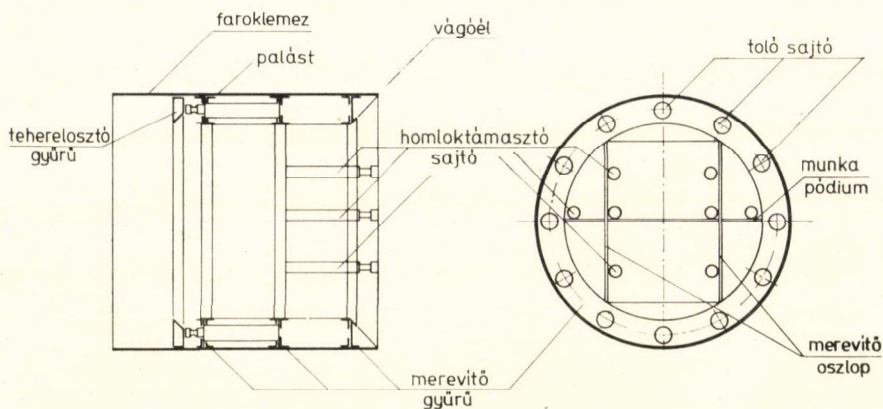


ALAGÚTÉPÍTÉS NYITOTT PAJZZSAL*

Bevezetés

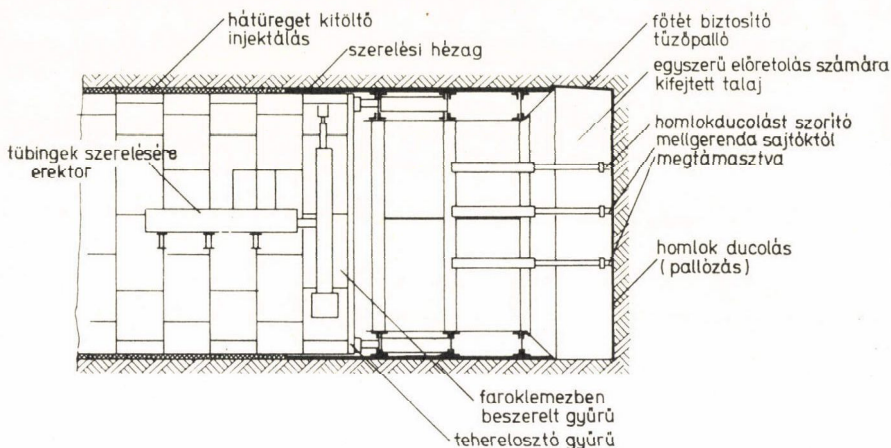
a) A nyitott pajzs tulajdonképpen egy mozgatható acélhenger, mely állandó, mozgó jellegű védelmet nyújt mind elöl a homlokfalat fejtő, mind pedig hátul a végleges biztosítást szolgáló alagútgyűrűt szerelő dolgozóknak. A pajzs szerkezete három fő részre bontható (1. ábra).



1. ábra. Nyitott pajzs vázlata főbb részeinek megnevezésével

* A közlekedésnek az utóbbi évtizedben végbement hatalmas fejlődése nagyvárosokban szükségessé teszi egy új közlekedési szint kialakítását. Lassan a növekvő forgalom miatt a felszíni építési mód alkalmazása is lehetetlenné válik. Mindinkább a költségsőbb, de a felszíni forgalmat kevésbé zavaró mélyvezetésű közlekedési hálózat létrehozása mellett kell a városoknak dönteni, még az olyan városoknak is, melyeknek altalaja nem homogén, változó, alagútépítés szempontjából rossznak minősíthető. E talajban az új közlekedési szint építési módja, a pajzssal történő alagútépítés. A következőkben az ilyen változó talajban, az ún. nyitott pajzssal szerzett tapasztalatokat tárgyaljuk, következetesen vigyázva arra, hogy más típusú pajzssal, más körülmények között szerzett tapasztalatok a logikai sorrendet ne zavarják, és az anyagot tanulmányozó szakember végül is ez építési mód összefüggéseire kapjon teljes képet, amelyről azután más építési módokra, pl. mechanikus pajzssalra vonatkozó következtetések is levonhatók legyenek. Az anyagnak nem az eljárás ismertetése a célja, hanem tapasztalat átadás, hogy az ezen építési móddal foglalkozó kivitelező kartársak ne álljanak ismeretlenül a szép műszaki feladat megvalósításakor felmerülő részletproblémákkal szemben.

Tapasztalataimhoz közvetlen munkatársaim, kollégáim őszinte vitái, lelkiismeretes megfigyelései, a technológiák pontos végrehajtása is nagymértékben hozzájárult, amiért e helyen is köszönetet mondok. Hálás köszönettel tartozom lektoromnak, Dr. Széchy Károly professzor úrnak, aki tapasztalataim megírására inspirált.



2. ábra. Vázlat a nyitott pajzs üzemeltetéséhez szükséges fogalmak megértésére

1. A külső hengerpalást a vágóél (esetleg ernyővel és faroklemez rész-szel).
2. Merevítést szolgáló szerkezet (gyűrűk és osztófalak, oszlopok) a munkapódiummal.
3. Hidraulikus sajtórendszer (a pajzs előretolását és a homlok meg-támasztását szolgáló sajtók) a hozzátartozó szivattyúkkal.

A nyitott pajzs a pajzsos alagútépítés legegyszerűbb, egyben legmegbíz-hatóbb gépi berendezése. Előnye, hogy változó talaj esetén a homlok és főté biztosításával azonnal lehet alkalmazkodni a talaj változásához. Hátránya, hogy a fejtés kézi erővel történik és ez az előrehaladás ütemét korlátozza. Ezen sokat segíthet a munkapódiumokon elhelyezhető, a mindenkori talajnak megfelelő, nagyobb teljesítményű kis fejtőgépek alkalmazása.

Üzemeltetési elv sorrendjének leírása: miután a pajzs munkapódiumai-ról az egy alagútgyűrű hosszának megfelelő hosszban a talaj kifejtése a pajzs szelvényének megfelelően megtörtént, a pajzsot a faroklemezében beszerelt alagútgyűrűről az irányítás szempontjából megfelelő tolosajtók segítségével előre kell tolni, helyet adva a faroklemez-részben az új alagútgyűrű szerelésé-nek. A végleges biztosítást szolgáló gyűrűk elemeinek szerelésére ún. erektor szolgál (2. ábra).

A pajzs előretolásával hátrahagyott palást-vastagság, valamint szerelési hézag által okozott üreget azonnal ki kell injektálni.

b) Az alagútépítés munkafázisai.

Munkafázisoknak a tárgyalás elején történő felsorolása kizárólag azt a célt kívánja szolgálni, hogy az alagútépítés bármely részéről is legyen szó, csak akkor ítéltjük meg tisztán a helyes megoldást, ha azt az alagútépítés munkafázisainak összefüggésében látjuk. A munkafázisok tehát a következők:

1. Kőzet fejtése és biztosítása a változó talajfélésegeknek megfelelően.
2. Pajzs irányításának alapelvei és vele kapcsolatos ismeretek.
3. Végleges biztosítást szolgáló alagútgyűrű elemeinek szerelésével járó kérdések.

