

A gabona betakarítás és szállítás szimulációs modellje

1. rész

Dr. Benkő János, egyetemi tanár

SZIE, Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar, Regionális Gazdaságtani és Vidékfejlesztési Intézet

A mezőgazdasági termelési folyamatokban fontos szerepet betöltő betakarító gépek, így a gabonakombájnok modellezését a szimulációs nyelvek magas szintű, speciális modulokkal nem támogatják. Ennek oka, hogy a betakarítógépek mobil erőforrások, és ezért az ipari termelés erőforrásaitól teljesen eltérően működnek. A tanulmány a Rockwell Software Arena nevű termékét használva mutatja be a gabonakombajn és a hozzákapcsolt szállítójárművek tevékenységét szimuláló modell felépítését, működését és a szimuláció futásának várható eredményeit.

Bevezetés

A mezőgazdasági termelés sajátosságai miatt a gépek, így a betakarítógépek is, mint erőforrások az ipari termelés erőforrásaitól eltérően működnek. Az iparban a gyártási rendszerek erőforrásai helyhez kötöttek, amelyekhez megmunkálásra váró anyagokat, munkadarabokat mozgatunk. A növénytermesztésben viszont fordítva, a mobilitással, magajáró képességgel rendelkező gépeket mozgatjuk a munkatárgyat képező a földhöz, illetve az azon termesztett növényekhez. A betakarítási folyamatok további sajátossága, hogy a betakarított terményt a szántóföldről azonnal el kell szállítani. Ennek megfelelően a szimulációban a betakarítás és az azt kiszolgáló szállítás nem választható szét, már csak azért sem, mert gyakran a szimuláció egyik célja a betakarítógép és az azt kiszolgáló szállítójárművek működési összhangjának megteremtése.

Egymenetes betakarításkor az aratócséplőgép a lábon álló terményt levágja, a szemet kicsépli, megtisztítja és tartályba gyűjti. A szalmát és egyéb mellékterméket pedig rendre, illetve kupacba a tarlóra üríti, esetleg speciális adapterrel feldolgozva begyűjthetővé teszi, vagy a táblán szétteríti. Az aratócséplőgép a magtartályában gyűjtött szemet, annak telítődésekor szállítójárműre (tehergépkocsira vagy traktoros pótkocsira) üríti, amely a gabonát a feldolgozás helyére, vagy közvetlen értékesítésre a terményátvevő telepre szállítja.

A gabona betakarítógépek technológiai jellemzői

Az aratócséplőgépek teljesítőképességét általában a gép áteresztőképességével jellemzik. Az áteresztőképesség azt a legnagyobb gépterhelést (1 másodperc alatt a gépen áthaladó szem+szalma mennyiséget) jelenti, amelynél a cséplőrész szemvesztése nem haladja meg a nemzetközileg elfogadott 1,5 %-os értéket.

A kombajn kiválasztásakor abból az elvi megfontolásból kell kiindulni, hogy a kisméretű, kisteljesítményű aratócséplőgéppel is lehet nagy hozamú területen dolgozni, illetve a nagyméretű, nagy áteresztőképességű kombajnokat is lehet kishozamú területen üzemeltetni, ha az optimális kihasználás feltételeit megteremtjük. Ez a gyakorlatban azonban nem olyan egyszerű, mint azt gondolnánk. A gépterhelést a terméshozam, a vágásszélesség (munkaszélesség) és a haladási sebesség befolyásolja. Ezek közül az első kettő adott, és csak a haladási sebességet tudjuk változtatni az aratócséplőgép konstrukciós adottságai által meghatározott sebességtartományban. A megengedhető sebességet a terepviszonyok és a termény állapota is befolyásolhatja. Mindezeket figyelembe véve a várható átlagos terméshozamhoz a kombajnt úgy kell megválasztani, hogy a választott gép vágásszélessége és a változtatható haladási sebessége tegye lehetővé az áteresztőképesség maximális kihasználását.

A gépterhelés a következő formulával számítható

$$q = \frac{B \cdot v \cdot M}{36} \text{ (kg/s)},$$

ahol: B a munkaszélesség (m), v a haladási sebesség (km/h), M az egységnyi területre eső szem+szalma hozam (t/ha).

