = kT_1 + 2\mu \frac{d_t}{D_0} T_1 \sin \frac{\alpha}{2} = T_1 \left(k + 2\mu \frac{d_t}{D_0} \sin \frac{\alpha}{2} \right).$$

Az ellenállás változása a felfutó és a lefutó ág között F_{iv} , így a

$$T_2 = T_1 + F_{iv} = T_1 \left[1 + \left(k + 2\mu \frac{d_t}{D_0} \sin \frac{\alpha}{2} \right) \right] = \xi T_1,$$

ahol a ξ értéke $\alpha=90^\circ$ -nál $1,03 \dots 1,05$, és $\alpha=180^\circ$ -nál $1,05 \dots 1,07$.

A lánc különböző pontjaiban ébredő vonóerő nagyságát a **húzóerő diagram** megrajzolásával tehetjük szemléletessé. A 2.5.13. ábrán egy vízszintes rédlerre megszerkesztett diagramot láthatunk. A szerkesztést a legkisebb terhelésű pontban (1 pont) kezdjük, ahol csak az F_e előfeszítő erő ébred, azaz

$$F_1 = F_e.$$

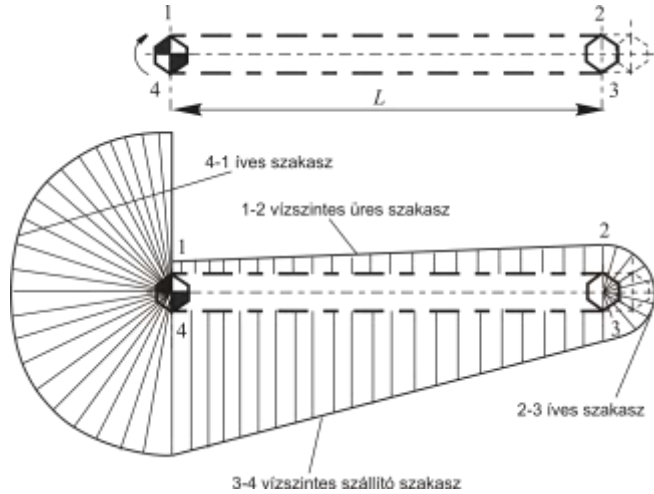
Az 1-2 pontok közötti üres szakaszon a húzóerő az F_1 -ről F_2 -re növekszik:

$$F_2 = F_1 + F_{w1} = F_1 + \mu_l q_l L.$$

A 2-3 íves szakaszon a növekedés:

$$F_3 = \xi F_2,$$

ahol $\xi = 1,05 \dots 1,07$.



2.5.13. ábra: Egy vízszintes rédler húzóerő diagramja

A 3-4 szállítószakaszon a változás:

$$F_4 = F_3 + F_{vs} = F_3 + (\mu_v q_a + \mu_v k_a h^2 \rho_h g + \mu_l q_l) L.$$

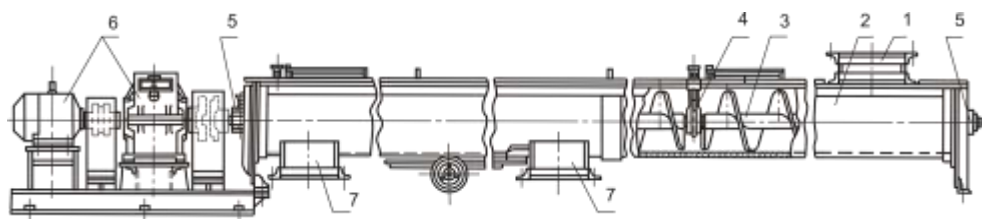
Az ellenállások összegzése után a **hajtás teljesítményigénye** számítható:

$$P = \frac{(F_4 - F_1)v}{1000\eta} \text{ [kW]},$$

ahol az F_4 a hajtókerékre felfutó, az F_1 a hajtókerékről lefutó láncágban ébredő erő, az η pedig a hajtómű hatásfoka.

2.6. SZÁLLÍTÓCSIGÁK

A szállítócsiga a legrégebb szállítóberendezések egyike. Szerkezete nagyon egyszerű, gyakorlatilag csak a vályúból, a csigából és a hajtásból áll. A szállítóeleme és egyben az egyetlen mozgó alkatrésze a csavarfelületszerűen kialakított, szárnyakkal ellátott csigatengely, amely forgása közben a nyitott vagy zárt vályúban mozgatja az anyagot (2.6.1. ábra).



2.6.1. ábra: Szállítócsiga vázlata

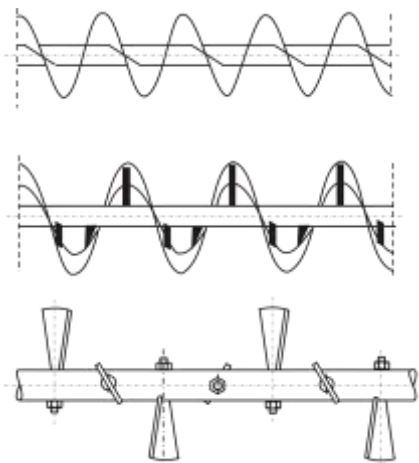
- 1) adagolónyílás, 2) csigaház, 3) csiga, 4) függesztő csapág, 5) csapág, 6) hajtás, 7) kiömlőnyílás

A csigatengely forgása következtében a mozgatóerő a csigaszárnynon keresztül adódik át a szállított anyagra, miközben azt előre tolja. Első közelítésben a működés feltétele, hogy az ömlesztett anyag és a vályú között a súrlódás nagyobb legyen, mint az anyag és a csigaszárnnyak között. Ez a feltétel száraz, nem tapadós anyagoknál általában teljesül. Tapadós, összeálló anyagok továbbítása azonban ezen oknál fogva nehézségekbe ütközik. A gyakorlat azt mutatja, hogy a szállítócsigával mozgatható ömlesztett anyagok száma rendkívül nagy. A porszerű, szemcsés apró darabos, félnedves és rostos anyagok vízszintesen vagy enyhén ferdén ($\delta < 20^\circ$) szállíthatók. Meredek vagy függőleges szállításhoz különleges kialakítás szükséges [27].

Az egyszerűség mellett a szállítócsiga további előnye az anyag fel- és leadás automatizálhatósága. Erős felépítésük miatt folyamatos üzembn nagy igénybevételnek is megfelelnek. Keresztmetszetük kicsi, ezért helyszükségletük nem jelentős. Zárt vályúban mérgező vagy robbanásveszélyes anyagok is szállíthatók. Szállítókapességük $1...300 \text{ m}^3/\text{h}$, a szállítási hossz 50 m-ig terjedhet. Fordulatszámuk $10...250 \text{ min}^{-1}$, a szállítási sebesség $0,4...0,6 \text{ m/s}$.

2.6.1. A szállítócsigák szerkezeti kialakítása

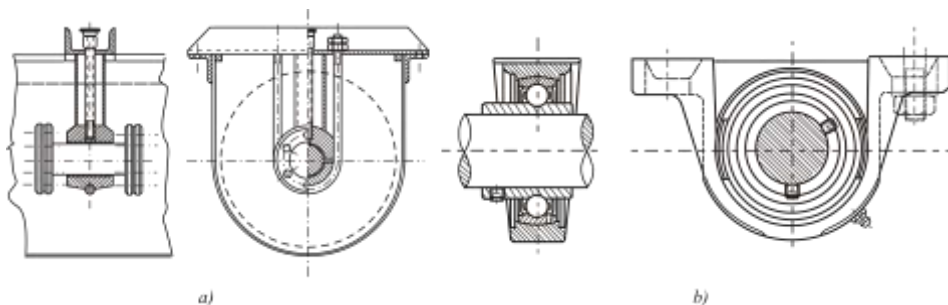
A berendezés legfontosabb része a tengelyből és a levélből álló **csiga**. A leggyakrabban használt csigafajtákat a 2.6.2. ábra mutatja. A lemezcsigát porszerű és szemcsés, a szalagcsigát darabos és tapadós, a lapátos csigát ragadós, összeálló anyagokhoz alkalmazzák.



2.6.2. ábra: Csigaszárny fajták

műanyag lehet.

A **vályú** méretei a csiga átmérőjétől és a szállított anyagtól függenek. A csiga és a csigavályú közötti hézag a szállított anyagtól függően 5...10 mm. A darabos anyagok beszorulásának elkerülése érdekében a csigatengelyt gyakran excentrikusan csapágyazzák.



2.6.3. ábra: Függesztő csapágyak

a) siklócsapágy, b) Y-csapágy öntöttvas házzal

A 3...6 mm-es acéllemezről U alakúra hajlított 2...3 m hosszú szakaszokat peremes kötéssel csavarozzák egymáshoz. A beömlőnyílásokat, a fedeleket és a függő csapágyakat a vályú két oldalán végigfutó szögacél vagy a vályú saját anyagából kihajlított peremre szerelik fel (2.6.3. ábra).

A hosszabb csigáknál gyakran több közbenső kiömlőnyílást is kialakítanak. Ilyenkor gondoskodni kell a kiömlőnyílások zárhatóságáról, amit sík vagy kagylós tolvárrel oldanak meg.

A legtöbbször a 4...10 mm-es acéllemezről sajtoltt **csigalevelet** a csigatengelyre hegesztik, vagy a cserélhetőség érdekében a tengelybe csavarozott ún. szárnyrögzítőre erősítik. A **csigatengely** keresztmetszete cső, amely a két végén gördülőcsapágyban ágyazott. Az egyik végén a **főcsapágy** az elhelyezéstől függően a tengelyirányú húzó- vagy nyomóerőt veszi fel. Ezzel ellentétes oldalon helyezik el a radiális **végcsapágyat**. A hosszabb tengelyeket 2,5...3 m-enként közbenső, ún. függesztő csapággal is alá kell támasztani. Ezek legtöbbször függőleges irányban állítható, cserélhető perselyű **siklócsapágyak**, vagy önbeálló **Y-csapágyak** (2.6.3. ábra). A perselyek anyaga szürkeöntvény, vasöntvény vagy

2.6.2. A szállítócsiga elmélete

A csavarvonalon mozgó tömegpont differenciálegyenlete

A csigavályúba adagolt anyagi részecskét tömegpontnak (P) tekintjük, és mozgását az 2.6.4. ábra szerinti jobbsodrású x, y, z álló koordinátarendszerben, valamint a $\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b}$ egységvektorok által meghatározott forgó vonatkoztatási rendszerben vizsgáljuk. Az általános tárgyalás érdekében a z tengely, amely egybeesik a csigatengelyével, δ szöget zár be a vízszintessel. Továbbá feltételezzük, hogy a tömegpont a csigaszárnnyal burkoló henger felületén és a csigaszárnnyal peremén elhelyezkedő csavarvonalon mozog, a súrlódási tényezők pedig állandók [4].

Mint ismeretes a forgó vonatkoztatási rendszerben érvényes mozgásegyenletet úgy kapjuk, hogy a valódi erőkhöz hozzáadjuk a forgás miatt fellépő ún. járulékos vagy tehetetlenségi erőket (a szállító és a Coriolis erőket). Ezzel a forgó rendszer minden befolyását figyelembe vesszük a látszólagos pálya alakulására, és a továbbiakban a rendszer forgásától eltekinthetünk. A forgó vonatkoztatási rendszerben érvényes mozgásegyenlet tehát:

$$(2.6.1) \quad m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{G} + \mathbf{S}_1 + \mathbf{S}_2 + \mathbf{B} + \mathbf{N} + \mathbf{F}_s + \mathbf{F}_c,$$

ahol:

- m a tömeg,
- $\ddot{\mathbf{r}}$ a tömegpont relatív mozgásának a gyorsulása a csavarvonalhoz viszonyítva,
- $\mathbf{S}_1$ a súrlódási erő a tömegpont és a csavarfelület között,
- $\mathbf{S}_2$ a súrlódási erő a tömegpont és a vályú között,
- $\mathbf{B}$ a kényszererő a csavarvonalon,
- $\mathbf{N}$ a kényszererő a vályú falán,
- $\bar{\omega}_0$ a csigatengely szögsebessége,
- $\dot{\mathbf{s}}$ a tömegpont relatív mozgásának a sebessége a csavarvonalhoz viszonyítva,
- $\mathbf{G} = m\mathbf{g}$ a súlyerő,
- $\mathbf{F}_s = -m[\bar{\omega}_0 \times (\bar{\omega}_0 \times \mathbf{r})]$ a szállító erő vagy centrifugális erő,
- $\mathbf{F}_c = -m(2\bar{\omega}_0 \times \dot{\mathbf{s}})$ a Coriolis erő.

A modellben az $\mathbf{S}_1$ és $\mathbf{S}_2$ súrlódási erőkhöz tartozó súrlódási tényezőket állandónak tekintjük.

Először határozzuk meg a $\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b}$ egységvektorokat az x, y, z álló koordináta rendszerben. A csavarvonal egyenlete legegyszerűbben az $\mathbf{r}(s)$ helyvektorral írható le, ahol s a görbe ívhossza. A csavarfelület külső peremén lévő csavarvonalra mutató $\mathbf{r}$ helyvektor x, y, z komponensei (2.6.4. ábra):

$$(2.6.2) \quad \mathbf{r} = r \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \\ \varphi \tan \alpha \end{bmatrix},$$

ahol:

- α a csavarvonal menetemelkedési szöge,

$$\frac{d\varphi}{ds} = \frac{\cos \alpha}{r}.$$

Helyettesítés után a $\mathbf{t}$ érintővektor:

$$(2.6.3) \quad \mathbf{t} = \cos \alpha \begin{bmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \\ \operatorname{tg} \alpha \end{bmatrix}.$$

A második, az ún. $\mathbf{n}$ főnormális egységvektort a $\mathbf{t}$ érintőirányú egységvektor ív-hossz szerinti deriválásával nyerjük:

$$\mathbf{r}'' = \mathbf{t}' = \frac{d\mathbf{t}}{ds} = \frac{d\mathbf{t}}{d\varphi} \frac{d\varphi}{ds}.$$

A deriválást elvégezve és a $d\varphi/ds$ -t helyettesítve az

$$(2.6.4) \quad \mathbf{r}'' = \mathbf{t}' = \frac{d\mathbf{t}}{ds} = \frac{\cos^2 \alpha}{r} \begin{bmatrix} -\cos \varphi \\ -\sin \varphi \\ 0 \end{bmatrix} = g\mathbf{n} = \frac{1}{R}\mathbf{n},$$

ahol az $R = r / \cos^2 \alpha$ a görbületi sugár, a $g = 1/R$ pedig a görbület. A $\mathbf{t}'$ abszolút értéke, azaz a nagysága $|\mathbf{t}'| = g = 1/R$.

Végül tudjuk, hogy a $\mathbf{b} = \mathbf{t} \times \mathbf{n}$ a binormális vektor:

$$\mathbf{b} = \mathbf{t} \times \mathbf{n} = \cos \alpha \begin{bmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \\ \operatorname{tg} \alpha \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -\cos \varphi \\ -\sin \varphi \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \alpha \sin \varphi \\ -\sin \alpha \cos \varphi \\ \cos \alpha \end{bmatrix}.$$

A $\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b}$ vektorokból álló ún. kísérő triédert, mint forgó vonatkoztatási rendszert rendeljük a csavarvonalhoz, és ebben a rendszerben írjuk le a tömegpont mozgását.

A forgó rendszerben fellépő relatív mozgás gyorsulás komponenseit az $\mathbf{r}$ vektor idő szerinti kétszeres deriválásával kapjuk meg:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{r}} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{d\mathbf{r}}{ds} \frac{ds}{dt} = \dot{s}\mathbf{t}, \\ \ddot{\mathbf{r}} &= \dot{s}\mathbf{t} + \dot{s} \frac{d\mathbf{t}}{dt} = \dot{s}\mathbf{t} + \dot{s} \frac{d\mathbf{t}}{ds} \frac{ds}{dt} = \dot{s}\mathbf{t} + \frac{\dot{s}^2}{R}\mathbf{n}, \end{aligned}$$

így a (2.6.1) mozgásegyenlet baloldala a következő lesz:

$$(2.6.6) \quad m\ddot{\mathbf{r}} = m\dot{s}\mathbf{t} + m \frac{\dot{s}^2}{R}\mathbf{n}$$

A továbbiakban transzformáljuk a tömegpontra ható erőket a $\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b}$ rendszerbe. A **súlyerő** komponenseit a $\mathbf{G} = m\mathbf{g}$ és az egységvektorok skaláris szorzataként kapjuk:

$$(2.6.7) \quad \mathbf{Gt} = \begin{bmatrix} 0 \\ mg \cos \delta \\ -mg \sin \delta \end{bmatrix} \cos \alpha \begin{bmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \\ \operatorname{tg} \alpha \end{bmatrix} = \\ = mg \cos \alpha \cos \varphi \cos \delta - mg \sin \alpha \sin \delta,$$

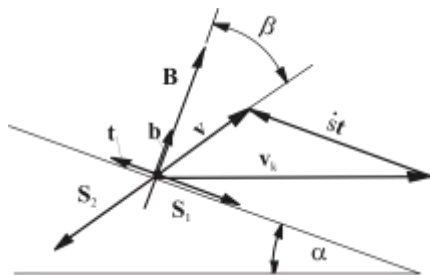
$$(2.6.8) \quad \mathbf{Gn} = \begin{bmatrix} 0 \\ mg \cos \delta \\ -mg \sin \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\cos \varphi \\ -\sin \varphi \\ 0 \end{bmatrix} = -mg \sin \varphi \cos \delta,$$

$$(2.6.9) \quad \mathbf{Gb} = \begin{bmatrix} 0 \\ mg \cos \delta \\ -mg \sin \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \alpha \sin \varphi \\ -\sin \alpha \cos \varphi \\ \cos \alpha \end{bmatrix} = \\ = -mg \sin \alpha \cos \varphi \cos \delta - mg \cos \alpha \sin \delta.$$

A járulékos erők:

$$(2.6.10) \quad \mathbf{F}_s = -m[\bar{\omega}_0 \times (\bar{\omega}_0 \times \mathbf{r})] = -mr \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\omega_0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\omega_0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \\ \varphi \operatorname{tg} \alpha \end{bmatrix} = \\ = -mr \omega_0^2 \begin{bmatrix} -\cos \varphi \\ -\sin \varphi \\ 0 \end{bmatrix} = -mr \omega_0^2 \mathbf{n},$$

$$(2.6.11) \quad \mathbf{F}_c = -2m(\bar{\omega}_0 \times \dot{\mathbf{s}}\mathbf{t}) = -2m \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\omega_0 \end{bmatrix} \times \dot{s} \cos \alpha \begin{bmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \\ \operatorname{tg} \alpha \end{bmatrix} = \\ = 2m \omega_0 \dot{s} \begin{bmatrix} -\cos \varphi \\ -\sin \varphi \\ 0 \end{bmatrix} = 2m \omega_0 \dot{s} \cos \alpha \mathbf{n},$$



2.6.6. ábra: A tömegpontra ható súrlódási erők

vagyis mindkét vektor $\mathbf{n}$ irányú.

A súrlódási erők a sebességviszonyok ismeretében értelmezhetők. A tömegpont abszolút sebessége

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_k + \dot{\mathbf{s}}\mathbf{t},$$

ahol $\mathbf{v}_k$ a csavarvonal kerületi, $\dot{s}$ pedig a tömegpont csavarvonalhoz viszonyított relatív mozgásának a sebessége.

Az $\mathbf{S}_1$ súrlódási erő a csavarvonalra merőleges $\mathbf{B}$ kényszererő hozza létre, értelme pedig $\dot{s}\mathbf{t}$ -vel, a relatív mozgás sebességével ellentétes (2.6.6. ábra):

$$(2.6.12) \quad \mathbf{S}_1 = -\mu_1 |\mathbf{B}| \mathbf{t},$$

ahol μ_1 a tömegpont és a csavarfelület közötti súrlódási tényező.

Az $\mathbf{S}_2$ súrlódási erőt az $\mathbf{n}$ irányú szabad- és tehetetlenségi erők létesítik, azaz:

$$\mathbf{N} + \mathbf{F}_s + \mathbf{F}_c - m \frac{\dot{s}^2}{R} \mathbf{n} - mg \sin \varphi \cos \delta \mathbf{n} = 0,$$

amelyből a csigavályú falán ébredő kényszererő:

$$(2.6.13) \quad \mathbf{N} = m \left(r \omega_0^2 - 2 \omega_0 \dot{s} \cos \alpha + g \sin \varphi \cos \delta + \frac{\dot{s}^2}{R} \right) \mathbf{n}.$$

A súrlódási erő:

$$(2.6.14) \quad \mathbf{S}_2 = -\mu_2 |\mathbf{N}| \frac{\mathbf{v}}{|\mathbf{v}|},$$

ahol μ_2 a tömegpont és a vályú közötti súrlódási tényező, $\mathbf{v}$ a tömegpont abszolút sebessége, amely a $\mathbf{b}$ vektorhoz β szög alatt hajlik. A szállítás irányát jellemző β szöget a **szállítás szögének** nevezzük. Az $\mathbf{S}_2$ súrlódási erő tehát $\mathbf{v}$ irányú, de azzal ellentétes értelmű (2.6.6. ábra).

A $\mathbf{v}/|\mathbf{v}|$ egységvektor kiszámításához írjuk fel a sebességegyenletet:

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_k + \dot{s} \mathbf{t},$$

ahol a

$$\mathbf{v}_k = \bar{\omega}_0 \times \mathbf{r} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\omega_0 \end{bmatrix} \times r \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \\ \varphi \operatorname{tg} \alpha \end{bmatrix} = r \omega_0 \begin{bmatrix} \sin \varphi \\ -\cos \varphi \\ 0 \end{bmatrix}.$$

A sebesség egyenletet a komponensekkel:

$$(2.6.15) \quad \mathbf{v} = r \omega_0 \begin{bmatrix} \sin \varphi \\ -\cos \varphi \\ 0 \end{bmatrix} + \dot{s} \cos \alpha \begin{bmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \\ \operatorname{tg} \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \varphi (r \omega_0 - \dot{s} \cos \alpha) \\ -\cos \varphi (r \omega_0 - \dot{s} \cos \alpha) \\ \dot{s} \sin \alpha \end{bmatrix},$$

amelyből a

$$(2.6.16) \quad |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{r^2 \omega_0^2 - 2 r \omega_0 \dot{s} \cos \alpha + \dot{s}^2}.$$

Ezek után az $\mathbf{S}_2$, $\mathbf{t}$ és $\mathbf{b}$ irányú komponensei (az $\mathbf{n}$ irányú komponens 0):

$$(2.6.17) \quad \mathbf{S}_2 \mathbf{t} = -\mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{|\mathbf{v}|} \begin{bmatrix} \sin \varphi (r \omega_0 - \dot{s} \cos \alpha) \\ -\cos \varphi (r \omega_0 - \dot{s} \cos \alpha) \\ \dot{s} \sin \alpha \end{bmatrix} \cos \alpha \begin{bmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \\ \operatorname{tg} \alpha \end{bmatrix} = \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{|\mathbf{v}|} (r \omega_0 \cos \alpha - \dot{s}),$$

$$(2.6.18) \quad \mathbf{S}_2 \mathbf{b} = -\mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{|\mathbf{v}|} \begin{bmatrix} \sin \varphi (r \omega_0 - \dot{s} \cos \alpha) \\ -\cos \varphi (r \omega_0 - \dot{s} \cos \alpha) \\ \dot{s} \sin \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \alpha \sin \varphi \\ -\sin \alpha \cos \varphi \\ \cos \alpha \end{bmatrix} = -\mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{|\mathbf{v}|} r \omega_0 \sin \alpha.$$

Végül, a (2.6.6)-(2.6.13), (2.6.17), (2.6.18) eredményeket a (2.6.1) mozgásegyenletbe helyettesítve megkapjuk a csavarvonalon mozgó tömegpont mozgásegyenletének kifejtett alakját:

$$(2.6.19) \quad m \ddot{s} = mg \cos \alpha \cos \varphi \cos \delta - mg \sin \alpha \sin \delta - \mu_1 |\mathbf{B}| + \mu_2 |\mathbf{N}| \frac{r \omega_0 \cos \alpha - \dot{s}}{\sqrt{r^2 \omega_0^2 - 2 r \omega_0 \dot{s} \cos \alpha + \dot{s}^2}}$$

$$|\mathbf{N}| = mg \sin \varphi \cos \delta + m r \omega_0^2 - 2 m \omega_0 \dot{\sigma} \cos \alpha + m \frac{\dot{\sigma}^2}{R},$$

$$|\mathbf{B}| = mg \sin \alpha \cos \varphi \cos \delta + mg \cos \alpha \sin \delta + \mu_2 |\mathbf{N}| \frac{r \omega_0 \sin \alpha}{\sqrt{r^2 \omega_0^2 - 2 r \omega_0 \dot{\sigma} \cos \alpha + \dot{\sigma}^2}}.$$

A 2.6.6. ábrából leolvasható:

$$(2.6.20) \quad \sin \beta = \frac{|\mathbf{v}_k| \cos \alpha - \dot{\sigma}}{|\mathbf{v}|} = \frac{r \omega_0 \cos \alpha - \dot{\sigma}}{\sqrt{r^2 \omega_0^2 - 2 r \omega_0 \dot{\sigma} \cos \alpha + \dot{\sigma}^2}},$$

és

$$(2.6.21) \quad \cos \beta = \frac{|\mathbf{v}_k| \sin \alpha}{|\mathbf{v}|} = \frac{r \omega_0 \sin \alpha}{\sqrt{r^2 \omega_0^2 - 2 r \omega_0 \dot{\sigma} \cos \alpha + \dot{\sigma}^2}}.$$

Ezeket helyettesítve a (2.6.19) komponens egyenletekbe:

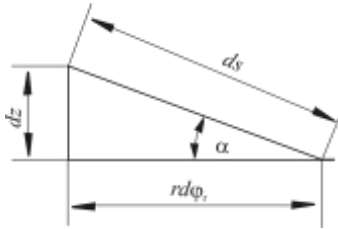
$$(2.6.22) \quad m \ddot{s} = mg \cos \alpha \cos \varphi \cos \delta - mg \sin \alpha \sin \delta - \mu_1 |\mathbf{B}| + \mu_2 |\mathbf{N}| \sin \beta,$$

$$|\mathbf{N}| = mg \sin \varphi \cos \delta + m r \omega_0^2 - 2 m \omega_0 \dot{\sigma} \cos \alpha + m \frac{\dot{\sigma}^2}{R},$$

$$|\mathbf{B}| = mg \sin \alpha \cos \varphi \cos \delta + mg \cos \alpha \sin \delta + \mu_2 |\mathbf{N}| \cos \beta.$$

A fenti hiányos, nemlineáris másodrendű differenciálegyenlet tartalmazza a vízszintes és a függőleges csiga mozgástörvényeit is. A vízszintes és a függőleges csiga mozgásegyenletei $\delta=0$, illetve $\delta=\pi/2$ helyettesítéssel nyerhetők. A mozgásegyenletből (még akkor is, ha nem sikerül eljutnunk az általános megoldáshoz) értékes következtetések vonhatók le, vagy a gyakorlat igényeit kielégítő, közelítő megoldások nyerhetők.

A differenciálegyenlet megoldása



2.6.7. ábra.

A (2.6.22) differenciálegyenlet megoldásához vezessük be a φ_r relatív szögelfordulás fogalmát. A 2.6.7. ábra alapján

$$ds = \frac{r}{\cos \alpha} d\varphi_r,$$

amit dt -vel osztva megkapjuk a relatív mozgás sebességét:

$$\dot{s} = \frac{ds}{dt} = \frac{r}{\cos \alpha} \dot{\varphi}_r,$$

a relatív mozgás gyorsulása pedig

$$\ddot{s} = \frac{r}{\cos \alpha} \ddot{\varphi}_r,$$

ahol $\dot{\varphi}_r$ a relatív mozgás szögsebessége, $\ddot{\varphi}_r$ a relatív mozgás szöggyorsulása.

Az eredményeket a (2.6.20-22) egyenletekbe helyettesítve, majd rendezve, a következő egyenleteket kapjuk:

$$(2.6.23/a) \quad \ddot{\varphi}_r = \frac{\cos \alpha}{r} \left(g \cos \alpha \cos \varphi \cos \delta - g \sin \alpha \sin \delta - \mu_1 \frac{|\mathbf{B}|}{m} + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \sin \beta \right)$$

ahol:

$$(2.6.23/b) \quad \frac{|\mathbf{N}|}{m} = g \sin \varphi \cos \delta + r \omega_0^2 - 2r \omega_0 \dot{\varphi}_r + r \dot{\varphi}_r^2,$$

$$(2.6.23/c) \quad \frac{|\mathbf{B}|}{m} = g \sin \alpha \cos \varphi \cos \delta + g \cos \alpha \sin \delta + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \cos \beta,$$

$$(2.6.23/d) \quad \sin \beta = \frac{\omega_0 \cos^2 \alpha - \dot{\varphi}_r}{\sqrt{\omega_0^2 \cos^2 \alpha - 2\omega_0 \dot{\varphi}_r \cos^2 \alpha + \dot{\varphi}_r^2}}$$

$$(2.6.23/e) \quad \cos \beta = \frac{\omega_0 \cos \alpha \sin \alpha}{\sqrt{\omega_0^2 \cos^2 \alpha - 2\omega_0 \dot{\varphi}_r \cos^2 \alpha + \dot{\varphi}_r^2}}$$

A (2.6.23) egyenletekből még a tömegpont abszolút helyzetét jellemző φ szöget kell kiküszöbölni, pontosabban a φ_r relatív szögelfordulás függvényeként felírni. Legyen φ_0 a $t=0$ időponthoz tartozó szög, a csigatengely forgásiránya negatív, a relatív forgás iránya pedig pozitív, így a

$$(2.6.23/f) \quad \varphi = \varphi_0 - (\omega_0 t - \varphi_r).$$

A kezdeti érték feladat numerikus megoldásához szükséges kezdeti feltételek könnyen megadhatók. A $t=0$ időpontban a tömegpont $\varphi=\varphi_0$ helyzetből indul, ekkor relatív szögelfordulás $\varphi_r(0)=0$, és a relatív mozgás szögsebesség ugyancsak nulla, azaz $\dot{\varphi}_r(0)=0$.

Mint az ismeretes a magasabb rendű differenciálegyenletek általában visszavezethetők elsőrendű differenciálegyenlet-rendszerre, és ezt követően az ismert módszerek bármelyikét alkalmazhatjuk a megoldásra. A (2.6.23) másodrendű differenciálegyenlet általánosan

$$\ddot{\varphi}_r = f(\dot{\varphi}_r, \varphi_r, t).$$

Legyen $\dot{\varphi}_r = z$, akkor az új változó bevezetése után a differenciálegyenlet-rendszer:

$$\dot{z} = f(z, \varphi_r, t),$$

$$\dot{\varphi}_r = g(z, \varphi_r, t).$$

A kezdeti feltételek pedig

$$\varphi_r(0) = 0 \text{ és } z(0) = 0.$$

A $\mu_1=0,36$, $\mu_2=0,6$, $\alpha=14,3^\circ$, $\delta=0^\circ$ és 40° , $r=0,125$ m, $\omega_0=10$ 1/s paraméterekkel és $\varphi_0=161,93^\circ$ és $142,37^\circ$ kezdeti feltételekkel jellemzett vízszintes és ferdecsigában mozgó tömegpontok esetén a negyedrendű Runge-Kutta módszerrel nyert partikuláris megoldások grafikonjai a 2.6.8. ábrán láthatók.

A 2.6.8/a ábra a tömegpont abszolút helyzetének (φ) változását mutatja az idő függvényében. A görbék először szigorúan monoton csökkennek, majd a mini-

mum hely utáni monoton növekedésből egy állandó érték körüli csillapodó oszcillálásba mennek át.

A 2.6.8/b ábra görbéi a relatív mozgás szögsebesség változását ($\dot{\varphi}_r$) szemléltetik. A relatív mozgás szöggyorsulását leíró függvények (2.6.8/c ábra) a 2.6.8/b ábrán ábrázolt görbék maximum helyeinél metszik az időtengelyt. A maximum hely után a relatív mozgás szögsebessége monoton csökken, majd $\dot{\varphi}_r=10$ 1/s érték körül egyre kisebb amplitúdóval és egyre nagyobb periódus idővel oszcillál, vagyis tart a csigatengely szögsebességéhez. Ez azt jelenti, hogy lassan megszűnik a gyorsulás, és a tömegpont sebessége állandóvá válik, a mozgás stacionáriussá válik. Mindez a 2.6.8/c ábrán is követhető, ahol a relatív mozgás szöggyorsulása a minimum hely után monoton növekszik, és tart nullához.

A megoldás érdekessége, hogy a mozgás csillapodó szakaszában az abszolút sebesség iránya $\sim\beta=-14,3^\circ$ -hoz tart, ami éppen $-\alpha$ nagyságú, vagyis az abszolút sebesség a z tengellyel párhuzamos lesz (2.6.8/d ábra).

Az ábrákon a csillapodás alig érzékelhető, mivel a lengések amplitúdói nagyon kicsik. Az oszcillálás időtartama a megoldás pontosságától függ. Ha a numerikus megoldás lépésközét nagyon kicsire, pl. $h=0,00001$ -re választjuk, akkor a φ , $\dot{\varphi}_r$, $\ddot{\varphi}_r$ és β értékek csillapodása nagyon hosszú ideig tart. Szerencsére azonban a lengések amplitúdói meglehetősen gyorsan elhanyagolhatóvá válnak. A gyakorlatban szokásos csigatengely fordulatszámoknál ez az időtartam kisebb, mint 1 s, ezért a kváziállandósult állapotot a csiga kevesebb, mint 1/2 fordulat után eléri, ami után a φ , $\dot{\varphi}_r$, $\ddot{\varphi}_r$ és β értékek kváziállandónak tekinthetők.

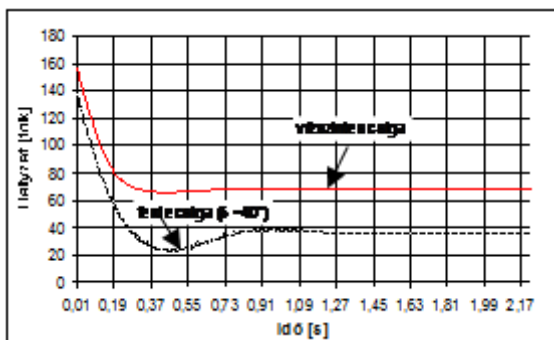
A partikuláris megoldások és a grafikonok ismeretében kísérletet tehetünk a mozgás leírására. A $t=0$ időpontban a csigalevéllal együtt haladó tömegpont relatív mozgásának szögsebessége nulla, ezért az abszolút sebesség ($\mathbf{v}$) egyenlő a csigalevél kerületi sebességével ($\mathbf{v}_k$), iránya $\beta=\pi/2-\alpha$. A kezdeti φ_0 helyzetben a tömegpont megcsúszik a csigalevélen (feltéve, hogy ennek feltételei adottak), és gyorsuló mozgást végez, miközben az abszolút sebesség vektor iránya (β) és nagysága változik. A $\mathbf{v}$ vektor a $\mathbf{b}$ binormális vektortól a gyorsulás első szakaszában jobbra, a második pedig balra hajlik. A mozgáspálya így egy, a csigatengely forgás irányában emelkedő szabálytalan spirális lesz. A tömegpont mozgása a $\varphi=0-\pi/2$ tartományban a μ_1 , μ_2 , α , δ paraméterek által meghatározott helyen ($\varphi=\varphi_a$) kváziállandóvá válik. A relatív mozgás gyorsulása megszűnik ($\ddot{\varphi}_r=0$), és a szabaderők $\mathbf{t}$ irányú komponensei egyensúlyba kerülnek. A relatív mozgás szögsebessége

$$\dot{\varphi}_r = \omega_0,$$

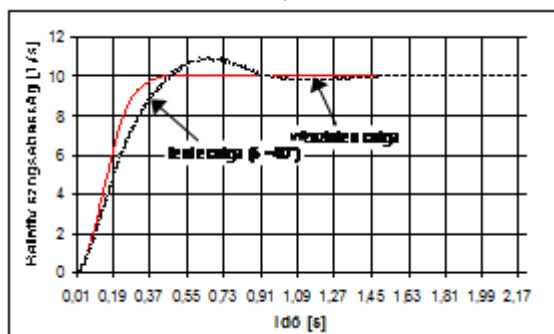
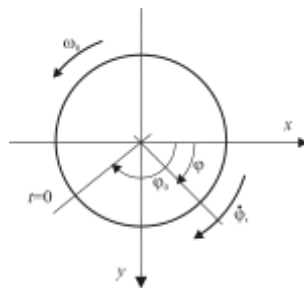
az abszolút mozgás sebességének iránya pedig

$$\beta = -\alpha$$

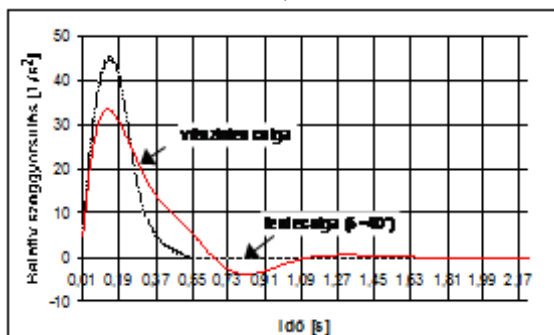
lesz.



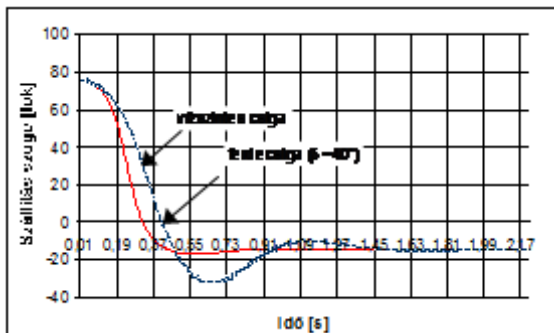
a)



b)



c)



d)

2.6.8. ábra: A differenciálegyenlet partikuláris megoldása
 $(\mu_1=0,36, \mu_2=0,6, \alpha=14,3^\circ, r=0,125 \text{ m}, \omega_0=10 \text{ 1/s})$

A differenciálegyenlet illetve annak numerikus megoldása látszólag nem túl sokat mond a tervező mérnök számára, akit a mozgás első, gyorsuló szakasza legfeljebb a teljesítményigény számítása szempontjából érdekelhet. A tervező sokkal inkább a kváziállandósult állapot megismerésében érdekelt, amihez az út azonban ugyan-csak a (2.6.23) egyenletrendszeren keresztül vezet. Ezért a továbbiakban meg-vizsgáljuk a relatív mozgás létrejöttének feltételeit, majd elemezzük a kvázi-állandósult mozgásállapotot.

A relatív mozgás kialakulásának feltételei

A megoldás során kérdés lehet a $t=0$ időponthoz tartozó szög megválasztása. A tömegpont mozgásának ismeretében már tudjuk, hogy a φ_0 csak olyan tartomány-ba eshet, ahol a relatív mozgás feltételei adottak. Kérdés most az, hogy a tarto-mány alsó határa hogyan határozható meg. A $t=0$ időpontban, a relatív mozgás kezdetén a $\varphi_r(0)=0$, $\dot{\varphi}_r(0)=0$, amihez határesetben még a $\ddot{\varphi}_r(0)=0$ feltétel já-rul. Továbbá tudjuk azt is, hogy ekkor a $\mathbf{v}=\mathbf{v}_k$, azaz a $\mathbf{v}$ vektor irányát jellemző β szög $\pi/2-\alpha$ (2.6.6. ábra), ami miatt

$$\sin \beta = \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = \cos \alpha$$

és

$$\cos \beta = \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = \sin \alpha .$$

Ezeket, valamint a $t=0$ időponthoz tartozó feltételeket a (2.6.23) egyenletekbe helyettesítve a következő algebrai egyenletrendszert kapjuk:

$$(2.6.24/a) \quad g \cos \alpha \cos \varphi \cos \delta - g \sin \alpha \sin \delta - \mu_1 \frac{|\mathbf{B}|}{m} + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \cos \alpha = 0 ,$$

ahol

$$(2.6.24/b) \quad \frac{|\mathbf{N}|}{m} = g \sin \varphi \cos \delta + r \omega_0^2 ,$$

$$(2.6.24/c) \quad \frac{|\mathbf{B}|}{m} = g \sin \alpha \cos \varphi \cos \delta + g \cos \alpha \sin \delta + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \sin \alpha .$$

A (2.6.24/b és c)-t a (2.6.24/a)-ba beírva, és φ -re rendezve, a

$$\begin{aligned} & \cos \varphi + \mu_2 \frac{\cos \delta (\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha)}{\cos \delta (\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha)} \sin \varphi - \frac{\sin \delta (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha)}{\cos \delta (\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha)} + \\ & + \frac{\mu_2 r \omega_0^2}{g \cos \delta} \frac{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} = 0 . \end{aligned}$$

A műveleteket elvégezve, a

$$\cos \varphi + \mu_2 \sin \varphi - \left(\operatorname{tg} \delta \frac{\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} - \frac{\mu_2 r \omega_0^2}{g \cos \delta} \right) = 0 .$$

Vezessük be a

$$C = \operatorname{tg} \delta \frac{\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} - \frac{\mu_2 r \omega_0^2}{g \cos \delta}$$

jelölést, akkor a

$$\cos \varphi + \mu_2 \sin \varphi - C = 0.$$

Használjuk fel a $\cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}$ trigonometriai azonosságot, amellyel a

$$\sqrt{1 - \sin^2 \varphi} = C - \mu_2 \sin \varphi = 0,$$

$$1 - \sin^2 \varphi = C^2 - 2C\mu_2 \sin \varphi + \mu_2^2 \sin^2 \varphi = 0.$$

Rendezés után a következő másodfokú egyenletet kapjuk:

$$(2.6.25) \quad \sin^2 \varphi - \frac{2C\mu_2}{\mu_2^2 + 1} \sin \varphi + \frac{C^2 - 1}{\mu_2^2 + 1} = 0.$$

A (2.6.25) egyenlet φ_1 pozitív gyöke határozza meg azt a helyet, ahol megkezdődhet a relatív mozgás. Ezért a kezdeti feltételek (2.6.8. ábra) megadásakor a

$$\varphi_0 \leq \pi - \varphi_1.$$

A (2.6.25) valós megoldásának és egyben a **csiga működésének feltétele**, hogy az egyenlet diszkriminánsa pozitív vagy 0 legyen, azaz

$$\frac{4C^2 \mu_2^2}{(\mu_2^2 + 1)^2} \geq 4 \frac{C^2 - 1}{\mu_2^2 + 1},$$

$$\frac{\mu_2^2}{\mu_2^2 + 1} \geq 1 - \frac{1}{C^2}.$$

A C értékét visszahelyettesítve, és bevezetve a $\mu_1 = \operatorname{tg} \rho$ jelölést, a

$$\frac{\mu_2^2}{\mu_2^2 + 1} \geq 1 - \frac{1}{\left(\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg}(\alpha + \rho) - \frac{\mu_2 r \omega_0^2}{g \cos \delta} \right)^2}.$$

Oldjuk meg az egyenlőtlenséget ω_0 -ra:

$$\frac{1}{\left(\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg}(\alpha + \rho) - \frac{\mu_2 r \omega_0^2}{g \cos \delta} \right)^2} \geq 1 - \frac{\mu_2^2}{\mu_2^2 + 1} = \frac{1}{\mu_2^2 + 1},$$

$$\left[\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg}(\alpha + \rho) - \frac{\mu_2 r \omega_0^2}{g \cos \delta} \right]^2 \leq \mu_2^2 + 1.$$

A kijelölt műveletet elvégezve és rendezve, az

$$\omega_0^4 - \frac{2g \sin \delta \operatorname{tg}(\alpha + \rho)}{\mu_2 r} \omega_0^2 + \frac{g^2}{\mu_2^2 r^2} [\sin^2 \delta \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho) - \cos^2 \delta (\mu_2^2 + 1)] \leq 0.$$

Vezessük be a

$$p = \frac{2g \sin \delta \operatorname{tg}(\alpha + \rho)}{\mu_2 r},$$

és a

$$q = \frac{g^2}{\mu_2^2 r^2} [\sin^2 \delta \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho) - \cos^2 \delta (\mu_2^2 + 1)]$$

jelöléseket, akkor

$$\omega_0^4 - p\omega_0^2 \leq -q.$$

A baloldalt teljes négyzetté alakítva és rendezve:

$$\begin{aligned} \omega_0^4 - p\omega_0^2 + \left(\frac{p}{2}\right)^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2 &\leq -q \\ \left(\omega_0^2 - \frac{p}{2}\right)^2 &\leq \left(\frac{p}{2}\right)^2 - q, \end{aligned}$$

amelyből az egyenlőtlenség megoldásai:

$$-\sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q} \leq \left(\omega_0^2 - \frac{p}{2}\right) \leq \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}.$$

Mivel az ismeretlen ω_0 a négyzeten szerepel, a lehetséges megoldás:

$$\omega_0^2 \leq \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q} + \frac{p}{2}.$$

A p és q értékeket visszahelyettesítve, megkapjuk azt a **maximális szögsebességet**, ami felett a relatív mozgáshoz feltételei már nem biztosítottak:

$$(2.6.26) \quad \omega_{0\max} \leq \sqrt{\frac{g}{\mu_2 r} [\cos \delta \sqrt{\mu_2^2 + 1} + \sin \delta \operatorname{tg}(\alpha + \rho)]}.$$

A **vízszintes csigánál** a $\delta=0$, ezért az

$$(2.6.27) \quad \omega_{0\max} \leq \sqrt{\frac{g}{\mu_2 r} \sqrt{\mu_2^2 + 1}}.$$

A ferde és vízszintes csigánál tehát, adott μ_1 , μ_2 , α , δ paraméterekhez tartozik egy maximális szögsebesség ($\omega_{0\max}$), amely felett a (2.6.25)-nek nincs valós megoldása, vagyis $\omega_{0\max}$ -nál nagyobb szögsebességnél nincs biztosítva a relatív mozgás. Ezért a ferde és a vízszintes szállítócsiga fordulatszám-növelésnek egy bizonyos határ felett nincs értelme. Ezt az elméleti eredményt alátámasztják az irodalomban található empirikus összefüggések és azok indoklásai is.

A **függőleges csigánál** a relatív mozgás kezdete nem függ a φ szögtől, ugyanis a (2.6.24) egyenletekből $\delta=\pi/2$ helyettesítés után a φ -t tartalmazó tagok eltűnnek, így

$$\begin{aligned} -g \sin \alpha - \mu_1 \frac{|\mathbf{B}|}{m} + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \cos \alpha &\geq 0, \\ \frac{|\mathbf{N}|}{m} &= r\omega_0^2, \\ \frac{|\mathbf{B}|}{m} &= g \cos \alpha + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \sin \alpha, \end{aligned}$$

amelyekből

$$-\frac{\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} + \frac{\mu_2 r \omega_0^2}{g} \geq 0,$$

illetve $\mu_1 = \tan \rho$ helyettesítés után a **függőleges csiga kritikus szögsebessége**:

$$(2.6.28) \quad \omega_{krit} \geq \sqrt{\frac{g}{\mu_2 r} \tan(\alpha + \rho)},$$

ami azonos az irodalomban a függőleges csiga kritikus szögsebességére adott, jól ismert összefüggéssel.

A (2.6.26-28) összefüggések a tervezési gyakorlat szempontjából rendkívül fontosak, mivel megadják azt a maximális vagy minimális szögsebességet, ami felett vagy alatt nincsenek meg a relatív mozgás feltételei, és a szállítócsiga elméletileg működésképtelenné válik.

Az állandósult mozgásállapot

A megoldással, illetve a kvázi állandósult mozgással kapcsolatban két fontos gyakorlatias kérdés vetődhet fel: (1) az állandósult állapot a tömegpont milyen helyzetében következik be, és itt milyen irányú lesz a tömegpont abszolút sebessége, (2) az állandósult állapot elérhető-e a $\delta = 0 - \pi/2$ tartományban mindenhol.

A korábban elemzett partikuláris megoldásban, a tömegpont relatív mozgásának szögsebessége ($\dot{\varphi}_r$) az idő előrehaladásával először növekszik, majd a maximum elérése után monoton csökkenve tart ω_0 -hoz. Ez azt jelenti, hogy egyensúlyi állapotban a $\dot{\varphi}_r = \omega_0$ és $\ddot{\varphi}_r = 0$. A numerikus vizsgálatok azt mutatják, hogy ezt állapotot a tömegpont (változatlan μ_1 , μ_2 , α , δ paraméterek esetén) mindig ugyanazon a $\varphi = \varphi_a$ helyen éri el, függetlenül az ω_0 és φ_0 megválasztásától, de természetesen feltéve, hogy $\omega_0 \leq \omega_{0max}$, és a φ_0 helyen adottak a relatív mozgás feltételei. Ebből arra lehet következtetni, hogy az egyensúly kialakulásának helye nem függ az ω_0 szögsebességtől és a φ_0 szögtől. A hipotézis helyessége könnyen belátható, ha a (2.6.23/b) és (2.6.23/d) egyenletet alaposabban megvizsgáljuk. Ha ugyanis ezekbe a kvázi állandósult mozgásállapotnak megfelelően $\dot{\varphi}_r = \omega_0$ -t helyettesítünk, akkor azokból eltűnik az ω_0 és a kváziállandósult állapothoz tartozó φ_a szög csak a μ_1 , μ_2 , α , δ paraméterek függvénye lesz.

A rövid kitérő után térjünk vissza az eredeti kérdésekhez. Első közelítésben feltételezzük, hogy az állandósult állapot mindig $\dot{\varphi}_r = \omega_0$ mellett jön létre, ezért a (2.6.23/d) egyenletbe helyettesítsünk $\dot{\varphi}_r = \omega_0$ -t, akkor a

$$\sin \beta = \frac{\omega_0 \cos^2 \alpha - \omega_0}{\sqrt{\omega_0^2 \cos^2 \alpha - 2\omega_0^2 \cos^2 \alpha + \omega_0^2}} = \frac{\cos^2 \alpha - 1}{\sqrt{\cos^2 \alpha - 2\cos^2 \alpha + 1}},$$

$$\sin \beta = \frac{\cos^2 \alpha - 1}{\sin \alpha} = -\frac{\sin^2 \alpha}{\sin \alpha} = -\sin \alpha,$$

amelyből $\beta = -\alpha$, vagyis az **állandósult állapotban az abszolút sebesség iránya** a csigatengellyel párhuzamos, azaz z irányú. Erről úgy is meggyőződhetünk, hogy a (2.6.15) kifejezésbe az $\dot{s}$ helyére

$$\dot{s} = \frac{r}{\cos \alpha} \dot{\varphi}_r = \frac{r}{\cos \alpha} \omega_0 \cdot t$$

írunk. Ekkor a v_x és v_y komponensek eltűnnek, a z irányú komponens pedig

$$(2.6.29) \quad v_z = r\omega_0 \operatorname{tg} \alpha$$

lesz.

Az első kérdés első felére, az állandósult állapot a tömegpont milyen helyzeténél következik be, úgy kaphatunk választ, hogy a (2.6.23) egyenletrendszerbe $\dot{\varphi}_r = \omega_0$, $\ddot{\varphi}_r = 0$ és $\beta = -\alpha \cdot t$ helyettesítünk. Ekkor a (2.6.23/a) jobb oldala 0 lesz, (2.6.23/b)-ből pedig eltűnnek az $\omega_0 \cdot t$ tartalmazó tagok, azaz

$$(2.6.30/a) \quad g \cos \alpha \cos \varphi \cos \delta - g \sin \alpha \sin \delta - \mu_1 \frac{|\mathbf{B}|}{m} - \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \sin \alpha = 0,$$

ahol:

$$(2.6.30/b) \quad \frac{|\mathbf{N}|}{m} = g \sin \varphi \cos \delta,$$

$$(2.6.30/c) \quad \frac{|\mathbf{B}|}{m} = g \sin \alpha \cos \varphi \cos \delta + g \cos \alpha \sin \delta + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \cos \alpha.$$

A (2.6.30/b és c)-t a (2.6.30/a)-ba beírva és φ -re rendezve, a

$$\cos \delta (\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha) \cos \varphi - \mu_2 \cos \delta (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha) \sin \varphi -$$

$$-\sin \delta (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha) = 0,$$

$$\cos \varphi - \mu_2 \frac{\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} \sin \varphi - \operatorname{tg} \delta \frac{\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} = 0.$$

Felhasználva ismét a $\mu_1 = \operatorname{tg} \rho$ azonosságot, és bevezetve a

$$A = \mu_2 \frac{\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} = \mu_2 \operatorname{tg}(\alpha + \rho),$$

$$B = \operatorname{tg} \delta \frac{\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} = \operatorname{tg} \delta \operatorname{tg}(\alpha + \rho)$$

jelöléseket, a következő másodfokú egyenletet nyerjük:

$$\cos \varphi - A \sin \varphi - B = 0,$$

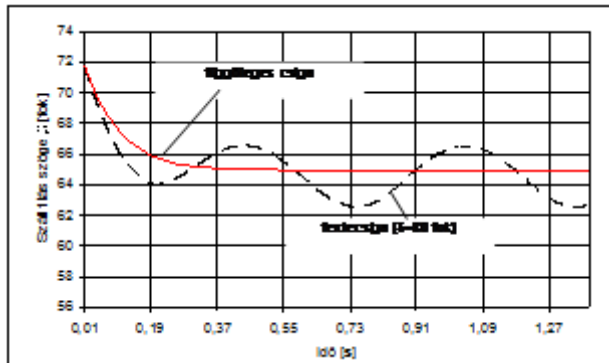
$$\sqrt{1 - \sin^2 \varphi} = A \sin \varphi + B,$$

$$1 - \sin^2 \varphi = A^2 \sin^2 \varphi + 2AB \sin \varphi + B^2,$$

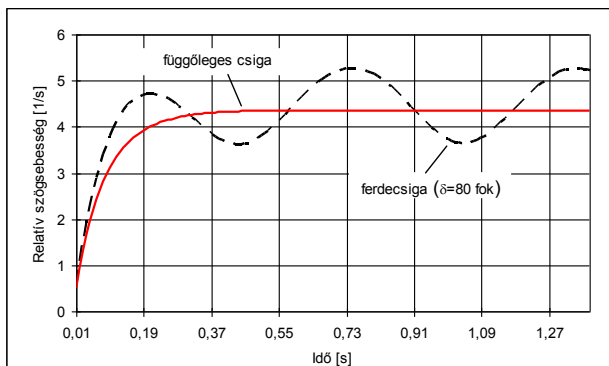
$$(2.6.31) \quad (A^2 + 1) \sin^2 \varphi + 2AB \sin \varphi + B^2 - 1 = 0.$$

A (2.6.31) egyenletből számítható a kváziállandósult állapotához tartozó φ_a szög. A valós megoldás feltételei pedig választ adnak a második kérdésre. Az egyenlet együtthatói:

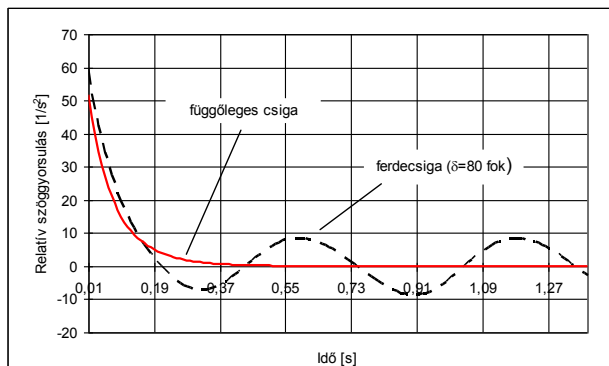
$$\begin{aligned} a &= A^2 + 1 = \mu_2^2 \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho) + 1, \\ b &= 2AB = 2\mu_2 \operatorname{tg} \delta \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho), \\ c &= B^2 - 1 = \operatorname{tg}^2 \delta \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho) - 1. \end{aligned}$$



a)



b)



c)

2.6.9. ábra: A differenciálegyenlet megoldása függőleges és ferde csigára
($\mu_1=0,36$, $\mu_2=0,6$, $\alpha=17,66^\circ$, $r=0,125$ m, $\omega_0=15$ 1/s)

A valós megoldás szükséges feltétele:

$$b^2 - 4ac \geq 0.$$

Ezt δ -ra megoldva, a

$$\begin{aligned} 4\mu_2^2 \operatorname{tg}^2 \delta \operatorname{tg}^4(\alpha + \rho) &\geq 4[\mu_2^2 \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho) + 1][\operatorname{tg}^2 \delta \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho) - 1], \\ \mu_2^2 \operatorname{tg}^2 \delta \operatorname{tg}^4(\alpha + \rho) &\geq \mu_2^2 \operatorname{tg}^2 \delta \operatorname{tg}^4(\alpha + \rho) + \operatorname{tg}^2 \delta \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho) - \mu_2^2 \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho) - 1, \\ 1 &\geq \operatorname{tg}^2(\alpha + \rho)(\operatorname{tg}^2 \delta - \mu_2^2), \\ (2.6.32) \quad \sqrt{\frac{1}{\operatorname{tg}^2(\alpha + \rho)} + \mu_2^2} &\geq \operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta_h. \end{aligned}$$

Az eredményként kapott (2.6.32)-ből kiolvasható, hogy a $\dot{\varphi}_r = \omega_0$ -al jellemzett állandósult állapot csak egy bizonyos, az α és a ρ szögek, valamint a μ_2 súrlódási tényező által meghatározott δ_h határig érhető el. A δ_h a **maximális meredekséget** jellemző szög.

A (2.6.32)-ből számítható δ_h szög felett csak $\delta=90^\circ$ -nál állandósul a mozgás. Itt azonban a tömegpont abszolút sebességének iránya z tengellyel nem lesz párhuzamos, azaz $\beta \neq -\alpha$, és a $\dot{\varphi}_r$ soha nem éri el az ω_0 értékét. Ez jól látható a 2.6.9. ábrán, amely egy függőleges és egy ferde csigára ($\delta=80^\circ$) vonatkozó partikuláris megoldás grafikonjait szemlélteti. Az egyéb paraméterek a két megoldásban azonosak: $\mu_1 = 0,36$, $\mu_2 = 0,6$, $\alpha = 17,66^\circ$, $r = 0,125$ m, $\omega_0 = 15$ 1/s, és a φ_0 szög mindkét esetben $\pi/2$.

A megoldásban a δ_h -nál meredekebb **ferdecsigák** eredményei tűnnek a legérdekesebbnek. A grafikonok szerint a szállítás irányát jellemző β szög, a relatív mozgás szögsebessége és a szöggyorsulása egy középértékhez viszonyítva periodikusan változik, de a korábbi eredményektől eltérően a függvények amplitúdói nem csillapodnak, és **nem alakul ki az állandósult mozgásállapot**. Ezeknél a csigáknál az állandó gyorsulás és lassulás tetemes energiát emészt fel.

A **függőleges csigára** kapott megoldás megegyezik a függőleges szállítócsigák elméletével kapcsolatban fellelhető publikációkban közölt eredményekkel [27], [54]. A megoldás alátámasztja a hivatkozott szerzőknek a kváziállandósult állapotra vonatkozó hipotézisét, ami alapján közvetlen felírhatók az egyensúlyi egyenletek. Természetesen az egyensúlyi egyenletek a (2.6.23) egyenletrendszerből is megkaphatók, ha abba beírjuk kváziállandósult állapot feltételeit.

A függőleges csiga esetén a $\delta = \pi/2$ és a $\ddot{\varphi}_r = 0$, amit a (2.6.23)-ba helyettesítve, a

$$(2.6.33/a) \quad -g \sin \alpha - \mu_1 \frac{|\mathbf{B}|}{m} + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \sin \beta = 0,$$

ahol

$$(2.6.33/b) \quad \frac{|\mathbf{N}|}{m} = r\omega_0^2 - 2r\omega_0\dot{\varphi}_r + r\dot{\varphi}_r^2,$$

$$(2.6.33/c) \quad \frac{|\mathbf{B}|}{m} = g \cos \alpha + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \cos \beta,$$

$$(2.6.33/d) \quad \sin \beta = \frac{\omega_0 \cos^2 \alpha - \dot{\phi}_r}{\sqrt{\omega_0^2 \cos^2 \alpha - 2\omega_0 \dot{\phi}_r \cos^2 \alpha + \dot{\phi}_r^2}},$$

$$(2.6.33/e) \quad \cos \beta = \frac{\omega_0 \cos \alpha \sin \alpha}{\sqrt{\omega_0^2 \cos^2 \alpha - 2\omega_0 \dot{\phi}_r \cos^2 \alpha + \dot{\phi}_r^2}}.$$

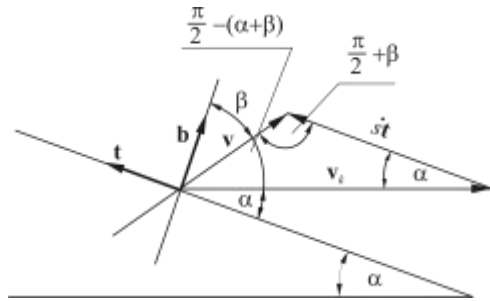
A függőleges csigára nyert (2.6.33) algebrai egyenlet-rendszerből $\dot{\phi}_r$, a relatív mozgás szögsebessége és a $\mathbf{v}$ abszolút sebesség irányát jellemző β szög valamelyik ismert numerikus eljárással kiszámítható.

Kapcsolat a sebességek között

A $\mathbf{v}$ abszolút sebesség β szöget zár be a $\mathbf{b}$ binormális vektorral (2.6.10. ábra). A sinustételt alkalmazva, az $\dot{s}$ és a $\mathbf{v}_k$ sebességek közötti összefüggés:

$$\frac{\dot{s}}{|\mathbf{v}_k|} = \frac{\sin \left[\frac{\pi}{2} - (\alpha + \beta) \right]}{\sin \left(\frac{\pi}{2} + \beta \right)} = \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta},$$

$$(2.6.34) \quad \dot{s} = |\mathbf{v}_k| \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} = r \omega_0 \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$$



2.6.10. ábra: Kapcsolat a sebességek között

Ezzel az összefüggéssel a (2.6.23) egyenletrendszer is kiegészíthető.

Hasonlóan, a sinustétel felhasználásával írható az $\mathbf{v}$ abszolút és a $\mathbf{v}_k$ szállító sebesség közötti összefüggés:

$$\frac{|\mathbf{v}|}{|\mathbf{v}_k|} = \frac{\sin \alpha}{\sin \left(\frac{\pi}{2} + \beta \right)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \beta},$$

$$(2.6.35) \quad |\mathbf{v}| = |\mathbf{v}_k| \frac{\sin \alpha}{\cos \beta} = r \omega_0 \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}.$$

2.6.3. A szállítócsigák szállítóképessége

A szállítóképesség meghatározásakor feltételezzük, hogy az anyag koncentrikus csavarvonalak mentén rétegesen áramlik. E koncentrikus csavarvonalakat az jellemzi, hogy csak a sugaruk változik a menetemelkedésük pedig azonos. Ez a feltételezés azt jelenti, ha ismerjük egyetlen szemcse sebességének nagyságát és irányát, akkor a halmazban valamennyi szemcse sebessége meghatározható. Sőt, mivel a rétegek tengelyirányú elmozdulása a feltétel szerint azonos, valamennyi szemcse ugyanakkora sebességgel mozog z irányban. Következésképpen a z irányú sebességtől függő szállítóképesség számításához elegendő egyetlen szemcse v_z sebességét meghatározni.

A szállítóképesség:

$$(2.6.36) \quad Q = 3,6 A v_z \rho_h \phi \quad [\text{t/h}],$$

ahol:

- A a szállítás keresztmetszete [m^2],
 v_z a szállított anyag csigatengely irányú sebessége [m/s],
 ρ_h a szállított anyag halmazsűrűsége [kg/m^3],
 ϕ a töltési tényező.

A csigavályúban keresztmetszete:

$$A = \frac{D^2 \pi}{4},$$

ahol D a szállítócsiga névleges átmérője.

A szállítás sebessége

A szállítóképességet döntően befolyásoló szállítási sebesség alatt a $\mathbf{v}$ abszolút sebesség tengely irányú (v_z) komponensét értjük, ami a (2.6.15)-ből

$$(2.6.37) \quad v_z = \dot{s} \sin \alpha = \frac{r}{\cos \alpha} \dot{\varphi}_r \sin \alpha = r \dot{\varphi}_r \operatorname{tg} \alpha.$$

A differenciálegyenlet megoldásakor láttuk, hogy a kváziállandósult állapot csak egy bizonyos, az α és a ρ szögek, valamint a μ_2 súrlódási tényező által meghatározott δ_h határig érhető el, és e határérték működés szempontjából két csoportra osztja a szállítócsigákat. A határérték a (2.6.32) egyenlőtlenségből számítható.

A vízszintes és a δ_h -nál kisebb szögben hajló ferde csigáknál a kváziállandósult állapotban a $\dot{\varphi}_r = \omega_0$, így a

$$(2.6.38) \quad v_z = r \omega_0 \operatorname{tg} \alpha.$$

A függőleges csigáknál azonban a (2.6.33) egyenletrendszerből kell meghatározni a $\dot{\varphi}_r$ és a β értékét. Ezután vagy a (2.6.37)-ből, vagy a (2.6.34)-et felhasználva a

$$(2.6.39) \quad v_z = \dot{s} \sin \alpha = r \omega_0 \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \sin \alpha$$

képletből számítható a szállítás sebessége.

Vízszintes és a δ_h -nál kisebb szögben hajló ferde csigák

A szállítás sebessége vízszintes és a δ_h -nál kisebb szögben szállító ferde csigáknál, a (2.6.38)-ból a

$$v_z = r \omega_0 \operatorname{tg} \alpha = \frac{D \pi}{60} \frac{s}{D \pi} = \frac{sn}{60},$$

ahol, $\operatorname{tg} \alpha = s/D\pi$, n a csigatengely percenkénti fordulatszáma, s a csigaszárnnyak menetemelkedése. Helyettesítés után a szállítóképesség:

$$(2.6.40) \quad Q = 3,6 \frac{D^2 \pi}{4} \frac{sn}{60} \rho_h \phi.$$

A szállítócsiga névleges átmérőjén a csigaszárnynak burkoló henger átmérőjét értjük, a vályú átmérője 5...10 mm-rel nagyobb. A névleges átmérő megválasztásakor a szállított anyag szemcseméretéből kell kiindulni. Ajánlatos az alábbi összefüggéseket betartani:

$$\begin{aligned} \text{osztályozott anyagoknál} \quad D &= 8 \dots 10 w_{\max}, \\ \text{osztályozatlan anyagoknál} \quad D &= 4 \dots 6 w_{\max}, \end{aligned}$$

ahol $w_{\max}$ a maximális szemcse nagyság.

A csiga menetemelkedése (s) a szállított anyag tulajdonságaitól függ. Könnyen ömleszthető anyagoknál $s=D$ is lehet, de a leggyakrabban az $s=0,8D$ viszonyt használják. Nehezen ömleszthető anyagoknál és ferde szállításnál $s=(0,6 \dots 0,65)D$.

A töltési tényező (ϕ) az egységnyi hosszúságú vályúszakaszra eső anyag térfogatának és az egységnyi hosszúságú, D névleges átmérőjű henger térfogatának aránya:

$$\phi = \frac{q_a}{\rho_h} \frac{4}{D^2 \pi},$$

q_a az egy folyóméterre eső anyag tömege [kg/m].

2.6.1. táblázat

Ajánlott töltési tényezők

Anyag	Töltési tényező
koptató és nagy halmazsűrűségű (érc, mészkőpor stb.) valamint tapadó anyagok	0,15...0,2
közepes halmazsűrűségű anyagok (szén, cukor)	0,2...0,3
könnyű nem koptató anyagok (liszt, gabona)	0,3...0,4

Szállítás közben az anyag a csigaszárnynak előtt torlódik, és a vályú hossza mentén az anyagkeresztmetszet állandóan változik. Különösen a függesztő csapágyszakasz környezetében figyelhető meg torlódás, ahol a csigaszárnynak folytonossága is megszakad. Ezért a töltési tényezőt a szállított anyag ismeretében nagy körültekintéssel kell megválasztani. Az ajánlott értékek a 2.6.1. táblázatban találhatók.

A ferdén szállító csiga töltési tényezője a szállítási szög (δ) függvényében a következő összefüggés szerint csökkentendő:

$$\phi' = \phi \left(1 - \frac{\delta}{\delta_h} \right),$$

ahol δ_h a határszög (2.6.32) összefüggésből számítható határszög [$^\circ$].

A relatív mozgás feltételeinek elemzésekor megállapítottuk, hogy $\omega_{0\max}$ -nál nagyobb szögsebességnél nincs biztosítva a relatív mozgás. A tapasztalat szerint e határérték felett növekszik az anyag belső mozgása és kavarása, ami a szállított anyag aprítását eredményezi. Ezen kívül a csigatengely fordulatszámát a csigaszárnynak kerületén jelentkező nagymértékű kopás is korlátozza. Ezért a ferde és a vízszintes szállítócsiga megengedett fordulatszáma a (2.6.26)-ból:

$$(2.6.41) \quad n_{\max} \leq 9,55 \sqrt{\frac{g}{\mu_2 r} \left[\cos \delta \sqrt{\mu_2^2 + 1} + \sin \delta \operatorname{tg}(\alpha + \rho) \right]}.$$

2.6.2. táblázat

A K állandó értékei különböző anyagokhoz

Anyag	K
Könnyű, nem koptató anyagok	60
Nehéz, nem koptató anyagok	45
Nehéz, koptató anyagok	30

A tapasztalati adatok alapján a csigatengely legnagyobb fordulatszáma a következő összefüggéssel is számítható:

$$n_{\max} = \frac{K}{\sqrt{D}} \quad [\text{min}^{-1}],$$

ahol D a névleges átmérő [m], K a szállított anyagtól függő állandó (2.6.2. táblázat).

Függőleges és a δ_h -nál nagyobb szögben hajló ferde csigák

A függőleges és a δ_h -nál nagyobb szögben szállító ferde csigák szállítóképessége a (2.6.36)-ból és a (2.6.39)-ből:

$$Q = 3,6Ar\omega_0 \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \sin \alpha \rho_h \phi.$$

Mivel a

$$\text{tg} \alpha = \frac{s}{D\pi} = \frac{\frac{sn}{60}}{\frac{D\pi m}{60}} = \frac{sn}{60r\omega_0},$$

a

$$(2.6.42) \quad \begin{aligned} Q &= 3,6 \frac{D^2 \pi}{4} \frac{sn}{60 \text{tg} \alpha} \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \sin \alpha \rho_h \phi, \\ Q &= 3,6 \frac{D^2 \pi sn}{4 \cdot 60} \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \cos \alpha \rho_h \phi. \end{aligned}$$

A függőleges csigáknál a β szög állandó, és a (2.6.33) egyenlet-rendszer numerikus megoldásából nyerhető. A δ_h -nál nagyobb szögben szállító ferde csigáknál azonban egy átlagérték körül ingadozik, amit csak a (2.6.23) differenciálegyenlet megoldásával lehet meghatározni.

A kritikus szögsebesség az a határérték, amelynél a csiga el kezd szállítani. A kritikus érték alatt az anyag együtt forog a csigaszárnnyal, mivel a vályú falán ébredő súrlódási erő nem elegendő ahhoz, hogy a relatív mozgás megkezdődjön. A határesetben a relatív mozgás sebessége $\mathbf{v}_r = 0$, ezért a $\mathbf{v} = \mathbf{v}_k$.

A mezőgazdaságban alkalmazott vízszintes szállítócsigák jellemzőit A. V. Krasnyicsenko nyomán 2.6.3. és a 2.6.4. táblázatokban foglaltuk össze [36].

A függőleges csigáknál a relatív mozgás kialakulásának feltétele:

$$(2.6.43) \quad \omega_{0\text{krit}} \geq \sqrt{\frac{g}{\mu_2 r}} \text{tg}(\alpha + \rho).$$

2.6.3. táblázat

Vízszintes szállítócsigák

Szállított anyag	Névleges átmérő [mm]	Fordulat-szám [1/min]	Menet-emelkedés [mm]	Csigatengely átmérő [mm]	Sugárirányú hézag [mm]	Csigaszárny vastagság [mm]	Töltésifok
Mindenféle növénymag, cséplési termék, őrlemény szemes takarmány	60...250	400...60	(0,8...1)D	20...80	6...7	1...3	0,3...0,4
Félig folyékony takarmánykeverék	150...250	300...100	(0,8...1)D	40...80	4...5	2...3	0,9...1,0
Párolt burgonya	200...300	5...25	(0,6...1,2)D	48...80	8...10	3	0,8...0,9
Szecsázott száraz és nedves szálás anyag	200...400	200...80	(0,8...1,0)D	100...150	5...6	3	0,4
Szénaliszt, porozó anyag	200...400	200...80	(0,8...1,0)D	100...150	5...6	3	0,4
Gyökérgumó, nyers burgonya	200...400	60...20	(0,6...0,8)D	80...100	5...6	3	0,4
Trágya, tözeges humuszos keverék	250...300	80...60	(0,6...0,8)D	48...80	5...8	4	0,6...0,8
Műtrágya, szén, cement, homok	250...300	80...60	(0,6...0,8)D	48...80	5...8	4	0,4...0,5
Kenyérgabona szalma, széna	400...600	300...200	(0,8...1,0)D	250...300	10...12	2...3	0,3

2.6.4. táblázat

Függőleges szállítócsigák

Szállított anyag	Névleges átmérő [mm]	Fordulatszám [1/min]	Menetemelkedés [mm]	Csigatengely átmérő [mm]	Töltési fok
Mindenféle növénymag	80...250	600...200	s=D	20...80	0,3...0,4
Őrlemény, takarmány, szénaliszt	150...250	400...150	s=D	30...80	0,3
Kásás, nedves anyagok	150...250	600...150	(0,6...0,7)D	30...80	0,3...0,5
Nyers burgonya	250...400	200...100	(0,5...0,6)D	50...80	0,2...0,3
Szecsázott zöldtakarmány, siló	250...400	250...100	s=D	75...100	0,3...0,5

Szállítócsigák működésének leírása dimenzióanalízissel

A dimenzióanalízis a hasonlóságelméletnek azon a következtetésén alapul, hogy valamely jelenség matematikai modelljének megoldása dimenzió nélküli számok (függő és független invariánsok) közötti függvénykapcsolatok formájában adható meg. Mindazok a jelenségek, amelyeket ugyanaz a dimenzió nélküli egyenlet ír le, a hasonló jelenségek **osztályát** képezik. Ezek közül a hasonló jelenségek **csoportját** alkotják azok a jelenségek, amelyekre nézve az egyértelműségi feltételekben szereplő változókból kialakított független invariánsok, vagy hasonlósági kritériumok számértéke is megegyezik.

A dimenzióanalízis alkalmazásának egyik előnye, hogy a fentiek értelmében azonos csoportba tartozó szállítócsigák működése (várható szállítóképessége, ener-

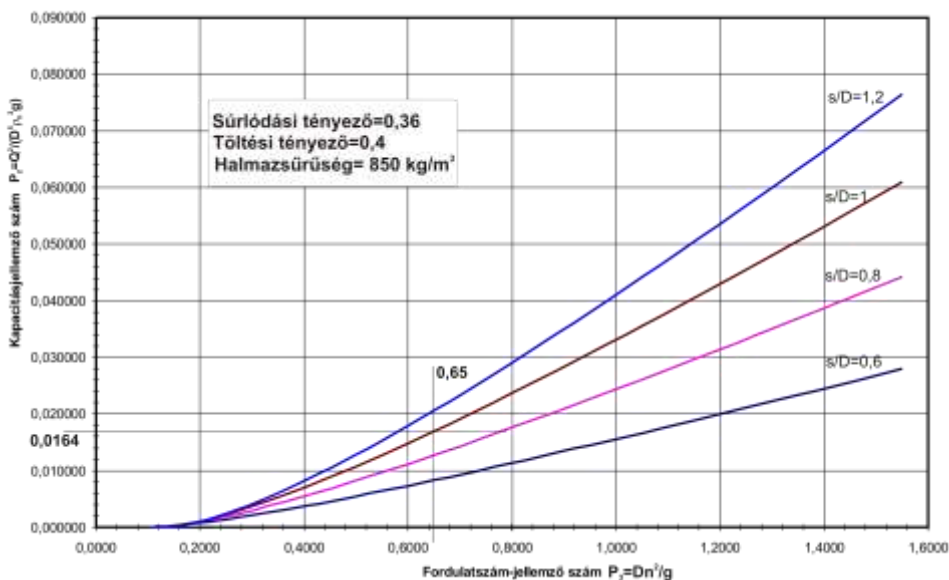
giaigénye, stb.) már a tervezés időszakában pontosan megjósolható, ha rendelkezünk a csoporra vonatkozó mérési vagy számítási eredményekkel [60].

A dimenzióanalízis első lépése a vizsgált jelenség dimenzió nélküli számainak (függő és független hasonlósági invariánsainak) a meghatározása, ami a változók ismeretében mechanikusan végrehajtható. Az analízis teljes sikere azonban a jelenséget leíró változók helyes megválasztásán múlik. Ezért a változók kiválasztása alapos elemző munkát és odafigyelést igényel.

A szállítócsigák esetében általában a szállítóképességet és a nyomatékigényt tekintjük függőváltozónak. Az elérhető szállítóképesség, mint azt tudjuk a geometriai méretek és a fordulatszám függvénye, ezért már a tervezés kezdeti szakaszában el kell dönteni, hogy mekkora szállítóképességet szeretnénk elérni. A nyomatékigény hasonlóan fontos mutató. A tervezés időszakában a hajtónyomaték-szükséglet és a fordulatszám ismeretében választhatunk hajtóművet és motort.

A dimenzió nélküli számok meghatározására többféle eljárás ismeretes, amelyek közül az egyik leghatékonyabb az ún. bázisfaktor módszer. Ennek lényege, hogy a dimenziómátrixot bázisfaktorokra bontjuk, azaz két olyan mátrix szorzatára, amelyek közül az elsőnek az oszlopai, a másodiknak pedig a sorai lineárisan függetlenek. A bázisfaktorokból azután a fizikai mennyiségek báziselemei meghatározhatók. A faktorokra bontás általában elkerülhető, ha sikerül a mátrixot úgy felírni, hogy abban az első négyzetes partíciója nonsinguláris, alsó-háromszög mátrix legyen. Az eljárást alkalmazva, a szállítócsiga működésének leírására a következő invariánsok képezhetők [6]:

$$P_1 = \frac{M}{D^4 \rho_h g}, \quad P_2 = \frac{Q^2}{D^5 \rho_h^2 g}, \quad P_3 = \frac{D n^2}{g}, \quad P_4 = \frac{s}{D}, \quad P_5 = \frac{D_{cs}}{D}, \quad P_6 = \frac{d}{D}, \quad P_7 = \frac{L}{D}, \quad P_8 = \frac{Z}{D},$$



2.6.11. ábra: Kapcsolat a kapacitásjellemző - és a fordulatszám jellemző számok között függőleges csigánál.

amit a $P_9 = \delta$ és a $P_{10} = W$ dimenzió nélküli mennyiségek egészítenek ki, ahol W a szállított anyag nedvességtartalma.

A módszer alkalmazhatóságának szemléltetésére tekintsük az 2.6.11. ábrát, amelyen az ún. **kapacitásjellemző szám** (P_2) változása figyelhető meg a **fordulatszám jellemző szám** (P_3) és az s/D viszonyszám (P_4) függvényében, rögzített súrlódási és töltési tényezőnél, valamint halmazsűrűségnél.

Könnyen belátható, hogy az ábra nemcsak a kísérletben alkalmazott $D=400$ mm-es átmérőjű csiga szállítókapacitására vonatkozó információkat tartalmaz, hanem leírja az összes olyan méretű csiga szállítókapacitásának a változását, amelyek független invariánsai megegyeznek a kísérletben szereplővel. Vagyis ahhoz, hogy megjósoljuk különböző méretű szállítócsigák várható szállítási kapacitását, elegendő egy kísérleti berendezést elkészíteni, és méréseket azon végezni.

A diagram praktikusán használható a tervezésben is. Például, ha $Q=22$ t/h szállítóképességű függőleges szállítócsigát tervezünk $\rho_h=850$ kg/m³ halmazsűrűségű anyag szállítására, és a csiga névleges átmérőjét $D = 200$ mm-re, továbbá az (s/D) viszonyszámot 1-re választjuk, akkor a kapacitásjellemző szám (P_2) kiszámítható:

$$P_2 = \frac{Q^2}{D^5 \rho_h g} = \frac{(22/3,6)^2}{0,2^5 * 850^2 * 9,81} = 0,0164.$$

A diagramot felhasználva, leolvasható a P_3 értéke. A $P_2=0,0164$ -nél húzott vízszintes az $(s/D) = 1$ -hez tartozó görbét $P_3=0,65$ -nél metszi (2.6.11. ábra). Így kapott fordulatszám-jellemző számból kiszámítható a tervezett szállítóképesség eléréséhez szükséges fordulatszám:

$$n = \sqrt{\frac{P_3 g}{D}} = \sqrt{\frac{0,65 * 9,81}{0,2}} = 5,64 \text{ 1/s} = 338,4 \text{ 1/ min.}$$

2.6.4 A hajtás teljesítményigénye

A szállítócsiga működése közben különböző ellenállások lépnek fel. Eddigi ismereteink alapján ezek közül az anyag és a csigavályú, valamint az anyag és a csiga-szárny közötti súrlódási erők, az emelési és a gyorsítási ellenállás közelítőleg számíthatók. Az anyag belső mozgása következtében jelentkező ellenállások, a csigatengely csapsúrlódása, illetve gördülő-ellenállása, a ki- és beömlőnyílásoknál jelentkező járulékos ellenállások azonban csak tapasztalati adatok alapján becsülhetők [27].

Az anyag súrlódása és mozgatása

A kényszererők az állandósult mozgás állapotában a vízszintes és δ_n -nál kisebb szögben szállító ferde csigáknál a (2.6.30)-ból:

$$\frac{|N|}{m} = g \sin \varphi \cos \delta,$$

$$\frac{|\mathbf{B}|}{m} = g \sin \alpha \cos \varphi \cos \delta + g \cos \alpha \sin \delta + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \cos \alpha ,$$

amelyekben a $\varphi = \varphi_0$ szög a (2.6.31) másodfokú egyenletből számítható. A függőleges csigáknál a (2.6.33)-ból:

$$\frac{|\mathbf{N}|}{m} = r\omega_0^2 - 2r\omega_0\dot{\varphi}_r + r\dot{\varphi}_r^2 ,$$

$$\frac{|\mathbf{B}|}{m} = g \cos \alpha + \mu_2 \frac{|\mathbf{N}|}{m} \cos \beta .$$

A β szöget és a relatív mozgás szögsebességét ($\dot{\varphi}_r$) a (2.6.33) algebrai egyenletrendszerből kell meghatározni. Az egyenletekben az $m = QL/v_z$, ahol Q a szállító-képesség [kg/s], L a csiga hossza [m].

Mivel az

$$\mathbf{n} = \begin{bmatrix} -\cos \varphi \\ -\sin \varphi \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{és a} \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} \sin \alpha \sin \varphi \\ -\sin \alpha \cos \varphi \\ \cos \alpha \end{bmatrix} ,$$

továbbá legyen $\mathbf{K} = \mathbf{N} + \mathbf{B}$, akkor

$$K_x = -|\mathbf{N}| \cos \varphi + |\mathbf{B}| \sin \alpha \sin \varphi ,$$

$$K_y = -|\mathbf{N}| \sin \varphi - |\mathbf{B}| \sin \alpha \cos \varphi ,$$

$$K_z = |\mathbf{B}| \cos \alpha .$$

A függőleges csigáknál az erők számítása tetszőleges φ helyen végezhető, különben $\varphi = \varphi_0$.

A súrlódás legyőzéséhez és az anyag mozgatásához szükséges teljesítmény:

$$P_1 = c\mathbf{K}\mathbf{v} = c(K_x v_x + K_y v_y + K_z v_z) ,$$

ahol c a belső ellenállásokat figyelembevevő biztonsági tényező. A c értéke 1,1...2,0-re vehető fel (2.6.5. táblázat). A vízszintes és δ_r -nál kisebb szögben szállító ferde csigáknál a $\mathbf{v}$ -nek csak a z irányú komponense nem 0, ezért

$$P_1 = c|K_z|v_z = c|K_z|r\omega_0 \tan \alpha .$$

2.6.5. táblázat

A c tényező és a ρ súrlódási kúpszög értéke néhány anyagra

Szállított anyag	ρ	c
Gabona	20	1,1
Szén	25	1,3
Koksz	30	1,6
Homok	30	1,8
Mészke	30	1,6
Érc	30	2,0
Salak	35	1,6
Kősz	35	1,6

A csigatengely csapsúrlódása

A csapágákat csiga súlyán kívül az **N** és **B** kényszererőkkel azonos nagyságú, de ellentétes értelmű erők terhelik. A radiális csapágyterhelés az x és y irányú komponensek, az axiális csapágyterhelés a z irányú komponensek összege, azaz a

$$P_z = \frac{d}{2} \omega_0 [\mu_t |F_z| + \mu_r |F_r|],$$

ahol:

$$F_z = -K_z - G_{cs} \sin \delta$$

$$F_r = \sqrt{(|\mathbf{N}| \cos \varphi - |\mathbf{B}| \sin \alpha \sin \varphi)^2 + (|\mathbf{N}| \sin \varphi + |\mathbf{B}| \sin \alpha \cos \varphi + G_{cs} \cos \delta)^2}$$

d a csigatengely átmérője [m],

G_{cs} a csiga súlya [N],

μ_t csapágsúrlódási tényező (0,15...0,2),

μ_r csapsúrlódási tényező (0,2...0,3).

A csiga súlya a csigatengely és a csigalevél tömegéből számítható. A csigatengely tömege:

$$m_t = \rho_a \frac{(d^2 - d_b^2) \pi}{4} L.$$

ahol:

ρ_a az acél sűrűsége [kg/m³],

d_b a csigatengely belsőátmérője [m],

L a csiga hossza [m].

A belsőátmérő: $d_b = d - 2 v_t$, ahol v_t a csőtengely falvastagsága.

A csigalevél tömege:

$$m_{levél} = \rho_a L_{levél} B v_{levél},$$

ahol:

ρ_a az acél sűrűsége [kg/m³],

$L_{levél}$ a csigalevél hossza [m],

B a csigalevél szélessége [m],

$v_{levél}$ a csigalevél vastagsága [m].

A csigalevél hossza, ha a menetszám $z = L/s$:

$$L_{levél} = z \frac{D \pi}{\cos \alpha}.$$

A csigalevél szélessége:

$$B = (D - d)/2.$$

A csiga súlya:

$$G_{cs} = (m_{levél} + m_t) g \text{ [N]}.$$

A gyorsítási ellenállás

A gyorsítási ellenállás, ha az anyagot 0 sebességről kell felgyorsítani:

$$P_3 = Q|\mathbf{v}|^2,$$

ami a vízszintes és δ_0 -nál kisebb szögben szállító ferde csigáknál

$$P_3 = Q(r\omega_0 \operatorname{tg} \alpha)^2.$$

Más esetekben a $|\mathbf{v}|$ a (2.6.16) képlettel számítható.

Egyéb ellenállások

A zárt kiömlőnyílások további ellenállást jelentenek, mivel az anyag nem a vályú fenekén, hanem a nyílásban felhalmozódott anyagrétegen sűrűdik. Ezt a járulékos ellenállást, illetve ennek a teljesítményigényét (P_4) is figyelembe kell venni [27].

Az összes teljesítményigény:

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{1000\eta} \quad [\text{kW}],$$

ahol η a hajtás hatásfoka.

2.7. FÜGGŐKONVEJEK

A függőkonvejek darabárak (esetenként csomagolt ömlesztett áruk) bonyolult, zárt vonalú, legtöbbször térbeli pályán való folyamatos (ritkán) szakaszos továbbítását végzik. A mozgatott tárgyak a konvejek pályán haladó függesztékeken helyezkednek el, innen származik az elnevezésük is.

A konvejek különböző szinteken található munkahelyeket is képes kiszolgálni. A pálya a feladási és leszedési helyeken lesüllyeszthető, illetve az átjárók, közlekedési utak, munkahelyek felett felemelhető. Az egyik műhelycsarnokból a másikba üzemi folyosókon vezethető át. A korszerű függőkonvejek szállítása jellemzője, hogy címzés segítségével az áruk feladása és leszedése automatizálható. A függőkonvejeket szinte valamennyi iparágban használják, főleg a tömegtermelésben, ahol a munkadarabokat az egyik munkahelytől a másikig kell továbbítani, miközben különböző műveleteket végeznek rajtuk. Az élelmiszeriparban példaként említhetők a nagy kapacitású húsfeldolgozó üzemek, amelyekben a függőkonvejek nélkülözhetetlen eszközök.