4. Járulékos munkák:

41. Injektálás és felszíni süllyedés

42. Víztelenítés

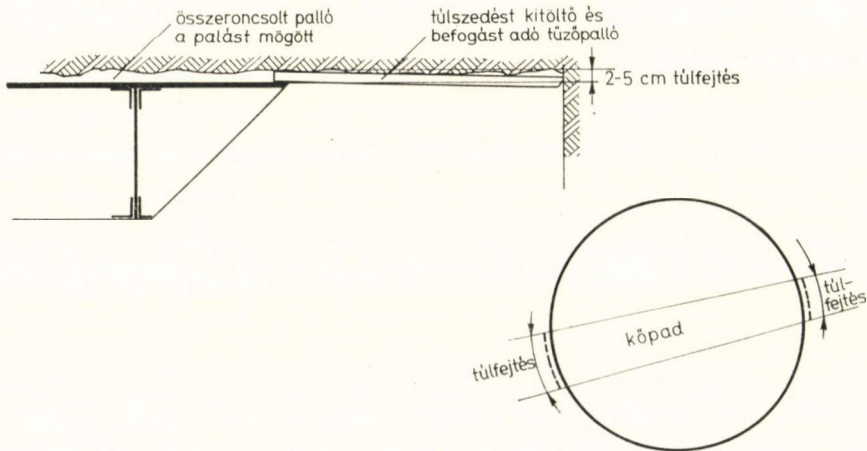
5. Szállítás, kiszolgálás és szervezés

A munkafázisok fenti lerögzítése után álljon itt rögtön az alagútépítést vezető mérnök számára az a legfontosabb általános szabály, hogy a munkafázisoknak az építés során egyensúlyban kell lenniük, és ha az építés során a munkafázisok bármelyikében akadály jelentkezik, az egész egyensúly megbomlik. Ennek következményei pedig súlyosak, elsősorban gazdasági vonatkozásaiban. Először mert az akadály elhárítása mindig problematikus és drága, másodsor pedig az alagútépítéshez szükséges relatíve magas létszám átmenetileg kihasználatlan.

1. Kőzetfejtés és üregbiztosítás a változó talajféleségeknek megfelelően

11. Kő, szikla

Sziklában alagútépítés szempontjából nem alkalmaznak nyitott pajzsot. Bányászatban előfordul, de mint félpajzs, mely elsősorban a kőzet pergése ellen nyújt védelmet. Változó talajviszonyok mellett építendő alagutak esetében azonban feltétlen számolnunk kell a kő előfordulásával, amelyek inkább kőpadok vagy kötömbök formájában jelentkeznek és esnek a fejtendő szelvénybe. A kő megjelenése a pajzs legnagyobb ellensége. Figyelmetlenség esetén a pajzsot megrokkantathatja, deformációt okozhat, amelynek következményei az irányítás megbízhatatlanságában is jelentkezne. A védekezés ellene nagyon egyszerű (3. ábra). E szakaszon a talaj fejtését 2–5 cm-rel a pajzs szelvényén túl kell elvégeztetni, majd hogy irányítás szempontjából a pajzs befogása legyen, valamilyen anyagféleséggel, amelyet a pajzs köpenye károsodás nél-



3. ábra. Vágóél előtti túlfejtés és pallóval való tömedékelése

kül roncsolni tud, a túlszedést el kell tömedékelni. Legegyszerűbb, ha ezt tűzőpallóval tesszük (4. ábra). A homlok és főte biztosítására kő esetében lényegében nincs szükség.



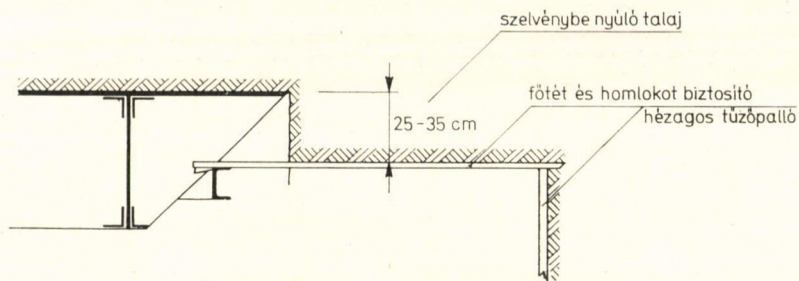
4. ábra. Túlfejtés és pallóval való tömedékelés

12. Állékony anyag

Az állékonyság fogalmát szükséges előbb tisztázni. A talaj állékonyságán itt az értendő, hogy a pajzs előtt a szükséges szelvény kifejtése után is képes a talaj minden biztosítás nélkül a pajzs előretolása alatt, majd — folyamatos munkavégzést feltételezve — a fejtés újrakezdéséig megállni. Ebben az esetben a biztosítás kizárólag munkavédelmi szempontokat kell hogy szolgáljon, azt ugyanis, hogy a főtéből, homlokfalról lehulló pergés vagy kisebb kőzetdarab a szelvényben dolgozóakra veszélyes ne legyen. A fejtésben két elv érvényesülhet:

a) *Minél kisebb szelvényt kell fejtéssel kiszedni*, és így a pajzs szelvényébe benyúló részt a pajzs előretolása során a vágóél fejtse le (5. ábra). Ezen a módon az esetleges kézi erővel (légkalapács) végzendő fejtés mennységét lehet csökkenteni és a talajnak vágóéllal történő vágatásával a pajzs talajba történő befogását biztosítani. Ez utóbbi a pajzs irányítása miatt igen fontos. Természetesen csak a felső félszelvényben hagyható rá a talaj. Válltól a talpig e ráhagyást jó kifuttatni, szintén irányítási okok miatt. Ez az elv azonban nagyon kevés talajfeleségben alkalmazható. A tapasztalat azt mutatja, hogy a vágóél

csak kevés állékony agyagtalajban tud vágni. A vágóél előtt ugyanis a talajban az előrehaladás nyomán összetett feszültségek ébrednek, és emiatt a talaj nem felület mentén fejtődik, hanem törik (6. ábra). Ha pedig a talaj réteges, vetős,



5. ábra. A talaj vágóélel történő bontása

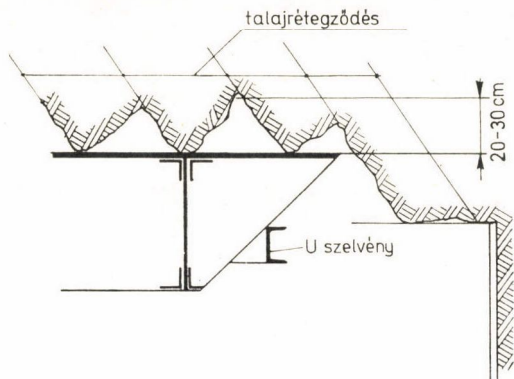


6. ábra. Kemény agyagtalajban a pajzs előretolása során keletkező túlszakadások

a töredezés a pajzs szelvényén kívülre is nagymértékben, fűrészfogasan ki fog terjedni (7. ábra). E körülményből pedig nagyon sok káros hatás következik.

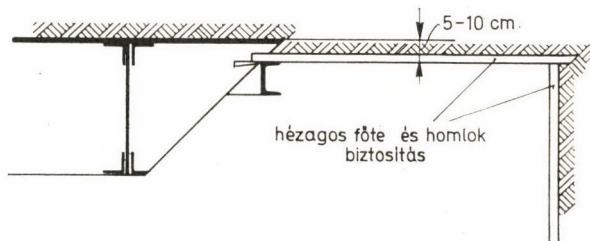
1. Megromlik a pajzs befogása és megnehezül a pajzs irányítása.
2. A talaj megtámasztás nélkül marad a pajzs hosszában, amely nagyobb szakadások előidézője lehet, és előre kagylósodva a talajnak a homlokfalon való becsúszását is előidézhetheti (lásd: szakadások keletkezésének okai és természete cím alatt).

3. Nagymértékben megnő az alagút körüli hátúr és ezzel az injektálgshoz szükséges habarcsmennyiség. Éppen az előbbieknél hátrányát kívánja kiküszöbölni a fejtés másik elve.



7. ábra. A talaj fűrészfogas törése

b) A szelvényt majdnem a pajzs szelvényének megfelelően fejtjük ki. Mindössze pár cm-es ráhagyással, melyet már a vágóél nem tör, hanem morzsol, és így a pajzs befogása is biztosított (8. ábra). A pajzs előretolása előtt mindkét elv alkalmazásánál az esetleges főtétűzés (lásd: lejjebb) eltávolítandó.