A munkaszélesség kalászos gabona betakarításakor a vágóasztal szélességével egyenlő. Más esetekben, pl. kukorica betakarításakor a kukorica betakarító adapter sorainak számától (n) és a sortávolságtól (t_s) függ:

$$B = n \cdot t_s \text{ (m)}.$$

A gyakorlatban általában az egységnyi területre eső szem+szalma hozam (M) helyett a szemtermés hozamot (M_m) és a szem-szalma arányt ($c = M_m/M_{sz}$) használjuk, amelyekkel a gépterhelés

$$q = \frac{B \cdot v \cdot M_m}{36} \left(1 + \frac{1}{c}\right) \text{ (kg/s)},$$

ahol a szem-szalma arány értéke a terménytől és a fajtától függően $c=0,66\dots5,55$ között változik. Leggyakrabban búzánál $c=1$, kukoricánál $c=2,3$ értékű.

Az összefüggést használhatjuk ismert terméshozam, áteresztőképesség és munkaszélesség esetén a maximális haladási sebesség kiszámítására. Egyes aratócséplőgépeket különböző szélességű vágóasztalokkal forgalmazzák. Ilyenkor az átlagos terméshozam, az adott területen elérhető haladási sebesség és az áteresztőképesség ismeretében a formula segíthet a vágóasztal megválasztásában.

A gabona betakarítógépek kihasználási mutatói

A nagyteljesítményű aratócséplőgépek terjedésével párhuzamosan a helyes üzemeltetés kulcsfontosságúvá válik. A gépek teljesítőképességének és munkaidejének kihasználatlansága ugyanis a nagyteljesítményű gépeknél értelemszerűen nagyobb teljesítmény kiesést okoz, ezért e gépek üzemeltetésére fokozott gondot kell fordítani.

1/1. táblázat

Az aratócséplőgépek üzemeltetésekor mért főbb időelemek megoszlása [4]

T_1	Alapidő	52%
T_2	Mellékidő	8%
T_3	Műszaki kiszolgálás ideje	11%
T_4	Technológiai és műszaki hibák kiküszöböléséhez szükséges idő	11%
T_5	Egyéb idővesztések	18%

Az aratócséplőgépek időelemeinek megoszlását az 1/1. táblázat foglalja össze, amelyből kiolvashatóan a gépek munkaidejüknek nem sokkal több, mint a felét töltik aratással (T_1 idő), a munkaidő másik fele kiegészítő műveletekre fordítódik vagy elvész. Az 1/1 táblázat időelemeinek pontos definíciói ismertek, illetve az irodalomban megtalálhatók [5].

Felmérések és vizsgálatok bizonyítják, hogy az aratócséplőgépek összes üzemórára számított teljesítménye lényegesen kisebb, mint ami az áteresztőképességük alapján elvárható lenne. Ennek okai alapvetően két tényezőre, a teljesítőképesség és a munkaidő nem megfelelő kihasználására vezethetők vissza. Az áteresztőképesség jobb kihasználása döntően műszaki, a munkaidő jobb kihasználása pedig elsősorban munkaszervezési feladat. Természetesen tartós üzemből 100%-os kihasználtság sem a gépek áteresztőképessége, sem munkaidő tekintetében nem érhető el, de a tapasztalat szerint az elvárhatónál kisebb teljesítmény kihasználást javítani

lehet, és ebben a szimuláció is segíthet.

Az egymenetes gabona betakarítás modellezése

Tekintsünk egy gabonafélék betakarítására alkalmas aratócséplőgépet, és a hozzákapcsolódó tetszőleges számú és kapacitású szállítójárműből álló flottát, amelyek a betakarított gabonát ismert távolságban elhelyezkedő tárolóba szállítják. Továbbá tekintsük azt az ismert méretű és hozamú termőterületet (táblát), ahol az aratócséplőgép működik. A modellezett aratócséplőgép kalászos gabonafélék, megfelelő adapterrel felszerelve más szemes termények (kukorica, napraforgó, repce, hüvelyesek és apró magvak) betakarítására egyaránt használható.