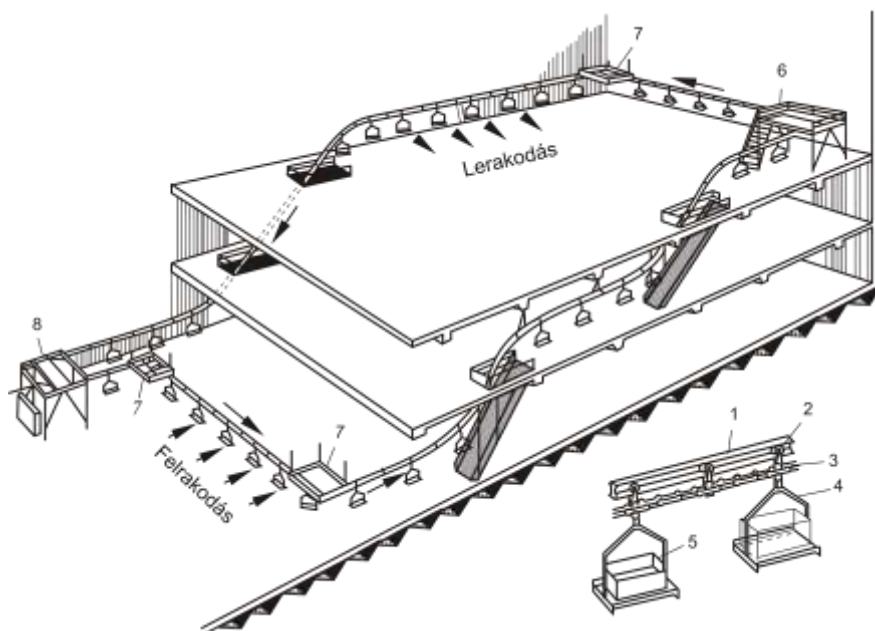
A függőkonvejek paraméterei széles határok között változhatnak. A szállított tárgy alakja különböző lehet, mérete néhány mm-től 10 m-ig, tömege néhány grammtól 8 tonnáig terjedhet. A konvejekpálya hossza a szállítási feladattól függően több kilométer hosszú is lehet. A szállítási sebesség 0,2...30 m/min között változhat.

A függőkonvejek széles felhasználási területe a legkülönbözőbb kivitelű és szerkezeti felépítésű berendezések kifejlesztését eredményezte, ami megnehezíti rendszerezésüket. A vonóelemtől függően beszélünk **lác** és **sodronykötél-vontatású** konvejekről. A hajtás száma szerint: **egyhajtásos** és **többsajtásos** pályákat különböztetünk meg. A pálya vezetése szerint lehetnek **sík** és **térbeli** kialakításúak. A vonóelem és a szállított teher kapcsolódási módja szerint a konvejek lehetnek **egy- és kétpályásak**. A vonóelemben, a függesztékben és a kocsi összezerősítésében mutatkozó jelentős különbségeket figyelmen kívül hagyva azt mondhatjuk, hogy az egyes részekységek szerkezeti felépítésében sok közös elem található. Például a vonóelemek, a hajtások, az ívek és feszítőszerkezetek hasonlóak [17].

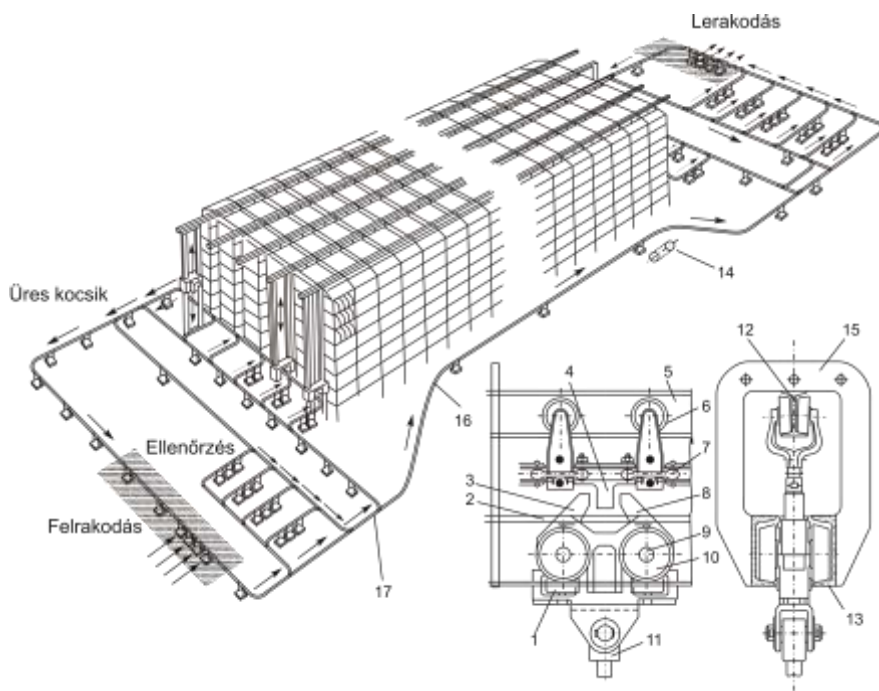
2.7.1. A függőkonvejek szerkezeti felépítése

A 2.7.1. ábra zárt pályavezetésű **egypályás függőkonvejek** szemléltet, amely, **pályából** (1), a **vonóelemből** (3), a **futóművekből** (2), valamint a **függesztékekből** (4) áll.

A vonóelemet a villamos motorral hajtott **hajtómű** (6) hozza mozgásba. A vonóelem flexibilitása biztosítja a térbeli pályavezetést, azaz a pálya a vízszintes és a függőleges síkban ívelt lehet. A vízszintes síkban az irányváltoztatás a **terelőívek** (7) segítségével valósul meg, függőleges síkban pedig a pálya függőleges hajlataival.



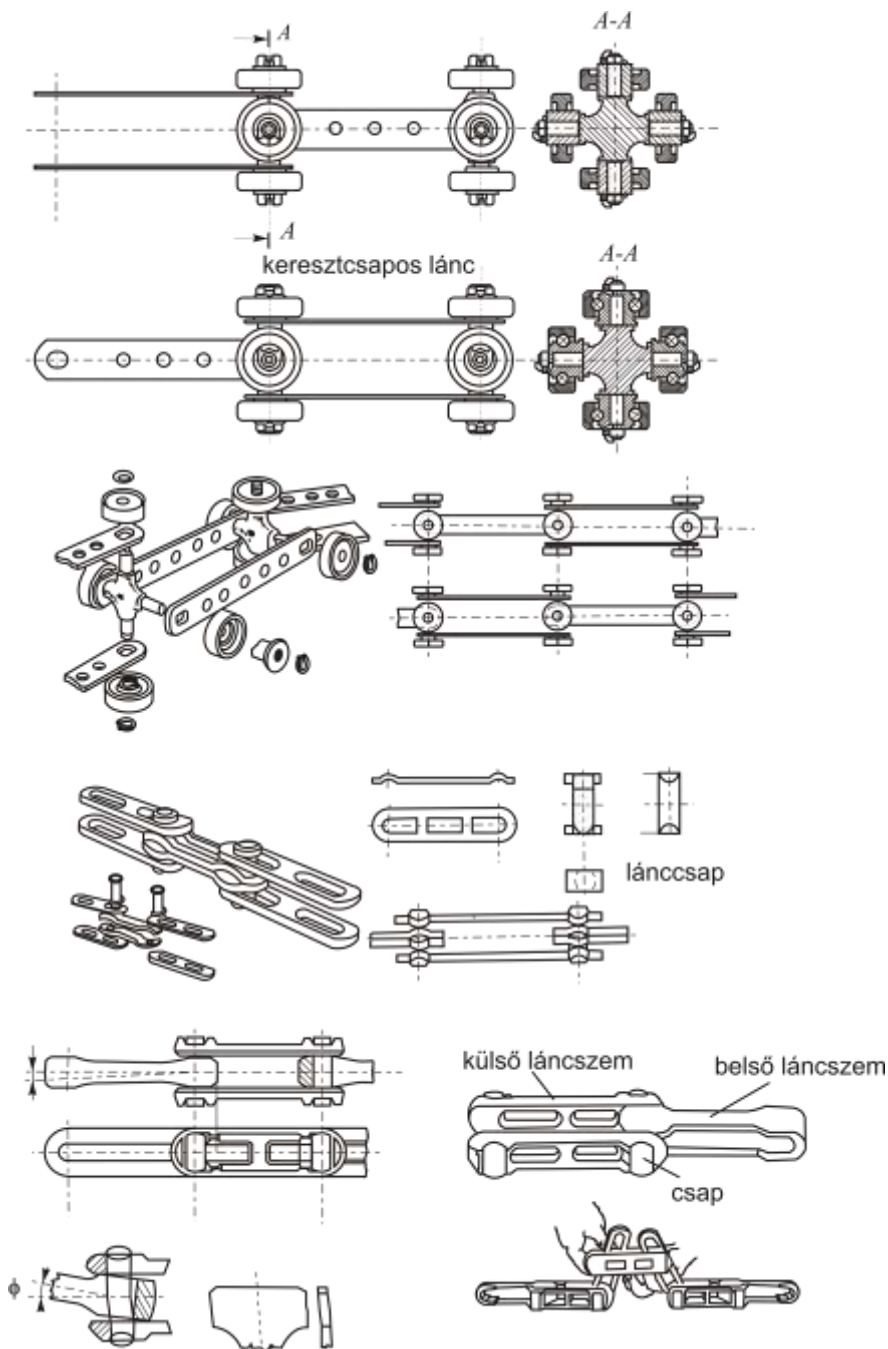
2.7.1. ábra: Egypályás függőkonveor



2.7.2. ábra: Kétpályás függőkonveor

A **kétpályás függőkonveorok** sokoldalú felhasználási lehetőségük miatt egyre szélesebb körben terjednek (2.7.2. ábra). A vonóelemtől függetleníthető ún. **függesztékkocsik** (1) lehetővé teszik a rakományok összegyűjtését, tárolását és sorrend cseréjét. A felső ún. **láncpályán** (5) a **vonóelem** (7) a hozzáerősített fu-

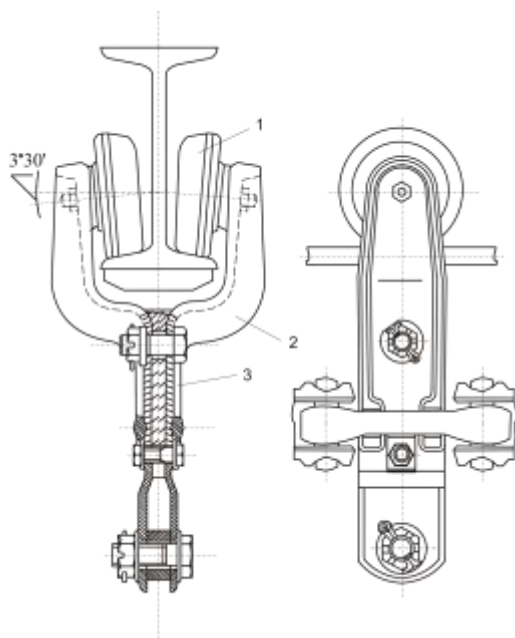
tóművekkel (8) együtt folyamatosan mozog. A **teher-** vagy **szállítópályán** (2) mozgó **függesztőkocsik** (10) és a vonóelem között a **tolóelem** (4), valamint a függesztőkocsira szerelt **kapcsolófej** (8) terem alternatív kapcsolatot. Ez lehetővé teszi a függesztőkocsik, illetve az ehhez kapcsolódó függesztékek (11) szükség szerinti függetlenítését (megállítását) az állandóan mozgó vonóelemtől.



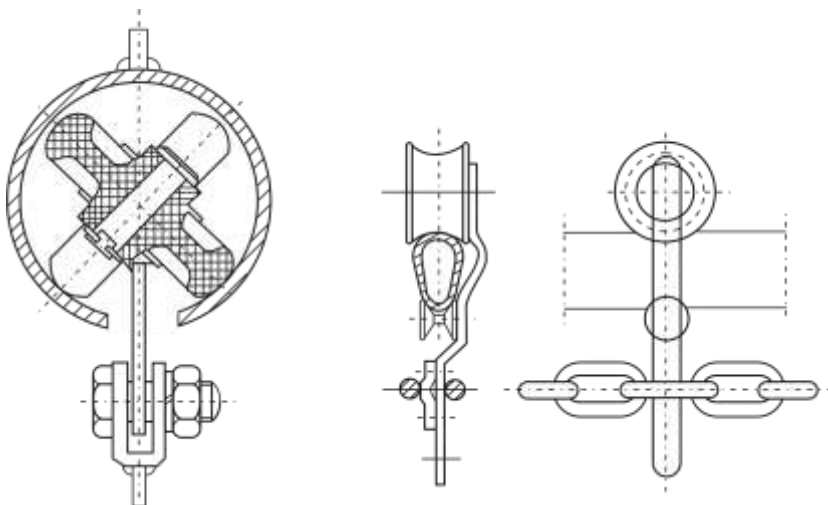
2.7.3. ábra: Különböző fajta szétszedhető vonóláncok

A **vonóelemek** különböző típusú szabványos vagy speciális láncok, acélsodrony-kötelek lehetnek. A sík pályák vonóelemeként bármilyen csuklóslánc és acélsodrony-kötél használható. A térbeli vezetésű pályákon a láncnak a függőleges és a vízszintes síkban egyaránt elfordulási lehetőséggel kell rendelkeznie. Az alkalmazott láncok lehetnek szétszedhető-, szemes- és különböző kialakítású kétsuklós láncok (2.7.3. ábra). A szétszedhető láncok csuklós tagokból állnak és gyártási módjuk szerint melegen sajtoltak (kovácsoltak) vagy hidegen sajtoltak lehetnek. A melegen sajtolt lánc minden tagja két külső-, egy belső láncszemből és a csapból áll.

A **futómű** függőkonveor egyik legfontosabb eleme, minőségétől függ az egész berendezés üzembiztonsága. Feladata a teherfüggeszték rögzítése és annak a pályán való mozgatása. A legfontosabb elvárások a futóművel szemben: legyen könnyen mozgatható, kicsi ellenállási tényezővel; kapcsolata a pályával megbízható legyen; szilárdsága és kopásállósága kis sajáttömeg mellett feleljen meg az üzemi körülményeknek. Az eltérő üzemeleési feltételeknek megfelelően a futóművek kialakítása is eltérő lehet. Jellegzetes megoldást mutat a 2.7.4. ábra, amely tengelyekkel és csapágyakkal szerelt görgőkből (1), a görgők tengelyeire szerelt kengyelből (2), a vonóelemet a kengyelhez kötő villából (3) áll. A villa alsó részére közvetlen függesztik a hordozóelemet. Ettől eltérően, keresztartós függeszték alkalmazásakor több, kettő vagy négy futóműhöz rögzítenek egy keresztartót, és erre függesztik a nehéz vagy terjedelmes tárgyat. A görgők száma a terheléstől függően egy, kettő és négy lehet. A görgők alakját a pálya profilja határozza meg. Az I szelvényű pályákhoz kúpos, hengeres és gömbszerű, perem nélküli görgőket használnak. A csőpályás konveorok (2.7.5. ábra) görgői gömb vagy gömb-kúpos kiképzésűek. Anyaguk általában kopásálló acél, de könnyű konveorokhoz műanyag görgőket is alkalmaznak.

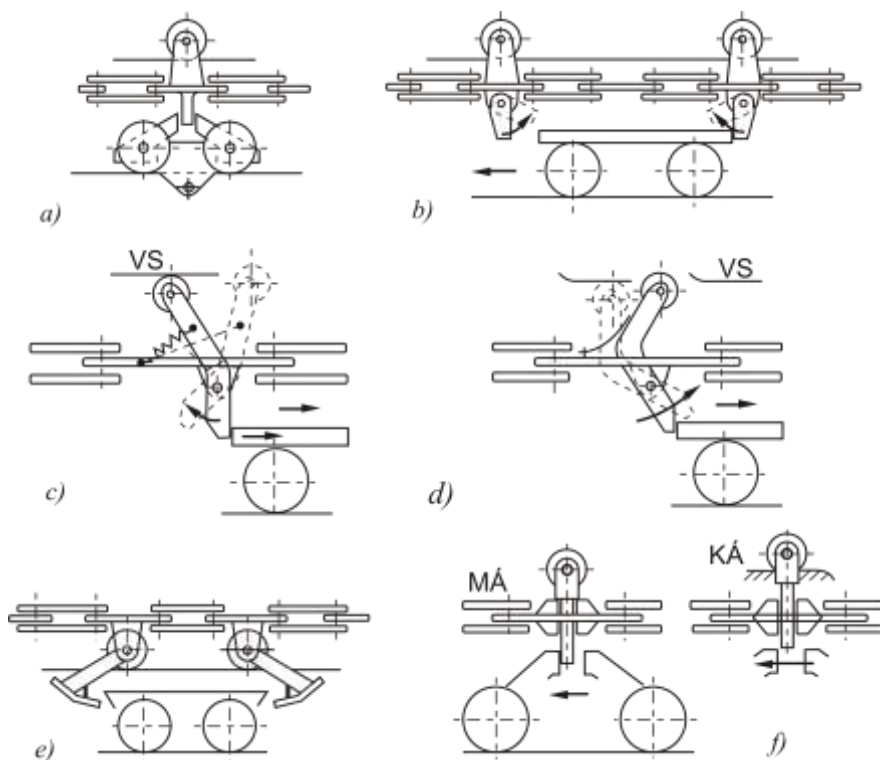


2.7.4. ábra: Egypályás függőkonveor futóműve



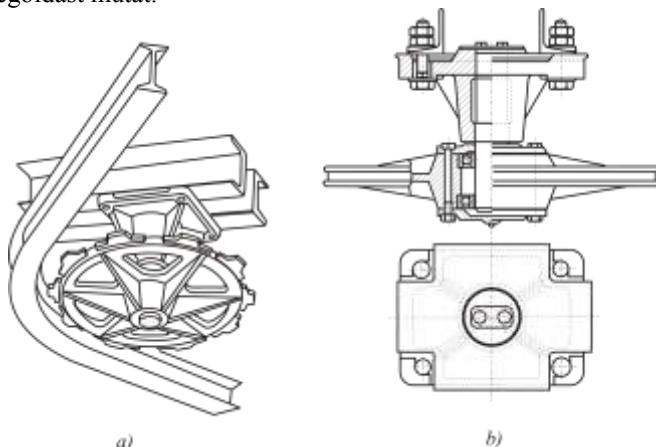
2.7.5. ábra: Csőpályás konveor futóműve

A kétpályás konveoroknál a futóművet és a függesztékkocsit a vonóelemhez erősített **tolóelemek** kötik össze, amelyek a kapcsolófejjel érintkezve mozgásba hozzák a függesztékkocsit. A tolóelemek és a vonóelem közötti kapcsolat lehet merev (2.7.6/ a, f ábrák) vagy csuklós (2.7.6/ b, c, d, e ábrák).

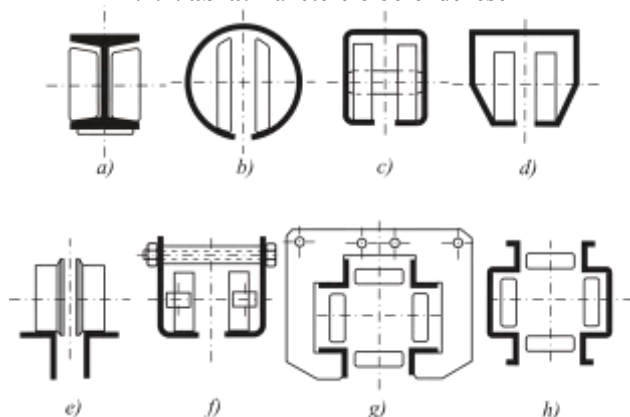


2.7.6. ábra: Tolóelemek kétpályás konveorokhoz
(MÁ működési állapot, KÁ kikapcsolt állapot, VS vezetősin)

Vízszintes síkban a konvejorpálya vonóelemének telerését különböző kialakítású pályáivek biztosítják, amelyek lehetnek köteltárcsás, lánckerek és telerőpályás a vonóelem típusától függően. A 2.7.7/a ábra lánckerek 2.7.7/b ábra pedig köteltárcsás megoldást mutat.

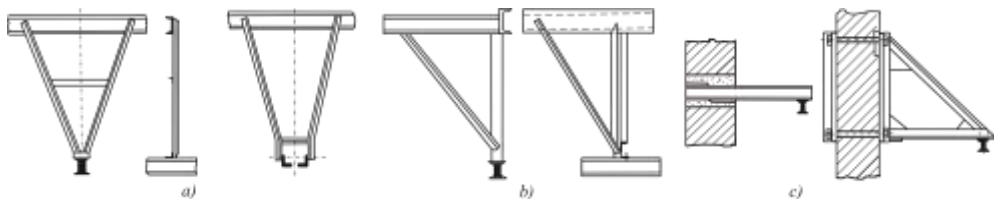


2.7.7. ábra: Láncterelő berendezések



2.7.8. ábra: Függőkonvektorok pályaszelvényei

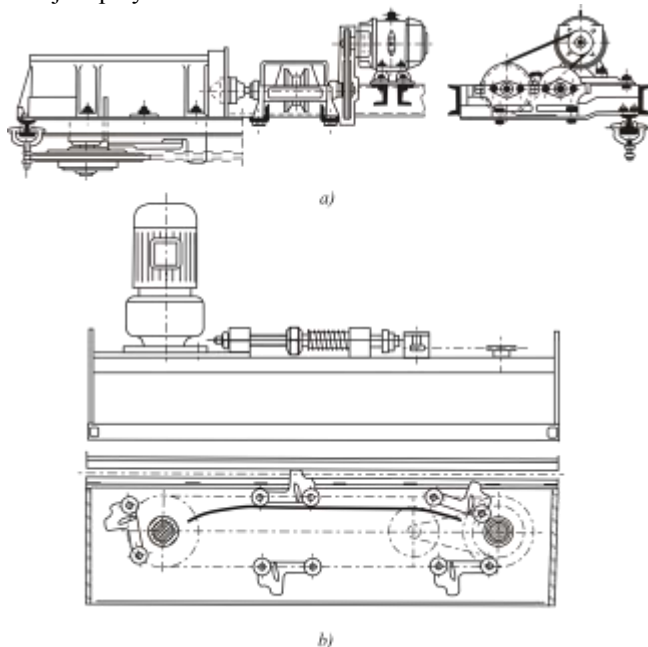
Szállítópályák hengerelt idomacélból vagy hidegen hajlított acéllemezéből készülnek (2.7.8. ábra). Egyszerűsége miatt kedvelt az I szelvény, de kis sugarú ívbe nehezen hajlítható. A szögacélokból összeállított szelvény nagy terheléseknél előnyös. A kisterhelésű konvektorokhoz hidegen hajlított vékonyfalú pályákat használnak. A közel zárt szelvények előnyös szilárdsági tulajdonságokkal rendelkeznek, külső felületük tetszetős, könnyen tisztán tartható. A pályát 3-6 m-enként különböző rögzítő szerkezetekkel függesztik a tartószerkezethez (2.7.9. ábra).



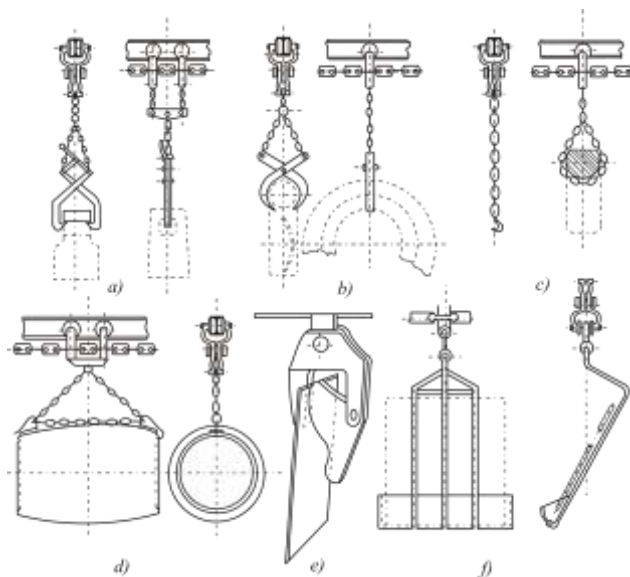
2.7.9. ábra: A pálya függesztése és rögzítése

A **lác vonóelem meghajtására** 90-180°-os iránytöréseknél elhelyezhető lác ke-
rekes (2.7.10/a ábra), vagy a pálya bármely pontján beiktatható segédlác os haj-
tást (2.7.10/b ábra), a sodronykötél vonóelemhez súrlódó hajtást használnak.
Hosszabb pályaszakaszokon és nagy terheléseknél több hajtóművet alkalmaznak.

A vonóelem feszítését általában súly vagy csavarorsós működtetésű, 180°-os
szögben körülfogott terelőkorong biztosítja. Visszafutás-gátló és lác megfogó
szerkezetet a lejtős pályaszakaszokon kell beiktatni.



2.7.10. ábra: Konveorok hajtása



2.7.11. ábra: Függesztékek

A **függesztékek** a függőkonvektorok teherhordó elemei, amelyekre felrakják vagy felfüggesztik a szállítandó terhet. Felépítése, kialakítása függ a teher méreteitől, alakjától, tömegétől és a konvektor rendeltetésétől. A függesztékek lehetnek polcok, akasztók, dobozok, láncok, megfogók stb. Néhány megoldást a 2.7.11. ábra mutat be.

2.7.2. Szállítóképesség és teljesítményszükséglet

A **szállítóképesség** az ismert összefüggéssel határozható meg:

$$Q = 3,6v \frac{m_f}{t_f} \quad [\text{t/h}],$$

ahol:

- v a vonóelem sebessége [m/s],
- m_f az áru tömege egy függesztéken [kg],
- t_f a függesztékosztás [m].

A függesztékosztás az áru méreteitől függ, és a láncosztás egészszámu többszöröse. Szokásos nagysága 0,8...2,5 m. Az ívekben haladáskor a függesztékek zavarhatják egymás mozgását, ezért különösen kis függeszték távolságnál a zavartalan haladást számítással vagy grafikusán ellenőrizni kell.

A megkívánt szállítóképesség és az áru mérete által determinált minimális függesztéktávolság ($t_{f\min}$) egyértelműen meghatározza a legkisebb szállítósebességet:

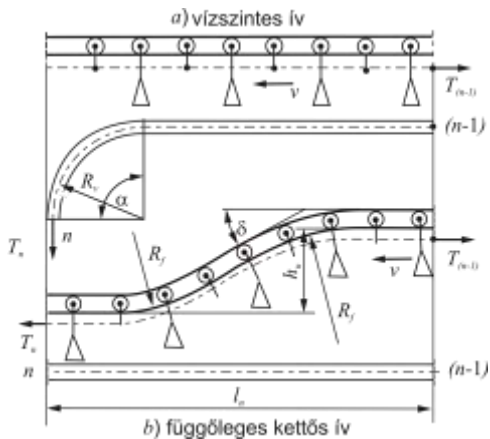
$$v_{\min} = \frac{Qt_{f\min}}{3,6m_f} \quad [\text{m/s}].$$

2.7.1. táblázat

A konvektorok jellemzői adatai [17]

A konvektor rendeltetése és a rakományok jellemzői	Rakomány tömege [kg]	A rakodás és lerakodás eszközei, gépei	Jellemző sebesség [m/min]
Öntvények, kovacsolt darabok, gépalkatrészek üzemben belüli és üzemek közötti szállítása	max. 1000 10 5 50 ... 100	emelőgépekkel kézzel kézzel automatizált géppel	4 10 12 18
Gépalkatrészek és félkésztermékek szállítása munkagépek között	100 ... 500 10	emelőgépekkel kézzel	10 6
Magok szállítása öntődei formázóhelyekre	10	kézzel	4...6
Nyersdarabok és félkésztermékek szállítása gépről gépre	100 ... 200 100 ... 200 10 20	emelőgépekkel automatizált géppel kézzel automatizált géppel	10 12 15 18
Bálák, nagyméretű csomagolási egységek, kötegek szállítása raktárba vagy az expedícióba	5 ... 10 50 ... 100	kézzel automatizált géppel	18 16 ... 24

A szállítási sebesség értéke 0,2...30 m/min. A kisebb sebességeket általában az időigényes technológiák (festés, szárítás) kívánják meg. A felső határt a láncoknál a dinamikus hatások, sodronykötélnél a lengések korlátozzák. A kézzel kiszorgált konveoroknál biztonságtechnikai okokból a sebesség nem lehet nagyobb 20 m/min-nél. A kétpályás függőkonveoroknál csak a dinamikai következményekkel kell számolni, mivel a fel- és leadás művelete függetleníthető a hajtástól. A különböző rendeltetésű konveorok jellemző sebességei a 2.7.1. táblázatban találhatók.



2.7.12. ábra: Konveorpálya szakaszok

A hajtás teljesítményszükséglete a legnagyobb vonóerőből számítható. A futómű és a függesztékek mozgása során egyrészt a pálya mentén megoszló, másrészt a koncentráltan jelentkező ellenállásokat kell legyőzni. A megoszló ellenállások a futóműveknél egyenes haladás közben fellépő csapsúrlódásból és gördülési ellenállásból, továbbá a szintkülönbségek legyőzésére fordított vonóerőből tevődnek össze. A koncentrált vagy helyi ellenállások a vízszintes és függőleges síkú pályaíveknél lépnek fel. Ezek a vonóelem hajlításából, a terelőelemek súrlódásából és az íven való haladásból adódnak.

2.7.2. táblázat

A függőkonveorok ellenállástényezői

Az üzem jellege		Könnyű		Közepes	Nehéz
A vontatási ellenállás tényezője μ_z					
Ha a csapágызазás	gördülő	0,015	0,020	0,025	
	csúszó	0,03	0,04	0,05	
Vízszintes pályaív ellenállástényezője k					
Ha az eltérés szöge	terelő	90	1,03	1,045	1,06
	korong	180	1,04	1,075	1,11
	terelő	45	1,02	1,035	1,05
	görgő	90	1,035	1,06	1,09
		180	1,05	1,08	1,12
Függőleges síkú kettős ív ellenállástényezője k					
Ha a pálya emelkedési szöge	20	1,01	1,02	1,03	
	30	1,015	1,025	1,04	
	40	1,02	1,035	1,05	

Az ellenállások számításához a pályát az ellenállások változásának megfelelően szakaszokra bontják. Általában egy-egy szakasz kezdőpontja egy egyenes szakasz eleje, végpontja pedig egy vízszintes vagy függőleges síkú ív vége. Az igényesebb számítás nagy gyakorlatot és tapasztalatot igényel. Az előzetes közelítő számításokra alkalmas, leegyszerűsített módszer szerint az $(n-1)$ -edik és az n -edik pontok közötti szakaszon a vonóelemenben ébredő ellenállás:

$$T_n = k[T_{n-1} + \mu_z(q + q_0)l_n \pm (q + q_0)h_n] \quad (\text{N}),$$

ahol:

k az íves szakaszok ellenállási tényezője (ha a pályaszakasz ívet tartalmaz, akkor a k értéke a 2.7.2. táblázat szerint, különben $k=1$),

μ_z a vontatási ellenállás tényezője (2.7.2. táblázat),

q a függőkonvektor folyóméterenkénti hasznos terhelése [N/m],

q_0 a vonóelem és a szállítóelem folyóméterenkénti súlya [N/m],

l_n a szakasz hossza [m],

h_n emelkedés a függőleges ívben [m].

A 2.7.12/a ábra egy vízszintes és a 2.7.12/b ábra egy kettős függőleges pályáivet tartalmazó szakaszt szemléltet.

A számításokat a legkisebb terhelés helyétől kiindulva kell szakaszonként elvégezni a vonóelem mozgásának irányában haladva. A hajtáshoz szükséges kerületi erő a hajtókerékre felfutó és a lefutó láncágban ébredő húzóerők különbsége:

$$F_k = T_1 - T_2 \quad [\text{N}].$$

A hajtás teljesítményszükséglete:

$$P = \frac{F_k v}{\eta} \quad [\text{kW}],$$

ahol az η a hajtás hatásfoka.

A vonóelemet a legnagyobb húzóerőre kell méretezni, ami nem feltétlen azonos a hajtásra felfutó láncágban ébredő erővel. A zavartalan működés feltétele a pálya teljes hossza mentén a minimális előfeszítő erő biztosítása.

2.7.3. A függőkonvektorok automatizálása

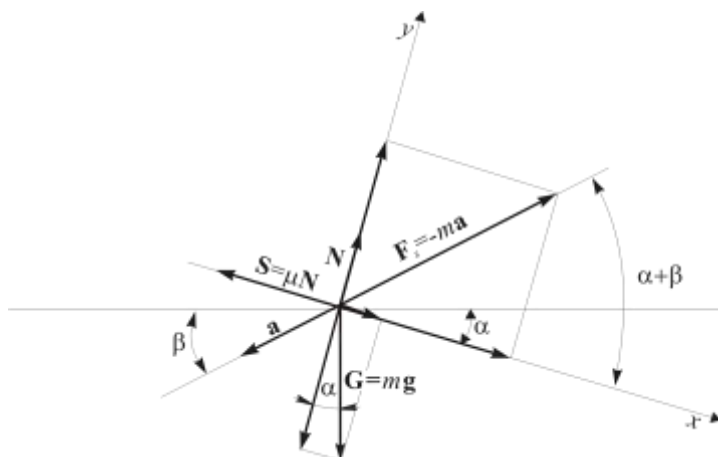
A függőkonvektorok adottságai az anyagmozgatás magas szintű gépesítését teszik lehetővé. Legegyszerűbben a feladó és leadó helyek működtetése automatizálható. Több feladó és leadó hely esetén célvezérlő berendezésekkel teljes automatizálás is megvalósítható.

A függőkonvektorok célvezérlő berendezései egyedi szerkezetek vagy központi utasítástároló berendezések lehetnek. A vezérlés feladatai szerint **célvezérlésről** és **programvezérlésről** beszélhetünk. Az egypályás célvezérlés feladata a szállítandó daraboknak több leadóhely közül kiválasztott célállomásra való eljuttatása. A kétpályás célvezérlés nemcsak a célállomásra érkező áru leadását biztosítja, hanem a megfelelő útvonalat kijelölő váltók állítását is ellátja. A programvezérlésnél az utasítás sorozat több egymásután elvégzendő, nemcsak anyagmozgatási feladatot tartalmaz. Bonyolultabb vezérlésekre egyszerűen programozható processzorokat alkalmaznak.

2.8. RÁZÓ SZÁLLÍTÓGÉPEK

A rázó szállítógépek ömlesztett, nem tapadós poros, szemcsés és darabos anyagok mozgatására alkalmas berendezések. Szállítóképességük viszonylag kicsi 5...10 t/h, fajlagos energiaigényük nagy. A mezőgazdaságban elvileg szemes termények szállítására használhatók, a gyakorlatban azonban nem bizonyultak versenyképesnek az egyéb folyamatos üzemű berendezésekkel szemben. Nagyobb jelentőséggel inkább az adagolás és a szemes termények tisztítása területén bírnak.

Működésük közös ismérve, hogy az anyag a tömegerők hatására mozog. Ismeretes jelenség, ha egy gyorsuló mozgást végző vízszintes laphoz egy testet helyezünk, akkor a lap gyorsulásától és a két test közötti súrlódási erőtől függően a test együtt mozog a lappal, vagy megcsúszik és lemarad a laphoz képest. Ezt a felismerést hasznosítva, szakaszos, egyenirányított mozgás hozhatunk létre oly módon, hogy a lapot alternáló mozgásra kényszerítjük, miközben az oda-vissza menet alatt aszimmetrikussá tesszük a gyorsulást, vagy a súrlódási erőt, vagy mindkettőt [46].



2.8.1. ábra: A gyorsuló mozgást végző síklapra helyezett tömegpontra ható erők

A jelenség egzaktabb tárgyalása érdekében tekintsük a 2.8.1. ábrát, amelyen a síklap α szöget zár be a vízszintessel, a lap a gyorsulásvektorának iránya pedig β szög alatt hajlik a vízszinteshez. Vizsgáljuk az m tömegű anyagszemcse mozgását a lapon, a laphoz rögzített x, y mozgó koordináta-rendszerben. A mozgásegyenlet így a következő alakban írható fel [26]:

$$(2.8.1) \quad m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{G} + \mathbf{S} + \mathbf{N} + \mathbf{F}_s,$$

ahol a valódi erők a $\mathbf{G} = m\mathbf{g}$ a súlyerő, az $|\mathbf{S}| = \mu|\mathbf{N}|$ súrlódási erő és az $\mathbf{N}$ kényszererő, amelyekhez hozzá kell adni a koordináta-rendszer gyorsuló mozgása miatt fellépő $\mathbf{F}_s = -m\mathbf{a}$ szállítóerőt. Az ábra alapján azonnal felírhatjuk a komponens egyenleteket is:

$$(2.8.2/a) \quad m\ddot{x} = mg \sin \alpha \pm [-ma \cos(\alpha + \beta)] \mp \mu N = mg \sin \alpha \mp ma \cos(\alpha + \beta) \mp \mu N,$$

$$(2.8.2/b) \quad m\ddot{y} = \pm [-ma \sin(\alpha + \beta)] - mg \cos \alpha + N = \mp ma \sin(\alpha + \beta) - mg \cos \alpha + N,$$

ahol:

$\ddot{x}$ és $\ddot{y}$	az anyagszemcse x és y irányú relatív mozgásának gyorsulásai,
g	a nehézségi gyorsulás,
a	a síklap gyorsulása,
μ	a súrlódási tényező,
$N = \mathbf{N} $	a kényszererő.

Az egyenletek tartalmazzák az oda-vissza mozgás erőjátékát. A felső sorban az előjelek az 2.8.1. ábrán vázolt esetnek felelnek meg. Ekkor az $\mathbf{F}_s$ szállítóerő x irányú komponense pozitív, az $\mathbf{S}$ súrlódási erő pedig negatív irányú. A gyorsulás ($\mathbf{a}$) értelmének megváltozásakor az előjelek ellentétesre változnak.

A rázó szállítógép működése egyrészt a (2.8.2) egyenletek geometriai paramétereitől, másrészt az alternáló mozgást létrehozó gerjesztőmű mozgástörvényeitől függ. Ezeket figyelembe véve a szakirodalom a rázó szállítógépeket a 2.8.1. táblázat szerint csoportosítja:

2.8.1. táblázat

A rázó szállítógépek csoportosítása

A rázó szállítógép megnevezése	y irányú relatív elmozdulás	A vályú vízszintessel bezárt szöge	A gyorsulás iránya	Gerjesztés
Lengővályú	$y=0$	$\alpha \geq 0$	$\alpha + \beta \geq \alpha$	harmonikus lengőmozgás
Rázóvályú	$y=0$	$\alpha \geq 0$	$\alpha + \beta = 0$	lengőmozgás
Vibrációs vályú	$y \neq 0$	$\alpha \geq 0$	$\alpha + \beta \geq \alpha$	függőleges körmozgás, vagy lengőmozgás

2.8.1 Lengővályúk

Az általános helyzetű lengővályú működési vázlata a 2.8.2. ábrán látható. A lengővályún a tömegpont mikrohajtások nélkül mozog, vagyis y irányú relatív mozgás sebessége és gyorsulása 0, és az N kényszererő mindig pozitív. A (2.8.2) mozgásegyenletek ezért jelentősen egyszerűsödnek. Az $\ddot{y} = 0$ helyettesítés után a (2.8.2/b) egyenletből az

$$(2.8.3) \quad N = mg \cos \alpha \pm ma \sin(\alpha + \beta).$$

Ezt helyettesítve a (2.8.2/a) egyenletbe, az

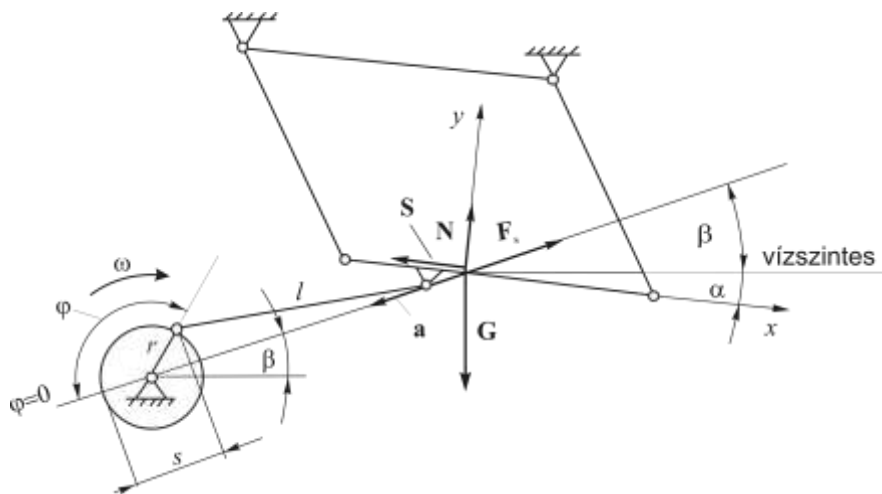
$$m\ddot{x} = mg \sin \alpha \mp ma \cos(\alpha + \beta) \mp \mu mg \cos \alpha - \mu ma \sin(\alpha + \beta),$$

majd bevezetve a $\mu = \tan \rho = \sin \rho / \cos \rho$ jelölést, az

$$\ddot{x} \cos \rho = g(\sin \alpha \cos \rho \mp \cos \alpha \sin \rho) - a[\cos(\alpha + \beta) \cos \rho \pm \sin(\alpha + \beta) \sin \rho]$$

$$(2.8.4) \quad \ddot{x} = \frac{g \sin(\alpha \mp \rho) - a \cos(\alpha + \beta \mp \rho)}{\cos \rho}$$

Itt a felső sorban az előjelek arra az esetre vonatkoznak, amikor a vályú gyorsulásának (a) x irányú komponense negatív, és értelemszerűen az alsó sor előjelei a fordított helyzetet jellemzik.



2.8.2. ábra: A lengővályú működési vázlata

Az egyszerűbb írásmód érdekében vezessük be az

$$A_{\pm} = \frac{g \sin(\alpha \mp \rho)}{\cos \rho} \text{ és a } B_{\pm} = \frac{\cos(\alpha + \beta \mp \rho)}{\cos \rho},$$

jelöléseket, ekkor az

$$(2.8.5) \quad \ddot{x} = A_{\pm} - B_{\pm} a,$$

ahol a kifejezés első állandó tagja az **abszolút**-, a második tagja pedig a **szállítógyorsulással** arányos.

A lengővályúnál a szállítómozgás harmonikus lengőmozgás, és mozgás iránya az x tengellyel $\alpha + \beta$ szöget zár be. Ez a mozgás legegyszerűbben ún. végtelen forgattyús hajtóművel ($l/r \approx \infty$) valósítható meg. Legyen r a forgattyúsugár, s az elmozdulás, és $\varphi = \omega t$ az ω szögsebességgel forgó forgattyú szögelfordulása (2.8.2. ábra), akkor az

$$(2.8.6) \quad \begin{aligned} s &= r - r \cos \varphi, \\ v &= r \omega \sin \varphi, \\ a &= r \omega^2 \cos \varphi. \end{aligned}$$

A gyorsulást helyettesítve a (2.8.5)-be

$$(2.8.7) \quad \ddot{x} = A_{\pm} - B_{\pm} r \omega^2 \cos \varphi.$$

Ha $\omega = \text{állandó}$, akkor az

$$\ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt} = \frac{d\dot{x}}{d\left(\frac{\varphi}{\omega}\right)} = \omega \frac{d\dot{x}}{d\varphi},$$

amivel az

$$\ddot{x} = \omega \frac{d\dot{x}}{d\varphi} = A_{\pm} - B_{\pm} r \omega^2 \cos \varphi,$$

$$\frac{d\dot{x}}{d\varphi} = \frac{A_{\pm}}{\omega} - B_{\pm} r \omega \cos \varphi.$$

Az integrálást kijelölve, a tömegpont relatív mozgásának sebessége:

$$(2.8.8) \quad \dot{x} = \int \left(\frac{A_{\pm}}{\omega} - B_{\pm} r \omega \cos \varphi \right) d\varphi = \frac{A_{\pm}}{\omega} \varphi - B_{\pm} r \omega \sin \varphi + C.$$

A lengővályúszerű működés feltétele az N kényszererő pozitív volta. Ezért a gerjesztőmű szögsebessége csak korlátozott mértékben növelhető. A szállítógyorsulás ismeretében az $N \geq 0$ feltételt kielégítő kritikus szögsebesség a (2.8.3) egyenletből számítható:

$$N = mg \cos \alpha - mr \omega^2 \cos \varphi \sin(\alpha + \beta) \geq 0.$$

A gerjesztő gyorsulás maximuma $\varphi=0$ -nál van, így

$$r \omega^2 \sin(\alpha + \beta) \leq g \cos \alpha,$$

amelyből a **kritikus szögsebesség**:

$$(2.8.9) \quad \omega_{krit} \leq \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{r \sin(\alpha + \beta)}}.$$

A fázisszögek meghatározása

A (2.8.8) integrálási határainak megadásához vizsgáljuk a 2.8.3/a ábrát, amely grafikusán szemlélteti a vályú és a tömegpont mozgását. A (2.8.6) összefüggéseknek megfelelően a szállítósebesség szinuszosan, a gyorsulás koszinuszosan változik. A tömegpont a mozgás egyes szakaszaiban (fázisaiban) együtt halad a vályúval. Ilyenkor sebessége és gyorsulása értelemszerűen megegyezik a vályúéval. A tömegpont viszonylagos nyugalomban marad mindaddig, amíg az x irányú erők egyensúlya meg nem bomlik. Az 1 illetve a 3 pontokban az egyensúly akkor szűnik meg, ha az

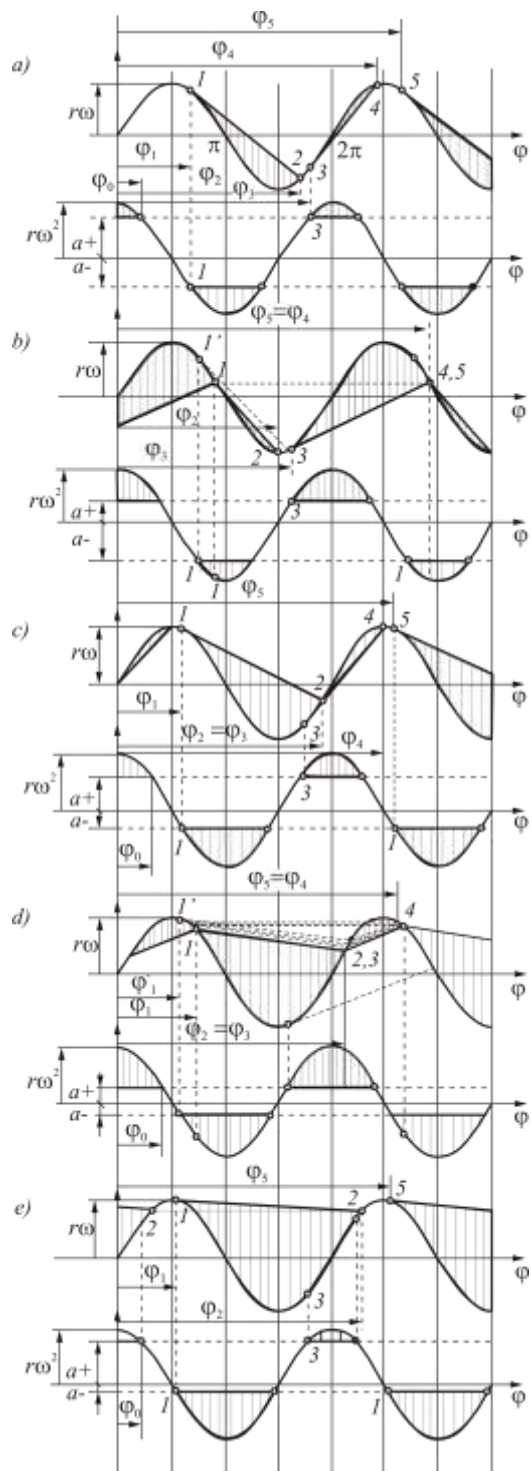
$$mr \omega^2 \cos(\alpha + \beta) \cos \varphi \geq mg \sin \alpha - \mu [mg \cos \alpha + mr \omega^2 \sin(\alpha + \beta) \cos \varphi],$$

$$-mr \omega^2 \cos(\alpha + \beta) \cos \varphi \geq mg \sin \alpha + \mu [mg \cos \alpha - mr \omega^2 \sin(\alpha + \beta) \cos \varphi]$$

feltételek teljesülnek. Az első esetben a tömegpont pozitív irányban (előre), a második esetben, negatív irányban (hátra) csúszik meg a vályún. Ettől a pillanattól kezdve érvényesek a (2.8.7) illetve a (2.8.8) összefüggések, amelyeknek megfelelően a tömegpont állandó abszolút gyorsulással és lineárisan változó abszolút sebességgel mozog.

A tömegpont abszolút gyorsulása a következő megfontolások alapján számítható. A megcsúszás pillanatában a vályú együtt halad a tömegponttal ezért az $\ddot{x} = 0$, amit a (2.8.5) összefüggésbe helyettesítve, az

$$(2.8.10) \quad a_{\mp} = \frac{A_{\pm}}{B_{\pm}} = g \frac{\sin(\alpha \mp \rho)}{\cos(\alpha + \beta \mp \rho)},$$



2.8.3. ábra: A lengővályún mozgó tömegpont lehetséges sebesség- és gyorsulásábrái

ahol csak a vályú helyzetét jellemző szögektől és a súrlódási tényezőtől függő $a_{\mp}$ gyorsulásokat az irodalomban gyakran **határgyorsulásoknak** nevezik. A megcsúszás feltételei a határgyorsulásokkal is megadhatók. Helyettesítsük a határgyorsulásokat a (2.8.7) összefüggésbe, akkor az

$$\ddot{x} = B_{\pm}(a_{\mp} - r\omega^2 \cos \varphi).$$

Határesetben, ha az $\ddot{x} = 0$, a tömegpont akkor csúszik meg előre (pozitív irányban), ha az $a_{-} \geq r\omega^2 \cos \varphi$, és ellentétes irányban pedig akkor, ha az $a_{+} \leq r\omega^2 \cos \varphi$, vagy is a vályú és a tömeg között relatív elmozdulás csak akkor jön létre, ha a vályú gyorsulása nagyobb, mint a pozitív, vagy kisebb, mint a negatív határgyorsulás. Belátható az is, hogy az $a_{\mp}$ gyorsulásértékek a tömegpont abszolút gyorsulásaival azonosíthatók. A pozitív irányban megcsúszó tömegpont abszolút gyorsulása a_{-} , a negatív irányban megcsúszó tömegpont abszolút gyorsulása pedig a_{+} .

E bevezető után határozzuk meg a fázisszögeket. A 2.8.3/a ábrán az 1 pontig nincs relatív mozgás. Az 1 pontban határesetben a vályú gyorsulása és sebessége egyenlő a tömegpont sebességével és gyorsulásával, ezért a tömegpont megcsúszik, és ezt követően a_{-} lassulással mozog addig, amíg a sebessége újra meg nem egyezik a vályú sebességével. A két sebesség a 2 pontban lesz ismét egyenlő. A vizsgált 1–2 szakaszon, tetszőleges φ helyen a relatív mozgás gyorsulása és sebessége a (2.8.7)-ből és a (2.8.8)-ból:

$$(2.8.11) \quad \ddot{x} = A_{+} - B_{+}r\omega^2 \cos \varphi = B_{+}(a_{-} - r\omega^2 \cos \varphi),$$

$$\dot{x} = B_{+} \int_{\varphi_1}^{\varphi} \left(\frac{a_{-}}{\omega} - r\omega \cos \varphi \right) d\varphi = B_{+} \left(\frac{a_{-}}{\omega} [\varphi]_{\varphi_1}^{\varphi} - r\omega [\sin \varphi]_{\varphi_1}^{\varphi} \right),$$

$$(2.8.12) \quad \dot{x} = B_{+} \left[\frac{a_{-}}{\omega} (\varphi - \varphi_1) - r\omega (\sin \varphi - \sin \varphi_1) \right].$$

A fenti egyenletekből a φ_1 és a φ_2 fázisszögek kiszámíthatók. Az 1 pontban az $\ddot{x} = 0$, így a

$$(2.8.13) \quad \varphi_1 = \arccos \left(\frac{a_{-}}{r\omega^2} \right).$$

A 2 pontban, $\varphi = \varphi_2$ helyen az $\dot{x} = 0$, így az

$$(2.8.14) \quad \begin{aligned} \frac{a_{-}}{\omega} (\varphi_2 - \varphi_1) - r\omega (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1) &= 0, \\ a_{-} (\varphi_2 - \varphi_1) - r\omega^2 (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1) &= 0. \end{aligned}$$

A 3–4 szakaszon hasonlóan járunk el, a

$$(2.8.15) \quad \ddot{x} = A_{-} - B_{-}r\omega^2 \cos \varphi = B_{-}(a_{+} - r\omega^2 \cos \varphi),$$

$$(2.8.16) \quad \dot{x} = B_{-} \left[\frac{a_{+}}{\omega} (\varphi - \varphi_3) - r\omega (\sin \varphi - \sin \varphi_3) \right].$$

A 3 pontban $\ddot{x} = 0$, a 4 pontban pedig $\dot{x} = 0$ feltételeket használjuk fel. Ezeket helyettesítve a pozitív irányú megcsúszás fázisszöge:

$$(2.8.17) \quad \varphi_3 = 2\pi - \varphi_0 = 2\pi - \arccos\left(\frac{a_+}{r\omega^2}\right),$$

és a 2.8.16-ból, a

$$(2.8.18) \quad \frac{a_+}{\omega}(\varphi_4 - \varphi_3) - r\omega(\sin\varphi_4 - \sin\varphi_3) = 0,$$

$$a_+(\varphi_4 - \varphi_3) - r\omega^2(\sin\varphi_4 - \sin\varphi_3) = 0.$$

A (2.8.14) és a (2.8.18) transzcendens egyenletekből a φ_2 és a φ_4 szögek grafikusán, vagy valamilyen ismert numerikus eljárással határozhatók meg. A fázisszögek ismeretében az 1-2 és a 3-4 szakaszokon a relatív mozgás sebességének értéke a (2.8.12) és a (2.8.16) összefüggésekkel számítható.

A 2.8.3/a ábrán bemutatott általános eset a számítások szempontjából könnyen értelmezhető. Az egyenletek paramétereitől ($\alpha, \beta, \rho, \omega, r$) függően azonban ettől eltérő, komplikáltabb esetek is előfordulhatnak (2.8.3/b, c, d, e ábrák). A problémát az okozza, hogy a tömegpont mozgásának állandósulásaig, vagyis addig, amíg a mozgás periodikussá nem válik, a fázisszögek változhatnak. A kiszámított kezdeti fázisszögek egymáshoz viszonyított helyzete szerint 5 esetet különböztettünk meg, ezeket az alábbi táblázatban foglaltuk össze.

Eset (2.8.3. ábra)	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5
a	$\varphi_2 \leq \varphi_0 + 2\pi$	$\varphi_3 \geq \varphi_2$	$\varphi_4 \leq \varphi_1 + 2\pi$	$\varphi_5 = \varphi_1 + 2\pi$
b	$\varphi_2 \leq \varphi_0 + 2\pi$	$\varphi_3 \geq \varphi_2$	$\varphi_4 > \varphi_1 + 2\pi$	$\varphi_5 = \varphi_4$
c	$\varphi_2 \leq \varphi_0 + 2\pi$	$\varphi_3 < \varphi_2$	$\varphi_4 \leq \varphi_1 + 2\pi$	$\varphi_5 = \varphi_1 + 2\pi$
d	$\varphi_2 \leq \varphi_0 + 2\pi$	$\varphi_3 < \varphi_2$	$\varphi_4 > \varphi_1 + 2\pi$	$\varphi_5 = \varphi_4$
e	$\varphi_2 > \varphi_0 + 2\pi$	$\varphi_3 < \varphi_2$	φ_3 és φ_4 nincs értelmezve	$\varphi_5 = \varphi_1 + 2\pi$

A táblázatban, mint az, az ábrákból leolvasható a $\varphi_0 = 2\pi - \varphi_3$.

A c, d, esetekben a $\varphi_3 < \varphi_2$, ezért a $\varphi_3 = \varphi_2$. A b és d esetekben az első alkalommal kiszámított $\varphi_4 > \varphi_1 + 2\pi$, ami állandósult, 2π szerint periodikus mozgás esetén lehetetlen. Ezért $\varphi_1 = \varphi_4 - 2\pi$ módosított értékkel megismételjük a fázisszögek számítását. Ezt az iterációt addig ismételjük, amíg $\varphi_4 = \varphi_5 = \varphi_1 + 2\pi$ nem lesz. Az iteráció geometriai interpretációja az ábrákon is látható. Ennek fizikai tartalma: az adott kezdeti feltételekkel mozgatott tömegpont mozgása annyi lengés után válik periodikussá, ahányszor az iterációt megisméltük. Az e esetben a φ_3 , φ_4 szögek nincsenek értelmezve, mivel relatív elmozdulás csak az egyik irányban jelentkezik.

A lengővályú szállítóképessége

A lengővályú szállítóképessége:

$$(2.8.19) \quad Q = 3,6 A v_{\text{ál}} \rho_h = 3,6 b h v_{\text{ál}} \rho_h,$$

ahol:

A a szállítás keresztmetszete [m^2],

b	a vályú szélessége [m],
h	az anyag rétegvastagsága [m],
ρ_h	a szállított anyag halmazsűrűsége [kg/m ³],
$v_{\text{át}}$	az átlagos szállítási sebesség [m/s].

Az átlagos szállítási sebességet a tömegpont egy periódus alatti x irányú abszolút elmozdulásból (s_{ax}) és a $T = 2\pi / \omega$ periódus időből számíthatjuk:

$$(2.8.20) \quad v_{\text{át}} = \frac{s_{ax} \omega}{2\pi}.$$

Az x irányú abszolút elmozdulása pedig a v_{ax} idő szerinti integrálja, azaz

$$(2.8.21) \quad s_{ax} = \int v_{ax} dt = \frac{1}{\omega} \int v_{ax} d\varphi.$$

Mint azt a fázisszögek meghatározásakor láttuk, az abszolút sebesség nem folytonos függvény, ezért az integrálást a folytonos szakaszokra külön-külön kell elvégezni. Általános esetben a sebességfüggvény négy folytonos intervallumra bontható (2.8.3/a ábra). Először felírjuk a sebességfüggvényeket az egyes szakaszokra és meghatározzuk az integrálási állandókat.

A (2.8.8)-ból a tömegpont x irányú abszolút sebessége:

$$v_{ax} = \frac{A_{\pm}}{\omega} \varphi + C = B_{\pm} r \omega \sin \varphi + \dot{x},$$

ahol C az integrálási állandó.

Ha a $\varphi = \varphi_1$, akkor az $\dot{x} = 0$, és az integrálási állandó:

$$C = -\frac{A_{\pm}}{\omega} \varphi_1 + B_{\pm} r \omega \sin \varphi_1,$$

amit visszahelyettesítve és rendezve a

$$v_{ax} = \frac{A_{\pm}}{\omega} \varphi - \frac{A_{\pm}}{\omega} \varphi_1 + B_{\pm} r \omega \sin \varphi_1 = C_1 \varphi + C_2,$$

ahol a $C_1 = A_{\pm} / \omega$ és $C_2 = -A_{\pm} \varphi_1 / \omega + B_{\pm} r \omega \sin \varphi_1$.

A φ_3 - φ_4 intervallumban hasonlóan járunk el. Az integrálási állandó értéke:

$$C = -\frac{A_{\pm}}{\omega} \varphi_3 + B_{\pm} r \omega \sin \varphi_3,$$

illetve a

$$v_{ax} = \frac{A_{\pm}}{\omega} \varphi - \frac{A_{\pm}}{\omega} \varphi_3 + B_{\pm} r \omega \sin \varphi_3 = C_3 \varphi + C_4$$

ahol a $C_3 = A_{\pm} / \omega$ és a $C_4 = -A_{\pm} \varphi_3 / \omega + B_{\pm} r \omega \sin \varphi_3$.

A φ_2 - φ_3 és a φ_4 - φ_5 intervallumokban a relatív mozgás sebessége $\dot{x} = 0$, azaz a szállító- és az abszolút sebesség x irányú komponensei egyenlők egymással, ezért a

$$v_{ax} = B_{\pm} r \omega \sin \varphi.$$

Az egyes intervallumokra kapott eredményeket a (2.8.21)-be beírva, az x irányú abszolút elmozdulás:

$$s_{ax} = \frac{1}{\omega} \left[\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (C_1 \varphi + C_2) d\varphi - B_+ r \omega \int_{\varphi_2}^{\varphi_3} \sin \varphi d\varphi + \int_{\varphi_3}^{\varphi_4} (C_3 \varphi + C_4) d\varphi + B_- r \omega \int_{\varphi_4}^{\varphi_5} \sin \varphi d\varphi \right]$$

A kijelölt integrálást elvégezve, az

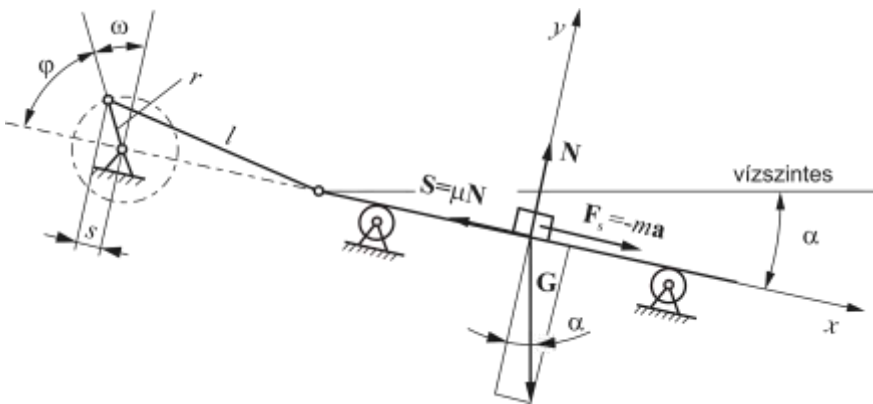
(2.8.22)

$$s_{ax} = \frac{1}{\omega} \left[\frac{C_1}{2} (\varphi_2^2 - \varphi_1^2) + C_2 (\varphi_2 - \varphi_1) + B_+ r \omega (\cos \varphi_3 - \cos \varphi_2) \right] + \frac{1}{\omega} \left[\frac{C_3}{2} (\varphi_4^2 - \varphi_3^2) + C_4 (\varphi_4 - \varphi_3) - B_- r \omega (\cos \varphi_5 - \cos \varphi_4) \right].$$

A (2.8.22) összefüggésből a fázisszögek ismeretében az s_{ax} kiszámítható. Grafikus megoldás esetén a v_{ax} függvény alatti terület arányos az abszolút elmozdulással.

2.8.2. Rázóvályúk

A rázóvályú felépítése és működési elve alig tér el a lengővályútól. A tömegpont itt is mikrohajtások nélkül mozog. Az N kényszererő mindig pozitív, ezért nincs y irányú relatív elmozdulás. Ami megkülönbözteti a lengővályútól, az a lengetés iránya és a szállítógyorsulás aszimmetriája. A rázóvályúnál a lengetés iránya mindig megegyezik a vályú mozgásának irányával (2.8.4 ábra). Ez részben egyszerűsíti, részben bonyolítja a rázóvályú elméletének tárgyalását. A lengővályúnál ismertett összefüggésekből eltűnik a β szög pontosabban $\alpha + \beta = 0$, de a könnyen kezelhető harmonikus lengőmozgás helyett bejön a bonyolultabban leírható általános lengőmozgás. Aszimmetrikus gyorsulású lengőmozgás, mint az ismeretes véges forgattyús hajtóművel is megvalósítható. Ha az l/r viszonyszám kisebb, mint 3, akkor az oda-vissza mozgás gyorsulásai már érzékelhetően eltorzulnak. A továbbiakban vizsgálatainkat erre a hajtóműre korlátozzuk, miközben támaszkodunk a lengővályúnál tett megállapításainkra, megjegyezve, hogy a módszer más aszimmetrikus gerjesztésre is alkalmazható.



2.8.4. ábra: A rázóvályú működési vázlata

A $\alpha+\beta=0$ helyettesítés után a (2.8.5) egyenletben az

$$A_{\pm} = g \frac{\sin(\alpha \mp \rho)}{\cos \rho} \text{ és a } B_{\pm} = 1$$

Véges forgattyús mechanizmust alkalmazva (2.8.4. ábra), a gerjesztő függvény sorba fejtett alakja az első két tagot figyelembe véve:

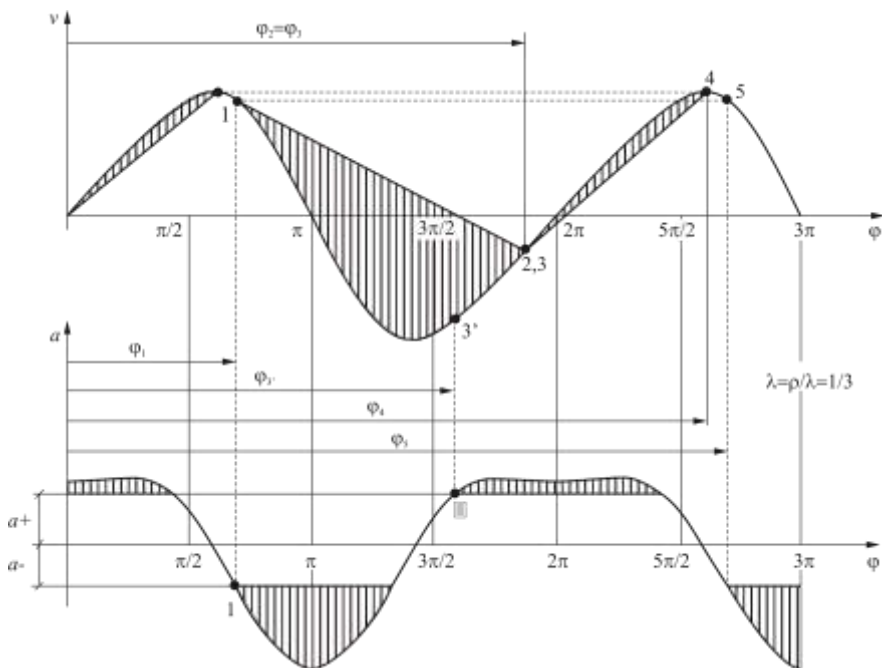
$$(2.8.23) \quad s = r \left[\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{2} \lambda k^2 \right) - \cos \varphi - \frac{1}{2} \lambda \sin^2 \varphi - \lambda k \sin \varphi \right],$$

$$v = r \omega \left(\sin \varphi - \frac{1}{2} \lambda \sin 2\varphi - \lambda k \cos \varphi \right),$$

$$a = r \omega^2 (\cos \varphi - \lambda \cos 2\varphi + \lambda k \sin \varphi),$$

ahol:

- φ a forgattyú szögelfordulása,
- ω a forgattyú szögsebessége,
- r a forgattyú sugara,
- l a hajtórúd hossza,
- e az excentricitás,
- λ r/l viszonzyszám,
- k e/r viszonzyszám,
- e az excentricitás.



2.8.5. ábra: A rázóvályú mozgásviszonyai

A gyorsulást helyettesítve a (2.8.5)-be, a rázóvályún mozgó tömegpont relatív mozgásának gyorsulása:

$$(2.8.24) \quad \ddot{x} = A_{\pm} - r\omega^2 (\cos \varphi - \lambda \cos 2\varphi + \lambda k \sin \varphi),$$

sebessége pedig

$$(2.8.25) \quad \dot{x} = \int \left[\frac{A_{\pm}}{\omega} \pm r\omega (\cos \varphi - \lambda \cos 2\varphi + \lambda k \sin \varphi) \right] d\varphi.$$

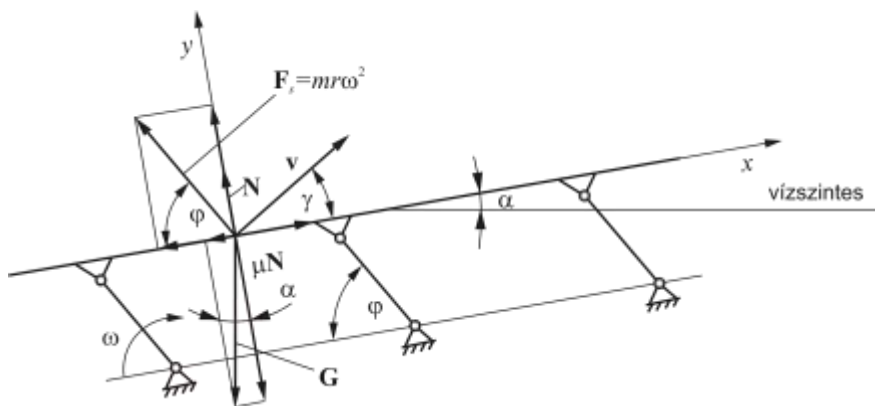
A határgyorsulások a (2.8.10)-hez képest a következők szerint módosulnak:

$$(2.8.26) \quad a_{\mp} = \frac{A_{\pm}}{B_{\pm}} = g \frac{\sin(\alpha \mp \rho)}{\cos \rho}.$$

A fázisszögek és az egy periódus alatti átlagos szállítási sebesség a (2.8.24)-(2.8.26) összefüggésekből a lengővályúnál ismertetett módszerrel számíthatók. A fázisszögek az egyenletekből általában explicite nem fejezhetők ki, ezért az egyenleteket valamilyen numerikus módszerrel kell φ -re megoldani. Ennek részletes ismertetésétől eltekintünk. A grafikus megoldást a 2.8.5. ábra mutatja be.

2.8.3. Vibrációs vályú

A vibrációs vályú működése lényegesen eltér az előző pontokban tárgyalt lengő- és rázóvályútól. A szállítógyorsulás y irányú komponense olyan nagy, hogy a tömegpont a mozgás egyes fázisaiban elválik a vályútól, majd rövid parabola alakú pályát leírva visszahullik a szállítófelületre. A gerjesztést a nagy frekvencia és a kicsi amplitúdó jellemzi.



2.8.6. ábra: Körhengéseket végző vibrációs vályú működési vázlata

Függőleges síkú körhengésekre szorítkozva a vibrációs vályúra helyezett tömegpontra a 2.8.6. ábra szerinti erők hatnak. Mivel $\alpha + \beta = \varphi$, és az $a = r\omega^2$, ebben az esetben a (2.8.2) mozgásegyenletek alakja:

$$(2.8.27/a) \quad m\ddot{x} = mg \sin \alpha + mr\omega^2 \cos \varphi - \mu N,$$

$$(2.8.27/b) \quad m\ddot{y} = mr\omega^2 \sin \varphi - mg \cos \alpha + N.$$

A továbbiakban feltételezzük, hogy a tömegpont a vályún nem csúszik meg. Amikor felemelkedik akkor parabola pályán, különben a vályúval együtt mozog. Az elválás pillanatában $\varphi = \varphi_0$, $\ddot{y} = 0$ és $N = 0$, ezeket a (2.8.27/b)-be helyettesítve, az

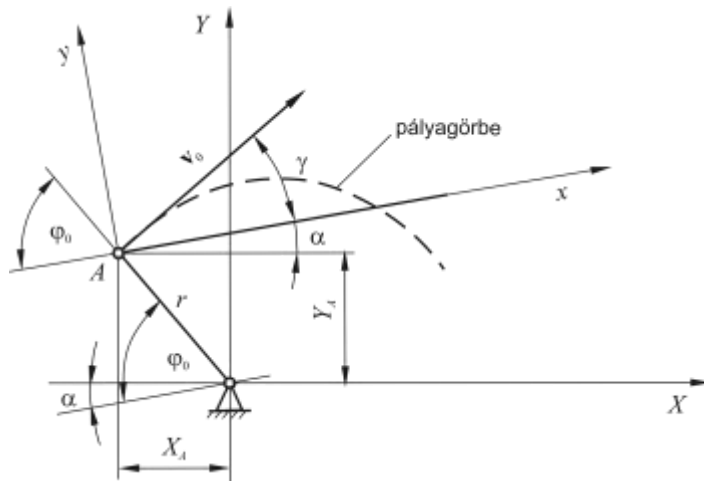
$$r\omega^2 \sin \varphi_0 = g \cos \alpha,$$

amelyből az elválás helye:

$$(2.8.28) \quad \varphi_0 = \arcsin \left(\frac{g}{r\omega^2} \cos \alpha \right).$$

A leválási sebesség nagysága $v_0 = r\omega$, iránya pedig $\gamma = \pi/2 - \varphi_0$.

A pályae egyenletek $N=0$ helyettesítéssel és a (2.8.27) egyenletek integrálásával is meghatározhatók. E hosszadalmas eljárás helyett egy egyszerűbb módszert követünk. A pályae egyenletek a 2.8.7. ábra alapján közvetlen felírhatók az X - Y álló koordináta-rendszerben.



2.8.7. ábra: A vibrációsvályún mozgó tömegpont pályája

A leválás pillanatában a tömegpont legyen az A pontban, amelynek koordinátái:

$$(2.8.29) \quad X_A = -r \cos(\varphi_0 - \alpha) \text{ és } Y_A = r \sin(\varphi_0 - \alpha).$$

A pályae egyenletek:

$$X = X_A + v_0 t \cos(\gamma + \alpha),$$

$$Y = Y_A + v_0 t \sin(\gamma + \alpha) - \frac{g}{2} t^2.$$

Mivel a $t = (\varphi - \varphi_0) / \omega$ és $v_0 = r\omega$, az

$$(2.8.30/a) \quad X = X_A + r(\varphi - \varphi_0) \cos(\gamma + \alpha),$$

$$(2.8.30/b) \quad Y = Y_A + r(\varphi - \varphi_0) \sin(\gamma + \alpha) - \frac{g(\varphi - \varphi_0)^2}{2\omega^2},$$

amelyekhez még a vályú egyenlete járul:

$$(2.8.30/c) \quad Y - r \sin(\varphi - \alpha) = \operatorname{tg} \alpha [X + r \cos(\varphi - \alpha)].$$

A (2.8.30) egyenletrendszer φ -re megoldva, megkapjuk azt a szöveget, ahol a vályú ismét találkozik a tömegponttal. A tömegpont abszolút elmozdulása X irányban egy körülfordulás alatt:

$$(2.8.31) \quad \Delta X = X - X_A = r(\varphi - \varphi_0) \cos(\gamma + \alpha).$$

Az átlagos szállítási sebesség:

$$(2.8.32) \quad v_{\text{át}} = \frac{\Delta X \omega}{2\pi}.$$

2.8.4. A rázó szállítógépek teljesítményigénye

A rázó szállítógépek teljesítményigénye egyrészt az anyag és vályú között ébredő súrlódási ellenállásból, másrészt a vályú periodikus gyorsításához szükséges erőkből számítható. A számítás menete általánosan az alábbiak szerint írható le, amit az adott rázó szállítógép fajtára értelemszerűen kell alkalmazni.

Az eddigi vizsgálatainkból kiderült, hogy az anyag és a vályú között a súrlódási erő teremt kapcsolatot. Pontosabban fogalmazva azokon a szakaszokon, ahol van relatív mozgás, az anyag továbbításához szükséges munkát a súrlódási erő közvetíti a hajtóműről a vályú közbeiktatásával, és az anyag továbbítás energiaigénye a súrlódási erő munkájával egyenlő. Azonban a φ_2 - φ_3 és a φ_4 - φ_5 intervallumokban a relatív mozgás sebessége nulla, ezért ezeken a szakaszokon a tömegpont nem végez súrlódási munkát, de vályúval együtt gyorsulva mozog. Emiatt az összes szállítási munkát célszerű három komponensre bontani: a φ_1 - φ_2 és a φ_3 - φ_4 szakaszokon a súrlódási munkára, a φ_2 - φ_3 és a φ_4 - φ_5 szakaszokon az anyag gyorsításához szükséges munkára, és végül a 0 - 2π szakaszon a vályú tömegének gyorsításához szükséges munkára.

A tömegpont súrlódási munkája egy periódus alatt:

$$W_1 = \int S dx.$$

A súrlódási erő nagysága a kényszererőtől függ, azaz $S = \mu N$, irányát pedig a relatív mozgás sebessége határozza meg. Ezt figyelembe véve, valamint felhasználva a $dx = \dot{x} dt$ és $dt = d\varphi / \omega$ összefüggéseket, a

$$W_1 = \frac{\mu}{\omega} \int N \cdot \dot{x} d\varphi,$$

ahol az $N = mg \cos \alpha \pm m a \sin(\alpha + \beta)$.

Az integrálást $\dot{x}(\varphi)$ függvény folytonos szakaszaira külön kell elvégezni, azaz

$$(2.8.33) \quad W_1 = \frac{\mu}{\omega} \left(\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} N \cdot \dot{x} d\varphi + \int_{\varphi_3}^{\varphi_4} N \cdot \dot{x} d\varphi \right).$$

A φ_2 - φ_3 és a φ_4 - φ_5 intervallumokban az anyag és a vályú együtt mozognak, ezért az anyag mozgatáshoz szükséges erő a vályú gyorsulásának (a) valamint az anyag

tömegének (m) szorzataként számítható. Az **szállított anyag gyorsításához szükséges munka** pedig egy periódus alatt:

$$(2.8.34) \quad W_2 = m \int ds = m \left(\int_{s_2}^{s_3} ds + \int_{s_4}^{s_5} ds \right) = \frac{2mr}{\pi} \left(\int_{\varphi_2}^{\varphi_3} d\varphi + \int_{\varphi_4}^{\varphi_5} d\varphi \right),$$

ahol $ds = 2rd\varphi/\pi$ a vályú elemi elmozdulása, m a szállított anyag tömege.

A **vályú tömegének gyorsításához szükséges munka** a periodikus mozgás miatt elméletileg zérus. A valóságban azonban a gyorsuló szakaszokon felhalmozódó energia a kapcsolódó elemeken fellépő súrlódások és deformációk következtében a lassuló szakaszokon csak részben térül vissza. Ezért a vályú gyorsítására fordított munka visszatérülésével nem számolunk.

$$(2.8.35) \quad W_3 = m_v \int_0^s ds = \frac{2m_v r^2 \pi}{\pi} \int_0^{\pi} d\varphi,$$

ahol: $ds = 2rd\varphi/\pi$, m_v a vályú tömege, a a szállítógyorsulás.

Megjegyezzük, ha nincs megcsúszás, illetve súrlódás, például a vibrációs vályúnál, akkor a (2.8.33) kifejezés értéke 0, a (2.8.34)-ben kijelölt integrálást pedig azokon a szakaszokon kell elvégezni, ahol a tömegpont együtt mozog a vályúval.

A hajtás teljesítményigénye:

$$(2.8.36) \quad P = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i}{T} = \frac{\omega \sum_{i=1}^3 W_i}{2\pi}.$$

2.8.5. A rázó szállítógépek szerkezeti kialakítása

A **lengővályúk** szerkezeti felépítését az előző pontokban vázolt követelmények határozzák meg. A vályú lehet függesztett vagy alátámasztott rendszerű. A merev vagy rugalmas laprugóból kialakított függesztő, illetve alátámasztó karok csuklósan kapcsolódnak a vályúhoz. Aszimmetrikus elrendezés esetén a karok középalásban $15...20^\circ$ os szöget zárnak be a függőlegessel. A szállítópálya az általánosított eltérően lehet vízszintes is. A hajtómű forgattyúsugara rendszerint $20...30$ mm, fordulatszáma a gyakorlatban $300...400$ fordulat/perc.

A **rázóvályúk** ugyancsak lehetnek alátámasztottak vagy függesztettek. A támasztóelemek általában görgők, futókerekek és golyók. A függesztésre kötelet vagy láncot használnak. A rázóvályú meghajtása a $70...140$ mm sugarú véges forgattyús hajtómű mellett egyéb mechanikus (pl. elliptikus fogaskeréppárral, excenterrel), pneumatikus és hidraulikus hajtóművel történhet.

A **vibrációs vályú** szerkezeti felépítése alig tér el a lengő- illetve rázóvályútól. Lényeges különbség a gerjesztés frekvenciájában, és a lökethosszban mutatkozik. A vibrációs vályú löketszáma lényegesen nagyobb, $900...3000$ percenként, lökethossza pedig kisebb, $1,5...2$ mm. Az erre alkalmas hajtómű lehet a hagyományos mechanikus (forgattyúshajtómű, excenter, mechanikus vibrátor), és speciális excenteres tengelyű villamos motor, hidraulikus vagy pneumatikus vibrátor. A fellépő tömegterhelés káros hatásainak kiküszöbölésére a költséges alapozás helyett nagy-

tömegű, rugókkal támasztott alapkeretet építenek, amelyhez a vályú ugyancsak rugókkal kapcsolódik.

A **vályú** téglalap-, trapéz- vagy kör keresztmetszetű nyitott vagy zárt csatorna, 0,1...0,8 m szélességgel. Falvastagságát egyrészt a szilárdsági követelmények, másrészt a tömegezők csökkentése érdekében a kicsi önsúlyra való törekvés határozza meg, ami a körülményektől függően 1...4 mm lehet. A vályú gyors kopását elkerülendő, azokat gyakran gumival vagy műanyaggal bélelik. A szállított termék rétegvastagsága 0,025...0,15 m között változik az anyag tulajdonságaitól függően. A vályú hossza elérheti a 100 m-t is, de egy darabból legfeljebb 10 m hosszú csatornákat készítenek.

Függőleges szállításra speciális függőleges tengelyű csigaszerű vályút használnak, amely tengelyirányú és arra merőleges körlengéseket végez.

2.9. PNEUMATIKUS ÉS FLUIDIZÁCIÓS SZÁLLÍTÓGÉPEK

Zárt csővezetékben létesített nagy sebességű légáram a szemcsés, vagy a porszerű anyagot képes magával ragadni, és azt a csővezeték által meghatározott nyomvonalon szállítani. Ez a felismerés már a múltszázad elején arra ösztönözte a tervezőket, hogy a vízi úton szállított gabonafélék kirakására felhasználják ezt a fizikai jelenséget, ami később **hígáramú** szállítás néven vált közismertté [48].

Néhány évtizeddel később a légáramban történő szállításnak egy másik módja az ún. **sűrűáramú** (fluidizációs) szállítás is előtérbe került. A levegővel megfelelő arányban kevert porszerű anyag a folyadékhoz hasonló tulajdonságokat vesz fel, és akár zárt csőben, akár nyitott kis lejtésű csatornában továbbítható.

A mezőgazdasági anyagok egyik különleges szállítási módja a **dobószállítás**, amelynél az anyag mechanikus és pneumatikus erők hatására légáramban mozog. Ezzel a módszerrel kisebb magasságra gabonát is lehet szállítani, fő alkalmazási területe azonban a szecskázott szálas anyagok szállítása.

A pneumatikus szállítást a ma már klasszikusnak tekinthető gabonaszállításon kívül, más szemcsés és porszerű anyagok (pernye, salak, szénpor, malmi őrlémények, cement, mészpör, szecskázott takarmányok stb.) mozgatására is alkalmazzák. A szállítóteljesítmény tág határok között mozog, és akár az 500 t/h-t is elérheti. A szállítási távolság 2 km-ig, a szállítási magasság 300 m-ig terjedhet.

A légáramban történő anyagszállítás előnyös tulajdonságai között említhető a csekély beruházási költség és a kis helyszükséglet. Kezelése egyszerű, karbantartási igénye minimális, üzembiztonsága nagy, és mint zárt rendszer anyagvesztés nélkül működik. E kedvező jellemzői részben annak köszönhetőek, hogy más anyagmozgató gépekkel összehasonlítva, forgó, mozgó alkatrészeinek száma jóval kevesebb. További, nem elhanyagolható előnye, hogy könnyen távvezérelhető, így automatizált folyamatokba is könnyen beilleszthető.

A felsorolt előnyökkel szemben áll az a tagadhatatlan tény, hogy a pneumatikus szállító gépek fajlagos energiaigénye sokkal nagyobb, mint a mechanikus elven működő gépeké. Megjegyezzük azonban, e hátrányos tulajdonság elsősorban a hígáramú berendezésekre vonatkozik, az alkalmazás szempontjából pedig nem mindig az olcsó üzem és a gazdaságosság az elsődleges. A légáramú szállítás nem a jól bevált mechanikus eszközök helyettesítésére kell használni. A légáramú szállításnak ott van létjogosultsága, ahol alkalmazását különleges adottságai indokolják.

A légáramú szállítóberendezések működési elvük alapján négy csoportba sorolhatók: **hígáramú** vagy *pneumatikus*, **sűrűáramú** vagy *fluidizációs*, **átmeneti** vagy *vegyes állapotú* és a **dobószállítás**. A változatok nemcsak a berendezések kivitelezésében, hanem működési elv tekintetében is különböznek egymástól.

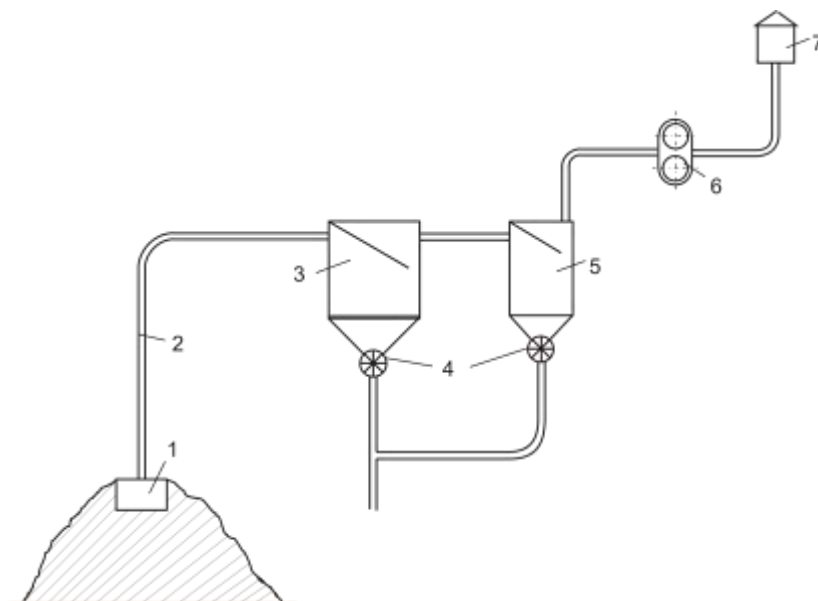
2.9.1. Pneumatikus szállítóberendezések

Hígáramú szállítás esetén zárt csővezetékben a légszállítógép (ventilátor, légfúvó, vagy kompresszor) segítségével nagy sebességű légáramot hozunk létre, amely a vezetékbe adagolt szemcsés vagy porszerű anyagot magával ragadja. Az anyag-szemcsék a légsebességhez közel azonos sebességgel haladnak. Az anyag és a levegő térfogataránya meglehetősen kicsi szám, így az egyes szemcsék a keverékben távol helyezkednek el egymástól. Ezért is nevezik ezt a szállítási módot hígáramú szállításnak [71].

A pneumatikus szállítás változatai: **szívóüzemű, nyomóüzemű és vegyesüzemű.**

Szívóüzemű szállító berendezések

A szívóüzemű szállító berendezéseket jól ömleszthető anyagok rövid távolságú mozgatására használják. Például gabonát szinte kizárólag szívó- vagy vegyes üzemű berendezésekkel szállítanak.



2.9.1. ábra: Szívóüzemű pneumatikus szállítóberendezés elvi vázlata

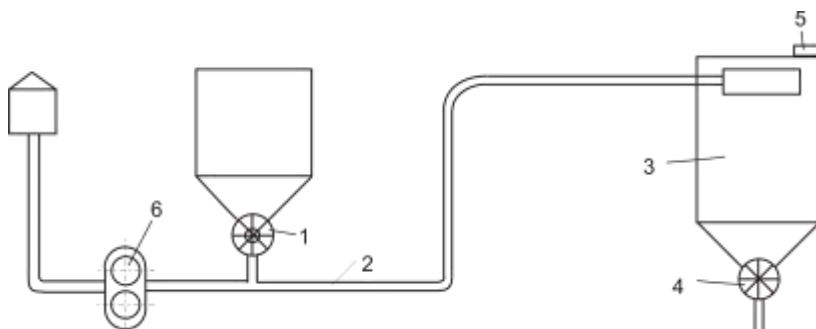
A szívóüzemű berendezések az anyagot egy vagy több helyen vehetik fel és azt a leadó helyre továbbítják. A 2.9.1. ábra egy ilyen berendezést szemléltet, amelynek a működési elve a következő. Az anyagot a légszállítógép (6) által a szívófejben (1) keltett légáram szippantja fel, és egyidejűleg keveri a szállító gázzal (levegővel). Az anyagkeverék a csővezetékben (2) mozog a leadópontig, azaz az anyagleválasztó ciklonig (3). A csővezeték lehet merev vagy flexibilis, így az igényekhez igazodó, változatos nyomvonalon vezethető. A ciklonba nagy sebességgel, érintőlegesen bevezetett és forgómozgásra kényszerített anyag a tartály falán súrlódva lelassul, elválk a hordozó levegőtől, majd a tartály aljára szerelt cellás adagolón (4) keresztül távozik. A levegőáramot az porleválasztóban (5)

megtisztítják mielőtt a légszivattyún (6) és a hangtompítón (7) át a szabadba jutna.