8. ábra. A vágóél nem tör, hanem morzsolja a talajt

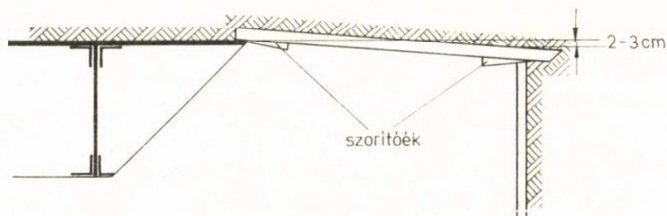
13. Nem állékony homokos agyag — agyagos homok

Az előző pontban leírt mindkét módszer alkalmazható a talaj állékony-ságának függvényében — sűrített főté- és homloktűzéssel. Tekintettel arra, hogy a főtétűzés a pajzs előretolása előtt általában eltávolításra kell, hogy kerüljön, (nincs annyi hely a vágóél mögötti merevítőgyűrű miatt, hogy hátra tudjon csúszni) a keletkező főtészakadással számolni kell, ami kockázatos.

Alkalmazásukat a várható konzekvenciák felmérésével a tapasztalat dönti el. Bevált, megbízható módszerek lehet tekinteni a következő eljárást:

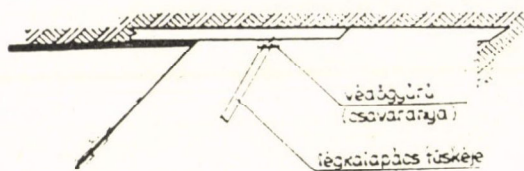
A talajt a pajzs előtt szelvényen túl fejtjük annyira, hogy a vágóélre a főtét biztosító tűzőpalló kívülről legyen feltámasztható (9. ábra). A tűzőpalló hegye 2—3 cm-t a pajzs szelvénye felé irányul. Ez biztosítja ugyanis a pajzs befogását, a pajzs előretolása során. A pajzs vezetésének, az irányítás befolyá-

solásának is egyik módja ez. A tűzőpalló, a fejtés újrakezdésekor a légkalapács tuskéjével általában a fejtéssel elkészített helyére előre húzható. A szorítóéket a pajzs előretolása előtt fel kell lazítani, hogy a palló könnyen hátracsúszsék. A pajzs előretolásakor a tűzőpallók hézagai közti és a légkalapáccsal



9. ábra. Vágóélre támasztott főtét biztosító tűzőpalló

történő előre verése okozta pergés a talajt annyira fellazítja, hogy a tűzőpallók előrehúzása könnyen megtörténhetik. Tűzőpallók roncólása ellen a légkalapács tuskéjének hegyére védőgyűrűt (csavaranya) helyezünk (10. ábra). Ha a palló előrehúzása valamilyen ok miatt nem lehetséges, baltával

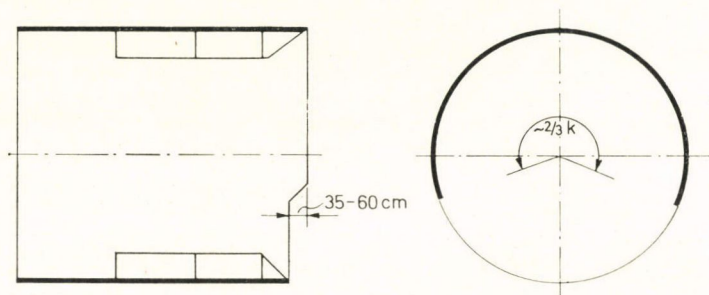


10. ábra. Tűzőpalló roncólását védő gyűrű

elvágható és helyére új palló helyezhető. Ha a talaj megkívánja a pajzs befogása vagy felszíni süllyedésének csökkentése érdekében, a tűzőpalló benn is tartható. Fenyőpallók helyett vaslemezről készített hullámos palló is alkalmazható. Ez azonban tapasztalat szerint elég gyorsan elgörbül. Meggondolás tárgyát képezheti a pajzstra szerelt mozgatható ernyő alkalmazása, ha a talaj az egész építési szakaszon nem változik.

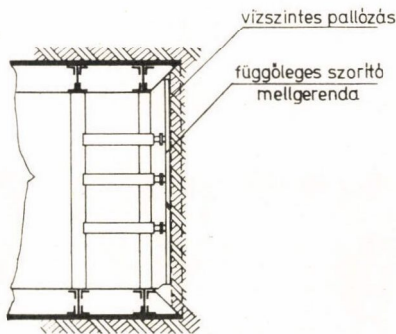
14. Iszapos homok

Alkalmazható főtébiztosítási mód az előző pontban leírt vágóél fölé való tűzés, egymáshoz képest kis hézagokkal, vagy ha a talaj ezt kívánja, akár zártan is. A homlok biztosítása hasonló a főtééhez. Ha az iszapos homok jelenlétével előre tudunk számolni és az alagút építése során jelentős mennyiségben fordulhat elő, ernyős pajzs választása indokolt. Az ernyő nem más, mint a palástnak az első merevítő gyűrűhöz képest a terület felső 1/2—2/3-ban 35—80 cm-el való előre nyújtása (11. ábra). E talajféleségben — a pajzs akár ernyős, akár nem — előfordulhat, hogy a fejtés csak úgy végezhető el, ha a vágóél a talajba állandóan be van tolvá. Így aztán a pajzsnak a szükséges

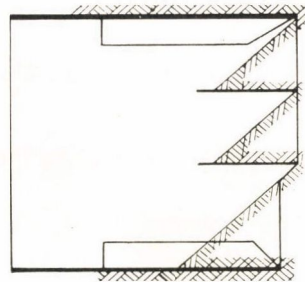


11. ábra. Ernyős pajzs vázlata

hosszra (egy tübbinggyűrű hossz) történő előretolása esetleg több ütemben hajtható csak végre. Ez esetben a főte biztosítása elmarad, a homlokon pedig szükség szerint vízszintes pallózás is alkalmazható (12. ábra). Az a körülmény, hogy a pajzs több lépcsőben tolató csak előre és a homlok ducolásánál is ismétlődő átváltások szükségesek, az egész alagútépítés ütemét nagyon lecsökkenti.



12. ábra. A homlok vízszintes pallózással történő megtámasztása



13. ábra. Lamellás pajzs vázlata

15. Homok

Ha feltételezzük, hogy az (alagút) építési szakaszra a homok nem jellemző, ez esetben az előző pont alatti fejtési mód és biztosítás valamelyike alkalmazható. Ha azonban teljesen homokban kell az alagutat építeni, a pajzsot erre (szerkezeti vonatkozásban is) alkalmassá kell tenni. Ernyős pajzs alkalmazása mindenképpen előnyös itt is. A folyamatos munka és a kívánt sebesség elérése végett az ún. lamellás pajzs (13. ábra) a legalkalmasabb. Fő cél, hogy a pajzs a talajba állandóan be legyen nyomva. A homlok biztosítását maga a lamellákon természetes rézsűvel megálló talaj adja. *Igen fontos igény — a káros felszíni süllyedések elkerülése végett —, hogy a pajzs szelvényébe csak a vágóél által határolt szelvényből folyhassék be az anyag.*

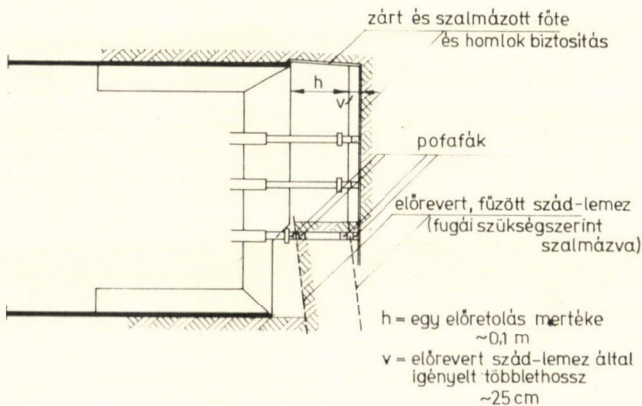
16. Folyós homok (Légnyomás alkalmazása mellett)