A rendszer működésével kapcsolatban a következő feltevéseket tesszük:

1. Az aratócséplőgép mindig a maximális áteresztőképességének (q_{\max}) megfelelő teljesítménnyel működik, amit úgy érünk el, hogy a gép sebességét (v) változtatjuk.
2. A táblán mindig van elegendő gabona, azaz az aratócséplőgép anyagihiány miatt soha nem áll le.
3. Az aratócséplőgép működését véletlenszerű meghibásodások zavarhatják meg, amelyek bármilyen időpontban jelentkezhetnek. A meghibásodások közötti idők általában exponenciális eloszlásúak, a javítási időközök normális eloszlásúak, de ezektől eltérő eloszlásokat is használhatunk.
4. A magtartály tartalmának járműre ürítése menetközben vagy álló helyzetben történhet.
5. Az aratócséplőgép akkor üríthető, ha a magtartály tartalma eléri az üríthető mennyiséget. Az üríthető mennyiség, ha a
$$\text{Tehergépkocsi kapacitás} > \text{Tartály kapacitás},$$
akkor az
$$\text{Üríthető mennyiség} = 0,9 \cdot \text{Tartály kapacitás},$$
különben az
$$\text{Üríthető mennyiség} = \text{Tehergépkocsi kapacitás}.$$
6. Az ürítési és a fordulási idő lehet állandó vagy változó értékű.
7. Az aratócséplőgép akkor blokkolódik, ha megtelik a magtartály, a táblavégén fordul, álló helyzetben ürít vagy meghibásodik.
8. A szállítójárműveket az aratócséplőgép ciklikusan veszi igénybe. A következő járművet csak akkor igényli, ha az éppen aktív jármű teljes feltöltése befejeződött.
9. A szállítójárműveket mindig a maximális szállítókapacitásukra töltjük fel, azaz csak telített jármű hagyhatja el a táblát.
10. Az egyszerűség kedvéért a táblahosszúságát állandónak tekintjük.
11. A termés hozam lehet állandó vagy változó nagyságú.

A modellezéshez a John Deere 9780 CTS típusú aratócséplőgép adatait használjuk, amelynek főbb jellemzői: hagyományos cséplőszerkezet, szalmaleválasztás a menetiránnyal párhuzamosan elhelyezett, ujjakkal ellátott 2 db leválasztó dobbal, hidrosztatikus összkerék-hajtású járószerkezet. A gép mért áteresztőképessége $M_m=7$ t/ha hozamú, 9,2 % nedvességtartalmú, $c=1/0,78=1,28$ szem-szalma arányú búzatermvényben $q_{\max}=18,7$ kg/s.

A modellben a magtartály ürítése menetközben történik, a tábla hosszúsága 500 m. A termés-átlag 7 t/ha, a szem-szalma arány 1,28.

A szemtermés elszállítására 12 t teherbírású szállítójárműveket használunk. A járművek átlagos sebessége közúton 50 km/h, a táblán 10 km/h. A tábla és a raktár közötti szállítási távol-

ság 30 km. A táblán megtett út a betakarítógép helyzetétől függően változó. A járművek a tábla szélén várakoznak. A betakarítás változtatható input adatait az 1/2. táblázat foglalja össze.