Légszivattyúként vákuumszivattyút, rotációsfüvőt vagy centrifugál ventilátort alkalmaznak. A levegőáram sebessége 20...40 m/s az anyag lebegtetési sebességétől függően. Az elérhető szállítási magasság 50 m, szállítási távolság 400 m, a maximális anyagáram 300 t/h. A fajlagos levegő felhasználása 40...60 m³/t, az ajánlott csőátmérő 60...250 mm.

Nyomóüzemű szállítóberendezések

A nyomóüzemű berendezésekkel nagyobb nyomásesés és jobb hatásfok érhető el, mint a szívóüzeműekkel, ezért darabos, nehezebben mozgatható anyagok szállítására is alkalmas. További előnye, hogy több leadóhelyen is megvalósítható az anyag leválasztása.



2.9.2. ábra: Nyomóüzemű pneumatikus szállítóberendezés elvi vázlata

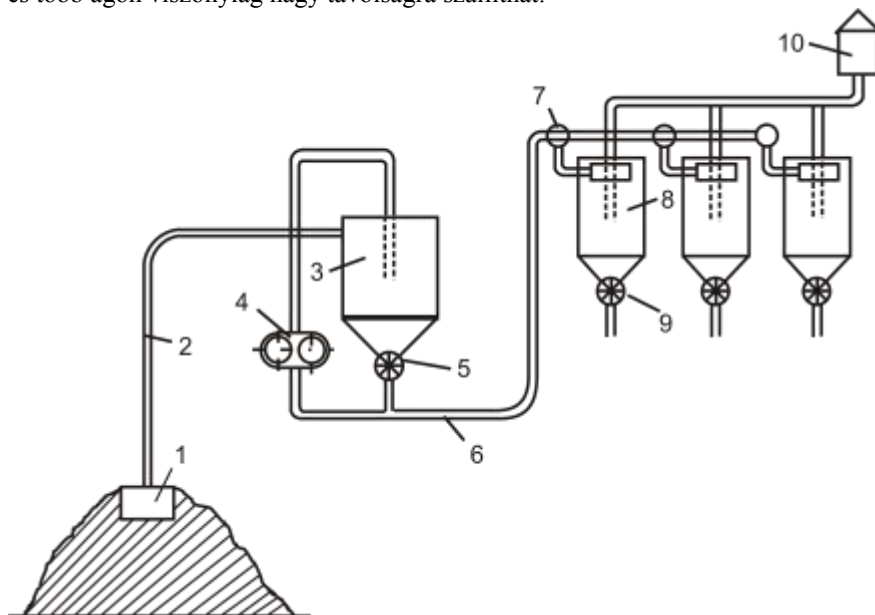
A 2.9.2. ábrán látható berendezésnél az anyagot a légelzárást is biztosító cellás adagoló (1) juttatja a szállítóvezetékbe (2). A nagysebességű és az atmoszférikusnál nagyobb nyomású légáramot a légszállítógép (6) kelti. Az anyag adagolásra más légzáró: csigás, injektoros, stb. feladók is alkalmasak. Az anyag a ciklonban (3) kiválik és a leválasztóból a cellás adagolón (4) át távozik. A hordozó levegő tisztításáról a szűrő (5) gondoskodik. Esetenként a megszűrt levegőt visszavezetik a kompresszorba. A levegő nyomása a körülményektől függően 6 bar túlnyomásig terjedhet. A nyomóüzemű rendszer szállítóképessége kisebb mint 400 t/h, a szállító magasság és távolság elérheti a 300 m-t, illetve a 2000 m-t. Fajlagos levegő-felhasználása 25...75 m³/t, a csővezetékek átmérője 50...350 mm.

Vegyesüzemű szállítóberendezések

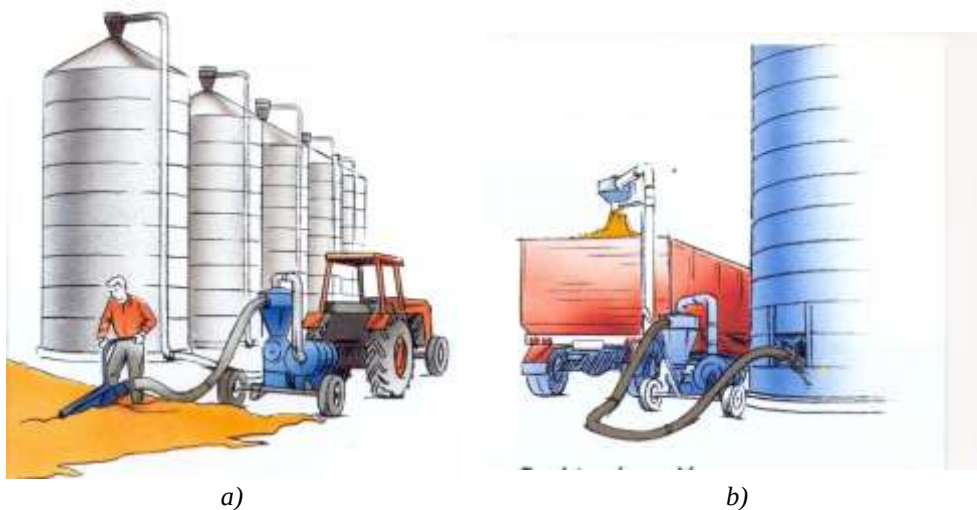
A vegyesüzemű szállítóberendezéseknél (2.9.3. ábra) lényegében egy szívó- és egy nyomóüzemű berendezést kapcsolnak sorba úgy, hogy a légszállítógépen csak tiszta levegő áramlik keresztül.

A berendezés szívó oldalán (2) bevezetett levegő-anyag keverék a leválasztó ciklonban (3) szétválik (2.9.3. ábra). A légszivattyú (4) nyomó oldalán kilépő sűrített levegő a berendezés nyomóágán (6) áramlik tovább. A leválasztott anyagot a nyomóágba a cellás adagoló (5) adagolja. Az így létrehozott anyag-levegő keveréket a váltókon (7) keresztül a leválasztó ciklonokhoz (8) vezetjük. A ciklonok-

ban leválasztott anyagot a cellás adagoló (9) juttatja a szállítás helyére, a levegő pedig a szűrőn (10) keresztül távozik. A rendszer a szívó- és nyomóüzem előnyeit egyesíti magában. Lehetővé teszi több anyagfeladási és leadási hely kialakítását, és több ágon viszonylag nagy távolságra szállíthat.



2.9.3. ábra: Vegyesüzemű pneumatikus szállítóberendezés elvi vázlata

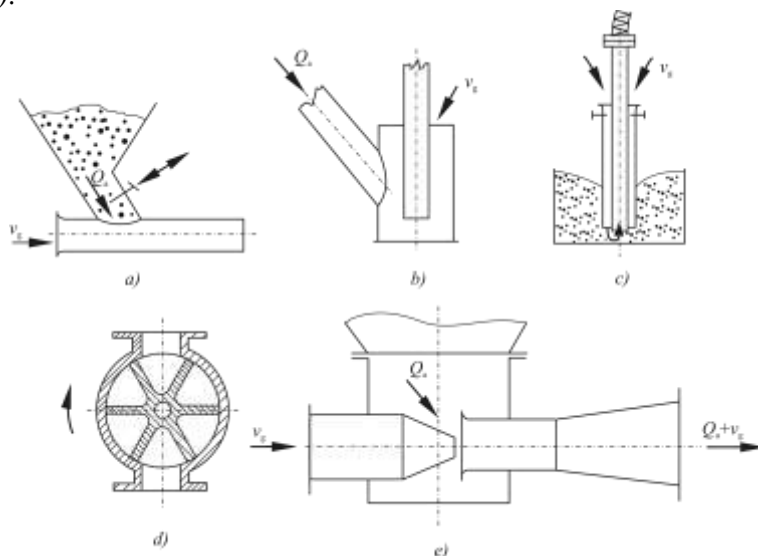


2.9.4. ábra: Vegyesüzemű pneumatikus szállítóberendezés alkalmazása a gyakorlatban

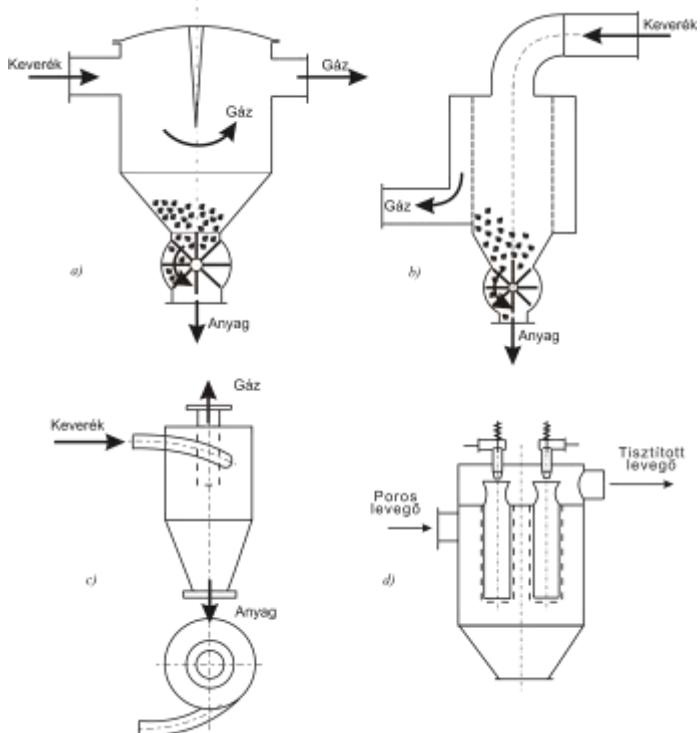
A 2.9.4./ábrán egy vontatható kivitelű, traktorról hajtott, silótöltésre és -ürítésre használt vegyesüzemű szállítóberendezés látható működés közben. A vegyesüzemű pneumatikus berendezések bonyolultabbak, ezért a beruházási költségük is nagyobb.

Anyagfeladó és leválasztó szerkezetek

A szállítandó anyagot egyenletesen kell bejuttatni a csővezetékbe, illetve az abban mozgó szállítóközegbe. E célra különböző típusú **adagoló**k használatosak (2.9.5. ábra).



2.9.5. ábra: Adagoló berendezések



2.9.6. ábra: Leválasztó berendezések

A szívóüzemű berendezésekhez alkalmazott szerkezetek a 2.9.5/a, b, és c ábrákon láthatóak. Nem boltozódó anyag vízszintes csőbe a 2.9.5/a ábra szerinti **tolólapos** adagolóval juttatható. A garatból a csőbe jutó anyagmennyiséget tolólap szabályozza. Ha az egyenletes adagolás a technológiai folyamatból adódik, akkor ún. **szippantófejbe** nyúló függőleges csővel is fel lehet szedni az anyagot (2.9.5./b ábra). A szemcsés halmazok felszedésére a leggyakrabban **kettősfalú szívófejet** (2.9.5/c ábra) használnak.

A nyomóüzemű szállításnál légzárást is biztosító adagoló szerkezetekre van szükség. A sokféle mechanikus adagoló közül a legkedveltebb a **forgócellás** adagoló (2.9.5/d ábra), amit a ciklonnal leválasztott anyag és por zsilippelésére is használnak. Az **injektoros** adagoló mozgó elemek nélkül juttatja be a nyomócsőbe az anyagot oly módon, hogy a fúvókán kilépő nagy sebességű légsugár légköri, vagy annál kisebb nyomást hoz létre az adagoló terében.

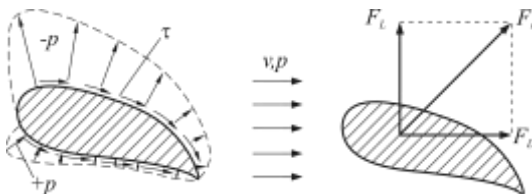
A szállított anyag és a hordozógáz szétválasztására ún. **leválasztókat** alkalmaznak. Ezek közül a legismertebbek a **ciklonok** (2.9.6/c ábra). Ritkábban használják az ütközőlapos (2.9.6/a ábra) és a szűrőrendszerű (2.9.6/b ábra) leválasztókat. Aprószemcsés, poros anyag esetében a ciklon leválasztási foka nem 100%-os, ezért ha a távozó gáz (levegő) jelentős mennyiségű port, vagy a környezetet szennyező komponenseket tartalmaz, akkor utóleválasztóként **porszűrőt** is be kell építeni (2.9.6/d ábra).

A pneumatikus szállítás jellemzői

A pneumatikus szállítás szempontjából a két legfontosabb anyagjellemző az ellenállási tényező és a lebegtetési sebesség.

Az ellenállási tényező

Az áramló közegbe helyezett test ellenállása **súrlódási** és **nyomási** ellenállásokból tevődik össze. Nemszimmetrikus nyomáseloszlás esetén a testre emelő és tolóerők hatnak. A test felületén a nyomáseloszlást és a ráható erőket a 2.9.7. ábra szemlélteti. A nyomás a test felső oldalán kisebb, az alsó oldalán pedig nagyobb, mint a szállító levegő nyomása (p). Ezen kívül a normális irányú nyomás hatására a felületen tangenciális irányú nyírófeszültség (τ) is ébred, ami súrlódási ellenállásként jelentkezik [42].



2.9.7. ábra: A légáramban mozgó testre ható erők

Az eredő közegellenállás, az F_r erő két komponensre bontható: az áramlás irányában fellépő F_D tolóerőre és az erre merőleges F_L felhajtóerőre. Az erők számítására alkalmas egyenletek dimenzió analízissel származtathatók:

$$F_D = f_1(A_0, \rho_g, \eta, E, v_g)$$

$$F_L = f_2(A_0, \rho_g, \eta, E, v_g),$$

ahol:

- A_0 a testnek a légáram irányára merőleges homlokfelülete [m^2],
 ρ_g a szállítóközeg sűrűsége [kg/m^3],
 η a szállítóközeg dinamikai viszkozitása [kg/ms],
 E rugalmassági modulus [N/m^2],
 v_g a szállítóközeg sebessége [m/s].

A dimenzióanalízist alkalmazva az erőkre a következő összefüggéseket kapjuk:

$$F_D = c_D A_0 \frac{\rho_g v_g^2}{2},$$

$$F_L = c_L A_0 \frac{\rho_g v_g^2}{2},$$

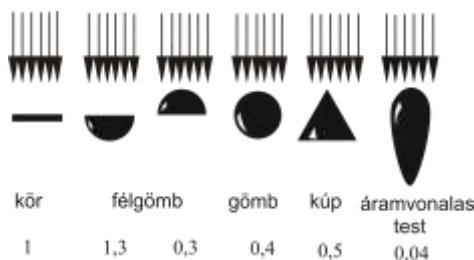
ahol a c_D és c_L dimenzió nélküli számok, az ún. **légellenállási tényezők**.

A mezőgazdasági anyagok jelentős része szabálytalan alakú test. Ilyenkor az ellenállás-tényező a test alakjától és orientációjától egyaránt függ, ezért az eredő ellenállást a kísérleti úton meghatározott, összevont ellenállás-tényezővel számítjuk:

$$F_r = c_w A_0 \frac{\rho_g v_g^2}{2},$$

ahol c_w az összevont ellenállás-tényező.

Első közelítésben az ún. **négyzetes ellenállástörvény** fennállásakor a légellenállás-tényező csak a test alakjától függ. (Az ellenállás-tényezők közelítő értékei különböző alakzatokra a 2.9.8. ábrán láthatók.) Prandtl (1932.), majd Vennard (1961.) azonban kísérletekkel bizonyították, hogy a c_w ellenállás-tényező a *Reynolds szám*,



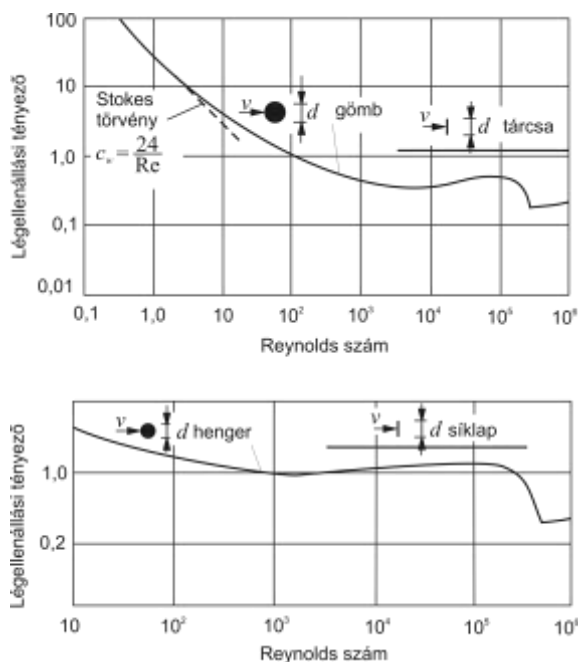
2.9.8. ábra: Az ellenállás-tényező értékei különböző alakzatokra [12]

$$Re = v_g d_0 \rho_g / \eta$$

függvényében is változik (2.9.9. ábra).

Elegendően kicsiny sebességeknél, amikor a test körül kialakuló áramlás lamináris, az ellenállás gyakorlatilag tisztán a folyadékrétegek közötti belső súrlódásból származik. Ez gömb alakú test esetében a *Stokes-törvény* szerint $F_r = 3\pi\eta v_g d_0$, de tetszőleges alakú testnél is arányos a viszkozitással és a sebességgel. Ezt nevezik **lineáris ellenállástörvénynek**.

Nagyobb sebességeknél a test mögött örvények keletkeznek, és a mérések szerint az ellenállás közelítőleg a közeg sűrűségével és sebességének négyzetével arányos. A **négyzetes ellenállástörvény** esetében az ellenállás túlnyomó része ún. nyomási ellenállás, amely a test mögött keletkező örvényekből származik.



2.9.9. ábra: Az összevont ellenállás-tényező változása szabályos geometria alakzatok esetén a *Reynolds szám* függvényében [39]

Ha a légárammal mozgatott test a légáram irányára merőlegesen elhelyezett síklap vagy tárcsa, akkor a testre ható erők eredőjében a súrlódási ellenállás elhanyagolható, és az ellenállás-tényező nem változik lényegesen a *Reynolds szám* függvényében (2.9.9. ábra). Ha apró, tompa testet helyezünk légáramba, akkor a súrlódási erő rendszerint, de nem mindig, ugyancsak elhanyagolható, mivel a súrlódási felület nagyon kicsi. Kivétel az, az eset, amikor a *Reynolds szám* kicsi, ekkor mint jeleztük alkalmazható a *Stokes törvény*.

Stokes bizonyította, hogy ha a *Reynolds szám* kisebb mint egy, akkor a nyomási ellenállás elhanyagolható, és elegendő a viszkozitásból származó erőt figyelembe venni. Természetesen a közegellenállás ilyenkor is leírható a négyzetes ellenállási törvénnyel. A d_0 átmérőjű, v sebességgel mozgó gömbre ható ellenállás *Stokes* szerint

$$F_r = 3\pi\eta v_g d_0 = c_w A_0 \frac{\rho_g v_g^2}{2} = c_w \frac{d_0^2 \pi}{4} \frac{\rho_g v_g^2}{2},$$

amelyből a

$$c_w = \frac{24\eta}{\rho_g d_0 v_g} = \frac{24}{\text{Re}}.$$

Ebben az intervallumban tehát a *Reynolds szám* növekedésével az ellenállás-tényező csökken.

Az $1 < \text{Re} < 10^3$ tartományban, az ún. átmeneti zónában a súrlódási és az aszimmetrikus nyomáeloszlásból származó ellenállásokat egyaránt figyelembe kell venni. Az átmeneti zónában a

$$c_w = \frac{konst}{Re^n} \cong \frac{18,5}{Re^{0,6}}.$$

10^3 -nál nagyobb *Reynolds* számoknál a $c_w=0,44$, durván konstansnak tekinthető egészen $Re=2,5 \cdot 10^5$ -ig, ahol az ellenállás hirtelen lecsökken.

A szabálytalan alakú testeknél a d_0 jellemző méret meghatározására a gyakorlatban általában azt az utat választjuk, hogy a szemcse tömege alapján egyenértékű átmérőt számítunk:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{6m_0}{\pi\rho_0}} \quad [\text{m}],$$

ahol m_0 (kg), ρ_0 (kg/m³) a szemcse tömege, illetve sűrűsége.

Sokan a vetületi keresztmetszetet is az egyenértékű átmérő segítségével számítják, ami gömbszerű testeknél megengedett, de más esetekben durva hibákhoz vezethet.

A lebegtetési sebesség

A szabadon eső test gyorsulása egy bizonyos idő után a légellenállás következtében megszűnik, és a test állandó sebességgel esik tovább. Ilyenkor a felhajtóerővel csökkentett súlyerő egyenlő az eredő ellenállással:

$$m_0g - V_0\rho_gg = m_0g - \frac{m_0}{\rho_0}\rho_gg = F_r,$$

$$m_0g \left(\frac{\rho_0 - \rho_g}{\rho_0} \right) = c_w A_0 \frac{\rho_g v_g^2}{2},$$

ahol:

- g a nehézségi gyorsulás [m/s²],
- m_0 a test tömege [kg],
- ρ_0 a test sűrűsége [kg/m³],
- ρ_g a szállítóközeg sűrűsége [kg/m³],
- A_0 a vetületi keresztmetszet [m²].

Az előző egyenletből a lebegtetési sebesség:

$$w_0 = v_g = \sqrt{\frac{2m_0g(\rho_0 - \rho_g)}{\rho_0\rho_gA_0c_w}} \quad [\text{m/s}].$$

Kis nyomás esetén a $(\rho_0 - \rho_g)/\rho_0$ értéke közel 1, így a

$$w_0 = \sqrt{\frac{2m_0g}{A_0c_w\rho_g}} \quad [\text{m/s}].$$

A szabálytalan alakú testek lebegtetési sebessége elméleti úton nem számítható, csak kísérletekkel határozható meg. Erre speciális berendezéseket fejlesztettek ki. Tájékoztatásul néhány anyag ellenállás-tényezője és lebegtetési sebessége a 2.9.1. táblázatban található.

2.9.1. táblázat

Néhány anyag légellenállás-tényezője és lebegtetési sebessége

Anyag	Ellenállás-tényező	Lebegtetési sebesség [m/s]	Re
búza	0,50	9,6	2700
árpa	0,5	7,6	2300
kukorica	0,56...0,57	11,4	5700
szójabab	0,45	14,5	6300
zab	0,47...0,51	6,6	2000
földimogyoró		15	
búzakalász		2,4	
búzaszalma 0,6 cm	0,84	5,15	
2,5 cm	0,80	4,25	
7,5 cm	0,90	3,0	
25 cm	0,91	2,7	
burgonya	0,64	32	
kerek kavics		40	
alma		42	
konyhasó		7	
szóda		13	

A pneumatikus szállítás tervezési kérdései

A pneumatikus szállítóberendezések tervezése nagy gyakorlatot igénylő bonyolult feladat. Részletes ismertetése meghaladja e könyv terjedelmét, ezért csak néhány fontosabb szempontra hívjuk fel a figyelmet.

A különféle anyagok szállításakor a légsebességet úgy választjuk meg, hogy az anyagot a vezetékben biztonsággal és folyamatosan továbbítsa. A gázsebesség általában $v_g = 12 \dots 40$ m/s. Értékét alulról a dugulás és lerakódás veszélye, felülről a szemcsék zúzódnása, törése korlátozza. Túl nagy légsebességnél az anyag megsérülhet, és romlik a szállítás energetikai hatásfoka. Ezért a szállítást a lehető legkisebb légsebesség mellett kell megvalósítani. A **legkisebb gázsebesség** a lebegtetési sebesség függvénye [48]:

$$v_{g\min} = k_1 w_0 \quad [\text{m/s}],$$

ahol a k_1 arányossági tényező értéke 1,4...3,5. A kisebb értékek por alakú anyagokhoz, és rövid szállítási távolságokhoz tartoznak. Darabos anyagok, nagy szállítási távolságok, magas anyag- és gázhőmérsékletek esetén a nagyobb értékekkel kell számolni. A gabonafélék például 20...25 m/s sebességgel már biztonsággal szállíthatók.

A **szállított anyag sebessége** (v_a) mindig kisebb a szállítógáz sebességénél (v_g). A **relatív mozgás sebessége**, amely arányos az anyagszemcsék továbbításához szükséges energiával:

$$w = v_g - v_a \quad [\text{m/s}].$$

A tapasztalat szerint a $v_a = (0,4 \dots 0,8) v_g$.

A **szlip** az anyagáram viszonylagos lemaradását fejezi ki:

$$s = \frac{w}{v_g} = \frac{v_g - v_a}{v_g} = 1 - \frac{v_a}{v_g}.$$

A keverési arány:

$$\mu = \frac{Q_a}{Q_g},$$

ahol:

Q_a az egységnyi idő alatt szállított anyag tömege [kg/s],

Q_g az egységnyi idő alatt szállított gáz tömege [kg/s].

A keverési arányok szokásos értékei:

Porelszívás	0,005 ...0,5
Forgács	0,100 ...2,0
Malmi félkésztermékek	0,500 ...4,0
Vegyí anyagok	1,000 ...5,0
Gabona, szemcsés anyagok	2,000..10,0
Cement	15,000..80,0

A **koncentráció** a vizsgált csőszakasz egységnyi hosszában egyidejűleg jelenlévő anyag és gáz tömegének aránya:

$$C = \frac{q_a}{q_g} = \frac{Q_a}{Q_g} \frac{v_g}{v_a} = \frac{\mu}{1-s},$$

ahol:

q_a az anyag tömege az egységnyi csőszakaszban [kg/m],

q_g a hordozó gáz tömege az egységnyi csőszakaszban [kg/m].

A hordozógáz tömege a gázsebességgel is kifejezhető:

$$Q_g = \rho_g V_g = \rho_g A v_g = \rho_g \frac{D^2 \pi}{4} v_g \quad [\text{kg/s}],$$

ahol:

ρ_g a gáz sűrűsége [kg/m³],

V_g a gáz térfogatárama [m³/s],

A a szállítócső keresztmetszete [m²],

D a szállítócső átmérője [m].

Az előző összefüggésekből a **pneumatikus szállítóberendezés szállítóképessége**:

$$Q_a = \mu \rho_g \frac{D^2 \pi}{4} v_g \quad [\text{kg/s}].$$

Pneumatikus szállításkor a **szállítócsőben a nyomásesés** a következő összetevőkből áll:

a csőben áramló levegő súrlódási ellenállása,

a csőben szállított anyag súrlódási, ütközési és emelési ellenállása,

gyorsítási ellenállások indításkor és a csőidomoknál.

A levegő súrlódási ellenállása:

A vezetékrendszer vízszintes, függőleges, egyenes és íves szakaszokból, valamint szerelvényekből épül fel. A nyomásesést szakaszonként, illetve elemenként kell meghatározni az ismert áramlástani módszerekkel. A nyomásvesztés:

$$\Delta p_1 = \lambda_0 \frac{L}{D} \frac{\rho_g v_g^2}{2} \quad [\text{Pa}],$$

ahol:

λ_0 a csősúrlódási tényező (0,013...0,02),

L az egyenértékű csőhossz [m],

D a csőátmérő [m].

Az **egyenértékű csőhossz** alatt az idomdarabokkal és armatúrákkal ellátott csővezetékkel megegyező átmérőjű, azonos átlagsebesség mellett azonos nyomásvesztést adó egyenes csődarab hosszát értjük. A nyomásvesztés:

$$\Delta p = \frac{\rho_g v_g^2}{2} \left(\lambda_0 \sum \frac{l_i}{D} + \sum \zeta_i \right) = \lambda_0 \frac{L}{D} \frac{\rho_g v_g^2}{2} \quad [\text{Pa}],$$

ahol l_i az egyenes szakaszok hossza, a ζ_i az egyes idomok és szerelvények ellenállás-tényezője, L pedig az egyenértékű csőhossz. Ebből az

$$L = \sum l_i + \frac{D}{\lambda_0} \sum \zeta_i.$$

A szállított anyag ellenállásai:

Az **anyag felgyorsításához szükséges nyomásesés** elméletileg az impulzustételből számítható. A valóságos érték ettől eltér, amit a ξ tényezővel veszünk figyelembe. Feltételezve, hogy 0 sebességről kell az anyagot v_a -ra felgyorsítani, a

$$\Delta p_2 = \xi \frac{Q_a v_a}{A} \quad [\text{Pa}].$$

A ξ gyorsítási tényező értéke: 1,05...1,25.

Vízszintes egyenes csőben az **ütközésekből és a súrlódásból adódó nyomásesés:**

$$\Delta p_3 = L k_v \frac{Q_a v_a}{A} \quad [\text{Pa}],$$

ahol L a vízszintes csőszakasz hossza [m], a k_v ellenállás-tényező [1/m].

Függőleges egyenes csőben az **anyag emeléséhez szükséges nyomásesés:**

$$\Delta p_4 = H \frac{Q_a g}{v_a A} \quad [\text{Pa}],$$

ahol H a függőleges csőszakasz hossza [m].

Függőleges egyenes csőben az **ütközésekből eredő nyomásesés:**

$$\Delta p_5 = H k_f \frac{Q_a v_a}{A} \quad [\text{Pa}],$$

ahol k_f az ütközési tényező [1/m].

Az ívekben keletkező veszteség jóval nagyobb, mint a vízszintes és a függőleges szakaszokon. Az íven áthaladó anyag az ív külső peremére kerül, és ott a súrlódás miatt lelassul, majd az ív utáni egyenes szakaszon ismét felgyorsul. Ezt a veszteséget a

$$\Delta p_6 = L_{iv} k_{iv} \frac{Q_a v_a}{A} \quad [\text{Pa}]$$

összefüggéssel számíthatjuk, ahol L_{iv} az ív hossza [m], k_{iv} az ív görbületi sugarának és átmérőjének viszonyától függő ellenállás-tényező [1/m].

Az összes nyomásesés:

$$\Delta p_o = \sum_{i=1}^6 \Delta p_i$$

Az ellenállás-tényezők a szállított anyag és a szállítócső kialakításától függenek. Értékük különböző kézikönyvekben megtalálható. A 2.9.2. táblázat néhány jellegzetes anyagra közel ellenállás-tényező értékeket.

A légszállító gép hajtásához szükséges teljesítmény:

$$P = \frac{V_g \Delta p_o}{\eta} \quad [\text{W}],$$

ahol az η a légszállító gép hatásfoka.

2.9.2. táblázat

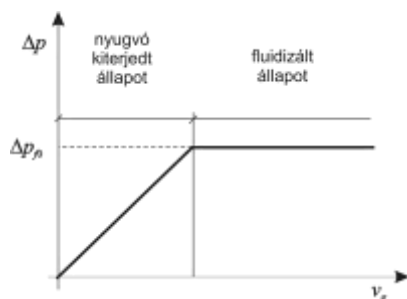
Néhány anyag ellenállás-tényezői

Anyag	k_v [1/m]	k_f [1/m]	k_{iv} [1/m]
gabonafélék	0,022...0,03	0,09...0,10	
cement	0,08...0,12		
tejpor, tápszerek	0,040...0,05	0,075...0,085	0,2...0,6
malmi őrlmények	0,030...0,06	0,05...0,12	0,2...0,6

2.9.2. Fluidizációs szállítóberendezések

Az anyagot a sűrűáramú szállításhoz is levegővel keverik. A keverési arány azonban a hígáramú szállításhoz viszonyítva sokkal nagyobb. Az így létrehozott, folyadékhoz hasonló tulajdonságú sűrű keverék zárt csőrendszerben nyomás hatására, vagy kis lejtésű csatornában a gravitációs erő hatására mozog [48].

A fluidizációs szállítás jellemzői: az anyag-levegő keverék sokkal sűrűbb, mint a hígáramú pneumatikus berendezéseknél, a keverési arány $\mu=50...200$, a keverék mozgásának sebessége $v_a=1...6$ m/s. A nagy keverési arány miatt csak közepes és nagy ($Q_a \geq 2$ t/h) szállítási teljesítményekhez alkalmas. A kicsi áramlási sebességek következtében az áramlási veszteségek nem jelentősek, ezért a fluidizációs szállítás energiaigénye sokkal kisebb (0,05...2 kWh/t), mint a pneumatikus szállításé (4...8 kWh/t). Fluidizációs szállítással poros, aprószemcsés 5 mm-nél kisebb méretű, homogén, nem tapadós anyagok mozgathatók.



2.9.10. ábra: A gáz nyomásesése a fluidizált rétegben a gázsebesség függvényében

A jelenség kialakulásának feltétele a megfelelő gázsebesség, illetve az ezzel arányos gáz mennyiség. A 2.9.10. ábra a fluidizációs rács feletti anyagrétegben a gázsebesség függvényében szemlélteti a gáz nyomásesésének változását. Kicsi gázsebességnél az anyagréteg mozdulatlan, a gáz a szilárd részecskék között áramlik, és a nyomásesés a gázsebességgel lineárisan változik. Amikor a nyomásesés eléri a Δp_0 értéket, akkor az anyaghalmoz kiterjed, a részecskék

mozgásba jönnek, és a víz forrásához hasonló jelenség tapasztalható. az anyaghalmoz kiterjed, a részecskék mozgásba jönnek, és a víz forrásához hasonló jelenség tapasztalható. A fluidizált állapot elérése után a nyomás a sebességgel már nem változik. A **fluidizációhoz szükséges nyomásesés** éppen akkora, mint a fluidizált anyag lebegtetéséhez szükséges nyomás, azaz

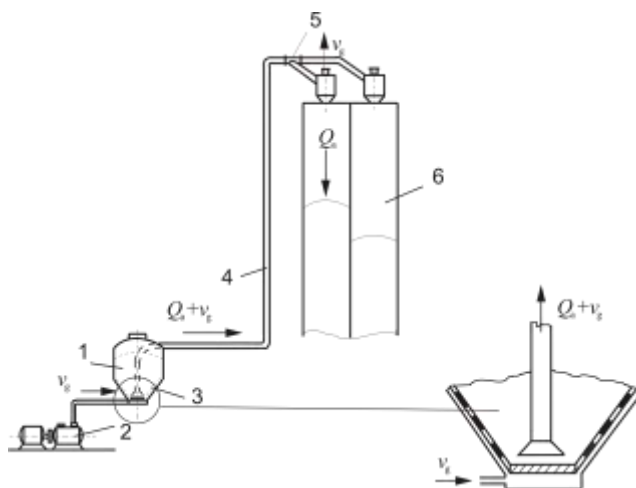
$$\Delta p_{f0} = \frac{m_0 g}{A},$$

ahol:

- m_0 a fluidizált anyag tömege [kg],
- A a fluidizáló berendezés keresztmetszete [m²],
- g a nehézségi gyorsulás [m/s²].

A fluidizáció az egyedi szemek lebegtetési sebességénél jóval kisebb légsebességnél alakul ki. Például, amíg a búza lebegtetési sebessége $w_0 \approx 9$ m/s, addig a fluidizációhoz $v_f \approx 2$ m/s már elegendő. Az utóbbi az egyes szemek közötti résekben kialakuló átlagsebességet jelenti.

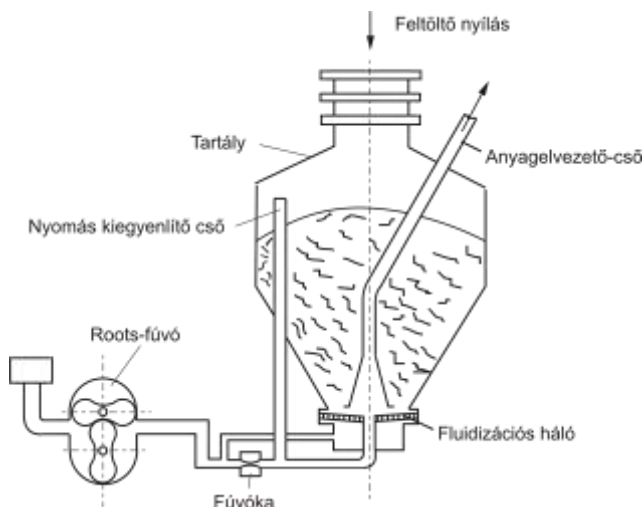
Nyomótartályos szállítás



2.9.11. ábra: Silótöltő nyomótartályos fluidizációs szállítóberendezés

A zártterű fluidizációs szállítás egyik változata a nyomótartályos rendszer (2.9.11).

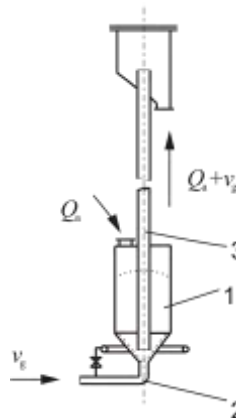
ábra). A zárt nyomótartályba (1) töltött porszerű vagy szemcsés anyagot a fúvó (2) légárama a nyomótartály kúpos palástja felett elhelyezett légáteresztő rétegen (3) átáramolva fluidizálja. A tartályba nyúló csővezeték (4) tölcészerűen kiképzett vége alatt azonban nincs légáteresztő háló, ezért a csővezetékben a folyékony por-levegő keverék csak a tartályban uralkodó nyomás hatására emelkedik, és a váltó (5) helyzetének megfelelő silócellába (6) kerül. A csőben kialakuló áramsűrűség az anyag fluidizációs tulajdonságaitól és a szállítás távolságától függ. A berendezés szakaszos üzemű, ami azt jelenti, hogy a tartályt kiürülése után újra kell tölteni. Teljesítőképessége 5...100 t/h.



2.9.12. ábra: Nyomótartályos fluidizációs szállítóberendezés nyomáskiegyenlítő csővel

A nyomótartályos fluidizációs szállítás egy másik megoldását a 2.9.12. ábra mutatja. Ennél a változatnál a fúvó által szállított levegő nemcsak a fluidizálást, hanem az anyag-levegő keverék emelését is segíti. A nyomáskiegyenlítő csővel az anyagréteg fölé vezetett levegő nyomása és az anyagvezető-cső alá befűjt levegő egyaránt segíti a fluidizált anyag ürítését.

Folyamatos üzem létesíthető két tartály beépítésével, a töltés és ürítés összehangolásával, vagy a szállítási teljesítménynek megfelelő kapacitású, légelzárást biztosító adagolóval. E célra megfelelhet a tömörítő csiga vagy a forgócellás adagoló.



2.9.13. ábra: Fluidizációs elevátor

A nyomótartályos szállítás legismertebb területei a cement- és lisztszállítás, a nyomótartályt gyakran felépítményként gépjárműre szerelik.

Fluidizációs elevátor

Függőleges szállításra alkalmas, folyamatos üzemi berendezés (2.9.13. ábra). A nyitott adagolótartályban (1) a levegővel fluidizált állapotban tartott anyagot nyomóüzemű hígáramban lehet függőlegesen felemelni, így a fluidizációs elevátor a sűrű és hígáramú szállítás egyfajta kombinációjának tekinthető. A fluidizáláshoz, illetve a nyomóüzemű szállításhoz szükséges levegőt a fűvőkán (2) keresztül megosztva vezetjük be a tartályba (1), illetve a szállítócsőbe (3).

A nyomásesés számítása

A fluidizált anyagot a kezdeti sebességről v_a -ra kell felgyorsítani. A gyorsításhoz szükséges nyomásesés hasonlóan számítható, mint azt a hígáramú szállításnál bemutattuk.

A **függőleges** fluidizációs szállítás Δp_{f0} -nál nagyobb nyomásesés igényel. Szállításkor egyrészt az m_0 tömegű anyagot fluidizáljuk, másrészt v_a sebességgel mozgadjuk. Ezért nemcsak az m_0g erőt, hanem a súrlódás és a keveredés következtében fellépő erőt is ki kell egyensúlyozni. A mérések szerint a súrlódás legyőzéséhez, vagyis a mozgathoz szükséges erő arányos az m_0g súlyerővel:

$$S = k_1 m_0 g.$$

A függőleges szállítás nyomásesése így:

$$\Delta p_{ff} = \Delta p_{f0} + \frac{S}{A} = \frac{m_0 g}{A} + k_1 \frac{m_0 g}{A} = (1 + k_1) \frac{m_0 g}{A} \quad [\text{Pa}].$$

Ha az anyag tömege egységnyi hosszúságú csőszakaszban

$$q_a = \frac{Q_a}{v_a} \quad [\text{kg/m}],$$

ahol Q_a [kg/s] az időegység alatt szállított anyag tömege, akkor az L hosszúságú csőben jelenlévő anyag tömege:

$$m_0 = L q_a = L \frac{Q_a}{v_a} \quad [\text{kg}].$$

Ezt helyettesítve, a

$$\Delta p_{ff} = (1 + k_1) L \frac{Q_a}{v_a A} g \quad [\text{Pa}].$$

A **vízszintes** szakaszban kialakuló nyomásesés hasonlóan számítható, mint a függőleges, azzal a különbséggel, hogy itt csak a súrlódást kell ellensúlyoznia a nyomásesésnek. Így

$$\Delta p_{fv} = k_1 L \frac{Q_a}{v_a A} g \quad [\text{Pa}].$$

A tapasztalat szerint a fluidizációs szállításnál is jelentkezik a **szlip**, ami az anyag és a szállítóközeg sebessége közötti különbséget fejezi ki. A mérések azt mutatják, hogy a szlip:

$$\text{vízszintes csővezetékben } s_v = 0,6 \dots 0,8,$$

függőleges csővezetékben $s_f=0,4...0,6$

értékű.

A szlip adott berendezésen belül is változik, mivel az anyag áramlása nem stacionárius. A keverék sűrűsége nem egyforma a vezeték mentén, időnként dűnék, dugók keletkeznek, amik hirtelen megfolynak. Ezért a v_a sebességtől függő nyomásesés csak közelítőleg számítható. A közelítő számításokban a szlip állandóságát feltételezve, bevezetjük a mérésekkel meghatározható szállítási tényezőket:

$$k_{ff} = \frac{1+k_1}{1-s_f}, \quad k_{fv} = \frac{k_1}{1-s_v},$$

majd felhasználva a $v_a = (1-s)v_g$ összefüggést, a gázsebesség (v_g) függvényeként felírt nyomásesések:

$$\Delta p_{ff} = \frac{1+k_1}{1-s_f} L \frac{Q_a}{v_g A} g = k_{ff} L \frac{Q_a}{v_g A} g,$$

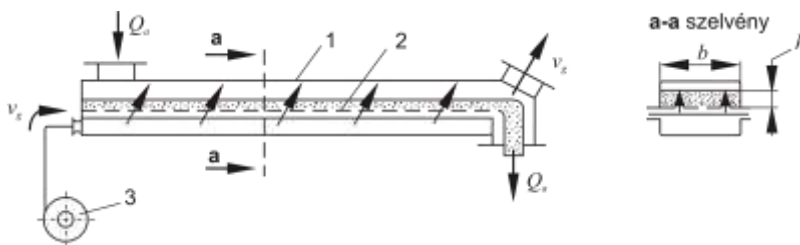
$$\Delta p_{fv} = \frac{k_1}{1-s_v} L \frac{Q_a}{v_g A} g = k_{fv} L \frac{Q_a}{v_g A} g.$$

A szállítási tényezők értékei: $k_{ff}=1,8...2,3$, $k_{fv}=0,9...1,2$. A szállítási sebesség $v_a=1...6$ m/s. Az ezt létrehozó gáz üresjáratnyi nyomásesése elhanyagolható.

Ha az anyag sebessége 5-6 m/s fölé emelkedik, vagy a vezeték hossza meghaladja a 20 m-t, akkor már nem alakul ki tiszta fluidizációs szállítás, és nyomásesés a csőhossznak nemlineáris függvénye. Az átmeneti szállításkor a fluidizációs és a pneumatikus szállítás ellenállásait egyaránt figyelembe kell venni.

Aerációs csatorna

Az aerációs csatorna kis lejtésű, illetve közel vízszintes szállításra alkalmas berendezés (2.9.14. ábra). A téglalap keresztmetszetű csatornát (1) a légáteresztő réteg (2) két részre osztja. A csatorna alsó térébe nyomott levegő a felső térbe adagolt anyagot fluidizálja, amely folyadékok módjára a kis lejtésű (2...6°) csatornában lefolyik. Ez a szállítási mód kicsi energiaigényű (0,05...0,15 kWh/t), teljesítőképessége a csatorna szélességétől és lejtésétől függően 5...500 t/h között mozog.



2.9.14. ábra: Aerációs csatorna

Az aerációs csatorna további előnye, hogy nincsenek mozgó, erős kopásnak kitett alkatrészei. Emiatt az üzembiztonsága nagy, és kíméletesen a szállít. A fluidizáló levegő egyszerű, olcsó centrifugál ventilátorral szállítható.

2.9.3. Dobószállítás

A mezőgazdasági anyagok egyik speciális szállítási módja a dobószállítás. Alkalmazásával leggyakrabban a járvaszecskázóknál és a silótöltőknél találkozhatunk. A járvaszecskázókba újabban ún. terménygyorsító ventilátorokat is szerelnek. A dobóventilátor és a terménygyorsító működése alapvetően az anyag feladásban különbözik. A dobóventilátoroknál az anyag bevezetése általában axiális irányú. A bevezetett anyag a lapáton gyorsul, majd tangenciálisan távozik. A terménygyorsítóknál mind az anyagfeladás, mind az anyagleadás tangenciális. Silótöltéskor a szállítási magasság a 20-25 m-t is elérheti. Kisebb magasságra (4-6 m) gabonát is lehet szállítani dobóventilátorral.

2.10. GÖRDÜLŐELEMES SZÁLLÍTÓ-PÁLYÁK

A gördülőelemes szállítópályák működésének fő jellemzője, hogy legalább egyik oldalukon sík darabárukat, csomagokat és egységrakományokat adott vonalvezetésű pályába ágyazott görgők vagy más gördülőelemek továbbítják vízszintes vagy közel vízszintes irányban. A mozgás elemei: a **flyamatos mozgás**, a **torlasztás** és az **átadás**. A gördülőelemek a mozgás irányában elforognak. A forgató nyomaték forrása a gravitációs erő vagy külső kényszererő. Az áru a pálya bármely szakaszán feladható illetve levehető.

A szállítópálya legfontosabb elemei a lábakkal esetleg konzollal alátámasztott vagy függesztett keretbe (ágyba) szerelt forgó gördülőelemek. Ezek feladata az áru alátámasztása és mozgatása. A gördülőelemek hengeres vagy kúpos görgők, tárcsák és golyók lehetnek. A gördülőelem szerint megkülönböztetünk:

- görgős pályákat,
- tárcsás pályákat
- golyós és
- hevederes pályákat.

A gördülőelemes pályák a hajtás módja szerint: hajtás nélküli (gravitációs vagy szabadonfutó) és hajtott kivitelűek. A **hajtás nélküli pályák** jellemzője, hogy a mozgatóerő (gravitáció vagy kézi erő) közvetlen a mozgatott tárgyra hat, és a passzív gördülőelemek forgásának oka a tárgy és a gördülőelemek közötti súrlódás. A **hajtott pályák** esetén, a később részletezett módon, a gördülőelemeket hajtjuk meg, amelyek forgása a pályára helyezett tárgyat mozgásra kényszeríti.

Az egyszerű felépítésű, könnyen telepíthető, üzembiztos, kevés karbantartást igénylő gördülőelemes pályákat a mezőgazdaságban, az iparban és a kereskedelemben egyaránt előszeretettel alkalmazzák. A mezőgazdaságban elsősorban manipuláló, feldolgozó létesítményekben fordulnak elő. Az iparban és a kereskedelemben a raktárak nélkülözhetetlen anyagmozgató gépei. Elterjedtek a magasraktárak árugyűjtő és elosztó rendszerében.

2.10.1. Hajtás nélküli pályák

A hajtás nélküli **gravitációs pályák** gördülőelemeit a gravitációs erő vízszintes komponense:

$$F = mg \sin \alpha$$

hajtja meg, ahol: m az áru tömege, α a pálya vízszintessel bezárt szöge. Az áru sebessége ezért az áru tömegétől, a pálya lejtésétől és az ellenállásoktól függ. Pályák lejtését úgy választják meg, hogy a legkisebb tömegű áru is végig gördüljön rajta, a legnagyobb tömegű pedig ne gyorsuljon fel túlzottan. A lejtőszög meghatározására nincs pontos számítási módszer. A lejtőszög ugyanis nemcsak a mozgatott tárgy tömegétől, méretétől és a gördülési ellenállástól függ, hanem a telepítés helye által meghatározott működési körülményektől is. Például ugyanaz a hul-

lámpapírlemez doboz száraz és nedves körülmények között egészen más lejtést igényel, ezért általában csak irányértékeket lehet megadni (2.10.1. táblázat), amelyeket a tényleges üzemelési körülmények ismeretében kell kísérletekkel pontosítani.

A sebességkorlátozás érdekében gyakran fékező görgőket építenek a pályába. Az árumozgás sebessége 0,3...0,5 m/s.

A hajtás nélküli **szabadonfutó pályák** vízszintesek, ezért az árut ezeken kézi erővel, vagy más külső erőforrással továbbítják.

2.10.1. táblázat

A gravitációs görgős pálya lejtőszöge

Mozgatóandó áru	Az áru tömege [kg]	Lejtőszög [fok]
Acéllemez és bordás lemez	30	2
Idomacél	15	2,5...3,0
Gépalkatrészek	15	2,0...2,5
Faládák	10...25	4,5
Faládák	25...70	3,5
Gyalulatlan deszka	15	3,0
Építési betontömbök	15	2,5...3,0
Kartondobozok	2...3	7
Kartondobozok	3...7	6
Kartondobozok	7...22	3
Fahordók	30	2,5...4,0
Nyersvas tömbök	30	2,5...4,0

A hajtás nélküli pályák a gördülőelem szerint **görgős** ($h > D$) és **tárcsás** ($h < D$) kivitelűek lehetnek, ahol D a gördülőelem átmérője, h a gördülőelem palástjának a hossza.

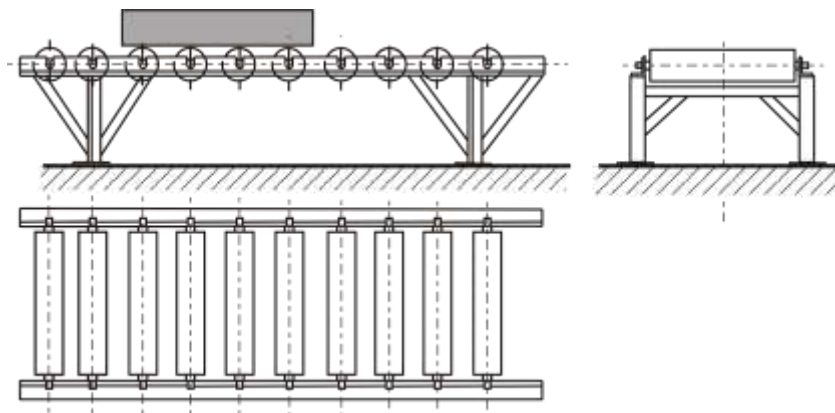
Hajtás nélküli görgős pályák

A hajtás nélküli görgős pályák jellemzője, hogy a görgő palásthossza közel azonos a pálya szélességével. A szabadonfutó görgő tengelye áll, amelyhez viszonyítva a palást elfordul. A lelapolt tengelyvégek szögvas vagy U profilú keret kivágásaiba illeszkednek (2.10.1. ábra). A görgők, a szállítószalagok szalaggörgőihez hasonlóan, gördülő csapágyazásúak. A pályába ívek is építhetők. Az ívekben a kerület változása miatt a görgők palástja kúpos vagy két sorban szerelt hengeres görgő.

A görgők átmérője 25...220 mm, hosszúsága 100...1200 mm. A görgőpalást acélból, alumíniumból és műanyagból készülhet. A szokásos görgőosztások: 50, 75, 100, 150, 200 mm.

A görgős pályán mozgó tárgy egyenletes haladásához a tárgynak minden pillanatban legalább három görgőn kell felfeküdnie. A görgők osztástávolságát (t) ennek a kritériumnak megfelelően szükséges megválasztani. Könnyen belátható, ha a mozgató tárgy L hosszúságú, akkor az $L \geq 2t$ geometriai feltételnek kell teljesülnie. Nem célszerű azonban a kívánatosnál jóval kisebb osztástávolságot választani.

ni, a görgőszám növelése ugyanis nemcsak az ellenállásokat, hanem a bekerülési költségeket is növeli.



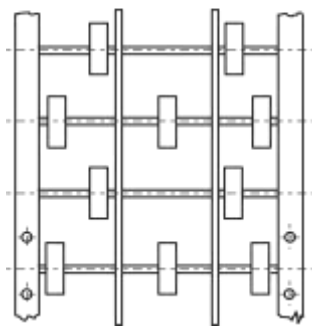
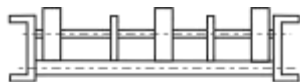
2.10.1. ábra: Gravitációs görgős szállítópálya-szakasz

Természetesen nagyméretű és - tömegű rakományok esetén előfordulhat, hogy nem a tárgy hossza, hanem a tömege határozza meg a görgőosztást. Az egy görgőre eső terhelés ugyanis nem haladhatja meg a görgő teherbírását, amit a megengedett felületi nyomás alapján adnak meg a gyártók.

Hajtás nélküli tárcsás pályák

A tárcsás szállítópálya sajátossága, hogy egy tengelyre több tárcsát fűznek fel, továbbá nagyméretű és kis tömegű áruk szállítására használják. A pálya teherbíró képessége 7...100 kg. A lemezből sajtolt vagy műanyag tárcsákat távtartókkal elválasztva tengelyre fűzik fel. A tárcsák átmérője 40...80 mm, szélessége 15...30 mm (2.10.2. ábra).

A tárcsák elrendezését és tengelytávolságát a mozgatott tárgy méretei határozzák meg. A tapasztalat szerint a tárgy sima, folytonos mozgásának feltétele, hogy legalább öt ponton érintkezzen a pályával, továbbá a tárgy hossza nagyobb legyen, mint a görgőosztás háromszorosa ($L \geq 3t$).



2.10.2. ábra: Tárcsás szállítópálya-szakasz

A tárcsás pályák különböző szélességekben készülnek. Merev, kemény felfekvő felületű tárgyak továbbításakor a tárgy szélessége (B) meghaladhatja a pálya szélességét (b). Általános alapelv azonban, hogy a mozgatott tárgy szélessége ne legyen nagyobb a pályaszélesség másfélszeresénél ($B \leq 1,5b$). Íves szakaszok (45° és 90°-os ívek) beépítésével megvalósítható a pálya változatos vezetése is.

A tárcsás pályák előnyös tulajdonsága a jó vonalvezetés, ami annak köszönhető, hogy a gördülőelemek és a mozgatott tárgy között ébredő oldalirányú ellenállás nagy, ezért a tárgy oldalirányú mozgása kicsi. Ha helyesen választjuk meg a pálya szélességét, akkor a tárgyak pályaelhagyásának veszélye az íves szakaszokon is kicsi. A leesést megakadályozó korlátra csak fejfeletti pályavezetésnél van szükség.

Hajtás nélküli golyós pályák

A golyós pályák vagy mezők aktív támasztóelemei minden irányban elforgathatóan ágyazott (három szabadságfokú) 30...50 mm átmérőjű acélgolyók. A golyós-mezők leggyakoribb feladata az egymásra merőleges görgős pályák összekapcsolása.

A pályatípus kiválasztása

Több szempontot kell mérlegelni akkor, amikor adott feladathoz pályatípust kívánunk választani. Természetesen sokszor az anyagmozgatási feladat, a mozgatott tárgy tulajdonságai eleve meghatározzák az alkalmazható pályát. Azokban az esetekben viszont, amikor nagyobb a mozgásterünk, tárcsás vagy görgős pálya egyaránt megfelel, a következőket kell figyelembe venni:

- a tárcsás pálya könnyebb, mint a görgős, így ideiglenesen telepített pályák esetében a tárcsás a célszerűbb megoldás;
- a tárcsás pályának jobb a vonaltartása;
- a görgős pályáról a mozgatott tárgyak oldalirányba könnyebben lehúzhatók;
- a tárcsák kicsi tömegének köszönhetően, gravitációs üzemmódban a tárcsás pályán ugyanazok a tárgyak 33%-kal kisebb hajlásszögű lejtőn legördülnek, mint a görgős pályán;
- a görgős pálya zajszintje magasabb, mint a tárcsás pályáé.

2.10.2. Hajtott pályák

A hajtás nélküli pályákon a tárgyakat a tárgyra ható külső erő (lejtős üzemmódban a gravitációs erő, vízszintes üzemmódban legtöbbször az emberi erő) továbbítja. Ezzel szemben a gépi hajtású pályáknál a tárgyak mozgását a hajtott gördülőelemek által közvetített belső erő végzi. A tárgyak továbbítása a helyben maradó alátámasztó-elem forgatásával (görgős pálya), vagy a tárggyal együtt haladó alátámasztó-elem mozgatásával (hevederes pálya) érhető el. A hajtóerőt legtöbbször villamos motorral működtetett erőátviteli rendszer szolgáltatja.

Hajtott görgős pályák

A hajtott görgős pályák alapvetően vízszintes anyagmozgatásra alkalmasak. A mozgatott tárgy és a görgők közötti súrlódási erő nagyságától függően ugyan megengedett a pálya kisméretű emelkedése vagy lejtése, de ez nem jelentős. A pálya emelkedése az önzárás határáig növelhető, ez általában 12°...14°. Az áru sebessége: 0,3...1,5 m/s.

A hajtott görgős pályára helyezett tárgyakat a görgők forgása továbbítja. A görgők egyedi vagy csoportos hajtásúak. Attól függően, hogy a görgőket milyen hajtóelem mozgatja, különböző pályatípusokról beszélhetünk. A leggyakrabban alkalmazott megoldások:

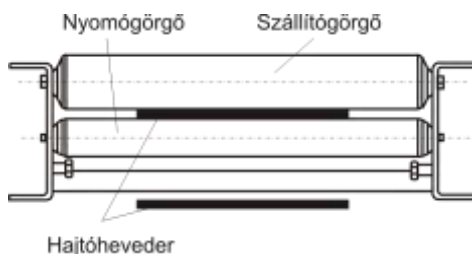
- hevederhajtású pálya,
- gömbszíj-hajtású pálya,
- kúpfogaskerékes hajtású pálya,
- lánc-hajtású pálya.

Hosszú pályákon, kicsi árusűrűség esetén, például raktári be- és kitárolásnál, energiatakarékossági megfontolásból gyakran alkalmazzák az automatikusan vezérelt szakaszos hajtást. Az áru érkezésekor érzékelők indítják az adott szakasz hajtását, távozásakor pedig megállítják azt. Ez azt jelenti, hogy csak az a pályaszakasz mozog, amelyen az áru éppen tartózkodik.

Hevederhajtású pályák

E pályatípusnál a dobbal hajtott, végtelenített, gumi- vagy műanyaghevedert nyomógörgőkkel szorítják a szállítógörgőkhöz, és ilyen módon speciális súrlódó hajtást hoznak létre (2.10.3. ábra).

A nyomógörgők osztása nagyobb, mint a szállítógörgőké, ezért nem esnek egy síkba. Egyes típusoknál a nyomógörgők magassága állítható, ezáltal a szállítógörgőt hajtó súrlódási erő szabályozható. A nyomógörgők alsó (szélső) helyzetbe állításával a pálya egy részén a hajtás kiiktatható. Erre akkor lehet szükség, ha a pályán mozgó tárgyat valamely művelet elvégzése miatt meg kell állítani.

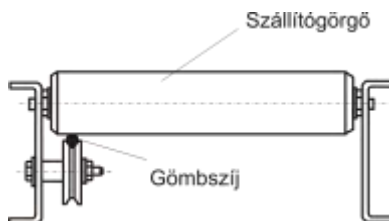


2.10.3. ábra: Hevederhajtású görgős pálya metszete

Gömbszíj-hajtású pályák

Működési elvük hasonló a hevederhajtású pályákéhoz, azzal a különbséggel, hogy itt a hajtóerőt a szállítógörgőre kör keresztmetszetű szíj viszi át (2.10.4. ábra).

Ezt a megoldást általában rövidebb vagy kisebb terhelésű pályáknál alkalmazzák, mivel a kisebb keresztmetszete

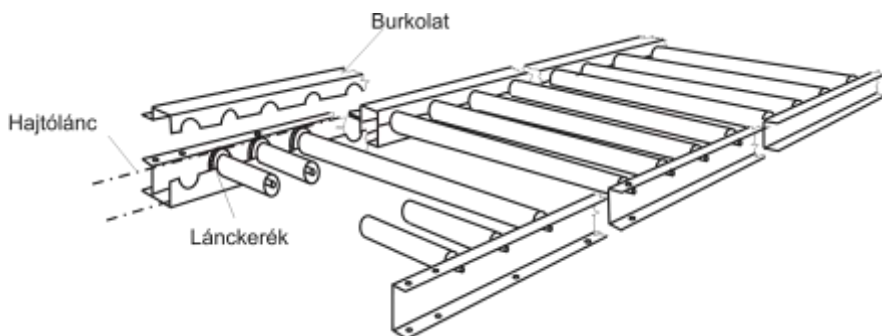


2.10.4. ábra: Gömbszíj hajtású görgős pálya

tű gömbszíj csak kisebb húzóerővel terhelhető. Előnyös tulajdonsága azonban, hogy addig, amíg az előző pontban tárgyalt lapos heveder csak egyenes pályák hajtására alkalmas, a gömbszíjjal íves szakaszok is hajthatók. Az íves szakaszhoz sok esetben kapcsolnak rövid egyenes szakaszt. Az ilyen összetett pályaszakaszok hajtása egy gömbszíjjal gazdaságosan megoldható.

Lánchajtású pályák

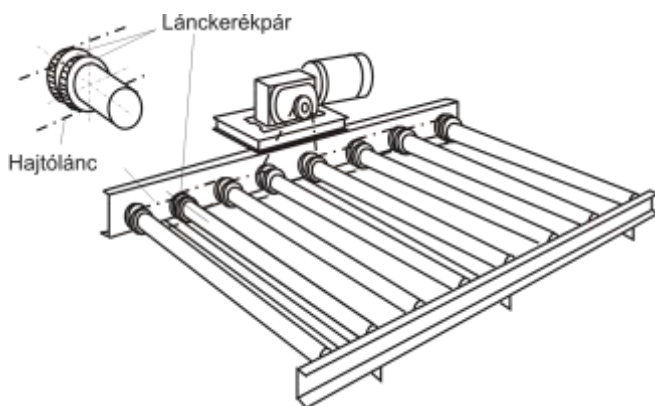
A lánchajtású pályákon a nyomatékot a görgőkre a rájuk erősített lánckerekeken keresztül hajtólánc viszi át.



2.10.5. ábra: Folyamatos lánchajtású görgős pálya

Általában kétféle megoldást alkalmaznak:

a folyamatos lánchajtásnál minden görgőre egy **lánckereket** szerelnek, és ezeket (a hevederes hajtáshoz hasonlóan) egyetlen végtelenített **hajtólánc** köti össze (2.10.5. ábra);



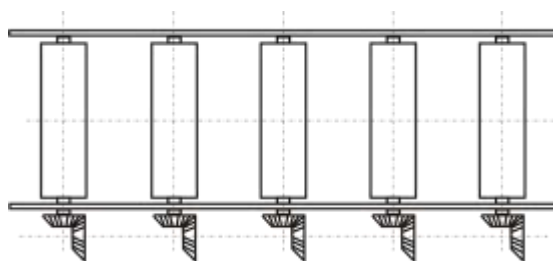
2.10.6. ábra: Páros lánchajtású görgős pálya

a páros lánchajtásnál (2.10.6. ábra) minden görgőn két egymás mellett elhelyezett lánckerek található, és egy végtelenített lánc két-két szomszédos görgőt kapcsol össze.

A lánchajtású görgős pályákat általában durvább üzemi körülmények között használják, mivel kevésbé érzékenyek a dinamikai hatásokra, a klimatikus viszonyokra, és a pályára hulló szennyeződésekre.

Fogaskerékkel hajtott pályák

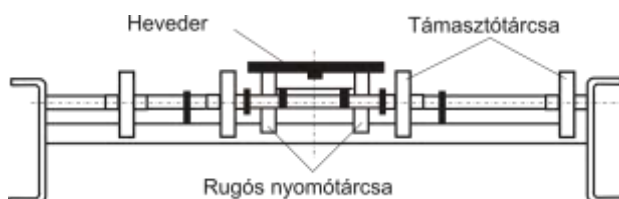
A kúpfogaskerékkel, a váltófogaskerékkel és a fogasszíjjal hajtott pályákat költséges voltuk miatt csak különleges esetekben használják. A kúpfogaskerekes hajtás elvi működését a 2.10.7. ábra mutatja be.



2.10.7. ábra: Kúpogaskerék hajtású görgős pálya

Tárcsás hajtott pályák

A tárcsás hajtott pálya átmenetet képez a gördülőelemes és hevederes pályák között. A váza a szabadonfutó tárcsás pályáéval azonos, amelynek a közepén egy keskeny **heveder** fut, amit rugalmasan megtámasztott **nyomótárcsák** szorítanak a mozgatott tárgyak felfekvő felületéhez. A **szabadonfutó tárcsákra** támaszkodó tárgyakat a heveder mozgatja. A tárgy és a tárcsák közötti kicsi gördülési ellenállásnak köszönhetően igen kicsi a vontatási ellenállás értéke (2.10.8. ábra).



2.10.8. ábra: Tárcsás hajtott pálya

Ez a megoldás az egyik legolcsóbb hajtott pályatípust eredményezi, amelynek használatában korlátozást csak az jelent, hogy csak teljesen sík felfekvő felületű tárgyak mozgatására alkalmas, és a keskeny heveder miatt a mozgatott tárgyak szélességi mérete szűk határok között változhat. A pálya kb. 10°-os, lejtős vagy emelkedő szállításra is alkalmas.

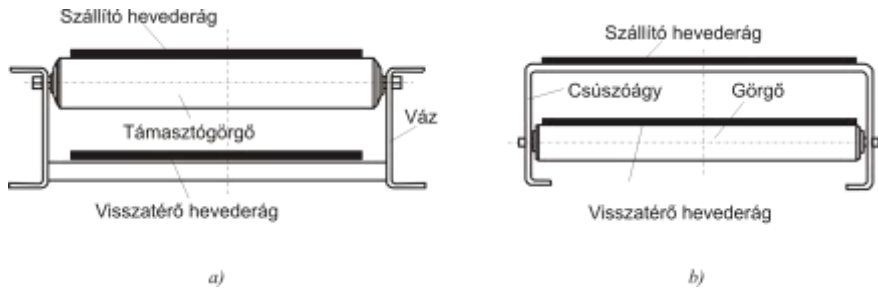
Hevederes pályák

A hevederes szállítópálya (különösen a görgőágyas változat) sok tekintetben hasonlít a korábban megismert hevederes szállítószalaghoz. A támasztó és szállítóelem szerepét betöltő heveder a teljes útvonalon a tárggyal együtt mozog, ezért ezeken a pályákon szinte mindenféle darabáru szállítható. Igénytelenek a rajtuk mozgatott tárgyakkal szemben és további előnyük, hogy a vízszintestől eltérő (fel-felé, lefelé) szállításra is alkalmasak.

Két alapvető típust különböztetünk meg:

a **görgőágyas** változatnál a hevedert (a hevederes szállítószalaghoz hasonlóan, csak sűrűbben) vázszerkezetbe ágyazott görgők támasztják alá (2.10.9/a. ábra);

a **csúszóágyas** változatnál a heveder síkfelületen, ún. hajlított lemezágyon csúszik (2.10.9/b. ábra).



2.10.9. ábra: Hevederes szállítópályák

a) görgőágyas, b) csúszóágyas

Azt, hogy adott esetben melyik változatot alkalmazzuk, a rendelkezésünkre álló pénzeszközök és az üzemi körülmények határozzák meg. A két változat fontosabb tulajdonságait a 10.2. táblázat foglalja össze.

A hevederes szállítópályák igen sokoldalúan alkalmazhatók. Jól illeszthetők más típusú szállítópályákhoz, tetszőleges helyre telepíthetők, ezért összefüggő pályarendszerekben a „joker” szerepét töltik be. Az általános célú vízszintes és ferde hevederes pályák **telepített** (helyhezkött) és **mozgatható** kivitelben készülnek. A jellegzetes alkalmazási területeik: járművek rakodása, szintek közötti szállítás, gravitációs üzemmódban használt szabadonfutó pályáknál a magasságvesztés visszanyerése.

A hevederes szállítópályák ferde irányú szállításra is használhatók. Az elérhető maximális emelkedési szöget, több tényező is befolyásolja.

10.2. táblázat

A hevederes szállítópályák összehasonlítása [45]

	Előny	Hátrány
Csúszóágyas	kedvező beszerzési költség; kicsi karbantartási igény; nyugodt, csendes működés	nagy súrlódási ellenállás; nagy a teljesítményigény; rövid a heveder élettartam; érzékeny a nedves üzemre (növeli a súrlódási tényezőt)
Görgőágyas	kicsi súrlódási ellenállás; kicsi teljesítményigény; hosszú heveder élettartam; nagy teherbírás	nagy beszerzési költség; zajos üzemelés; nagy karbantartási igény

Ezek közül a fontosabbak:

- a mozgatandó csomag (tárgy) méretei és tömege,
- a csomag anyaga,
- a csomag tömegközéppontjának helyzete,
- a heveder anyaga,
- a heveder felülete,
- a heveder sebessége,
- a heveder életkora.

A mozgatott tárgy anyaga, tömege és a heveder felületének kialakítása függvényében a hevederes szállítópálya maximális emelkedési szöge nagy eltéréseket

mutat. A tapasztalat szerint az elméletileg elérhető és a tényleges emelkedési szög között az üzemelési körülményeket kiszámíthatatlansága miatt jelentősek különbségek.

A hevederes szállítópályák vízszintestől eltérő üzemben való használatakor a magasabb tárgyak viselkedését ellenőrizni kell azokon a helyeken, ahol a pálya dőlésszöge megváltozik. Nagymértékű dőlésszög változáskor előfordulhat, hogy a tárgy felbillen. Ezt elkerülhetjük, ha a dőlésszöget több fokozatban változtatjuk.

2.10.3. Pályaelemek és pályakapcsolások

A pálya rendszerek a görgős, a tárcsás és a hevederes pályák elemeiből építőszerényelv szerint épülnek fel, de az elemek pályatípusonként változnak. A legfontosabb egységek: az egyenes és szakasz, a támasz vagy függesztés a hajtás és a kapcsolóelemek.

A bevezetőben már említettük, hogy a szállítópályákon a folyamatos mozgatás mellett még két további mozgáselemmel találkozhatunk, a torlasztással és az átadással.

Torlasztó berendezések

Ha a gördülőelemes szállítópályákon a mozgatott árut (csomagokat) valamilyen okból meg kell állítani, akkor az egymást követő tételek feltorlódhatnak. A torlódás nemcsak meghibásodás miatt következhet be, hanem az alkalmazott technológiára vezethető vissza, azaz a folyamatos mozgás megszakítása technológiai igényként jelentkezik. Például: a pálya nevezetes pontjain (munkahelyek, ellenőrzőpontok, stb.) a tételek megmunkálásra, osztályozásra, mérlegelésre, rakodásra, egységrakomány-képzésre, ellenőrzésre stb. várakoznak; a szállítónalok csomópontjaiban az aktívonal kiürültéig a többi vonalon érkező csomagnak várakoznia kell.

A torlódás az erre fel nem készített szállítópályákon nemkívánatos jelenségeket idéz elő: az egymásra torlódó csomagok a csomagszám növekedésével egyre nagyobb nyomóerőt fejtenek ki egymásra, ami egyrészt megrongálhatja, másrészt a pálya nem normális elhagyására kényszerítheti a csomagokat; a hajtott pályák továbbító-elemeit (gördülőelem vagy heveder) a megállított csomagok fékezik és a pálya szerkezeti elemein jelentős többletterhelést okoznak, ami akár azok meghibásodását is okozhatja.

A nemkívánatos hatások kiküszöbölésére fejlesztették ki az ún. **torlasztó-pályákat**, amelyek szerkezeti kialakítása különböző lehet, a működési elvük azonban hasonló. Lényegében a pálya egyes szakaszait a csomagokat érzékelő görgők által vezérelt kapcsolókkal automatikusan ki- és bekapcsolják. A csomag érkezésekor az érzékelő görgő megszakítja a hajtás.

Átadó berendezések

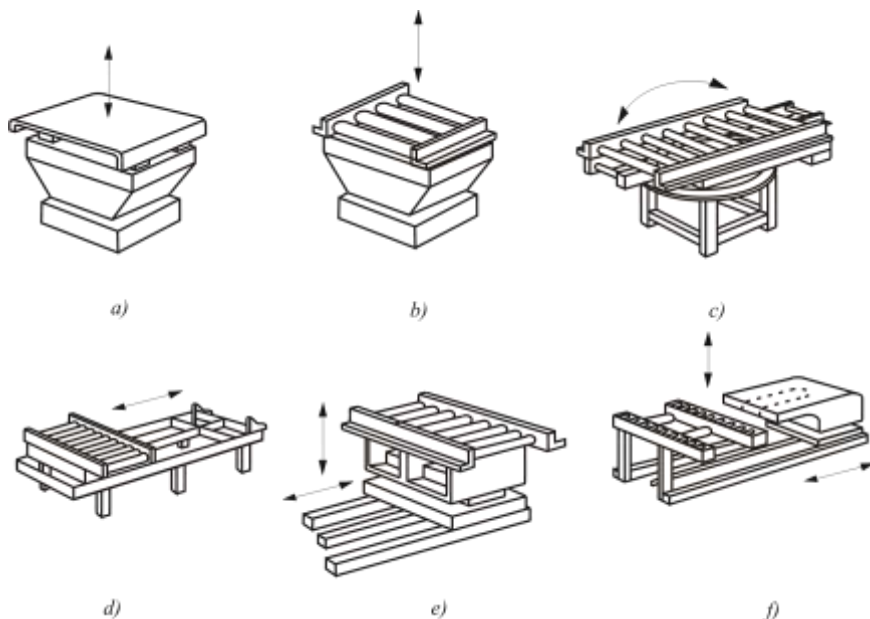
Azokban az esetekben, amikor akár a feladó, akár a célállomások vagy mindkettő száma több mint egy, az árutovábbítás megvalósítására két lehetőség kínálkozik:

az összes lehetséges relációt egyedi pályával kell összekötni;

olyan pályarendszert kell alkalmazni, amelynél az egyes viszonylatok közötti mozgatásra részben közös pályák szolgálnak, kiegészítve a feladóállomásokról becsatlakozó, ill. célállomásokra leágazó pályákkal.

Könnyen belátható, hogy az első megoldás ugyan egyszerű, de csak kisszámú viszonylat esetén alkalmazható és meglehetősen drága. A második megoldás viszont egy újabb mozgás elemet feltételez átadást. **Átadásnak** nevezik a szállítópályákon történő árumozgatásnak azt az elemét, amikor a mozgatott tárgy az egyik pályáról a másikra kerül. Az átadást megvalósító eszközök az **átadó berendezések** (2.10.10. ábra).

Az átadás a teljes mozgatási folyamat legkritikusabb része. A megfelelő módszer kiválasztása és az eszközök megtervezése a mozgatandó termékek tulajdonságait is figyelembe véve, mélyreható elemzést igényel.



2.10.10. ábra: Átadó-, elágaztató- és összekapcsoló elemek

- a) síkfelületű asztal, b) görgős emelőasztal, c) görgős fordító asztal, d) görgős átadó kocsi, e) görgős emelőasztalos átadó kocsi, f) síkfelületű, illetve villás átadó kocsi

3.

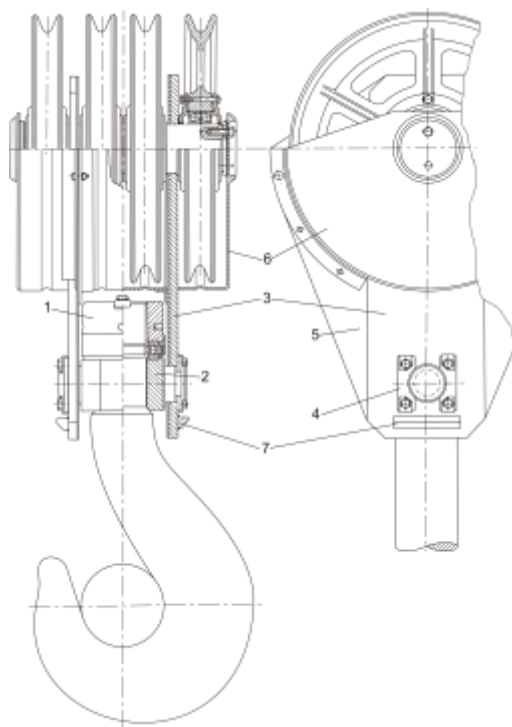
SZAKASZOS MŰKÖDÉSŰ ANYAGMOZGATÓ GÉPEK

3.1. A DARUK TEHERFELVEVŐ SZERKEZETE

A különböző szakaszos működésű anyagmozgató gépek, különösen a daruk teherfelvevő szerkezetei nagy hasonlóságot mutatnak, ezért az ismételéseket kerülendő, ezeket a szerkezeteket gépelemként kezelve külön fejezetben ismertetjük. Feladatuk a teher felvétele, valamint az anyagmozgató gép és a teher kapcsolatának biztosítása a szállítás időtartama alatt. A teher sajátosságait is figyelembe véve, a teherfelvevőket úgy kell kialakítani, hogy a teher kicsúszását, kioldódását megakadályozzák, továbbá törekedni kell a kicsi tömegre és az egyszerű kezelhetőségre [20].

3.1.1. Horogszerkezetek

A horgokat általában nem a teher közvetlen felvételére használják, feladatuk inkább, hogy átmeneti kapcsolatot létesítsenek a kötöző kötel, a kötöző lánc, a kötöző heveder, a különféle mechanizmusok, stb. és az anyagmozgató gép között.

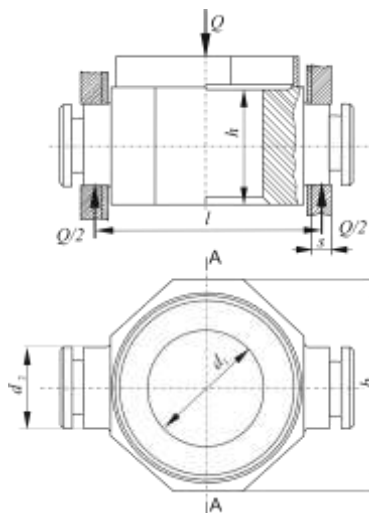


3.1.1. ábra: Egyágú horogszerkezet

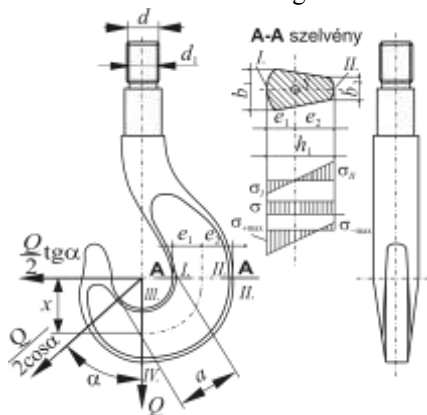
- 1) horoganya, 2) horoghíd, 3) heveder, 4) tengelyfogó, 5) pajzslemez,
6) kötélkorongok lemezburkolattal, 7) orrléc

A horogszerkezet részei: a horog, a horoghíd, a horoganya, a kötélkorong vagy korongok, a csapok, a csapágyak, és az elemeket egységbe foglaló pajzslemezek (3.1.1. ábra).

A horogszerkezet kialakítása a kötélágak számától függően változatos lehet. A helyesen kialakított horogszerkezet biztosítja egyrészt a horog könnyű elforgatását, és a terheletlen horog billenését a kötöző kötel beakasztása céljából, másrészt az emelőkötel feszességét a terheletlen horog süllyesztésekor. Egy kötélág esetén a feszességet pótsúly felrakásával érik el, több kötélágas függesztésnél elegendő a horogszerkezet tömege.



3.1.2. ábra: Horoghíd



3.1.3. ábra: Egyágú horog

A horoghídat kéttámaszú tartóként hajlításra, csapját pedig palástnyomásra méretezzük. A veszélyes keresztmetszetben (3.1.2. ábra) a keresztmetszeti tényező és a nyomaték:

$$K = \frac{(b - d_1)h^2}{6} \text{ és } M = \frac{Ql}{4},$$

amelyekből az ébredő feszültség:

$$\sigma = \frac{M}{K} \leq \sigma_{meg}.$$

A horgokat egyágú és kétágú horgokra oszthatjuk fel, amelyek hosszabb vagy rövidebb szárral készülhetnek. Mindkét típus szabványosított (MSZ 9705 és 9711). Anyaguk általában nemesített acél.

Az egyágú horog (3.1.3. ábra) a horogszájból és a szárból áll. A szárat menettel (normál metrikus-, zsinór-, trapézmenet) vagy fogazattal látják el. Az egyágú horgok keresztmetszete kör, ellipszis vagy trapéz lehet. Méretüket és terhelhetőségüket az MSZ 9705 szabvány tartalmazza.

A menetet húzásra és felületi nyomásra méretezzük. A húzott keresztmetszet:

$$\frac{d_1^2 \pi}{4} = \frac{Q}{\sigma_{meg}},$$

ahol:

d_1 a menetes szár magátmérője [m],

Q a horogterhelés [N],

σ_{meg} a megengedett feszültség [N/m²].

A menetes szár magátmérője:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4Q}{\sigma_{meg}\pi}}.$$

A megengedett felületi nyomásból a szükséges menetszám:

$$z_{\min} = \frac{4Q}{\pi(d^2 - d_1^2)p_{meg}},$$

ahol:

d a névleges menetátmérő [m],

p_{meg} a megengedett felületi nyomás [N/m²].

A szükséges menethossz, ha h a menetemelkedés:

$$l_1 = zh.$$

A veszélyes horogkeresztmetszet (A-A szelvény) trapéz alakú, erősen lekerekített sarkokkal (3.1.3. ábra). E keresztmetszet mérete és alakja változik, a horog vége felé haladva mérete egyenletesen csökken, a trapéz pedig körbe megy át.

A feszültségek meghatározására végezhető közelítő és pontos számítás. A közelítő számítás esetén a keresztmetszetekben lineáris feszültségeloszlást feltételezünk, azaz a horgot excentrikusan terhelt egyenes tartónak tekintjük (3.1.3. ábra) [71].

Az excentrikus terhelés miatt Q erő nyomatéka

$$M = Q \left(\frac{a}{2} + e_1 \right)$$

a horgot úgy hajlítja, hogy az I . pontban húzó- a II . pontban nyomófeszültség keletkezik, amelyekre még a Q erő okozta húzófeszültség szuperponálódik.

Az A–A keresztmetszetben a hajlítás miatt ébredő feszültségek:

$$\sigma_I = \frac{M}{K_I} = \frac{Q}{K_I} \left(\frac{a}{2} + e_1 \right) = \frac{Qe_1}{I} \left(\frac{a}{2} + e_1 \right),$$

$$\sigma_{II} = -\frac{M}{K_{II}} = -\frac{Q}{K_{II}} \left(\frac{a}{2} + e_1 \right) = -\frac{Qe_2}{I} \left(\frac{a}{2} + e_1 \right),$$

ahol:

Q a horogterhelés [N],

σ_I a belső szélsőszállban ébredő húzófeszültség [N/m²],

σ_{II} a külső szélsőszállban ébredő nyomófeszültség [N/m²],

K_I a keresztmetszeti tényező az I . pontra [m³],

K_{II} a keresztmetszeti tényező a II . pontra [m³],

a a horogszáj átmérője [m],

e_1 a húzott szélsőszáll távolsága a semleges száltól [m],

e_2 a nyomott szélsőszáll távolsága a semleges száltól [m],

I a trapézkeresztmetszet másodrendű nyomatéka.

A húzott szélsőszáll távolsága a semleges száltól és a trapézkeresztmetszet másodrendű nyomatéka a lekerekítések elhanyagolásával:

$$e_1 \approx \frac{b_1 + 2b_2}{b_1 + b_2} \frac{h_1}{3}, \quad I \approx \frac{b_1^2 + 4b_1b_2 + b_2^2}{36(b_1 + b_2)} h_1^3,$$

ahol b_1 és b_2 a trapéz párhuzamos oldalai, $h_1 = e_1 + e_2$ a trapéz magassága (3.1.3. ábra).

Az Q terhelés hatására ébredő húzófeszültség:

$$\sigma = \frac{Q}{A},$$

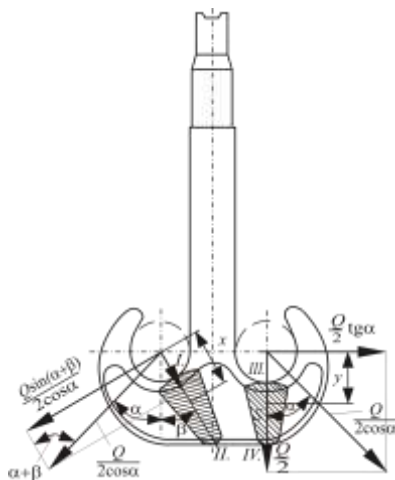
így a

$$\sigma_{+\max} = \sigma_I + \sigma \leq \sigma_{meg},$$

$$\sigma_{-\max} = -\sigma_{II} + \sigma \leq \sigma_{meg}.$$

A III–IV keresztmetszetet a horog hossz tengelyével $\alpha=60^\circ$ -os szöget bezáró kötőző köté (3.1.8. ábra szerinti kötözés) terhelése alapján hajlításra ellenőrizzük. A keresztmetszetet terhelő nyomaték a 3.1.3. ábra jelöléseivel

$$M = \frac{Q}{2} x \operatorname{tg} \alpha.$$



3.1.4. ábra: Kétágú horog

A **kétágú horog** terhelése szimmetrikus, és ennek következtében kedvezőbb az igénybevétele (3.1.4. ábra). Akár 300 t teher emelésére is alkalmas lehet. Méretezése hasonló az egyágú horogéhoz és használható a korábban közölt közelítő számítás.

Az I–II-vel jelölt veszélyes keresztmetszetben a nyomaték:

$$M = \frac{Q}{2} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha} x.$$

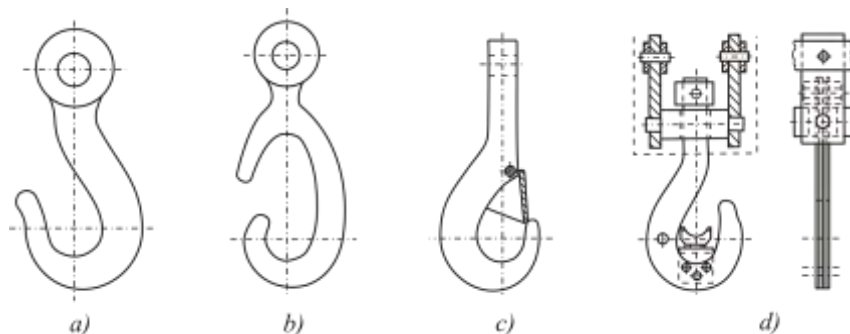
A legnagyobb húzófeszültség az I. pontban:

$$\sigma_I = \frac{M}{K_I} + \frac{Q}{2A} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha},$$

és a legnagyobb nyomófeszültség a II. pontban:

$$\sigma_{II} = \frac{M}{K_{II}} - \frac{Q}{2A} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}.$$

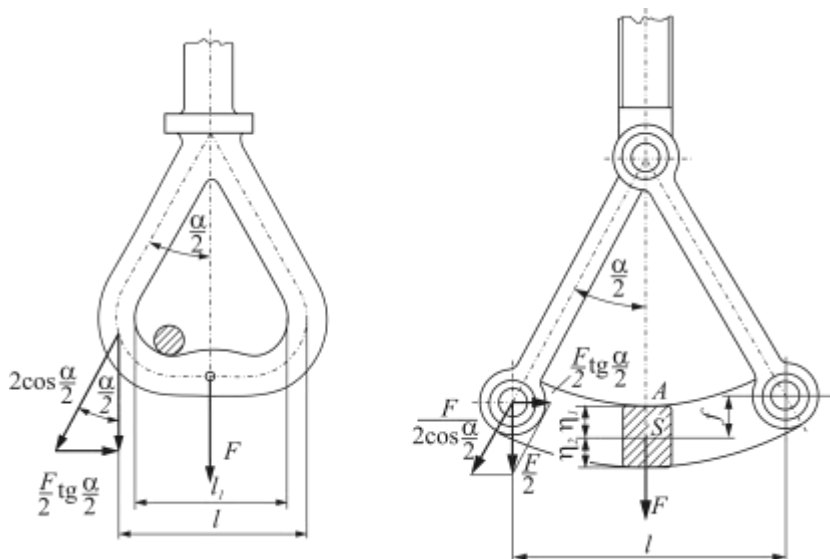
Különleges horgok (3.1.5. ábra) a **szemes horog**, amely a szár végén kiképzett szemmel csatlakozik a horogszerkezethez. A **kampós horgot** akkor használják, ha a horog véletlenszerű beakadását el kell kerülni.