Az eddig tárgyalt talajfélések esetében — víz jelenléte esetén — a víztelenítés valamilyen módját is feltételezzük. Folyásra hajlamos homokban a víztelenítésnek légnyomással történő megoldása azonban érdekes helyzetet teremthet. Ismert dolog, hogy alagutak építésénél a légnyomás mértékét általában a szelvény alsó harmadpontjára vett vízoszlop nagysága határozza meg, és ezt

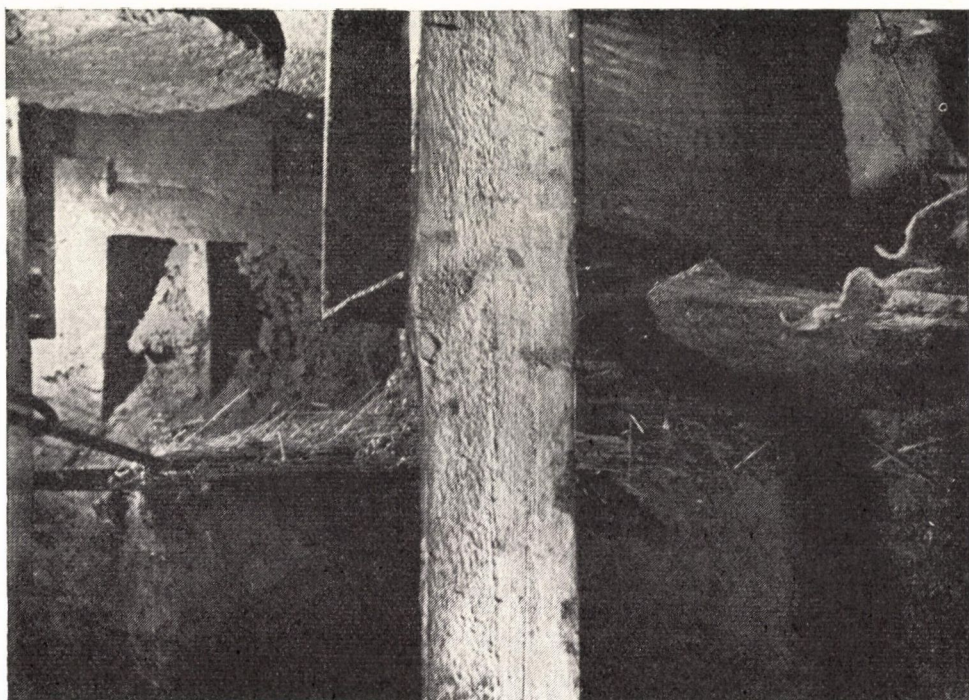


14. ábra. Folyós homok

az értéket aztán a tapasztalatnak megfelelően a talaj levegő-, ill. vízáteresztő képessége szerint lehet változtatni. Nem egészen ilyen egyszerű a helyzet folyós homok esetében. A légnyomás mértékének az alsó harmadponttal történő meghatározása csak elméleti előirányzatnak vehető, növelése pedig majdnem kizárt a szemcsés talajokban jelentkező nagy levegővesztés miatt is. Azzal azonban mindenképpen általában számolhatunk, hogy a szelvény



15. ábra. Folyós homokban az alsó szelvény biztosítására előrevert szádlemez-sor



16. ábra. A talaj a két szádlemez-sor között

felső felét vízteleníteni tudjuk. A fenti megfontolások alapján bevált módszerként nyert alkalmazást az alábbiakban leírt eljárás.

A légnyomással víztelenített felső szelvény fejtését és biztosítását a korábbiakban leírt módon lehet elvégezni. Biztonságból a zárt főte és homlok-tűzés fugáinak szalmázással történő tömítése is hasznos dolog. A pajzs előtti fejtés mélységét nemcsak a pajzs faroklemezében szerelendő gyűrű hossza, hanem az alsó szelvény biztosítás módjához szükséges többlethossz által növelt érték határozza meg (14. ábra). Az alsó szelvény biztosítását előrevert szádlemez sor adhatja (15. ábra). A szádlemez verése megfelelő fej alkalmazásával, légkalapáccsal is történhet. A talaj fejtése a két szádlemez sor közül történik, egyszerű lapátolással (16. ábra). A homlok folyamatos ellenőrzése ennél az eljárásnál is — folyós homokról lévén szó — különösen az alsó szelvényben nagyon fontos. A dúcolás mögött észrevétlenül is üreg keletkezhet, mely nagyobb homlokszakadáshoz vezethet.

17. Megjegyzések a fejezethez

17.1. Általános észrevétel

A fejezetben tárgyalt eljárások a legegyszerűbb nyitott pajzsot tételezték fel és a legegyszerűbb alapmegoldásokat adták, a homlok megtámasztó sajtók jelentőségét is aláhúзва. Minden esetben — lamellás pajzs kivételével —

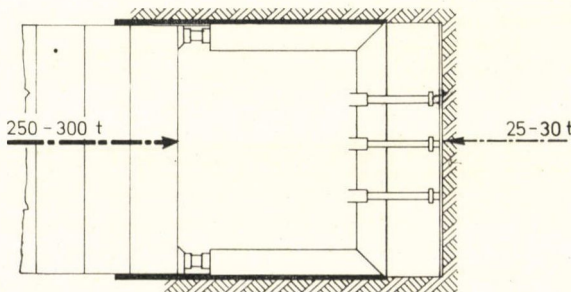
mind a főte, mind a homlok dúcolása szükséges, ami munkaigényes. Így az előrehaladás mértéke korlátozott: 2—3 m/napra tehető folyamatos munkavégzés esetén 5—6 m \varnothing -jú pajzsnál. Fejtésnél légkalapács használata van csak feltételezve. A pajzs üzemeltetéséhez szükséges tolóerő aránylag kicsi: 250—300 t. A pajzs irányítását a megfelelő sajtók használatával és a fejtés, ill. dúcolás tudatos alkalmazásával könnyen befolyásolni lehet. A haladás fokozásának szűk keresztmetszete éppen a fejtés és a dúcolás. Éppen ezért a nyitott pajzsok konstruálásánál helyesek azok a törekvések — hogy a pajzs a nagyobb tolóerő kifejtésével a talajba betolható legyen: a szemcsés, kohézió nélküli talajban lamellák alkalmazása, a homlok megtámasztó sajtórendszerhez előre gyártott homlok megtámasztó táblák alkalmazása stb. —, melyek e szűk keresztmetszetet megszüntetni törekednek. Ez utóbbi törekvést gazdasági előnyein túl az is igazolni látszik, hogy a *fokozottabb haladás a biztonságot is nagymértékben szolgálja mindaddig, amíg a technológiai fegyelem rovására nem megy.*

A fentiekben adott talajosztályozás nincs tekintettel a talajfizikai tényezők által adott meghatározottságokra. A talajok osztályozását a nyitott pajzsos alagútépítési mód esetén a megkülönböztethető fejtési és biztosítási eljárások határozták meg úgy, hogy ezekben az osztályokban is lehetnek átfejtések.