1/2. táblázat

A modell input változói és paraméterei

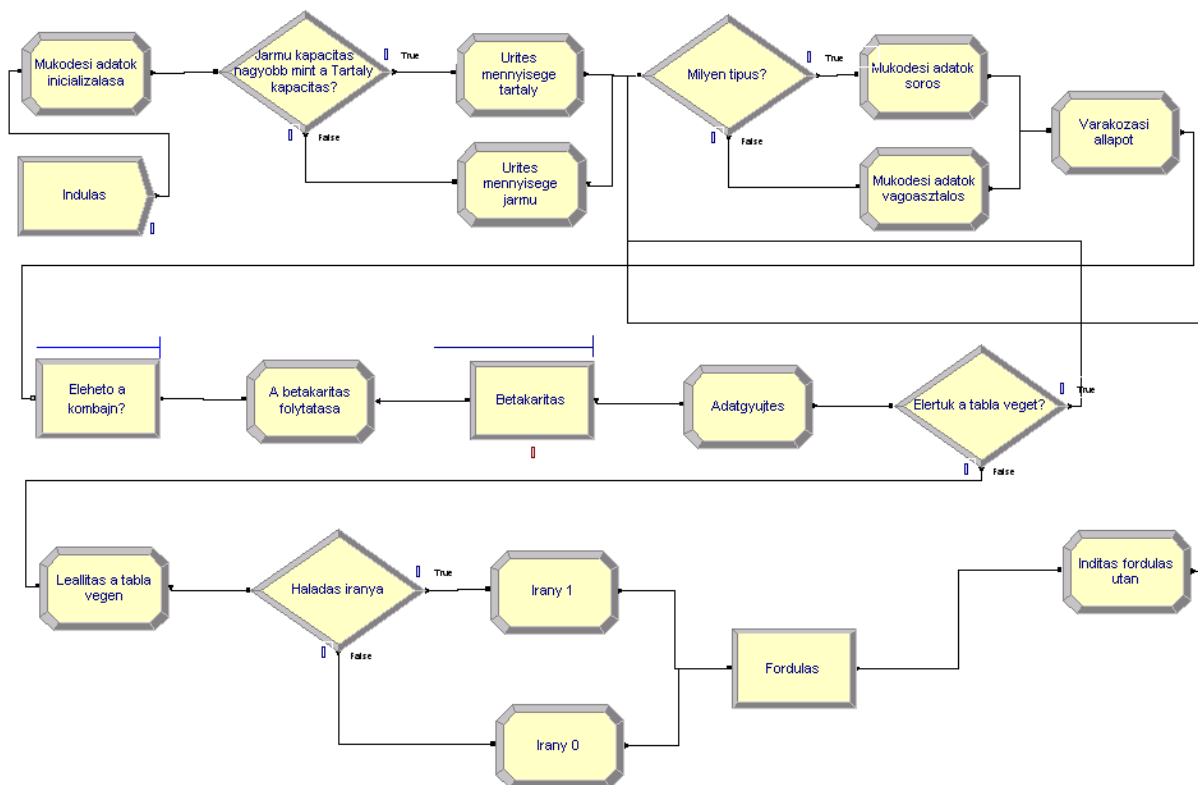
Leírás	Változó neve	Mértékegység	Adatérték
Aratócséplőgép adatok			
Áteresztőképesség	Ateresztokessegesseg	kg/s	18,7
A vágószerkezet típusa (0-vágóasztalos, 1-soros)	Tipus		0
Vágóasztal szélessége	Vagasszelesseg	m	7,6
Sortávolság	Sortavolsag	cm	
Sorok száma	Sorok szama		
A gyűjtőtartály (puttony) kapacitása	Tartaly kapacitas	t	8
Üritési kapacitás	Uritesi kapacitas	t/min	4
Üritési mód (0-menetközben, 1-állóhelyzetben)	Uritesi mod		0
Fordulási idő a tábla végén	Fordulasi ido	min	2
Tábla adatok			
Tábla hossza	Tabla hossza	m	500
Termésátlag	Hozam	t/ha	7
Főtermék/melléktermék arány	Fotermek per Mellektermek		1,28
Jármű és szállítási adatok			
Szállítójármű sebessége közúton	Szallitojarmu sebesseg kozuton	km/h	50
Szállítójármű sebessége táblán	Szallitojarmu sebesseg tablan	km/h	10
A kiszolgáló szállítójármű kapacitás	Szallitojarmu kapacitas	t	12
A kiszolgáló szállítójármű üritési idő	Szallitojarmu uritesi ido	min	3
Járművek száma	ResourceCapacity		4
Tábla-raktár távolság	Tavolsag	km	30

A cél a betakarítás modelljének kifejlesztése és a modellezett betakarítógép viselkedésének analizálása. A modellezés eredményeként, a következő kimenő paramétereket szeretnénk megismerni:

(1) A betakarítógép teljes munkaidőre vonatkoztatott tömegteljesítménye (t/h). (2) A betakarítógép teljes munkaidőre vonatkoztatott területteljesítménye (ha/h). (3) A teljes munkaidő alatt levágott terület nagysága (ha), és a betakarított mennyiség (t). (4) A betakarítógép átlagos gépterhelése (kg/s) az alapidőre vonatkoztatva. (5) A betakarítógép teljesítmény kihasználási tényezője a teljes munkaidőre vonatkoztatva. (6) A betakarítógép átlagsebessége az alapidőre vonatkoztatva. (7) A betakarítógép üritések száma. (8) A betakarítási folyamatot jellemző alapidő (T_1), produktívidő (T_{01}), termelési idő (T_{02}), illetve ezek összetevői közül a fordulási idő (T_{21}), üritési idő (T_{232}) és szervezési, valamint meghibásodási okok miatt jelentkező várakozási idő (T_4). (9) A betakarítógép állapotainak (*Működik*, *Várakozik*, *Fordul* és *Ürit*) gyakoriságai. (10) A szállítójárművek által megtett rakott és üres út egy járműre vonatkoztatva. (11) A szállítójárművek átlagsebessége a fordulási időre vonatkoztatva. (12) A szállítójármű fordulóinak száma. (13) A szállítójárművek átlagos várakozási ideje. (14) A szállítójárművek összes várakozási ideje egy járműre vonatkoztatva. (15) A szállítójárművek produktívideje egy járműre vonatkoztatva. (16) A szállítójárművek által elszállított összes mennyiség. (17) A szállítójárművek teljesítmény kihasználási tényezője a teljes munkaidőre vonatkoztatva. (18) A szállítójárművek állapotainak (*Szállít*, *Üresen mozog*, *Várakozik*, *Rakodik* és *Ürit*) gyakoriságai.

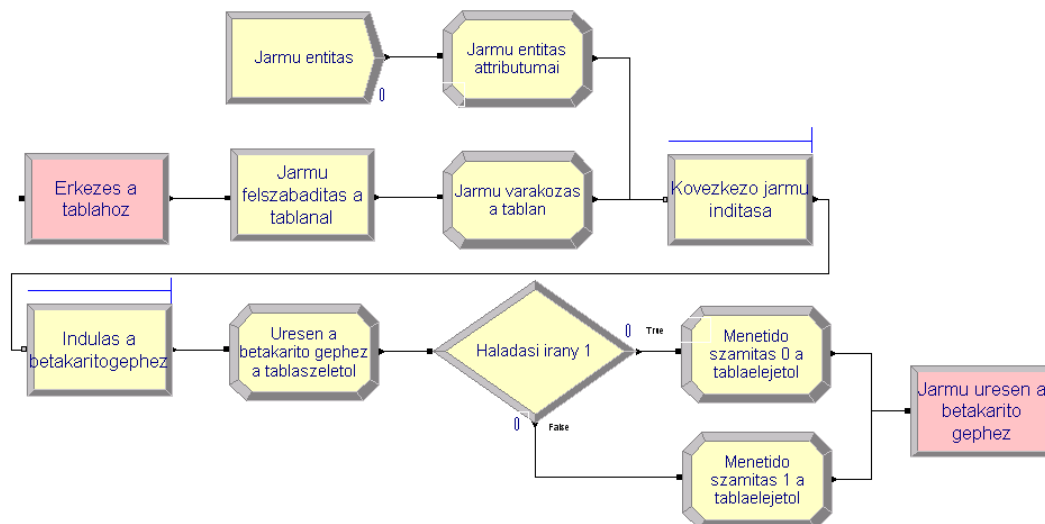
A probléma szimulációs modellje

A probléma leírása és tanulmányozása után az Arena szoftvert használva, építettük fel az egymenetes gabona betakarítási rendszer szimulációs modelljét. A modell öt szegmensből áll. A **Betakarítási folyamat** nevű szegmens a betakarító gép működését, a **Szállítójármű érkezése a táblához és mozgás a betakarítógéphez** nevű szegmens a járművek aktiválását, és mozgatását a betakarítógéphez, a **Betakarítógép üritése és a szállítójármű töltése** nevű szegmens a magtartály üritését, a szállítójármű megrakását és továbbítását a raktárhoz, a **Szállítójármű érkezése és üritése a raktárnál** nevű szegmens a raktárhoz érkező szállítójármű üritését, és visszaküldését a táblához, végül a **Betakarítógép mozgása** nevű szegmens a betakarítógép animációs mozgását modellezi. A modell szegmensek fejlesztésének részletes ismertetésétől eltekintünk, csupán a szegmensek funkcióinak és jellegzetességeinek bemutatására szorítkozunk.