3.1.5. ábra: Különleges horgok

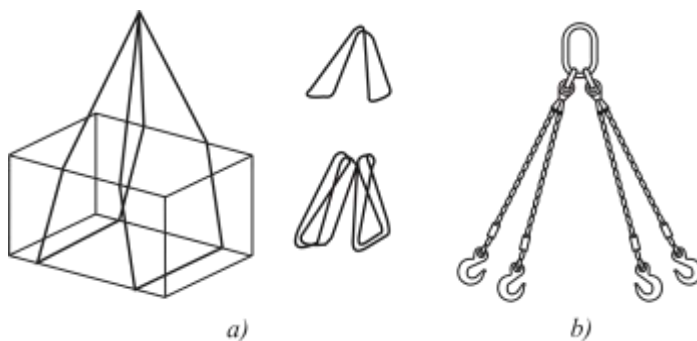
a) szemes, b) kampós, c) biztonsági, d) lemeztelt

A **biztonsági horog** nyílását egy csappantyú zárja le, amely megakadályozza a kötélt kiugrását. A szegecsekkel összefogott **lemezelt horgot** nagy hőigénybevételnek kitett helyeken használják a hirtelen törések elkerülése érdekében.



3.1.6. ábra: Kengyelek

A horgok között említjük a **zárt és csuklós kengyeleket** (3.1.6. ábra), mivel funkciójuk a horgokéval megegyező. A saját tömegük kisebb, mint az azonos teherbírású nyitott horgoké, de használata nehezkesebb, mivel a kötöző kötelet át kell fűzni a kengyel nyílásán. A kis és közepes teherbírású zárt kengyelt egy darabból kovácsolják. Nagy terhelésekhez a kengyelt három, csuklókkal összekötött rúdból készítik.

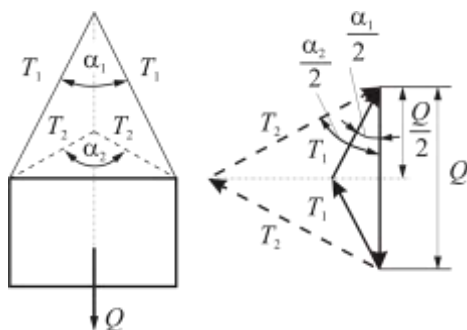


3.1.7. ábra: Kötöző kötelek

a) végtelenített, b) négyágú horgos kötélt

A terhet ritkán tudjuk közvetlen a horogra akasztani, legtöbbször kötöző kötelet, - hevedert vagy - láncot kell alkalmazni.

A **kötöző kötélt** kenderrostból, acélhuzalból vagy hasított műanyag fóliából sodrással ill. fonással készü. Lehet végtelenített, de gyakran használnak kisebb horgokban végződő többágú függesztéket (3.1.7. ábra).



A teher felkötésekor ügyelni kell arra, hogy a kötélben kicsi feszültség ébredjen. Ezt ún. *magasra kötéssel* lehet elérni. A 3.1.8. ábra jól érzékelteti, hogy az α szög miként hat a T kötélerő nagyságára. A vektorábrából a

$$T = \frac{Q}{2 \cos(\alpha/2)}$$

3.1.8. ábra: A teher felerősítése a horogra

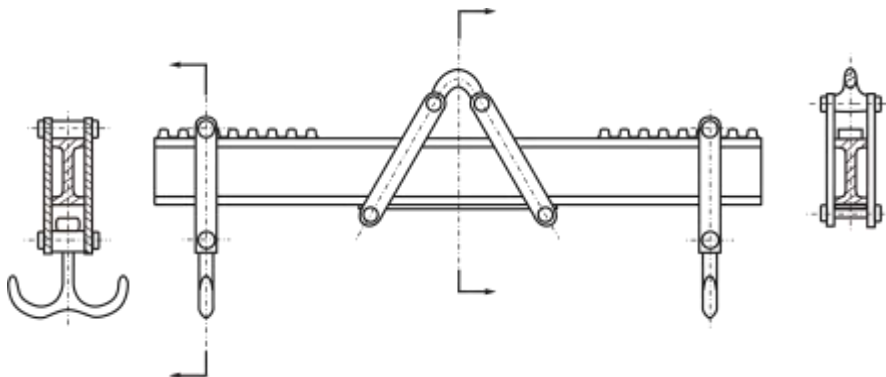
A kötélerő $\alpha = 150^\circ$ -nál már közel a terhelés kétszerese, ezért a biztonsági előírások az $\alpha = 90^\circ$ -nál nagyobb kötéltérpesztést tiltják.

A **kötöző heveder** többrétegű műanyag vagy textil szövetből készül végtelenítve vagy a két végén függesztő karikával. A teher alatt átfűzött hevedert a karikák segítségével a daruhorogra akasztják, vagy ennek hiányában hurkolják.

Kötöző láncként közönséges, nem kalibrált szemes láncot alkalmaznak a teher sajátosságaihoz igazodó kiképzéssel. A szemes láncokból is a köteleknél említett, horogban végződő függesztékek alakíthatók ki.

3.1.2. Emelőgerendák

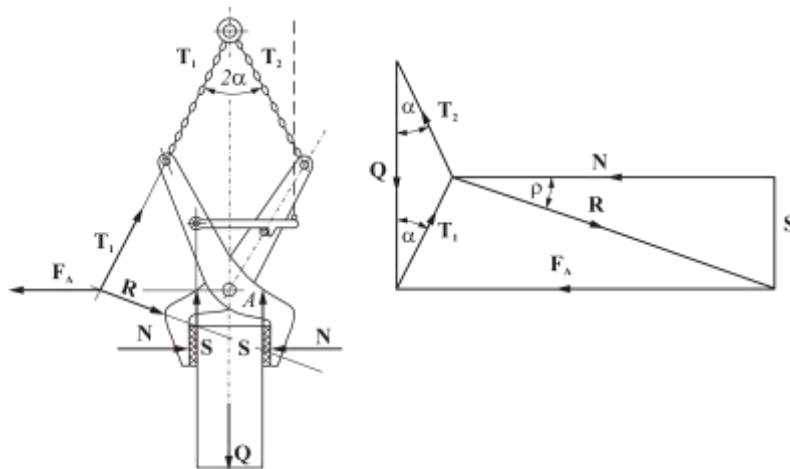
A lemeztartóként kiképezett, hengerelt anyagból készített emelőgerenda a korábban ismertetett elemekkel (horog, kengyel, függeszték stb.) van ellátva (3.1.9 ábra). Általában hosszú, nehezen kezelhető, nagy tömegű és méretű darabok felvételére használják. A teherfelvevő elemek cserélhetők és helyzetük állítható. A gerenda alkalmas kialakítással több helyen is függeszthető, így az emelőgerenda segítségével megvalósítható a közös darupályán gördülő futódaruk együttes működése.



3.1.9. ábra: Emelőgerenda

3.1.3. Fogószervezetek

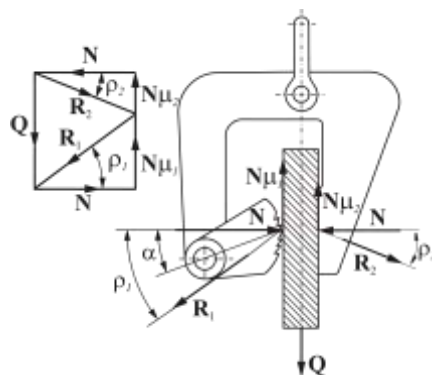
Az egyforma vagy hasonló méretű darabárúk megfogására különböző kialakítású megfogó szerkezeteket használnak. Ezzel könnyítik és gyorsítják a kiszolgálók, illetve a daru munkáját.



3.1.10. ábra: Ollósfogó

Az egyik legismertebb megfogó eszköz az ún. **ollósfogó** (3.1.10. ábra), amelynek ollószzerűen nyíló szárai a **Q** terhelés hatására önműködően záródnak. Felfüggesztése a daruhorogra gyűrű segítségével történik. A teher kicsúszását a teher és a pofák között ébredő súrlódási erők (**S**) akadályozzák meg. A szimmetrikusan terhelte szerkezet erőjátékát a 3.1.10. ábra szemlélteti, ahol **Q** a teher súlya, **T₁** és **T₂** a kötélerők, **N** a normálerő, **S** a súrlódási erő, **R** a normálerő és a súrlódási erő eredője, **F_A** az A csuklót terhelő belső erő, ρ a súrlódási szög. A fogó karátételét úgy kell megválasztani, hogy a teher és a szorítópofák között ébredő, $|S| = 2\mu |N|$ súrlódási erő nagyobb legyen, mint a **Q** terhelés. Megjegyezzük a bemutatott erőzáró elven működő ollósfogó mellett gyakran használnak alakzáró elven működő ollós fogókat is.

Az ollósfogóhoz hasonló elven működik a 3.1.11. ábrán látható **lemezfogó kengyel**. A kengyel baloldali szárához csappal rögzített, és a csap körül elforduló excenter tárcsát a kicsúszni igyekező lemez az óramutató járásával meg egyező irányban elforgatja, vagyis a pofák és lemez közötti rést önműködően zárja. A zárás következtében keletkező a normál erő hatására a pofákon ébredő súrlódási erők megfogják a terhet. Az erőhatás ábrából kiolvasható, a működés feltétele: $|Q| \leq |N|(\mu_1 + \mu_2)$, ahol μ_1 és μ_2 a súrlódási tényezők a fogazott és a sima felületű pofákon. A súrlódási tényezők: $\mu_1 = 0,3 \dots 0,4$, $\mu_2 = 0,12 \dots 0,15$.



3.1.11. ábra: Lemezfogó kengyel

3.1.4. Emelőmágnesek

Különböző, mágnesezhető anyagok (öntvények, tartók, sínek, lemezek, forgács stb.) megfogására, szállítására emelőmágnes használható. A kötözési idő teljesen elmarad így nagy rakodási teljesítmény érhető el [23].

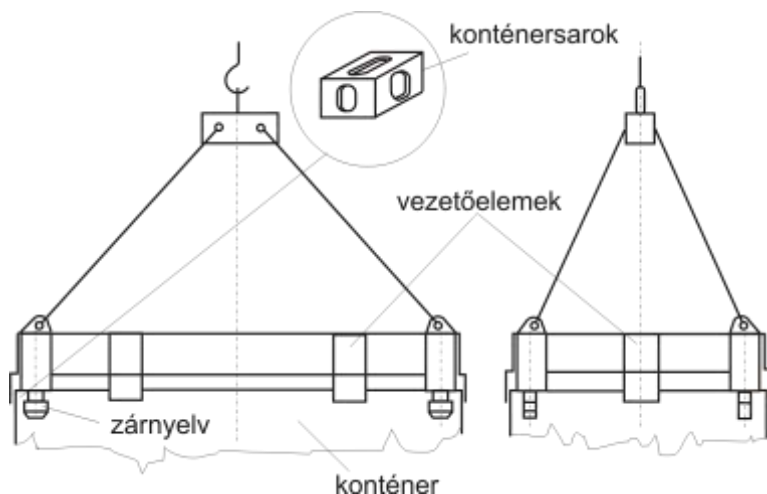
A tányér alakú mágnes tekercseit egyenárammal táplálják. Az áramot hajlékony kábelen vezetik, amely emelkedőkor a kötéldobról hajtott kábeldobra csévélődik fel. A tekercsben folyó áram hatására mágneses mező keletkezik, amelynek erővonalai körülveszik a tekercset. A mágnes csak akkor záródik, ha a mágnesezhető anyagra felfekszik, illetve azzal érintkezik. Ezért az emelőmágnesben a tekercset alul nem mágnesezhető lemezzel (bronz vagy mangánacél) védik.

Hátránya, hogy emelőképessége nagymértékben függ az anyag minőségétől és alakjától. Síkfelülettel érintkező, tömör vasanyagot emelő emelőmágnes teherbíró képességét 100 %-nak véve, ugyanaz az emelőmágnes a gömb alakú vasból csak 30...40 %-ot, a vasforgácsból vagy a vashulladékból már csak 3...7 %-ot emel. Továbbá nagy hátránya, hogy áramkimaradás esetén leejti a terhet, ezért biztonsági okokból gyakran önműködően bekapcsoló szünetmentes tápegységgel (akkumulátorral) is ellátják, amelynek kapacitása egy-két munkaciklus elvégzéséhez elegendő.

A gerjesztőáram kikapcsolása után ellenárammal biztosítják, hogy a remanens mágnesség következtében az emelőmágneshez tapadó kisebb darabok leváljanak. Hosszabb rúdanyagok, lemezek emeléséhez több emelőgerendára függesztett emelőmágnest használnak.

3.1.5. Konténer megfogó szerkezetek

A konténer a sarkaiban kialakított elemek, ún. sarokelemek, illetve az ezekben kiképzett ovális furatok segítségével kapcsolódik az anyagmozgatógép teherfelvő szerkezetéhez (3.1.12. ábra).



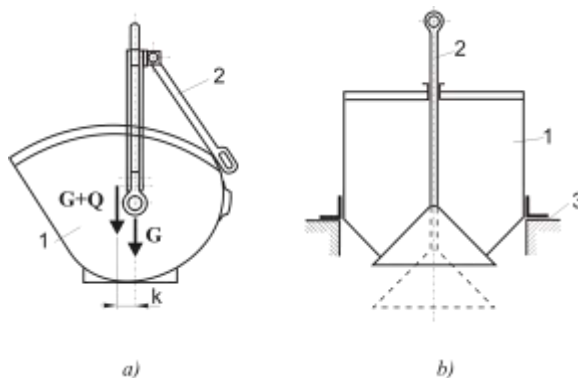
3.1.12. ábra: Forgózárás konténer emelőkeret

A sarokelemek méreteit, egymástól való távolságát a szabvány (ISO) rögzíti. Az ovális furatokba illeszkedő kapcsolóelemek leggyakrabban forgózárás, horgos vagy végszemes kivitelűek. Az 3.1.12. ábra egy forgózárás emelőkeret elvi kialakítását mutatja be. A kapcsolás az emelőszembe illesztett zárnyelv 90°-os elfordításával valósul meg [69].

3.1.6. Szállítóedények

Billenőteknő

Ömlesztett áru emeléséhez a legegyszerűbb szerkezet a billenőteknő, amelyet függesztőkengyel segítségével akasztanak a daruhorogra (3.1.13/a ábra). A szállítandó anyag betöltése általában lapátolással történik, kiürítése a teknő billentésével gyorsan végezhető. Működésének lényege, hogy az üres teknő (1) tömegközéppontja a forgáspont alatt van. A teknő megtöltése után a tömegközéppont a forgáspont fölé és a függesztőkengyel elé kerül, ezért a $k(G+Q)$ nyomaték a teknőt előrebillenteni igyekszik. A billenést rögzítőkarnak (2) a teknőbe nyúló bütyke akadályozza meg. A rakomány kiürítését a kar felemelésével érjük el. Ürités után a teknő visszabilen eredeti helyzetébe [23].



3.1.13. ábra: Szállítóedények

a) billenőteknő; b) fenékürítésű szállítóedény

Szállítóedény önműködő fenékürítéssel

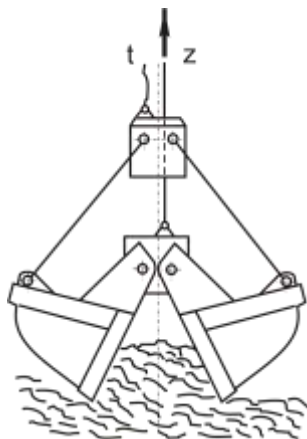
Ömlesztett anyagnak daruval távoli tartályba való szállítására gyakran használják a fenékürítésű edényt (3.1.13/b ábra). Tölcsérszerűen összeszűkülő edény (1) kifolyónyílását egy kúp zárja el. A vonórúddal (2) a horogra akasztott edény mindaddig zárva marad, amíg az edény a kúpra támaszkodik. Amint az edényt a támaszra (3) ültetjük és az elzáró kúpot tovább süllyesztjük, az edény tartalma kiürül.

3.1.7. Markolók

Az eddig ismertetett, ömlesztett anyagot szállító teherfelvevő szerkezetek önműködővé teszik ugyan az ürítést, azonban az edények megtöltése kézi erővel vagy

külön töltőberendezéssel történik. E hátrányuk miatt ezek csak kisebb szállítási teljesítményre alkalmasak. A markolók a szállítóedényekkel szemben, nemcsak az ürítést, hanem az anyag felvételét is önműködően végzik. A markoló zárásának és nyitásának működtetési módja szerint megkülönböztetünk kétköteles, egyköteles, hidraulikus; pneumatikus és motoros markolókat.

Kétköteles markoló



3.1.14. ábra: Kétköteles markoló

A kétköteles markoló működése vázlatosan a 3.1.14. ábrán látható. Kétköteles rendszerű, rudas markolók működését két kötérendszer biztosítja. A markolókanalak az alsó kereszttartóhoz közvetlen csuklóval, a felsőhöz pedig közvetve csuklós rudakkal kapcsolódnak. A zárókötetet (z) az alsó, a tartókötetet (t) pedig a felső kereszttartóhoz rögzítik. Amíg a tartókötél közvetlenül, addig a zárókötél csigasoron átvezetve kapcsolódik a megfelelő kereszttartóhoz.

A markoló működésének fázisai a következők:

Süllyesztés: a nyitott markolót feszes tartó-, és laza zárókötéllal eresztik rá az emelendő anyaghalmaszra.

Markolás: laza tartókötél mellett a zárókötetet emelik, aminek következtében a kanalak záródásáig az alsó kereszttartó közeledik a felsőhöz (3.1.14. ábra).

Emelés: a zárt markolót a zárókötél további felcsévélésével emelik miközben a laza tartókötél együtt fut a záróval (néha a tartókötél is részt vesz a teheremelésben, de csak oly mértékben, hogy a markoló biztosan zárt állapotban maradjon).

Ürítés: a tartókötél megfeszül, a laza zárókötél pedig a gravitáció hatására lefelé mozog, ezért az alsó kereszttartó eltávolodik a felsőtől, a kanalak szétnyílnak, és a markoló kiürül.

Az anyag felvételekor a markolókanál éle függőleges irányú ásó, és vízszintes irányú kotró mozgást végez. Ásáskor a markoló élének behatolnak az ömlesztett anyagba. A kellő mértékű behatolás a markoló önsúlyának helyes megválasztásával, valamint megfelelő vágóél- és lapátkialakítással érhető el. A kotráshoz nagyobb záróerőt kell kifejteni, és a markoló szájnylását is meg kell növelni.

A rudas markolók hátrányaként említhető, hogy a legnagyobb záróerőt nem a markoló zárásakor éri el, továbbá az ásáshoz szükséges nagy sajáttömeg a daru emelőképességének tekintélyes hányadát leköti. A vízszintes csigasorral működő, kotrásra használt, nagy szájnylású markoló (trimmer) erőjátéka kedvezőbb.

A markoló anyagba való behatolása nagymértékben függ a szállítandó anyag sűrűségétől, keménységétől, szemnagyságától stb. Hasonlóan, a kotrási munka is a markolandó anyag említett fizikai tulajdonságainak a függvénye. E tényezők sze-

repe a markoló szerkesztésénél nehezen számszerűsíthető, azonban a markoló helyes kialakítása és a lehető legkisebb anyagfelhasználással járó előállítása érdekében figyelembe veendő. A különböző anyagokhoz eltérő alakú és tömegű markolók használatosak. A markoló tömege szerint könnyű, közép- és nehéz markolók ismertek.

Könnyű sorozat: $\rho_h = 0,35 \dots 1,2 \text{ t/m}^3$ halmazsűrűségű anyagokhoz használatosak (pl. gabona, kazánszén, koks, salak stb.); befogadóképességük: $0,5 \dots 10 \text{ m}^3$, csigasoráttételük: $z = 3 \dots 4$.

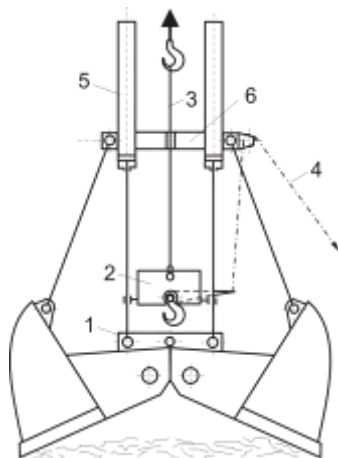
Középnéhez sorozat: $\rho_h = 1,2 \dots 2 \text{ t/m}^3$ halmazsűrűségű anyagokhoz alkalmazzák (pl. homok, kavics, mészkő stb.); befogadóképességük: $0,6 \dots 6,3 \text{ m}^3$, csigasoráttételük: $z = 4 \dots 5$.

Nehéz sorozat: $\rho_h = 2 \dots 2,6 \text{ t/m}^3$ halmazsűrűségű anyagokhoz alkalmazzák (pl. érc); befogadóképességük: $0,6 \dots 4 \text{ m}^3$, csigasoráttételük: $z = 5 \dots 6$.

Egyköteles markoló

Az egyköteles markoló felépítésében hasonló a kétköteles markolóhoz, azonban a markolót csak egy, az ún. zárókötél működteti. A szerkezeti megoldások igen eltérőek és bonyolultak. Az egyik gyakran alkalmazott megoldás 3.1.15. ábrán látható, ahol kilincsszerkezet köti össze a két részből álló, vízszintes síkban osztott alsó keresztartót. Az alsó részhez (1) a markolókanalak csuklóval kapcsolódnak, a vezetékben mozgó felső részben (2) pedig az alsó kötélkorongok nyertek elhelyezést.

Egyköteles rendszerű markoló működtetéséhez, szemben a kétköteles markolókkal, egy emelőműves daru is alkalmazható.



3.1.15. ábra: Egyköteles markoló

A markolót a keresztartóba beépített kötélszigasoron átvezetett zárókötél (3) meghúzásával zárhatjuk és emelhetjük. A markoló nyitásához a kétfélből álló alsó keresztartót összekötő kilincsszerkezetet kell oldani. A kilincsszerkezet a nyitás magasságában a darun elhelyezett ütközővel, vagy a kioldókötél (4) meghúzásával bontható. A lekapcsolt alsó keresztartó fél (1) a saját, valamint a markolólapát és az anyag tömegének hatására lefelé halad, a lapátok szétnyílnak, és a markoló kiürül. A kemény ütközés elkerülése érdekében a lefelé haladó alsó keresztartófél és a markolólapátok mozgását hidraulikushengerek (5) fékezik. A nyitott markolót az anyagra helyezve, a kötélen függő kétrészes keresztartó felső részét tovább süllyesztik, amíg a retesz önműködően összekapcsolja az alsó résszel. Az összekapcsolás után újabb markolás végezhető a már leírt módon.

A markolási folyamat fázisai:

Süllyesztés: a fázis kezdetén a kilincsszerkezet oldott és az alsó keresztartó felső része a felső holtponthoz helyezkedik el; a kötélen süllyesztésével a nyitott markoló

addig süllyed, amíg a lapátok, felütközve a szállítandó anyagon meg nem állnak; ezután a kötél az alsó kereszttartó felső részével (2) együtt tovább süllyed addig, amíg az alsó részt (1) elérve a kilincsszerkezet be nem kapcsolódik.

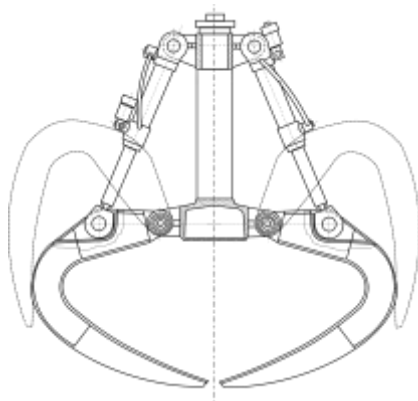
Markolás: a kötél az összekapcsolt alsó kereszttartóval emelkedik, miközben a lapátok záródnak, a fázis végén, a felső holtpontban a kereszttartók ütköznek és a lapátok teljesen bezárulnak.

Emelés: a kötél további emelésével az alsó kereszttartó (1,2) magával emeli a felső kereszttartót (6) és a markolófejet.

Ürités: a kötél áll; a kikapcsoló kötél (4) meghúzásakor az alsó kereszttartó két része elválik egymástól, a markoló a saját súlya hatására kinyílik és ürül.

Az egyköteles markoló csak ott használható, ahol azonos magasságban kell üríteni. Hátránya a sok üzemzavart okozó reteszelő szerkezet. Ferde helyzetben bizonytalan a működése, lehetőleg kerüljük alkalmazását.

Polipmarkoló



3.1.16. ábra: Hidraulikus működtetésű polipmarkoló

A polipmarkolónál (3.1.16. ábra) két lapát helyett több (4...8 db) lapát vagy rúd végzi a markolást: Elsősorban nehezen markolható anyagokhoz használatos (pl. terméskő, ócskavas stb.). A polipmarkolók egyes változatait úgy alakítják ki, hogy az anyaghoz ütköző karok csak annyira záródnak össze, amennyire a befogott anyag ellenállása megengedi. A 3.1.16. ábrán látható változat hidraulikus rendszerű. A markolólapátok mozgását a markolóba beépített kettősműködésű munkahengerek végzik.

Motoros markolók

Az egy emelőműves daruhoz az egyköteles markoló helyett a gyakorlatban jobban bevált motoros markolókat alkalmazzák, amelynél a markoló zárását és nyitását a markolóba beépített motor végzi. A peremes motor zárt fogaskerékszekrényben elhelyezett áttételeken át hajtja a jobb és bal menettel ellátott lassú forgású tengelyt. A menetes tengely forgatásakor a belső menettel ellátott csövekhez csuklóval kapcsolódó markolólapátok nyílnak vagy záródnak. Az áram hozzávezetés az emelőmű kötéldobjáról hajtott kábeldobról lefüggő hajlékony kábellel történik.

A motoros markolók egyes változatainál, ha lapátok mozgása nagy erőt igényel, hidraulikusan hajtást alkalmazunk. A markolólapátok mozgását a markolóba beépített kettősműködésű munkahenger végzi.

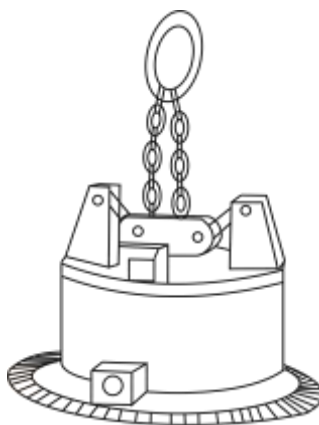
A motoros markoló teljesítőképessége nagyobb, mint az egyköteles markolóé. A zárás és nyitás működtetése független az emelési magasságtól, így tetszés szerinti

helyen üríthető, azonban tömege nagy, és a kétköteles markoló teljesítőképességét nem éri el.

3.1.8. Vákuumos emelők

Vas és alumínium lemezek, síküvegek, műanyagok és faipari termékek sikeresen mozgathatók vákuumos emelők segítségével. A legtöbb kereskedelemben kapható vákuumos emelőt nem porózus anyagokhoz tervezték. Ezek az eszközök a teher emelésére az atmoszférikus nyomás erejét használják fel olyan módon, hogy a teherrel érintkező emelőfej vákuumkamrájában az atmoszférikus nyomásnál kisebb nyomást létesítünk. Az emelőfejben a vákuumot a fejbe épített mechanikus dugattyús mechanizmussal, injektorral, motoros forgórendszerű vákuumfúvóval vagy vákuumszivattyúval, battériás vákuumszivattyúval és külső vákuum hálózattal hozhatjuk létre.

A mechanikus vákuumos emelő (3.1.17. ábra) közvetlen kapcsolódik a daruhoz, illetve az emelendő teherhez. A műgumi (pl. neoprén) anyagú rugalmas tömítőgyűrű szigeteli a vákuumkamrát a külső tértől. Egy emelőfej emelőképessége maximálisan 2300 kg. Nagyobb terhek emelésére ezért egyidejűleg több emelőfejet alkalmaznak, amelyek speciális emelőhídra szereltek. Gyakran a vákuumos emelőfejbe vákuummérőt építenek, amely tájékoztatja a gépkezelőt arról, hogy a vákuum elegendő-e a teher emeléséhez.



3.1.17 ábra: Vákuumos emelőfej

3.1.1. táblázat

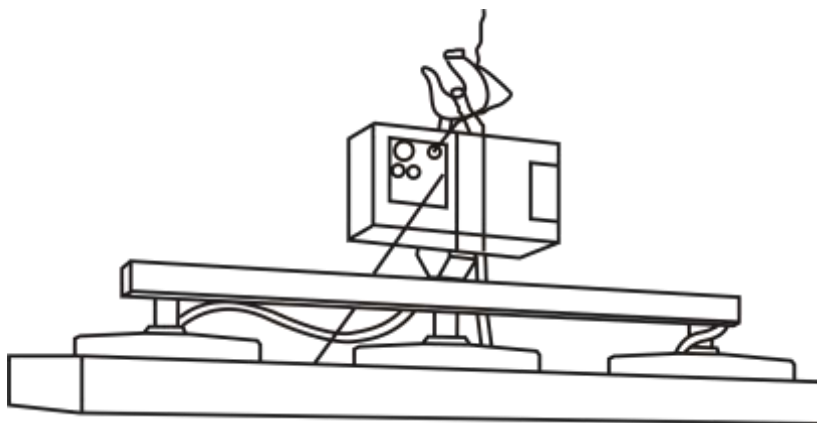
Tipikus vákuumos emelő kialakítás síklapok és lemezek emelésére

Emelőfejek elrendezése	Maximális emelőkapacitás [kg]	Maximális lemezméret [m]
Két fej egy sorban	1400	1,8 x 7,3
Három fej egy sorban	2200	1,8 x 9,1
Négy fej egy sorban	3700	1,8 x 12,2
Négy fej két sorban	3700	3,6 x 9,1
Nyolc fej két sorban	7400	3,6 x 12,2

A táblázatban közölt elrendezés, kapacitás és lemezméret adatok csak tájékoztató jellegűek. Egyedi alkalmazások esetén célszerű a gyártó képviselőjével konzultálni.

A motorral hajtott és a **battériás vákuumos emelőfejek** a mechanikus dugattyús emelőkhöz hasonlóan működnek azzal a különbséggel, hogy a vákuumkamrában az evakuációt szivattyú vagy külső légvezeték hozza létre. Ettől eltérően az **injektoros fejbe** kívülről vezetünk sűrített levegőt, és a Venturi elven működő injektor szívja ki a vákuumkamrából a levegőt. A 3.1.18. ábra egy motoros vákuumszivattyúval működtetett emelőt szemléltet. A három, sorosan elhelyezett fej relatíve

hosszú lemezek mozgását teszi lehetővé. Az emelő központi rendszerébe épített vákuumtartály áramszünet és szivattyú meghibásodás esetén is biztonságossá teszi a működést. A battériás vákuumos emelőkhöz nem kapcsolódik elektromos vezetékek, ami rugalmassá teszi a működésüket.



3.1.18. ábra: Sorosan elrendezett, vákuumszivattyúval működtetett vákuumos emelő

A teher merevsége fontos szempont, amikor azokat vákuumos emelővel mozgatjuk. A rugalmas, hajlékony síklapok könnyen elválhatnak a megfogó fejtől. A megfelelő számú és egymástól megfelelő távolságra elhelyezett fejek azonban biztonságossá teszik a nagyméretű lemezek mozgását is. Biztonsági okokból a vákuumos emelők esetében fokozottan igaz az előírás, ami szerint a teher alatt tartózkodni tilos.

A vákuum által kifejtendő tartóerő számítása

Az emelőfejben a teher emeléséhez szükséges, a vákuum által kifejtett elméleti tartóerő (F_T) a teher tömegétől (m), a teher gyorsulásától (a), a mozgítás irányától, az emelőfej és a teher közötti súrlódási tényezőtől (μ) és az emelőfej helyzetétől függ. A lehetséges helyzeteket a 3.1.2. táblázat foglalja össze.

A súrlódási tényező értéke olajos felületre 0,1, nedves felületre 0,2... 0,3, száraz fára, fémre, üvegre, kőre, stb. 0,5, durva felületre 0,6.

Az elméleti tartóerőből az emelőfej kiválasztásához szükséges tényleges tartóerő:

$$F_{TV} = kF_T,$$

ahol a k biztonsági tényező értéke legalább 2, azonban inhomogén vagy porózus anyagoknál, durva felületeknél még nagyobb.

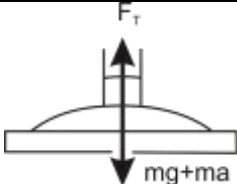
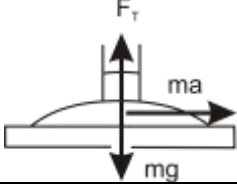
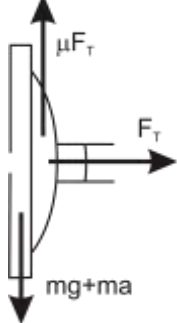
Több emelőfej alkalmazása esetén az egy emelőfejre eső erő F_{TV}/n , ahol n a fejek száma.

A tartóerő és a teher felületének (felületi minőségének) ismeretében az elemeket tartalmazó katalógusokból kiválasztható az adott feladatra alkalmas emelőfej. A kiválasztás magában foglalja a fej anyagának, méretének, a csővezetékeknek, a

vákuum elosztónak, a vákuum generátornak, a manométernek, a szelepeknek és a vákuum kapcsolónak a megválasztását.

3.1.2. táblázat

Az elméleti tartóerő számítása

Elrendezés	Elvi ábra	Elméleti tartóerő
Emelőfej vízszintes, mozgítás függőleges		A függőleges irányú erők egyensúlyából: $F_T = m(g+a)$
Emelőfej vízszintes, mozgítás vízszintes		A vízszintes irányú erők egyensúlyából: $\mu (F_T - mg) = ma$ $F_T = m(g + \frac{a}{\mu})$
Emelőfej függőleges, mozgítás függőleges		A függőleges irányú erők egyensúlyából: $\mu F_T = m(g+a)$ $F_T = \frac{m}{\mu} (g + a)$

3.2. DARUK

Daruknak nevezzük az olyan emelő- és szállítóberendezéseket, amelyek a vonóelemen függő terhet a függőleges irányú emelésén és süllyesztésén kívül, vízszintesen két irányban, rendszerint egymásra merőlegesen is képesek mozgatni [24].

Jellegzetességük a **szakaszos működés**. A megfogó szerkezet a feladó ponton felveszi a terhet, majd azzal együtt mozogva áthelyeződik a leadási helyre, ahol a terhet leadja. Ezt követően üresen visszatér a kiindulási pontra, a teherfelvétel helyére. A munkafolyamatban tehát ciklikusan változnak az anyagmozgatási és az üres szakaszok.

A **daruk jellemző adatai** a teherbírás, a fesztáv vagy gémkinyúlás és a különféle (teheremelési, macskahaladási, híshaladási, gémforgatási stb.) sebességek. A **daruk csoportosítása** meglehetősen nehéz, mert az általuk megoldott sokféle feladatnak megfelelően változatos kialakításúak, és még az alapfajták között is elmosódnak a határvonalak. Elterjedt a daruk alapvető szerkezeti jellegzetességeit és az üzemeltetési módjukat tekintő csoportosítás. Eszerint vannak: futó- és forgódaruk. A **futódaruk** közé az *egyszerű futó-*, a *bak-*, a *hid-* és *kábeldaruk*, a **forgódaruk** közé a *forgóoszlopos*, az *állóoszlopos*, a *forgótárcsás daruk* tartoznak. A járművekre szerelt daruk (autó-, vasúti úszódaru) és a kikötői portáldaruk általában forgótárcsás rendszerűek [71].

3.2.1. A daruk szerkezeti részei

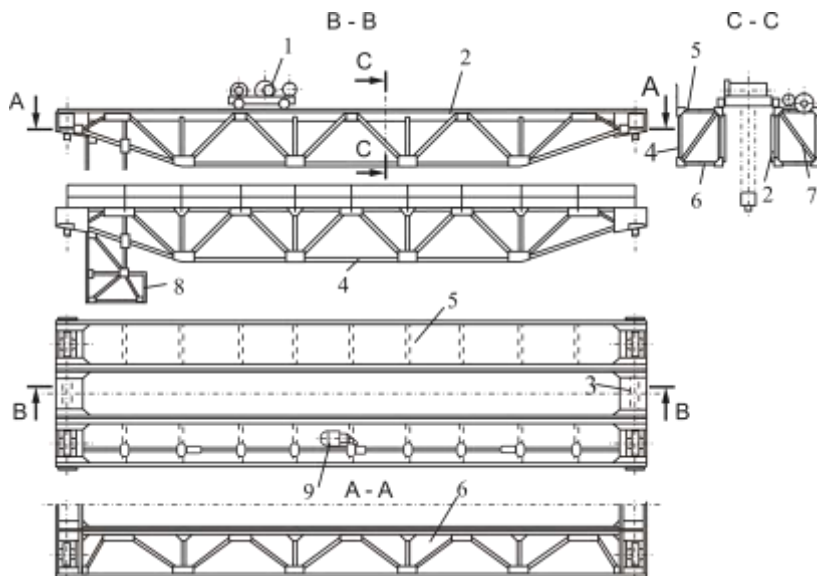
A **darupálya** négyszög vagy a vasúti sínhez hasonló keresztmetszetű, de annál erősebb darusínből, valamint magas pálya esetén a sint alátámasztó acél vagy vasbeton szerkezetű tartógerendából és oszlopokból, terepszintű pálya esetén pedig hosszanti vasbeton-aljból áll. Vonalvezetése egyenes vagy íves, és általában vízszintes.

A **daruhíd** a daru munkaterületét áthidaló acélszerkezet, amelynek egy vagy két főtartója a futómacska pályáját hordozza. A daruhíd két végén kerékszekrények vagy alátámasztások (darulábak) helyezkednek el. Az egy-főtartós daruhidakon a futómacska a tartó alsó övéen változtatja a helyét (3.2.2/a ábra). A két-főtartós daruhidakon a futómacska emelőhorga a két főtartó között mozog (3.2.1. ábra, C-C metszet). A főtartók a fesztávolságtól függően lemez- vagy rácsszerkezetűek lehetnek.

A futómacska a daruhídon mozgó, az **emelődobot** (emelőművet) hordozó kocsiszerkezet (3.2.2. ábra). Mozgatóműve villamos motorból, rugalmas tengelykapcsolóból, homlok-fogaskerekes hajtóműből és fékből áll.

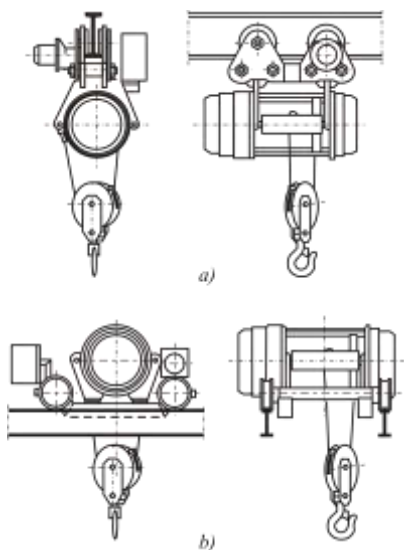
A villamos emelődobok tulajdonképpen kötél- vagy láncsigasorok, amelyek a villamosmotorral zárt egységet képeznek. A láncok teherbírása (maximálisan 1 t), emelési magassága (maximálisan 3 m) és emelési sebessége (maximálisan 20 m/min) kisebb, mint a kötéle. A kötelek 16 t teherbírásig, 80 m emelési magasságig és 40 m/min emelési sebességig alkalmazhatók.

Leggyakrabban az egy-főtartós függesztett villamos emelődobot használják (3.2.2/a ábra). A haladómű kézi mozgatását láncsal, a motoros mozgatását fékkel ellátott villamosmotorral végzik.



3.2.1. ábra: Két főtartós daruhide futómacskával

1 futómacska, 2 főtartó, 3 keresztartó, 4 hosszartó 5, felső szélrácsozás, 6 alsó szélrácsozás, 7 keresztötés, 8 kezelőfülke, 9 daruhide mozgató szerkezet



3.2.2. ábra: Futómacskára szerelt villamos emelődob

a) egy-főtartós futómacska, b) két-főtartós futómacska

Két-főtartós futómacskát (3.2.2/b ábra) általában két-főtartós futódaruval (3.2.1. ábra) együtt alkalmazzák. A haladómű láncsal vagy villamos motorral hajtható. Az utóbbi esetben gyakori megoldás a súrlódó hajtás átvitel, ilyenkor a hajtómű lassú tengelye vagy közvetlenül kapcsolódik a futómacska futókerekének tengelyvégeéhez, vagy ékelt fogaskeréken keresztül hajtja a futókerek fogaskoszorúját. Ha igény a kicsi szerkezeti magasság és tömeg, akkor acélsodrony-köteles vontatást is alkalmaznak. A futómacska működését rugós pályavég-ütközők, végállás-kapcsolók és túlterhelés-gátlók teszik biztonságossá.

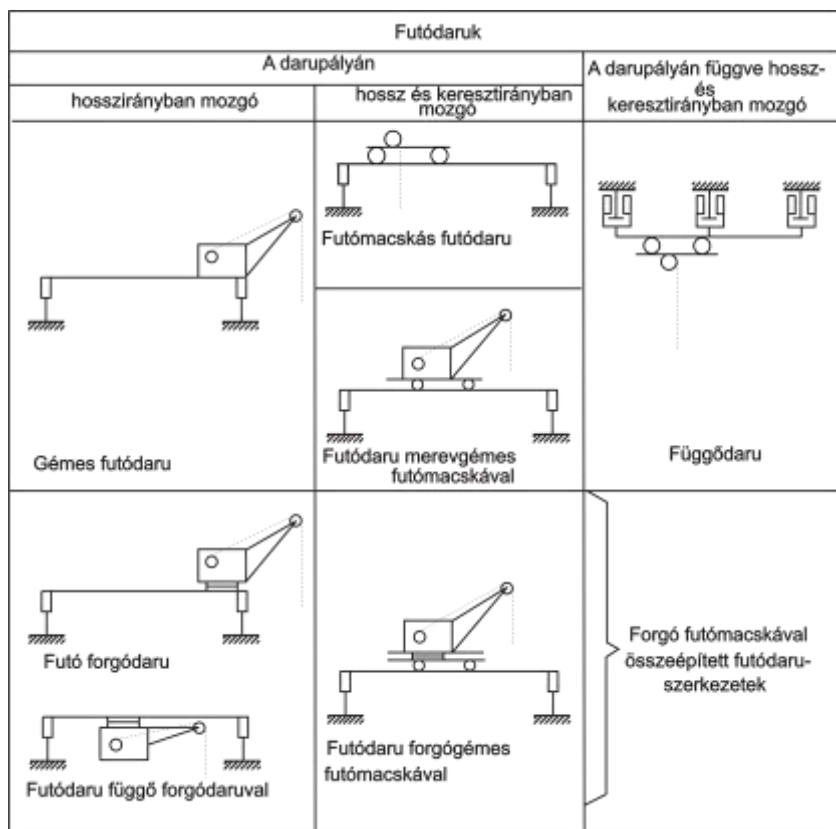
Közismert a közepes és nagyobb teherbírási futómacskákba épített két-emelőműves szerkezet. Az egyik emelőmű (főemelő-mű) a nagyobb terheket kis sebességgel, a másik (segédemelő-mű) a kisebb tömegű terheket nagy sebességgel emeli.

A két hasonló szerkezeti kialakítású emelőművet külön-külön hajtják meg, így egymástól függetlenül működtethetők.

A **darugém** a forgódarú rácsos cső- vagy zárt szekrénytartós, acélszerkezetű merev vagy billenthető eleme. Általa a teher a daruoszlopától (forgástengelyétől) nagyobb távolságban is emelhető. Kötélcsigasorral, fogaslécce, csavarorsóval vagy hidraulikus munkahengerrel mozgatható.

A billenthető darugém vízszintes tengely körül függőleges síkban mozgatható és ezáltal a teher távolsága a darú forgástengelyétől változtatható. A billenthető gém saját tömegét ellensúllyal egyenlítik ki. A teher tömegközéppontjának billentés közbeni vízszintes mozgását különleges kötélvezetéssel vagy különleges (egy vagy kétgémes) gémrendszerekkel érik el.

A hajtómű álló elrendezésű, egylépcsős homlokfogaskerekes-hajtómű. A vízszintes tengelyek egymás felett helyezkednek el.



3.2.3. ábra: Futódaruk

3.2.2. Egyszerű futódaruk

Az egyszerű futódaru fej felett elhelyezett, darupályán mozgó hídszerkezet. A különböző futódaru változatokat a 3.2.3. ábra szemlélteti. Fő részeik: darupálya sínjein gördülő egy vagy két főtartós daruhíd, amelynek mozgási irányára merőle-

gesen gördül a **futómacska**. A terhet a futómacskára szerelt **emelőmű** vagy **me-revgém** emeli [71].

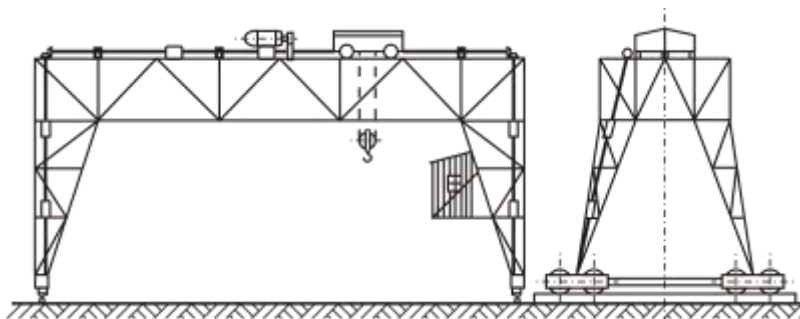
A **főtartók** rácsos vagy lemez szerkezetűek, ami lehet hengerelt szelvény, több szelvényből hegesztett vagy szekrénytartó. A szekrénytartós daruhíd esetén egy- vagy két-főtartós rendszereket különböztetünk meg. Az előbbieket 40 m fesztávig és 100 t terhelésig lehet használni.

A **daruhíd** a kerékszekrény-tartóba épített futókerekeken gördül. A futókerekek lehetnek egyedi hajtásúak, vagy a híd közepén elhelyezett motor - tengelykapcsoló - hajtómű egységről közlőműtengellyel hajtott.

A **daru kezelése** helyhez kötött vagy mozgó kezelőfülkéből, padlószintről vagy távvezérléssel végezhető.

3.2.3. Bakdaruk (portáldaruk)

A bakdaruk terepszinten elhelyezett darupályán gördülő, lábakkal alátámasztott futódaruk. A hídon itt is futómacska mozog. A fesztávolságuk az egyszerű futódarukéval megegyező. Általában szabadtéren üzemelnek, ennek megfelelően védetek az időjárásal szemben. Ezért a bakdarukat gyakran portáldaruknak is nevezik [71].



3.2.4. ábra: Bakdaru

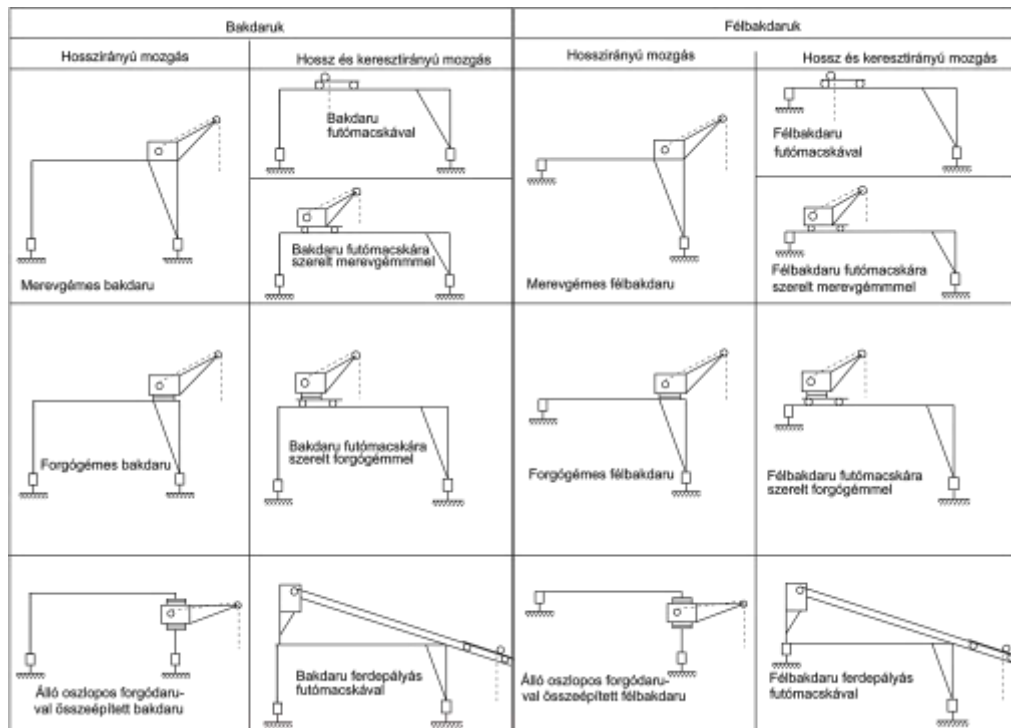
A kívánalmaknak megfelelően a bakdaruk egy vagy két konzollal is építhetők. Ha építmény mellett üzemelnek, akkor az egyik láb elhagyható, tekintve, hogy ilyenkor az egyik darupálya-sín a falra helyezhető (félbakdaru). A bakdaruk hajtási rendszerével szemben fontos követelmény a kétoldali lábak pontos együtt futása.

Futómacskáik általában azonosak a futódaruknál ismertetettekkel. A mozgásokat rendszerint a daruhídra függesztett, esetleg a futómacskával együtt mozgó vezetőfülkéből, vagy a terepszintről vezérlik. A bakdaruk különböző változatait a 3.2.5. ábra szemlélteti.

Acélszerkezetük rácsos vagy tömör gerinces kivitelben készül. Maga a hídszerkezet a rakodás ideje alatt nem mozog. Egyes esetekben a rakodási munkák könnyítésére a futómacskák pályáját konzolosan alakítják ki, ami lehet felhajtható. Más esetekben a futómacskára billenthető forgó gémet szerelnek.

Többnyire sínpályához kötött, de kis és közepes terheléseknél készülhetnek kötött pálya nélkül is. Ebben az esetben a futókerekeket gumiabroncsos kerekek helyet-

tesítik. Természetesen ilyenkor megfelelő szilárdságú burkolatról kell gondoskodni. Az utóbbi időben a konténeres szállítások elterjedése ugrásszerűen növelte a kötetlen pályás bakdaru iránti igényt.



3.2.5. ábra: Bakdaruk és félbakdaruk (portáldaruk)

3.2.4. Híddaruk

A híddaruk a bakdarukhoz hasonló szerkezetű, de azoknál nagyobb méretű és teljesítményű daruk. A híddarukat általában tárolóterületek felett (pályaudvarok, kikötők átrakóhelyei, szabadtéri raktárak, hajógyarak) alkalmazzák ömlesztett és darabárúk továbbítására és rakodására. A szokásos teherbírásuk: 3...300 t, fesztávolságuk: 30...120 m, sebességeik: emelés 20...100 m/min, macskamozgatás 60...300 m/min, hídmozgatás maximum 60 m/min.

3.2.5. Gémes- és forgódaruk

Azt a darut, amely a terhet függőleges irányú főmozgáson kívül függőleges tengely körüli körív mentén is szállítja, forgódarunak nevezzük. A körív sugara a forgódaru kinyúlása. Amíg a futódarut főleg zárt terek, műhelyek kiszolgálására használják, addig a forgódarukat szabad téren alkalmazzák, pl. kikötőkben, gyárudvaron, építkezéseken stb.

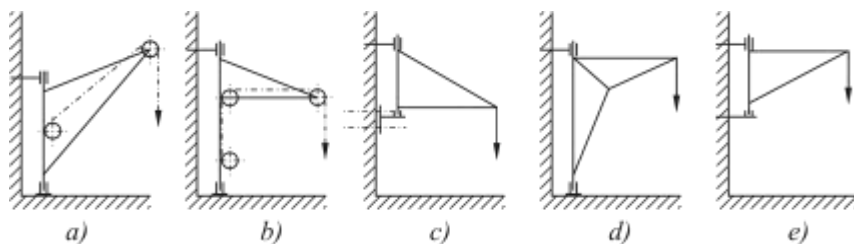
A gémes- és forgódaruk abban különböznek egymástól, hogy az utóbbinál a gém forgatható. Készülhetnek állandó vagy változó gémkinyúlással. Az egyes darutí-

pusokat vázlatosan a 3.2.6. ábra szemlélteti. Lehetséges a helyhez kötött, mozgatható, illetve pályához kötött és pályához nem kötött felosztás is. A helyhez kötött forgódarukat általában csak kis terhekhez alkalmazzák pl. műhelyekben, rakodórámpákon stb. A forgórész megtámasztása szerint megkülönböztetünk álló- és forgóoszlopos forgódarut, valamint forgótárcsás darut.

Gémes és forgódaruk				
	Gémes daruk	Forgó daruk	Toronydaruk	Derrick-daruk
Helyhez kötött				
Sínen mozgó				
Járműves				
Pályához nem kötött	Vontatható			
	Autódaru			
	Láncfalpas			

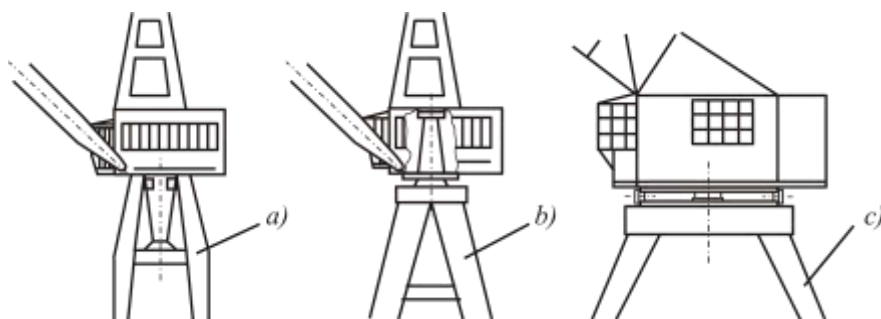
3.2.6. ábra: Különböző kialakítású gémes és forgódaruk

A forgódaruk számtalan változata közül a legegyszerűbb szerkezetű forgódaru az ún. **fali forgódaru** (3.2.7. ábra), amely forgatható gémszerkezetből és emelőműből áll. Olyan helyeken alkalmazható, ahol a csapágyakat falon lehet elhelyezni. Mivel az épületfal nagyobb vízszintes irányú erő felvételére nem alkalmas, a fali forgódaru kb. 100 kNm tehernyomatéig és $Q=1...3$ t teherbírásig használható. Gyakran kézi hajtással készül. Öntödékben használják a változtatható kinyúlású fali forgódarut, amelynek az emelőműve a gémen haladó futómáscskába van beépítve. Működési területe a futómáscska két véghelyezete közötti távolsággal meghatározott körszegmens.



3.2.7. ábra: Különböző kialakítású fali forgódaruk

A **forgóoszlopos forgódarunál** a gémszerkezet az oszlophoz billenthetően vagy mereven rögzített (3.2.8/a. ábra). A forgóoszlop lábát radiális és axiális erő felvételét biztosító csapágyban kell ágyazni. A radiális terhelést felvevő nyakcsapágy többnyire a talpcsapággal egybeépítve az oszlop alsó felén helyezkedik el. A **golyóskoszorús forgóoszlopos daruk** forgó- és az állórész között különleges kialakítású, nagyméretű gördülőcsapágy teremti meg az elfordulás lehetőségét. Ez a kialakítás, összehasonlításban más forgó kapcsolatokkal, egyszerű megoldással tűnik ki. További előnye az egyszerű javítás. A golyóskoszorú átmérője a terheléstől függ. Az axiális erő a daru felső forgó részének tömegéből adódik, s mivel ennek tömegközéppontja a golyóskoszorún kívül helyezkedik el, a csapágyat nyomtaték is terheli.



3.2.8. ábra: Forgódaru típusok

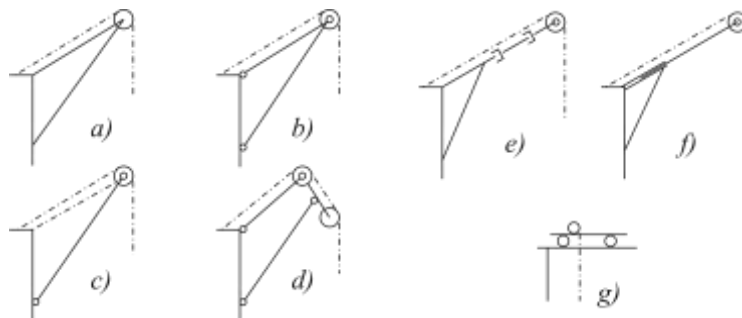
a) forgóoszlopos, b) állóoszlopos, c) forgótárcsás

Míg a forgóoszlopos forgódaru a felső csapágy megfogása miatt általában korlátozott forgású, addig az **állóoszlopos forgódaru** akadály nélkül körbe forgatható (3.2.8/b ábra). A forgórész betonban ágyazott vagy az alépítményben rögzített oszlop körül forog. Az állóoszlophoz a forgórész felül egy talp- és nyakcsapággal kapcsolódik. Az oszlop hajlításának csökkentése érdekében a forgórészen ellensúlyt helyeznek el. Az oszlopot kihajlásra és hajlításra kell méretezni.

A **forgótárcsás forgódaru** felső mozgó részét körsínen gördülő, perem nélküli futókerekek támasztják alá és az erők így adódnak át a daru alsó részére (3.2.8/c ábra). A daru főbb részei: a gép, a gépház, az emelő- és forgatómű, a királycsap, a futókerekek és az ellensúly. A központos forgást az ún. királycsap biztosítja, amely billenőnyomaték felvételére nem alkalmas, ezért a forgórész tömegközéppontja terhelt és terheletlen állapotban egyaránt a körsínen belül van. Ennek következménye, hogy a körsín átmérője a golyóskoszorúnál jóval nagyobb, ami robusztus alépítményt eredményez. E forgódarutípust rendszerint gépi hajtással ki-

kötőkben, ipartelepeken főleg rakodási munkákra, kb. 30 t teherbírásig és 5 GNm terhelőnyomatékig használják.

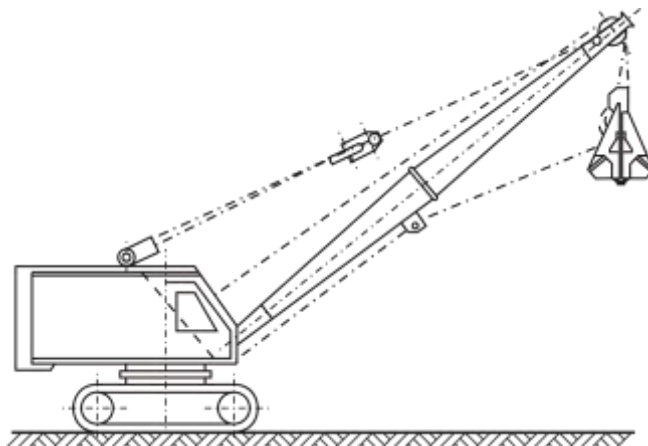
A gémes és a forgódaruk gémszerkezete (3.2.9. ábra) lehet **fix gém**: a gémkinyúlás nem változtatható (3.2.9/a ábra); **állítható gém**: a gémkinyúlás csak terhelés nélkül változtatható, a gém hossza állandó (3.2.9/b ábra); **billenthető gém**: a gémkinyúlás terhelés alatt változtatható, a gém hossza állandó (3.2.9/c ábra), a teher útja közel vízszintes a 3.2.9/d változatnál; **hosszabbítható gém**: üzemén kívüli helyzetben az egyes elemek cseréjével a gém hosszabbítható (3.2.9/e ábra); **teleszkópos gém**: a gém hossza üzem közben is változtatható (3.2.9/f ábra); **futómacskás gém**: fix gémre szerelt futómacska (3.2.9/g ábra).



3.2.9. ábra: Gémszerkezetek

3.2.6. Járműre szerelt daruk

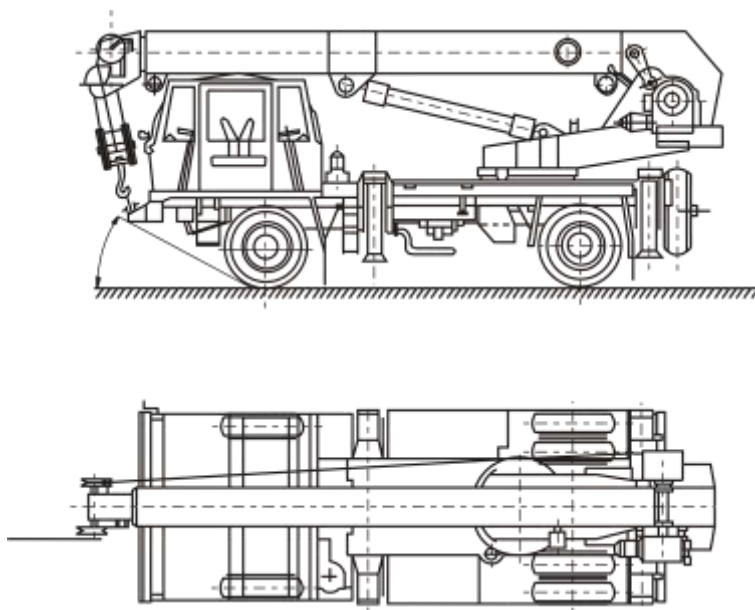
A járműre szerelt daruk alépítményének egyedüli rendeltetése a daru mobilitásának biztosítása, ami jelentősen bővíti az alkalmazási lehetőségeiket. A közúti, vasúti és a vízi-járművekre szerelt mozgékony daruk különböző változatait sok helyen használják. Megjegyezzük a járműre szerelt daru nem azonos a kis teherbírású (~1 t) járműdaruval, amelynek rendeltetése annak a tehergépjárműnek a megakadása, vagy üritése amelyre felszerelték. Ezek általában hidraulikus működtetésűek, és energiaforrásuk a gépjármű motorja.



3.2.10. ábra: Markolóval szerelt lánctalpas daru

A lánctalpas daruk alapgépe az egyetemes forgókotró, amely tulajdonképpen rakodógép. Az alapgépre szerelhető munkaeszközök egyike a darugém, amely horoggal és markolóval is üzemeltető (3.2.10. ábra). Bármely helyzetben alátámasztás nélkül használhatók, hátrányuk viszont, hogy sebességük kicsi.

Az autódaruk billenőgémes daruszerkezetét sorozatban gyártott tehergépkocsi-alvázra szerelik (3.2.11. ábra). Stabilitási okok miatt, a forgórész terhelhetősége a gépkocsi hossz tengelye irányában sokkal nagyobb, mint arra merőlegesen. Az alváz mindkét oldalára ezért felhajtható vagy felemelhető kitémasztó lábat (tápcancsot) szerelnek. A lábakat csavarorsóval, vagy hidraulikus hengerrel szorítják a talajra, így a gumibroncsokat is tehermentesítik. Ezzel azonban az autódaru átmenetileg elveszti mozgékonyágát, stabil daruvá válik. Az autódaru a tehergépkocsi motorjával, vagy segédmotorral hajtott. Az erőátvitel lehet mechanikus, hidraulikus vagy elektromos.



3.2.11. ábra: Autódaru

3.2.7. Daruk acélszerkezete és terhelése

Daruk acélszerkezetét az MSZ 9749 szerint kell tervezni. A méretezés lényegében a mértékadó és a megengedett feszültségek összehasonlítását jelenti. A mértékadó feszültségek a mértékadó terhelésektől és a szóban forgó elem geometriai méreteiből számíthatók.

A mértékadó terhelések és feszültségek meghatározása

a) A daruk csoportba sorolása

Az **üzemi csoportszámot** a daru üzemeltetési viszonyai határozzák meg, amely a működési idő, a viszonylagos terhelés és a dinamikus jelleg függvénye. E három jellemzőt külön-külön, 1, 2 vagy 3 ponttal (ún. **összehasonlító számmal**) kell értékelni a következők szerint:

Működési idő (évi munkaóra)	Összehasonlító szám
< 1000	1
1000...2500	2
> 2500	3

Viszonylagos terhelés (átlagos terhelés a teherbírás %-ában)	Összehasonlító szám
< 30	1
30...60	2
> 60	3

Dinamikus jelleg (dinamikus igénybevétel nagysága és gyakorisága)	Összehasonlító szám
gyenge	1
közepes	2
erős	3

3.2.1. táblázat

A daruk csoportba sorolása

Összehasonlító számok összege	Üzemi csoportszám	Megjegyzés
2	0	Dinamikus terhelés nélkül (kézi hajtású daruk)
3 vagy 4	I	
5	II	
6 vagy 7	III	
8 vagy 9	IV	

A háromféle összehasonlító számot összegezzük, majd az összeg alapján az üzemi csoportszámot a 3.2.1. táblázat segítségével állapítjuk meg. Ezt követően a csoportbeosztást úgy vesszük figyelembe, hogy a terheléseket a φ csoporttényezővel (3.2.2. táblázat) szorozzuk.

3.2.2. táblázat

A φ csoporttényező értékei

	Csoportszám			
	I	II	II	IV
φ	1	1,05	1,1	1,2

b) Terhelések és erőhatások

A mértékadó terheléseket általában a következő végterhelésekből kell meghatározni:

Q_a állandó teher, önsúly jellegű;

Q_e emelt teher, az emelő kötélén függő összes terhelés.

Dinamikus terhelést (gyorsítási ellenállás emeléskor), úgy vesszük figyelembe, hogy a Q_e -t ψ dinamikus tényezővel megszorozzuk.

A dinamikus tényező értéke:

$$\psi = 1 + \xi v_e,$$

ahol:

- v_e az emelési sebesség, [m/min],
 ξ tapasztalati tényező, futódarukra és gémes daruk gémjére 0,01, gémes daruk egyéb részeire 0,005.

A dinamikus tényező minimális értéke az I és II csoportszámú daruknál 1,15, a III és IV csoportszámúaknál 1,25.

A Q_h vízszintes irányú tömegerők a haladó- és a forgómozgások közbeni gyorsulásból, lassulásból, oldalazásból, beékelődésből és ütközésből keletkeznek. Az indítási tömegerők megállapításához 1 m/s sebességig 0,2 m/s², nagyobb sebességeknél 0,3 m/s² gyorsulással kell számolni.

A szélterhelés lehet üzemi (Q_{sz}) vagy üzemén kívüli (Q_{szv}). Általában a

$$Q_{sz} = c q A \text{ [N]},$$

ahol:

- c a szerkezet alakjától függő aerodinamikai tényező, értéke 0,7 ... 1,6 (MSZ 9749),
 q torlónyomás, [N/m²], értékei a hazai viszonyokra a 3.2.3. táblázat szerintiek,
 A a szélnek kitett felület, [m²].

3.2.3. táblázat

A szélterhelés okozta torlónyomás (q) értékei

Terep feletti magasság [m]	q [N/m ²]	
	Üzemén kívül	Üzem közben
0...20	800	250
20...100	1100	
> 100	1300	

Több egymást fedő tartó esetén a fedett tartó szélfelületét az MSZ 9749 szerint kell megállapítani.

Egyéb terhelések. A hőteherből és a hőhatásból származó igénybevételeket daruknál csak kivételes esetekben kell figyelembe venni.

c) Terhelési esetek

A daruszerkezetekben keletkező legnagyobb feszültségeket a következő terhelési esetekre kell kiszámítani:

I. terhelési eset (főterhelés):

$$Q_t = \varphi(Q_a + \psi Q_e + Q_{ht})$$

Q_{ht} a vízszintes mozgásból származó tömegerők közül az egyidejűleg fellépő két legnagyobb erő összege, kivéve a hirtelen fékezésből, oldalazásból, beékelődésből és ütközésből származó erőket.

II. terhelési eset (összes terhelés):

$$Q_{\sigma} = \varphi(Q_a + \psi Q_e + Q_{h\sigma})$$

$Q_{h\ddot{o}}$ azonos Q_{ht} -vel, de a hirtelen fékezésből adódó tömegeroőt is tartalmazza, vagy $Q_{h\ddot{o}}=Q_0$, amely az oldalazásból származó tömegeroő.

III. terhelési eset (rendkívüli terhelés):

$$Q_{r1}=Q_a+Q_e+Q_b \text{ vagy}$$

$$Q_{r2}=Q_a+Q_e+Q_{\ddot{u}}, \text{ vagy}$$

$$Q_{r3}=Q_a+Q_{szv}$$

Q_b beékelődésből származó tömegeroő,

$Q_{\ddot{u}}$ ütközésből származó tömegeroő.

d) Feszültségek vizsgálata

A három terhelési eset szerinti mértékadó terhelések az igénybevétel jellege szerint számíthatók. Kéttengelyű feszültségi állapot esetén az egyenértékű feszültség:

$$\sigma_{\ddot{o}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

σ_x az x irányú, felületre merőleges feszültség,

σ_y az y irányú, felületre merőleges feszültség,

τ_{xy} az x - y síkban fellépő nyírófeszültség.

A számított feszültség nem haladhatja meg a megengedett feszültséget. A megengedett feszültségek értékeit az anyagminőség, az igénybevételi mód és a terhelési eset függvényében a szabvány tartalmazza.

e) Egytengelyű feszültségek számítása

Húzó, hajlító, nyíró és csavaró igénybevétel esetén a feszültségek az elemi szilárdságtanból ismert összefüggésekkel számíthatók. Követelmény: $\sigma \leq \sigma_{meg}$ és $\tau \leq \tau_{meg}$.

Húzás:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ [N/m}^2\text{]},$$

ahol:

F a mértékadó húzóerő, [N],

A a hasznos keresztmetszet, [m²].

Hajlítás:

$$\sigma = \frac{M}{K} \text{ [N/m}^2\text{]},$$

ahol:

M a mértékadó hajlítónyomaték, [Nm],

K a keresztmetszeti tényező [m³].

Nyírás:

$$\tau = \frac{F}{A} \text{ [N/m}^2\text{]},$$

ahol:

F a mértékadó nyíróerő, [N],

A a nyírt keresztmetszet, [m²].

Csavarás:

$$\tau = \frac{M_{cs}}{K_p} \text{ [N/m}^2\text{]},$$

ahol:

M a mértékadó csavarónyomaték, [Nm],

K_p a poláris keresztmetszeti tényező, [m³].

A hosszú nyomott rudakat a kihajlásra kell méretezni:

$$\frac{\omega F}{A} \leq \sigma_{meg} \text{ [N/m}^2\text{]},$$

ahol:

F a mértékadó nyomóerő, [N],

A a rúd keresztmetszete, [m²],

ω a kihajlási tényező, [m²].

Az ω kihajlási tényező a λ karcsúság függvénye:

$$\lambda = \frac{l}{i_{\min}}$$

l kihajlási hossz, [m],

$i_{\min}$ a keresztmetszet legkisebb inerciasugara, [m].

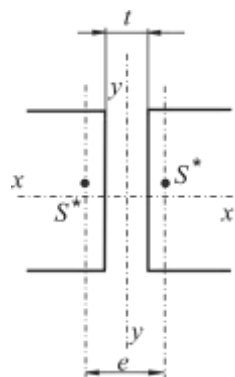
A gyakorlatban $\lambda \leq 250$, de lehetőleg $\lambda < 150$ legyen.

Osztott szelvényű nyomott rudak esetén háromféle kihajlási eset fordulhat elő (3.2.12. ábra) :

az $x-x$ anyagtengely körül,

az $y-y$ szabad tengely körül,

az egyik elem a saját súlyponti tengelye körül.



3.2.12. ábra: Osztott szelvényű nyomott rúd

A karcsúság számítása az első esetben: $\lambda_x = l_x/i_x$, a harmadik esetben $\lambda_y = l_y/i_y$ ahol i_x és i_y egyetlen szelvény inerciasugara az x , illetve az y tengelyre. A második esetben a λ_i az ún. ideális karcsúság a mérvadó:

$$\lambda_i = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_z^2},$$

ahol:

λ_y az összetett szelvényű rúd karcsúsága az y tengelyre,

m az összetett szelvényen belüli rudak száma,

λ_z az egy rúdelem karcsúsága $i_{\min}$ figyelembevételével $\lambda_z \leq 50$ legyen.

Futódaruk főbb tartószerkezeteinek terhelése

A daruk legfontosabb tartói a mozgó terhelést közvetlenül hordozó ún. főtartók. Ezek lehetnek gerinclemezes, rácsos vagy szekrényes kivitelűek. Általában statikailag határozott szerkezetek. Anyaguk rendszerint 370 MPa, ritkábban 520 MPa szakítószilárdságú acél.

a) Gerinclemezes tartók

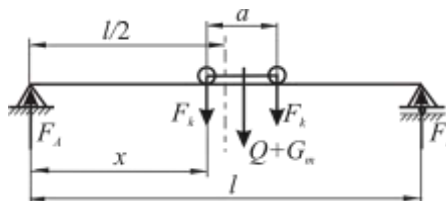
A **főtartó mértékadó hajlító terhelése** a saját súlyból, ha a terhelést egyenletesen megoszlónak tekintjük:

$$M_{\sigma \max} = \frac{p_f l^2}{8} = \frac{G_f l}{8} \text{ [Nm]}$$

ahol: p_f az egyenletesen megoszló teher, [kN],

G_f a főtartóra saját súlya, [N]

l a daruhíd fesztávolsága, [m].



3.2.13. ábra: A futómacska mértékadó teherállásának meghatározása

A futómacska kerékterhelései okozta mértékadó hajlítónyomaték meghatározásához a mértékadó teherállás ismerete szükséges. A kereket terhelő erő: $F_k = (Q + G_m)/2$, ahol Q a hasznos teher és G_m a futómacska saját súlya (3.2.13. ábra).

Nyomaték a B pontra:

$$F_k(l - x) + F_k(l - x - a) - F_A l = 0,$$

amelyből az A alátámasztásnál ébredő reakcióerő:

$$F_A = \frac{F_k}{l} (2l - 2x - a).$$

Nyomaték az x helyen:

$$M_x = F_A x = \frac{F_k}{l} (2lx - 2x^2 - ax)$$

A nyomaték maximális, ha

$$\frac{dM_x}{dx} = \frac{F_k}{l} (2l - 4x - a) = 0,$$

amelyből a maximális nyomaték helye, azaz a mértékadó teherállás:

$$x = \frac{l}{2} - \frac{a}{4}.$$

Helyettesítés után a kerékterhelés okozta legnagyobb (mértékadó) hajlítónyomaték:

$$M_{K \max} = \frac{F_k}{2l} \left(l - \frac{a}{2} \right)^2 \text{ [Nm]},$$

ahol:

F_k a kerékterhelés, [N]

l a daruhíd fesztávolsága, [m],

a a futómacska tengelytávolsága, [m].

A daruhíd fékezésekor fellépő legnagyobb vízszintes erőhatás okozta hajlítónyomaték, ha a súrlódási tényező $\mu = 1/7$:

$$M_{h \max} = \frac{z_f}{z} \left(Q + G_m + \frac{G_h}{2} \right) \frac{l}{28} \text{ [Nm]}$$

ahol:

z_f a daruhíd fékezett kerekeinek száma,

z a daruhíd összes kerekeinek száma,

Q a hasznos teher, [N],

G_m a futómacska saját súlya, [N],

G_h a daruhíd saját súlya, [N],

l a daruhíd fesztávolsága, [m].

A szélterhelés okozta vízszintes erőhatáshól eredő legnagyobb hajlítónyomaték:

$$M_{sz\max} = \frac{Acql}{8},$$

ahol:

- c a szerkezet alakjától függő aerodinamikai tényező, értéke 0,7...1,6 (MSZ 9749),
- q a szél torlónyomása, [N/m²], (3.2.3. táblázat),
- A a szélnek kitett felület, [m²].

A futódaruhíd melléktartóját saját súlyterhelésre és általában 3000 N mozgó terhelésre méretezik. A kerékszekrény-tartót hajlításra kell méretezni a macska szélső állásából számított terhelések alapján.

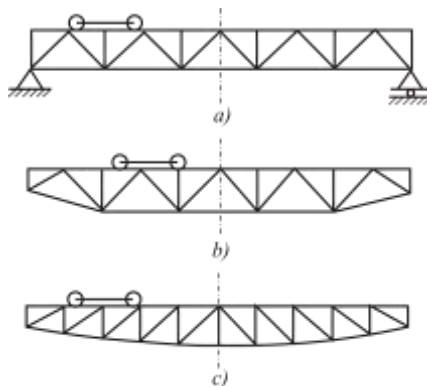
b) Rácsos tartók

Nagyobb daruhíd-fesztávolság esetén gyakran alkalmaznak kisebb saját súlyú rácsos kivitelű főtartót, de ezek előállítás és karbantartása költségesebb a gerinclemezes tartóhoz viszonyítva.

A mértékadó rúderök meghatározásakor:

A saját súly okozta terhelés számításához Cremona erőtervet kell készíteni.

A futómacska kerékterheléseiből származó rúderöket a rúderő-hatásábrák segítségével lehet meghatározni.



3.2.14. ábra: Rácsos szerkezetű daruhidak

Forgódaruk főbb szerkezeteinek terhelése

A forgórész megtámasztása szerint megkülönböztetünk álló és forgóoszlopos forgódarut, valamint tárcsás forgódarut. A forgódarukat a teherbírás és kinyúlás szorzata, a ($Q_e a$) tehernyomaték jellemzi.

a) Forgóoszlopos forgódaruk

A gém és a forgó oszlop merev egységet képez. Az oszlop felső és alsó vége csapággyakban van megtámasztva (3.2.15. ábra). Az alsó csapágyat terhelő függőleges erő:

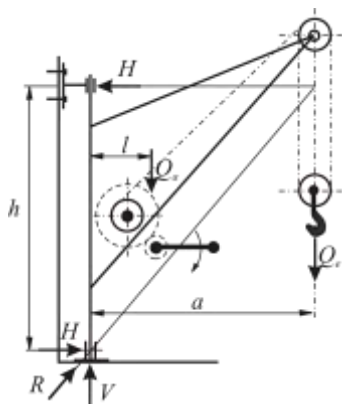
$$V = Q_a + Q_e \text{ [N]}$$

ahol:

- Q_a a darugém saját súlya, [N],
- Q_e az emelt teher súlya [N].

Az alsó és a felső csapágyat terhelő vízszintes erő:

$$H = \frac{Q_e a + Q_a l}{h} \text{ [N]}.$$



3.2.15. ábra: Forgóoszlopos forgódaru vázlata

A függőleges és vízszintes erőket felvevő alsó csapágy általában egybeépített talp- és nyakcsapágy, ami lehet siklócsapágy vagy gördülőcsapágy.

A fali forgódarukat rendszerint kézzel forgatják. Forgatáskor a csapágyakban fel lépő súrlódási ellenállás legyőzéséhez szükséges nyomaték:

$$M_f = \mu V \frac{d_k}{2} + 2\mu H \frac{d}{2}$$

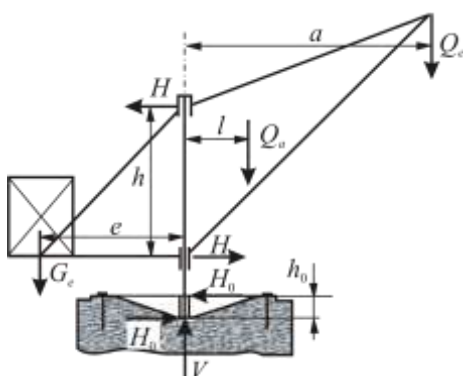
ahol:

d_k a talpcsapágy középtátmérője, [m],

d a forgóoszlop átmérője a nyakcsapágnál [m],

μ a csapsúrlódási tényező ($\mu=0,1$).

b) Állóoszlopos forgódaruk



Az állóoszlop igénybevétele nyomás és hajlítás. A 3.2.16. ábra szerinti jelölésekkel a csapágyakat terhelő erők:

$$V = Q_a + Q_e + G_e \text{ [N] és}$$

$$H = \frac{Q_e a + Q_a l - G_e e}{h}$$

ahol:

Q_a a forgórész saját súlya, [N],

Q_e az emelt teher súlya [N],

G_e az ellensúly [N].

3.2.16. ábra: Állóoszlopos forgódaru vázlata

A legnagyobb nyomaték az állóoszlop alsó részén, a nyakcsapágy és a befogás között ébred (3.2.16. ábra):

$$M_{\max} = H h = Q_e a + Q_a l - G_e e,$$

amely független az oszlop magasságától.

A hajlítónyomaték csökkentése érdekében az ellensúly nagyságát úgy választják meg, hogy az ellensúlynyomaték a tehernyomaték felét és a teljes forgórész nyomatékot egyensúlyozza ki, azaz

$$G_e e = \frac{Q_e a}{2} + Q_a l,$$

így a legnagyobb nyomaték teljes terheléskor

$$M_{\max} = \frac{Q_e a}{2},$$

és terheletlen darunál

$$M_{\max} = -\frac{Q_e a}{2}$$

A leírt ellensúly választáskor, az oszlop legnagyobb hajlító igénybevétele teherrel vagy terheletlenül ugyanakkora.

Az oszlopot ötvözetlen szerkezeti acélból kovácsolják és esztergálják. A kovácsolt oszlopot, gyártási okokból, legfeljebb 300 mm átmérőig alkalmaznak, ellen-súly nélkül 250 kNm, ellensúllyal 600 kNm tehernyomatékig. Ennél nagyobb tehernyomaték esetén az állóoszlop acéllemez tartó vagy rácsos acélszerkezet. A mértékadó feszültség:

$$\sigma_o = \frac{V}{A} + \frac{M_{\max}}{K} = \frac{V}{\frac{d^2 \pi}{4}} + \frac{M_{\max}}{\frac{d^3 \pi}{32}} \leq \sigma_{\text{meg}}.$$

ahol:

- A a nyomott keresztmetszet, [m²],
- K a keresztmetszeti tényező [m³],
- d az oszlopátmérő, [m].

A megengedett felületi nyomás acélon 80 MPa, ezért a fellépő nagy befogási erő-re, illetve feszültségre való tekintettel az oszlop rögzítésénél a megengedett felületi nyomásnak megfelelő befogási magasságot (h_0) kell alkalmazni (3.2.16. ábra):

$$H_0 = \frac{H h}{h_0}.$$

A felső nyak- és talpcsapágy egy kereszttartóba van beépítve. Kisebb terhelésnél a csapágyak lehetnek siklócsapágyak. Nagyobb terhelésnél a radiális erők felvételére golyós-, vagy görgőcsapágyat, az axiális erők felvételére pedig egy- vagy többsoros tárcsás csapágyat alkalmaznak.

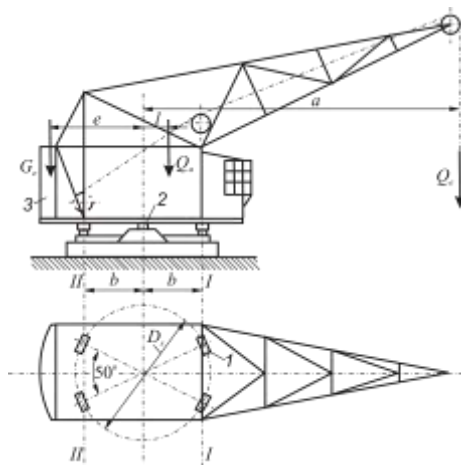
Az alsó csapágy az oszlop legnagyobb átmérőjű részén nyer elhelyezést, és a forgatási ellenállás csökkentése érdekében a forgórész rendszerint görgőkkel támaszkodik az állóoszlopra.

A **forgatási ellenállás** összetevődik a felső talp- és nyakcsapágy, valamint az alsó görgős megtámasztás súrlódási ellenállásaiból. A daru nagy tömege miatt nagyobb szögsebesség esetén figyelembe kell venni az indításkor fellépő gyorsító nyomatékot is.

c) Forgótárcsás forgódaruk

A forgótárcsás forgódarut (3.2.17. ábra) a körsínen gördülő perem nélküli futókerekek (1) támasztják alá. Központját az ún. királycsap (2), kiegyenlített terhelését az ellensúly (3) biztosítja. A forgótárcsás darut úgy építik, hogy a forgórészre ható erők eredője teherrel vagy teher nélkül a futókerekek alátámasztási pontjai közé essen.

A királycsapot általában húzó igénybevétel nem terheli, azonban biztonsági okokból úgy képezik ki, hogy húzóerőt is fel tudjon venni, és a daru esetleges túlterhelése esetén megakadályozza a forgódaru felborulását.



3.2.17. ábra: Forgótárcsás forgódaru vázlata

1) perem nélküli futókerekek, 2) királycsap, 3) ellensúly

A királycsap e biztonsági szerepe a daru 50%-os túlterhelésénél kezd működni, azaz amikor az $1,5Q_e$ -vel terhelt daru gémmoldali kerekeinek támasztópontjaira (az *I* jelű billenőélre) a gémmoldali nyomatók éppen egyenlő az ellensúlyoldali nyomatókkal (3.2.17. ábra). Ennél nagyobb terhelés esetén a királycsap akadályozza meg a forgórész lebillenését a körsínről.

Egyensúly esetén a nyomatóki egyenlet az *I* billenőélre:

$$1,5Q_e(a-b) = Q_a(b-l) + G_e(e+b).$$

A terheletlen darura ható függőleges erők eredője pedig nem eshet a *II* jelű billenőélén kívül, azaz a

$$Q_a(b+l) \geq G_e(e-b),$$

ahol:

Q_a a daru forgórészének saját súlya, [N],

Q_e a névlegesen emelt teher [N],

G_e a ellensúly, [N].

A futókerek és az alapépítmény kedvező igénybevétele érdekében a terhelt darunál a gémmoldali futókerek terhelése lehetőleg egyenlő legyen a terheletlen daru ellensúlyoldali kerekeinek terhelésével.

A terhelt darunál a gémmoldali kerekre jutó kerékterhelés a *II* jelű alátámasztásra felírt nyomatóki egyensúlyból számítható:

$$F_I = \frac{1}{2b} [Q_e(a+b) + Q_a(b+l) - G_e(e-b)].$$

Az ellensúlyoldali kerekre jutó kerékterhelés terheletlen daru esetén (nyomatók az *I* billenőélre):

$$F_{II} = \frac{1}{2b} [Q_a(b-l) + G_e(e+b)].$$

A feltétel szerint az $F_I = F_{II}$, amelyből a

$$Q_e(a+b) + Q_a(b+l) - G_e(e-b) = Q_a(b-l) + G_e(e+b).$$

Az egyenletet rendezve, a

$$G_e e = \frac{Q_e}{2}(a+b) + Q_a l,$$

amit az *I* billenőélre felírt nyomatóki egyenletbe helyettesítve:

$$1,5Q_e(a-b) = Q_a(b-l) + \frac{Q_e}{2}(a+b) + Q_a l + G_e b.$$

Az egyenletből a b -t kifejezve, a kerek távolsága a forgástengelytől:

$$b = \frac{Q_e a}{Q_a + G_e + 2Q_e} \text{ [m]}$$

A futókerek rendszerint kb. 50°-os középponti szögben helyezkednek el a körsínen, így a körsín-átmérője:

$$D_s = \frac{2Q_e a}{Q_a + G_e + 2Q_e} \frac{1}{\cos 25^\circ} = 2,207 \frac{Q_e a}{Q_a + G_e + 2Q_e}.$$

A körsín-átmérő tehát az emelt tehtől, forgórész önsúlyától, az ellensúly nagyságától és a gémkinyúlástól függ. Adott terheléshez (Q_e) és gémkinyúláshoz (a) tartozó körsín-átmérőt a saját súly (Q_a) és az ellensúly (G_e) növelésével lehet csökkenteni.