17.2. Különleges esetek és tapasztalatok

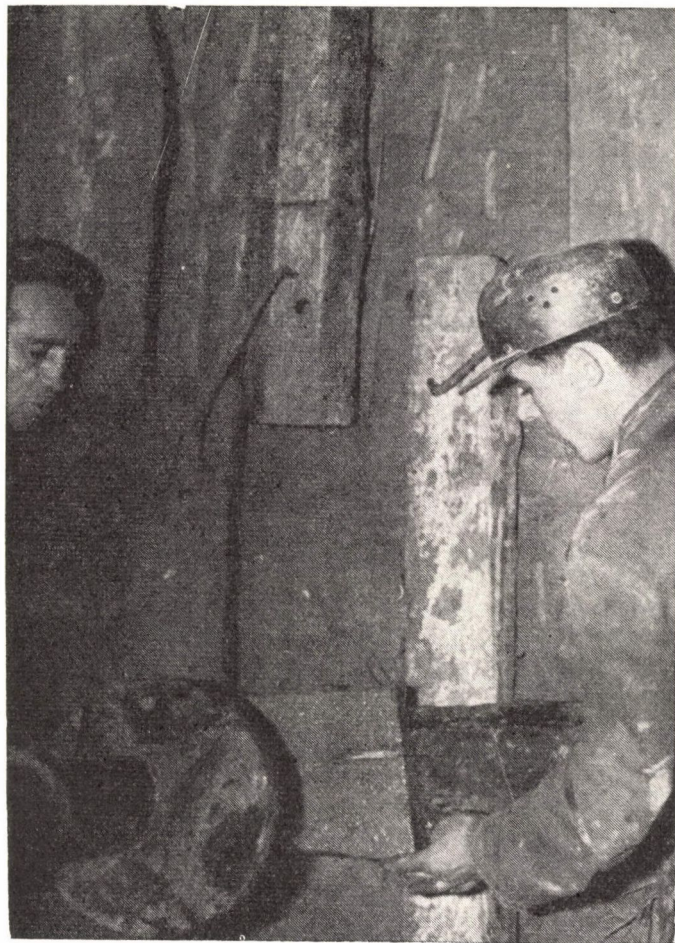
17. 21. A homlok megtámasztó sajtók külön szivattyúról üzemeltetendők

A homlok megtámasztó sajtórendszer legegyszerűbb formában úgy üzemel, hogy a tolósajtókat működtető szivattyúra van kötve egy nyomást korlátozó lefújó szelep közbeiktatásával. Ez a szelep biztosítja, hogy a homlok-sajtók az előre meghatározott dúcernél többet ne nyomjanak. A pajzs előretolása során a szelep működésbe lép, amikor is a megtámasztó sajtók dugattyúi e szelep által engedett nyomásnál tudnak csak a dugattyúházba visszatolódni. A kiszorított folyadék csak e nyomás mellett távozhat. Így a pajzs — előretolása során — feszültség alá kerül a fellépő toló és homlokot támasztó sajtók egyidejű, de ellentétes értelmű erőinek következtében (17. ábra). Ha most akár irányítási okok, akár egyéb ok miatt is egy tolósajtót az előretolás során bekapcsolunk a rendszerbe, a nyomás azonnal zérus lesz mindaddig, amíg a bekapcsolt sajtó dugattyúháza fel nem töltődik úgy, hogy a sajtó és vele



17. ábra. A pajzs előretolásakor a homlok támasztók a tolás ellenében hatnak

együtt ismét az egész sajtórendszer erőt nem vehet fel. Tekintettel arra, hogy a homlok megtámasztó sajtókban az erőt a pajzs előretolása ébreszti, és az állópajzsban, a tolósajtókban erő nincs, ez esetben a homloksajtókban is zérus lesz a megtámasztó erő. És mert a tolóerő által kifejtett erő a pajzsról nézve nagyobb volt, a pajzs az erők ideiglenes megszűnésével mérhető ér-

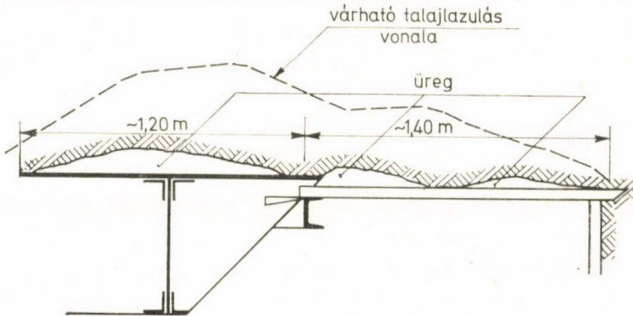


18. ábra. Homlok támasztó sajtó elé helyezett papucs

téssel hátra bukhat és ez a homlok megtámasztó dűcök lehullását is eredményezheti. Ez laza, vagy szakadásra alkalmas homlokfal esetén veszélyt is jelenthet. Ezért ha a homlok megtámasztó sajtók alkalmazásával számolunk, azok külön szivattyúról való üzemeltetése feltétlen indokolt. Átmene-tileg védekezhetünk a jelenséggel szemben úgy, hogy a homlok megtámasztó sajtókban a nyomást meghatározó (lefújó) szelepen úgy állítunk, hogy nagyobb erő léphessen fel; a sajtók támasztó fejei elé alátét pallót rakunk, melyet a gyors roncsolódása miatt könnyen cserélhetünk (18. ábra).

17.22. Szakadások keletkezésének okai és természetük

Szakadások keletkezésével szinte minden alagútépítési módnál számolnunk kell. Fő célunk azonban, mint legtöbb gondot, költséget és akadályt jelentő jelenségnek a lehető kiküszöbölése. És hogy ezt tehessük, ismernünk,



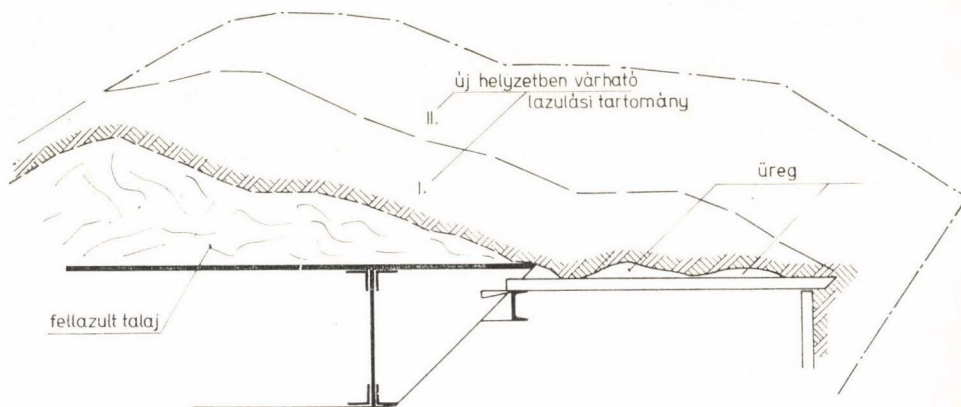
19. ábra. Szakadás kialakulása I.

mérlegelnünk kell keletkezésének okait. A gyakorlatban három fő tapasztalati meghatározást lehet adni:

1. A talaj önmagában véve is szakadásra hajlamos.
2. Az előírt technológia nincs betartva, ill. az előírás nem megfelelő.
3. Olyan esettel állunk szemben, amely nem volt várható.

A felsorolásból is érezhető, mennyire nagy tapasztalatot igényel e kérdés megítélése, s inkább tudjuk egy bekövetkezett szakadás utólagos magyarázatát és a fentiek szerinti hovatartozását adni, mint azt az alagútépítés általános feltételeinek betartása mellett megjósolni. És talán a szakma szépsége itt van. Megtalálni a változó talajnak a mindenkor megfelelő technológiáját az alagútépítés előrehaladásának optimuma mellett úgy, hogy szakadás ne következzen be. Szakadás keletkezésének legfőbb oka, hogy a talajt egyensúlyi állapotában megbontjuk. Üreget készítünk, s az üreg körül fellépő feszültségek következtében minden talaj szakadásra hajlamos mindaddig, míg megtámasztást nem nyert, vagy új helyzetében — éppen a szakadásokkal — új egyensúlyi állapotát ki nem alakította. Az alagútépítés során — bármilyen módszerrel is történjék az — mindig van olyan helyzet, amikor a talaj megtámasztatlan, tehát szakadásra hajlamos. S e körülményt az alagutak építésénél soha elfelejteni nem szabad. Abból a tényből tehát, hogy az alagút építése során mindig van olyan helyzet, amikor a talaj megtámasztatlan, következik, hogy az előírt technológia rossz végrehajtásával, vagy rossz, talajhoz nem alkalmazkodó technológia előírásával magunk is idézhetünk elő szakadásokat. De nézzünk egy-két példát (19. ábra): A pajzs előtt kifejtett talaj főtéje biztosított ugyan, de a palló mögötti üregek semmi megtámasztást nem adnak a talajnak. Idő kérdése csak, hogy a szaggatott vonallal jelzett határig mikor lazul fel a talaj. Feltételezhető, hogy ez esetben még nem történt semmi. A pajzsot előretoltuk, és a lazulást a pajzs vágóéle az előrenyomás időtartamára megtartotta, a fellazult anyag még a pajzshomlok mögé kerülhetett. De nézzük az előállt új helyzetet (20. ábra): Továbbra is elkövetjük a főte biztosításánál az előbbi hibát. Most már azonban csak szerencse kérdé-