1/1. ábra: Betakarítási folyamat nevű szegmens

A modell logika ismertetését a **betakarítási folyamattal** kezdjük (1/1. ábra). Az ábrákon a szegmensek építőelemeit, a különböző funkciójú modulokat névvel azonosított alakzatok (téglalap, rombusz, stb.) szimbolizálják. Az 1/1. ábrán, az "Indulás" nevű modulban egy kontroll entitást hozunk létre az aratócséplőgép működésének vezérlésére. A szegmensben a szállítójármű és a magtartály kapacitások ismeretében számítjuk az egyidejűleg üríthető mennyiséget. A vágószerkezet típustól függően, a sorok számából és a sortávolságból vagy a vágóasztal-szélességből meghatározzuk a munkaszélességet, majd a gépterhelés, a munkaszélesség, a hozam és a szem-szalma arány ismeretében kiszámítjuk a haladási sebességet. Az utóbbi azt jelenti, hogy változó hozam esetén a haladási sebességet úgy változtatjuk, hogy a gépterhelés állandó maradjon. A betakarítógép működését szükség esetén (magtartály telítődés, fordulás, meghibásodás, ürités, stb.) blokkoljuk. A szegmensben nyomon követjük a gép mozgását, figyeljük, hogy elértük-e a táblavégét, ha igen, akkor megváltoztatjuk a haladási irányt, azaz fordulást hajtunk végre.

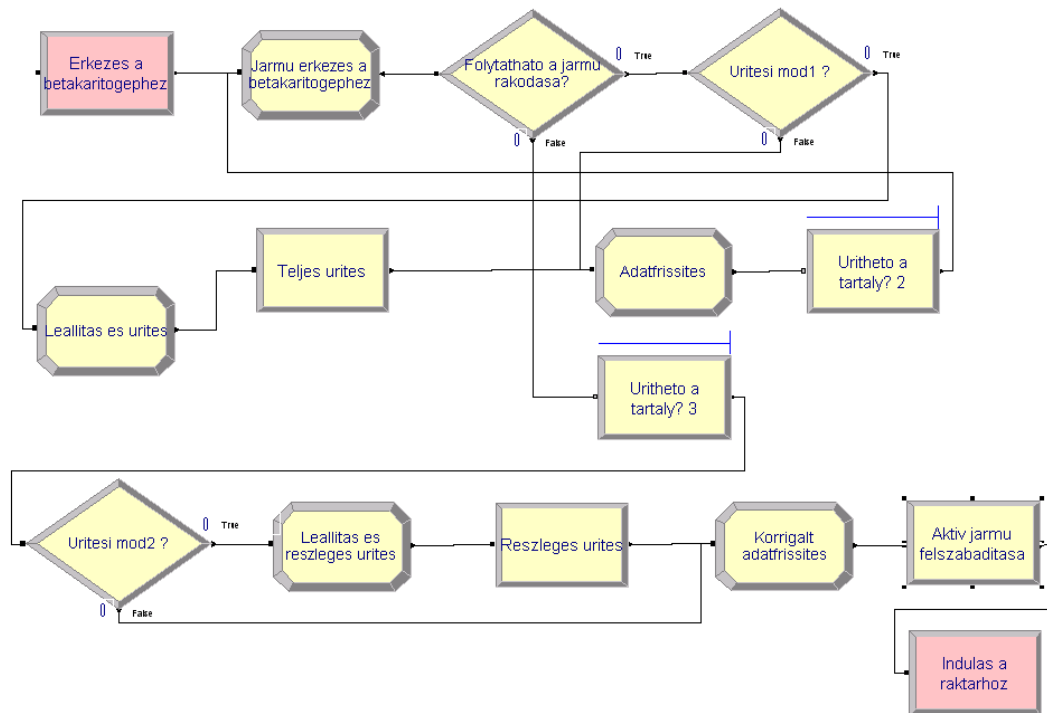


1/2. ábra: Szállítójármű érkezése a táblához és mozgás a betakarítógéphez szegmens