A tervezés kezdeti fázisában a forgórész összes súlyát az emelendő teher és a gémkinyúlás ismeretében becsléssel állapítjuk meg, felhasználva a $(G_e + Q_a) = Q_e a / b$ összefüggést. A tárcsás forgódaru legfontosabb alaplímétét, a körsín-átmérőt pedig az eredményül kapott összefüggéssel számítjuk. Az ellensúly pontos helyét és súlyát ezután lehet véglegesen rögzíteni, és ha szükséges, esetleg a felvett körsín-átmérőt módosítani.

Daruk stabilitásának vizsgálata

A felborulással szembeni állékonyság vizsgálatához az erőket és a billenőélt a legkedvezőtlenebb állapotnak megfelelően kell figyelembe venni. A daru stabilitása kielégítő, ha az 3.2.4. táblázatban megadott körülmények és az n szorzószámmal korrigált számított eredőerő a támaszkodás síkját a billenőélen belül metszi.

3.2.4. táblázat

Terhelési szorzók a stabilitásvizsgálathoz

Terhelési eset			Figyelembeveendő terhek és erőhatások	<i>n</i>
Üzemenben	statikus vizsgálat		emelt teher	1,6
			vízszintes erőhatások	0
			üzemi szélteher	0
	dinamikus vizsgálat	teherrel	emelt teher	1,35
			két legnagyobb vízszintes erő	1,0
		teher nélkül	üzemi szélteher	1,0
			teher leszakadása után	emelt teher
		vízszintes erőhatások		1,0
üzemi szélteher		1,0		
Üzemen kívül			emelt teher	-0,3
			két legnagyobb vízszintes erő	1,0
			üzemi szélteher	1,0

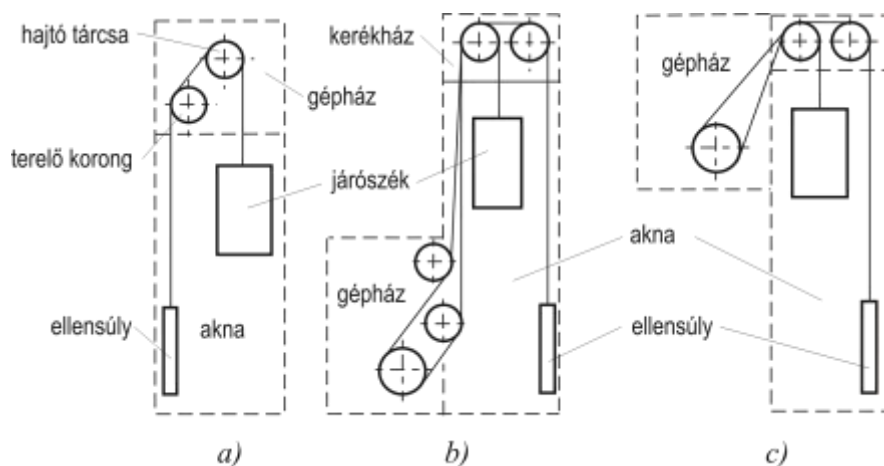
3.3. FELVONÓK

A felvonók (liftek) olyan kézi vagy gépi hajtású szállítóberendezések, amelyek függőleges vagy 30° -nál meredekebb pályán két vagy több állomás között időszakisosan vagy folyamatosan közlekednek, miközben a rögzített vezetősínek között mozgó járószékben vagy lapon személyeket vagy terhet szállítanak [58].

A felvonók nagyon sokféle szerkezeti kivitelben épülnek. Rendeltetésük szerint megkülönböztetünk **személy-**, **teher-** és **személykíséretű** teherfelvonókat. A személyfelvonók kizárólag személyeket (esetleg kisebb terheket), a teherfelvonók pedig csak terhet szállítanak.

A felvonók többsége szakaszos üzemű, és alternáló mozgást végez, de a felvonók közé sorolható a folyamatos üzemű körforgó személyfelvonó (páternoszter), és a mozgólépcső is.

A hajtást többnyire villamos energia biztosítja. Kisebb emelési magasságnál a hidraulikus hajtás is számításba vehető. A kézi hajtást kis terhelésű (pl. ételfelvonó) felvonóknál alkalmazzák. Ha a teher mozgatása kizárólag lefelé történik, akkor a gravitáció is szolgálhat energiaforrásként.



3.3.1. ábra: Felvonógép elhelyezések [58]

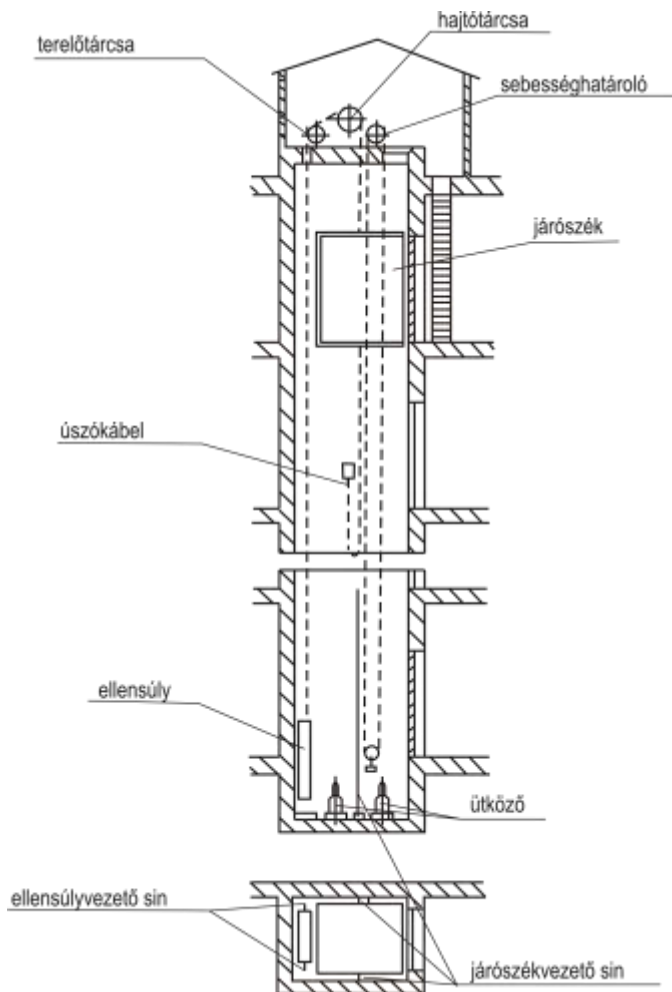
a) felső gépház, b) alsó gépház, c) oldalsó gépház

A felvonók többnyire sodronykötél felfüggesztésűek. Hidraulikus hajtásnál a járószéket munkahenger emeli. A folyamatos üzemű páternoszter és mozgólépcső vonóeleme hevederes lánc.

A felvonógép elhelyezése szerint **felső**, **alsó** és **oldalsó gépház** elrendezéseket különböztetünk meg (3.3.1. ábra).

3.3.1 A felvonók szerkezeti elemei

A felvonók szokásos szerkezeti felépítést a 3.3.2. ábra mutatja be. A több, egymástól független sodronykötélre függesztett **járószék** a felvonóaknában rögzített vezetősínek között mozog.

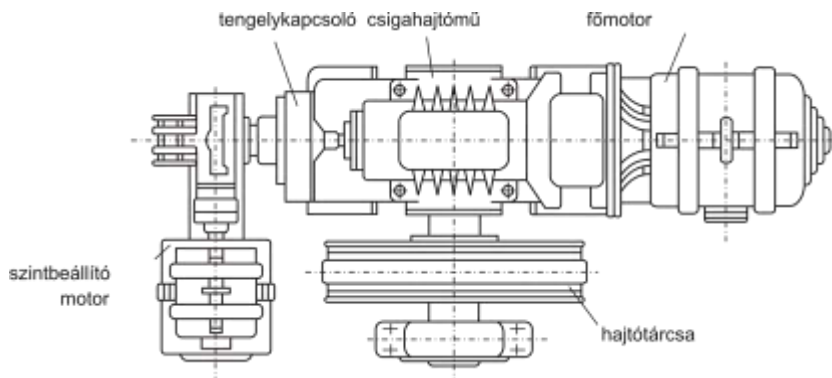


3.3.2. ábra: Felső gépházas felvonó általános elrendezése

A sodronykötelek másik végéhez rögzített az ugyancsak a vezetősínek között haladó **ellensúly**. A járószék és az ellensúly alsó véghelyzetét ütközők határolják. A kötérendszer a felvonógép kimenőcsonkján elhelyezett többhornyú **hajtótárcsán** vetik át. A kötelek vezetését **terelőtárcsák** biztosítják. A körülfogási szöget gyakran **ellentárcsa** alkalmazásával növelik. Nagyobb szállítási magasságnál (35...40 m) kiegyenlítő kötéllel ellensúlyozzák a teher és az ellensúly oldali kötéln hossz változás okozta kötélterő változást. A fő funkciókat ellátó elemek mellett a felvonókon számos biztonsági berendezés is található (pl. fék, sebességhatároló, stb.).

A felvonógép

A villamos hajtású felvonógép motorja általában háromfázisú, rövidrezárt, aszinkronmotor. Külön szintbeállításról (az állomásokra való pontos beállítás) csak 0.8 m/s sebesség felett kell gondoskodni. A pontos megállításhoz szükséges *“bekúszó sebességel”* pólusváltós motor, 1,5 m/s felett egyenáramú motor biztosítja. Nagyobb teherbírású felvonóknál, külön szintbeállító hajtóművet alkalmaznak.



3.3.3. ábra: Szintbeállító-művel ellátott felvonógép

A 3.3.3. ábra szintbeállítós felvonógépet mutat. A főmotor csigahajtóművön keresztül hajtja a hajtótárcsát. A főhajtás csigatengelye féktárcsával egybeépített tengelykapcsolóval csatlakozik a szintbeállító hajtáshoz. A felvonót a nagyobb fordulatszámú motorral indítják és üzemeltetik. A kisebb fordulatszámú motor csak a megállításra szolgál.

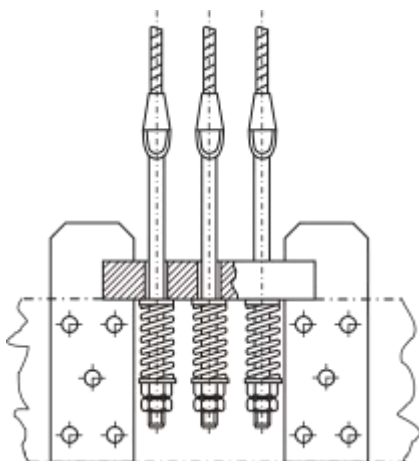
Az előírások szerint a felvonógépet kézzel is hajthatóvá kell tenni. Az ábrán bemutatott kivitelnél a felvonógépet a féktárcsával egybeöntött kézi kerékkel lehet működtetni.

A fékszerkezet elsősorban menetszabályozási funkciót lát el, és a lassításnál működik, de a teher rögzítésére is alkalmas. A féket a főmotor tengelyére szerelik. A szerkezetnek mindkét irányban azonos nagyságú fékező nyomatékot kell kifejtenie, ezért általában önbeállító, kétpofás féket alkalmaznak. A gyors és pontos működés érdekében a fékek kis tömegűek és egyszerű kivitelűek.

A hajtótárcsa súrlódó hajtással mozgatja a függesztő köteleket. A hornyok alakját úgy választják meg, hogy a súrlódási viszonyok a hornyok kopása után se változzanak meg. A gyakorlatban leginkább az alámetszett félkör alakú horony terjedt el. A függesztő elemek nagy szilárdságú elemi szálakból sodort *Seale* szerkezetű kötelek (MSZ 6059).

A járószék és függesztése

A járószék fém váza fa, műanyag vagy fémlemez elemekkel borított. A személyfelvonók járószékét legalább három egymástól független kötélre kell függesztetni. A függesztés biztonsági előírásai a következők: biztosítani kell a kötelek egyenletes terhelését (kismértékű hosszeltéréskor is),



3.3.4. ábra: Rugós kiegyenlítő felfüggesztés

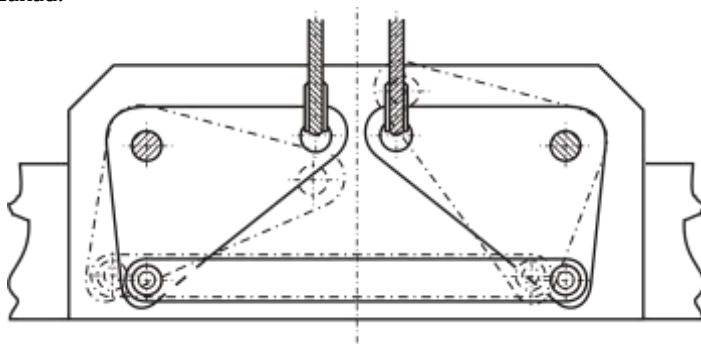
kötélszakadás vagy nagymértékű megnyúlás esetén működésbe kell hozni a biztonsági berendezéseket.

A kötelek egyenletes terhelése a leg-egyszerűbben rugós felfüggesztéssel biztosítható (3.3.4. ábra). A himbás felfüggesztésnél a himbák bizonyos mértékű elfordulása esetén működésbe lép a biztonsági szerkezet (3.3.5. ábra).

A járószéket, esetenként az ellensúlyt is ún. önműködő megfogó készülékkel kell ellátni, amely veszély esetén a járószéket a vezetősínhez rögzíti. Az előírások szerint a megfogó-készüléknek akkor kell működésbe lépnie,

ha a süllyedő járószék sebessége a névleges értéket a szabályrendeletben meghatározott mértékben túllépi, vagy ha

a 0,9 m/s-nál kisebb névleges sebességű felvonó valamelyik függesztő kötele elszakad.



3.3.5. ábra: Himbás kiegyenlítő felfüggesztés

Ellensúly

Az ellensúly a felvonógép tehermentesítésére, a hajtótárcsás felvonónál pedig a súrlódó hajtás működtetésére is hivatott. A kötelek végére függesztett, vezetősínnek között mozgó öntöttvas vagy beton súlyokat acélkeret foglalja egységbe.

Az **ellensúly** nagysága a vezetéksúrlódás, a függesztő kötelek saját súlya és a tehetetlenségi erők figyelembevételével közelítőleg

$$G_e = G_j + x Q \quad [\text{N}],$$

ahol:

G_j a járószék saját súlya,

Q a hasznos terhelés,

x a kiegyensúlyozási tényező (0,4...0,5).

A kötélt terhelése $x=0,5$ értéknél a legkedvezőbb, mivel a kerületi erő teljes terhelésnél és terheletlen állapotban egyforma. A felvonógép teljesítményszükséglete ezért mindkét esetben azonos nagyságú.

A kerületi erő teljes terheléskor

$$F_Q = G_j + Q - G_e = G_j + Q - (G_j + 0,5 Q) = 0,5 Q \quad [\text{N}],$$

üres járószéknél

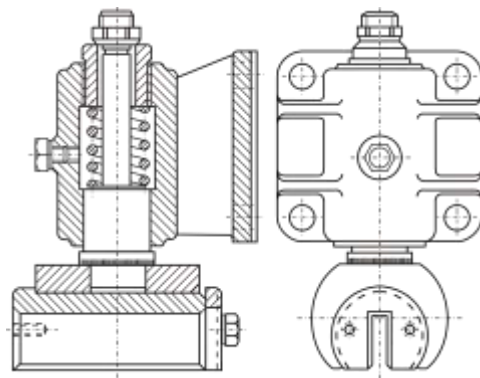
$$F_0 = G_j - G_e = G_j - (G_j + 0,5 Q) = -0,5 Q \quad [\text{N}].$$

Vezetősín és vezetőpofa

A vezetősín kisebb sebesség esetén gondosan egyengetett T vagy kettős L szelvény. Nagyobb sebességeknél húzott vagy a csúszófelületén megmunkált különleges sínt használnak.

A járószék és az ellensúly vezetőpofákkal kapcsolódik a vezetősínhez. A vezetőpofák általában önbeállók és kenőberendezéssel ellátottak. Nagyobb sebességeknél a csúszó vezetés helyett gördülő vezetést alkalmaznak.

A vezetősínek és -pofák kialakításától, kivitelezésétől nagymértékben függ a felvonó nyugodt járása.



3.3.6. ábra: Rugós vezetőpofa

Ütközők

A szabályrendelet szerint a járószék alá, nagyobb sebességű felvonóknál az ellensúly alá is fékező ütközőt kell beépíteni. A lassulás előírt mértéke maximálisan $2g$, átlagosan g . Kisebb sebességeknél rugós, nagyobbaknál hidraulikus ütközők használatosak. A hidraulikus ütközőket általában rugókkal kombinálják.

3.3.2. A felvonók hajtása és vezérlése

A felvonókkal szemben támasztott különleges követelmények:

- személyszállításnál a gyorsulások (lassulások) nagyságát kényelmi szempontok korlátozzák,
- pontos megállást kell megvalósítani,
- tekintettel a lakóterületi használatra, biztosítani kell a zajtalan üzemeltetést.

Gyorsulás, lassulás

A nagy gyorsulás nemcsak a szerkezet dinamikus terhelése miatt káros, hanem a szállított személyekre is kellemetlen hatást gyakorol. Ezért a felvonókkal kapcsolatos előírások a megengedett gyorsulásokat a menetsebesség függvényében írják elő (3.3.1. táblázat).

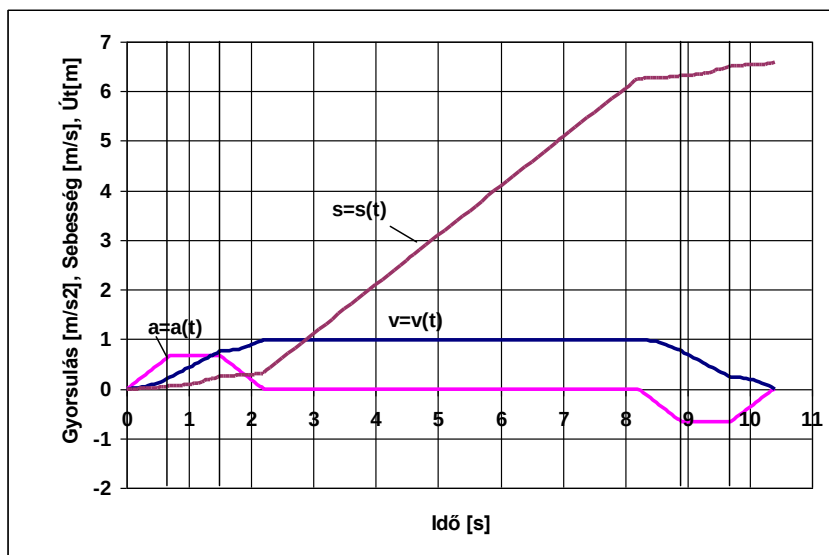
3.3.1. táblázat

Menetsebesség [m/s]	0...0,5	0,51 1	1...3
Legnagyobb gyorsulás [m/s ²]	1,0	1,4	2,1
Átlagos gyorsulás [m/s ²]	0,5	0,8	1,5

A 3.3.7. ábra szemlélteti a felvonók két állomás közötti ún. észmei menetdiagramját, az út-idő, a sebesség-idő és gyorsulás-idő függvényeket.

A változó gyorsulású szakaszok

A járószék gyorsulása $a_{\max}$ -ig egyenletes növekszik, majd az állandó gyorsulású szakaszt követően egyenletesen 0-ra csökken. A lassulás a gyorsuláshoz hasonló lefolyású, csak ellentétes előjelű. Az egyenletes gyorsulás fontos ergonómiai követelmény. A gyorsulás változása (a gyorsulás idő szerinti deriváltja, $\dot{a}$), amit a szakirodalom rántásnak nevez, nem lehet nagyobb 10 m/s³ értéknél.



3.3.7. ábra: A felvonó észmei menetdiagramja

Az ábrán a gyorsulás függvény:

$$a = \dot{a}t \quad [\text{m/s}^2],$$

ahol a gyorsulásváltozás értéke

$$\dot{a} = \frac{a_{\max} - a_0}{t} \quad [\text{m/s}^3].$$

A sebességfüggvény

$$v = \int a(t) dt = \int \dot{a} t dt = \dot{a} \frac{t^2}{2} \quad [\text{m/s}].$$

Az útfüggvény:

$$s = \int v(t) dt = \int \dot{a} \frac{t^2}{2} dt = \dot{a} \frac{t^3}{6} \quad [\text{m}].$$

Az állandó gyorsulású szakasz

A növekvő és csökkenő gyorsulású szakaszok között a gyorsulás a =állandó. A sebességfüggvény:

$$v = a t.$$

Az útfüggvény pedig:

$$s = \int a t dt = a \frac{t^2}{2}.$$

Az állandó sebességű szakasz

A felvonó gyorsulása értelemszerűen $a = 0$ és a sebessége v =állandó. Az útfüggvény:

$$s = v t.$$

Pontos megállás

A járószék terhelésének változásával a rendszer dinamikai viszonyai is megváltoznak. Nagyobb terheléseknél a hajtás hosszabb ideig gyorsít, ugyanakkor a kifizetési idő lerövidül. A változó viszonyok ellenére is biztosítani kell az állomásokon a járószék pontos szintbeállítását. A szintbeállítás pontossági követelménye általában $\pm 1 \dots 5$ cm.

A megállás a célállomás előtt meghatározott távolságban kezdődik. A járószék helyzetét érzékelő követi. A szintbeállítás pontosságát a járószék sebessége is befolyásolja. Az állandó sebesség biztosítására hajtó motorként többnyire háromfázisú aszinkron vagy párhuzamos gerjesztésű egyenáramú motorokat alkalmaznak, mivel ezek karakterisztikája fordulatszám-tartó.

A megállás pontossága javítható ún. szintbeállító hajtással, vagy pólusváltós motor alkalmazásával. A megállás ekkor nem a névleges, hanem kisebb **bekúszó** sebességről történik. A nagy sebességű felvonóknál a pontos szintbeállítást bonyolult vezérléssel oldják meg.

3.3.3. Erőhatások a felvonón

A felvonók üzemeltetése közben fellépő erőhatások a hasznos terhelésből (Q), a járószék súlyából (G_j), az ellensúlyból (G_e), a kötélvezetési ellenállásból, a vezetéksúrlódásból és a dinamikus hatásokból adódnak.

A vezetéksúrlódás a járószéknél és az ellensúlynál jelentkezik, és az excentrikus felfüggesztésből adódik. Nagysága a kötélerőkkel és a súlyerőkkel arányos. A veszteségtényező az aknavezeték anyagától, annak megmunkálásától, a szerelés pontosságától, és a karbantartástól függ (3.3.2. táblázat).

A vezetéksúrlódás nagysága:

a járószéknél

$$S_0 = v_w (G_j + Q),$$

az ellensúlynál

$$S_e = \nu_{ve} G_e,$$

ahol:

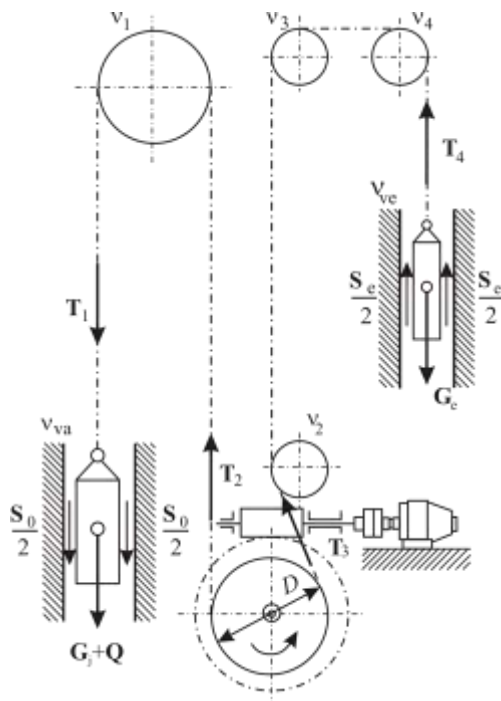
ν_{va} a vezetéksúrlódás veszteségtényezője a járószéknél,

ν_{ve} a vezetéksúrlódás veszteségtényezője a ellensúlynál.

3.3.2. táblázat

A vezetéksúrlódás veszteségtényezői

Vezetés fajtája	Járárszéknél	Ellensúlynál
csúszó	0,05...0,1	0,05...0,15
gördülő	0,01...0,03	0,01...0,03



3.3.8. ábra: Alsógépházás felvonó kötélfűzése

A kötélfűzés veszteségeit közelítőleg úgy határozzuk meg, hogy az aktív kötélerőt a veszteségtényezőkkel szorozzuk.

A mozgással ellentétesen ható ellenállásokból határozható meg a kötélerő. A 3.3.8. ábra egy alsógépházás felvonót szemléltet. Ebben az esetben a hajtótárcsára felfutó kötélfűzésben ébredő erő a dinamikus hatások nélkül:

$$T_2 = (G_j + Q)(1 + \nu_{va} + \nu_1).$$

A lefutó ágat pedig

$$T_3 = G_e(1 - \nu_{ve} - \nu_2 - \nu_3 - \nu_4)$$

erő terheli. A ν_1 , ν_2 , ν_3 , ν_4 a kötélfűzés veszteségtényezői az ábrán jelzett helyeken. A kerületi erő:

$$F_k = T_2 - T_3,$$

amit összevetve az előző összefüggésekkel belátható, hogy a veszteségek növelik a kötélerők közötti különbséget.

A szükséges motorteljesítmény:

$$P = \frac{F_k v_e}{\eta} \quad [\text{W}],$$

ahol:

v_e az emelési sebesség [m/s],
 η a felvonó hatásfoka.

A 3.3.8. ábrán feltüntetett irányú, gyorsuló mozgásnál a tömegek:

$$\text{a járószéknél} \quad T_1 = \frac{G_j + Q}{g}(g + a),$$

$$\text{az ellensúlynál} \quad T_4 = \frac{G_e}{g}(g - a),$$

ahol a a járószék gyorsulása.

A felvett mozgásiránynál a tömegek tovább növelik a kerületi erőt, és így a megcsúszás veszélyét is. A súrlódó hajtás tervezésekor mind a veszteségeket, mind a tömegeket számításba kell venni. Az előírások szerint a legkedvezőtlenebb esetre számított felfutó és lefutó kötélági erők viszonyszáma alámetszett horony esetén sem haladhatja meg az átfogási szög alapján számított $e^{\mu\alpha}$ elméleti viszonyszám 90%-át.

3.4. SZAKASZOS MŰKÖDÉSŰ RAKODÓGÉPEK

A rakodógépek az anyagmozgatás időbeni lefolyása alapján két nagy osztályt alkotnak, folyamatos és szakaszos működésűek lehetnek. A darukhoz sok tekintetben hasonló szakaszos működésű rakodógépek műveletelemei (az anyag megközelítése, felvétele, felemelése, rövidtávú továbbítása és ürítése), ciklikusan ismétlődnek. A szakaszos működésű rakodógépeket gyakran kanalas rakodógépeknek is nevezik, mivel legjellemzőbb munkaeszközük a rakodókanál. A kanalas rakodógépeket szinte minden ágazatban alkalmazzák. Legnagyobb jelentőséggel azonban az építőiparban, a bányászatban és a mezőgazdaságban bírnak [30].

A rakodógépek, mobilitásukat illetően, lehetnek **helyhez kötöttek** és **magajárók**. Az utóbbiak erőforrása valamilyen univerzális gép (pl. traktor, gépjármű, magajáró alváz stb.), vagy a rakodógéppel egységet alkotó magajáró gép. Járószerkezet lehet **láncalpas** vagy **gumikerekes** kivitelű.

A rakodógépek fejlesztését a sokcélú és sokoldalú alkalmazhatóságra való törekvés, a teljesítőképesség és ezzel párhuzamosan a beépített hajtómotor teljesítmény növelése jellemzi. Nem ritka a 600 kW feletti motorteljesítmény. A kanál mozgásában egyeduralkodó a hidraulikus erőátvitel.

A gumikerekes rakodógépeknél terjed a négy-kerék-hajtás és -kormányzás. A kisebb motorteljesítményű (<50 kW) és saját tömegű (<4 t) homlokrakodók jelentős hányada hidrosztatikus hajtású. Ezeknél az irányváloztatást a hajtott kerekek fordulatszámának változtatásával érik el. A nagyobb teljesítőképességű és motorteljesítményű homlokrakodók a fordulékonyágát javító csuklós alvázzal és hidraulikus segéd kormányzással készülnek. Ebben a kategóriában a súrlódó tengelykapcsolót, a rendszeres túlterhelést könnyebben elviselő, hidrodinamikus hajtómű váltotta fel. (A hidrodinamikus nyomatékváltó beépítése számos előnnyel jár: a túlterhelés nem fullasztja le a hajtómotort; a gép elakadása esetén sem törnek a motor vagy az erőátviteli szerkezet alkatrészei; a vezető figyelme rakodási feladat végzésére koncentrálódhat, mivel azt a gép kezelése kevésbé köti le.) A hidraulikus hajtás mellett sűrített levegővel működtetett gépekkel is gyakran lehet találkozni (pl. bányában).

A kanalas magajáró rakodógépek között az anyagkitöltés módja szerint megkülönböztetünk: *csak előre, előre és mindkét oldalra, előre és hátra*, valamint *sugárirányban* ürítőket.

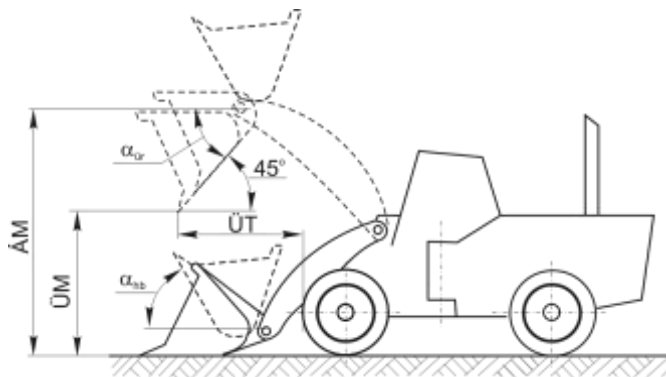
A csak előre, valamint az előre és mindkét oldalra ürítő gépeket az általános szóhasználat szerint **homlokrakodóknak** nevezik, az előre és hátra ürítőket pedig **fejfeletti rakodóknak**. A sugárirányban ürítő gépekre a **forgórakodó** megnevezést használják.

Ezekén kívül ismeretesek még **kotró-** és **rakodószerelékekkel** ellátott gépek, valamint **traktorral működtetett markoló szerkezetek** is.

A hazai gyakorlatban a traktorral működtetett, markoló szerelékekkel ellátott rakodógépek és a fejfeletti rakodógépek nem képviselnek számottevő hányadot a gép-

parkon belül. A homlokrakodók részaránya pedig nagyobb, mint a forgórakodóké. A homlokrakodókra a $0,8 \text{ m}^3$ feletti kanálűrtartalom a jellemző, a forgórakodókra a $0,5...0,8 \text{ m}^3$.

A kanalas rakodógépek főbb műszaki jellemzői: a kanáltérfogat, a legnagyobb teherbírás, az ürítési magasság és távolság, a hátrabillentési szög, az ürítési szög, az elfordulási szög (csak forgórakodónál), a legnagyobb tolóerő, a gép tömege és talajnyomása [30].



3.4.1. ábra: A kanalas rakodógépek főbb műszaki jellemzői

A **kanáltérfogat** a kanalas rakodógépek legfőbb jellemzője. Ennek ismeretében már következtetni lehet más jellemzőkre is. A kanáltérfogatot m^3 -ben adják meg, amelynek három meghatározása ismeretes:

- a kanál legnagyobb űrtartalma, amelyet úgy mérnek, hogy megtöltik vízzel (vízbefogadó képesség);
- a kanál élmagasító-pereme aljáig terjedő térfogat (DIN előírás szerint;
- a legáltalánosabb a SAE érték, amelyet púpozott kanáltérfogattal mérnek, ez a vízbefogadó képesség 120%-ával egyenlő.

A **legnagyobb teherbírás**on azt a legnagyobb hasznos tömeget értik, amelyet a géppel a talajról a legfelső helyzetbe lehet emelni. Ezt az értéket általában csak a talajszinten, ill. annak közelében lehet kihasználni, amikor a kanállal ki kell valamit szakítani a földből, vagy ha a kanál beleakad valamibe.

Az **ürítési magasság** (ÜM) és **ürítési távolság** (ÜT) szorosan összefüggő paraméterek (3.4.1. ábra). A legnagyobb ürítési magasságon a legmagasabbra felemelt kanál élének a talajtól mért függőleges távolságát értik. Az ürítési távolság a kanálél és a motorház elülső élének vízszintes síkban mért távolsága. Ezeket az értékeket úgy mérik, hogy a kanalat lefelé billentve 45° -os szögben megdöntik.

A gyakorlatban szokásos még az **átemelési magasság** (ÁM) értékének megadása is, ami a kanál billentési tengelye és a talaj közti függőleges távolság (3.4.1. ábra). Ez az adat a legnagyobb rakodási magasságot határozza meg (pl. tehergépkocsinál az oldalfalmagasságát, a garadában tárolt ömlesztett anyagoknál a tárolási magasságot jelenti).

A **hátrabillentési szög** (α_{hb}) a kanál leengedett és ütközésig hátrabillentett helyzetében a kanál vágóéle és a billentési pontból húzott vízszintes között mérhető szög (3.4.1. ábra). Ismerete a magasító perem mérete és kialakítása miatt fontos.

(Vegyük észre, hogy a hátrabillentési szög a kanál emelésekor az emelő mechanizmus működéséből adódóan növekszik és a kiszóródás veszélye csökken.)

Az **ürítési szög** (α_{hb}) a kanál legfelső, előre billentett helyzetében a vágóél és a billenési pontból húzott vízszintes között mérhető szög (3.4.1. ábra). Az ürítési szöget úgy kell meghatározni, hogy az összeálló, tapadós anyagok ürítése is maradéktalanul meg történjen.

Az **elfordulási szög** a forgó rakodókat jellemző műszaki paraméter, amely a gép elfordíthatóságát adja meg (jobbra és balra) a gép szimmetriatengelyéhez viszonyítva.

A **legnagyobb tolóerő** azt a legnagyobb erőt jelenti, amelyet töltésekor a kanál az anyaghalmozatra képes kifejteni. A tolóerő nagysága a gép tömegétől, a hajtómotor teljesítményétől, a járószerkezet kialakításától és a munkajarat sebességétől függ.

A **gép üzemi tömege** a saját tömegén kívül tartalmazza az üzemeltetéshez szükséges anyagok (kenőolaj, hidraulikaolaj, hűtővíz, hajtóanyag stb.) tömegét is. Az üzemi tömeg ismerete a tolóerő meghatározása miatt fontos, mivel a tolóerőt a gép tömegéből számított súlyerő és a talaj, valamint a járószerkezet közötti ún. *kapcsolódási tényező* szorzata adja. A kapcsolódási tényező egyrészt a talajtól, másrészt a járószerkezettől függ.

A **talajnyomás** a gép üzemi tömegéből és a járószerkezet talajjal érintkező felületéből számítható átlagos nyomás. (Megjegyezzük a talajnyomás a gép hossza mentén nem egyenletes.) Normál körülmények között az átlagos talajnyomás 40...60 kPa értékű, löszös, lápos talajokon széles láncaltapak alkalmazásával 25 kPa-ra csökkenthető.

A kanalas rakodógéppel különféle halmazsűrűségű anyagokat mozgatnak, ezért a névleges teherbírás jobb kihasználása céljából egy géphez több, különböző térfogatú rakodókanalat kínálnak. A gyártó cégek általában a homok-kavics merítéséhez használatos kanáltérfogatot közlik fő paraméterként.

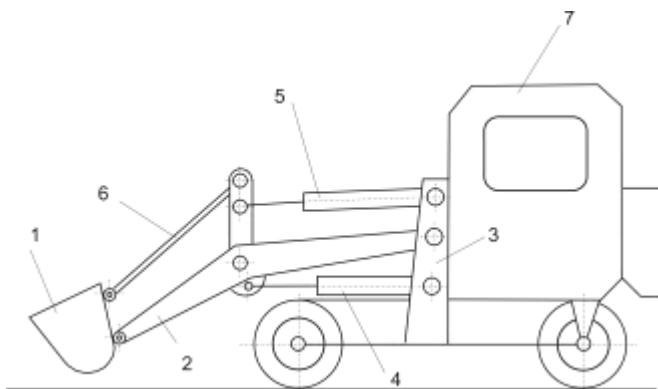
3.4.1. Homlokrakodók

Homlokrakodóknak nevezik azokat a kanalas, magajáró rakodógépeket, amelyek a kanalat elől töltik, és előre vagy oldalra ürítik. A rakodás több **elemi műveletből** áll: a talajszintig leeresztett kanál behatol az anyaghalmozba és töltődik; a feltöltött kanalat a kanálmozgató mechanizmus kiemeli az anyagból, majd szállítási helyzetbe emeli; ezzel egyidejűleg vagy ezt követően a gép az ürítési pontig mozog, ahol a kanalat billentéssel üríti.

A homlokrakodók korai, traktorra szerelt változatainál a rakodókanalat sodronykötéllal mozgatták. A napjainkban is alkalmazott hidraulikus működtetésű kanálmozgató szerkezet (3.4.2. ábra) csak később terjedt el. A nyomatékvtáltó és a terhelés alatti váltómű az 50-es években jelent meg, a csuklós alvázak pedig a 60-as években kezdtek tért hódítani.

A korszerű homlokrakodók főbb paraméterei: kanáltérfogat 0,3... 2,5; m³; munkajárat és közúti sebesség 1...50 km/h; motorteljesítmény: 15...500 kW; saját tömeg: 2,8...7,0 t; az ürítési magasság 1,65...5,0 m; az ürítési távolság 0,6...2,5 m;

átemelési magasság 1,9...6,5 m; szélesség: 1,3...4,0 m; magasság 2,3...5,0 m; hosszúság 3,0...14,0 m.

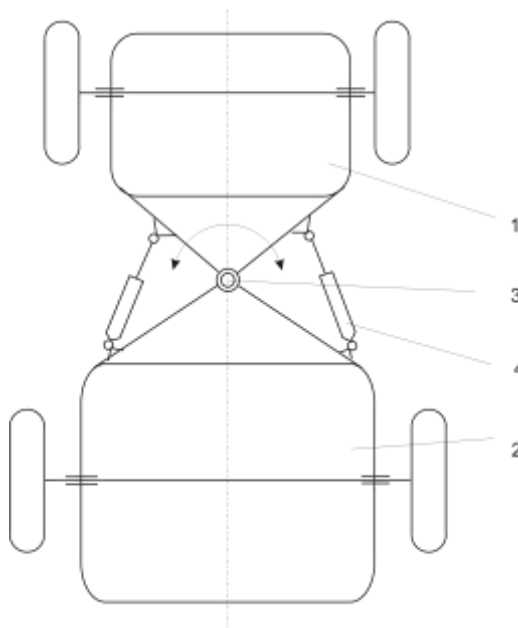


3.4.2. ábra: A homlokrakodó elvi vázlata

1) kanál, 2) gép, 3) felerősítő-keret, 4) gémmozgató munkahenger, 5) kanálbillentő munkahenger, 6) kanálbillentő rudazat, 7) vezetőfülke

A homlokrakodók három főrészből állnak: **alapgép** (láncalpas vagy gumikerekes); **kanálmozgató szerkezet a felerősítő kerettel**; **kanál**, vagy **egyéb munkavégző szerelék**. A homlokrakodó főbb szerkezeti részei a 3.4.2. ábrán láthatók.

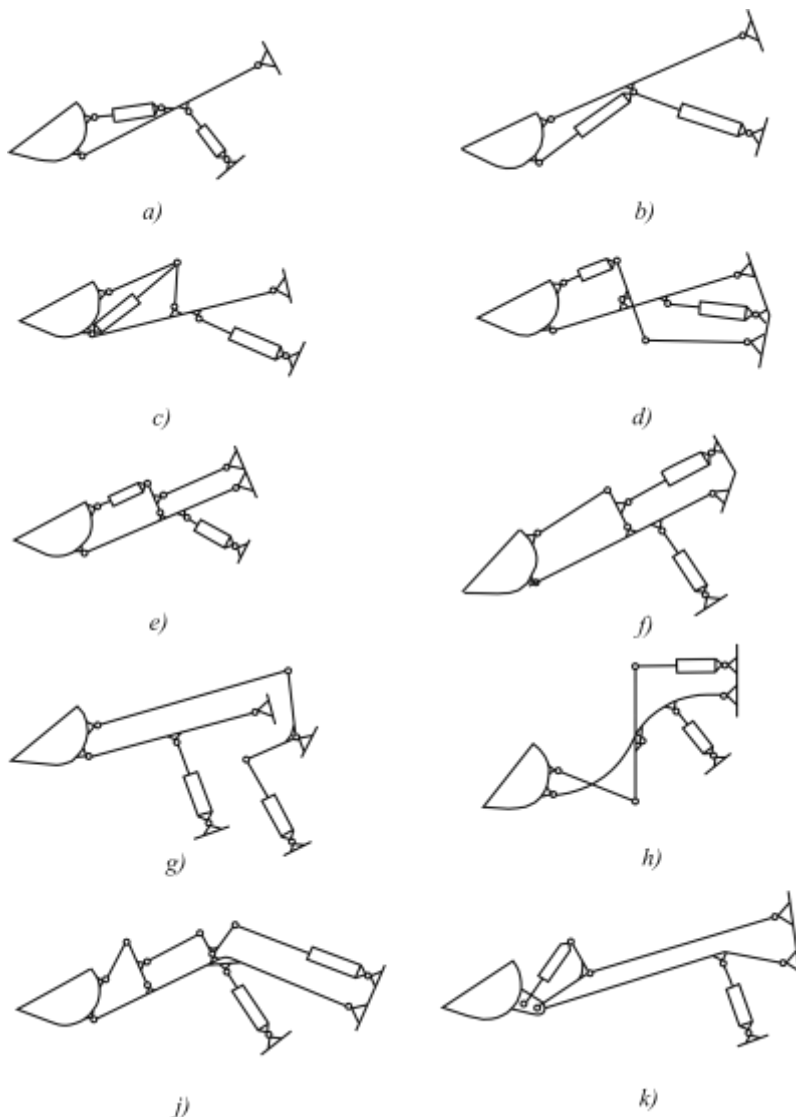
Az alapgép vázára (elejére vagy oldalára) csavarkötéssel rögzített felerősítő-kerethez a kanálmozgató szerkezet elemei (a gép, a billentőrud, a gémemelő és kanálbillentő hidraulikus munkahengerek) csuklósan kapcsolódnak (3.4.2. ábra). A kanálmozgató mechanizmus feladata a kanál töltése, emelése, támasztása, ürítése és süllyesztése.



3.4.3. ábra: A csuklós alváz működési elve

1) első rész, 2) hátsó rész, 3) csukló, 4) munkahengerek a kormányzáshoz

A homlokrakodók hagyományos **merev** vagy **csuklós alvázal** készülnek. A csuklós alváz elvi szerkezeti kialakítását a 3.4.3. ábra szemlélteti. Ennél az alváz két részből áll (1, 2) és ezeket egy csukló (3) köti össze. A kisebb tömegű első részen helyezik el a kanálmozgató szerkezetet. A nagyobb tömegű hátsó részen találhatók a motor, az erőátviteli egységek és a kezelőfülke. Az első és hátsó kerekek egyaránt hajtottak, de nem kormányozhatók, pontosabban a rakodógép menetirányának változtatását az alváz első résznek a hátsóhoz viszonyított elfordításával érik el. Az elfordításhoz szükséges erőt hidraulikus munkahengerek (4) fejtik ki. **A csuklós alváz előnyei:** csökken a fordulási sugár, javul a rakodógép állékonysága (stabilitása), csökkennek a gép hosszirányú lengései, végül a kevesebb mozgásnak köszönhetően a teljesítőképesség növekszik.

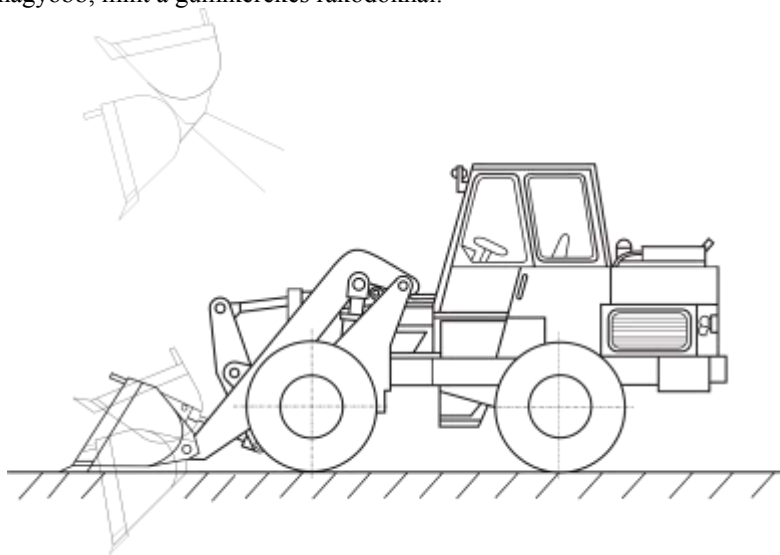


3.4.4. ábra: Kanálmozgató mechanizmusok

A **kanálmozgató szerkezetek** egy vagy két szabadságfokú, síkbeli mechanizmusok, amelyek a hajtótag(ok)ból, 0 szabadságfokú, másodosztályú Asszur-féle csoportokból, ötkötöttségű kinematikai párokból (csuklóból) és hidraulikus munkahengerekből állnak (3.4.4. ábra).

A **gém** legtöbb esetben hegesztett, téglalap keresztmetszetű, szekrénytartós szerkezet, amely egy- vagy két-főtartós kialakítású lehet (3.4.4. ábra). Az egyenes (a), b), c), d), e), f) és g) ábrák) vagy hajlított (h), j) és k) ábrák) főtartó egyik vége az alapgéphez, a másik vége a kanálhoz csuklókkal kapcsolódik. A gémet kettősműködésű hidraulikus munkahenger emeli és süllyeszti. A munkahenger végeit ugyancsak csuklóval kötik az alapgéphez és a gémhez. A **kanál** a gémhez viszonyítva billenthető, amit ugyancsak a csuklós kapcsolat tesz lehetővé. A kanálhoz csatlakozik a billentő rudazat (mechanizmus), amely a kanálbillentő hidraulikus munkahengerrel működtetett. (Vegyük észre, hogy a kanálbillentő mechanizmus állványa a gém, így a kanál abszolút mozgása a gém szállító- és a kanál relatív mozgásából tevődik össze.)

A **járószervezet** gumikerekes vagy láncalpas lehet. A **gumikerekes** homlokrakodók (3.4.5. ábra) mozgékonyasága nagyobb, rövid időn belül átállíthatók az egyik munkaterületről a másikra. Ezzel szemben a **láncalpas** járószervezetű gépek előnye, hogy a fajlagos talajnyomásuk kisebb, a kanál töltésekor pedig a tolóerő nagyobb, mint a gumikerekes rakodóknál.

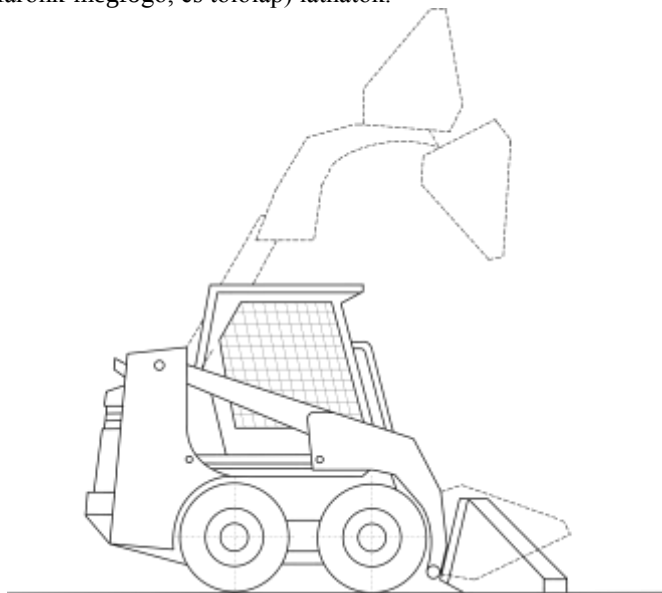


3.4.5. ábra: Gumikerekes homlokrakodó vezetőfülkével és az alváz oldalára szerelt kanalmozgató mechanizmussal

A 3.4.6. ábrán látható **univerzális homlokrakodó** átmenetet képez a targoncák és a rakodógépek között. Ezek a mozgékony és fordulékony gumikerekes homlokrakodók kis területen is jól navigálhatók, akár vasúti kocsik kirakására alkalmazhatók.

A mezőgazdaságban a kanál helyére szerelhető eszközök számával összefüggő univerzálisításuknak köszönhetően váltak népszerűvé. A rakodógépek éves üzemideje (kihasználtsága) ugyanis nagymértékben függ a kanál helyére szerelhető eszközök számától, ezért a gyártók újabb és újabb ötletekkel jelentkeznek, és egy-

re szélesebb eszközválasztékkal kínálják rakodógépeiket. A 3.4.7. ábrán hidraulikus működtetésű szerelések (emelővilla, szorítóvilla, adagolótartály, szerelőkosár, kőfogó-villa, forgatóvilla, billenőszán, fémhulladék-markoló, vonóoszlop, betoncsőfogó, farönk-megfogó, és tolólap) láthatók.

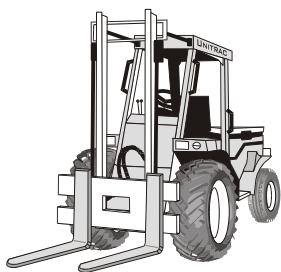


3.4.6. ábra: Gumikerekes univerzális homlokrakodó vezetőfülkével

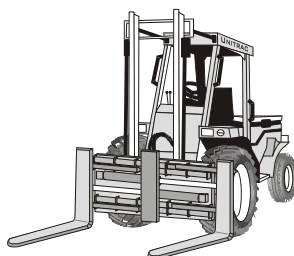
A szokványos kanállal és kanálmozgató szerkezettel (előlről tölthető és üríthető) ellátott homlokrakodók az álló szállítójárművet ún. *íves menetelő mozgással* kezelik meg. Az íves menetelő mozgás a járószerkezetet (különösen akkor, ha az láncaltpas) a gép kezelőjét jobban igénybe veszi, és a mozgás időtartama is nagyobb az egyenes vonalú mozgáshoz viszonyítva. Az íves menetelő mozgás kiküszöbölésére, **egy oldalra és két oldalra billenthető kanalakat** fejlesztettek ki, amelyekkel egyenes vonalú mozgással lehet rakodni.

A kanál töltésekor a normál kivitelű kanalas homlokrakodó gép előre mozog, amit *menetelő mozgásnak* neveznek. A töltés közbeni menetelő mozgás az ún. **osztott kanállal** küszöbölhető ki, amely a markolókhöz hasonlóan két, egymással csuklósan összekötött félből áll. A két kanál felet különálló hidraulikus munkahenger nyitja és zárja. Az ilyen kanalat szétnyitva ejtik rá az anyaghalmazra, majd markoló szerűen zárják. Az osztott kanál könnyebben tölthető, mint az egyrészes. Töltés közben a gép áll, ezért a kezelőnek nem kell a rakodógép haladó mozgására összpontosítania, ugyanakkor a járószerkezetet is kíméli.

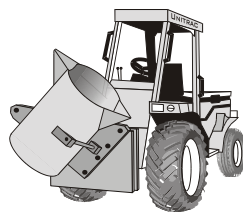
A homlokrakodók gépek fejlesztését a könnyű kezelhetőségre, a kényelemre és az univerzális alkalmazhatóságra való törekvés jellemzi. Az utóbbi években ezek főleg a hidraulikus erőátvitel, a haladómű, és a fülke korszerűsítésében mutatkoztak meg. Részleges automatizálással elérhető a kanál automatikus visszatérítése az alsó kiindulási helyzetbe, a kanál előírt magasságban való hátradöntése és megállítása, továbbá lehetőség nyílik az elemi műveleti mozgások kombinálására, illetve egyidejű végzésére, ezáltal a munkaciklus időtartamának 8...10 %-os csökkenésére. Ez utóbbi cél elérését segíti elő a kétféle kanálmozgatási sebesség. A nagyobb sebességgel a kanalat ürítik, a kisebbel a tele kanalat mozgatják.



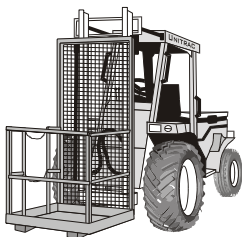
a) emelővilla



b) szorítóvilla



c) adagolótartály



d) szerelőkosár



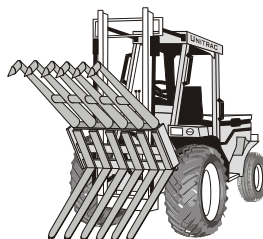
e) kőfogó villa



f) forgatóvilla



g) billenőszár



h) fémhulladék markoló



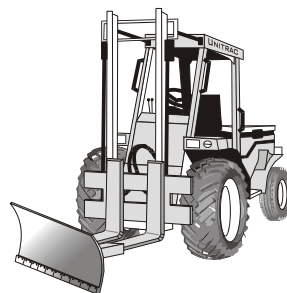
i) vonóoszlop



j) betoncső-fogó



k) farönk-megfogó



l) tolólap

3.4.7. ábra. Az Unitrac multifunkcionális rakodó eszközválasztéka

A legkorszerűbb homlokrakodó gépeket számítógép vezérli. A számítógépes vezérlés a kanálmozgató szerkezetek működését jellemző paramétereket (emelési magasság, a kinyúlás, elérhető emelőerő, töltési és ürítési szög, állékonyság) figyeli és optimalizálja.

A homlokrakodó gépek a kanáltérfogata $0,25 \dots 2,5 \text{ m}^3$, teherbírásuk $500 \dots 8000 \text{ kg}$, ürítési magasságuk $2,5 \dots 3,5 \text{ m}$. Az univerzalitás növelésének fontos eszköze, mint azt már említettük, a szerelékválaszték bővítése.

3.4.2. Fejfeletti rakodógépek

A homlokrakodónál már kifejtettük, hogy a járószerkezet íves menetelő mozgása milyen kellemetlenségekkel jár, ami oldalra ürítő kanállal kiküszöbölhető. A járószerkezet egyenes vonalú mozgása más módon fejfeletti rakodókkal is elérhető.

A fejfeletti kanalas rakodók a homlokrakodók továbbfejlesztett változatainak tekinthetők. Ezek képesek az anyagot a homlokoldalon felvenni, emelni és üríteni, ezen kívül a rakodókanál gép felett átbillenthető és a hátsó oldalon is üríthető. A fejfeletti rakodógép működése csak az átbillentésben tér el a homlokrakodó működésétől.

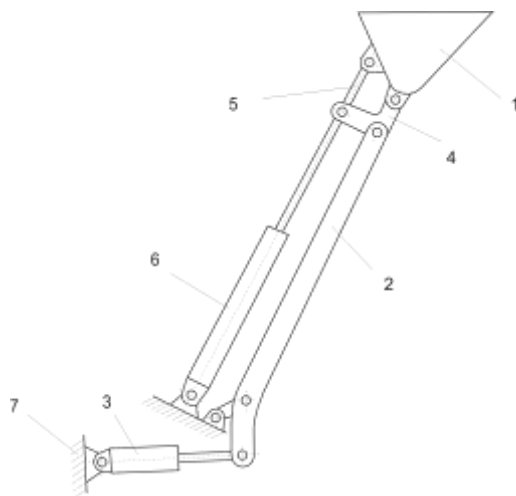
Ürítés szempontjából a fejfeletti rakodók lehetnek: csak hátra, valamint előre és hátra ürítők.

Szerkezetiileg kétféle fejfeletti rakodógépet különböztethetünk meg: gördülővezetékest és billenőkarost.

A **gördülővezetékes fejfeletti rakodógép** kanálát az emelőkeretre szerelt csavarorsós vonórudak tartják. Az emelőkeret egyrészt csuklósan kapcsolódik a láncaltalpas járószerkezetű alapgéphez, másrészt görgők vezetik a gép feje fölött átívelő görgőpályákon. A hozzávetőlegesen 4 m^3 űrtartalmú kanalat az emelőkerettel együtt az alapgépről hajtott köteles csörlő emeli vagy süllyeszti. A kanalat elől töltik és hátul ürítik. Ilyen szerkezeti kialakítású gépeket ma már csak elvétve használnak.

A **billenőkaros hidraulikus működtetésű fejfeletti rakodógép** kanálmozgató szerkezetét a 3.4.8. ábra szemlélteti. Vegyük észre, hogy a kanál mozgását végző mechanizmus csaknem azonos a homlokrakodóknál megismert mechanizmusokkal. A tagok méretei azonban olyanok, hogy a gép felett való átbillentésekor a kanál minden pontja önmagával párhuzamosan mozog. A kanálemelő és -billentő szerkezetek ilyen kialakítása lehetővé teszi a kanál szájnýílásának közel vízszintes helyzetben tartását és szóródás mentes átbillentést.

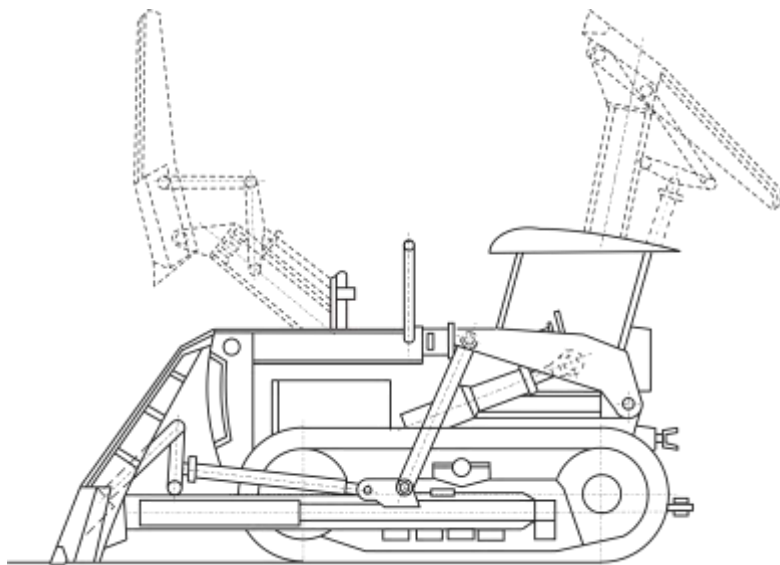
A 3.4.9. ábrán láncaltalpas alapgépre szerelt, **hidraulikus működtetésű, billenőkaros fejfeletti rakodógép** látható. A kanálmozgató mechanizmus legjellegzetesebb határhelyezeteit a szaggatott vonallal ábrázolt részletek szemléltetik. A kanálmozgató szerkezetet a láncaltalpas járószerkezet oldalán helyezkedik el. A fejfe-



3.4.8. ábra: Billenőkaros fejfeletti rakodógép kanálmozgató szerkezte

1) kanál, 2) gém, 3) gémmozgató munkahenger, 4) szögemelő, 5) kanálbillentő rudazat, 6) kanálbillentő munkahenger, 7) vázszerkezet

letti kanálbillentést, két, csuklósan beépített hidraulikus munkahenger végzi. A kanalat elől töltik, és elől, vagy hátul ürítik.



3.4.9. ábra: Lánctalpas alapgépre szerelt, hidraulikus munkahengerrel működte-tett, billenőkaros fejfeletti rakodógép

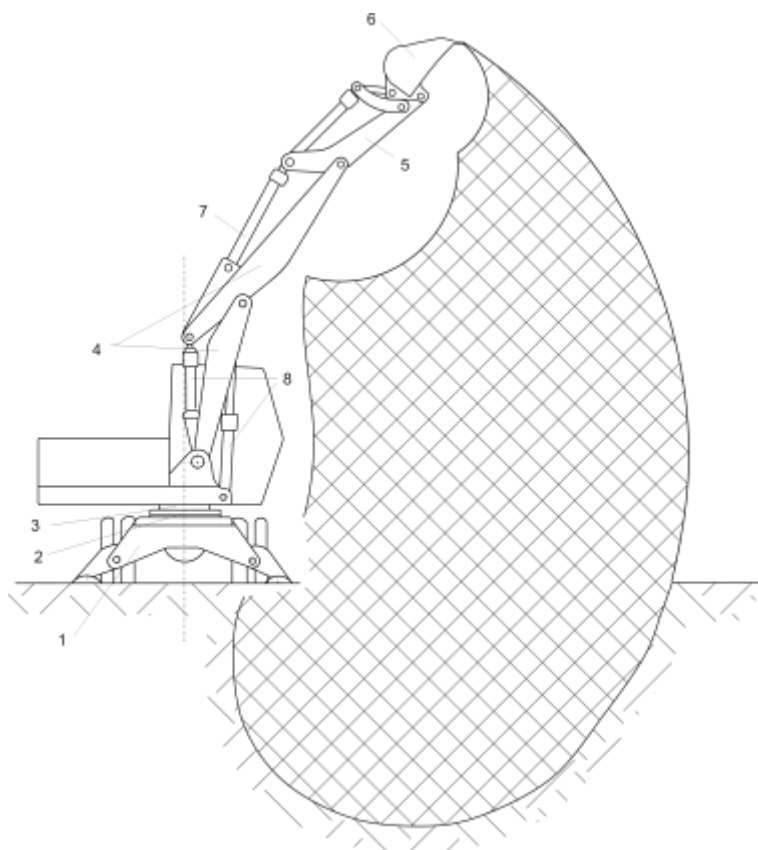
A **sűrített levegővel hajtott, sínen futó, fejfeletti rakodógépek** elsősorban a bányászatban alkalmaznak biztonsági okokból. A sújtólégveszélyes bányákban ui. sem belsőégésű, sem villamos motorral hajtott erőgépet nem lehet használni.

Ezeknél az üres és az anyaggal töltött kanalat sűrített levegővel működtetett láncos csörlő mozgatja. A sínen mozgó kerekeket ugyancsak légmotor forgatja hajtómű közbeiktatásával. Üzemeltetés közben gondoskodni kell a légtömítő biztonságos elhelyezéséről.

3.4.3. Forgórakodók

A forgórakodók kanala a mozgatószerkezettel együtt függőleges tengely körül jobbra-balra elfordítható. A forgórakodók kanálát általában a járószerkezet előtt töltik, majd az ürítési helyzetbe fogatás után ürítik. Ezzel a megoldással az alapgép kevesebb és egyszerűbb (egyenes vonalú) mozgással képes járműveket meg-rakni.

A 3.4.10. ábrán látható **magajáró forgórakodó** alváza (1) két darab hossztartóból és az ezeket összekötő keresztartókból áll. A hossztartók közepén helyezkedik el a forgóasztalt hordozó támasztómű (2). A hossztartók hátsó véglemezeihez csavarkötés rögzíti a kitámasztó lábakat. A hátsóhíd az alvázhhoz mereven, a mell-sőhíd himbával csatlakozik. A forgatómű alá függesztették fel a sebességváltómű házát, amelynek bemenő tengelyét hidromotor hajtja, kimenő tengelyéről pedig kardán közvetíti a nyomatékot a hidakra.



3.4.10. ábra: Forgórakodó felépítése és függőleges munkaterülete

1) alváz, 2) támasztómű, 3) forgóasztal, 4) gém, 5) kanálbillentő rudazat, 6) kanál, 7) kanálbillentő hidraulikus munkahengerek, 8) gémbillentő hidraulikus munkahenger

A függőleges tengely körül elforduló, felső forgóasztalon (3) kapott helyet a gém (4), a vezetőfülke és a hidraulikus egységek. A két tagból álló gémszerkezet és a kanálbillentő rudazat (5) elemei egymáshoz és a kettősműködésű hidraulikus munkahengerekhez (7 és 8) csapszegekkel kapcsolódnak. A gémszerkezet végére különböző méretű kanalak szerelhetők.

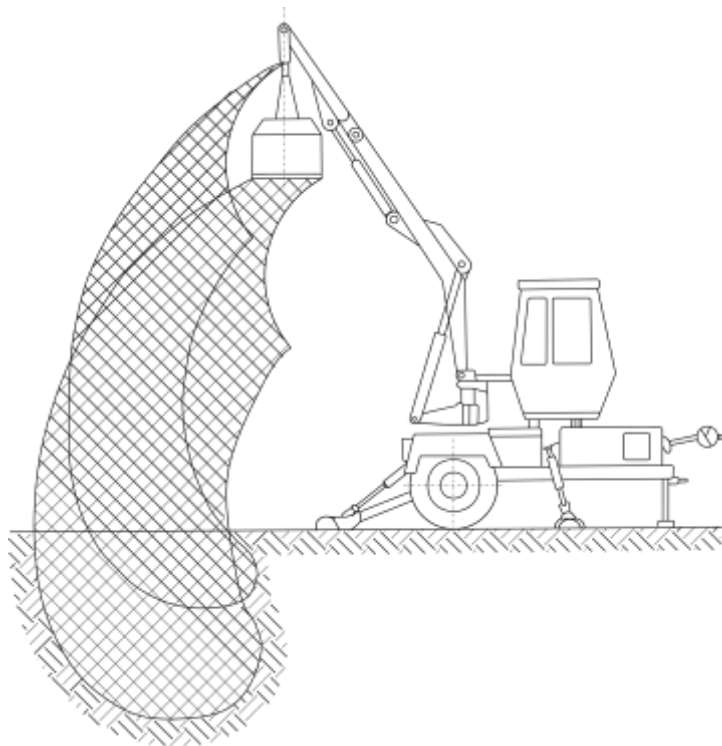
A forgóasztal lehetséges elfordulása szerint a kanalas forgórakodókat két csoportba osztják:

- félfordulatúak, amelyek a középhelyzettől számítva jobbra és balra kb. 90...100°-os szögben fordíthatók el,
- teljes fordulatúak, amelyek munkaszerelke 360°-ban körbeforgatható az álló alvázhhoz viszonyítva.

A **félfordulatú rakodók** forgóasztalának jobbra-balra forgatása a legtöbb típusnál ugyancsak hidromotoros megoldású. A **teljes fordulatú rakodógépek** szerkezeti és kinematikai felépítése megegyeznek a hidraulikus forgókotrókéval.

A 3.4.11. ábrán futóművel ellátott, egytengelyes, hidraulikus működtetésű, **vonatott forgórakodót** látható. Fő szerkezeti egységei: az alváz a kitémasztó talpakkal, a gémszerkezet, a hidraulikus mozgatóegységek, a hidraulikus markoló és

a kezelőfülke. A gép legszembetűnőbb jellemzője, hogy nem rendelkezik saját erőforrással. A traktorral vontatható és működtethető forgógémes rakodó ömlesztett anyagok, szerves trágya rakodására, daruhoroggal szerelve teheremelésre, külön pótgémmel pedig árokásásra is használható.

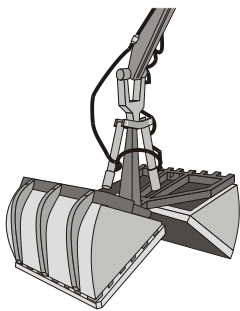


3.4.11. ábra: Vontatott forgórakodó gép és függőleges munkaterülete

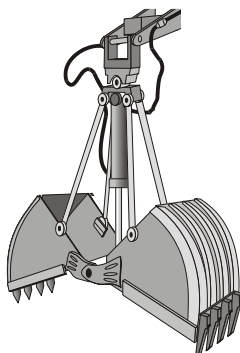
A gép hegesztett alvázat egyrészt a merev gumiabroncsokkal szerelt futómű, másrészt az alváz négy sarkához csatlakozó kitámasztó talpak támasztják alá. Az alvázkeret első részéhez kapcsolódik a vonókeret, amellyel a rakodóegységet a traktorhoz lehet kötni.

A rakodógép hidraulikus köre osztott. Az alvázra épített hajtóműházra két fogaskerék-szivattyút szereltek. A fogaskerék-szivattyúkat a traktor TLT-jéről kardántengellyel hajtják. Az alvázhoz csavarokkal rögzítették a hidraulika olajszelekrényt, amely egyben a rakodógép forgó oszlopának támasztóeleme is. A kitámasztó talpakat, a gémet, valamint a munkaeszközöket hidraulikus munkahengerek mozgatják. A hidraulikus egységeket az alvázra szerelt kezelőfülkéből vezérlik.

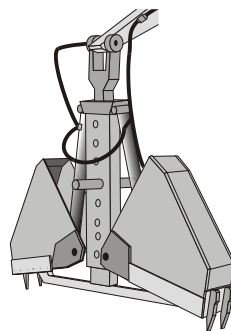
A gémforgató-mű a csapágyazott tengelyből, a tengelyre ékelt fogaskerékből és fogaslécben végződő hidraulikus munkahengerből áll. A gémoszlophoz az emelő- és billentő gémből álló gémszerkezet csapszeggel csatlakozik. A billentő gép végére szerelt csatlakozótoldathoz kapcsolhatók a különféle munkaeszközök (markoló kanál, markoló villa, árokásó kanál, daruhorog).



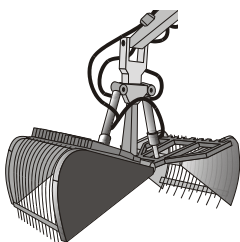
a) sima élű markoló



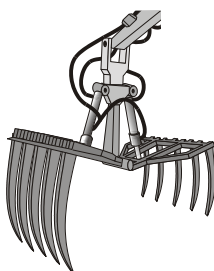
b) fogazott élű markoló



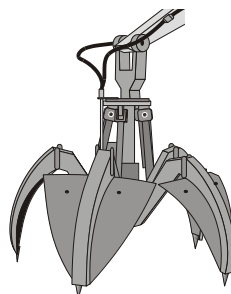
c) bontófogas vágóélű, szögletes edényű markoló



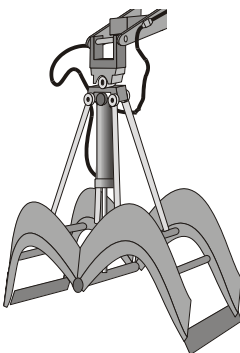
d) kosaras markoló



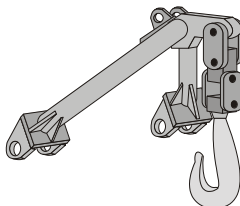
e) fogas markoló



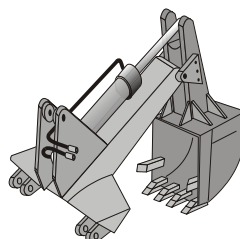
f) polip markoló



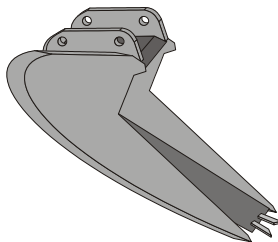
g) rönkrakódó markoló



h) daruszerelék forgórakodókhoz



i) kotrószerelék



j) hegybontó kanál

3.4.12. ábra: Forgórakodókhoz használható cserélhető munkaserelékek

A forgórakodókhoz számos cserélhető munkaserelék használható (3.4.12. ábra):

sima vágóélű markoló,
fogazott vágóélű markoló,
bontófogas vágóélű markoló,
kosaras markoló,
fogas markoló,
polipmarkoló,
farakodó markoló,
fogazott kanalú mélyásó szerelék,
hegybontó kanál,
daruszerelék,
emelőkengyel,
kötőmbfogó,
ollós fogó,
vákuumos fogó,
talajfúró.

A forgórakodó gépek a kanáltérfogata $0,25 \dots 0,5 \text{ m}^3$, teherbírásuk $500 \dots 4500 \text{ kg}$, üritési magasságuk $2,5 \dots 5,5 \text{ m}$, az elfordulási szögük $90 \dots 360^\circ$. Valamennyi forgórakodóra jellemző, hogy a kanálúrtartalom kicsi, de a jobb kihasználás érdekében a gépet sokféle szereléssel látják el. Főleg ott alkalmazzák, ahol az ömlesztett anyagok rakodása csak egy részét képezi a gép napi feladatainak.

3.4.4. A kotró-rakodó gép

A jelenleg használatos kotró-rakodó géptípusokat az 50-es évek elején fejlesztették ki. A mezőgazdasági vontatók (traktorok) hátsó oldalára a traktor hidraulikus rendszeréről működtetett, elforgatható gémet és hidraulikus markolót szereltek fel a műtrágya, a répa stb. rakodásának gépesítésére. Az akkoriban elterjedt $30 \dots 40 \text{ kW}$ teljesítményű traktorok saját tömege és a hidraulikus kítámasztása $3 \dots 4 \text{ m}$ gémkinyúlásig megfelelő állékonytságot biztosított.

Az építőipar is korán felismerte ezeknek az egyszerű és olcsó gépeknek az előnyös tulajdonságait. A kedvező beszerzési ár növelte az irányukban mutatkozó a keresletet, ami ösztönzően hatott a továbbfejlesztésükre. Először a markolóval ellátott rakodóból hidraulikus kotrógép lett. A hidraulikus markolót a kotrókanál váltotta fel, de a kanalat hordozó gémmegtartotta oldalra fordítható tulajdonságát. Egyidejűleg a rakodógép olyan további, az alapgép elülső részén túlnyúló, hidraulikusan mozgatott emelő mechanizmussal is kiegészült, amelyre tolólap vagy rakodókanál szerelhető.

Már az első hidraulikus kotrógépek megjelenését követően kialakultak azok az alkalmazási területek, amelyről a mai napig sem szorultak ki. Ezek a kertészeti és mezőgazdasági munkák, kábel- és csőfektetés, szűk építési terek kiszolgálása, városi utak építése, talaj kitermelési és rakodási munkák végzése.

A további fejlesztés során a teljesítőképesség és a tolóerő növelése érdekében az eszközhordozó alapgépet, a traktort, összkerékhajtású homlokrakodó váltotta fel, azaz a homlokrakodót hátul gémmel és kotrókanállal szerelték fel.

A kotró-rakodó gépek vezérlési helyük szerint lehetnek két kezelőülésből, vezetőfülkéből és kezelőülésből és csak vezetőfülkéből irányíthatóak.

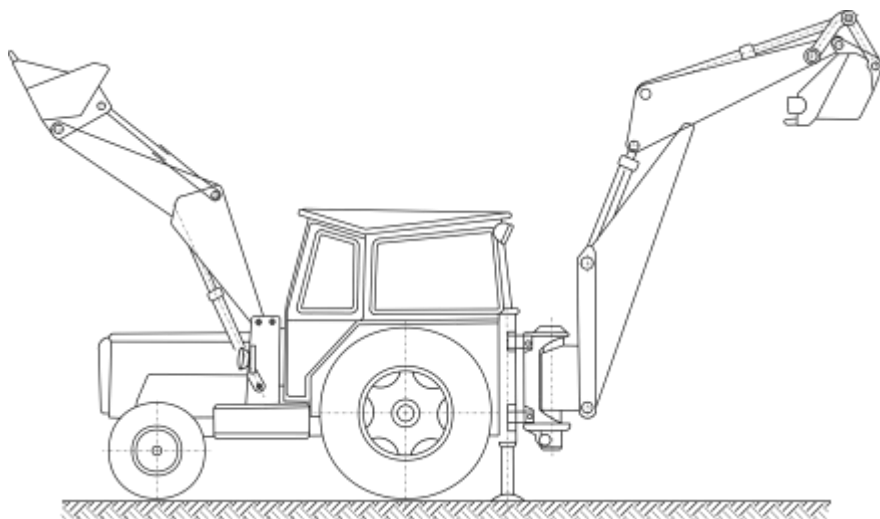
A kotró-rakodó gépeket alapgép szerint a következőképpen csoportosítják:

gumikerekes, traktor alapgépű kotrógépek,
kis motorteljesítményű, lánc talpas rakodógépek,
munkaszerelések felhelyezésére tervezett, speciális alapgépek,
terepjáró kivitelű emelőtargoncák.

Az utóbbi két csoportra a nagy mozgékonytságot biztosító futómű, a kis fordulási sugár, a többfokozatú sebességváltó, a hidrodinamikus vagy hidrosztatikus hajtómű, a rögzített és biztonságos vezetőfülke jellemző.

A kotró-rakodó gépek alvázuk alapján lehetnek **merev** és **csuklós** kivitelűek. A csuklós alvázúaknak jobb a manőverező képességük, kisebb a fordulási sugaruk. Ezzel egyidejűleg a gördülési ellenállásuk is kisebb a kormányzási műveleteknél.

A 3.4.13. ábrán vezetőfülkéből irányítható, merev alvázú kotró-rakodó gépet látunk. A kanálmozgató szerkezetet hidraulikus munkahengerek működtetik. Az állékonytságot növelő, kotrás közben használatos kétoldali kitámasztó lábat is hidraulikus munkahenger mozgatja. A rakodókanál töltését nehezíti, hogy a kanalat töltéskor motor eltakarja.



3.4.13. ábra: Vezetőfülkéből irányítható, merev alvázú kotró-rakodó gép

A kotró-rakodó gépeket különleges munkaszerelésekkel többcélú géppé lehet átalakítani. Az **alapgép első részére erősíthető szerelések:** villás rakodó, hidraulikus meghajtású útseprő, szállítótartály és fenékürítésű habarcsszállító, homlokoldali feltépő, növénytelepítéshez gödörásó, falemez- és rönkfogó szerelék daruzási műveletekhez, valamint homlokoldali tolólap.

Az **alapgép hátsó részén az alvázra erősíthető kotró-szerelések:** mélyásókanál és markoló, földviisszatöltő tolólap, kitolható gép a kanál teleszkópos mozgatásához. Az alapgép hidraulikus rendszere felhasználható hidraulikus aggregátként is más gépek működtetésére. A kotró-rakodó gépek a kanáltérfogata 0,3...0,5 m³, teherbírásuk 500...1200 kg, ürítési magasságuk 2,5...3,5 m.

3.4.5. Traktorral működtetett rakodógépek

A 3.4.3. és a 3.4.4. pontokban érintőlegesen már utaltunk rá, hogy a mezőgazdasági traktorok alkalmassá tehetők rakodógépek működtetésére is. Ezzel bizonyos esetekben a kihasználásuk javítható. A traktorral működtetett rakodógépek az erőgéphez kapcsolás módja szerint alapvetően rászzereltek vagy vontatottak, az ürítési irányuk alapján pedig homlokoldalon, hátoldalon és sugárirányban ürítők lehetnek. Ettől függően a változataik a következők: **vontatott forgórakodó, rászzerelt, homlokoldalon töltő és ürítő** (homlokrakodók), **rászzerelt, hátoldalon töltő és ürítő** (farrakodók), **rászzerelt forgórakodó**.

A traktorral működtetett rakodók munkavégző szerelékük szerint is csoportosíthatók, megkülönböztethetők **egyszerű rakodókanalas**, és **különleges rakodó szerelékkel ellátott** gépeket.

A mozgatható anyagok skálája széles: szemes termények, műtrágya, homok, kavics, cukorrépa, takarmányrépa, burgonya, trágya, siló, szalma stb.

A traktorvontatású forgórakodó gépek

A vontatott, traktorral működtetett rakodógépek (3.4.11. ábra) rendszerint egytengelyes, hidraulikus működtetésű forgógémes rakodók, amelyek elsősorban ömlesztett anyagok (szerves trágya, föld, stb.) rakodására, árkok ásására és teheremelésre alkalmasak. A rakodó saját hidraulikus rendszerrel rendelkezik, melynek szivattyúját vagy szivattyúit a traktor TLT tengelyéről hajtják meg. Rakodási teljesítményük ömlesztett anyagokból: 10-55 t/h [33].

Traktorra szerelt rakodógépek

A traktorra szerelt rakodógépek fő jellemzője, hogy a rakodógépet a traktor vázszerkezete vagy a hidraulikus függesztőműve hordozza. (A traktor függesztőművére szerelteként gyakran függesztett rakodógépeknek is nevezik.) A rakodógép elhelyezhető a traktor elején vagy a hátulján. Ennek megfelelően megkülönböztünk [33]:

a traktor elejére szerelt homlokrakodókat (3.4.14. ábra),

a traktor hátuljára szerelt farrakodókat (3.4.15. ábra),

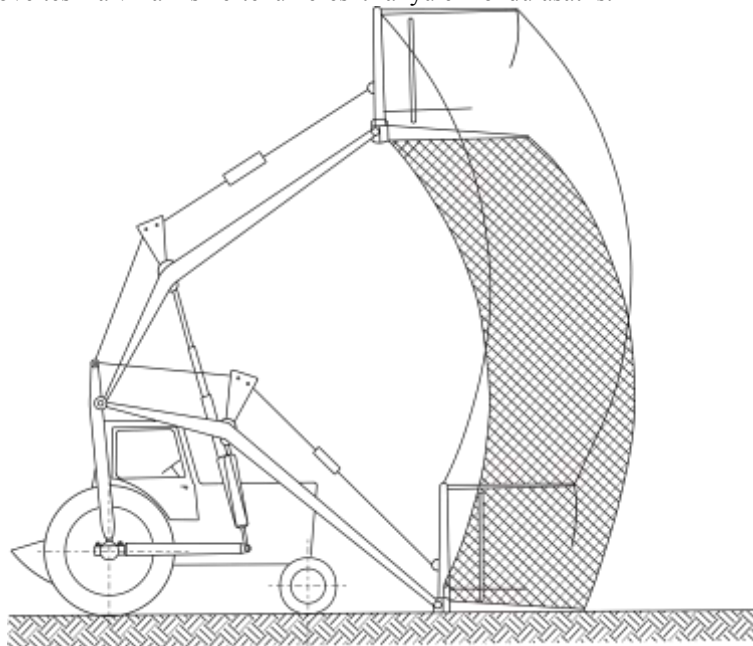
a traktor hátuljára szerelt forgórakodókat (3.4.18. ábra).

elől kanalas homlokrakodóval és hátul kanalas forgórakodóval szerelt kotró-rakodó gépeket (3.4.13. ábra).

A traktorra szerelt rakodógépek nemcsak mechanikusan, hanem általában hidraulikusan is a traktorhoz kötődnek. A rakodási teljesítményük változó, ömlesztett anyagokból: homlokrakodók esetében 5-20 t/h, farrakodók esetében 2-10 t/h, forgórakodók esetében 10-50 t/h.

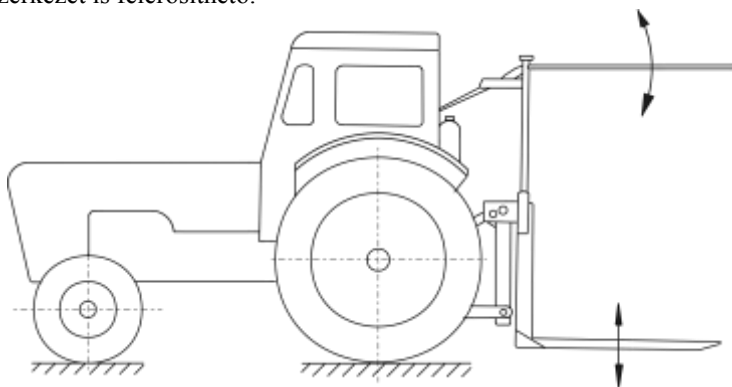
A rakodószerelék szempontjából különlegesnek minősíthető a nagybálák rakodására alkalmas **villás megfogóval ellátott homlokrakodó** (3.4.14. ábra). A zárt-szelvényből készült gémkarokat keresztartók kötik egymáshoz, és a gémkarok a traktor alvázához csavarozott gém támaszokhoz csapszegekkel kötődnek. A gém szerkezetet kettősműködésű hidraulikus munkahengerek emelik. A gém fölött

elhelyezett párhuzamvezérlő rudazat a gémkarok végéhez csuklósan kapcsolódó bálamegfogó villa beállított szöghelyzetét hivatott állandósítani. Az ábrán látható típust olyan szerkezettel is felszerelték, amely a függőleges síkú mozgás mellett lehetővé teszi a villa kismértékű keresztirányú elmozdulását is.



3.4.14. ábra: Traktorra szerelt villás homlokrakodó

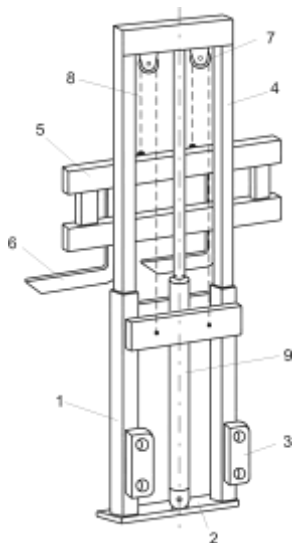
A traktorokra, az előző pontokban már részletezett, kanálmozgató mechanizmusok is felszerelhetők. A mozgató mechanizmus keretét a gép oldalára csavarkötéssel erősítik fel. A **traktoros homlokrakodók** megfelelő szereléssel (kanalak, markolók, stb.) mezőgazdasági ömlesztett és szalmas anyagok mozgására egyaránt használhatók. Darabáruk emeléséhez pedig a kanál helyére emelővillát vagy emelőhorgot lehet szerelni. A traktoros homlokrakodó-gépek teherbírása 500...1000 kg, ürítési magassága 2,5...6 m, munka sebessége 5...6 km/h. Érdekességként említjük, hogy a traktorokra a 3.4.2. pontban megismert fejfeletti kanálmozgató szerkezet is felerősíthető.



3.4.15. ábra: Traktorra szerelt alacsonyemelő

A **traktoros alacsonyemelő** (3.4.15. ábra) hárompontos függesztőműre szerelt és a traktor hidraulikus rendszeréről működtetett. A teheremelő villa emelését maga a függesztőmű végzi, ezért emelési magassága alacsony (max. 0,6 m).

A függesztőmű és az emelő közé beépített hidraulikus működtetésű emelőoszloppal (3.4.16. ábra) nagyobb emelési magasságok (2,5...3,0 m) is elérhetők. Az ilyen módon kialakított, sok tekintetben az emelőtargoncákhoz hasonló tulajdonságokkal rendelkező, egységalkományok (rakodólap, kiskonténer) mozgására alkalmas rakodókat traktoros magasemelőnek nevezzük (3.4.17. ábra).

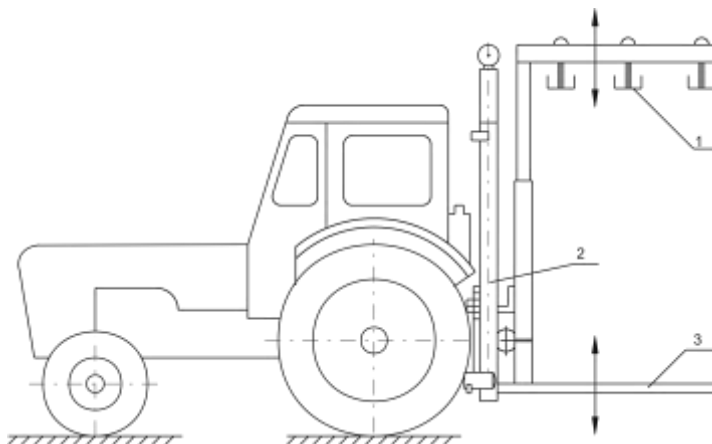


3.4.16. ábra: Traktorra függeszthető, hidraulikus működtetésű emelőoszlop

Az **emelőoszlop** felépítése és működése a 3.4.16. ábrán látható. A felerősítő lemezzel (3) a traktorhoz rögzített, állóoszlop (1) és oszloptalp (2) alkotta állókerethez viszonyítva hidraulikus munkahengerrel (9) mozgatható a mozgó vagy szerelékemelő keret (4). A mozgó kereten láncok (8) emelik a mozgókeretben megvezetett emelőszánt (5) a hozzá rögzített villával (6) együtt. A mozgókeretre szerelt lánckerekeken (7) átvett láncok egyik vége az emelőszánhoz, a másik vége pedig az állókerethez rögzített.

Az emelőoszlop a bemutatotthoz képest kisebb szerkezeti módosításokkal a traktor homlokoldalára is illeszthető. Az egyes változatoknál az emelőoszlop dönthető, a villaszélesség állítható és a villa oldalirányban is mozgatható.

A traktor hátsó függesztőművére szerelt hidraulikus működtetésű **magasemelőt** a 3.4.17. ábrán tanulmányozhatjuk. Az emelővillával megfogott teher emelése az emelőoszlop segítségével történik.