se, hogy azonnal, vagy a későbbiekben következik be egy kisebb vagy nagyobb főteszakadás, mely esetleg rosszul elkészített} főte- és homlokbiztosításunkat összetörve, lejön. A fenti példából érezhetjük, hogy az alagúthajtás sebességének növelése biztonságot is nyújt, mert hisz a talajlazulás lefolyása az időnek függvénye, de azt is érezhetjük, hogy minden megállás — munkaszüneti nap vagy egyéb ok miatt — új veszélyt is jelent. Az elhagyott talajlazulás, az ún.



20. ábra. Szakadás kialakulása II.

kagylósodás előre terjedhet, és főte-, ill. homlokszakadást okozhat. S fentiek bizonyos mértékig magyarázatot adnak arra, hogy szakadások miért éppen nem várt időkben (ünnepnap, éppen nem végeztünk munkát a homlokfalon stb.) következnek be. A példa annak megértésére is jó, hogy mennyire fontos a talaj megtámasztása s a példában a tűzőpalló mögötti üregek kitömődékelése, hogy a talajlazulás meggátolható legyen. Tételezzük fel, hogy a pajzs-szal szemcsés talajban kell mennünk. A talaj megtámasztására kiadott technológia zárt tűzést ír elő. De megfelelnek a pallóhézagok közti kipergerésről, amely igen gyakori a szemcsés talajoknál. Nem nehéz belátnunk, hogy szemcsés talajok esetében, ha a hézagok nincsenek lezárva, akár például szalmázással is, a fenti példában leírt talajlazulás előállhat, és terjedése mindig kúp alakú.

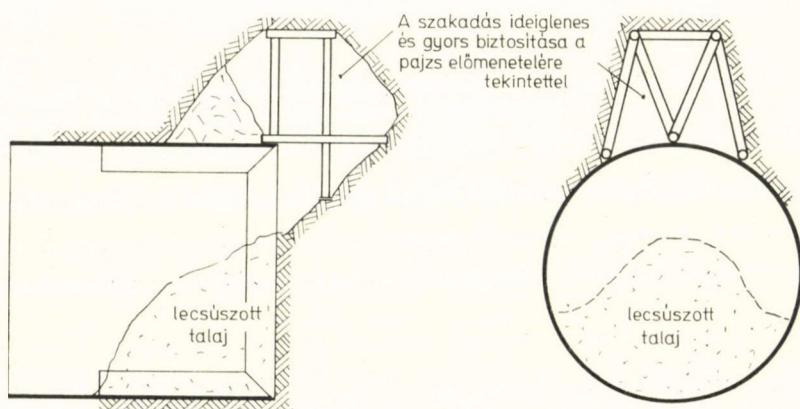
Nem várt esetekben is következhet be szakadás. Ezek legtöbbje utólag magyarázható is. Egyik gyakori formája az, amikor a fúrásokkal feltárt talajszelvény nem azonos a ténylegessel, tehát a talaj nem várt módon fog viselkedni. Tapasztalatként jó tudnunk, hogy *változó talajviszonyok mellett építendő alagutak esetében a fúrások által kapott talajszelvény csak arra jó, hogy tudjuk, hogy változó talajviszonyok között kell az alagutat építenünk. Ezt viszont tudnunk kell.* A rétegek fekvését és vastagságát az előzetes felderítő fúrások viszont nem tudják pontosan megadni. Különösen a talajváltozások határa hajlamos mindig szakadásra. Ez a kifejtett üreg miatt a különböző talajfélésekben másképp játszódik le, és más lehet a hatása is. A kérdést nehezítheti esetleg a talajváltozást követő technológia módosítása és ennek begyakorlatlansága is. Üledékes talajokban épülő alagutaknál előforduló zárványok (rendszerint homok, iszap) okozhatnak gondot, amelyre semmi előrejelzésünk nem lehet. Ezen esetekben — ha a zárványok nagysága nem nagy — egyszerű-

sődhet a kérdés, mert megjelenésével okozott gondon felül a probléma időben nem növekszik. Ha nagyobb zárványról van szó, meg kell találnunk a pajzs-
nak az új talajban való előreviteli módját, technológiáját.

17.23. Szakadások megelőzése, ill. szakadások esetén teendő intézkedések

Mint már említettem, a talaj tulajdonságainak megítélése kívánja a legnagyobb tapasztalatot, és az alagutak építése során a talaj okozza mindig a legnagyobb gondot. Különösen így van ez a nyitott pajzsok esetében be-
következett szakadásoknál. A talaj tulajdonságainak megítélésében tehát óvatosnak kell lennünk. Ez azt is jelenti, hogy mindig jobb esetleg egy költsé-
gesebb túlbiztosítási mód választása, mint a kockázatvállalás, melynek eset-
leges következményei végül is nagyon megrágíthatják az alagút építését. Térszín alatt a hibák kijavítása vagy az állás, mindig rendkívül nagy költsé-
gkihatással jár. Láttuk azt is, hogy az alagútépítés ütemének fokozása a biztonságot is fokozza. Viszont sorrendileg *előbb a technológiai fejelemet kell megteremteni, s csak azután szabad az alagútépítés ütemének gyorsítására intéz-
kedést tenni.*

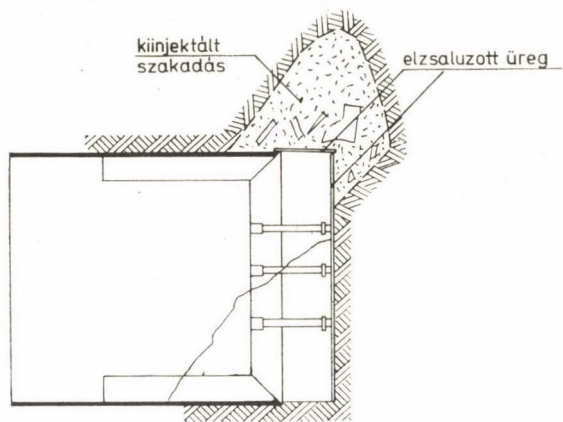
Tekintettel arra, hogy az alagútépítés üteme mindig el kell, hogy érje azt a sebességet, melynél már teljes geológiai nyomással nem kell számolnunk — mert nem hagyunk időt a kifejlődéséhez — az ideiglenes megtámasztások teherbírása nem kell, hogy nagyobb legyen, mint azt az előbbieken taglalt talajfajtáktól függően létrejövő kisebb lazulások tartása megkívánja. Ha azonban valamilyen oknál fogva az alagút hajtása megállna, a pajzsot feltét-
len homlokra kell nyomni, és a homlokbiztosítás erősítését az állási idő függ-
vényében kell elvégeztetni, hogy az újraindítással járó szakadási nehézségeket elkerülhessük.