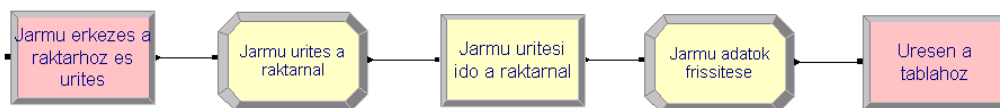
A szállítójármű érkezése a táblához és mozgás a betakarítógéphez nevű szegmens (1/2. ábra) a járművek aktiválását, és a betakarítógéphez való mozgatását végzi. A szegmensben a járművek számával egyenlő számú ún. járműentitást hozunk létre, amelyek a modellben a járművek mozgását szimulálják. Tekintettel arra, hogy a betakarítógépet egyidejűleg csak egy jármű szolgálhatja ki (ezt nevezzük aktívnek), a járművek modellezéséhez kétfajta erőforrást használunk. Az egyik a járművek számával megegyező számú vagy kapacitású „*Jarmu*” nevű erőforrás. A másik pedig, az ún. „*Aktiv jarmu*” nevű fiktív erőforrás, amelynek a kapacitása 1. Ezeket az egymást ciklikusan követő járműentitáshoz egyidejűleg rendeljük. Értelmszerűen az erőforrások hozzárendelése csak akkor végezhető el, ha mindkét erőforrásfajtából legalább egy szabad. Mivel azonban az „*Aktiv jarmu*” nevű erőforrás kapacitása 1, ezért egyidejűleg csak egy jármű lehet aktív, pontosabban csak egy járműentitás mozoghat. A modellben egy járműentitáshoz rendelt „*Aktiv jarmu*” erőforrás az aktívjármű megrakása után válik szabaddá a következő járműentitás számára. További korlátozást jelent, hogy a szállítójármű, pontosabban a járműentitás csak akkor indulhat a betakarítógéphez, ha a magtartály tartalma eléri az üríthető mennyiséget. A szegmensben a betakarítógép pillanatnyi helyzete alapján határozzuk meg a járművek várakozási helye (táblaszéle) és a betakarítógép közötti távolságot, valamint a távolság megtételéhez szükséges időt.

A betakarítógép ürítése és a szállítójármű töltése nevű szegmens (1/3. ábra) a magtartály ürítését és a szállítójárművek töltését modellezi. Ha az aratócséplőgépek magtartályának telítettségi szintje eléri az üríthető mennyiséget, akkor az előző szegmensben megszűnik a blokkolás és a táblaszélén várakozó járműhalmazból az aktívjármű elindulhat a betakarítógéphez. A szegmens opcionálisan, menetközben és az állóhelyben történő ürítést is modellezi. A ciklikusan kiválasztott jármű az aratócséplőgéphez közelít, majd elérve azt, megkezdődik az ürítés, amelynek az időtartama a kombájn ürítő szerkezetének kapacitásától függ. (Az ürítő szerkezet kapacitását általában úgy tervezik, hogy a magtartályt 2 perc alatt teljesen kiürítse.) A szállítójármű akkor hagyja el a táblát, ha teljesen feltöltődött, ami a magtartály kapacitásától függően egy vagy több ürítés után következik be. Ha egy ürítés nem telíti a járművet, akkor a jármű addig várakozik a táblán, amíg a hiányzó mennyiséget az aratócséplőgépek levágja és kicsépli. Végül a megrakott jármű a tárolóhoz indul.

A szállítójármű érkezése és ürítése a raktárnál nevű szegmens (1/4. ábra) modellezi a szállítójármű érkezését a raktárhoz és az ezt követő ürítését. Az üres járműveket (járműentitásokat) visszaküldjük a táblához, így azok elérhetők a következő igénybevételhez.



1/3. ábra: Betakarítógép üritése és a szállítójármű töltése szegmens



1/4. ábra: Szállítójármű érkezése a táblához és mozgás a betakarítógéphez szegmens

Irodalom:

1. Arena Professional Reference Guide, Rockwell Software Inc., 2000.
2. Benkő J.: A termény betakarítás és szállítás modellezése az Arena szimulátorral. Logisztikai évkönyv 2006 (Szerk.: Szegedi Z.), Magyar Logisztikai Egyesület, Budapest, 2006. 125-133 p.
3. Benkő J.: Logisztikai folyamatok szimulációja. LOKA, Gödöllő, 2012.
4. Benkő J.: Mezőgazdasági betakarítási folyamatok szimulációja. Mezőgazdasági Technika, LIV. évf., 2013. július, 2-5 p.
5. Jován D.-Soós P.-Sörös I.: Arató-cséplő gépek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1980.
6. Kelton, W. D., R. P. Sadowski, and D. T. Sturrock.: Simulation with Arena. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
7. Komlódi I.: John Deere 9780 CTS arató-cséplő gép. Mezőgazdasági gépvizsgálati értesítő, FVM Műszaki Intézet, Teszt Nr. 71/2001, Gödöllő, 2001.