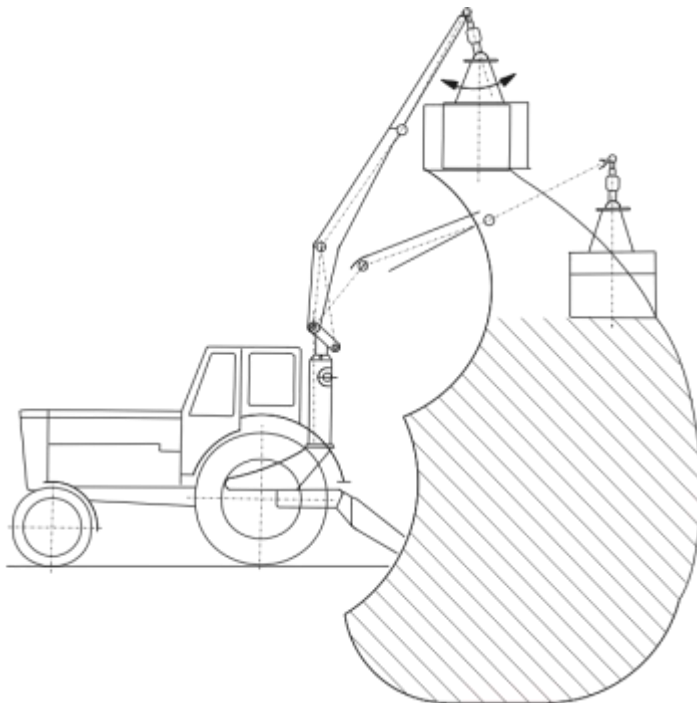


3.4.17. ábra: Traktorra szerelt magasemelő rakatleszorítóval
1) rakatleszorító, 2) emelőoszlop, 3) emelővilla

A biztonságosabb megfogás érdekében a traktoros alacsony- és magasemelőket gyakran hidraulikus működtetésű **rakatleszorítóval** (3.4.17. ábra) is ellátják.

A 30...40 kW teljesítményű traktorra szerelt 500...1000 kg teherbírású alacsony- és magasemelőket darabáruk (rakodólapos rakományegység, tartályláda, stb.) mozgatására használják.

A kanálmozgató mechanizmusok a traktor hátoldalára is felszerelhetők. A **kanalas farrakodók** szerkezete lényegében ugyanolyan elemekből áll, mint homlokra-kodóké, csupán az alapgépre való felerősítés módjában különböznek. Működésük azonos, kezelésük azonban nehezebb, ami a rosszabb rálátásra vezethető vissza.



3.4.18. ábra: Traktor hátuljára szerelt forgórakodó

A 3.4.18. ábrán traktorra szerelt forgórakodó látható. A rakodó **gyorskapcsoló kerete** a traktorhoz négy ponton kapcsolódik: a traktor motortartó keretéhez csavarkötéssel két ponton, és a hátsó féltengelyházhoz ugyancsak két ponton. A rakodógép leszerelése után a gyorskapcsoló keret a traktoron maradhat, mivel kialakítása olyan, hogy nem akadályozza egyéb munkagépek felszerelését és működését.

A gyorskapcsoló keretre illeszkedő U alakú darutartó keret hordozza a kétrészes gémet, két szára között kapott helyet az olajtartály, két külső oldalához pedig a kitámasztó talpakat csavarkötés rögzíti.

A gém forgatható, a gémtagok (emelő- és billenőgém) állásszöge hidraulikus munkahengerekkel változtatható. Az emelőgémet egyszeres, a billenőgémet kétszeres működésű hidraulikus munkahenger mozgatja. A gém szabad végéhez kapcsolódó ún. hidromotoros rotátor 280... 360°-os szögtartományban forgatja el

függőleges tengely körül a hozzá kötött munkavégző szerelék, pl. a hidraulikus munkahengerrel működtetett markolót.

Egyes kiviteleknel a támasztó- és forgatóművet a darutartó keret alsó részén helyezik el. Ilyenkor az oszlop együtt forog a gémmel és a teherfelvevő szereléssel.

A traktorra szerelt, markolóval ellátott forgórakodót üzemeltetés közben –a megfelelő állékonyság eléréséhez– hidraulikus munkahengerekkel működtetett tapancsokkal kell kitámasztani. Szállításkor a markoló kanalat a traktor első részén kiképzett bölcsőre kell fektetni annak érdekében, hogy megakadályozzuk a gép és kanál belengését.

A traktorral működtetett forgórakodók teljesítőképessége 10...50 t/h, a kanáltérfogatuk 0,2...0,7 m³, teherbírásuk 500...1200 kg, ürítési magasságuk 2,5...4 m, elfordítási szögük 220...410°.

3.4.6. A kanalas rakodógépek szállítóképessége

A szakaszos működésű anyagmozgató gépek szállítóképességének értelmezésével és meghatározásával a könyv bevezetőjében foglalkoztunk. Az ott ismertetett általános elveket bővítve, a rakodógépeknél jelentkező specialitásokat is figyelembe véve adunk egy módszert a kanalas rakodógépek szállítóképességének a meghatározására. A szállítóképesség az egységnyi idő alatt mozgatott anyag térfogatot vagy tömeget jelent. A **volumetrikus szállítóképesség**:

$$Q_v = 3600 f_0 \frac{V_k}{t_f} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

ahol:

- V_k a kanál térfogat [m³]
- t_f a ciklusidő [s]
- f_0 a szállítóképesség csökkentési tényező (3.4.20. ábra).

Az elméleti szállítóképességet számos objektív és szubjektív körülménytől függő tényező befolyásolhatja. Ezeket veszi figyelembe az f_0 **szállítóképesség csökken-tési tényező**, amit a következő elemekből számíthatunk [30]:

$$f_0 = f_1 f_2 f_3 f_4 f_5 f_6 f_7$$

ahol:

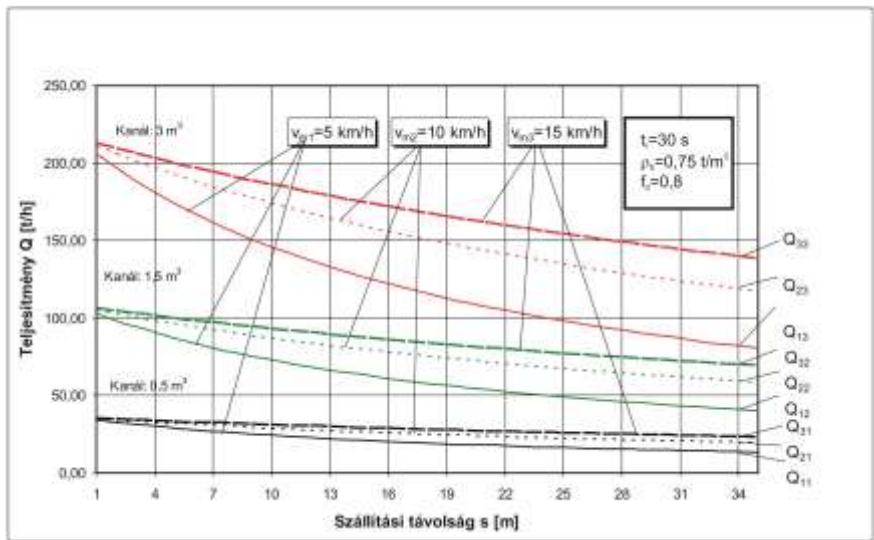
- f_1 a mozgatott anyagtól és a kanál alakjától függő töltési tényező, értéke 0,5...1,2 (3.4.1. táblázat);
- f_2 úttényező, amely a szállított anyag szemcséi közötti mozgástól és a rakodási magasságtól függ, értéke 0,8...1,0;
- f_3 a rakodókanál töltési és ürítési szöge közötti különbségtől függő lengési tényező, értéke 0,7...1,4;
- f_4 az ürítési tényező, amely a rakodókanál és a szállítójármű térfogatarányától függ, értéke 0,7...1,1;
- f_5 az időtényező, amely a hasznos (rakodással töltött) és teljes munkaidő arányát fejezi, értéke 0,7...0,83;
- f_6 a munkaerő-tényező a gépkezelő rátermettségétől és ügyességétől függő szubjektív tényező, értéke 0,5...1,0;

f_7 technológiai tényező, amely a rendelkezésre álló helyet, a ter-
repszonyokat, az időjárási körülményeket veszi figyelembe, értéke
0,52...0,85;

3.4.1.táblázat

Kanalas rakodógépek töltési tényezője

Az anyag megnevezése	Töltési tényező
Száraz homok, apró kavics	1,10...1,20
Földnedves homok, aprókavics	1,00...1,10
Homokos, száraz agyag	0,95...1,00
Kötött, száraz agyag	0,90...0,95
Erősen kötött, kemény agyag	0,88...0,90
Homokos, kavicsos, száraz talaj	0,85...0,88
Meddő talaj, agyag, homok	0,82...0,85
Meddő talaj, földnedves, sovány agyag	0,80...0,82
Földnedves agyag és homok, kavics	0,75...0,80
Palakő, durva kavics	0,72...0,75
Kavics és kemény agyag	0,70...0,72
Agyagos, földnedves kötőrmelék	0,68...0,70
Kemény, agyagos kötőrmelék	0,65...0,68
Lágy, aprított kőzet	0,62...0,65
Kövr agyag, kemény, száraz márga	0,60...0,62
Durva, robbantott kőzet	0,55...0,60
Jól robbantott, kemény kőzet	0,50...0,55
Durva robbantott, kemény kőzet	0,40...0,50



3.4.20. ábra: Homlokrakodó gépek teljesítményének változása a sebesség, a
kanáltérfogat és a szállítási távolság függvényében

A ciklusidő a két munkafázis között eltelt idő, amit méréssel vagy az elemi műve-
letek időtartamaiból számítással határozhatunk meg. A ciklusidő elemei:

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 \quad [\text{s}]$$

ahol:

- t_1 a kanál töltési ideje,
- t_2 a kanál szállítási helyzetbe hozásához szükséges idő,

t_3	az anyag továbbítás ideje (az anyaghalmaztól a járműig),
t_4	a kanál és a gém felemeléséhez (ürítési helyzetbe hozásához) szükséges idő,
t_5	a kanál ürítési ideje,
t_6	a kanál talajszintig süllyesztéséhez szükséges idő,
t_7	az üresmenet időtartama (a járműtől az anyaghalmazig),
t_8	a vezérlőszervezetek kapcsolásához szükséges idő.

Az elemi idők közül a (t_1, t_2) , (t_3, t_4) és a (t_6, t_7) időpárok, illetve az általuk képviselt műveletek egymással párhuzamosan is végezhetők, azaz átfedhetik egymást. A nyolc időelem közül kettő változó (a t_3 , és a t_7 a munkasebesség és a továbbítási távolság függvénye), a többi közel állandónak tekinthető. Ha az anyagtovábbítás és az üresmenet távolsága elég nagy, akkor az átfedés miatt a t_4 és t_6 idők el is tűnhetnek.

A ciklusidő hossza a járószervezettől és az ürítési módtól is függ. A gumikerekes járószervezetek mozgékonyabbak, sebességük nagyobb. Az előre ürítő homlokra-kodók ciklusideje a menetelőmozgás miatt általában nagyobb, mint a forgó, a fejfeletti és az oldalra ürítő rakodóké.

3.4.7. A rakodógépek stabilitása

A legtöbb, sokszor tragikus kimenetelű balesetet a rakodógép borulása okozza. A borulás a kezelőt, a gép környezetében dolgozókat és magát a gépet is veszélyezteti. A rakodógép borulása hossz- és keresztirányban egyaránt bekövetkezhet, ezért a stabilitást mindkét irányban meg kell vizsgálni [33].

A kanalas rakodógépek hosszirányú stabilitása

A rakodógép hosszirányú felbillenésének valószínűsége a következő esetekben a legnagyobb:

a lefelé mozgó töltött kanál hirtelen megállításkor a lassulás következtében fellépő, $(m_3 + m_4)a$ nagyságú tehetetlenségi erő az $(m_3 + m_4)g$ súlyerőhöz adódik;

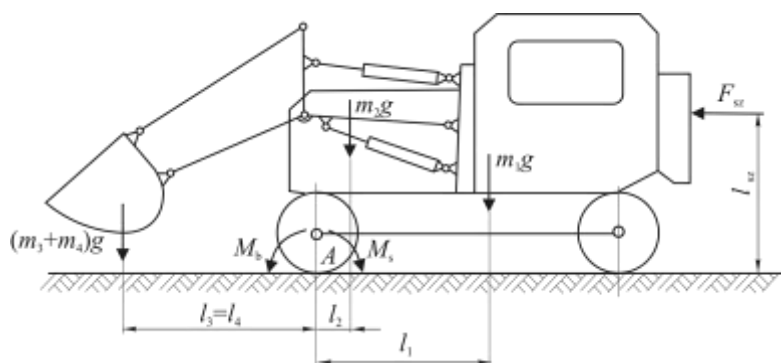
a töltött kanál anyaghalmazból való kiemelésekor ébredő erő is a kanálra ható függőleges irányú erőket növeli;

a teli kanállal lejtőn lefelé haladó rakodó gép fékezésekor fellépő erő nyomátéka növeli a billentő nyomatékot.

Egyszerűsített esetben a stabilitást a rakodógép vízszintes helyzetében vizsgáljuk, és a stabilitást a

$$k = \frac{M_s}{M_b}$$

stabilitási tényezővel jellemezzük, ahol M_s a stabilizáló-, M_b pedig a billentő nyomaték. Ha a k értéke nagyobb, mint 1,3, akkor nagy valószínűséggel a borulás a felsorolt kedvezőtlen helyzetekben sem következik be.



3.4.21. ábra: Vázlat a hosszirányú stabilitás számításához

A nyomatékokat az első kerék függőleges szimmetriatengelye és a talajfelszín metszéspontjára (A pont) írjuk fel. Az óramutató járásával ellentétes irányban ható nyomatékok a rakodógépet igyekeznek felbillenteni, ezért ezek összege adja a **billentő nyomatékot**. Az óramutató járásával megegyező irányú nyomatékok viszont stabilizálják a gépet, ezért az összegüket **stabilizáló nyomatéknak** nevezzük. Az erőket a 3.4.21. ábra szemlélteti, amelyek közül magyarázatot csak az F_{sz} szélró igényel, amely a szélnyomásból (p_{sz}) és a rakodógép szélírányra merőleges vetületi felületéből (A) számítható. A stabilitási tényező a legkedvezőtlenebb géállásnál, az ábra alapján:

$$k = \frac{M_s}{M_b} = \frac{g(m_1 l_1 + m_2 l_2)}{g l_3 (m_3 + m_4) + F_{sz} l_{sz}},$$

ahol:

- g a nehézségi gyorsulás,
- m_1 az alapgép tömege [kg],
- m_2 a kanálmozgató szerkezet tömege [kg],
- m_3 a kanál tömeg [kg],
- m_4 a kanálban lévő anyag tömeg [kg],
- F_{sz} a szélró [N],
- l_1, l_2, l_3 és l_{sz} az erők karjai a 3.4.21. ábra szerint.

A kanalas rakodógépek keresztirányú stabilitása

A fogó (teljes és félfordulattal dolgozó) rakodógépek stabilitását a 3.4.22. ábra szerinti helyzetben, 90 fokkal elforgatott géállásnál vizsgáljuk. Ekkor a billenőél jobboldali kerék felfekvési pontja (A pont).

A stabilitási tényező az A pontra írt nyomatékokból:

$$k = \frac{M_s}{M_b} = \frac{g(m_1 l_1 + m_2 l_2)}{g l_3 (m_3 + m_4) + F_{sz} l_{sz}},$$

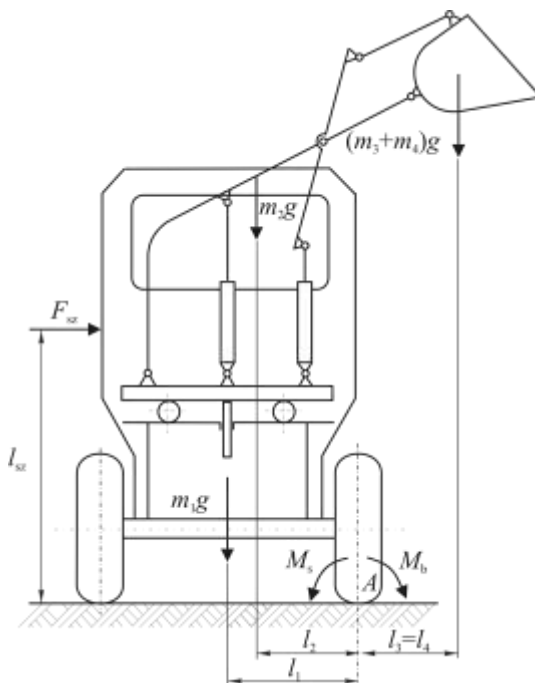
ahol:

- g a nehézségi gyorsulás,
- m_1 az alapgép tömege [kg],
- m_2 a kanálmozgató szerkezet tömege [kg],
- m_3 a kanál tömeg [kg],

m_4 a kanálban lévő anyag tömeg [kg],

F_{sz} a szél erő [N],

l_1, l_2, l_3 és l_{sz} az erők karjai a 3.4.22. ábra szerint.



3.4.22. ábra: Vázlat a keresztirányú stabilitás számításához

A számított keresztirányú stabilitási tényezőt a lejtős területen való üzemeltetés és a lefelé mozgó gém hirtelen fékezése csökkentheti.

3.5. TARGONCÁK

Az üzemi és a raktári anyagmozgatás legelterjedtebb gépei a változatos kialakítású és rendeltetésű gépi hajtású targoncák. A raktárakban a legkülönbébb (egységgrakományokba fogott vagy egyedi) áruk mozgatására, állványok nélküli vagy állványos raktári rendszerek teljes gépesítésére alkalmasak. Szerkezeti kialakításuk egyszerű, méretük a keskeny utakon való haladást is lehetővé teszi. Miután nincsenek pályához kötve mozgékonyaságukat csak a terepviszonyok és a padozat teherbírása korlátozza. A targoncák szakaszos működését a megfogás, a rakott menet, a lerakás és az üresmenet jellemzik. Teljesítőképességük a teherbírástól, a szállítási távolságtól a mozgás sebességétől és a vezető gyakorlottságától függ [18].

A targoncák osztályozása: a **hajtás erőforrása szerint** (villamos motoros, belső-égésű motorral hajtott), a **vezérlés és kormányzás módja szerint** (gyalog kíséretű, vezetőállásos, vezető üléses, programvezérlésű, távvezérlésű) és **rendeltetés szerint** (szállító-, vontató-, emelőtargoncák).

A targoncák kevés kivételtől eltekintve gépi hajtásúak. A hajtással szemben támasztott követelmények: fokozatmentes sebességszabályozás; egyszerű, könnyű kezelhetőség; minimális mértékű környezetszennyezés; kicsi karbantartási igény.

A **villamos motoros** hajtás előnyei: zajtalan, a környezetet nem szennyező üzem; olcsó üzemeltetés. A villamos motorok energiaforrása 150-500 Ah kapacitású savas vagy lúgos akkumulátortelep. Az akkumulátorok töltése vagy cseréje 6...8 óránként esedékes, ami kiegészítő berendezések és helység igénybevételét teszi szükségessé. Az üzemi körülményekre érzékenyek, a sebességük a telepek kimerülésével csökken.

Villamos motorként korábban szinte kizárólag jól szabályozható, főáramkörű (soros **egyenáramú**) motorokat használtak. A 90'-es évek végén azonban megjelentek a **váltóáramú** motorokkal működtetett targoncák. A váltóáram az egyenáramú technikával szemben nemcsak a motor szempontjából előnyösebb, hanem számos lehetőséget jelent a hajtó-, emelő- és kormánymű fejlesztés számára is.

Például a targoncák új generációjánál már alkalmazzák az ún. 180 és a 360 fokos **elektromos kormányzást**, amely megállás nélküli gyors menetirányváltást tesz lehetővé. Az elektromos kormányzás a hagyományosnál 60 százalékkal kevesebb energiát igényel, és majdnem teljesen zajtalan. A kormányoszlop elmaradása pedig a kezelőtér növekedését eredményezi.

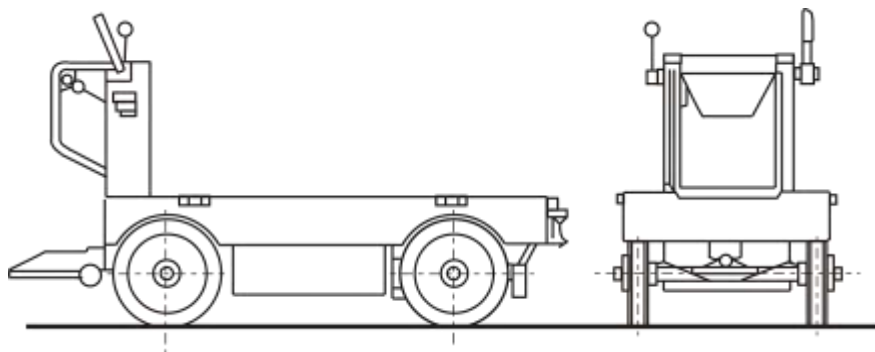
A váltóáramú technikával felszerelt gépek sokkal dinamikusabbak, és akár 11 km/h csúcsebbséget érnek el, amihez a „gondolkodási idő” nélküli gyors menetirány változtatási képessége párosul. A szénkefe nélküli váltóáramú motorok karbantartást nem igényelnek, ezért rendelkezésre állásuk magas, és karbantartási költségük kicsi. A menetsebesség csökkentésekor, a motorok generátoros üzemmódba kapcsolnak és energiát táplálnak vissza a rendszerbe (töltik az akkumulátorokat), ezáltal a targoncák üzemideje jelentősen meghosszabbodik.

A korszerű targoncák **erőátviteli rendszere hidrosztatikus**. A motor a rendszer szivattyúját hajtja meg, amely az energiahordozó folyadékot vezérlő és szabályozó elemeken keresztül juttatja el a hidromotorokhoz és a munkahengerekhez.

Az üzemi körülményekre kevésbé érzékeny, könnyen áttelepíthető **belsőégésű motoros** hajtás nagyobb teljesítményigény (3 t terhelés felett), gyakori tartós túlterhelés, nagyobb szállítási távolság esetén előnyösebb a villamos hajtásnál. Ezzel szemben állnak a hátrányaik: a zajos üzem; a levegőt szennyező kipufogó gázok. A légszennyezés szempontjából a legelőnytelenebbek a benzinüzemű **Ottómotorok**. E hátrány propán-bután gázüzemre való átállítással csökkenthető. A gazdaságos üzemű **dízelmotorok** kipufogó gázai kevésbé veszélyesek, de kellemetlen szagúak. Az említett hátrányok a járműiparban is használatos katalizátorok beépítésével lényegesen csökkenthetők. A belsőégésű motorral hajtott targoncák erőátviteli rendszere lehet mechanikus vagy hidraulikus.

3.5.1. Szállítótargoncák

A vasúti pályaudvarokról közismert szállítótargoncák rakfelülete változatos, alkalmassá tehető darab és ömlesztett áru szállítására egyaránt. Így az üzemekben és raktárakban különböző vízszintes mozgatót igénylő feladatok oldhatók meg velük. Rakódásuk mindig külső segítséget igényel. Teherbírásuk 500...3000 kg között változik.



3.5.1. ábra: Vezetőállásos szállítótargonca

A szállítótargoncák főbb szerkezeti részei: a motor, a hajtómű, a kormány szerkezet, a futómű, az alváz és a rakfelület.

A motor lehet különleges kialakítású egyenáramú villamos motor, amelyhez az energiát a rakfelület alatt elhelyezett akkumulátorok szolgáltatják. A hátsó kerekek rendszerint közvetlen vagy fogaskerekes áttétellel külön-külön hajtottak. A belsőégésű motorral hajtott szállítótargoncák rövid távolságú kültéri szállításra használhatók. Ezek a tehergépkocsikhoz hasonlóan tengelykapcsolóval és sebességváltóval ellátottak.

A kormány szerkezet kialakítása a targonca vezérlési módjától függ. A vezetőállásos targoncák kormánykarral vagy lábpedállal kormányozhatók. A kormány művezérlése hengerkerék vagy kézi kar segítségével történik. A kormány művet magában foglaló szekrény a vezetőállás mögött helyezkedik el, ami háttámaszként is

szolgál (3.5.1. ábra). A vezetőüléssel targoncák a járművekhez hasonlóan kormánykerékkel kormányozhatók és a műszerfalba épített karokkal vezérelhetők.

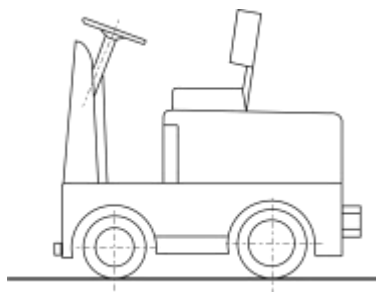
A futómű tömör vagy fűvott gumi. A tömör abroncs nagy teherbírású, jól kormányozható, de tapadása lényegesen rosszabb, mint a fűvott abroncsé.

A rakfelületet hordozó alváz idomacélból kialakított keret. A sík vagy szekrényszerűen kialakított rakfelület magassága 600...700 mm. Ömlesztett áruk szállításához a rakfelület nyitható oldalfalakkal ellátott. A rakfelület lehet fix vagy billenthető (billenőszekrényes). A rendszerint 50...60 fokos szögben hátra felé billenthető szekrényt hidraulikus munkahenger mozgatja [46].

3.5.2. Vontatótargoncák

A vontatótargoncákat nagyobb árumennyiségek mozgatására szolgáló pótkocsikból összeállított targoncavonatok vontatására használják. A vonatok ugyan helyigényük miatt nehézkesen mozognak, de lehetővé teszik fordulónként szállítható áru mennyiségének növelését, továbbá megfelelő szervezés esetén a targonca időkihasználásának javítását.

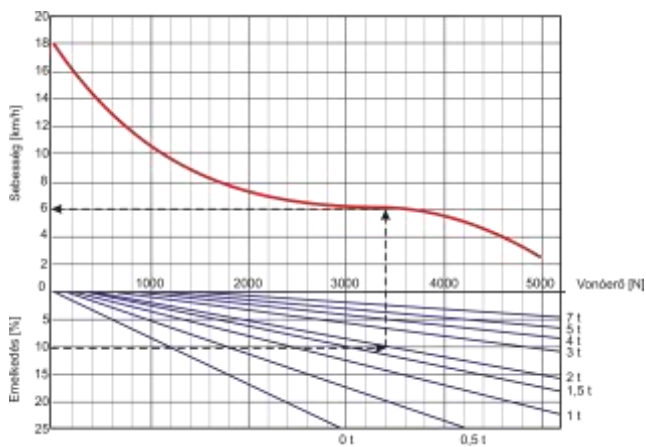
Mivel a vontatótargonca függetleníthető a pótkocsitól a fel és lerakás miatti várakozási idők kiűszöbölhetők.



3.5.2. ábra: Vezetőüléssel vontatótargonca

A vontatótargoncák felépítése a szállítótargoncákéhoz hasonló, azaz a különbséggel, hogy nincs rakfelületük. Általában vezetőüléssel (3.5.2. ábra) vagy gyalogvezérlésű kivitelben készülnek.

Teljesítményüket a katalógusok a vonóhorgon értelmezett vonóerővel vagy a vontatható teher tömegével adják meg a szállítópálya emelkedésének függvényében. Például ha a targonca 10%-os emelkedőn 2000 kg terhet vontat, akkor a vonóerő igény 3400 N és az elérhető sebesség 6 km/h (3.5.3. ábra).



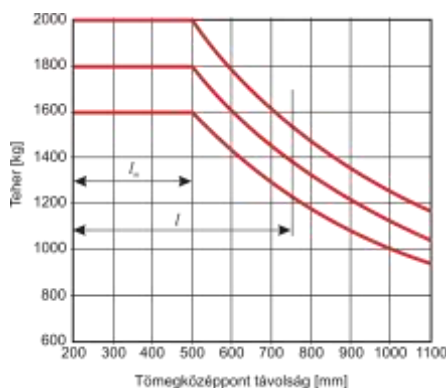
3.5.3. ábra: Vezetőüléssel vontatótargonca vontatási diagramja

A vontatható teher tömege 500...7000 kg között változhat. A targonca-pótkocsik rakfelületének szélessége 1000, 1300, 1600 mm, hossza 2000, 2700, 4000 mm. Saját tömegük 150...400 kg, teherbírásuk 1000...3600 kg.

3.5.3. Emelőtargoncák

Az emelőtargoncák a teher felvételére, hordozására, lerakására, magasra emelésére és süllyesztésére alkalmas szállítóeszközök. Olyan tehermegfogó és emelőszerkezetekkel szerelhetők, amelyek a legkülönbözőbb alakú darabárúk és ömlesztett anyagok megfogását teszik lehetővé. Teherbírásuk 100 kg-tól 50 t-ig terjed, emelési sebességük 0,1...0,3 m/s, emelési magasságuk 4...13 m, haladási sebességük 10...20 km/h. Terhelten a raktárakban megengedett sebességük azonban csak 5 km/h. Az igényelt közlekedőút szélessége a teherbírástól, illetve a szerkezeti sajátosságoktól függ. Az 1 t teherbírású emelőtargoncák által igényelt szélesség 1,8...3 m, ha a rakomány lerakásakor 90°-os szögben kell elfordulni. A legszélesebb utat a normál emelő-, a legkeskenyebbet a teleszkópvillás, a tolóoszlopos és az oldalemelésű targoncák igénylik.

Fő szerkezeti részeik: a merev alváz az energiaforrással, a futómű, a vezetőhely, az ellensúly, az emelőmű és a tehermegfogó szerkezet.



3.5.4. ábra: Különböző névleges teherbírású targoncák terhelési diagramjai

A konzolos terhelés miatt a stabilitást ellensúllyal biztosítják. A névleges teherbíráson kívül a targonca fontos jellemzője a megengedett billentő nyomaték is. Az emelőtargoncák teherbíró képességét a gyártók katalógusai tartalmazzák, amelyekben megadják a megengedett maximális teher ($Q_{\max}$) tömegközéppontjának távolságát (l_m) a villa befogási pontjától. Ez a távolság általában 500–600 mm (3.5.4. ábra). Ha a teher tömegközéppont távolsága nő, akkor a stabilitási tényező állandó értéken tartása érdekében, a teherbíró képességet kell csökkenteni.

A teher tömegközéppont különböző helyzeteihez tartozó megengedhető terhelést a **terhelési diagramban** ábrázolják (3.5.4. ábra).

$$M_{bil} = Q_{\max} l_m = \text{const},$$

amelyből a tetszőleges l helyen megengedett terhelés:

$$Q = \frac{M_{bil}}{l} \quad [\text{N}],$$

ahol:

M_{bil} a billentő nyomaték [Nm],

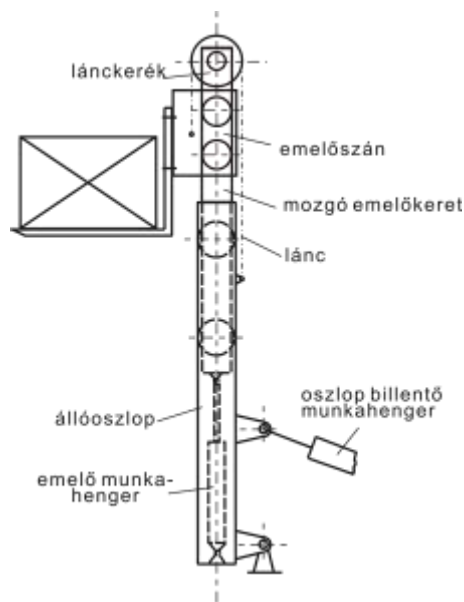
l a tömegközéppont távolsága a villa befogási pontjától [m].

Ugyancsak a terhelésből adódóan az első tengely terhelése jóval nagyobb, mint a hátsóé, ezért az első kerekeket hajtják meg. A kicsi fordulási sugarat a hátsó kerekek kormányzásával érik el.

Az **emelőmű** hidraulikus működtetésű (3.5.5. ábra).

Az **emelőszánra** rögzített **emelővilla** a **moz-**

gó emelőkereten fel vagy le tud gördülni. A mozgó keret az **állóoszlopon** kialakított vezetékben csúszik fel vagy le. A mozgó kereket hidraulikus munkahenger mozgatja felfelé vagy lefelé. Az állóoszlop gyakorlatilag egy felülről nyitott, U keresztmetszetű keret, amely billenthetően csuklókkal kapcsolódik a targonca vázához. Az emelőszánt a mozgó keret felső kereszttartóján rögzített tengelyen szabadon futó lánckeréken vagy lánckereken átvett lánc emeli, amelynek egyik vége a szánhoz, a másik vége pedig az állóoszlophoz kötött. Amikor a mozgókereket a hidraulikus munkahenger emeli, akkor az állóoszlophoz rögzített lánc ág hossza növekszik a szánhoz rögzített ág hossza pedig csökken, ami miatt az emelőszán is felfelé mozog.

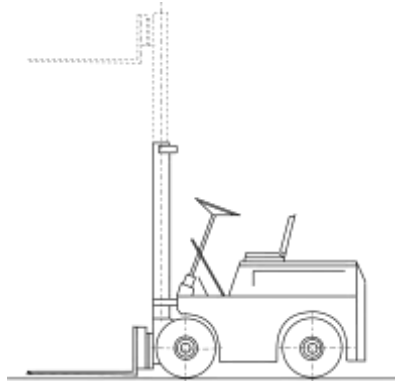


3.5.5. ábra: Az emelőmű elvi felépítése

Süllyesztéskor a mozgások ellentétes irányúak. Ez a kialakítás nemcsak az emelőmű terhelése szempontjából kedvezőbb, hanem ún. löket-sokszorozóként az emelő munkahenger egységnyi elmozdulásához kétegyeségyi szánelmozdulást rendel. A teleszkópszerűen összetolható tagok radiális és axiális támasztást biztosító görgőkkel, befeszülés-mentesen csatlakoznak egymáshoz. Az állóoszlop ugyancsak hidraulikus hengerrel billenthető (előre 2...6°-ot, hátra 6...15°-ot), ami a rakodólapok felvételét és lehelyezését könnyíti.

Az emelőtargoncák az emelési magasság és a szerkezeti kialakítás alapján csoportosíthatók. Az emelési magasság szerint kis- és nagyemelésű targoncákat különböztetünk meg. A kisemelésű targoncák emelési magassága 150... 200 mm, ott használhatók, ahol nincs szükség halmozásra. A nagyemelésű targoncák a rakományt több méter magasra halmozhatják. A különleges típusok esetén ez 7...13 m is lehet. A szerkezeti sajátosság szerint **normál, tolóoszlopos, terpesz, oldalemelésű és különleges** emelőtargoncákról, illetve emelőkocsiról beszélhetünk.

A **normál emelőtargoncák** vezetőülésses (3.5.6. ábra), vezetőállásos és gyalogkísérető kivitelben készülnek. A normál emelőtargoncák főbb jellegzetességei: a szállított rakomány tömegközéppontjának helyzete az emelés és a szállítás alatt azonos, a tömegközéppont függőleges vetülete az ún. **alátámasztási poligonon** (a kerek támaszkodási pontjai által határolt terület) kívül esik. Az emelőmű általában előre hátra billenthető; teherbírásuk 500 ... 3000 kg; a hátsó kerekeik kormányozottak.



3.5.6. ábra: Vezetőülésses normál emelőtargonca

A váltóáramú technológiával működő új generációs villamos targoncák (3.5.7/a ábra) előnyei: az energia visszatáplálásnak köszönhető energiatakarékos üzem, a két feltöltés közötti idő növekedése, a nagyobb üresjárat sebesség, az alacsony karbantartási költség és a hatékony elektrohidraulikus kormányzás. További újdonság az automatikus parkoló fék, a vezetőt segítő rendszer (driver assistance system).



a)

b)

3.5.7. ábra: Korszerű normál emelésű villástargoncák
a) elektromos, b) Diesel-motoros

A villástargoncák sokoldalú kihasználása érdekében, a gyártók speciális feladatok elvégzésére alkalmas, és akár egyedi igényekhez is igazodó kiegészítő berendezéseket kínálnak. A gyártók kiegészítő berendezés választékában szinte minden alkalmazási területhez és művelethez (emelés, tolás, forgatás, stb.) található megfelelő eszköz (3.5.8. ábra). Ezekkel a különféle anyagmozgatási munkák és feladatok biztonságosan és gazdaságosan lebonyolíthatók és a targonca kihasználása javítható.

Az alapfelszereléshez tartozó **emelővilla** az emelőszánra akasztható, mechanikusan állítható, amely a U-profilból vagy zárt szelvényből kialakított **villahosszabítóval** megtoldható.

Az emelőszánra szerelhető ún. **oldalmozgató** szerkezet lehetővé teszi az eredeti emelővillák oldalirányú mozgását.

A **villatávolság állító berendezés** segítségével a villaágak távolsága hidraulikusan, horizontálisan állítható, és amennyiben szükséges, a villatávolság állító berendezés oldalmozgatóval is kombinálható.

A **szorítóvilla** olyan rakományok felvételére, mozgatására alkalmas, amelyeket nem lehet alulról megemelni. A speciális emelőkar segítségével hordók, papírtercsek, bálák stb. szállítását teszi lehetővé.

A **forgatható szorítóvilla** 90 fokkal elforgatható, normál és elfordított állásban rögzíthető emelővilla. Szállításra, általános targoncával végezhető munkákra valamint ládák, bálák megemelésre egyaránt alkalmas.

A **bálafogó** az élre állított lemezkarjai papír és textílbálák felemelését teszik lehetővé, valamint stabil tartást biztosítanak. Az érdes vagy gumírozott szorítókarok a nyomásra érzékeny rakományok felemelésére alkalmasak.



Emelővilla, villahosszabbító



Oldalmozgató



Villatávolság állító berendezés



Szorítóvilla



Forgatható szorítóvilla



Bálafogó



Hordófogó



Kőfogó



Forgató berendezés



Tekercsfogó



Hordozó rúd, szőnyegtüske



Emelődaru, daruhorgony

3.5.8. ábra: A normál emelésű villástargoncák kiegészítő berendezései

A **hordófogó** álló hordók paletta nélküli szállítására alkalmas. A szorítókarok kialakításának köszönhetően egyszerre akár 4 hordó is felemelhető.

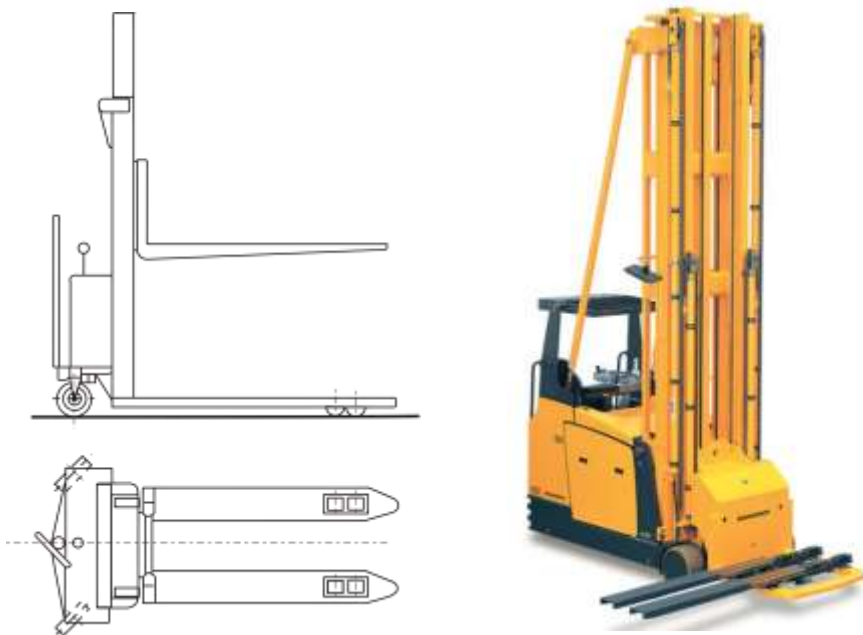
A **kőfogó** ideális szállítási feltételeket biztosít kőhalmok mozgatásához, mint pl. téglá, nehéz betonelemek, burkolatkövek emeléséhez.

A **forгатó berendezés** a tartályok kiürítésének eszköze. A forгатó berendezés más kiegészítő berendezésekkel együtt is alkalmazható, pl. szorítóvillával, hordófogóval, bálafogóval stb.

A **tekercsfogó** fekvő papírtekercsek és más henger alakú tárgyak szállításához alkalmazható. A tekercsfogó berendezés egy hidraulikus forгатószervezetből és egy élre állított szorítóreszből áll.

A **hordozó rúd, szőnyegtüske** szőnyegtekercsek szállítására alkalmas. Kis átmérője ellenére nagy teherbírással rendelkezik. Szőnyegtüskék akár 3500 mm hosszúak is lehetnek.

Az **emelődaru, daruhorgony** minden olyan rakomány, teher mozgatásához megfelelő, amelyeket a villával alulról nem lehet megemelni.



3.5.9. ábra: Nagyemelésű emelőkocsi

3.5.10. ábra: Magasraktári emelőkocsi

Az **emelőkocsik** kis- vagy nagyemelésű, vezetőállásos vagy gyalogkísérő villamos motoros targoncák (3.5.9. ábra). Főbb jellegzetességeik: a szállított teher tömegközéppontjának függőleges vetülete az emelés és a szállítás időtartama alatt az alátámasztási poligonon belül van; az emelőoszlopuk nem billenthető; a tehermegfogó szerkezetük emelővilla; az első kerekek olyan kis átmérőjű görgők, amelyek a szabványos sík rakodólap alá (rövidebb oldal felől) képesek behatolni; teherbírásuk 200... 2000 kg.

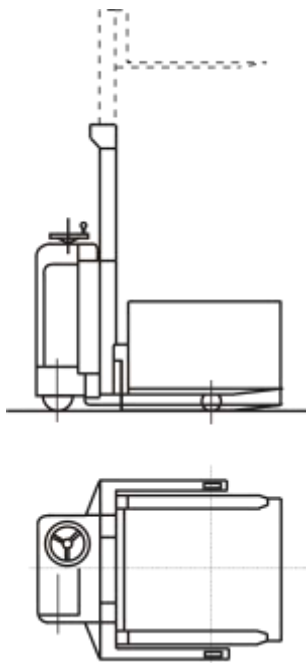
A 3.5.10. ábrán látható magasraktári emelőkocsi a korábban már említett 3 fázisú, 80 V-os váltóáramú technológiával működik, ami számos más előny mellett, lassuláskor és fékezéskor energiát táplál vissza a rendszerbe. A haladási irányra merőlegesen mozgó teleszkópvillájának köszönhetően szinte a teher szélességével megegyező méretű keskeny raktárfolyosóban is képes haladni és két oldalra rakodni. Teherbírása 1000-1200 kg és maximális emelési magassága pedig 13 m. A targoncán található további technikai érdekesség a vibrációcsillapító, állítható

magasságú és a vezető testsúlyához állítható forgó ülés, valamint a személygépkocsikban szokásos pedáلهlrendezés.

A **terpesz-emelőtargonca** első kerekei a felemelendő terhet közrefogó, villa-szerűen kialakított támasztókarok végén helyezkednek el (3.5.11. ábra).

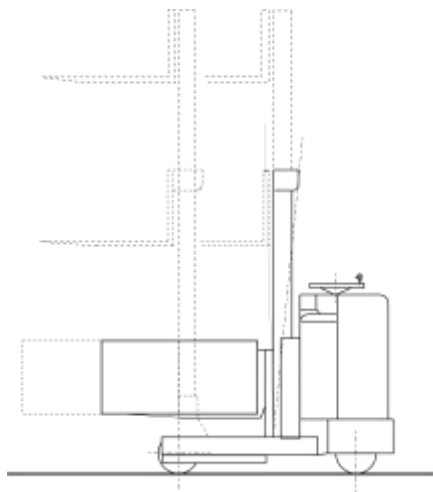
Az emelés és a szállítás teljes időtartama alatt a tömegközéppont függőleges vetülete az alátámasztási poligonon belül helyezkedik el, így a targonca szélessége növekszik, stabilitása javul. Ugyanakkor hátrány, hogy halmozáskor a rakományok mellett elegendő helyet kell hagyni a támasztókarok behatolásához.

Vezetőállásos és gyalogkísérő kivitelben, 500...3000 kg teherbírással, villamos motoros hajtással készülnek. Megfogó-szerkezetük általában emelővilla. A terpesz-emelőtargonca utóbbi hátrányos tulajdonságát küszöbölik ki a tolóoszlopos terpesztargoncák, amelyek a két megoldást egyesítik.



3.5.11. ábra: Terpesz-emelőtargonca

A **tolóoszlopos targonca** a normál emelőtargonca és az emelőkocsi előnyeit egyesíti. A terheléskor és lerakásakor a tolóoszlopos targonca billenthető emelőoszlopa a mellső kerekek elé tolható (3.5.12. ábra). Így a terhet ugyanúgy veszik fel, illetve rakják le, mint a normál emelőtargoncák.



3.5.12. ábra: Tolóoszlopos targonca



3.5.13. ábra: Elektromos kormányzású tolóoszlopos targonca

A szállítás előtt az emelőoszlop hátrasiklik, és a teher tömegközéppontja a mellső és a hátsó tengelyek közé kerül, ezzel a targonca stabilitása jelentősen javul, és a szerkezeti hossza is csökken.

Támaszkerekei nagyobbak lehetnek, mint az emelőkocsi támaszkerekei, ezért a terep egyenlőtlenségeire kevésbé érzékeny. Egyes típusoknál az emelőoszlop helyett a targonca első tengelye tolható előre-hátra. A teher felvételekor a tengely hátsó helyzetben van, és az emelővilla konzolosan helyezkedik el. A teher felvétele után az első tengely előre tolható.

A 3.5.13. ábrán látható váltóáramú technológiával működő, elektromos kormányzású tolóoszlopos targonca a szélessége mindössze 1120 mm. Ennek ellenére képes az Euro-raklapot hosszirányban a kerékkarok között szállítani. E tulajdonságának köszönhetően különösen alkalmas tömbtárolás, valamint bejárható/átjárható állványrendszerek kiszolgálására. A targonca teherbírása 1600 kg, emelési magassága 7,1 m.



3.5.14. ábra: Oldalemelésű állványkiszolgáló targonca

Az első generációs **oldalemelésű targoncákat** elsősorban hosszú darabok (rudak, csövek, konténer stb.) rakodására és szállítására fejlesztették ki. A korai típusoknál a rakományt az oldalirányban kitolható emelőoszlopon mozgó emelővilla veszi fel, majd az emelőoszlop visszahúzódása után a targonca rakfelületére helyezi. Annak köszönhetően, hogy a rakomány hossz tengelye a targonca haladási irányával párhuzamos, a targonca viszonylag keskeny közlekedő folyosóban mozoghat. Ilyen megoldást mutat a 4.4.13. ábra.

Az új fejlesztésű konstrukciók azt a helyzeti előnyt használják ki, hogy a rakományok állványra helyezéséhez, illetve az állványról való levé-

téléhez a targoncának nem kell elfordulnia, így a működés a rakomány szélességénél nem sokkal szélesebb közlekedő folyosót igényel. Az oldalemelésű targoncák alkalmazási területe ezért kiszélesedett, és a keskenyfolyosós, állványos raktárak fontos rakodóeszközeivé váltak. A 3.5.14. ábrán látható 13 m emelési magasságú és 1500 kg -ig terhelhető, háromfázisú váltóáramú technológiával működő oldalemelésű targonca emelőszervezete három irányban képes mozogni. A hagyományos megoldástól eltérően (ahol az emelővilla mereven kapcsolódik az emelőszárhoz), a teleszkópos emelőoszlopra függesztett emelőszáron a villatartó az emelővillával együtt a haladási irányra merőlegesen is mozog. A konstrukció további újdonsága a vezető testsúlyához állítható ergonomikus forgó ülés. A kezelő konzol magassága és a vezetőtől való távolsága ugyancsak változtatható. A funkció - és a működtető billentyűket magában foglaló grafikus display, az egykezes irányítóegység, az elektromos kormányzás, az átlós haladás, a sebességtartás

és még számos más technikai újítás mind-mind a vezető munkáját hivatott segíteni és könnyíteni.

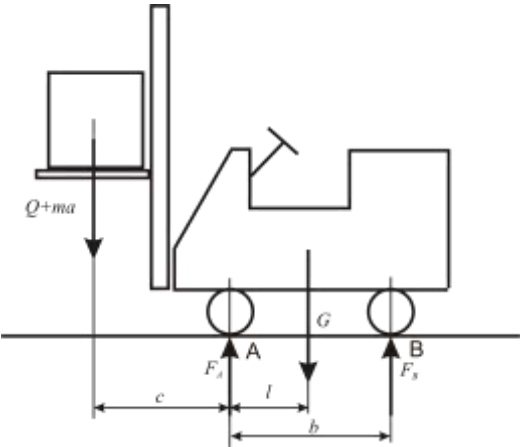
3.5.4. Az emelőtargoncák stabilitása

A biztonságos üzemeltetés feltétele, az A pontra (3.5.15. ábra) írt nyomatéki egyenletben az óramutató járásával megegyező irányú nyomaték nagyobb legyen, mint az ellentétes irányú nyomatékok összege:

$$(Q + ma)c + F_B b \leq Gl,$$

ahol:

- Q a terhelés [N],
- G a targonca súlya [N],
- a a teher gyorsulása [m/s^2],
- F_B a hátsó tengely terhelése [N],
- c, l, b az erők karjai [m].



3.5.15. ábra: Az emelőtargoncát terhelő erők

3.5.1. táblázat

A villát terhelő erő nagysága különböző mozgásállapotokban

A teher mozgásállapota	Terhelőerő [N]
A teher áll vagy állandó sebességgel mozog	$F_t = Q = mg$
A teher a lassulással mozog lefelé	$F_t = Q + \Delta F = mg + ma$
A teher a gyorsulással mozog lefelé	$F_t = Q - \Delta F = mg - ma$
A teher a gyorsulással mozog felfelé	$F_t = Q + \Delta F = mg + ma$

Az emelő villát terhelő erő $F_t = Q + \Delta F = mg + ma$. A kifejezés második, dinamikus tagja a villa és a teher mozgásállapotától, pontosabban az a gyorsulás irányától és nagyságától függ. A lehetséges terhelési eseteket a 3.5.1. táblázat foglalja össze.

A tengelyek terhelései: az

$$F_B = \frac{Gl - (Q + ma)c}{b},$$

és az

$$F_A = Q + ma + G - F_B.$$

Határesetben, a targonca akkor billen előre, ha az F_B erő értéke 0. Ekkor az A pontra írt nyomatéki egyenlet:

$$(Q + ma)c = Gl,$$

amelyből a **stabilitási tényezőnek** nevezett hányados:

$$k = \frac{Gl}{(Q + ma)c}.$$

A kifejezésben az $M = (Q + ma)c$ nyomatékot **billentő nyomatéknak** nevezik. A stabilitási tényező (k) értéke a targonca szerkezeti sajátosságaitól, az emelési magasságától és a kerekek abroncsozásától függően 1,3...1,7 között változhat.

3.5.5. A targoncák teljesítőképessége

Az anyagmozgatási feladatok megoldásakor gyakran felvetődő kérdés, hogy az adott feladat elvégzéséhez hány targoncát kell beállítani. A targoncák számának meghatározásához viszont ismerni kell azok teljesítőképességét.

A szállító- és a vontató és emelőtargoncák teljesítőképessége egyaránt az ismert

$$Q = 3,6 \frac{m}{t} \text{ [t/h]}$$

összefüggéssel számítható, ahol:

- m a az egy ciklusban (fordulóban) mozgatott anyag átlagos tömege [kg],
- t az egy ciklus átlagos időtartama [s].

A ciklusidő:

$$t_{fi} = t_{r1} + t_h + t_{r2} + t_z$$

ahol:

- t_{r1} a teher felrakásának időszükséglete [s],
- t_h a teherrel haladó targonca menetideje [s],
- t_{r2} a teher lerakásának időszükséglete [s],
- t_{zi} a teher nélkül visszafelé haladó targonca menetideje [s].

3.5.2. táblázat

Emelőtargonca teherfelvételének és - elhelyezésének időszükséglete [s] a rakodási magasság függvényében

Időelem	Rakodási magasság, mm							
	0	750	1200	1600	2000	2400	2800	3200
Teherfelvételi idő [s]	22	19	30	35	38	42	56	59
Teher elhelyezési idő [s]	17	22	35	39	43	46	58	69

A t_{r1} és a t_{r2} értéke rakodási normák alapján meghatározható, a t_h és a t_{ii} idő pedig a megengedett sebesség és az átlagos szállítási távolság ismeretében számítható.

A ciklusidőt meghatározó összefüggésben a t_{r1} és a t_{r2} idő elnevezése különböző lehet. A szállító- és a vontatótargoncáknál teher fel- és lerakási időről, az emelőtargoncáknál viszont teherfelvételi és –letételi (elhelyezési) időről beszélünk.

A teherfelvétel és letétel időszükséglete a tehermegfogás, emelés, elhelyezés, elengedés, valamint a teherfelvételt és letételt követő fordulások időszükségletét tartalmazza. Ezeket a műveleteket a rakodási helyek 5 m-es körzetén belül kell elvégezni. Az időszükségletet a helyi körülmények, az emelés és a süllyesztés sebessége és a targoncavezető gyakorlottsága is befolyásolja. Átlagértékeket a halmozási magasság függvényében a 3.5.2. táblázat tartalmazza.

A különböző kialakítású emelőtargoncák sebességadatait a 3.5.3. táblázat foglalja össze.

3.5.3. táblázat

Az emelőtargoncák sebességadatai

Emelőtargonca	Haladási sebesség [km/h]		Emelési sebesség teherrel [cm/s]
	üresen	teherrel	
Konzolos vezetőüléssel gyalogvezérlésű	10...20 4...6	8...10 4...5	15...28
Emelőkocsi vezetőállással gyalogvezérlésű	7...10 3...6	5...6 3...5	15...18
Tolóoszlopos	7...10	5...8	18...20
Terpeszemelő vezetőállással gyalogvezérlésű	6...8 3...6	5...6 3...5	15...18

A vontatótargoncákkal vontatható tömeg nagysága nem adható meg egyértelműen. A gépkönyvek gyakran csak a vonóhorgon kifejthető vonóerőt közlik, jobb esetben a 3.5.2. ábrán bemutatott vonóerő diagramot. Az utóbbiból ugyan közvetlen kiolvasható a vontatott tömeg nagysága is, azonban a diagram nem veszi figyelembe az útfelület minőségét. Pontosabb számításhoz a vontatható tömeg közelítőleg:

$$m = \frac{F_v}{w \pm 0,1e},$$

ahol:

F_v a vonóhorgon kifejthető vonóerő [N],

w a fajlagos menetellenállás [N/kg],

e az anyagmozgatási út emelkedése, illetve lejtése [%].

A fajlagos menetellenállás értéke a targoncapótkocsi-futómű kialakításától (kerékátmérőtől, csapágyazástól, abroncsozás minőségétől) függ. A különböző útfelületeken haladó szokásos tömögumi abroncsozású targonca-pótkocsik fajlagos menetellenállásának értékeit a 3.5.4. táblázat tartalmazza.

Az emelőtargoncákkal mozgatható tömeg a gyártó által közölt terhelési diagramban [$Q=Q(I)$] megadott Q értékekből számítható.

3.5.4. táblázat

A fajlagos menetellenállás [N/kg] értékei különböző útfelületek esetén

Útfelület	Fajlagos menetellenállás [N/kg]	Útfelület	Fajlagos menetellenállás [N/kg]
Beton (jól karbantartott)	0,20...0,22	Fakocka	0,20...0,22
Beton (rosszul karbantartott)	0,26...0,28	Zúzott kő	0,38...0,47
Aszfalt	0,15...0,17	Agyag	0,82...1,10
Bitumen	0,24...0,26	Homok (kemény)	1,36...1,40
Kockakő	0,28...0,30	Homok (laza)	1,62...1,72

3.6. FELRAKÓGÉPEK

A felrakógépek (állványkiszolgáló gépek) az ún. magasraktárak sajátos technikai elemei, amelyek az állványsorok közötti közlekedőfolyosókba telepített sín pályán mozogva –egyidejű haladó és emelő mozgással– közelítik meg a kívánt tárolóhelyet. Mielőtt e sajátos gépeket részletesen ismertetnénk, röviden összefoglaljuk a magasraktárakkal kapcsolatos alapfogalmakat.

Magasraktáraknak általában azokat az állványos tárolási rendszereket nevezzük, amelyekben a tárolási magasság az általános célú emelőtargoncák által elérhető magasságot meghaladja [62]. Más megközelítésben: ha az állványok magassága 6 és 10 m között van, akkor középmagas, 10 m felett pedig magasraktárakról beszélünk. A magasraktárakban főleg egységrakományokat (raklapos, tárolóládás, stb.) esetleg egyedi darabárukat tárolnak. A magasraktári rendszerek rendeltetésük szerint három fő részből állnak:

- a **tárolótérből**, ahol megvalósul a raktár fő funkciója, a tárolás; a tárolóteret a tárolóállványok alkotják, és az állványok közötti közlekedőfolyosókban mozognak a tárolóállványokat kiszolgáló felrakógépek;

- az **árugyűjtő és -elosztó térből** és annak berendezéseiből, ahol a tárolást megelőző és követő munkafolyamatokat (egységrakomány képzés és bontás, ellenőrzés, kommissiózás) végzik;

- az **irányító- és ügyviteli rendszerből**, amely a különböző raktári munkafolyamatok irányítására, az árunyilvántartás és adatfeldolgozás végrehajtására szolgál.

A magasraktározási rendszerek elterjedése a termelési és a raktározási folyamatok automatizálásával és az elosztási rendszerek fejlődésével függ össze.

3.6.1. A felrakógépek csoportosítása

A felrakógépek a rendeltetés, a vezérlés módja, továbbá a pályaelhelyezés jellemzői és a megtámasztás módja szerint csoportosíthatók [62].

Rendeltetés szerint lehetnek:

- egységrakományok mozgatására alkalmas,
- kommissiózó (az árukat a tárolóállványról kigyűjtő),
- kombinált (egységrakományok mozgatására és kommissiózásra is alkalmazható) felrakógépek.

A vezérlés módja szerint a felrakógépek lehetnek:

- kézi,
- félautomatikus és
- automatikus vezérlésűek.

Kézi vezérlés esetén a kezelőszemély a gép mozgását és műveleteit a vezetőfülkéből vezérli irányítókapcsolókkal. **Félautomatikus vezérlés** esetén a gép automatikusan közelíti meg a kijelölt állvány-rekeszt (tárolóhelyet), de az egységra-

kományok be-, illetve lehelyezése (a ki-, illetve a betárolást végző villa vezérlése) kézi irányítású. **Automatikus vezérlés** esetén a gép valamennyi mozgását (a villa mozgását is) az automatika vezérli. Biztonsági okokból, továbbá speciális feladatok (pl. állványsor elhagyás) végrehajtásához a félautomatikus és automatikus vezérlésű gépek is működtethetők kézi vezérléssel.

A **pályaelhelyezés szerinti** alsó- és felsőpályás felrakógépek különböztethetők meg. Az **alsó pálya** a padlószerkezeten rögzített, a **felső pálya** vagy a tetőszerkezetre vagy az állványszerkezetre szerelhető.



3.6.1. ábra: A pályaelhelyezés és a megtámasztás lehetséges kombinációi

A **megtámasztás szempontjából** megtámasztás nélküli, a padlószerkezeten megtámasztott, a tetőszerkezeten vagy az állványszerkezeten megtámasztott felrakógépek különböztethetők meg.

A pályaelhelyezés és a megtámasztás különböző megoldási módjainak lehetséges kombinációit a **3.6.1. ábra** foglalja össze. A leggyakrabban a **padlószerkezeten rögzített** pályás megoldást alkalmazzák. A padlószerkezeten rögzített pálya előnye, hogy a gépről a függőleges terhelés teljes egészében a padlószinten elhelyezett, vagy a padlóburkolatba süllyesztett sínre adódik át. Karbantartási szempontból előnyös, hogy az emelő- és a hajtómű, továbbá a vezérlés, jól megközelíthetően, a futómű talapzatán foglal helyet. E pályaelhelyezés egyetlen hátránya, hogy körülményes a gépet egyik folyosóból a másik folyosóba áthelyező ún. tolópad szerkezeti kialakítása.

Az **állványszerkezeten rögzített** pályás megoldást ma már viszonylag ritkán alkalmazzák, mivel hátránya, hogy a gép tömegéből származó összes súlyerőt az állványszerkezet veszi fel; karbantartási szempontból hátrányos az is, hogy a hajtó- és az emelőmű a gép felső részén helyezkedik el.

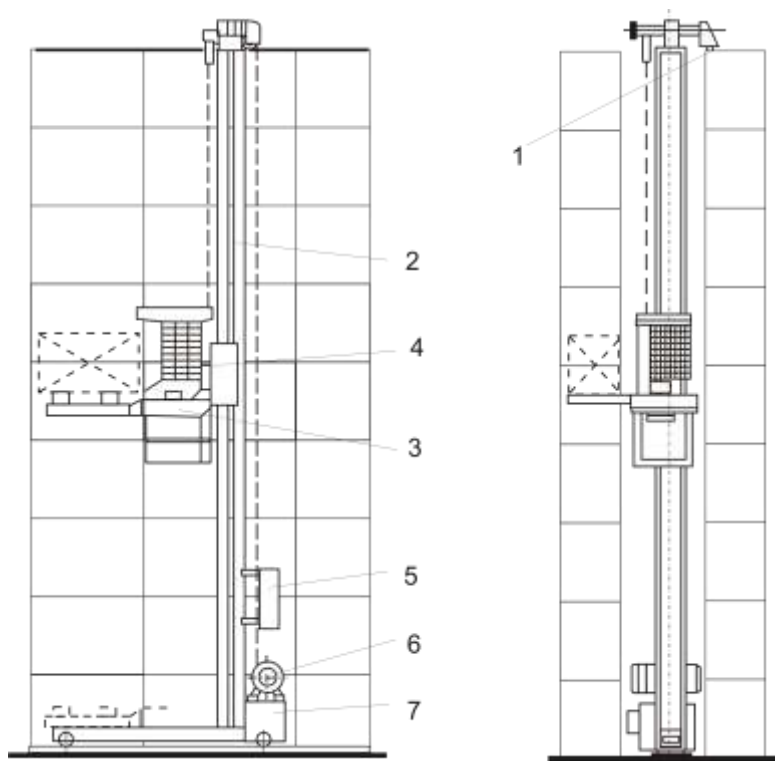
A **tetőszerkezethez rögzített** pálya ugyancsak ritkán alkalmazott megoldás. Itt a gép az állványsorok közötti folyosó középvonalában futó, a tetőszerkezetre erősített sín pályán mozog.

3.6.2. A felrakógépek felépítése és működése

A felrakógépek főbb szerkezeti egységei (**3.6.2 ábra**):

- az emelőoszlop,
- az emelőmű,
- a haladómű

az emelőkeret a vezetőfülkével,
a tehermegfogó szerkezet.



3.6.2. ábra: A felrakógépek főbb szerkezeti egységei

- 1) vezetősin, 2) oszlop, 3) emelőkeret, 4) vezetőfülke, 5) villamos kapcsolószerkezet,
6) emelőmű, 7) haladómű

Az **emelőoszlop** (amely egy- vagy kétoszlopos kivitelű lehet) rendeltetése a különböző szerkezeti egységek hordozása, az emelőszán (emelőkeret) vezetése, valamint az egész rendszer stabil megtámasztása, vagy függesztése.

A kétoszlopos kivitel, a keletkező lengések miatt, elsősorban a nagy emelési magasságú, nagy teherbírású és nagy sebességű gépeknél gyakori. Az ilyen gépek felső vezetőgörgői a gyorsítás során fellépő oszloplengések csillapítására gyakran szinkron segédhajtással vannak ellátva.

A villamos motorral hajtott **emelőmű** feladata az emelőkeret, illetve a rászertelt vezetőfülke és tehermegfogó szerkezet függőleges irányú mozgatása és a kívánt pontossággal való beállítás. Szerkezeti kialakítását tekintve az emelőmű hajtódobos, hajtótárcsás vagy lánckeres lehet, és ennek megfelelően az emelőművet és az emelőkeretet kötél vagy lánc köti össze.

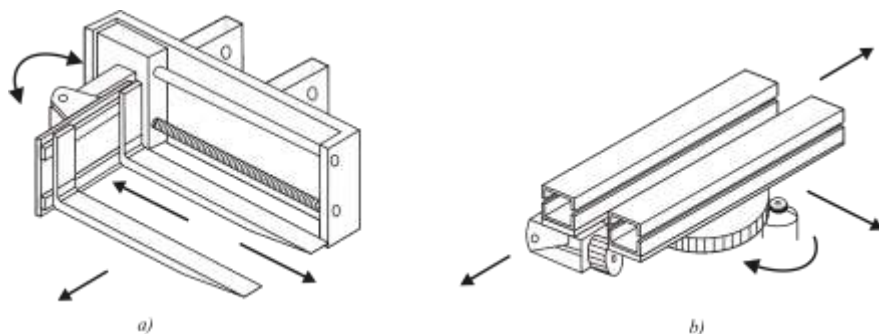
A **haladómű** szerkezeti kialakítása a daruk futómacskájához hasonló, amely magában foglalja a motort, az áttételeket és a futókerekeket. A haladási sebesség 0,2...1,5 m/s között változik.

Az **emelőkereten** helyezkedik el a vezetőfülke és a tehermegfogó szerkezet. A vezetőfülke a gépvezető tartózkodási helye, itt található a gép vezérléséhez szük-

séges berendezések és kezelőszervek. A vezetőfülkét mindig, automatikus gépek esetében is, felszerelik a felrakógépre. Az emelési sebesség $0,1 \dots 0,3$ m/s.

Tehermegfogó szerkezetként a rakodólapos egységrakományok mozgására forgóvillát vagy teleszkópvillát alkalmaznak (3.6.3. ábra). Az egységrakományokat mozgató tehermegfogók terhelhetősége $1000 \dots 2000$ kg, a csak komissiózásra alkalmas gépeké kisebb, $250 \dots 500$ kg.

Az emelőkeretre szerelt **forgóvilla** függőleges tengely körül 180° -kal elfordítható és az állványsorra merőleges egyenesvonalú mozgást végez (3.6.3/a ábra). A csavarorsóval mozgatott forgóvilla oldalra kitolható és a talajon elhelyezett rakományok felvételére is alkalmas. A villa a közlekedőfolyosóban is átfordítható, így egy munkaciklusban a folyosó két különböző oldalán lévő tárolóhelyre, illetve tárolóhelyről egymást követően lehet, be-, illetve kitárolni.



3.6.3. ábra: Felrakógépek tehermegfogó szerkezetei

a) forgóvilla, b) forgatható teleszkópvilla

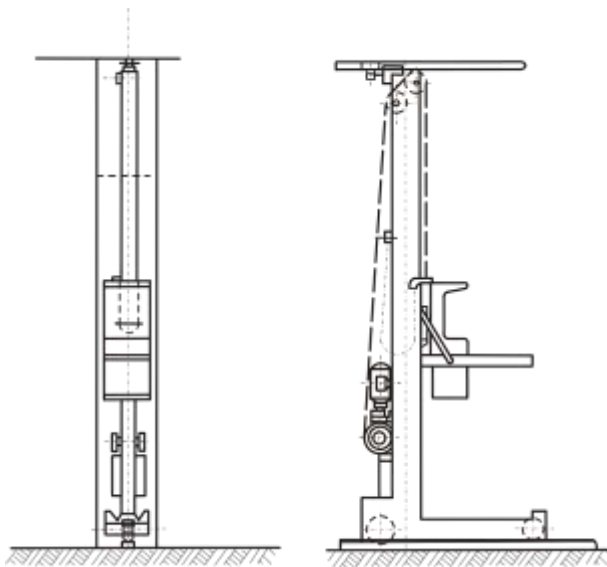
A **teleszkópvilla** fogasléccel működtetett, U keresztmetszetű mozgó része teleszkópszerűen tolódik az emelőkerethez rögzített állórészre (3.6.3/b ábra). A villa szerkezeti hossza pontosan akkora, mint a rakodólap hosszabbik mérete. A mozgórész a rakomány felvétele, illetve lerakása céljából a folyosóból jobbra vagy balra egyforma távolságra ki tud nyúlni. Hátránya, hogy csak a folyosó végén oldalt elhelyezett feladóasztalokról tudja a rakományokat felvenni (a padlózatról nem), ezenkívül a 800×1200 mm alpméretű sík fa rakodólapokat csak a rövidebbik (800 mm-es) oldaluk felől tudja megfogni, így az állványmélység csak 1200 mm lehet.

Automatikus üzem esetén előnyösebb teleszkópvilla alkalmazása, mivel a forgóvilla két motorjával szemben itt csak egy motort kell vezérelni.

A villás megfogó-szerkezeteken kívül az emelőtargoncák árumegfogó szerkezeteinek választékával megegyező –a tárolási egységek alakjához igazodó– **különböleges tehermegfogó** szerkezetek (pl. tekercs-, bála fogók stb.) is alkalmazhatók a felrakógépeken.

A kisméretű és kis tömegű áruk állványból való kigyűjtéséhez használható, ún. komissiózó gépeken nincs szükség villaszerkezetre. Helyette a vezetőfülke előtt kezelőasztal található, amelyen a gépkezelő el tudja helyezni a kigyűjtött árukat (3.6.4. ábra). Komissiózáskor a gépkezelő a vezetőállást a rakodási magasságnak megfelelő szintre állítja (az áru elhelyezésére szolgáló kezelőasztalt a felkeresett tárolóhellyel egy szintbe hozza), így a kézzel könnyen emelhető tételeket egyen-

ként rakja be a raktári állvány polcaira, vagy fordítva egyenként emeli ki. A magasraktárakban ezt a fajta, ún. statikus (tárolóhelyen történő) kommissiózást viszonylag kis forgalom és sokféle áru esetén célszerű alkalmazni.



3.6.4. ábra: Padlóra szerelt, egy-sínpályás kommissiózó felrakógép

A nagyobb tömegű áru egységek kigyűjtéséhez a felrakógépek két teleszkópvillás változatát is kialakították. Az egyik villa az egységrakományok be-, illetve kitárolására alkalmas, a másikkra elhelyezett üres rakodólapon pedig a kigyűjtött áruk helyezhetők el. A nagyobb tömegű áru egységek kiemelését kis függődaru könnyíti meg.

A korszerű felrakógépek tipizált főegységekből és elemekből az építőszekrényelv alapján készülnek, ami lehetővé teszi a gazdaságos gyártást és az esetenként eltérő paraméterekkel jellemezhető gépek viszonylag rövid határidős szállítását.

Tolópadok

Kisebb forgalmú raktárakban indokolt lehet a folyosók számánál kevesebb számú felrakógép alkalmazása. Ilyen raktárakban a felrakógépek folyosóváltását is meg kell oldani, aminek az egyik lehetséges eszköze a tolópad, amely a tárolótér végén keresztirányban elhelyezett sín pályán mozog. Folyosóváltáskor a tolópad rááll arra a közlekedő folyosóra, ahol a felrakógép éppen dolgozik, ezt követően a felrakógép feláll a tolópadra szerelt sín pályára, majd a tolópad a saját pályáján az új munkaterületre (közlekedő folyosóra) szállítja a felrakógépet, ahol az legördül.

A felrakógép kiviteléhez igazodva a tolópadok alsó- vagy felsőpályás kialakításúak lehetnek. A felsőpályás rendszer szerkezeti kialakítása egyszerűbb. Az alsópályás megoldás a süllyesztett pálya miatt szerkezetileg bonyolultabb és drágább, hátránya még, hogy a raktár egyik végén akadályozza az állványsorok megközelítését.

A tolópadok haladási sebessége rendszerint 0,8 m/s alatt van, hajtásukra váltakozó áramú motoros hajtások is alkalmazhatók. Ügyelni kell azonban arra, hogy az

indítás és a megállítás lökésmentes legyen. Vezérlésüket általában –a felrakógép vezérlésével összekapcsoltan– két sebességfokozatú, egyszerűsített kivitelű vezérléssel oldják meg.

Önáthelyezős felrakógépek

A korszerű felrakógépek ma már többnyire alsópályás kivitelűek, ezért az alsópályás rendszerű tolópadok hátrányainak kiküszöbölésére fejlesztették ki az ún. önáthelyezős felrakógépeket. A folyosóváltást megvalósító rendszer a felrakógépre szerelt. Az átálláshoz csupán a padlóburkolatba süllyesztett sínek szükségeltetnek, és ezek nem akadályozhatják az állványsorok megközelítését. Az önáthelyezős gépekkel elsősorban kisforgalmú, viszonylag alacsony (max. 8 m magas) raktárakban találkozhatunk.

Biztonságtechnikai berendezések

A felrakógépek kialakításával szemben támasztott biztonságtechnikai követelményeket az MSZ 6716/1-76 tartalmazza. Az ebben foglaltak szerint minden felrakógépbe be kell szerelni a következő biztonságtechnikai berendezéseket:

megfogókészüléket a vezetőfülke, illetve az emelőkeret lezuhanásának megakadályozására (több, egymástól független függesztőelem esetén az emelési magasságtól függetlenül megfogó készülék helyett biztonsági fék is felszerelhető;

a függesztőelem lazulását korlátozó szerkezetet;

a 6 m-nél nagyobb emelési magasságú gépekbe túlterhelésgátlót, amely a névleges terhelés 1,3-szeresénél kikapcsolja az emelőművet;

a vezetőfülke, illetve az emelőkocsi süllyesztési sebességét határoló, mechanikus működésű szerkezetet, amely a vezetőfülke, illetve az emelőkocsi névleges süllyesztési sebességének 1,15...1,4-szeresénél lép működésbe;

a felrakógép minden irányú mozgását szükség esetén megszakító végálláskapcsolókat és ütközőket; a végálláskapcsolóknak biztosítaniuk kell a rendszer kikapcsolását a szélső állások előtt a legnagyobb üzemi sebességeknek megfelelő fékúthosszakkal;

a vezérlőszekrényt kikapcsolt helyzetben lezárható főáramkörű kapcsolót;

az ellensúlyos gépek esetében emelési sebesség-határoló szerkezetet;

a kezelőfülkében lezárható vezérlőáramköri indítókapcsolót.

A felrakógép vezérlőrendszerébe olyan villamos reteszeléseket kell beiktatni, amelyek megakadályozzák:

bármelyik szerkezet bekapcsolását, ha a kezelőszemély mindkét keze nincs a két vezérlőkaron, nyitott vagy félig nyitott fülke esetében;

bármelyik szerkezet bekapcsolását, ha a kezelőfülke ajtaja nincs becsukva;

a tehermegfogó szerkezet bekapcsolását, ha a haladó- vagy az emelőmű működik; ha a tehermegfogó szerkezet nincs alapállásban vagy mozog, akkor a felrakógép mozgási sebessége legfeljebb az ún. finomsebességet érheti el.

4.

EGYSÉGRAKMÁNY- KÉPZŐ ESZKZÖK

4.1. AZ EGYSÉGRAKOMÁNY-KÉPZÉS

Az egyre növekvő mennyiségben előállított termékek forgalma hagyományos módon számos mozgatási műveletet igényel, aminek jelentős a munkaerő- és költség-ráfordítása. Ez a megállapítás általános érvényű, kiterjed a termelési technológiával összefüggő üzemben belüli anyagmozgatásra, továbbá a tárolásra és a távolsági szállításra is. A ráfordítások csökkentésére irányuló törekvések közül kitüntetett szerepe van **egységrakomány-képzésnek**.

Az **egységrakomány** azonos vagy különböző alakú, halmazállapotú és méretű termékeket tartalmazó, előre meghatározott méretekkel rendelkező, szilárd, alakját nem változtató, egy vagy több darabból képzett **mozgatási-kezelési egység** [23].

Egységrakomány-képző eszközöknek azokat a segédeszközöket tekintjük, amelyek lehetővé teszik az egységrakomány gépi kezelhetőségét (a rakodást, szállítást, tárolást, sőt bizonyos esetekben a kiskereskedelmi forgalmazást is). A jelenleg alkalmazott eszközök főbb csoportjai: **ládák, rakodólap, szállítótartály** és az **egyéb** csoportba sorolható háló, zsugorfólia, stb. Az egységrakomány-képzés módjait a 4.1.1. táblázat rendszerezi.

4.1.1. táblázat

Egységrakomány-képző eszközök

Rakodólap	Ládák, rekeszek	Szállítótartály	Egyéb módon képzett
sík	rakodóláda	kicsi	rögzítés nélkül
oldalfalas	szállítóláda	közepes	Átkötéssel
különleges	rekesz	nagy	kötegeléssel
	különleges		Hálóval
			lágyszalag tartály

4.1.1. Az egységrakomány-képzés jelentősége

A termékek előállítási és elosztási folyamataiban előforduló mozgatási és tárolási műveletek fejlesztésének és gépesítésének egyik feltétele, hogy a különböző anyagok, termékek rakodása, szállítása és tárolása megfelelő nagyságú egységekben azonos módon történjen. Az anyagok vagy termékek egységes rakományokká történő összefogása révén ugyanis a kapcsolódó műveletek gyorsabban, biztonságosabban és gazdaságosabban végezhetők el. Az **egységrakomány-képzés főbb műszaki-gazdasági előnyei** a következők:

- folyamatos, egységes, automatizálható és jól szabályozható anyagáramlás kialakulása,
- a rakodás gyorsítása, az állásidő csökkentése,
- az árukezelések számának csökkenése,
- az árukárok csökkenése,
- munkaerő megtakarítás,
- csomagolóanyag és idő megtakarítás,
- a raktározott áruk könnyű és gyors ellenőrzése.

4.1.2. Az eszközök megválasztásának elvei

A termelőegységek különböző adottságai, az eltérő technológiai és raktározási folyamatok a legváltozatosabb anyagmozgatási megoldásokat igénylik. A megoldandó feladatok elvégzésére alkalmas anyagmozgató gépekből és egységrakomány-képző eszközökből kell kiválasztani a legjobbnak tűnő eszközöket. A döntést nagyon sok tényező befolyásolhatja, ezért általános érvényű szabályokat nehéz megfogalmazni. Amit mérlegelni kell, az előző pontban felsoroltakon kívül, az a következő: nagyobb egységrakomány méretek esetén csökken a mozgatás gyakorisága, de növekszik az alkalmazható anyagmozgató gép mérete, helyigénye, beruházási költsége; kisebb egységrakomány méretek esetén fordított a helyzet.

Az egységrakomány-képző eszközök megválasztásakor törekedni kell:

- optimális méretválasztékkal bíró, egységesített, tipizált, esetleg szabványosított egységrakomány-képző eszközök alkalmazására;

- az egységrakomány-képző eszköz maximális alapterület, térfogat és teherbírás kihasználására.

4.2. RAKODÓLAPOS SZÁLLÍTÁS

A rakodólapos szállítás a következőkkel jellemezhető: meghatározott mennyiségű egyforma vagy különböző árut arra alkalmas, egységesített méretű segédeszközön, ún. **rakodólapon** egységgrakományokká fogják össze azzal a céllal, hogy azokat nagyobb egységenként rakodják, szállítsák, tárolják.

A rakodólapok alkalmazása megfelelő szervezettség esetén lehetővé teszi, hogy az árut az előállításukat követően rakodólapra helyezték és onnan csak a közvetlen felhasználás előtt emeljék le. Ennek különösen akkor van jelentősége, ha az árut az egyes szállítási pontok között többször kell fel- vagy lerakni, illetve tárolni. Ideális célként arra kell törekedni, hogy a **gyártási -, tárolási -, rakodási - és szállítási egység** ugyanazt az egységet jelentse.

A rakodólapos szállítás előnyei:

- az elosztási folyamatban csökkenthető az árukezelési műveletek száma;
- a nagyobb egységek mozgatása jobban gépesíthető, így csökkenthető az élőmunka-ráfordítás, a szállítási folyamatok pedig gyorsíthatók;
- azonos termékmennyiséghez kisebb szállító és tárolótér kell;
- csökken a balesetveszély.

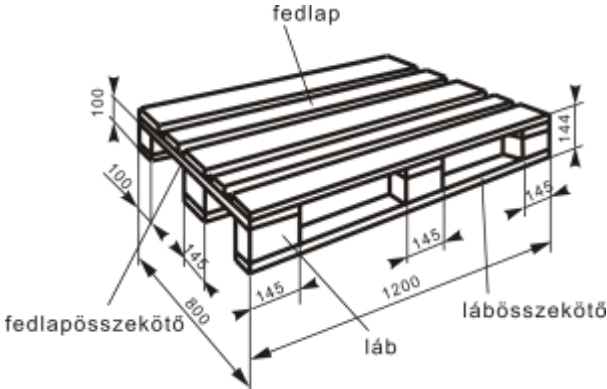
A **rakodólapok racionális kihasználásának feltétele**, hogy az egymással kapcsolatban álló különböző ipari, kereskedelmi vállalatok a belső anyagmozgatáshoz, a tároláshoz és a szállításhoz ugyanolyan méretű és szerkezetű rakodólapokat használjanak. Ebben az esetben megvalósítható a rakodólapok cseréjén alapuló közös használat, és kiküszöbölhető a visszaszállítással járó üresfutás. A rakodólapok csereforgalma azt jelenti, hogy a belső üzemi, a helyi és távolsági szállítás, a fuvarozók és a fuvaroztatók közötti megállapodások, ún. *pool*-ok alapján, rakodólapos szállítási rendszerré integrálható. A rakodólap-pool-ban résztvevő fuvarozók és fuvaroztatók a rakodólapjaikat közösen használják.

A rakodólapok cseréje révén az áruk a feladó által kiválasztott ponttól a címzett által meghatározott pontig ugyanazon a rakodólapon szállíthatók. A feladónak nem kell várakoznia az üres rakodólapok visszaküldésére.

A megfelelően kialakított rakodólapos anyagmozgatási rendszer számszerűsíthető gazdasági előnyökkel jár, amelyek közvetlenül vagy közvetve hatnak a gyártási költségek alakulására. A rakodólapos rendszer bevezetésével az anyagkezelésre fordított fajlagos munka-, idő- és költség csökkenthető.

4.2.1. A rakodólapok kialakítása és főbb típusai

A rakodólap definíciója az MSZ 13670-75 szerint: *“A rakodólap teherviselésre alkalmas rakfelületű, távtartókkal összekötött két síkfelületű, vagy lábakon álló egy síkfelületű árualátét. A távtartók, ill. a lábak biztosítják az emelőgép, megfogó szerkezetének (pl. emelővilla, emelőlap) behatolását a rakfelület alá a rakodási-szállítási műveletek elvégzéséhez.”*

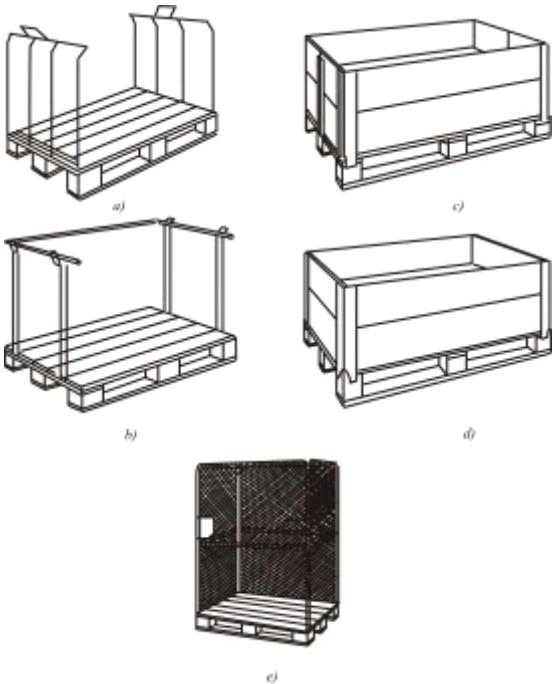


4.2.1. ábra: Szabványos sík rakodólap

4.2.1. táblázat

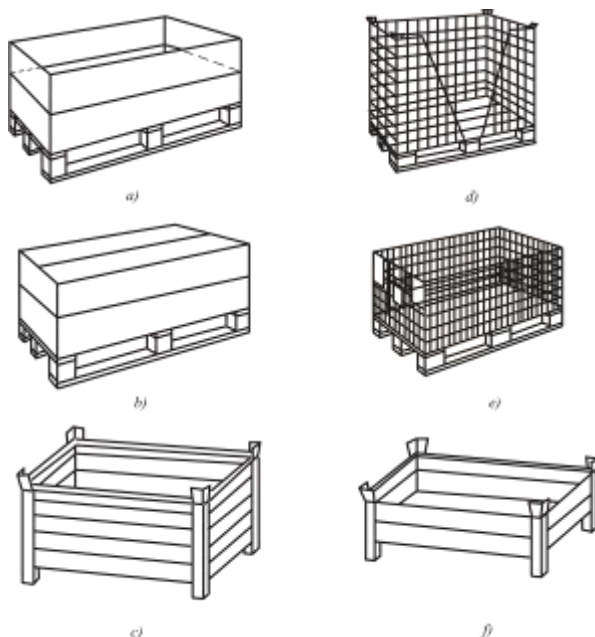
A rakodólapok csoportosítása

Felépítés szerint	Anyag szerint	Kezelhetőség szerint	Felhasználás szerint
sík	fa	emelővillával (két oldalról, négy oldalról)	egyszer használható (egyutas)
sík rakodólap részre szerelhető kerettel	acél	emelőlappal	egyik felülete használható (meg nem fordítható)
oldalfalas (merev vagy összecusukható)	műanyag	egymásra halmozható	mindkét felülete használható (megfordítható)
különleges kialakítású	préselt papír		



4.2.2. ábra: Oldalfalas rakodólapok

- a) támasztókeretes, b) rakoncás, c) szétszedhető magasfalú osztott fakeretes, d) merev feltűzhető, e) szétszedhető huzalháló



4.2.3. ábra: Oldalfalas rakodólapok

- a) nyitott faszekrényes, b) lezárható faszekrényes, c) magas acél oldalfalas,
d) rúdrácsos V nyílással, e) huzalrácsos, f) alacsony oldalfalas

A rakodólapok felépítésük, anyaguk, kezelhetőségük és felhasználásuk szerint csoportosíthatók (4.2.1. táblázat). A rakodólapok kialakítása rendkívül változatos, ezek közül néhányat a 4.2.1.-4.2.4. ábrák mutatnak be.

A szabványos csere-rakodólapok Magyarországon 800x1200 mm-es rakfelülettel két változatban készülnek: nemzetközi, sík csere-rakodólap (MSZ 9710); nemzetközi oldalfalas csere-rakodólap (MSZ 19185).

Az anyagmozgatási folyamatok tervezésekor, a raktári berendezések és az új rakodólapok beszerzésekor a következő szabványokból kell kiindulni:

Rakodólap. Fogalom meghatározások (MSZ 13670).

Sík fa rakodólap. Típusok. Főméretek és jellemzők (MSZ 12436).

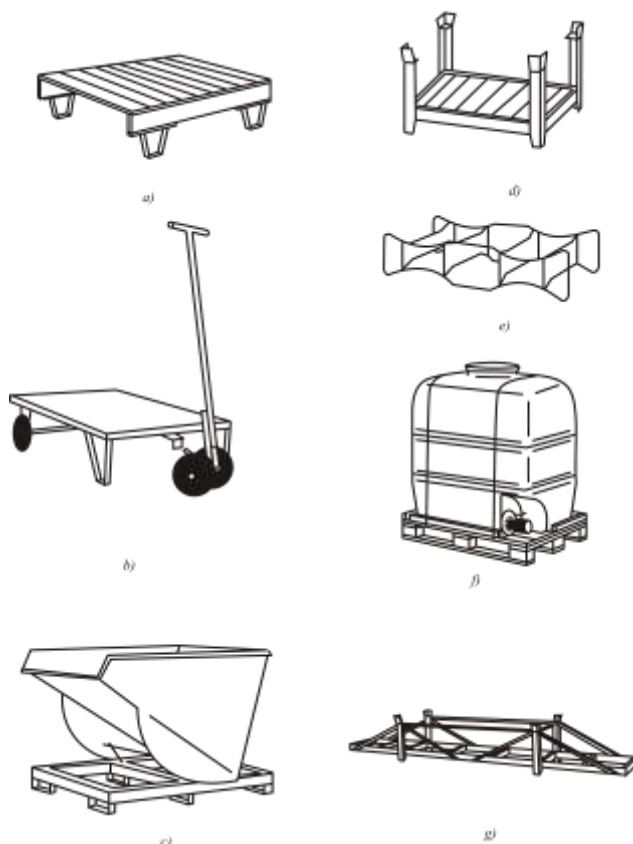
Sík fa rakodólap. Szilárdsági vizsgálatok. (MSZ 12438).

Oldalfalas és sarokoszlopos rakodólap. Típusok. Külső főméretek és jellemzők (MSZ 12437).

A 800x1200 mm-es rakományegység helyszükséglete (MSZ 317).

A nem cserélhető rakodólapokat ott használják, ahol a termék mérete nem teszi lehetővé a csere-rakodólapok alkalmazását. A vállalati tulajdonú rakodólapok mérete és kialakítása a termék méretéhez és tulajdonságaihoz igazodik.