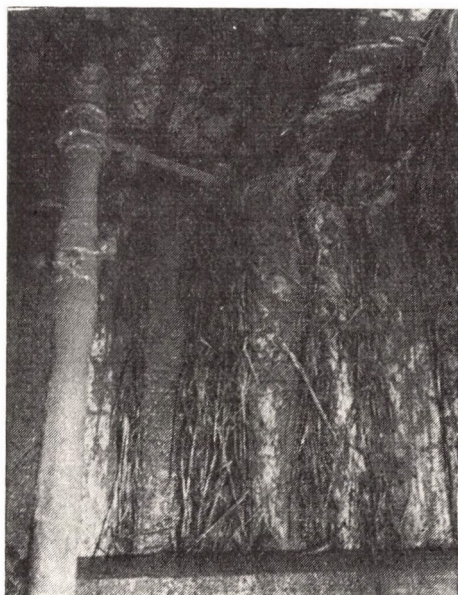
21. ábra. Kötött talajban keletkezett szakadás és annak gyors biztosítása

A létrejött szakadások alakja nagy általánosságban kétféle aszerint, hogy milyen talajban jöttek létre. Szemcsés talajban mindig kúp alakú, míg kötött talajban koporsószerű.

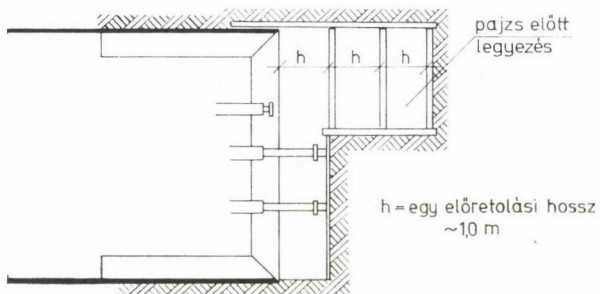
Amennyiben a pajzs előretolásával a szakadás létrejöttét már megakadályozni nem tudjuk, meg kell várni annak lefolyását. Sőt a leválni akaró



22. ábra. Szemesés talajban keletkezett szakadás és biztosítása



23. ábra. Szakadás okozta üreg elzsaluzása és kiinjektálása



24. ábra. Legyezés a pajzs előtt

darabok lepiszkálásával elő is kell segíteni. Ezután a leggyorsabban, biztonságosan át kell menni a szakadáson. Első kísérlet — ami a legtöbb esetben végrehajtható — az legyen, hogy a szakadás ideiglenes, gyors biztosítása után *a pajzs előtt olyan tér legyen biztosítva, amely a pajzs további előretolását nem akadályozza.* E biztosításnak is — aszerint, hogy szemcsés, ill. kötött talajban történik-e a szakadás — két fő típusa lehet:

a) kötött talajban a 21. ábrán látható szakadást biztosító faácsolat, mely a pajzs előretolásának lehetőségét biztosítja, és erőssége mindig az adott körülményektől függ.

b) Szemcsés talajban (22. ábra):

A keletkezett szakadás megfogásának leggyorsabb és legegyszerűbb módja az üreg elzsaluzása, majd a munkatérben található hulladékanyaggal való kitöltése és cementtel javított habarccsal való kiinjektálása (23. ábra). Dúcolással való biztosítás nem vezet megoldáshoz, hiszen megtámasztó felülete sincs, ill. a megtámasztás mögötti pergés miatt nincs jelentősége. Ezen egyszerű és viszonylag gyors megoldást minden talajféleségben eredményesen lehet alkalmazni. Létrejöhet olymértvű szakadás is, melynek megfogása már csak a pajzson belül készített homloklezárással lehetséges. A lezárás elkészítése után itt is a keletkezett üreg gyors kitöltése, a talajnak injektált habarccsal való megtámasztása a cél. Majd pedig bányász módszerrel a pajzs elé kell menni, s pajzson kívül készített tároácsolattal megteremteni azt az üreget, melybe a pajzs előretolható (24. ábra). Előfordulhat, hogy a pajzs előtti tér kialakítását többször meg kell ismételni, míg a pajzs a szakadáson végül is túlhaladhat. Vigyázni kell, hogy a pajzs szelvényébe benyúló ácsolat támkosztása megfeleljen a pajzs tervezett előretolási hosszainak.

17.24. Egy-két jellegzetes szakadás leírása

A talaj vetőkkel átszótt, vízzáró kék agyag, az alagútépítés nem pajzssal, hanem bányászati módszerrel folyt. A kalottnban a napi előrehaladás 2 m-re volt tehető, 4—6 m volt dúcolva, és 4—6 m-en folyt a kalott betonozása. Éppen e szélső értékek mellett folyt a munka, amikor viszonylag gyorsan (pár perc alatt), mintegy 150 m³ nagyságú szakadás következett be — a dúcolt kalottrész teljes hosszában — azt összetörve. Hogy a felszíni süllyedések elkerülhetők legyenek, a fentiekben már ismertetett módon a kalottrészt lezártuk, és megkezdődött az üreg gyors kiinjektálása. Hosszú vizsgálat és a véletlen derítette ki a szakadás valószínű okát. Az alagút szelvényében valamikor fúrás készült. E fúrás cementhabarccsal történt kiinjektálása nem volt tökéletes. Így e fúrás a talajvizet le tudta hozni, és a vízzáró agyagot vetői mentén átáztatta. Ezt a feltételezést valószínűsítette, mikor a szakasz újraépítése során az összetört talajból a fúróluk elzárására hivatott cementdugó került elő.

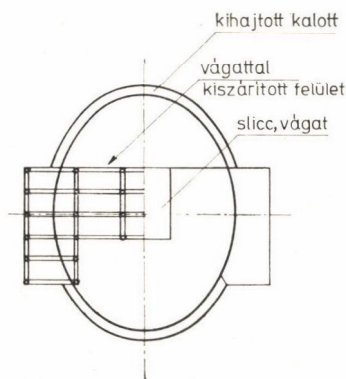
Az alagútépítés egy másik szakasza nyitott pajzssal, légnomás alatt, iszapos homok, töredezett vetős agyagban épült. Az építés alatt az építést általában kísérő kisebb szakadásokon kívül, más nem történt. A víz sem jelentett különösebb problémát. Elkészült a két alagútcső közötti szellőzést szolgáló ún. szellőző alagút is. A légnomás levétele után került sor az összekötő- és alagútcső csatlakozásánál, az alsó boltozat vasszerkezetének beépítésére. Ennek építése során (tűbbinget kellett kiváltani), mintegy 15×30 cm-es szabad felület keletkezett. E nyíláson előbb víz, majd vízzel együtt talaj

(iszapos homok) folyt be. A nyílás gyors elzárása semmiképpen sem akart sikerülni. A vízszlop 25 m körül volt. Valamelyest sikerült megszűrni a vizet, a nyílást szűkíteni, de teljesen elzárni nem. Mivel a nagyobb mérvű felszíni süllyedések súlyos konzekvenciákkal járhattak volna, végső intézkedésként már az alagút lezárására is intézkedéseket tettünk, hogy ezzel a bejövő anyag — az előre lezárt alagútszakaszt megtöltve — önmagát zárja el. Erre azonban végső soron mégsem került sor, mert közben kémiai talajszilárdítással a zárást meg lehetett oldani. A felszíni süllyedések adatai arra mutattak, hogy egy vízzel telített valóságos iszapos homoktavat (lencsét) csapolhattunk meg, amelynek felülete, kiterjedése igen nagy volt. A bejött anyag mennyiségéből és az aránylag kis értékű (8–15 mm), de nagy kiterjedésű süllyedésekből lehetett erre következtetni. Érdekességből megemlítem, hogy az alagút építésekor, mikor a szakasz még légnyomás alatt állt, erre még következtetni sem lehetett.

17.25. A légnyomás alkalmazása és annak egy-két hatása, mellyel számolni lehet és kell

A légnyomás alapvető hatásával — talajvíz alatti építkezések esetén a víztelenítéssel — nem szükséges foglalkozni, azonban dúcoló hatását meg lehet említeni. Ugyanis különösen kötöttebb, nehezen vízteleníthető talajok esetében kényesebb konstrukciók kivitelezését is vállalhatjuk e hatás ismeretében.