Az eldobható rakodólapot ott használják, ahol a sík csere-rakodólap alkalmazása különböző okok miatt nem célszerű (pl. a termékek változó alapterülete miatt). Ezek olcsóbb fából, papírból, műanyagból készülnek.



4.2.4. ábra: Különleges rakodólapok

- a) zsámoly kiképzésű, b) gördíthető, c) önürítő edény, d) acél sarokoszloppal,
e) hordó, szállító és tároló keret, f) rakodólapos tartály, g) hosszú áru szállítására alkalmas eszköz

4.2.2. Csomagolási méretrendszerek

Amíg az áru mozgatása, szállítása hagyományos módon és eszközökkel történik a csomagolóeszköz mérete és alakja a becsomagolandó termék méreteihez vagy annak természetéhez igazodik. Megváltozik a helyzet, ha a csomagolt termékekből egységrakományokat képezünk, például azokat rakodólapokra helyezzük. Ekkor a csomagok méretének nemcsak a termékhez, hanem a rakodólaphoz is illeszkednie kell. Jóllehet, tények igazolják, hogy a rakodólapos szállítás akkor is gazdaságos, ha a csomagolóeszközök méretei nem illeszkednek a rakodólaphoz, nem kétséges azonban, hogy az előnyök maximálisan a méretek összhangba hozása esetén domborodnak ki igazán. Ez a felismerés vezetett a szállítói csomagolások egységesítésének és szabványosításának bevezetéséhez.

A korszerű szállítástechnika követelményeinek figyelembevételével kialakított csomagméretek elsősorban a rakodólapok gazdaságos kihasználását biztosítják azáltal, hogy a csomagok a rakodólap felületét (néhány mm túrést megengedve) teljesen kihasználják. A rakodólapokhoz illeszkedő csomagméretek meghatározásánál a következő követelményekre kell tekintettel lenni:

a rakodólap felületének kihasználása a terület és teherbírás figyelembevételével,
biztonságos és szilárd halmozhatóság,
az egységrakomány stabilitása.

A rakodólapok méreteihez igazodó csomagméretek egységesítésével nemzetközi szervezetek foglalkoznak. Ezek között kell említeni az ún. modul-rendszert kidolgozó *European Packaging Federation*-t (EPF), amely az ISO által ajánlott három rakodólap mérethez igazodó csomagméretek határozott meg. Ez a három rakodólap méret: 800x 1000, 800x1200 és 1000x1200 mm. A modulus-rendszer ajánlásai táblázatosan tartalmazzák a csomagok belső és külső méreteit, az elhelyezhető csomagok számát és a rakodási mintát.

A Modul Bizottság még be sem fejezte a munkáját, amikor a *Schweizerische Studiengesellschaft für rationellen Güterumschlag* (SSRG) új, lényegileg azonban a modulus rendszeren alapuló méretrendszerrel jelentkezett. A szakirodalomban a „*Goldene Packungen*”-nek nevezett méretrendszer abban tér el a modulus rendszertől, hogy csak a szállítási csomagolások külső méreteire terjed ki, továbbá a bizonytalan belső méretek miatt nem ad lehetőséget a fogyasztói csomagolások rendszerbe foglalására. Minthogy Svájcban 800x1200 mm méretű, szabványos raklapok használatosak az SSRG rendszer csak ehhez igazodó csomagméretekre lett kidolgozva.

4.2.3 A raklapos egységrakományok összeállítása

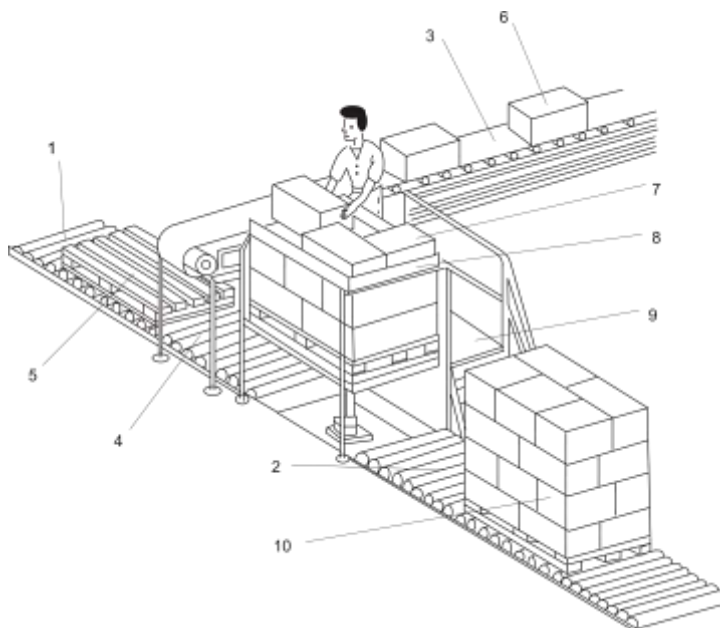
A raklapos egységrakományok képzésekor a termékek szorosan egymás mellé és fölé helyezendők el. A rétegeket alkotó elemeket a rakodólap szélével párhuzamosan kell rakni. Ha az elemek a teljes felületet nem töltik ki, akkor téglatest alakú egységeknél a hézagokat egyenletes elosztásban, a hengeres daraboknál pedig a széleken kell meghagyni.

Az alakjuknál fogva nehezen halmozható termékek egyes rétegei közé elválasztó lapot kell helyezni. Ez lehet sík (hullámpapír, deszkalap), vagy a termék körvonalait követő (pl. vákuum-formázott műanyaglap).

Az rakomány szélei lehetőleg ne nyúljanak túl a rakodólap szélein. Ha ez nem kerülhető el, a maximális túlnyúlás 10 mm lehet. Az egységrakomány magassága a stabilitás érdekében ne legyen nagyobb, mint a rakodólap hosszabbik éle (szabványos lapnál 1200 mm). Megjegyezzük, a vasúti fuvarozáskor a MÁV előírások miatt a rakomány magassága raklappal együtt sem haladhatja meg a 940 mm-t. Az egységrakomány tömege nem lépheti túl a rakodólap teherbírását. A MÁV előírása 1000 kg összes tömeg/rakodólap.

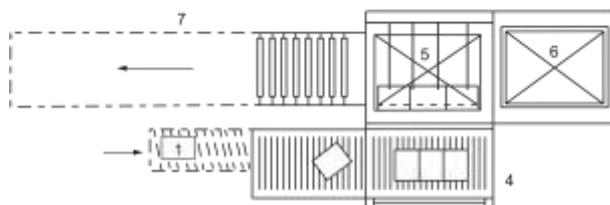
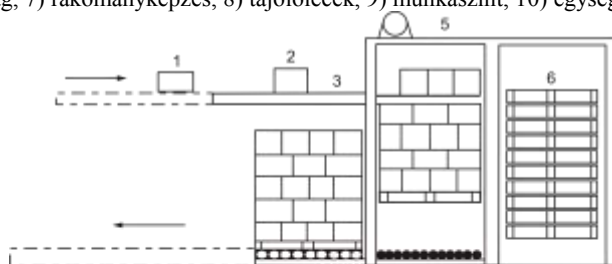
A rakodólapot kézzel vagy géppel rakhatjuk meg [53]. A kézi rakományképzésekor a darabokat egyenként helyezik a lapra. A kézi munka csökkenthető, szállítószalag vagy görgős szállítópálya, valamint a rakományt a képzés alatt függőlegesen mozgó hidraulikus emelőasztal alkalmazásával (4.2.5. ábra).

A gépi egységtrakomány-képző gépek felülről- lefelé vagy alulról- felfelé haladva (esetleg kombinálva) működnek.



4.2.5. ábra: Raklapos egységtrakomány-képzés kézi erővel

1-2) görgőspálya, 3) szállítószalag, 4) hidraulikus asztal, 5) üres rakodólap, 6) csomag, 7) rakományképzés, 8) tájolólécek, 9) munkaszint, 10) egységtrakomány



4.2.6. ábra: Rakodólap megrakógép

1) bevezető pálya, 2) csomagfordító asztal, 3) érzékelő, 4) csomagrendező asztal, 5) rakodóasztal, 6) rakodólap-tár, 7) kivezető görgőspálya

A **felülről- lefelé** haladó rakományképzés esetén a csomagok a gép felső szintjére érkeznek és az itt kialakított rakományréteget is ezen a szinten helyezik a rakodó-

lapra. A következő réteg elhelyezése előtt a rakodólap a réteg magasságának megfelelő mértékben lesüllyed (4.2.6. ábra).

A csomagok a bevezetőpályán (1) érkeznek a gépbe, majd a csomagfordító asztalra (2) kerülnek, ahol az érzékelő (3) működik. Az érzékelő feladata az érkező csomagok tájolása, ami vagy változatlanul, vagy 90 fokos elforgatás után engedi tovább a csomagokat a rendezőasztalra (4). A rakodó lapok a rakodólap-tárból (6) jutnak az emelőszerkezetre, amely a rakodóasztal szintjéig emeli azokat. A rendezőasztalról egy sor kialakulása után karos mechanizmus tolja át a csomagokat a rakodóasztal (5) lapjára, ahol megfelelő számú művelet után kialakul a rakomány egy rétege. A rakodóasztal lapját egy mechanizmus kihúzza a réteg alól, ami így a rakodólapra kerül. A rakodólap ezután a réteg magasságának megfelelő mértékben lesüllyed, a rakodóasztal lapja pedig visszacsúszik a rakodótér fölé, és megkezdődik a következő réteg kialakítása.

Az **alulról- felfelé haladó** rakományképzés esetén a csomagok a gép alsó szintjére érkeznek. A következő réteg kialakítása előtt a kész réteget felemelik. A rakomány elkészülte után a rakodó lap begördül a rakomány alá.

A **kombinált** rakományképzés esetén a csomagok a gép felső szintjére érkeznek, az üres rakodólap pedig az alsó szinten helyezkedik el. A felső szinten kialakított réteget a rakodó szerkezet helyezi a rakodólapra, illetve a korábban képzett rétegre.

4.2.4. A rakományok rögzítése a rakodólapon

A sík rakodólapon képzett egység rakományok rögzítése azért szükséges, mert a rakomány részei a szállítási igénybevételek hatására elcsúszhatnak, ledőlhetnek. A legnagyobb igénybevételt a távolsági szállítások során előforduló tolatások, hirtelen fékezések és indítások jelentik. Ezért a rakományt úgy kell rögzíteni, hogy az a káros hatásoktól ne essen szét és emiatt az áru ne sérüljön meg. A rögzítés leggyakoribb módjai a következők.

A **kötésben való elhelyezés** a legegyszerűbb és a legolcsóbb eljárás. Az egymás feletti rétegekben elhelyezett csomagok a téglafalhoz hasonlóan átfedik egymást. Az alkalmazás előfeltétele, hogy a csomagok két alapmérete eltérő legyen.

A **pántolásra** általában 10...32 mm széles acél- vagy műanyag szalagokat alkalmaznak. Hazánkban a 10x0,3 és 16x0,6 mm méretű hidegen hengerelt acélszalagok terjedtek el, amelyek fémhüvellyel, ponthegesztéssel vagy átlapolással végtelesen rögzíthetők. Az utóbbi időben számos kedvező tulajdonságuknak köszönhetően (rugalmasság, esztétikus megjelenés, nem korrodálnak, nem okoznak sérülést stb.) előnyben részesülnek műanyag szalagok. Sokszor a pántolás mellett a csomagolóeszköz védelme és a biztonságosabb összefogás érdekében élvédőket vagy lezszorító kereteket is használnak.

Papírládák, dobozok **karmos fémrögzítővel** stabilizálhatók. A 70x70x0,4 mm-es lemezből készített négyesarkú és a 70x35x0,4 mm-es kétsarkú fémrögzítők az egy rétegben lévő szomszédos és az egymás feletti rétegben elhelyezkedő csomagokat fogják össze. A sarkokból kiálló tűskék (általában 4 db) 6-7 mm-re nyomódnak a dobozok aljába illetve fedelébe.

A papír és műanyag dobozok vízszintes irányú elmozdulásának a megakadályozására különleges **csúszásgátló anyagokat** is használnak. A tapadást növelő anyagok alkalmazásának egyik formája, amikor azokat a csomagolóanyagba, vagy a feliratozásra használt festékbe keverik. A másik lehetőség, az egyes rétegek csomagjai közé helyezett köztes anyag, pl. nátronpapír. A rögzítő hatás csak vízszintes irányú, így a csomagok függőleges irányban könnyen eltávolíthatók egymástól. Elterjedt, egyszerű módszer a korlátozott ideig kötő ragasztó, amit a rétegek közé ecseteléssel, hengerléssel vagy adagoló pisztollyal juttatnak.

A **zsugorfóliás** burkolás a legfejlettebb egységrakomány rögzítési módszer. A rakodólapon képzett egységrakományt 100...200 µm vastag, hő hatására zsugorodó polietilén fóliával veszik körül. Az előkészített egységrakományokat 150...200 °C hőmérsékletű ún. zsugoralagúton vezetik keresztül, ahol a fólia ráfeszül a rakományra.

4.2.5. A rakodólapos egységrakományok mozgatása

A rakodólapos anyagmozgatás eszközei a korábban részletesen ismertetett szakaszos működésű **kötött** és **kötetlen pályás** eszközök lehetnek.

A rövid távú kötetlen pályás mozgatás legáltalánosabban használt gépe a **targonca**. Az **emelőtargonca** képes a rakomány megfogására, emelésére, mozgatására és halmozására. A **szállító- és vontató targoncák** üzemek közötti szállításra is alkalmasak, de a fel- és leadó pontokon külön gépet kell működtetni a fel- és lerakások elvégzésére.

A kötött pályás eszközök között első helyen a raktározási technológiába iktatott **állványkiszolgáló gépeket** kell említeni, de jól használhatók a **felrakó daruk** is.

Többszintes épületekben **teherfelvonóval** oldják meg a szintek közötti függőleges mozgatást. A teherfelvonó méretét és terhelhetőségét célszerű úgy megválasztani, hogy abba targoncával is be lehessen hajtani.

A hosszú távú mozgatásra valamennyi szállító jármű (tehergépkocsi, vasúti kocs, vízi jármű, stb.) alkalmas lehet. Gyakran a rakodólapos egységekből még nagyobb egységeket képeznek, például a rakományokat nagy konténerbe helyezik. A járművek és a konténerek rakodásakor törekedni kell a rakfelület jó kihasználására és a rakományok épségének megővására.

A rakfelület kihasználás javítható, ha előre megtervezik, hogy az adott jármű vagy konténer milyen elrendezés mellett használható ki optimálisan. A terv segítségével előre meghatározható a rakományok száma és elrendezése.

A rakományok épségének megővése a rakomány tulajdonságaitól függően sajátos problémákat vet fel, amelyeket ugyancsak a rakodásnál kell szem előtt tartani. Ezek részleteivel nem foglalkozunk, csak néhány általános szempontot említünk.

A járműről átadódó dinamikus igénybevételek hatására bekövetkező elcsúszás, mozgás megakadályozására a rakományokat rögzíteni kell. A kisebb igénybevételek esetén elegendő a rakományokat szorosan egymás mellé helyezni. Biztonságo-

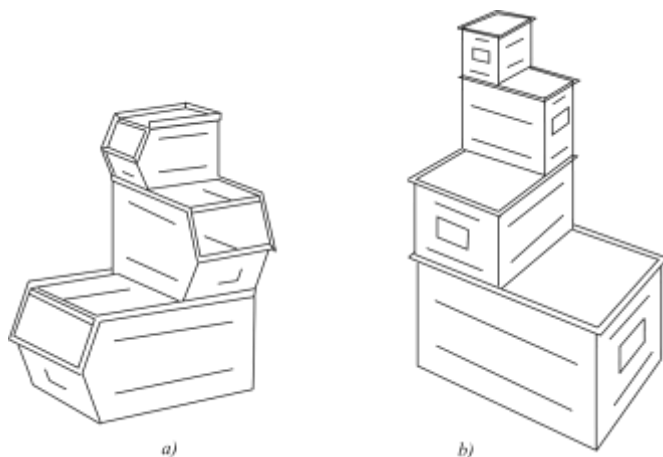
sabb azonban rögzítő eszközök és párnázó anyagok használata, különösen akkor, ha a rakományokat több rétegben szállítjuk. Erre alkalmasak a menet irányra merőlegesen, a jármű felépítményhez kötött, tetszés szerinti magasságban elhelyezett rögzítő rudak. A rakományok egymásba csúszását megakadályozó párnázó anyagok lehetnek hullámpapír, falemez, gumiból vagy műanyagból készített felfújható párna.

4.3. LÁDÁK, REKESZEK

Az üzemben belüli anyagmozgatás, tárolás és raktározás gyakran használt eszközei a ládák és rekeszek, de széles körben alkalmazott, közismert eszközök a kereskedelemben is. Csomagolt és csomagolatlan kisméretű termékek (pl. gépelemek, alkatrészek, gyógyszerek, stb.) egységrakomány-képzésére kiválóan alkalmasak. A ládák méretválasztéka lehetővé teszi a felhasználás céljának és módjának legmegfelelőbb láda kiválasztását. Készülhetnek acéllemezről, alumíniumból vagy műanyagból. A kivitel szerinti csoportosítás: **rakodóláda**, **szállítóláda**, **rekesz** és **egyéb** különleges kialakítású. Napjainkban a raktározástechnikai eszközök gyártásával és forgalmazásával foglalkozó cégek mindegyike széles termék- és méretválasztékot kínál. Különösen az esztétikus, nagyszilárdságú műanyagból sajtolt ládák területén tapasztalható rendkívül dinamikus fejlődés.

4.3.1. Fémládák

A **ratamobil** rakodóládák kisebb, szóródó áruk (csavarok, alátétek, kisebb alkatrészek, stb.) közbelső tárolására és mozgatására jól bevált eszközök. Szerelési műveletek vagy raktározás esetén biztosítható a jó áttekinthetőség, megakadályozható a különböző áruk keveredése.



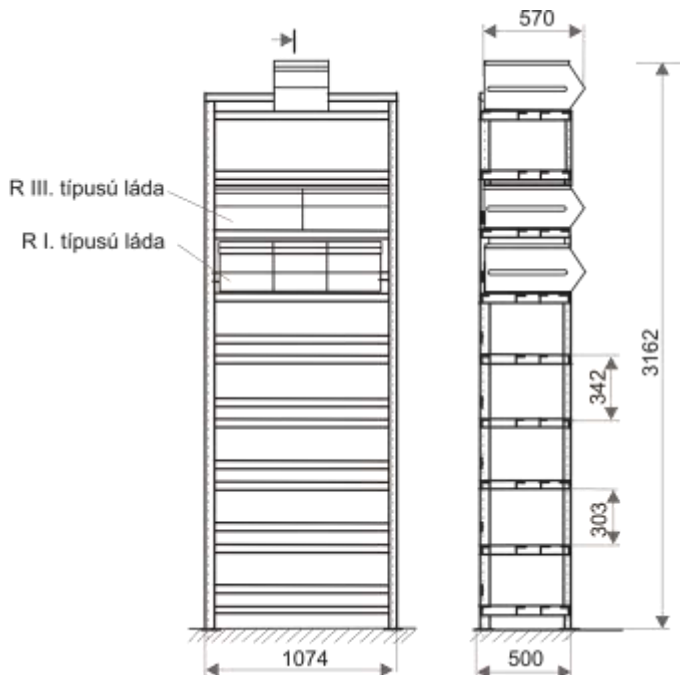
4.3.1. ábra: Rakodóládák

a) ratamobil ládák, b) szállítóládák

A ratamobil ládák négyféle méretben készülnek, úrtartalmuk 7,5...55 l, terhelhetőségük 12...100 kg. Kialakításuk olyan, hogy egymásra halmozhatók, az azonos méretek elforgatás nélkül, a különböző méretek elforgatva helyezhetők egymásra (4.3.1/a. ábra).

Mozgatásuk a tömegüktől függően történhet kézzel vagy géppel. Üzemben belüli szállításra kizárólag, targonca, görgős pálya, szállítószalag használható. Nagyobb rakományként rakodólapon is továbbíthatók.

A fém szállítóládák az üzemben belüli anyagmozgatásban a terjedelmesebb, nagyobb tömegű hasáb és hengeres alakú munkadarabok egységrakomány-képző eszközei. Főleg sorozatgyártást folytató üzemekben alkalmazzák hasonló céllal, mint a rakodóládát. Acéllemezről készülnek ötféle méretben, űrtartalmuk 5...340 l, terhelhetőségük 20...1000 kg. A méretek lehetővé teszik a különböző típusok egymásra halmozását (4.3.1/b ábra).



4.3.2. ábra: Ratamobil ládák tárolóállványon

A rakodóládák típusának megválasztásakor a munkadarabok alakjából, méretéből, tömegéből, a különböző munkadarabok számából, a gyártási sorozat nagyságából, a sorozat átfutási idejéből kell kiindulni.

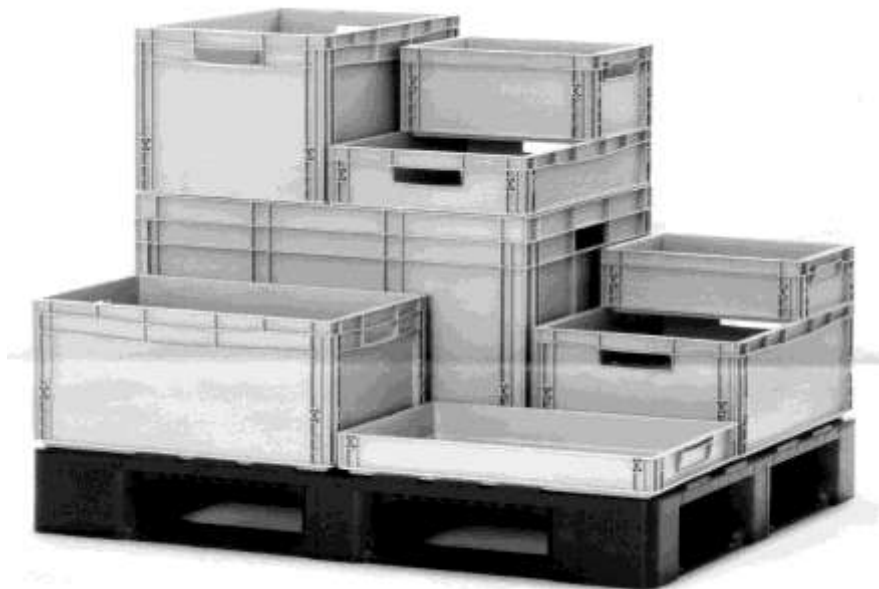
4.3.2. Műanyag-ládák

A **Rako Euroládák** esztétikus, nagyszilárdságú, hőálló műanyagból, különböző méretben készülnek. Felületük a karcolásra és ütésre nem érzékeny, ellenáll a savaknak és lúgoknak. Különleges alapanyaguknak köszönhetően hőállóak, széles hőmérsékleti határok (−40 és +100 °C) között használhatók.

A ládák alapfelülete (200x150, 300x200, 400x300, 600x400 és 800 x600 mm) megfelel az EURO és ISO szabványoknak és az egymásra halmozhatóság követelményének (4.3.3. ábra). A szállított termékek tulajdonságaihoz és méreteihez igazodó térfogatválasztékot úgy érik el, hogy az alapfelület-választékhoz különböző oldalfal magassági méretek (51, 66, 103, 133, 154, 206, 217, 257, 266, 309, 399, 412, 532 mm) rendelkeznek. A fenék és az oldalfal lehet zárt, áttört, rácsos, bordázott, erősített stb. A ládák felülről nyitottak vagy zártak. A záró fedél il-

leszthető, rögzíthető és nyitható kivitelben készül. Terhelhetőségük kilogrammban megegyezik a literben mért térfogatukkal.

Az SSI Schäfer különböző fantázia nevű, Euro-raklapokhoz tervezett ládái (FIX-BOX, Poolbox, Fk-Boksz, Euro-Fix doboz, stb) a legakkurátusabb és legigényesebb vásárlók minőségi elvárásainak is eleget tesznek.



4.3.3. ábra: Euro tárolóládák szabványos műanyag raklapon

A **FIX-BOX** egymásra rakható, nagyterhelhetőségű, 600x400 mm alapméretű, különböző színű polietilén ládák 250, 300 és 350 mm-es magassággal készülnek. A mozgathatóságot a könnyen kezelhető fülek, az egymásra halmozhatóságot a masszív perem biztosítja. Fedéllel és fedél nélkül rendelhető. A fedéllel zárt dobozok is egymásra rakhatók. Az üres dobozok 180 fokkal elfordítva egymásba süllyeszthetők és helytakarékosan tárolhatók. Tárolásra és kiszállításra egyaránt használhatók.

A **Poolbox** nevű termékcsalád tagjai hőre teljesen érzéketlen, por és víz ellen védett, zárható és plombálható műanyagládák. Méretválasztékuk: 300x200x220, 400x300x220, 600x400x320 mm-s mérettel és 8, 15,4, 49 l űrtartalommal.

Az **Fk-Box** széles méretválasztékban (400x300x320, 600x400x220, 600x400x420, 600x400x300 mm) rendelhető, összecsuksútható, polipropilén anyagú, kóddal, címkével ellátható és fedéllel zárható szállítóláda. A kialakításának köszönhetően nagyfokú stabilitással rendelkezik a rakatképzésnél. Az üres ládák térigénye 80%-al csökken az összehajtás után.

Az **Euro-Fix** ládák kétféle kivitelben, zárt és rácsos oldalfallal, 800x600x320, 600x400x285 és 600x400x180 mm-es méretben készülnek. A ládák anyaga alacsony nyomású polietilén (HDPE), ezért csomagolatlan élelmiszerek tárolására és szállítására is alkalmasak. A legtöbb savval és lúggal szemben ellenállóak, -20 és +80 °C között hőállóak.

4.4. SZÁLLÍTÓTARTÁLYOS SZÁLLÍTÁS

A szállítótartály (konténer) a Nemzetközi Szabványosítási Szervezet (ISO) meghatározása szerint olyan segédeszköz, amely

tartós kivitelű és így eléggé ellenálló ahhoz, hogy ismételten felhasználható legyen;

különösképpen arra a célra alakították ki, hogy megkönnyítse az áruk több szállítójárművön végzett szállítását, a szállított áruk közbenső átrakása nélkül;

olyan felszerelésekkel van ellátva, amelyek lehetővé teszik a könnyű kezelését, különösen akkor, amikor az egyik szállítójárműről a másikra rakják;

úgy van kialakítva, hogy könnyen be- és kirakható legyen;

legalább 1 m³ belső térfogatú.

A konténer tehát futóműtől független, célszerűen kezelhető, teherhordozó tartály, amely elsősorban a kombinált fuvarozásban tölti be a rakodási -, szállítási - és tárolási egység szerepét. Az áru átrakás nélkül kerülhet az egyik szállítójárműről a másikra.

A konténerizáció elterjedését számos tényező segíti. A hazai és nemzetközi gyártási kooperációval növekvő árucere-forgalom sokrétű igényeit elsősorban a konténeres technológia elégíti ki. A konténerizáció egyebek mellett (pl. környezetvédelmi szempontok) jelentősen csökkentette a vasút és a közúti szállítás közötti versenyt, mivel a konténer lehetővé tette a két ágazat közötti munkamegosztást. A közúti közlekedés rugalmassága révén alkalmas a konténereknek a terminálokra való eljuttatására, illetve az onnan való elszállítására, míg a vasút előnyei a nagy távolságú gazdaságos fuvarozásban domborodhatnak ki.

Az elosztási hálózatokban az árutovábbítás sebességének és pontosságának a konténerek alkalmazásával együtt járó növekedése csökkenti a határidőkkel kapcsolatos bizonytalanságokat, így csökkenthetők a készletek.

A távolsági áruszállításban betöltött funkciója mellett a konténer behatol a termelőüzemekbe is, és kapcsolódik a technológiai folyamatokhoz.

4.4.1. A konténerek egységesítése, szabványok

A konténeres kombinált forgalom a szállítási lánc résztvevőitől szoros együttműködést kíván, aminek egyik lényeges eleme, hogy az együttműködők egységesített eszközökkel rendelkezzenek. Ennek szükségességét már elég korán felismerték, de nem elég korán ahhoz, hogy addigra ne kerüljön számos konténer típus forgalomba. Tekintve, hogy a konténer a nemzetközi szállítási hálózatok egyik legfontosabb eszköze, és feltehetően még sokáig az is marad, az egységesítésről nem lehet lemondani. Ez a tevékenység több nemzetközi szervezetben folyik, amelyek közül a legfontosabbak:

a Nemzetközi Szabványosítási Szervezet (ISO) 104-es Műszaki Bizottsága,

az ENSZ Európai Gazdasági Bizottságának (EGB) Belső Szállítási Komitéja,

- a Nemzetközi Vasútegylet (UIC),
- a Közúti Fuvarozók Nemzetközi Egyesülete (IRU),
- a Nemzetközi Konténer Iroda (BIC),
- a Nemzetközi Légi Fuvarozási Szövetség (IATA).

A konténerek egységesítésében nálunk az ISO és korábban a KGST szabványok ajánlásai, és a UIC döntvényei az alapvető dokumentumok.

Az **ISO szabvány** a konténerek három alapvető sorozatát különbözteti meg (1, 2, 3 sorozat). Egy sorozaton belül a konténerek magassága eredetileg azonos volt. Például a 1 sorozatban (8 láb, 2438 mm), amit később bővítettek a 2591 mm (8'6") magasságú konténerekkel (4.4.1. táblázat).

4.4.1. TÁBLÁZAT

Az ISO konténer sorozatok főbb jellemzői

Típus	Külső méretek			Legnagyobb
	hosszúság	szélesség	magasság	együttes tömeg
	[mm]			[kg]
1A	12192		2438	30480
1AA			2591	
1B	9125		2438	25400
1BB			2591	
1C	6058	2438	2438	20320
1CC			2591	
1D	2991			10160
1E	1968		2438	7110
1F	1460			5080
2A	2920	2300		
2B	2400	2100	2100	7110
2C	1450	2300		
3A		2650		5080
3B	2100	1325	2400	
3C				2540

A távolsági áruszállításban leggyakrabban 1 sorozatú 40, 30 és 20 láb hosszú (1A, 1B, és 1C típusú) általános rendeltetésű konténereket alkalmaznak. E konténerek maximális bruttó tömege: 30480, 25400 és 20320 kg. A konténerforgalom nagyságát 20 láb hosszúságú egységekben szokták megadni, ennek rövid jele TEU (Twenty-foot-Equivalent Unit).

Az 1 jelű sorozat további jellegzetességei: a konténer minden sarkába sarokelemet építenek; a hosszúságú modulrendszerben vannak meghatározva. A sarokelemek rendeltetése: emeléskor megfogási helyek; elősegítik a konténer rögzítését a szállítójárművön; lehetőséget adnak a konténerek összekapcsolására. Az építőszekrényeknek megfelelően több kisebb egység kombinációjával egy nagyobb egység (hosszméret) képezhető.

A 2 sorozatot hazánkban nem használják. A 3 sorozatú konténerek magassága (2400 mm) és hosszmérete (2100 mm) azonos. Ezt a sorozatot, mint közepes méretű konténereket fogadták el a KGST együttműködés keretében is.

4.4.2. táblázat

A nemzetközi Vasútegylet (UIC) által egységesített nagykonténerek műszaki jellemzői

Típus	Külső méretek			Legnagyobb
	hosszúság	szélesség	magasság	együttes tömeg
	[mm]			[kg]
10/4	2991		1214	10160
10/8			2438	
20/4	6058		1214	20320
20/8		2438	2438	
30/4	9125		1214	25400
30/8			2438	
40/4	12192		1214	30480
40/8			2438	

Az UIC-ben kidolgozott előírások közül a “Nagy szállítótartályok (transzkonténerek) vasúti fuvarozásának műszaki szervezése” című dokumentum a legfontosabb. A döntvény foglalkozik a nagykonténerek típusaival és méreteivel is, amelyek azonban nem ütköznek az ISO ajánlásokkal (4.4.2. táblázat). A döntvény szerint a nagykonténerek lehetnek:

- 8 láb magasak, nyitottak vagy fedettek,
- 4 láb magasak és nyitottak.

Az UIC-ben kidolgozták a nemzetközi szárazföldi forgalomban engedélyezett, könnyített kivitelű nagykonténerek műszaki előírásait is. Ezek lehetnek:

- általános rendeltetésűek (nyitottak vagy zártak),
- különlegesek, meghatározott áruk fuvarozására.

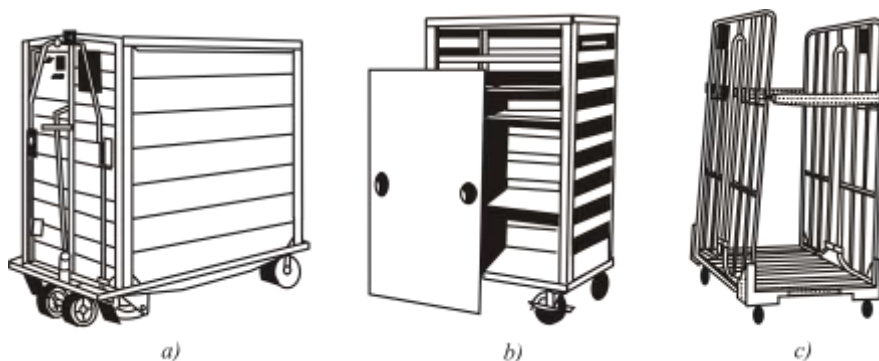
4.4.2. A konténerek osztályozása

Osztályozás a konténer nagysága szerint

A konténerek nagyságuk szerint kis, közepes és nagykonténerek lehetnek. A kategóriahatárokat az EGB Belső Szállítási Bizottságának Közlekedésszisztikai munkacsoportja az következők szerint határozta meg:

- kiskonténer** 1...3 m³,
- közepes konténer** 3 m³-nél nagyobb, hosszúsága maximum 20 láb (6 m) (MSZ 19180-79),
- nagykonténer** 3 m³-nél nagyobb, hosszúsága 20 láb (6 m) vagy nagyobb.

A **kiskonténerek** belföldi forgalmát a közúti szállítási vállalatok, nemzetközi forgalmát pedig a MÁV szervezi. A kereken gördíthető kiskonténereket (MSZ 19186-80) szemléltet a 4.4.1. ábra.



4.4.1. ábra: Kiskonténerek

a) MÁV kiskonténer, b) kenyérszállító konténer, c) Rolly konténer

A kiskonténerek szerepét fokozatosan átveszik az oldalfalas rakodólapok, ezért fejlesztésükkel az ISO nem is foglalkozik. Említést érdemelnek a rakodólap és a rakodóláda előnyeit egyesítő 1000x1200 mm alapfelületű, 600...1200 l űrtartalmú műanyag kiskonténerek is.

A kiskonténerek alkalmazási területe a nagytávolságú szállításról a raktározás és kereskedelem felé tolódott el. Az ún. különleges kereskedelmi kiskonténereket a termelőüzemben vagy a nagykereskedelmi raktárakban rakják meg. A megrakott konténereket önkiszolgáló üzletekbe szállítják, ahol vevők maguk ürítik azokat. Ilyenek például a kenyérszállító kiskonténerek (4.4.1/b ábra).

A **logistikbox**-nak nevezett, közepes nagyságú szállítótartályt a teljes jármű- vagy nagykonténer-rakományt ki nem tevő, 4...6 rakodólap mennyiségű, 1...5 t tömegű küldemények szállítására fejlesztették ki. Az ilyen - teljes járművet ki nem töltő - rakományokat a hagyományos szállítási láncokban részrakományként, csereszékényben vagy hagyományos kialakítású gépkocsikon más részrakományokkal vagy darabárukkal együtt továbbították. Mindez idő- és költségráfordítást, továbbá jelentős árukárokat és dézsmálási veszteségeket okozott a távolsági és a helyi szállítás csatlakozási helyein. Az ún. logistikbox alkalmazásával ezek a hátrányok megszüntethetők, mivel a szállítótartályokat a feladás helyén lezárják, és csak a célállomáson nyitják ki újra. További előny, hogy a szállítási csomagolás is olcsóbbá tehető, például a rakodólapos rakományok nem igényelnek zsugorfóliás burkolást. A logistikbox három méretben készül: az 1700x2500 mm alaplátméretűben 4 db, a 2100x2500 mm alaplátméretűben 5 db, a 2500*2500 mm alaplátméretűben pedig 6 db Euro-rakodólappal helyezhető el. A magassági méret egységesen 2470 mm.

Osztályozás a konténer rendeltetése szerint

A szállított áruk által meghatározott rendeltetés szerint a konténer lehet: általános, (univerzális), különleges (speciális).

Az **általános rendeltetésű** konténer fektetett négyzet vagy téglalap keresztmetszetű hasáb alakú nyitott vagy zárt merev szerkezet, amit egyaránt használnak darab és ömlesztett áruk szállítására (4.4.2. ábra).

A **különleges rendeltetésű** konténerben meghatározott árut, árucsoportot szállítanak, és az áru igényeinek megfelelően alakítják ki, szerelik fel kiegészítő berendezésekkel. A különleges konténerek jellegzetes típusai:

hőszigetelt konténer;

szabályozható hőmérsékletű konténer (4.4.3. ábra);

szállítólap (flat-konténer)- lehajtható rakoncákkal, esetleg más felépítménnyel (4.4.4. ábra);

tartálykonténer (tankkonténer)-töltő, ürítő nyílásokkal felszerelve, esetenként hőszigetelt fallal folyadékok, gázok vagy poralakú anyagok befogadására (4.4.5. ábrák);

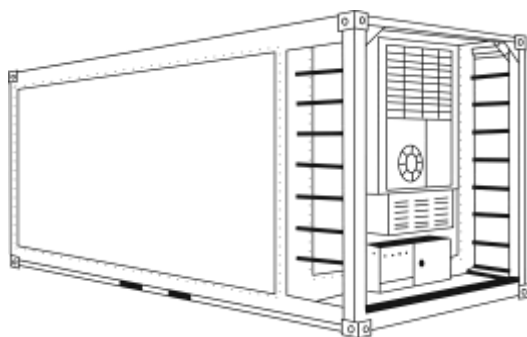
nyitható konténer - a merev szerkezetű fedél vagy az egyik oldalfal eltávolítható);

összehajtható és szétszedhető konténer;

légi konténer.



4.4.2. ábra: Általános rendeltetésű nagykonténer



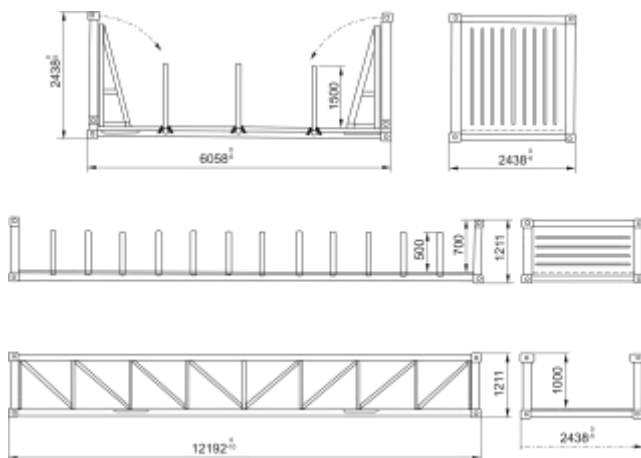
4.4.3. ábra: Szabályozható hőmérsékletű nagykonténer

Osztályozás a konténer kezelhetősége szerint

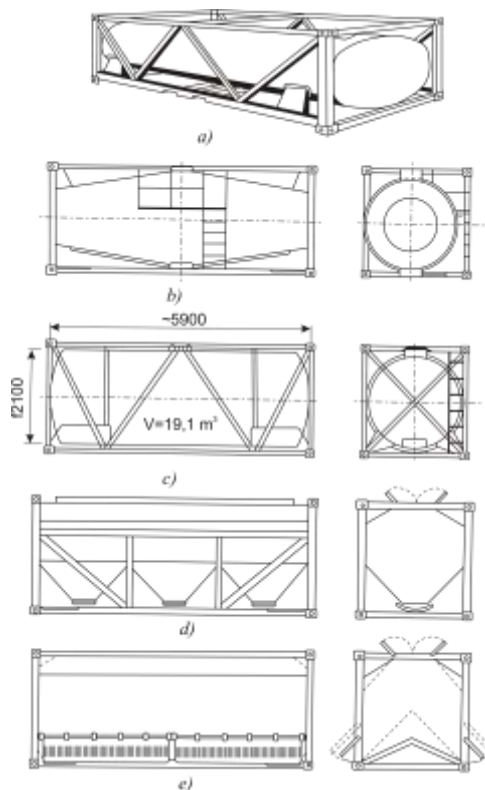
A konténerek kezelhetőség szerinti osztályozásának alapja az alkalmazható rakodási technológia. Megkülönböztethetők:

közönséges kezelésű konténerek, amelyek az általánosan elterjedt rakodási technológiákkal rakhatók meg illetve üríthetők;

különleges kezelésű konténerek különleges rakodási eszközöket igényelnek.



4.4.4. ábra: Szállítólapok felépítményei



4.4.5. ábra: Tartálykonténerek

a),b),c) folyékony anyagokhoz, d),e) porszerű anyagokhoz

4.4.3. A konténerek mozgatása

Kiskonténerek mozgatása

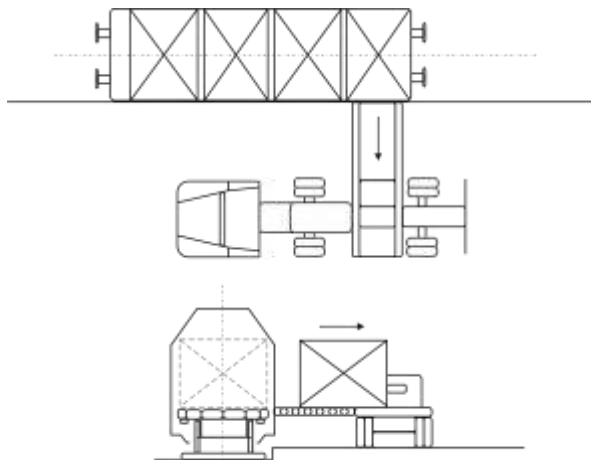
A rámpával ellátott közúti és vasúti átrakó helyeken a rakodás nehézség nélkül gördítéssel valósítható meg. Szintkülönbség esetén (pl. a fuvaroztatók telephelyén) a konténerek emelésére és süllyesztésére különféle mechanizmusokat kell alkalmazni. Gyakran használt megoldások: hátsó emelőfalas, darus, terepszintre süllyeszthető rakfelületű tehergépkocsi.

Közepes konténerek mozgatása

A közepes konténerek mozgatására két módszert alkalmaznak: a (1) **gördítéses** és az (2) **emeléses** módszert.

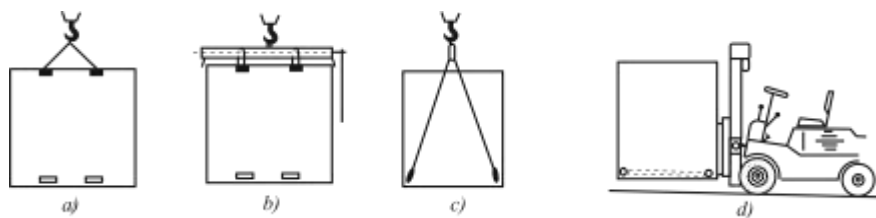
(1) Maga a vasúti kocsi vagy a közúti jármű van ellátva olyan berendezésekkel, amelyek segítségével a görgőkkel felszerelt konténer átgördíthető az egyik járműről a másikra, vagy a fuvaroztató telephelyén fel és lerakható (4.4.6. ábra).

(2) A fel és lerakást illetve az átrakást az egyik járműről a másikra az átrakó helyre telepített (a) anyagmozgató gépekkel (daruk, targoncák) vagy (b) a járműre szerelt emelőberendezés segítségével oldják meg.



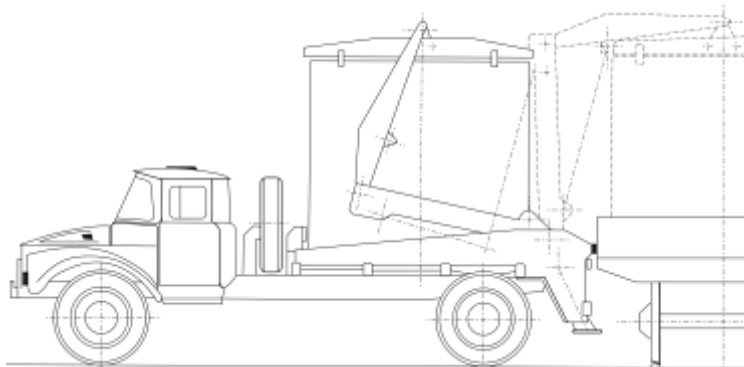
4.4.6. ábra: Közepes konténerek átrakása gördítéssel

Az első módszernek ott van létjogosultsága, ahol ritkán raknak át közepes konténereket. A nagy forgalmú állomásokon az emeléses módszer (a) változatát célszerű alkalmazni. Ebben az esetben olcsóbb, közönséges járművek és konténerek használhatók (4.4.7. ábra).



4.4.7. ábra: Közepes konténerek átrakása emeléssel

- a) kötözőelem, b) megfogó keret, c) kötözőelem az alsó sarokpontokra rögzítve, d) emelővillás targonca



4.4.8. ábra: Közepes konténerek átrakása billenőkerettel

Speciális konténer emelő-szállító járműveket ugyancsak kis forgalmú helyeken alkalmaznak akkor, ha a konténert vasúti kocsiról vagy kocsira kell emelni, továbbá, ha a konténert a földre kell helyezni, vagy onnan fel kell emelni (4.4.8. ábra).

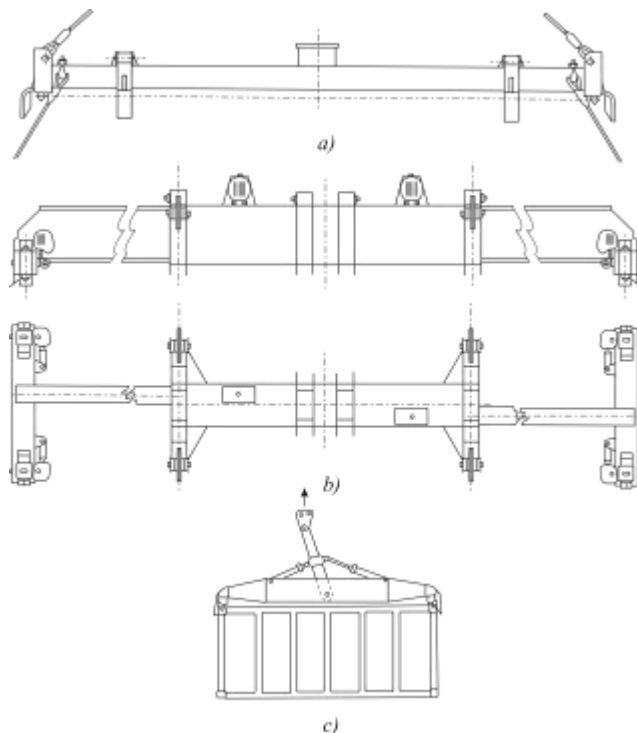
Nagykonténerek mozgatása

A nagykonténerek mozgatására (fel-, le- és átrakására) általában speciális konténerátrakó-helyeket létesítenek. Ezek vagy a különböző közlekedési ágazatok csatlakozó pontjaira (vasúti állomások, kikötők, stb.) települnek, vagy önálló konténerterminálok. A terminálok a rakodás mellett gyakran egyéb gyűjtő, tároló, elosztó funkciókat is ellátnak.

A rakodó helyeken megoldandó anyagmozgatási feladatok:

- átrakás az egyik járműről a másikra (a járművek különböző ágazatokhoz is tartozhatnak);
- a konténer tárolótérre helyezése;
- a konténerek átcsoportosítása a tárolótéren;
- a konténer szállítójárműre rakása.

E feladatok megoldására önálló eszközöket (darukat, targoncákat, oszlopos sarokemelőket, sín pályához nem kötött átszállító eszközöket, stb.), és a járművekre szerelt oldalrakodó berendezéseket használnak.



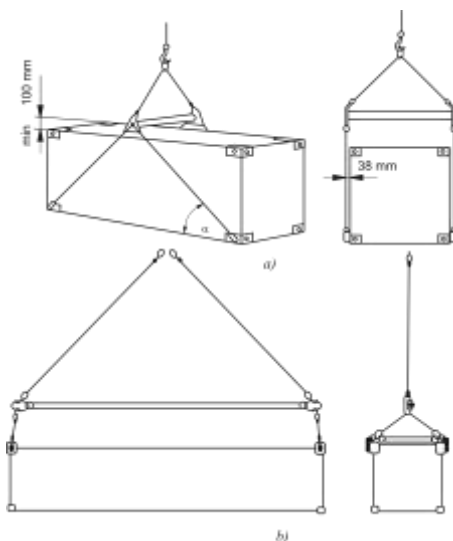
4.4.9. ábra: Konténer megfogókeretek

- a) egyszerű félautomatikus keret, b) változtatható hosszúságú keret, c) tömegközéppont kiegyenlítő szerkezettel felszerelt keret.

A **konténer-megfogószerkezetek** olyan speciális függesztékek, amelyek kapcsolatot létesítenek a rakodógép emelőműve és konténer között. Így úgy tekinthetők, mint a daruk és egyéb konténer átrakó gépek kiegészítő eszközei. A megfogószerkezetek lehetnek megfogó-keretek és emelőgerendák.

A **megfogókeretek** (szpréderek) olyan speciális szerkezetek, amelyek legtöbbször forgó reteszekkel kapcsolódnak a konténerek felső sarokelemeihez. Megfogáskor a reteszek félig automatikusan vagy automatikusan hatolnak be a sarokelemek furataiba. A keretek üzemeltetésekor sajátos probléma a tömegközéppont eltolódás kiegyenlítése, amit kézi vagy hidraulikus szerkezetekkel biztosítanak.

A szpréderek különböző szempontok szerint csoportosíthatók. A kezelhető konténer típusa szerint: csak egy méretű konténerhez, kiegészítő kötélzettel más konténerekhez is, állítható kivitelben különböző méretű konténerekhez. A működés módja szerint: kézi, gépi. Az anyagmozgató géppel kialakított kapcsolat szerint: daruhorogra akasztható, több kötélágas felfüggesztésű. A konténer megfogás módja szerint: a felső sarokelemekhez kapcsolódó forgóretesz, az alsó emelőhornyokhoz kapcsolódó szorítókaros, kombinált (forgóretesz és szorítókaros). Az erőátvitel módja szerint: mechanikus, hidraulikus. A 4.4.9. ábra néhány megoldást szemléltet.



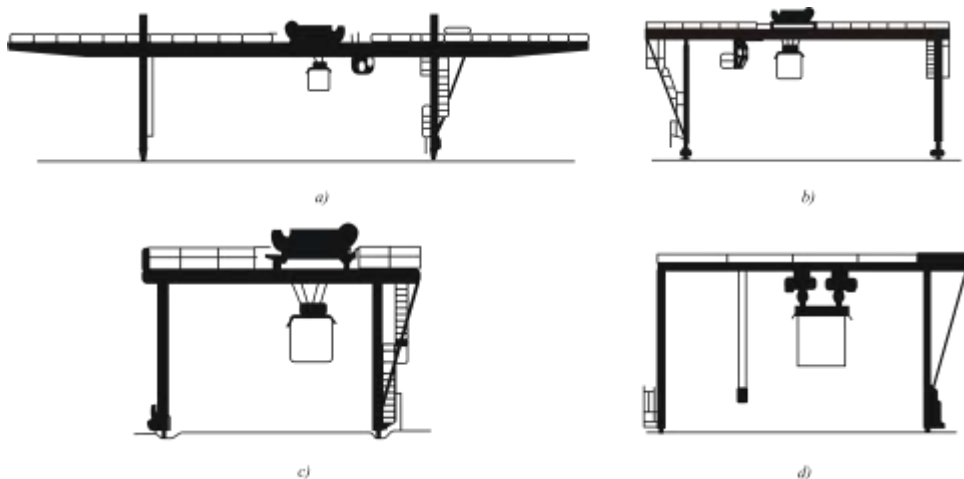
4.4.10. ábra: Emelőgerendák

a) kereszt-emelőgerenda, b) hossz-emelőgerenda.

Az emelő gerendák a keretknél egyszerűbb, horogra akasztható kötelekkel ellátott szerkezetek. Az alsó függesztő kötelek horgai a felső vagy az alsó sarokelemekhez kapcsolódnak (4.4.10. ábra).

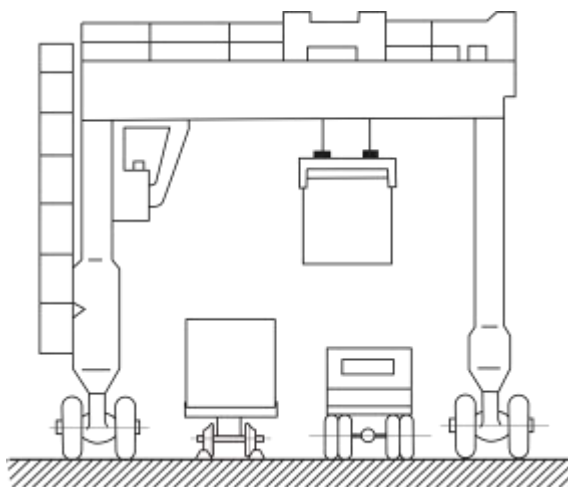
A **sínpályához kötött futómacskás darukat** (általában bakdarukat) kis helyszükségletük és nagy teljesítőképességük miatt gyakran alkalmazzák. E daruk vasútállomások környezetébe is jól illeszkednek. A konténer bakdaruk (4.4.11. ábra) a kiszolgáló terület szélességétől függően különböző fesztávokkal, konzolos vagy konzol nélküli változatban készülnek. A minimális fesztáv egy vasúti vagy közúti nyomsáv. Az emelési magasságuk is változó, esetenként 2-3 konténer egymásra

helyezését is lehetővé teszi. A darupálya hossza 150...400 m, amin egyidejűleg több daru is üzemelhet.



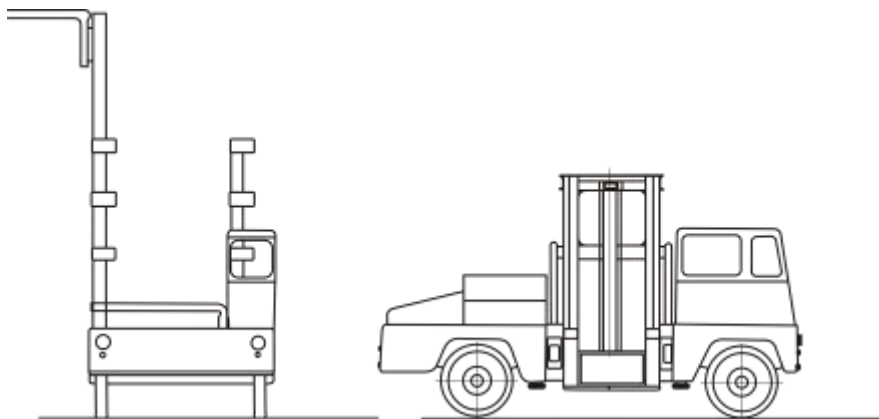
4.4.11. ábra: Konténer bakdaruk

A **gumikerekű konténer bakdaruk** (4.4.12. ábra) rendszerint dízel-hidraulikus hajtásúak és kormányozhatóak. A mozgékonyságukat azonban magas beszerzési árak nem ellensúlyozza.



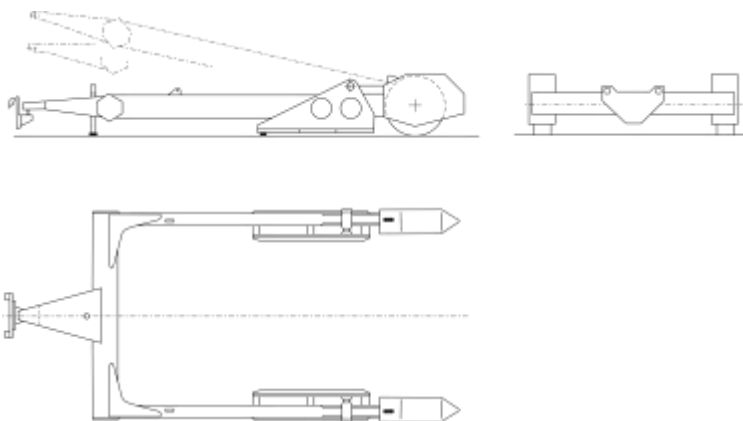
4.4.12. ábra: Gumikerekű konténer bakdaru

Az **emelőtargoncák** közül a normál és az oldalemelésű targoncák egyaránt alkalmazhatók. A nagykonténerek mozgatásában a normál targonca üzeme csak szükségmegoldás lehet. Lényegesen előnyösebb tulajdonságokkal (kisebb terület igény és tengelyterhelés stb.) rendelkeznek az oldalemelésű targoncák. Ezek emelővillája a hossztengetyre merőlegesen és függőlegesen mozgatható (4.4.13. ábra). Rakodáskor a villa a hossztengetyre merőlegesen mozogva a rakfelület fölé emeli a konténert, majd a rakfelület szintjéig süllyeszti. Emeléskor a targonca stabilitását kitámasztó lábak biztosítják.



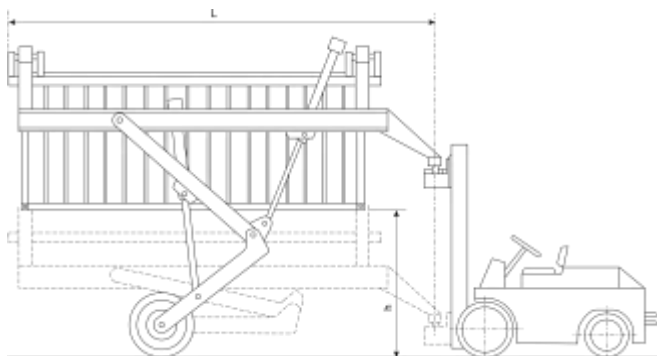
4.4.13. ábra: Oldalemelésű targonca

A **konténer áthelyező kocsik** rendeltetése a konténerek rövidtávú mozgatása. Rendszerint csak meghatározott méretű konténer szállítására alkalmasak. Keretszerkezetük általában U alakú. Magajáró és vontatható kivitelben készülnek



4.4.14. ábra: Alacsony emelésű konténer áthelyező kocsi

Alacsony emelésű, egy tengelyes, targoncával üzemeltethető áthelyező kocsit mutat a 4.4.14. ábra. Az U alakú keretet rátolják a konténerre, amit hidraulikus megfogó pofákkal az alsó hosszstartóknál fognak meg. A kocsi a tengelye körül elbillentve egykarú emelőként működik.



4.4.15. ábra: Magas emelésű konténer áthelyező kocsi

Az áthelyező kocsik egyes változatai közúti járművek kiszolgálására és konténerrek kétrétegű elhelyezésére is alkalmasak. Ilyen magasra emelő, targoncával üzemeltetett konténer áthelyező kocsi látható a *4.4.1.5 ábrán*.

4.5. EGYÉB MÓDON KÉPZETT EGY-SÉGRAKOMÁNYOK

A mindennapi gyakorlatban sok áru egységgrakományként való szállítása rakodólapokkal vagy konténerekkel nem valósítható meg. Ennek alapvető oka lehet, hogy az áru méretei vagy sajátos tulajdonságai kizárják a konténerek és rakodólapok alkalmazását, de néhány esetben gazdasági megfontolások indokolják ezeknek az eszközöknek az elvetését és más módszerek keresését.

Az egyéb egységgrakomány-képzés ismertebb módszerei:

- áruhalmazok rögzítés nélküli mozgatása különleges megfogó szerkezetekkel ellátott anyagmozgatógépekkel;

- egyforma vagy hasonló tulajdonságú és méretű az áruk egységbefogása átkötéssel;

- egyforma méretű és alakú darabárak kötegelése (pántolása);

- ömlesztett anyagok és kisdarabos termékek egységekbe fogása hálóval vagy lágyfalú (flexibilis) zsákkal.

A különleges megfogó-szerkezetet igénylő **rögzítés nélküli rakományképzés** előfeltétele, hogy a termék méretei és fizikai tulajdonságai tegyék lehetővé az egységgrakomány kialakítását és akadályozzák meg annak szétesését. Például a téglatest alakú termékekből összeállíthatók ilyen egységek, és azok szorítóvilla segítségével mozgathatók.

Átkötéssel egyforma alakú és hasonló méretű áruk (pl. lemezek, csövek, rúd-anyagok, gömbfa, fűrészáru, stb.) foghatók egységbe. Az átkötés lehetővé teszi a rakodást és a szállítás, tárolás alatt védi az árut a szétesés és az elcsúszás ellen. Átkötésre sodrony- és kenderkötelet, textil- és műanyag hevedereket használnak. A kötés általában oldható és a kötőző anyag ismételten felhasználható. A kötés rögzítésére a hurkolásokon kívül speciális, könnyen oldható kötélzárakat is használnak.

Kötegeléssel (pántolással), az átkötéshez hasonlóan, egyforma alakú és méretű áruk fogható össze egységgrakományokká. A kötegek szilárd, azonos geometriai alakzatot képező egységek. A kötegeléshez sokféle, de csak egyszer használatos anyagokat használnak. Ezek lehetnek: drót, csavarkötés, acél-, műanyag- és textil-heveder, műanyag, műgyantával erősített papír tapadószalag. A rakomány éleit gyakran fa, papír, fém és műanyag élvédővel látják el. Tároláskor a kötegeket betétekkel vagy alátétekkel választják el egymástól.

Az átkötéssel és kötegeléssel kialakított egységgrakományok daruval, homlok- és oldalemelésű targoncával, valamint rakodógépekkel mozgathatók.

A hálóval képzett egységgrakományok a konténerekhez hasonló módon mozgatható egységek, amelyek az átkötéshez hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek. A háló nagyszilárdságú, víz- és fénnyálló műanyagfonálból készül. Felül, a töltőnyílásnál és alul az ürítőnyílásnál fémkarikával merevítik a hálót. Az ürítőnyílást záró háló könnyen oldható és a rakomány gravitációval üríthető. Mezőgazdasági ter-

mékek, főleg gyökgumósok és zöldségfélék szállítására gyakran alkalmazzák ezt a módszert

A hálózhoz hasonló tulajdonságokkal bírnak a **lágylalú szállítótartályok** vagy gumikonténerek (MSZ 19187/1-81), azonban ezek ömlesztett porszerű, szemcsés anyagok szállítására és tárolására is alkalmasak. Térfogatuk $0,5 \dots 1,5 \text{ m}^3$, teherbírásuk $450 \dots 1700 \text{ kg}$. Gravitációsan tölthetők és üríthetők. Anyaguk sav-, lúg-, nedvesség és kopásálló műanyag. Saját tömegük kicsi, élettartamuk nagy (akár 100 alkalommal is felhasználhatók). Alkalmazási területeik: mezőgazdaság, építő- és műanyagipar.

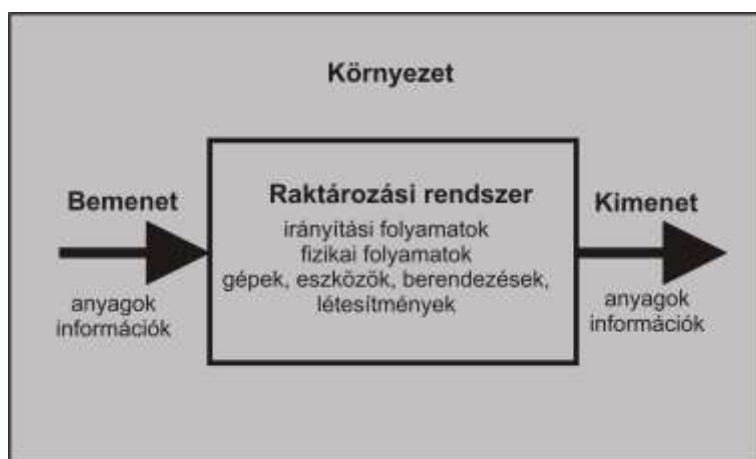
5.

A RAKTÁROZÁS ESZKÖZEI ÉS FOLYAMATAI

5.1. A RAKTÁROZÁSI RENDSZER ÉRTELMEZÉSE

A raktározás sajátos szerepet tölt be a kitermeléstől a felhasználásig (fogyasztásig) terjedő komplex anyagáramlási folyamatban. A raktárak, mint alrendszerek a részfolyamatok összekötő elemeinek tekinthetők, amelyek a megelőző és a követő részfolyamatok kapacitás különbségeinek kiegyenlítése és a termelés folyamatosságának fenntartása érdekében árukat (anyagokat, félkész-termékeket, termékeket, stb.) halmoznak fel, majd tovább adják.

A raktározás és a tárolás között a köznyelv, de sokszor a műszaki nyelv sem tesz különbséget. A raktározás technológiai fogalmait definiáló szabvány (MSZ 12 895/1) azonban szélesebb fogalomként kezeli a raktározást, mint a tárolást. A **raktározás** szó értelmezésünk szerint integrálja a tárolást közvetlenül megelőző és követő raktáron belüli fizikai folyamatokat (mozgatás, egységrakományképzés, stb.), továbbá a fizikai folyamatokat működtető irányítási tevékenységeket (nyilvántartás, készletezés, ellenőrzés, komissiózás stb.). A **tárolás** az előző definícióból következően csak az áru nyugalmi állapotát jelenti, a **tárolóhely** pedig az a hely, ahol az áru nyugszik.



5.1.1.: A raktározási rendszer modellje

A **raktár** magában foglalja a raktározáshoz szükséges *létesítményeket* (épületek, rakodóhelyek, átvető- és kiadóhelységek, szállítópályák, anyagmozgatási utak, tárolóterek, stb.) és *raktári gépeket, eszközöket, berendezéseket* (be- és kitároló, rakodó gépek, valamint ellenőrző-, irányító-, tárolóeszközök). Az elmondottnak megfelelően a raktár olyan létesítmény, amelynek befogadóképessége alkalmas a szükséges mennyiségű áru tárolására, az áruk mennyiségének minőségváltozás és veszteség nélküli megőrzésére, illetve mozgatási rendszerük révén a szükség szerinti intenzitású ki- és betárolásra. A raktározási rendszer általános modelljének elemei (5.1.1.): a környezet, a raktározási rendszer, a rendszer bemenetei, a rendszer kimenetei.

A bemeneti és kimeneti kapcsolatok jellegét az határozza meg, hogy a raktár az újratermelési és elosztási folyamatban hol, milyen **környezetben** helyezkedik el. Ebben a tekintetben megkülönböztethetők ipari, mezőgazdasági, kereskedelmi, közlekedési raktárak, stb.

A termelési folyamatok szakadási pontjain szabályzó vagy kiegyenlítő szerepet betöltő **raktározási rendszer** a raktározási feladatok megoldásában közreműködő rendszerelemek (gépek, eszközök, létesítmények, folyamatok, tevékenységek, stb.) összességét jelenti (5.1.1.). Ezek az elemek emberi közreműködéssel, a környezetből érkező információk (pl. igények) és energiák segítségével összehangoltan működnek.

A raktározás fizikai folyamatainak (anyagi folyamatok) megvalósításához összehangoltan működő eszköz-, illetve berendezés-, valamint létesítményrendszerre van szükség.

Az **eszköz-, illetve berendezésrendszer** magában foglalja a be- és kiszállító eszközöket; a rakodóeszközöket és gépeket; az ellenőrző eszközöket és berendezéseket; a belső szállítóeszközöket és gépeket; a tárolóeszközöket és berendezéseket. Alrendszerként kezelhetők a raktárban működő azonos tulajdonságokkal rendelkező anyagmozgató gépek és eszközök, a tároló-berendezések és eszközök, valamint az információkat rögzítő, gyűjtő, tároló stb. berendezések és eszközök.

A **létesítményrendszer elemei**: a közlekedési kapcsolatok; a rakodóhelyek; az átvevő- és kiadóhelyiségek; a szállítópályák, anyagmozgatási utak; a tárolóterek. Az alrendszerek egymással szoros összefüggésben vizsgálva alakíthatók ki, illetve választhatók meg.

A raktározási rendszer **alapvető paramétereinek** a raktár befogadóképessége és az anyagmozgató rendszer átbocsátóképessége tekinthető. A **raktári anyagmozgató rendszer átbocsátóképessége** alatt a rendszer által egységnyi időtartam alatt mozgatható árumennyiséget értjük. Az átbocsátóképességet a gépek teljesítőképessége, a gépek kapcsolási módja és kihasználtsága mellett azok megbízhatósága is befolyásolja. Az anyagmozgató rendszer teljesítőképessége meghatározó a belső raktári folyamatokban, és így a raktározási rendszer viselkedésének leírásában, illetve jellemzésében a raktár befogadóképességével azonos súllyal bír.

A technikai rendszerek egyes elemeinek megválasztását a raktározási feladat befolyásolja. A feladat elemzése során a következő kérdésekre kell választ kapni: mit, mennyit, meddig, hogyan és hol kell tárolni?

Az anyagáramlás szempontjából a **rendszer bemenetét** (inputját) a környezetből érkező, időben változó mennyiségű, különböző fajta és formában megjelenő anyagok, termékek és információk, a **rendszer kimenetét** (outputját) pedig az információknak (igényeknek) megfelelően a környezetbe kibocsátott anyagok, termékek képezik (5.1.1.).

A raktározási rendszer viselkedését –vagyis paramétereinek időbeni változását– a raktározást megelőző (pl. a gyártó) és követő (pl. a felhasználó) a rendszerek által kibocsátott anyag- és információáramlás változása, valamint a raktár szállítási készségének alakulása határozza meg.

A raktárakban az áruk mozgásállapotát hosszabb-rövidebb ideig tartó nyugalmi helyzet illetve az ezt megelőző vagy követő mozgás, a raktárkészlet állandó válto-

zása jellemzi. Ezeknek a mozgást (rakodást, belső szállítást), valamint a nyugvást (tárolást) realizáló RST műveleteknek az összessége testesíti meg a raktárak **fizikai alapfolyamatait**. A fizikai alapfolyamatok még további fizikai műveletekkel, ún. **kiegészítő folyamatokkal** (pl. ellenőrzés, egységrakomány-képzés és bontás, kommissiózás, csomagolás) és információs folyamatokkal (nyilvántartás, rendelés, stb.) egészülnek ki, és ezek együtt képezik a raktározási folyamatokat.

5.1.1. A tárolási módok és megválasztásukat befolyásoló tényezők

A tárolási mód alatt a tárolási célra használható létesítmények által meghatározott tárolási lehetőséget értjük, ezért a tárolási módok a tároló létesítmények fajtái szerint csoportosíthatók. Az általános raktározási gyakorlatban megkülönböztetnek raktárépületben, tárolóban, hombárban és tartályban való tárolási módot.

A **tárolók** (nyitott, tetővel ellátott, körülkerített stb. tárolóterületek) időjárás viszonyaira kevésbé érzékeny darabárúk (pl. építőanyagok, öntvények) vagy ömlesztett áruk (szén, salak, homokos kavics stb.) tárolására alkalmasak.

Raktárépületben (hagyományos-, csarnok- vagy magasraktárban) főleg darabárúkat, esetenként a magasraktárak kivételével ömlesztett árukat tárolnak.

A **hombárok** (bunkerek, silók) külső hatásokra érzékeny por alakú vagy apró szemcsés ömlesztett áruk (pl. gabonafélék) tárolásának létesítményei.

A **tartályokban** folyékony és légnemű anyagokat tárolnak.

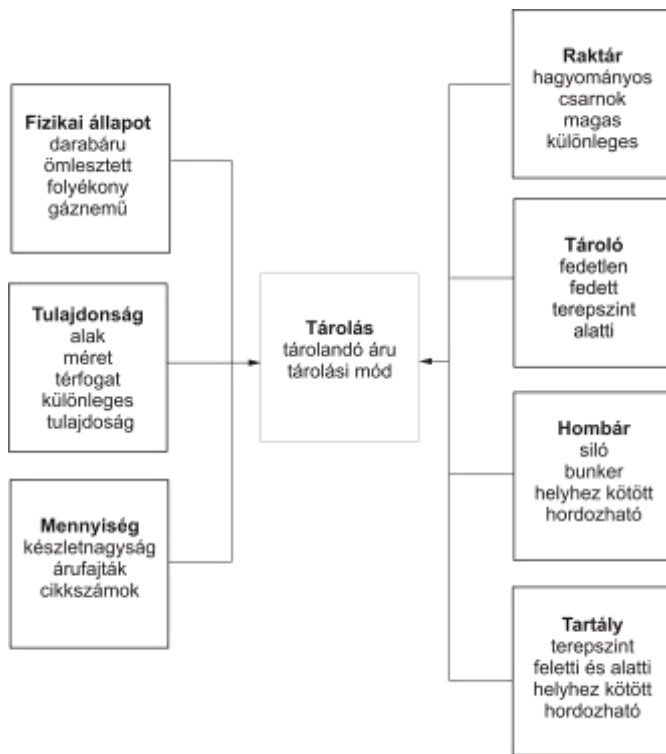
A tárolási mód megválasztását a tárolandó áru fizikai jellemzői, a tárolt mennyiség, a tárolás időtartama, továbbá az anyagi lehetőségeink befolyásolják.

A fizikai jellemzők közül az elsődleges rendező elvet az **áru megjelenési formája** vagy halmazállapota jelenti, amely alapján darab, ömlesztett, folyékony és légnemű árukról beszélhetünk. A halmazállapot egyes esetekben nem ad választási lehetőséget (pl. a folyadékok csak tartályban tárolhatók), máskor viszont egyéb szempontokat is mérlegelve több alternatíva közül választhatunk (pl. a gabonaféléket csarnokraktárakban és silóban egyaránt tárolhatjuk).

A megjelenési forma mellett a tárolási mód megválasztásában szerepet játszanak az egyéb **anyagjellemzők** is. A darabárúk jellemzői között említhető a tömeg, a méret, a térfogat, az alak és a különleges sajátosságok (nedvességre, hőre érzékeny, tűzveszélyes, robbanékony, mérgező, törékeny stb.). Az ömlesztett anyagok jellemzője a halmazsűrűség, a belső és külső súrlódási tényező, a kohézió, a rézsúszög, a higroszkóposság, nedvességtartalom stb. A folyadékok és gázok legfontosabb alapjellemzői: a sűrűség, a hőmérséklet és a nyomás, de a tároló illetve a környezet igénybevétele szempontjából a savas, a lúgos kémhatás, a mérgező hatás, a tűzveszélyesség, stb.

A **tárolandó mennyiség** alapján egyértelmű megkülönböztetést nem tehetünk, de a készletnagyság, az árufajták és az árucikkek száma a tárolási mód megválasztását alapvetően befolyásolja. Például ugyanazokat a darabárúkat más módon tárolják a nagykereskedelemben, mint a kiskereskedelmi egységekben.

Az árujellemzők és a tárolási mód kapcsolatáról a 5.1.2. ábra ad áttekintést.



5.1.2. ábra: A tárolandó áruk és a tárolási módok kapcsolata

5.1.2. A raktárak csoportosítása

A raktárak sokféle módon csoportosíthatók, pl. a nemzetgazdasági ágazatok alapján, a termelési és az elosztási folyamatban betöltött szerepük, továbbá a készletváltozás (az áruforgalom) sajátosságai szerint.

A nemzetgazdasági ágazatok alapján: ipari, mezőgazdasági, kereskedelmi és közlekedési raktárak különböztethetők meg.

A termelési. folyamatban betöltött szerepük szerint lehetnek: alapanyag, segédanyag, félkésztermék és késztermék raktárak.

Az elosztási folyamatban betöltött szerepük szerint lehetnek: kereskedelmi (felvásárló, melléktermék és hulladékgyűjtő termelőeszköz-, fogyasztásicikk-kereskedelmi), közlekedési és szállítmányozói raktárak.

A készletváltozás sajátosságai szerint a következő alapesetek különböztethetők meg:

a) Azonos áru fajta érkezik és távozik nagy mennyiségben (pl. köz- illetve berraktárak). Jellemzőjük: a belső műveletek egyszerűek és viszonylag könnyen gépesíthetők.

b) Kevés áru fajta érkezik viszonylag nagy mennyiségben, távozik kisebb tételekben (pl. egyes kereskedelmi raktárak). Jellemzőjük: a beérkezett tételeket meg

kell bontani, hogy az igények szerinti kisebb egységek kiszállíthatók legyenek; részleges kommissiózás szükséges.

c) Sok áru fajta érkezik kis mennyiségben, távozik nagyobb tételekben (pl. felvásárló kereskedelem). Jellemzőjük: a hagyományos raktározással kapcsolatos műveletek mellett egyéb műveleteket (pl. minőség szerinti válogatást) is végeznek.

d) Sok áru fajta érkezik és távozik kis mennyiségben (pl. alkatrészraktárak, anyagraktárak). Jellemzőjük: a belső műveletek munkaigényesek és rendszerint csak nagy beruházással gépesíthetők, a térkihasználás viszonylag kicsi.

e) A távozó áru fajták meghatározott időnként visszatérnek (szerszámraktár, szer-tár, könyvtár, stb.). Jellemzőjük: kis befogadóképesség, alacsony színvonalú gépesítettség.

f) A távozó áru fajták meghatározott idő után többször visszatérnek, de minőségi változásokon mennek át (műveletközi raktárak). Jellemzőjük: kis befogadóképesség, magas automatizálhatóság.

5.2. A DARABÁRU-RAKTÁROZÁSI RENDSZEREK

5.2.1. A darabáruk tárolásáról általában

A tárolási és anyagmozgatási technológiák szempontjából a darabáru-raktárakban tárolt áruk két fő csoportba oszthatók: egyedi darabáruk, egységrakományba foglalt darabáruk.

Az **egyedi darabáruk** lehetnek kis méretű, 20...50 kg alatti tömegű termékek (alkatrészek, anyagok, szerszámok stb.) vagy nagy méretű, 500...2000 kg tömegű, egyedileg kezelhető tárolási egységek (bálák, hordók, papírtekeresek stb.).

Az **egységrakományok** egyedi darabárukból vagy csomagolt ömlesztett anyagokból árualátétek, rakodólapok, tárolóládák stb. segítségével vagy egyéb módon (pl. átkötéssel, kötegeléssel, zsugorfóliás burkolással) képzett mozgatási-tárolási egységek.

A tárolt áru érkezik egységrakományként, vagy a betárolás előtt kell a különböző egyedi árudarabokból egységrakományt képezni. Az egységrakományokat tároló raktárak feladatuk szerint kétfélek lehetnek: teljes egységrakományokat tároló raktárak és kommissiózó raktárak.

A **teljes egységrakományokat tároló raktárakban** a tárolási egység megegyezik a kiszállítási egységgel, azaz a raktárból csak megbontatlan egységrakományokat szállítanak ki.

A **kommissiózó raktárak** esetében értelemszerűen a kiszállítási egység különbözik a tárolási egységtől. Ennek oka, hogy a megrendelések több, különböző árufajtára vagy árucikkre vonatkoznak, és az egyszerre igényelt árumennyiség kisebb a tárolási egységben foglalt mennyiségnél. Ekkor a kiszállítási egységek egyedi áruk vagy különböző árufajta (árucikk) összerakása révén keletkező inhomogén egységrakományok.

A kommissiózó raktárak -kombinált formában- oly módon is kialakíthatók, hogy külön tárolótérben tárolják a teljes (megbontatlan) egységrakományokat, és innen töltik fel a kommissiózó raktárrészt, ahol magát a kommissiózást végzik (azaz kigyűjtik a már megbontott egységrakományból a különböző kiszállítási megrendeléseken szereplő árukat).

A tárolt árukészlet összetétele szempontjából mono- vagy polisztruktúrájú raktárak különböztethetők meg. **Monostruktúra** esetén kicsi a tárolt árucikk félésegek száma (szélső esetben egy) és azok nagy mennyiségben vannak jelen. **Polisztruktúra** esetén viszont sokféle árucikket tárolnak (ezek száma több ezer is lehet), és kicsi (szélső esetben egy) az egy árucikkből tárolt tárolási egységek száma.

A darabáru-raktározási rendszerek egyes változatai általában a tárolási egységek jellegében, az alkalmazott tárolási rendszerben és az anyagmozgató rendszerben térnek el egymástól.

A **tárolási egységek jellege** (egyedi darabáru, egységgrakomány, összetétele, saját tömege, térfogata stb.) elsődlegesen meghatározó a tárolási rendszer és az anyagmozgató rendszer megválasztása szempontjából. **Az alkalmazható tárolási rendszerek főbb változatai:** állványnélküli statikus, állványos statikus, állványos dinamikus.

Az **alkalmazható anyagmozgató rendszer** lehet: kézi, kézi eszközös, targoncás, darus, állványkiszolgáló gépes és egyéb.

A darabáru-raktározási rendszerek a meghatározó elemek különböző változatainak lehetséges kombinációiként képezhetők. Például a hagyományos és a magasraktározás közötti különbség elsődlegesen az anyagmozgató-, a létesítmény- és az irányítási rendszer, továbbá a lehetséges műszaki szervezési színvonal különbözőségében nyilvánul meg.

5.2.2. Hagományos darabáru-raktározási rendszerek

Állványnélküli statikus tárolási rendszerek

Állványnélküli tárolás akkor valósítható meg, ha egy-egy áruajtából nagyobb mennyiséget kell tárolni és nem követelmény, hogy minden áru egységhez tetszőleges gyakorisággal hozzá lehessen férni, továbbá előfeltétele az áru halmozhatósága. A halmozhatóságot egyrészt az áru tulajdonságai, illetve csomagolása, másrészt az egységgrakomány-képző eszközök (tárolóeszközök) tehetik lehetővé. A statikus tárolási rendszer kiegészítő jellemzője még, hogy az áru csak a tárolóterti műveletekkel (betárolás, kitárolás, belső átcsoportosítás) összefüggésben változtatja helyét, azaz statikus.

Az állványok nélküli tárolás előnyei: elmarad az állványok beszerzésének költsége; rendszerint jobb a terület- és térkihasználása; a raktár könnyen és gyorsan átállítható más áruk tárolására.

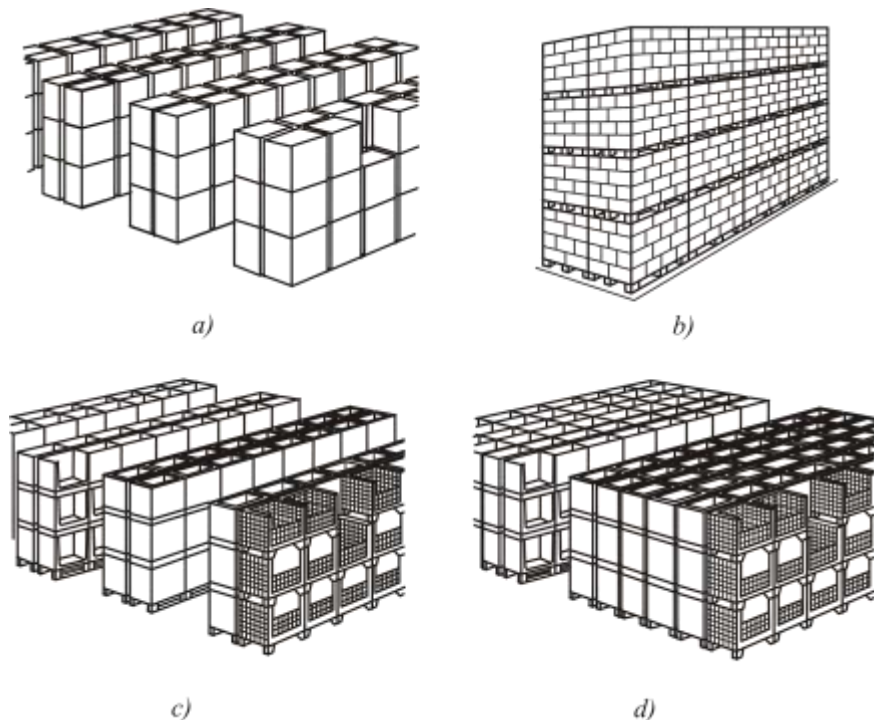
Hátrányai: a tárolási egységekhez nem lehet közvetlenül hozzáférni; a tárolási magasságot a tárolási egység (áru) tulajdonságai és biztonsági előírások korlátozzák; a tárolóterületek áttekintése, a tárolt áruajták ellenőrzése csak a tárolási rendszer pontos betartásával biztosítható; a *fifo-elv* (first in-first out = a korábban betárolt áru korábbi kitárolása) csak belső átrendezésekkel valósítható meg.

A felsorolt előnyök és hátrányok mérlegelése alapján lehet eldönteni, hogy adott esetben állványok nélküli vagy állványos tárolási rendszert célszerű-e megvalósítani.

Az állványok nélküli statikus tárolás lehetséges módjai a tárolóeszköz nélküli halmozás és a különböző tárolóeszközökön való tárolás. A tárolási egységeket mindkét esetben sorosan és tömbszerűen rendezhetjük el. (5.2.1. ábra).

A **tárolóeszköz nélküli halmozás** értelemszerűen tárolóeszközt nem igényel, alkalmazása akkor célszerű, ha a tárolási egység egyben szállítási egység is. Ha rendszeresen kell a tárolási egységtől eltérő mennyiséget kiszállítani, akkor min-

den áruajtából legalább egy-egy egység hozzáférhetőségét és bonthatóságát lehetővé kell tenni. Előnye, hogy a tárolási magasság és a hasznos magasság akár azonos is lehet.



5.2.1. ábra: Állvány nélküli, statikus tárolási rendszerek

a) tárolóeszköz nélküli halmozás soros tárolással; b) sík rakodólapos soros tárolás; c) oldalfalas rakodólapos soros, d) oldalfalas rakodólapos tömbtárolás

Az áruk kézi vagy gépi erővel halmozhatók. Kézi halmozás kis tömegű egységek esetén kb. 2,20 m tárolási magasságig alkalmazható. Gépi halmozás emelőtargoncákkal vagy futódarukkal valósítható meg. Az anyagmozgatást, illetve a halmozást végző rakodógépet az áru alakjához és méretéhez igazodó megfogó-szerkezettel (pl. ládafogó, bálafogó, papírtekerics-fogó) kell ellátni.

A **sík rakodólapos** tárolás elsősorban sík felületekkel határolt (főleg moduláris rendszerbe illő csomagolt pl. dobozott, vagy más csomagolású, de kötésbe rakható pl. zsákolt) áruk esetén alkalmazható módszer. Előnyei leginkább akkor érvényesülnek, ha a be- és kiszállítás, valamint a tárolás egysége nem változik.

A sík rakodólapon való tárolás további előnye, hogy miután különleges megfogó-szerkezetet az egységrakomány kezelése nem igényel, a mozgatásra a keskenyebb folyosót igénylő emelőtargoncák alkalmazhatók. Hátránya, hogy a hasznos tárolási magasságot a rakodólapok helyigénye (rakodólaponként közel 150 mm) csökkenti.

A tárolási magasságot a raktárépület szabad belmagasságán, a födémteherbírásán kívül a csomagolás nyomószilárdsága is befolyásolja. A sík rakodólapos egységrakományokból képzett halmaz kritikus keresztmetszete a legalsó egységrakomány felső síkja.

Az **oldalfalas vagy keretes** rakodólapokat a nem szabályos alakú vagy kisebb teherbírású áruk esetében használják. Az egymás fölé helyezett egységtrakományok tömegét a rakodólap, illetve annak felépítménye viseli. Terjedelmes, szabványos méretű rakodólapokra nem helyezhető áruk (pl. lemezárúk, csövek, fürdőkádák) esetében oldalfalas vagy keretes rakodólapok helyett az áru méretéhez, jellegéhez igazodó **tárolókeretek** alkalmazhatók. Az ilyen rakományok emelőtar-goncával vagy felrakó-daruval kezelhetők.

Állványos, statikus tárolási rendszerek

Az állványos tárolás lehetőségét akkor kell mérlegelni, ha az áru vagy csomagolá-sa nem rendelkezik kellő szilárdsággal, illetve alakja miatt nem lehet halmozni. Az állványos tárolás szükségessége felmerül akkor is, ha az árufajtákhoz és áru-cikkhez nagyon gyakran kell hozzáférni, valamint ha magasraktári állványkiszol-gáló-gépes anyagmozgatási rendszert kívánunk alkalmazni.

Az acélból hidegen hajlított **tárolóállványok** esztétikus megjelenését, korrózióál-lóságát felületkezeléssel (galvanizálással és festéssel) biztosítják. Az **állványele-mek**: oszlopok, konzolok, hossztartók, keresztartók, merevítők változatos ke-resztmetszettel készülnek. A kisebb teherbírású állványok tartóoszlopai nyitott (L, U, C vagy szigma) szelvények, a nagyobb teherbírásúaké zárt (kör, CC, NC vagy négyyszög keresztmetszetű cső) szelvények 1,5...3 mm-es falvastagsággal. A konzolok, kereszt- és hosszartók általában L vagy U profilúak, merevítő rácsokatként laposacél és hidegen hajlított idomacél egyaránt alkalmazható.

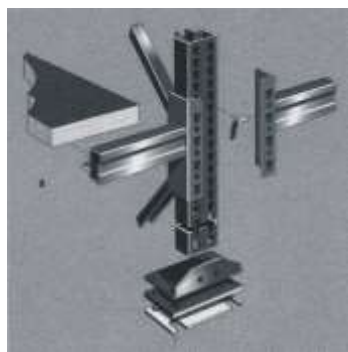
Az elemek kapcsolása hegesztéssel, szegecseléssel, csavarozással vagy kötőele-mek nélkül oldható meg. A korszerű állványrendszerek előreszerelt állványlétrá-ból (állványkeretből) és hosszartókból épülnek fel. Az állványkeret részei az osz-lopok (állványlábak), az oszlopokra merőlegesen illeszkedő keresztartók és az átlósan elhelyezett merevítők. A keresztartók és a merevítők az oszlopokhoz he-gesztéssel, szegecs vagy csavarkötéssel kapcsolódnak. A kicsi és közepes terhe-lésű állványok hosszartói a szerelés helyszínén kötőelemek nélkül, a tartók végei-re hegesztett ún. beakasztható kapcsolófejekkel, játék nélkül köthetők a perforált állványlábakhoz. (A kapcsolófej kihajlított kampói az állványláb kónuszos perfo-rációiba illeszkednek. A hosszartó nem kívánatos kiemelését csappal biztosítják (5.2.2/a és b ábrák.) A kapcsolófejek könnyű és gyors szerelést és a variálható-ságot tesznek lehetővé.

A nagy terhelésű, ún. nehézállványoknál a hosszartókat csavarkötéssel rögzítik az állványlábakhoz (5.2.2/c, d ábrák). Az 5.2.2/c ábra több állványmezőt áthidaló szigma keresztmetszetű hosszartót szemléltet. Ez a megoldás csökkenti a lehaj-lást és akkor alkalmazható, ha nincs igény a hosszartó helyzetének gyakori vál-toztatására. Az 5.2.2/d ábra nagy terhelésű, változtatható helyzetű hosszartót mutat csavarozott kapcsolófejjel.

Az állványelemek szilárdsági méretezése a gyárakban történik. A különböző funkciójú és terhelhetőségű elemeket a gyári katalógusok tartalmazzák, ezért a tárolási technológia, illetve az állványrendszer tervezésekor a tervező feladata a terhelés ismeretében az állványelemek kiválasztására korlátozódik.



a)



b)



c)



d)

5.2.2. ábra: Beakasztható és csavarozott állványkötések

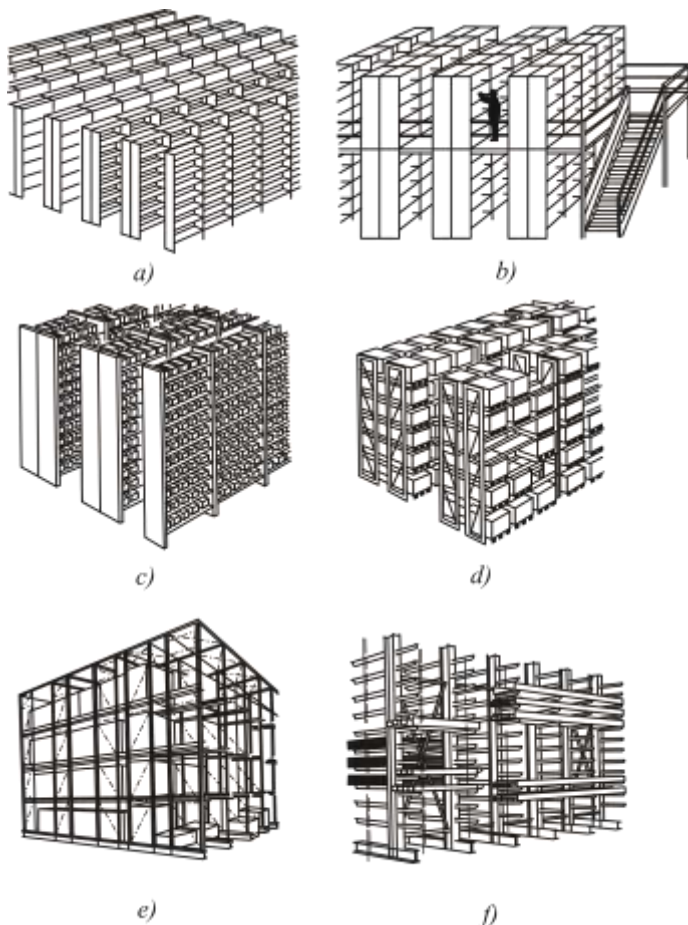
a) beakasztható kapcsolófej NC keresztmetszetű hossztartóval; b) beakasztható kapcsolófej CC keresztmetszetű hossztartóval; c) csavarozott kötés szigma keresztmetszetű hossztartóval; d) állítható kapcsolófej csavarkötéssel és szigma keresztmetszetű hossztartóval.

Az állványos, statikus tárolási rendszerek a kereskedelemben kapható állványfajták szerint csoportosíthatók. Megkülönböztethető: polcos állványos tárolás, tárolóládás állványos tárolás, rekeszes állványos tárolás, át- illetve bejárható állványos tárolás és konzolos állványos tárolás (5.2.3. ábra).

A **polcos állványos tárolás** (5.2.3/a ábra) kis forgalmú és polistruktúrájú (nagy áruválasztékú) raktárakban (szerszámraktárak, szertárak, kisebb áruházak raktárai, könyvtárak, stb.) alkalmazott megoldás. A polcok anyag fém, forgácslap vagy műanyag lehet. A hagyományos mellett a fémpolcok perforált, huzalos és rácsos kivitelben is készülnek. Az acéllemez polcok korrózióállóságát horganyozással vagy festéssel növelik.

Kézi kiszolgálás esetén a tárolási technológia tervezésekor az egyes polcokhoz való könnyű hozzáférhetőséget és a legkisebb erővel való kiszolgálás lehetőségét kell figyelembe venni. A hozzáférhetőség megfelelő, ha az állvány magassága - átlagos testmagasságú dolgozót alapul véve- 2,0...2,20 m, mélysége pedig 0,3...0,5 m. A legjobb az áttekinthetősége és hozzáférhetősége az 1,0...1,7 m magasságban elhelyezkedő zónának, ez alatt és felett a polcok kiszolgálása kényelmetlenebb, amit a tárolóhelyek kijelölésekor célszerű figyelembe venni.

A kézi erővel kiszolgált tárolóállványok magassága (és így a tárolási magasság) létrák alkalmazásával növelhető. Az állvány hossztartóira szerelt létrák rendszerint sínen gördíthetők, és így kis erőfeszítéssel a kiválasztott állványmezőhöz mozgathatók. A 2 m fölötti polcok kézi (kommissiózó) kocsira szerelt létrával is kiszolgálhatók.



5.2.3. ábra: Állványos, statikus tárolási rendszerek

- a) polcos állványos tárolás; b) galériával osztott polcos állvány; c) tárolóládás állványos tárolás; d) rekeszes állványos tárolás; e) átjárható állványos tárolás; f) konzolos állványos tárolás

A létrán való mozgás veszélyes, nehezíti és lassítja az árukezelést. Nagy forgalom és kézi kiszolgálás esetén ezért célszerűbb a polcos állvánnyal berendezett, nagyobb belmagasságú raktárakban a tárolóhelyek elérhetőségét **kezelőjárdák** vagy **galériák** (5.2.3/b ábra) létesítésével javítani.

Gépi kiszolgálásnál az állványok magassági méretét a kiszolgáló gép (rendszerint kommissiózó emelőtargonca) emelési magassága korlátozza.

A **tárolóládás állványos tárolást** (5.2.3/c ábra) általában polistruktúrájú, kis térfogatú árukat (apró alkatrészeket, szerszámokat, kötőelemeket, stb.) nagy választékban tároló raktárakban alkalmazzák. A 4.3. fejezetben ismertetett fém vagy

műanyag tárolóládák az egységrakomány-képző eszközök (tárolóeszközök) szerepét töltik be, ezek állványra helyezése javítja az áttekinthetőséget és tárolóládákhoz (árucikkhez) való hozzáférést.

A tárolóládák fémről vagy műanyagból készült merev falú edények, amelyekkel a tárolási, mozgatási, komissiózási feladatok racionális oldhatók meg. A 10...50 dm³ befogadóképességű tárolóládák külső mérete az egységes méretrendszerhez igazodik, ezért a szabványos méretű rakodólapon nagyobb egységrakományokat is lehet belőlük képezni.

Mind a kézi, mind a gépi kiszolgálás esetén az állványok magassági méretét a polcos állványoknál tárgyalt megfontolások alapján kell megválasztani. A mélységi méret az alkalmazott tárolóládák méretétől is függ.

A **rekeszes állványoknak** (5.2.3/d ábra) a nagyobb méretű egységrakományok (rakodólapon, tárolóládák és tárolókeretek) tárolására alkalmas nehéz állványokat nevezzük. A rekeszes állványos tárolást akkor alkalmazzuk, amikor követelmény az egységrakományhoz való közvetlen hozzáférés. Ezt a tárolási rendszert kell használni olyan áruk esetén is, amelyeknél az áruk alakja vagy a csomagolása a rakományok egymásra helyezését nem teszi lehetővé.

A rekeszes állványok tartóoszlopainak a távolsága és a mélysége rendszerint a szabványos rakodólapon méreteihez alkalmazkodik, de a tárolóeszköz méretétől függően, attól eltérő is lehet. Egyes változatoknál egy rekeszben 2...3 rakodólapos egységrakomány is elhelyezhető.

A rakodólapos egységrakományok magassága tág határok (0,4...1,6 m) között változhat. Ilyenkor célszerű a változó magassághoz gyorsan igazítható állványelemeket használni. Az osztás-változtatást különböző megoldások (pl. perforált állványoszlophoz csavarkötéssel kapcsolt hossztartóval, hevederszemes állványoszlop kapcsolófejes hossztartóval, perforált állványoszlop kapcsolófejes hossztartóval) teszik lehetővé.

A rekeszes állványok emelőtargoncákkal, felrakó-darukkal és felrakó-gépekkel egyaránt kiszolgálhatók. Az állványok magassága így az alkalmazott anyagmozgató gép rakodási magasságának is függvénye.

Az **át- vagy bejárható állványos tárolás** (5.2.3/e ábra) az állványos és az állványnélküli tömörszerű tárolás előnyeit egyesíti. A polcos, a tárolóládák és a rekeszes állványokat kiszolgáló anyagmozgató gépek mozgása az állványsorok között széles folyosókat igényel, ami csökkenti a raktártér kihasználhatóságát. Az átjárható állványos tárolással ezek a hátrányok kiküszöbölhetők, de csak olyan raktárakban használhatók, ahol a tárolt egységrakományok száma sokszorososa az áru-fajták számának, homogén egységrakományokat kell tárolni, és nem kell az egységrakományokat megbontani, vagyis nincs igény arra, hogy minden egyes rakományhoz közvetlenül hozzá lehessen férni.

A raktár elrendezésekor a raktár két hosszirányú falai mentén 3,0...3,5 m széles közlekedő utat hagynak szabadon, és a közbenső területre telepítik az állványokat.

Az átjárható tárolóállványok emelőtargoncákkal szolgálhatók ki. Az emelőtargonca a szükséges magasságra emeli a rakományt, behajt az állványok közé, az egységrakományt a kijelölt helyre viszi, leereszti a hossztartókra, majd fordulás nélkül hátramenetben visszatér. A felemelt egységrakomány állványoszlopok közötti

mozgatása az emelőtargonca pontos vezetését igényli, ezért a targoncavezető munkájának megkönnyítésére és a biztonság javítására az állványoszlopok mellé a targoncát egyenesben tartó vezetősíneket célszerű telepíteni.

A betárolás az állványmező egyik oldalán, a kitárolás pedig a másik oldalán végezhető, így megvalósítható a *fifo-elvű* tárolás is.

Átjárható állványokkal egy vagy több összefüggő tömb alakítható ki. E tömbökön belül értelemszerűen nincsenek folyosók (közlekedő utat csak a tömbök két hosszanti oldalai mentén létesítenek), ezért a tárolóterület jobban kihasználható, mint a hagyományos soros elrendezés esetében. A tömbök kialakíthatók a raktár egyik oldalfala mentén is, a másik oldalon létesített közlekedőúttal. Ebben az esetben bejárható állványos tárolási rendszerről beszélünk. Ilyen állványrendszer esetében egy-egy tároló csatornában a *first in-last out (filo) -elv* érvényesül, azaz a később betárolt árut korábban kell kiszállítani.

Konzolos állványt (5.2.3/f ábra) általában hosszú, rúdszerű anyagok (csövek, profilanyagokat stb.) tárolására használnak. A konzolokat csavarkötéssel vagy beakasztható kapcsolófejjel rögzítik az állványoszlophoz. Az állványok futódaruval, felrakó-daruval vagy oldalemelésű targoncával szolgálhatók ki.

Az állványos dinamikus tárolási rendszerek

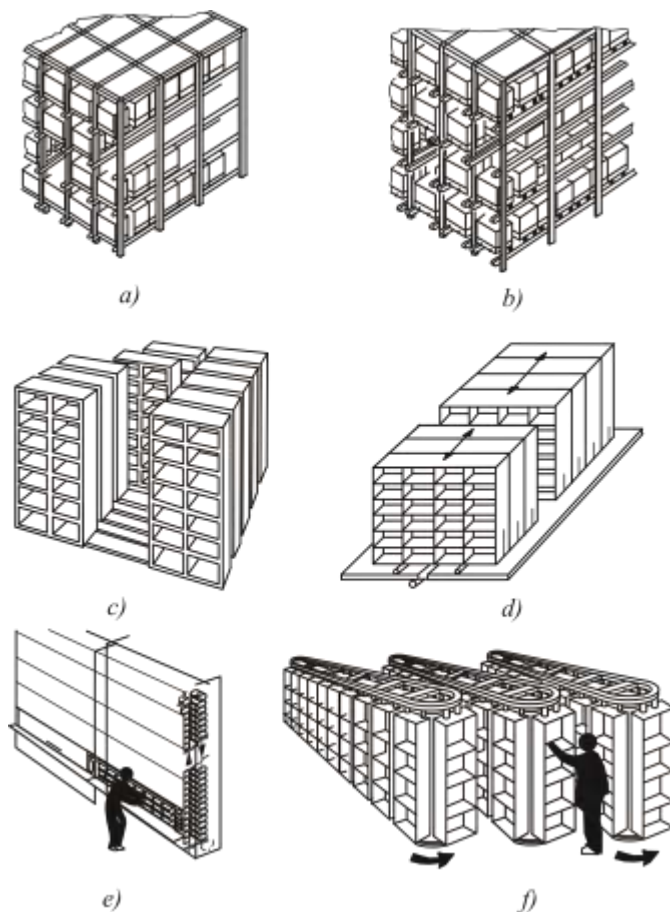
Az állványos dinamikus tárolási rendszerek jellemzője, hogy tárolási egységek a tárolás időtartama alatt változtatják a helyzetüket. A helyváltztatás lehetőségei a következők: a tárolási egység helykoordinátái változhatnak az állványhoz képest (utántöltős állványos tárolás), a tárolóhely és a tárolási egység együtt mozdul el állványhoz viszonyítva (körforgóállványos tárolás) és végül maga az állvány is mozoghat (gördíthető állványos tárolás). A mozgást mindig az áru elhelyezésével vagy kiemelésével kapcsolatos események indítják meg.

Az **utántöltős állványos tárolás** az átjárható állványos tárolás továbbfejlesztett változata. A tárolási egységeket alátámasztó felületek lejtése $1,5...8^\circ$. A tároló csatornában a tárolási egységek a betároló oldal felől a nehézségi erő hatására gördülnek vagy csúsznak a kitároló oldal felé. A tároló csatornák kialakítása csúszópályás, görgőpályás és vezetősínes lehet.

A legegyszerűbb **csúszópályás utántöltős állvány** általában kézzel kezelhető, sík felületű tárolási egységek (kartondobozok, tárolóládák) esetében alkalmazható. A pálya (síkcúszda) lejtőszöge a tárolási egység és a csúsztatólap közötti súrlódási tényezőtől függ. Az acélfelületű csúszólap súrlódási tényezője csiszolással vagy teflon bevonattal csökkenthető, a lejtőszög ebben az esetben $6...8^\circ$.

A **görgőpályás utántöltős állványos tárolás** (5.2.4/a ábra) előfeltétele, hogy a tárolási egység görgőpályán szállítható legyen. A szabálytalan alakú árukat sík lemezre vagy rakodólapra kell helyezni. A tárcsás vagy hengergörgős pálya lejtőszögét a tárolási egység tömegéből származó súlyerő lejtőirányú komponensének figyelembevételével kell meghatározni (általában $1,5...3,0^\circ$). A lejtőszög egyszerű és gyors változtatását a perforált állványoszlopokba beakasztható hossztartók teszi lehetővé. Léteznek olyan elemek is, amelyekkel fokozatmentesen állítható a lejtőszög.

A görgőpályás csatornát úgy kell megtervezni, hogy a tárolási egység közel állandó sebességgel gördüljön. A pálya (a csatorna) végén ütköző gondoskodik az első rakomány kicsúszásának megakadályozásáról és a második rakomány pozícionálásáról. A második rakomány csak ekkor gördül az első helyére, ha azt már eltávolították. A közel állandó sebességgel való gördülést centrifugális, mágneses, hidraulikus stb. fékberendezéssel felszerelt görgők (fékezőgörgők) beépítésével lehet elérni.



5.2.4. ábra. Állványos, dinamikus tárolási rendszerek

- a) görgős pályás utántöltős állványos tárolás; b) vezetősínes utántöltős állványos tárolás; c) hosszanti irányban gördíthető állványos tárolás; d) keresztirányban gördíthető állványos tárolás; e) vízszintes tengely körül forgó állványos tárolás; f) függőleges tengely körül forgó állványos tárolás

A **vezetősínes utántöltős állványok** (5.2.4/b ábra) lejtős hossztartói hidegen sajtolt profilacélból készülnek. Az ilyen állványok gördíthető tárolóládák, illetve azokba helyezett áruk tárolását teszik lehetővé. Az önállóan nem gördíthető tárolási egységek (pl. sík vagy oldalfalas rakodólapos rakományok) a pálya tartozékaiként kapható gördülőkeretekre helyezhetők (pl. *Rollax-rendszer*).

A tároló csatornába épített vezetősínek lejtős és emelkedő kivitelűek egyaránt lehetnek. Az utóbbi esetben a tárolási egységeket a tároló csatorna ugyanazon

végén rakják be és szedik ki (*drive-in rendszer*). Ez a megoldás értelemszerűen csak akkor használható, ha az adott raktározási feladat a *filo-elvet* követi. E megoldás nem igényel fűkező elemeket, mert mind a be-, mind a kitároláskor egy tárolási egységnyi a mozgás.

Az utántöltős állványos tárolás az előzőektől eltérő tárolóállvánnyal, illetve műszaki megoldásokkal is megvalósítható. Henger alakú tárgyak (papírtekercsek, lemeztekercesek, hordók stb.) utántöltős állványos tárolásakor pl. a tároló csatorna hosszartói alkotják a gördülőpályát. A rakodólapos egységrakományok a tároló csatornában légpárnákkal is alátámaszthatók, vagy vízszintes pályán mozgó, lánccal vontatott állvány kocsikra helyezhetők.

Az utántöltős állványos tárolás folyamata viszonylag könnyen automatizálható. Meghibásodás esetén viszont a hibás elemekhez, állványrészekhez nehéz hozzáférni, a karbantartása körülményes, és csak a tároló csatornák részleges kiürítése után lehetséges. Üzemeltetésük ezért megbízható, kifogástalan elemek alkalmazását, gondos szerelést és karbantartást igényel. Az utántöltős állványok beruházási költsége magas, ezért alkalmazásuk csak nagy forgalmú raktárakban vagy raktárrészekben lehet gazdaságos.

A gördíthető állványos tárolás (5.2.4/c, d ábrák) elsősorban olyan raktárakban valósítható meg, ahol a raktártér kihasználásához különös érdek fűződik (pl. hűtőtárolók), a készlet teljes cserélődése hosszú idő alatt következik be (pl. tartalékalkatrész raktárak), vagy egy-egy állványsort kis gyakorisággal kell felkeresni (pl. filmtárak, könyvtárak, irattárak).

A kerekkel felszerelt gördíthető állványok a raktár padlójába süllyesztett sínen mozognak. Az új kiszolgáló csatorna mindig az elmozduló állványsor helyén nyílik meg. Az állványok kézi erővel, kézi-mechanikus úton vagy gépi erővel mozgathatók. Gépi mozgítás esetén a vezérlés állványonként elhelyezett nyomógombos vagy kulcsos kapcsolóval, illetve központi vezérlőpulttól oldható meg. Az egyes állványsorok elmozdításának időtartama 25...35 s.

A mozgítás iránya szerint hosszanti (5.2.4/c ábra) és keresztirányba (5.2.4/d ábra) gördíthető állványos változatok ismertek. A hosszanti irányba eltolható változat előnye, hogy a kiszolgálás céljából mindig csak egy állványsort kell elmozdítani, hátránya viszont a kedvezőtlenebb térkihasználás (a kiszolgáláshoz az állványsorok hosszával azonos szélességű tér szabadon hagyására van szükség).

A gördíthető polcos állványok mellett egyre gyakoribb a nagy teherbírású gördíthető rekeszes állványok alkalmazása is.

Forgó állványos tárolás (5.2.4/e, f ábrák) esetében egymással összekapcsolt tálcák, serlegek vagy egyéb tárolóelemek forognak vízszintes (páternoszterrendszer) vagy függőleges (karusszel-rendszer) tengelyek körül. A karusszelek 3...30 m hosszúak, a páternoszterek magassága 3...20 m.

A működtetéskor valamennyi egység megindul a pályán és mindaddig mozgásban marad, amíg a kívánt tárolási egységet tartalmazó állványrekesz az átadóhelyre nem érkezik.

A forgóállványos tárolást elsősorban gyártórendszerek ütem- és alkatrészraktárai-ban, szerszámraktárakban, irattárakban célszerű megvalósítani. Az automatikus

forgóállványok központi vezérlőpultról irányíthatók. Itt lehet a kívánt árucikket tartalmazó tárolóhely kódját kiválasztani és a kiadóhelyhez mozgatni.

A forgóállványok anyagmozgató gépekkel, vonalkód leolvasókkal, robotokkal kombinálhatók, így automatizált gyártási rendszerek kiszolgálására is jól alkalmazhatók. A vízszintes körforgó állványokat pl. gyakran használják a közvetlen gyártási folyamatba iktatott ütemtárolóként (integrált gyártó-tároló rendszer), a JIT-rendszerben működő szerelőüzemek kiszolgálóegységeként stb.

5.2.3. A raktárak anyagmozgatási folyamatai

A raktárban az áruk hosszabb-rövidebb ideig nyugalmi helyzetben vannak, a raktárakra mégis az áruk folytonos mozgása, a raktárkészlet állandó változása jellemző. A mozgási (rakodási, belső szállítási), valamint a nyugvási (tárolási) - ún. RST műveleteknek az összessége képezi a raktárak alapfolyamatát. Az alapfolyamat még további részfolyamatokkal (pl. ellenőrzés, egységrakomány-képzés stb.) egészülhet ki, és ezek együtt jelentik a raktár működési folyamatát.

A darabárus **raktárak működési folyamata** az anyagáramlás irányával összefüggésben: a beszállítással, a tárolással és a kiszállítással kapcsolatos részfolyamatokra bontható.

A **beszállítással kapcsolatos** részfolyamat a következő főbb műveletekre bontható: a szállítóeszköz kirakása, az áruk beszállítása az átvevőhelyre; az áruk átvétele, az átvétellel kapcsolatos árumozgatás; betárolás (az áruk beszállítása az átvevőhelyről a tárolóterbe, az áruknak a tároló helyre helyezése).

A **kiszállítással kapcsolatos** részfolyamat műveletei: kitárolás; a kiszállítás előkészítésével kapcsolatos árumozgatás; a szállítóeszköz megrakása.

A raktári anyagmozgatási munka csökkentésének egyik lehetősége a be- és kitárolással kapcsolatos anyagmozgatás során bejárando utak rövidítése. A betárolás során bejárando utak hossza célszerű áruelemzéssel, a kitárolás során bejárando utak hossza pedig az árugyűjtés rendszerének és módjának helyes megválasztásával csökkenthető.

A működési folyamatban az anyagmozgatási (rakodási, szállítási), valamint a tárolási elemek további (várakozási, ellenőrzési) elemekkel egészülnek ki. Esetenként további (pl. egységrakomány-képzési vagy bontási) műveletek igénye is felmerülhet, a kitárolással kapcsolatos művelet pedig komissiózási tevékenységekkel is kiegészülhet.

A kézi vagy kézi eszközös anyagmozgató rendszer

A könyvtárakban, irattárakban, kézi szerszám-raktárakban szertárakban, stb. jelentkező anyagmozgatást, és a kisebb forgalmú raktárakban az árukigyűjtést általában kézi erővel végézik. Ennek nemcsak az az oka, hogy e helyeken az anyagmozgatási műveletek nehezen és nagy költséggel gépesíthetők, hanem a ritkán mozgó könnyű áruk mozgatása nem is igényel gépi eszközöket. A kézi vagy kézi eszközös anyagmozgatás rendszerint polcos vagy tárolóládás állványos tárolási

rendszerrel párosul. A kézi eszközök kisegítőeszközként a gépi anyagmozgatási rendszerekben is előfordulnak.

A kézi rakodás, mozgatás tömeghatára, folyamatos egész napos munkavégzés esetén 10 kg, félnapos tevékenység esetén 15 kg, szakaszos munkavégzés esetén 20 kg. A kézi árugyűjtés tömeghatára, a gyakoriságtól függően 15...20 kg (különleges esetben 25 kg is megengedhető).

A 70....100 dm³-nél nagyobb térfogatú terhek kézi mozgatása a tömegtől függetlenül nehézkes és balesetveszélyes, ezért ilyen méretű tárgyak esetén legalább kézi eszközöket kell igénybe venni.

A kézi eszközök és kézi segédeszközök a segédeszköz nélküli kézi anyagmozgatáshoz viszonyítva megkönnyítik és meggyorsítják az anyagmozgatást. A kézi segédeszközök közül elsősorban hevederek és görgős emelőrudak alkalmazása gyakori, míg a segédeszközök közül a kétkerekes targoncák és a kézi kocsik jöhetnek számításba.

A kézi kocsik árugyűjtés céljára kialakított változatai a raktári anyagmozgatás legelterjedtebb kézi eszközei: az állványok könnyebb kiszolgálása céljából, egyes típusai létrával vannak felszerelve.

A kézi emelővillás targoncák az egységgrakományokat tároló raktárak nélkülözhetetlen kézi- és kisegítőeszközei, de célszerűen alkalmazhatók egyedi árutartó raktárak kiszolgálására is.

A targoncás anyagmozgató rendszer



5.2.5. ábra. Raklapos állványrendszer kiszolgálása targoncával

A targoncás anyagmozgató rendszer gépei a 3.5. fejezetben ismertetett gépi hajtású emelőtargoncák, amelyek egységgrakományok és nagy tömegű egyedi darabok mozgatására egyaránt alkalmasak.

Az emelőtargoncák a raktári anyagmozgatás teljes (komplex) gépesítését lehetővé teszik. Különböző raktárakban a különféle (egységgrakományba összefogott vagy egyedi) áruk mozgatására, állványok nélküli és állványos tárolási rendszerek kiszolgálására alkalmasak. Emelőtargoncákkal a hagyományos raktárakban 4...6 m-es tárolási magasság érhető el (5.2.5. ábra).

A targoncák sokrétű alkalmazási lehetősége különböző targoncafajták kifejlesztéséhez (3.5. fejezet) vezetett. Ezek közül az adott raktárban legcélszerűbben használható targoncafajtát különböző szempontokat mérlegelve kell ki-

választani. A targoncafajta megválasztásakor elsősorban a hajtás módját (villamos vagy belsőégésű motorral hajtott), valamint a raktárüzem szempontjából mértékadó paramétereket (emelési magasság, útszélesség stb.) kell vizsgálni.

A raktári anyagmozgatásban alkalmazható emelőtargoncákkal szemben támasztott alapvető követelmények: a szükséges teherbírás a lehető legkisebb saját tömeg mellett biztosítsa; a szükséges halmozási magasság a lehető legkisebb szélességű közlekedőúttal legyen elérhető; feleljen meg a raktárüzem egyéb követelményeinek.

Az emelőtargonca saját tömege és annak megoszlása az első és hátsó tengelyen, nagyban befolyásolja a targonca terhelt helyzetében fellépő legnagyobb kerékterhelést. Minél nagyobb a targonca kerékterhelése, annál nagyobb igénybevételt fejt ki a padlóra, illetve a földemre. A raktárpadló, illetve a föld kialakítása szempontjából tehát a kicsi kerékterhelésre, illetve saját tömegre kell törekedni.

Az emelőtargoncák saját tömegét a teherbírás és a szerkezeti kialakítás befolyásolja. Azonos teherbírás mellett a normál emelőtargonca saját tömege a legnagyobb, ezt követik a tolóoszlopos, a terpeszemelős targoncák és az emelőkocsi. Normál emelőtargonca esetében a nagy saját tömeg mellé még az egyenlőtlen kerékterhelés is párosul (terhelt helyzetben az első kerékterhelés a hátsó kerékterhelésnek többszöröse lehet).

Az emelőtargoncák által igényelt közlekedőút szélessége a targoncák szerkezeti sajátosságától függ, és a teherbíró-képességtől függően tág határok között változhat. Az 1 t teherbírású emelőtargoncák (ha a rakomány elhelyezésekor az állvány-sorra merőlegesen kell beállni) 1,8...3,0 m közlekedőút szélességet igényelnek. A legszélesebb utat a normál emelőtargoncák, a legkeskenyebbet a tolóoszlopos és az oldalemelésű targoncák igénylik.

A raktárüzem egyéb előírásai közül a megengedett sebesség és a vasúti kocsiba való bejárás (rakodón dolgozó targoncák esetében) említhető meg. Az anyagmozgatási feladat végzésekor megengedhető sebesség befolyásolhatja a targonca vezérlési módjának, szerkezeti kialakításának megválasztását. Amennyiben nagy sebesség engedhető meg (pl. raktár és üzemszék között), célszerűbb normál vezetőüléssel targoncát üzemeltetni, amelynek a haladási sebessége a 10...20 km/h-t is elérheti. Raktárakon belüli anyagmozgatásnál a megengedett sebesség 5 km/h, tehát a kisebb sebességű vezetőállásos vagy vezetőüléssel tolóoszlopos vagy terpesz emelőtargoncák, illetve emelőkocsik is gazdaságosan üzemeltethetők.

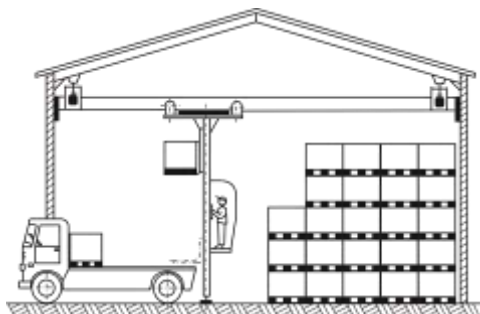
Az emelőtargoncák vasúti kocsiba való bejárásának szükségessége a saját tömeget és így a teherbírás, valamint az emelőoszlop magasságát korlátozhatja. Általában az 1000 kg vagy ennél kisebb teherbírású emelőtargoncák még a vasúti kocsik padlózatának rongálása nélkül tudnak kocsiba haladni, és azon belül műveleteket végezni. A fedett vasúti kocsik ajtónyílás-magassága általában 1,8...2,0 m, így a biztonságos ki- és bejárás 1,6 m-es emelőoszlop magasság mellett lehetséges.

A darus anyagmozgató rendszer

A darus anyagmozgató rendszert nagy tömegű, terjedelmes árukat tároló, illetve nagy tárolási magasságú raktárakban használnak. A számításba vehető darufajták: a felsőpályán mozgó futódaruk (3.2 fejezet) és a felrakó-daruk. Jellemzőik: ható-

körzetük csak a tárolótérre korlátozódik, haladási sebességük legfeljebb 0,5...1,0 m/s.

A **futódaru** raktári alkalmazásának egyik hátrányos velejárója, hogy a daruszerkezet mozgásához szükséges tér jelentős tárolótér-veszteséget okoz. Horogüzemű daruk állványok kiszolgálására nem (vagy csak körülményesen) alkalmasak. Állványok nélküli tárolás esetén is problémás az áruk halmozása, mivel a biztonságos áruelhelyezés csak kézi irányítással valósítható meg. A mozgatott áru alakjához igazodó megfogó-szerkezet esetleg lehetővé tenné a kézi beavatkozás nélküli áruelhelyezést vagy árufelvételt, de az emelőművön függő megfogó-szerkezet pontos irányítása (az áru pontos elhelyezése) nehezen érhető el. Futódarukat 4...7 m-es tárolási magasságig alkalmazzák.



5.2.6. ábra. Állvány nélküli tömbtárolási rendszer kiszolgálása felrakódaruval

A **felrakódaruk** (5.2.6. ábra) a raktári anyagmozgatás céljaira kifejlesztett speciális daruk, amelyekkel (kötöző és irányító nélkül) egység rakományok, vagy sajátos megfogószerkezetek alkalmazásával egyedi darabáruk 6...11 m magasságig egymásra vagy állványokra helyezhetők.

Használhatók esetleg közúti járművek vagy szállítótargoncák megrakására is. Az alkalmazási területük széleskörű, mivel az emelőoszlop és a megfogószerkezet a raktár és a mozgatandó áruk jellegének megfelelően alakítható ki.

5.2.4. Magasraktári rendszerek

A magasraktári rendszerek áttekintése

A magasraktári rendszerek darabáruk (egységrakományok, szálanyagok, tekercsek stb.) olyan állványos tárolási rendszerei, amelyekben a tárolási magasság az általános célú emelőtargoncák által elérhető tárolási magasságot meghaladja. Az áruk be- illetve kitárolását az állványok közötti folyosókban mozgó felrakó gépek (3.6. fejezet) vagy felrakó targoncák végzik.

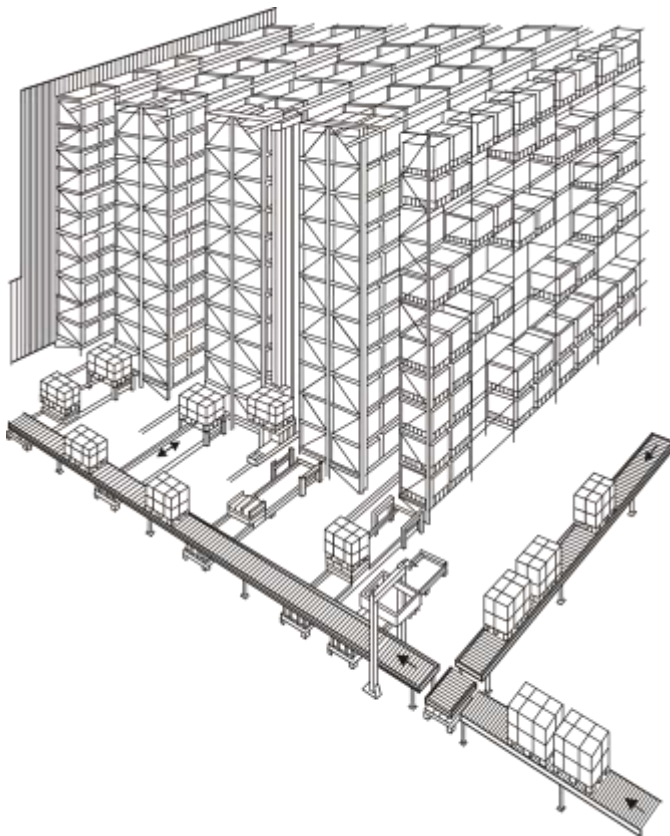
Nem tartoznak e rendszerbe az ömlesztett anyagok vagy folyadékok tárolására alkalmas különböző magasépítésű hombárok (pl. gabonasilók) és tartályok (bortartályok), valamint a többszintes darabáru-raktárak. A magasraktári rendszerben főleg rakodólapos egységrakományok tárolhatók, de kisebb méretű egységrakományok és egyedi darabáruk elhelyezésére is alkalmas.

A magasraktári rendszerek elterjedésének okai a korszerű elosztási (disztribúciós) rendszerek fejlődésében, a termelési folyamatok automatizálásában, a raktártechnika fejlődési irányában, illetve sok esetben a terület kihasználás javítására irányuló törekvésekben keresendők.

A magasraktárakat az áru tárolására alkalmas **tárolótér**, az **árugyűjtő- és elosztótér**, az **ügyviteli és irányítási hálózat**, valamint az ezekhez tartozó technikai elemek alkotják.

A **tárolótérben** a raktár fő feladata a tárolás állványok és felrakó gépek vagy felrakó targoncák segítségével valósul meg.

Az **árugyűjtő- és elosztó tér** (röviden előkészítőtér) a tárolást megelőző műveletek (beszállító járművek kirakása, egységrakomány-képzés, ellenőrzés, nyilvántartásba vétel stb.) és a tárolást követő műveletek (rendelés-összeállítás, csomagolás stb.) elvégzésének a helye. A mozgatási műveleteket végző technikai elemek (emelőtargoncák, az egységrakományokat a felrakó géphez továbbító folyamatos működésű anyagmozgatógépek stb.) mellett esetenként sajátos (pl. egységrakomány-képző) berendezésekkel is fel vannak szerelve.



5.2.7. ábra: Teljes egységrakományokat tároló magasraktár

Az **ügyviteli és irányítási hálózat** feladata az árunyilvántartáson túl az anyagáramlás irányítása és az ehhez szükséges információk gyűjtése és tárolása.

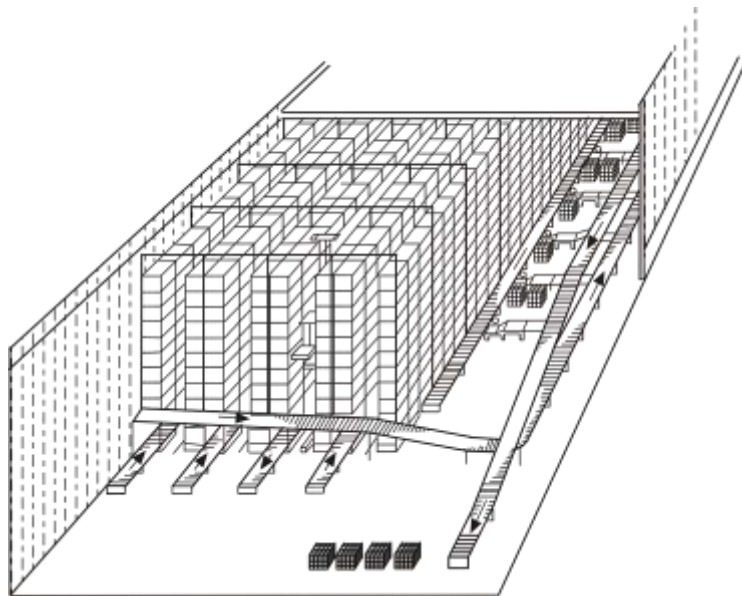
A magasraktárak felszereltsége és műszaki megoldása eltérő lehet. A magasraktárakat célszerű rendeltetésük, az állványok magassága, a tárolótér építészeti kialakítása és az automatizáltság szintje szerint csoportosítani.

A **raktár rendeltetése alapján** megkülönböztethető: teljes egységrakományok tárolására alkalmas, kommissiózó és kombinált magasraktár.

A **teljes egységrakományok tárolására alkalmas magasraktárban** megbontatlan (sík, keretes, oldalfalás rakodólapos) egységrakományokat tárolnak. Az árugyűjtő- és elosztótéri anyagmozgatást emelőtargoncák vagy folyamatos működésű

szállítógépek (konvektorok, görgős szállítópályák stb.) végzik (5.2.7. ábra). E típus gépesítettségi szintje a legmagasabb.

A **kommissiózó magasraktárban** (5.2.8. ábra) lehetőség van a tárolási egységek megbontására és kiszállítási egység különböző áruajtákból való összeállítására. Két alaptípusa különböztethető meg aszerint, hogy hol végzik a kommissiózást, a tárolótérben vagy a kommissiózótérben.



5.2.8. ábra: Kommissiózó magasraktár

A gépkezelő az állványokon elhelyezett egységgrakományokból kiszedi a rendelési jegyzéken feltüntetett mennyiségeket és a felrakógépen elhelyezett gyűjtőládában gyűjti össze. Korszerűbb megoldás, amikor az állványból kiemelt árut a felrakógép folyamatos működésű szállítógépnek adja tovább, amely azt az osztályozótérbe szállítja. Kifejlesztettek olyan felrakógépre vagy vezetőnélküli targoncára szerelt robotokat is, amelyek a megfelelő mennyiségű árut az ember helyett kiemelik a tárolóhelyről.

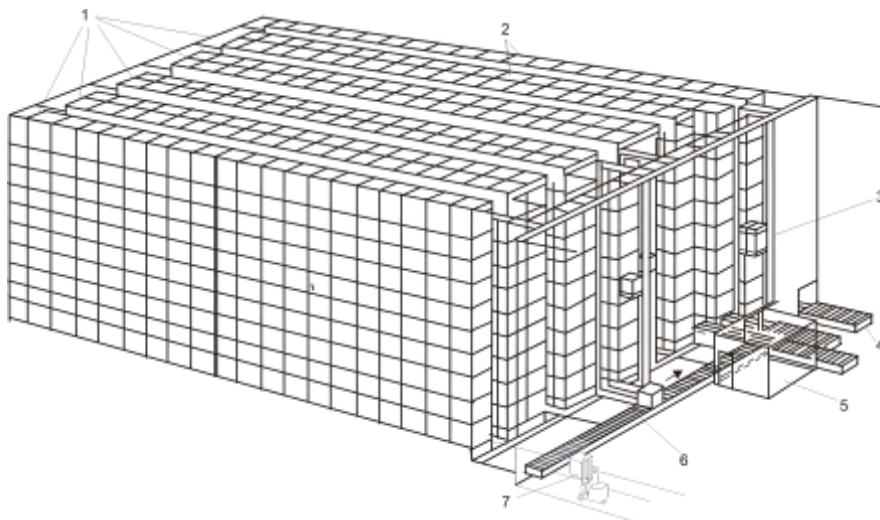
A kommissiózó tér a magasraktár kommissiózásra kialakított része. A tárolótérből az egységgrakományt kiszállítják a kommissiózó térbe, és ott a szükséges mennyiséget kiemelik belőle, majd a maradékot visszaszállítják. A kiszállítási egységeket a kommissiózó térben állítják össze.

A **kombinált magasraktárban** (5.2.9. ábra) a tároló- és kommissiózó tér egy egységet képez. A tárolótér egy része a tartalékraktár, másik része az élőraktár szerepét tölti be. A beérkező egységgrakományokat felrakó gép viszi a tartalék- (készlet) raktárba és innen töltik fel, szükség szerint, az élő- (kommissiózó) raktárrészt. Árugyűjtést így csak a kommissiózó raktárrészben kell végezni.

Az állványok magassága szerint a raktárak lehetnek: **középmagasak** (6...10 m magas állványokkal) és **magasak** (10 m-nél nagyobb állványmagassággal). A szakirodalom esetenként csak a 10 m-nél magasabb állványokkal berendezett raktárakat tekinti magasraktárnak, az ennél alacsonyabb raktárakat a felrakó géppel

üzemelő hagyományos raktárak csoportjába sorolja. A megkülönböztetésnek azonban sem a tervezés, sem az üzemeltetés szempontjából nincs jelentősége.

A tárolótér építészeti kialakítása szempontjából: felrakó géppel vagy felrakó targoncával üzemelő **csarnokraktárak** és felrakó géppel üzemelő **állványtartós magasraktárak** különböztethetők meg.



5.2.9. ábra: Kombinált magasraktár

- 1) készletraktár; 2) kommissiózó raktár; 3) felrakógép (kommissiózáshoz) 4) görgős szállítópályák; 5) vezérlőközpont; 6) felrakógép (teljes egységgrakományok); 7) targonca az egységgrakományok szállításához

A felrakó géppel vagy felrakó targoncával felszerelt csarnokraktárak hagyományos eljárással épített, egy légtérű épületek. Elsősorban meglévő raktárépületek anyagmozgatási és tárolási technológiájának korszerűsítése, valamint új kommissiózó magasraktárak építése esetén alkalmazható megoldás. A tárolási magasság általában 6...12 m.

A felrakó géppel üzemelő állványtartós (önhordó) magasraktárak sajátos létesítmények. Az állványok egyben az épület tartóelemei is, így az épület burkolata vékony falazatból vagy lemezből is kialakítható. A felrakógép esetenként az állványokat terhelő tetőszerkezethez kapcsolódik. Ezzel az építészeti megoldással 10...35 m-es magasság is elérhető.

A raktári anyagáramlás fő iránya szerint a tárolótér mindkét esetben fej vagy átmenő elrendezésű lehet. **Fejelrendezés** esetén a tárolótérnek ugyanazon az oldalán, **átmenő elrendezés** esetén a tárolótér két egymással szemkötti oldalán végezhető a tárolási egységek be- és kitárolása.

Az automatizáltsági szint alapján megkülönböztethetők: gépesített, részlegesen automatizált és teljesen automatizált magasraktárak.

A **gépesített magasraktárakban** az irányítási (vezérlési) műveleteket (a felrakó gép indítását, leállítását stb.) kézzel kell végezni. A gép helyzetét a mozgás ideje alatt folyamatosan ellenőrizni kell.

A **részlegesen automatizált magasraktárakban** a tárolóteri mozgató műveletek egy része automatizált, más része kézi vezérlésű. Rendszerint az elérni kívánt állványrekesz adatai (az állványoszlop száma és a rekeszmagasság) előre beállíthatók. A gép automatikusan a programozott helyre megy, ahol a kezelő -a vezérlőelemekkel- a teherfelvevő szerkezetet működésbe hozza.

A **teljesen automatizált magasraktárak** árugyűjtő és elosztó, valamint tárolóterében a teljes mozgató folyamat automatizált.

A magasraktárak technikai alrendszerei

A magasraktárak technikai alrendszerei (a kiszolgáló gépek, az állványok és az épület) szoros kapcsolatban állnak egymással, valamint a raktározást megelőző (pl. a termelés) és a követő (pl. felhasználás) folyamatok technikai elemeivel. A be- és kiszállítást végző technikai elemek, a raktár árugyűjtő és elosztó helyének kialakítása és rendszere kölcsönösen hatnak egymásra. Például a be- és kiszállítás intenzitása határozza meg az árugyűjtő és elosztó-rendszerek, valamint a kiszolgáló gépek kívánatos kapacitását.

A magasraktárak technikai alrendszerei: a kiszolgáló (felrakó) gépek, az állványok, az árugyűjtő- és elosztórendszer, a raktárépület.



5.2.10. ábra: Szűkfolyosós felrakó targonca

A **kiszolgáló gépek** a magasraktárak sajátos anyagmozgató gépei, amelyek az állványok közötti folyosókban egyidejű emelő- és haladó mozgással közelítik meg a kívánt tároló helyet. A kiszolgálógépek sín pályán mozgó felrakógépek (részletesen lásd a 3.6. fejezetben) vagy sín pályához nem kötött felrakó targoncák lehetnek.

Nagy forgalmú raktárakban, különösen hosszú állványsorok esetén célszerű minden közlekedőfolyosóba egy **felrakógépet** telepíteni. Ha a felrakógépek száma kevesebb a folyosók számánál, akkor a folyosóváltást tolopaddal vagy önáthelyező kialakítással oldják meg. A felrakógépek helyigénye olyan kicsi, hogy a közlekedőfolyosó szélességét a mozgató egységterjedelme mérete határozza meg. Emelési magasságuk az állványok magasságához igazodik.

A **felrakó targoncák** emelési magassága 10...13 m, az igényelt folyosószélesség 1,5...1,8 m. A nagy emelési magasság a hagyományos emelőtargoncáktól eltérő, sajátos emelőoszlop és megfogószerkezet kialakítást kíván, továbbá különleges biztonsági berendezések beépítését is szükségessé teszi (5.2.10. ábra). A teleszkópszerűen működő

emelőoszlop két-, három vagy négy részből áll. Az oszlop egymásba csúszó részei a hajlító- és csavaró igénybevételnek jól ellenálló, nagyszilárdságú, U keresztmetsetű hengerelt acélból készülnek. Az emelővilla olyan kialakítású (elforgatható vagy eltolható villa), hogy az egységtrakomány állványrekeszbe helyezésekor vagy onnan való kivételekor a targoncának nem kell elfordulnia. E megoldás lehetővé teszi, hogy az állványfolyosóban mozgó emelőtargonca elfordulás nélkül mindkét oldali állványsort kiszolgálja. Az 5.2.10. ábrán látható szűkfolyosós felrakó targonca két oldalra rakodó teleszkópvillája 1000-1200 kg tömegű terhet 13 m magasságig emeli, és a villakialakításának köszönhetően a teher szélességével megegyező szélességű folyosóban is működik.

A felrakó-targoncák olyan biztonsági berendezésekkel is fel vannak szerelve, amelyek a teher nagy magasságra emeléséhez, a megfogó-szerkezet megbízható működéséhez és a targonca veszélytelen üzemeltetéséhez szükségesek (pl. mozgáshatárolók, magassági helyzetjelzők, alternatív reteszelvek). A folyosókban haladó targoncát nem kell kormányozni, egyenesbe vezetéséről a targonca alvázára szerelt függőleges tengelyű vezetőgörgők és az állványokhoz rögzített vezetősínek gondoskodnak. A tehermentesített targoncavezető figyelme így a rakomány manipulálására koncentrálódhat.

A felrakó-targoncák -mivel nincsenek sín pályához kötve- rugalmasabban alkalmazhatók, mint a felrakó-gépek, kezelésük és irányításuk automatizálása azonban bonyolultabb, illetve csak nagyobb ráfordítással valósítható meg.

Az **állványok anyaga** acél vagy vasbeton, esetenként a kettő kombinációja is lehet. Az állványokkal szemben támasztott követelményeket a tárolási egység, a felrakó-gép és az egyéb tényezők határozzák meg.

A tárolási egység méretei a rekeszméreteket, a tömege az elemek teherbírását, illetve a tartóoszlopok távolságát befolyásolja. Rakodólapos egységtrakományok esetén pl. minden oldalon minimálisan 80...100 mm, az egységtrakomány fölött pedig 100...150 mm biztonsági távolsággal kell számolni.

Az **árugyűjtő- és elosztórendszerek** feladata a tárolást megelőző és követő műveletek gyors és maradéktalan elvégzése. A tárolást megelőzően felmerülő mozgatás igényes műveletek: a járművek kirakása, az egységtrakományok ellenőrzése, a felrakó-gépekhez való továbbítása és átadása. A tárolást követő mozgatás igényes műveletek: a felrakó-gép által leemelt egységtrakományok vagy összegyűjtött kiszállítási egységek átvétele, ellenőrző- vagy csomagolótérbe való továbbítása, ellenőrzése, esetleg csomagolása és a kiszállító járművek megrakása.

Az árugyűjtő- és elosztórendszerekkel szemben támasztott követelmények:

- kellő számú várakozóhelyet biztosítsanak a rakományok számára a felrakó-gépek megfelelő időbeni kihasználása érdekében;
- a befoglaló méreteik, alakjuk miatt nem megfelelő egységtrakományok elkülöníthetők legyenek;
- az egységtrakományokat betárolásra alkalmas helyzetbe hozzák;
- az egységtrakományokat pontosan helyezték át a felrakó-gép átadóasztalára;
- szállítás közben ne keletkezzenek túlzottan nagy dinamikus igénybevételek;
- különböző befoglaló méretű, tömegű és kialakítású egységtrakomány-képző eszközök (tárolási egységek) szállítására is alkalmasak legyenek.

Az árugyűjtő- és elosztórendszerek egymáshoz viszonyított kapcsolata szerint megkülönböztethetők különálló (szétválasztott) és kombinált (összetett) rendszerek.

Különálló rendszerek esetében egyidejűleg, egymástól függetlenül végezhető a be- és kitárolással kapcsolatos árumozgatás. Ennek a rendszernek az előnye, hogy nagy a teljesítőképessége, könnyen bővíthető, különböző műszaki megoldások alkalmazhatók a be- és kitárolásra. Hátrányuk a nagy költségigény.

A **kombinált rendszerek** esetében a be- és kitárolással kapcsolatos mozgatósi műveletekre ugyanazokat a gépeket és berendezéseket használjuk. Ebből adódóan viszonylag kisebbek a gépi berendezésekkel és az épülettel kapcsolatos beruházási költségek, ugyanakkor a különálló rendszerekhez képest kisebb a teljesítőképesség, és kevesebb a kialakítható várakozó helyek száma, nagyobbak a szervezési és irányító munkaráfordítások.

Az **árugyűjtő- és elosztórendszerek** szakaszos vagy folyamatos működésű anyagmozgató gépekből, átdó- elágaztató- és összekapcsoló elemekből, illetve ezek kombinációiból alakíthatók ki. A gépeknek alkalmazkodniuk kell az egységrakományok (tárolási egységek) méreteihez, tömegéhez és egyéb sajátosságaihoz (pl. a támasztófelfekvő felület kialakítása szempontjából).

Az **anyagmozgató gépek** közül emelőtargoncák, vezetőnélküli targoncák, függőkonvektorok, hajtott vagy gravitációs görgős szállítópályák, két- vagy többsoros szállítóláncok, esetenként szállítószalagok is számításba vehetők.

Az **átadó-, elágaztató- és összekapcsoló elemeket** a folyamatos működésű anyagmozgató gépek egyenes szakaszai közé irányváltoztatáskor, illetve a különböző rendeltetési célú rakományok útvonalának elágazásakor, vagy különböző irányból érkező, egy irányba továbbhaladó rakományok útvonalának összekapcsolásakor kell beépíteni. Ezek működésükben szervesen kapcsolódnak a rakományokat továbbító egyenes pályaszakaszokhoz.

Az egységrakományok továbbítására alkalmas átdó-, elágaztató- és összekapcsoló elemek főbb típusait: síkfelületű emelőasztal, görgős emelőasztal; görgős fordítóasztal, görgős átdókocsi, görgős átdóasztalos átdókocsi; síkfelületű, illetve villás átdókocsi szállítólánchoz a 2.10. pontban ismertettük.

A **rakományvizsgáló berendezések** feladata a rakomány és az egységrakományképző eszköz állapotának betárolás előtti ellenőrzése. Általában az automatikus működtetésű elosztórendszerek tartozékai, és fotócellás működtetésűek. Kétféle változatuk ismeretes: az álló rakományt vizsgáló berendezés és a mozgó rakományt vizsgáló berendezés.

5.3. KOMISSIÓZÁS A RAKTÁRAKBAN

5.3.1. A kommissiózási folyamat

A kommissiózás (árugyűjtés) az áruk előre megadott megrendelések szerinti kigyűjtését és összeválogatását jelenti, amely a megrendelés átvételével kezdődik és a kigyűjtött, rendelésenként csoportosított áruk kiadásával fejeződik be. A kommissiózás során általában több árufajtából (árucikkből) álló rendelési (kiszállítási) egységet kell összeállítani, majd a kiadóhelyiségbe továbbítani.

A kommissiózás az elosztó raktárak sajátos és egyben legkritikusabb részfolyamata, amely a következő esetekben válhat szükségessé:

- a rendelések több árufajtára vagy árucikkre vonatkoznak, az egyes árufajtákból igényelt mennyiségek változóak, a tárolási egységeket meg kell bontani;
- a rendelések több árufajtára (árucikkre) vonatkoznak, mennyiségük a tárolási egység egész számú többszöröse, a tárolási egység bontása csak kivételesen fordul elő;
- a megrendelések egy árufajtára vonatkoznak, de a tárolási egységtől eltérő kisebb mennyiségre, ezért a tárolási egységet meg kell bontani.

A raktározási gyakorlatban általában az első két alapeset fordul elő.

A kommissiózás részfolyamatai:

- a megrendelés feldolgozása,
- a szállítóegységek (dobozok, ládák) előkészítése, megrendelőkhöz rendelése,
- tárolási egység kiemelése a tároló helyről,
- az áru kiemelése a tárolási egységből,
- kiemelt áru vagy a tárolási egység mozgatása,
- a kiszállított áru rendezése, osztályozása, a rendelés összeállítás, ellenőrzés és csomagolás..

A részfolyamatok a kommissiózás módjától függően változhatnak, illetve egyes részfolyamatok el is maradhatnak.

A megrendelések feldolgozása

A megrendelések feldolgozása a raktárba beérkező megrendelési listák alapján készülő kiszedési (kigyűjtési) jegyzékek elkészítését jelenti.

A megrendelési listák egy-egy sora (rekordja) írja le a megrendelt árucikket és annak mennyiségét. Ezek a megrendelés átvételét követően (számítógépes rendelés esetén azonnal) a raktár számítógépes rendszerébe kerülnek, amelynek az adatbázisa egyebek mellett a vevőre és a tárolt árucikkekre vonatkozó információkat is tartalmaz, például az árat, a tárolóhelyet, a tárolási zónát stb.

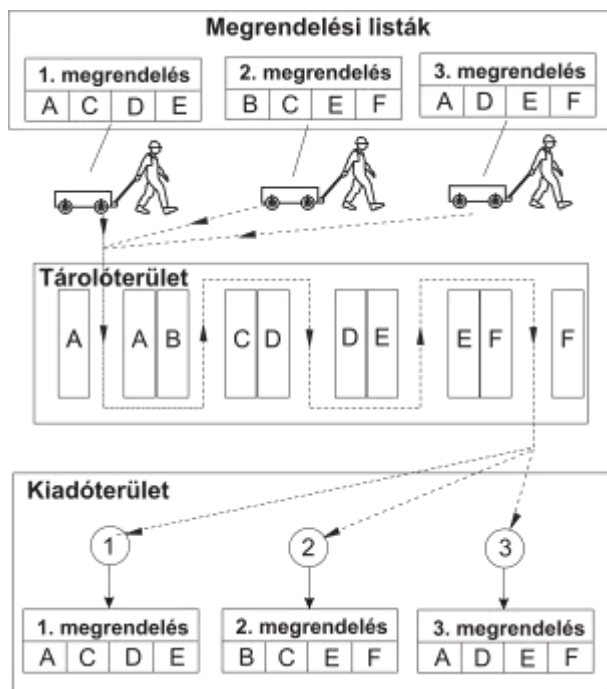
A kiszedés szempontjából a megrendelési listák rekordjai rendezhetők megrendelésenként (vevőnként), árucikkenként (osztályonként), tárolási helyenként, tárolási zónánként. A kigyűjtési lista gyakorlatilag nem más, mint az adatbázis felsorolt

szempontok szerinti lekérdezése. A lehetséges eseteket a 5.3.1. táblázat foglalja össze.

5.3.1. táblázat

A lekérdezés szempontja	A kigyűjtési lista tartalma	A kommissiózás módja
Megrendelés (vevő)	A kigyűjtési és a megrendelési lista tartalma és sorrendje megegyezik.	Megrendelésenkénti soros, egylépcsős
Megrendelés (vevő)+ tárolóhely	A kigyűjtési lista tartalmilag megegyezik a megrendelési listával, de sorrendje a tárolási hely szerint rendezett (pl. a legrövidebb kommissiózási utat biztosító sorrend).	Megrendelésenkénti soros, egylépcsős
Tárolási zóna + megrendelés (vevő)+ tárolóhely	A kigyűjtési listák az azonos tárolási zónákban tárolt cikkeket tartalmazzák megrendelésenként, a tárolási hely szerint rendezve.	Megrendelésenkénti párhuzamos, kétlépcsős
Tárolási zóna+ árucikk+ tárolóhely	A kigyűjtési listák az azonos tárolási zónákban tárolt cikkeket tartalmazzák árucikkenként összesítve és a tárolási hely szerint rendezve.	Zónánkénti (osztályonkénti) kétlépcsős

A **megrendelésenkénti (egyedi) feldolgozás** esetén a kigyűjtési lista annyi tételből áll, amennyi az igényelt áru fajták száma. Az egy tételre vonatkozó adatokat (az áru fajtát azonosítója, az igényelt mennyiség, a tárolási hely azonosítója stb.) rendszerint soronként tüntetik fel a megrendelésen. A tárolóhelyek bejárása, illetve a kiadóhelyiségekbe való továbbítás körutazási modell szerint végezhető.



5.3.1. ábra: Megrendelésenkénti soros egylépcsős kommissiózás

Az **összevont feldolgozás** (osztályonkénti gyűjtés) esetén a kigyűjtési listák az egyedi megrendelések azonos áru fajtákra vonatkozó összevont tételeit tartalmazzák esetleg tárolási zónánként rendezve.

A megrendelések feldolgozása szempontjából a kommissiózás három szervezési formája (módja) különböztethető meg:

Megrendelésenkénti soros egylépcsős kommissiózás

a kigyűjtési lista tartalmilag megegyezik a megrendelési listával, ami esetleg lehet tárhely szerint rendezett;

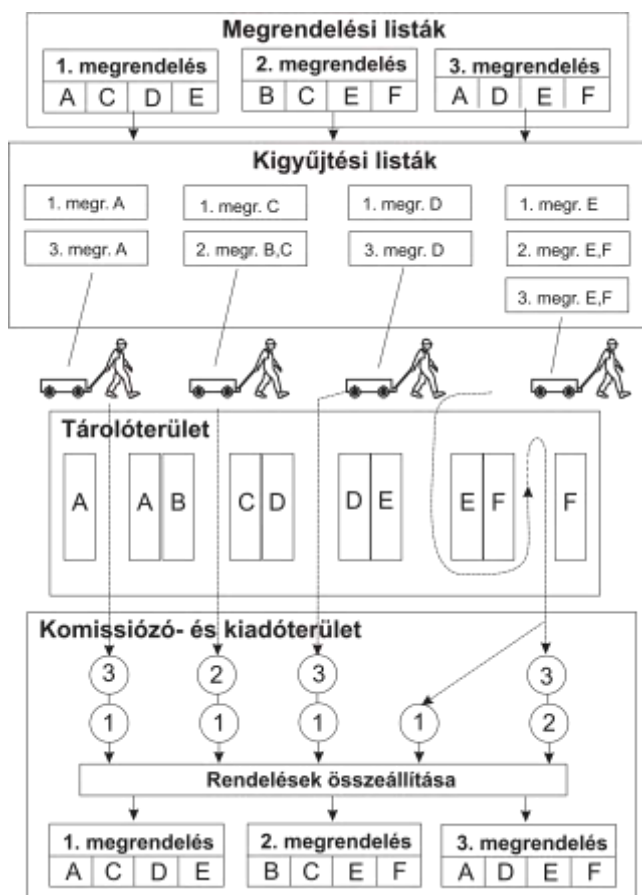
egy kommissiózó dolgozó a kigyűjtési lista vagy listák alapján egy vagy több megrendelő áruát gyűjti ki (5.3.1. ábra).

Megrendelésenkénti párhuzamos kétlépcsős kommissiózás

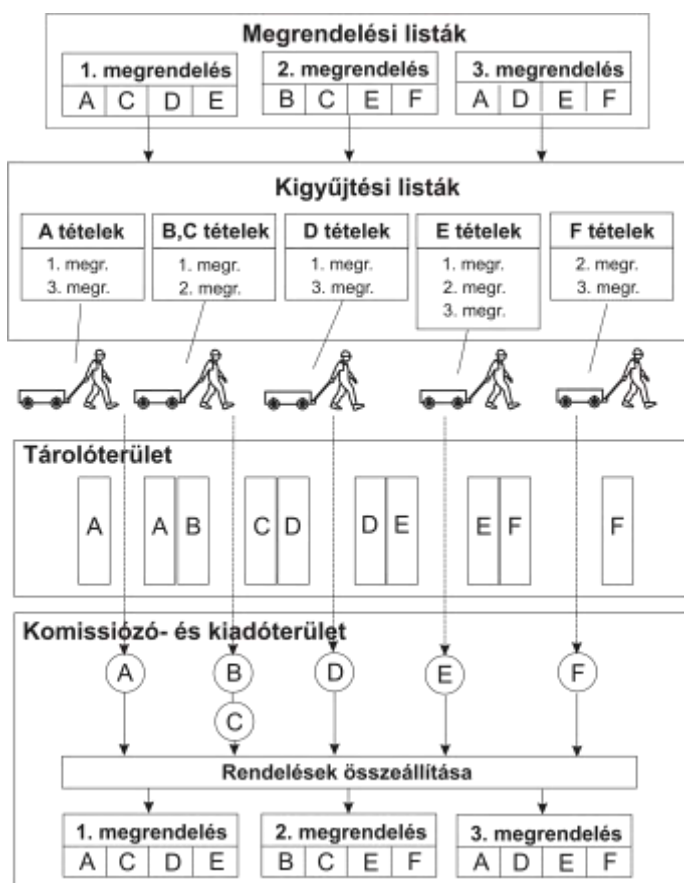
a kigyűjtési listák az azonos tárolási zónákban tárolt cikkeket tartalmazzák megrendelésenként csoportosítva, a tárolási hely szerint rendezve;

egy kommissiózó dolgozó egy zónában tárolt árut vagy árukat gyűjt ki több megrendelő részére, több kigyűjtési lista alapján, illetve egy megrendelés kigyűjtését párhuzamosan több kommissiózó dolgozó végzi;

a tárolóterület különböző zónáiból érkező, megrendelésenként szortírozott árucikkeket a kommissiózás második lépcsőjében állítják össze a kommissiózó-kiadóterületen (5.3.2. ábra).



5.3.2. ábra: Megrendelésenkénti párhuzamos kétlépcsős kommissiózás



5.3.3. ábra: Zónánkénti (osztályonkénti) párhuzamos kétlépcsős kommissiózás

Zónánkénti (osztályonkénti) párhuzamos kétlépcsős kommissiózás

a kigyűjtési listák az azonos tárolási zónákban tárolt cikkeket tartalmazzák árucikkenként összesítve és a tárolási hely szerint rendezve;

egy kommissiózó dolgozó egy zónában tárolt árut vagy árukat gyűjt ki több megrendelő részére az összesített kigyűjtési lista alapján, illetve egy megrendelés kigyűjtését párhuzamosan több kommissiózó dolgozó végzi;

a tárolóterület különböző zónáiból egy halmazban érkező azonos árucikkeket a megrendelések és a megrendelt darabszámok szerint a második lépcsőben a kommissiózó- és kiadóterületen rendezik (5.3.3. ábra).

A szállítóegységek megrendelőkhöz rendelése, címkézés

Kézi és gépi kommissiózás estén egyaránt a megrendelt tételeket (árúkat) a vevőkhöz rendelt szállítóegységekbe (dobozok, ládák, konténerek, stb.) gyűjtik. A kigyűjtés megkezdése előtt a szállítóegységeket előkészítik, és az azonosíthatóság érdekében címkével látják el. A **címkézés** kézzel, félautomatikusan és automatikusan történhet. Sok esetben a címke nemcsak a vevőt azonosítja, hanem az adott szállítóegységbe gyűjtendő áruk listáját is tartalmazza.

A tárolási egység kiemelése a tároló helyről

A tárolási egységet (raklapos egységtrakományt, tárolóládát stb.) akkor emeljük ki a tároló helyről, ha a tárolóhelyen nem végezhető el az áru kiszedése, vagy egyéb okok miatt (pl. automatizálás) célszerűbb a kiszedést a tárolóhelyen kívül elvégezni. Ilyenkor az adott árufajtát tartalmazó tárolási egységet kiszállítják az ún. kommissiózó térbe, ahol a szükséges darabszámú árut kiemelik, majd a megmaradt készletet tartalmazó rakományt visszaszállítják a tárolótérbe. Ezt a módszert nevezzük **dinamikus** vagy **goods-to-man** (árúk az emberhez) tárolótéren kívüli kommissiózásnak.

Az áru kiemelése a tárolási egységből

Az árukiemelés az előzőek alapján a tárolótérben és a tárolótéren kívül is elvégezhető. Az első esetben **statikus**, újabban **man-to-goods** (ember az árukhoz) tárolótéren belüli, a második esetben **dinamikus** vagy **goods-to-man** tárolótéren kívüli kommissiózásról beszélünk.

Az árukiemelés gépesíthető, de a gyakorlatban többnyire kézi erővel történik. A kigyűjtendő áruk rendszerint anyagmozgatási szempontból eltérő tulajdonságúak (eltérő alak, befoglaló méret, tömeg stb.), és emiatt az egyedi árukivétel gépesítése műszakilag csak nehezen és költségesen oldható meg. A fejlesztés ezért a dinamikus, félautomatikus goods-to-man kommissiózás irányába tolódott el, amelyben a tárolási és a szállítóegységek mozgását automatizálják és kézi kiszedéssel kombinálják. A félautomatikus **goods-to-man** rendszerekben a kommissiózó térben olyan munkaállomásokat alakítanak ki, amelyek a kiszedési hibák kiszűrése érdekében az árukiemelést hang- és fényjelzésekkel támogatják, továbbá a rádiófrekvenciás vagy a vonalkódos azonosítás segítségével a készletnyilvántartást is automatizálják.

Ilyen megoldás a Schäfer Carousel System (SCS). Ebben a rendszerben a forgó karusszal állványokon tárolt tárolóegységeket (ládákat) és a vevőkhöz rendelt üres szállítóegységeket (ládákat) teljesen automatizáltan és szinkronizáltan a kiszedő munkaállomásra szállítják, ahol a kézi kiszedést az említett hang- és fényjelzések segítik. Megjegyezzük a munkaállomásokon nemcsak a kiszedés, hanem az automatikus betárolás is elvégezhető.

A kiemelt áru vagy a tárolási egység mozgatása

Statikus vagy **man-to-goods kommissiózáskor** a kommissiózó dolgozó megy az áruért, és a kiemelt, szállítóegységbe helyezett árut kézzel, kézi eszközzel vagy géppel mozgatja a tárolás és az áruleadás helye között. Az alkalmazott anyagmozgató eszköz vagy gép egyidejű mozgása az árukigyűjtés közben egy- vagy kétdimenziós lehet. Például a magasraktárakban a kommissiózó felrakógépek egyszerre végeznek horizontális és vertikális mozgást.

Dinamikus vagy **goods-to-man kommissiózás** esetén az automatizálás, sokszor a tárolási egység tömege miatt is csak gépi mozgatásról beszélhetünk. A tárolótéren kívüli kommissiózáskor a maradék készlet vissza kell szállítani a tárolótérbe, ezért az anyagmozgatási munkaigénye nagyobb, ugyanakkor a kommissiózással kapcsolatos közvetlen mozgatási műveletek lényegesen egyszerűbbekké válnak.

A rendelések összeállítása ellenőrzése és csomagolása

Az árukiadó vagy kommissiózó térbe kiszállított áru rendezésére, osztályozására ún. kétlépcsős kommissiózás esetén van szükség, azaz akkor, amikor egy megrendelésen igényelt tételeket több kommissiózó dolgozó gyűjti ki.

Megrendelésenkénti párhuzamos kommissiózáskor egy dolgozó csak egy zónából gyűjt árukat, de egyidejűleg több megrendelő részére. Ilyenkor a különböző zónákból érkező, a megrendelőkhöz rendelt szállítóegységekben mozgatott áruhalmazokból kell összeállítani az adott megrendelőhöz tartozó kiszállítási egységet.

A zónánkénti vagy osztályonkénti kommissiózáskor még bonyolultabb a feladat. Ekkor a különböző zónákból érkező árucikk-halmazok megrendelők szerint nem rendezettek, azaz egy-egy halmaz az árucikkre vonatkozó összes megrendelést tartalmazza. Első feladat ezért a homogén halmazok megrendelések szerinti szétosztása, a második pedig az azonos megrendelőkhöz tartozó halmazok egyesítése.

A minőségbiztosítás fontos eszköze az ellenőrzés, ami általában súlymérést jelent. A nagy forgalmú raktárakban az ellenőrzésre speciális munkaadásokat integrálnak a kommissiózó rendszerbe, ahol a valamennyi rakományra kiterjedő súlyellenőrzésen kívül szűrőpróbaszerűen más ellenőrzési módszereket is alkalmaznak.

A csomagolás a párnázó anyagok hozzáadást, a rakományok lezárását, kötözését és az előrenyomtatott szállítási címkék felragasztását jelenti. Ezek a műveletek manuálisan vagy automatikusan végezhetők.

5.3.2. A kommissiózási rendszer megválasztása

A kommissiózási rendszer megválasztásakor először az előző pontban részletezett megrendelés feldolgozás módjáról és az áru kiemelés helyéről kell döntenie. Amint azt láttuk, a rendelés feldolgozás alapján háromféle kommissiózási mód különböztethető meg:

- megrendelésenkénti soros egylépcsős,
- megrendelésenkénti párhuzamos kétlépcsős és
- zónánkénti (osztályonkénti) párhuzamos kétlépcsős kommissiózás.

Az árukiemelés helye szerint statikus (tárolótéren belüli) és dinamikus (tárolótéren kívüli) kommissiózásról beszélhetünk. Elméletileg így 3x2 megoldás közül választhatunk, gyakorlatilag azonban az alkalmazható megoldások száma kevesebb. Például a tárolótéren kívüli áru kiemelését soha nem kombináljuk a rendelésenkénti soros egylépcsős kommissiózással.

Mind a rendelésenkénti, mind a zónánkénti (osztályonkénti), illetve tárolótéren belüli és kívüli kommissiózás mellett felsorolhatók érvek és ellenérvek, azaz előnyök és hátrányok, ezért adott kommissiózási feladat megoldásához legmegfelelőbb módszer kiválasztása alapos előkészítést és gondos elemzést kíván.

A rendelésenkénti soros egylépcsős kommissiózás

Előnyei:

- rugalmas, a sürgős (soron kívüli) igények is könnyen kielégíthetők;

a megrendelés átvétele és a kiszállítási egység átadása közötti kiszolgálási idő rövidebb;
kicsi a tévedések lehetősége és azok könnyebben korrigálhatók;
egyszerű az információ áramlás és kevesebb szervezési munkaráfordítást igényel.

Hátrányai:

az elérhető kommissiózási teljesítmény kicsi, azaz nagy az egy tételre eső átlagos kiszolgálási idő.

A megrendelésenkénti és a zónánkénti (osztályonkénti) párhuzamos kommissiózás

Előnyei:

az adott létszámmal és anyagmozgató rendszerrel elérhető kommissiózási teljesítmény nagy, az egy tételre eső átlagos kiszolgálási idő kicsi.

Hátrányai:

a kiszedési jegyzék szerint kigyűjtött árukat a kommissiózás második lépcsőjében a megrendeléseknek megfelelően (tétel és mennyiség szerint) újra kell rendezni, ami nemcsak többletmunkát jelent, hanem növeli a tévedés lehetőségét;

a megrendelések kézi feldolgozása esetén a kigyűjtési listák összeállítása járulékos szervezési munkaráfordítást igényel;

a megrendelésenkénti kiszolgálási idő hosszú és közel azonos;

a soron kívüli igények nehezebben elégíthetők ki.

A tárolótéren belüli kommissiózási rendszer

Előnyei:

egyszerű az anyagáramlás;

kicsi anyagmozgatási munkaigény;

egyszerű az információáramlás.

Hátrányai:

hosszú a kommissiózási útvonal, viszonylag kicsi kommissiózási teljesítmény;
kedvezőtlen raktártechnikai és szervezési megoldásokat igényel (pl. kis tárolási magasság, kötött helyfoglalásos árue rendezés).

A tárolótéren kívüli kommissiózási rendszer

Előnyei:

az elérhető kommissiózási teljesítmény viszonylag nagy;

a tárolási egység kiemelése és mozgatása nem igényel speciális kommissiózó gépet,

a kommissiózó tér és a tárolótér szétválasztása a tárolótérben megszünteti a kommissiózás miatt jelentkező korlátokat (pl. tárolási magasság), javítja a tárolótér kihasználását (keskenyebb közlekedő utak) és a kommissiózás feltételeit.

Hátrányai:

a tárolótéren kívüli árukiemelés általában kétlépcsős kommissiózással kombinált, bonyolult anyag- és információáramlást eredményez;

a nagy tömegű tárolási egységek mozgatása (ki- és visszaszállítása) jelentős anyagmozgatási munkát igényel.

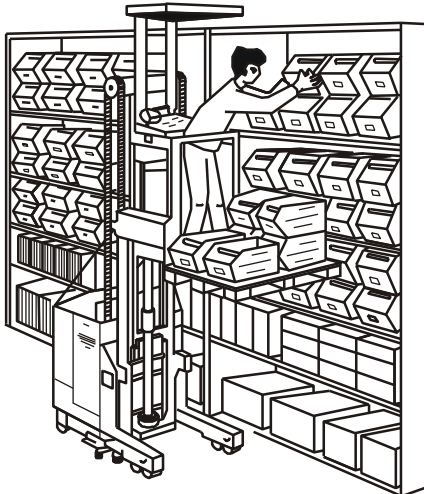
A vázoltak szerint mindegyik megoldásnak egyaránt vannak előnyei és hátrányai is. A módszerek illetve kombinációik közötti választáskor megalapozott döntés csak pontos alapadatok (az alkalmazott tárolási rendszer, a raktárban tárolt áruajták száma és mennyisége, a raktár várható forgalma, stb.), az egyes tervváltozatok főbb technológiai paraméterei (a rendszer teljesítőképessége, gép-, eszköz- és létszámgény) és költségei ismeretében hozható.

5.3.3. A kommissiózás gépei és eszközei



5.3.4. ábra: Kommissiózó kézikocsi létrával **Kézi kommissiózáskor** a kommissiózó dol-

gozó speciális (több rakfelülettel ellátott, esetleg létrával felszerelt stb.) kézikocsira gyűjti a megrendelt árukat (5.3.4. ábra). Ez a kigyűjtési módszer lassú, munkaiágenes és vertikális irányban korlátozott (2...3 m).



5.3.5. ábra: Árukigyűjtés kommissiózó emelőtargonccal

automatikusan áll meg a kiszedendő tételek tároló helyeinél és a monitoron megjelenik a kiszedési utasítás. A kiszedés pontosságát a kigyűjtőládák alatt elhelyezett mérlegek ellenőrzik.

A kommissiózás eszközei a raktári rendszer egészébe illeszkedve, az anyagmozgató és tároló eszközökkel, valamint a raktári technológiával egységet alkotva működnek. A jelenleg uralkodónak tekinthető kézi árukiemeléskor a kommissiózás kézi és gépi eszközök kombinációjával, kézi szállítóeszközökkel, kommissiózó targoncákkal, kommissiózó (felrakó) gépekkel valósítható meg.

Kommissiózó targoncák alkalmazásával (5.3.5. ábra) a gyűjtést végző dolgozó munkája az áru kivételére és a targonca irányítására korlátozódik. A legkorszerűbb számítógép vezérlésű, vezeték nélküli (infravörös, bluetooth, rf) adatátvitellel működtetett kommissiózó targoncák egyaránt használhatók be- és kitárolásra. A be- és kitárolási utasításokat a kommissiózó dolgozó a gép monitoráról olvashatja le. A betároláskor a termékek azonosító kódjainak beolvasása után a gép automatikusan keresi fel a tárolóhelyet. Árukiszedéskor a kigyűjtési lista adataival töltik fel a gép termináljának memóriáját. A gép asztalára helyezett kiszedő ládákon feltüntetik a megrendelők nevét és a vonalkódos azonosítóját. A gép au-

A kézi szállítóeszközös kommissiózáshoz viszonyítva a kommissiózási teljesítmény nagyobb, a gyűjtési magasság 4...5 m-re növelhető.

A sín pályán mozgó **kommissiózó gépeket** elsősorban magasraktárakban használják. A megrendelések szerint összegyűjtött árut a kommissiózó gép rendszerint az állványsor végén levő asztalra helyezi. Innen emelőtargoncával szállítják az előkészítőbe, illetve a kiadóba.

A nagy forgalmú és befogadóképességű raktárak áru gyűjtési technológiájának egyik változata a **kombinált eljárás**, amikor a kézi erővel vagy kommissiózó emelőtargonca segítségével kigyűjtött árut az állványok közé telepített szállítószalagra, esetleg görgős szállítópályára helyezik, amely az állványsorok végén azokra merőlegesen elhelyezett gyűjtőszalagra továbbítja azt.

IRODALOM

1. **Ballou R. H.:** Basic Business Logistics. Transportation, Material Management, Physical Distribution. Prentice-Hall International Inc. 1987.
2. **Bánházi J.–Koltay J. –Soós P.:** A szántóföldi munkagépek működésének elméleti alapjai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1984.
3. **Benkő J.:** Anyagmozgatási folyamatok tervezése. Egyetemi jegyzet, GATE, Gödöllő, 1989.
4. **Benkő J.:** A szállítócsigák néhány elméleti kérdése. Gépgyártástechnológia, XXXIV. évf. 7-8. sz. 1994.
5. **Benkő J.:** Particle model for description of operation of screw conveyors. Bulletin of the University of Agricultural Sciences, Vol. 1., 271-283 p., Gödöllő, 1995.
6. **Benkő J.:** Describing auger operation by means of dimension analysis. Hungarian Agricultural Engineering, Nr.10/1997.
7. **Benkő J.:** Some design questions of vertical screw conveyors. Hungarian Agricultural Engineering, Nr.12/1999.
8. **Benkő J.:** Logisztikai tervezés. (Mezőgazdasági alkalmazásokkal.) Dinasztia Kiadó, Budapest, 2000.
9. **Benkő J.:** Anyagmozgató gépek. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 2005.
10. **Bianco, L. –La Bella, A.:** Freight Transport Planning and Logistics. Proceedings, Bresanone, Italy, July 1987, Springer-Verlag, 1987.
11. **Bowersox, D. J. –Closs, D. J. –Helferich, O. K.:** Logistical Management. A System Integration of Physical Distribution, Manufacturing Support, and Material Procurement. Macmillan Publishing Company, New York, 1986.
12. **Budó Á.:** Kísérleti fizika I-II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
13. **Budó Á.:** Mechanika. Tankönyvkiadó, Budapest, 1965.
14. **Chikán A.:** Készletezési modellek. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1983.
15. **Cselényi J.:** Bevezetés az üzemi logisztikába. Logisztikai tanulmányok I. MLE kiadvány, Budapest 1993.
16. **Cselényi J.–Illés B.:** Logisztikai rendszerek I. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2004.
17. **Djacskov, V. K.:** Függőkonvektorok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
18. **Érdi J.–Garamszegi Gy.–Prezenszki J.:** Targoncák üzemeltetése és karbantartása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.
19. **Falk S.:** Műszaki mechanika I. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
20. **Falk S.:** Műszaki mechanika II. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
21. **Falk S.:** Műszaki mechanika III. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
22. **Felföldi L.:** Anyagmozgatási folyamatok tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
23. **Felföldi L. (szerk):** Anyagmozgatási kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
24. **Felföldi L.:** Rakodástechnika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
25. **Gondor T.:** Növénytermesztés és kertészet gépei IV. A mezőgazdasági anyagmozgatás gépei. (főiskolai jegyzet), GATE Mg. Főiskolai Kar, Nyíregyháza, 1990.

26. **Gortyinszkij, V. V.–Gyemskij, A. B.–Boriszkin, M. A.:** Gabonaszeparálás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1982.
27. **Greschik Gy.:** Anyagmozgató gépek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.
28. **Gruber J.–Blahó M.:** Folyadékok mechanikája. Tankönyvkiadó, Budapest, 1973.
29. **Hudson, W. G.:** Conveyors and related equipment. John Wiley & Sons Inc. New York, 1954.
30. **Juhász F.–Nagy G.:** Ömlesztett anyagok rakodógépei. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
31. **Kerekes T.:** Bevezetés a csomagolástechnikába I.-II. Papír-Press Egyesülés, 1996.
32. **Kézdí Á.:** Talajmechanika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
33. **Kiss A.–Nagy F.–Varga I.:** Gazdaságos rakodás a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1989.
34. **Knoll I.:** Anyagmozgatás a gépiparban. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1967.
35. **Knoll I.:** Anyagmozgatás a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1983.
36. **Krasznycsenko, A. V.:** Mezőgazdasági gépszerkesztők kézi könyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1965.
37. **Kraus, M. N.:** Pneumatic conveying of Materials. The Ronald Press Company, New York, 1968.
38. **Kulwiec, R. A.:** Materials handling handbook. A Wiley Interscience Publication John Wiley & Sons, New York, 1985.
39. **Kurt, F.–Pajer, G.–Scheffler, M.:** Grundlagen der Fördertechnik. Veb Verlagstechnik, Berlin, 1982.
40. **Logé, Y.:** Automatikus anyagmozgatás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
41. **Magyar Szabványügyi Hivatal:** Szabványgyűjtemények 78. Szállítás, rakodás, raktározás. Szabványkiadó, Budapest 1984.
42. **Mohsenin, N. N.:** Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, 1986.
43. **Molnár L.:** Anyagmozgatási folyamatok tervezése II. (BME Közlekedésmérnöki Kar), Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
44. **MSZ Szabványgyűjtemények 78, Szállítás, rakodás, raktározás. Szabványkiadó, Budapest, 1984.**
45. **Némon Z.–Török L.:** Gördülőelemes és hevederes szállítópályák. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
46. **Pattantyús Á. G.:** Gépészeti lengéstan. Akadémiai Könyvkiadó, Budapest, 1952.
47. **Pattantyús Á. G.:** A gépek üzemtana. Tankönyvkiadó, Budapest, 1964.
48. **Pápai L.:** Pneumatikus és fluidizációs anyagmozgatás. BME Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1982.
49. **Prezenszki J.:** Raktározástechnika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
50. **Prezenszki J.:** Logisztika (Bevezető fejezetek). BME Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest, 1995.
51. **Prezenszki J.:** Logisztika II (Módszerek, eljárások). Logisztikai Fejlesztési Központ, Budapest, 1999.

52. **Prezenszki J.-Pánczél Z.:** Anyagmozgatás, raktározás III. Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp. 1999.
53. **Rockstroh O.:** Csomagolástechnikai kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.
54. **Rudenko, N. F.-Alekszandrov, M. P.-Lúszajkov, A. G.:** Kurszovoje projektiroványie gruzopagyemnúh masin. Gaszudarsztvennoje Naucsnotehnicoseszkoe Izdatyelsztvo Masinoszt-roítelnoj Literaturü, Moszkva, 1963.
55. **Sitkei Gy.:** A mezőgazdasági anyagok mechanikája. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
56. **Soós P. (szerk.)-Jován D. -Sörös I.:** Arató-cséplő gépek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1980.
57. SSI Schaefer General Catalogue. Fritz Schäfer GmbH, Neunkirchen, 1999.
58. **Szabó G.:** Szállítóberendezések I.-III. (Főiskolai jegyzet, NME Kohó és fémipari Főiskolai Kar, Dunaujváros), Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.
59. **Szendró P.:** Rázó szállítógépek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
60. **Szücs E.:** Hasonlóság és modell. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
61. **Targ, S:** Theoretical Mechanics. A Short Course. Mir Publisher, Moscow, 1988.
62. **Tarnai J.:** Magasraktári folyamatok tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
63. **Terplán Z. (szerk):** Pattantyús Gépész és villamosmérnökök kézikönyve 3. Gépek szerkesztése és üzemtana. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
64. **Terplán Z. (szerk):** Pattantyús Gépész és villamosmérnökök kézikönyve 4. Energiafejlesztő és szállítógépek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962.
65. **Tersine R., J.:** Principles of Inventory and Materials Management. Elsevier Science Publishing Co. Inc. New York, 1988.
66. **Tomay T. (szerk):** Gabonaipari kézikönyv. Áruismeret és technológiai folyamatok. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1971.
67. **Valentin A.:** Anyagmozgatás és raktározás II. Tankönyvkiadó, Bp. 1983.
68. **Valentin A.-Pánczél Z.:** Anyagmozgatás, raktározás I. Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp. 1995.
69. **Vetter, H.:** Konténeres szállítás. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1977.
70. **Vörös I. :** Gépelemek II. Sikló- és gördülőcsapágyak, végtelenített hajtások, forgattyús hajtóművek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1961.
71. **Zebisch, H. J.:** Anyagmozgatás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
72. **Zujev, F. G.-Lotkov, N. A.-Poluhin, A. I.:** Pogyemno-transzportnúje masinü zernopere-rabatüvajúsih predprijátij. Kolosz, Moszkva, 1978.