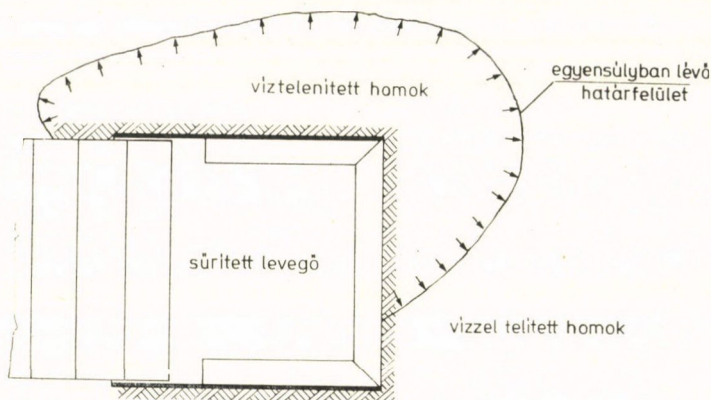
Iszapos homok — töredezett agyagban folyt pl. az alagútépítés légnyomás tartása mellett, amikor a már megépült két alagút között bányászati módszerrel, (belga) egy műtárgy építésére került sor. A tetőboltozat elkészülte után a talaj annyira elvizesedett, hogy az oldalfal, ill. ellenboltozat hosszabb időt igénybevevő építése a boltozat állékonyságát veszélyeztette. Légnyomás emeléséről nem lehetett szó, mert az alagútépítés állandó emelkedőben a homlokfalon már annyira előrehaladt és a takarási vastagság annyira csökkent, hogy légszökés állt volna elő. Nem lehetett más megoldást találni, mint-hogy a szakasz tengelyében egy hosszvágatot nyitottunk, és az oldalfalak



25. ábra. Oldalfal építéséhez választott dúcolási mód

építését ebből a vágatból végeztük szakaszosan úgy, hogy a két oldalfalat biztonságból egymáshoz dúcoltuk (25. ábra). A hosszvágat nyitása után az oldalfalak *korábban igen erősen vizes, sáros felülete is szárazzá vált.*

Vízáró, de töredezett, vetős kék agyagban a két vonalban párhuzamosan végeztük az alagútépítést ún. „Kunz” módszerrel. E módszernél ugyan nem szokás a talptárhoz hajtása — szállítási okok miatt —, mégis ezt kellett tennünk



26. ábra. Légnyomás szárító hatása a pajzs homlokfala előtt

az egyik alagútcsőben. A tapasztalat hasonló volt az előbbi példához. Amelyik alagútban ilyen tárot hajtottunk, a tetőboltozat száraz felületen készülhetett, míg a másik csőben állandóan elnedvesedett vizes felületen. Mindkét esetben lehet vitatkozni azon, hogy a vágat, ill. a talptárhoz mint drenage működött-e, vagy a szárítás a légnyomás alkalmazásának volt betudható. A légnyomás víztelenítő és támasztó hatását a 26. ábra mutatja:

Az injektálásokat az alagutak építésénél általában két nagy csoportra oszthatjuk.

1. A hézagkitöltő injektálás (felszíni süllyedések csökkentése érdekében. Cementhabarcs, v. gyöngykavics.)

2. Az ún. víztelenítő injektálás (cementtej, bentonit stb.)

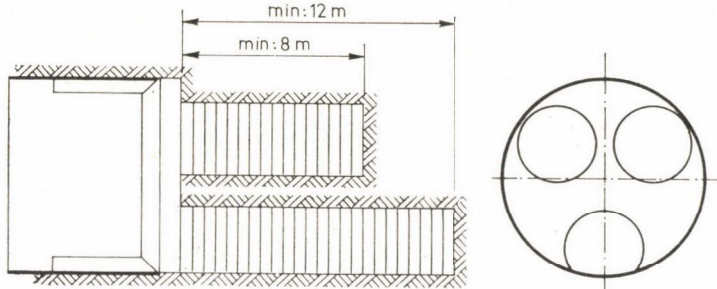
Általános felfogás, hogy az injektálást közvetlenül a pajzsokat követve végezzük, a víztelenítő injektálást pedig csak a levegő levétele után. Légnyomás jelenléte ugyanis az alagutak vizesedését erősen befolyásolhatja, és ha ezen injektálást légnyomás alatt végezzük, annak eredményessége bizonytalan. Utóbbi időben szerzett tapasztalatok e felfogásnak ellenkezőjét bizonyítják. Légnyomás alatt szükségből végzett víztelenítő injektálás a levegő levétele után száraz szakaszt adott. Talán egy kis egyszerű magyarázat adható e kérdésre:

Légnyomás jelenléte mindenképpen légjáratokat teremt a talajban. A légnyomás levétele után ezek vízjáratokká alakulhatnak. Az ezzel szemben besajtott víztelenítő injektálás eredménye jóval kisebb, mint a légnyomás segítségével végzetté.

17.26. Nagy szelvény hajtása esetén a pajzs előtt hajtott tárok jelentősége

8,50 m \varnothing -jú — tehát nagyobb keresztmetszetű — alagutak pajzssal történő építése során előnyösen nyertek alkalmazást a pajzs előtt hajtott, ideiglenesen tübbingekből szerelt tárok, pl. a 27. ábrán feltüntetett elrendezésben. E tárok hajtásával kapcsolatosan megkívánt követelmény volt, hogy a

talptáró min. 12—14 m-re, a két főtétáró pedig min. 8—10 m-re legyenek a pajzs előtt, és a tárók kiinjektálása 2 m előrehajtás után feltétlenül megtörténjék. Ezzel kapcsolatosan szerzett tapasztalatok a következők:



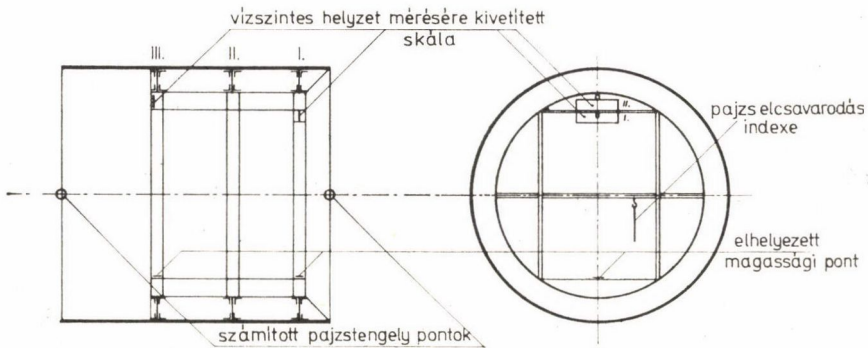
27. ábra. Állomási pajzs előtt hajtott ideiglenes kistübbingtáró elrendezése

1. Az előrehajtott és injektált tárók a homloknyomás kialakulását csökkentették, ill. visszahorgonyzással felvették azt.
2. Változó talajban a pajzs előtti talajfeltárást lehetővé tették.
3. Igen rossz (nem állékony, folyós) talajban a pajzs előtti talajszilárdításnak majdnem egyetlen lehetséges módját adták.
4. Az előrehajtott tárók a homlok víztelenítését — különösen a talptárók — nagymértékben elősegítették, és ezzel elkerülhetővé vált a nagyobb-méretű homlokszakadás.
5. A tárók módot nyújtottak a homlok biztosításának egyszerűsítésére. A homlokbiztosítást tartó mellgerendák a tárókhoz voltak rögzíthetők, és így nem minden esetben kellett a homlok megtámasztó sajtókat használni.
6. A homlok fejtése megosztást nyert és ez a haladást is növelte.

2. A pajzs irányítása

21. A pajzs irányításával kapcsolatos fogalmak és összefüggések magyarázata

21.1. Pajzs helyzetét meghatározó pontok (28. ábra).



28. ábra. Pajzs helyzetét meghatározó pontok

A 28. ábra mutatja a pajzson elhelyezett azon pontokat, melyek mérésének eredményéből a pajzs tengelyének helyzete (tehát a pajzs állása) a vágóél, ill. a faroklemez síkjában mindenkor könnyen számolható. A pontokat úgy



29. ábra. A pajzs vízszintes helyzetét meghatározó adatainak mérése magas állásról

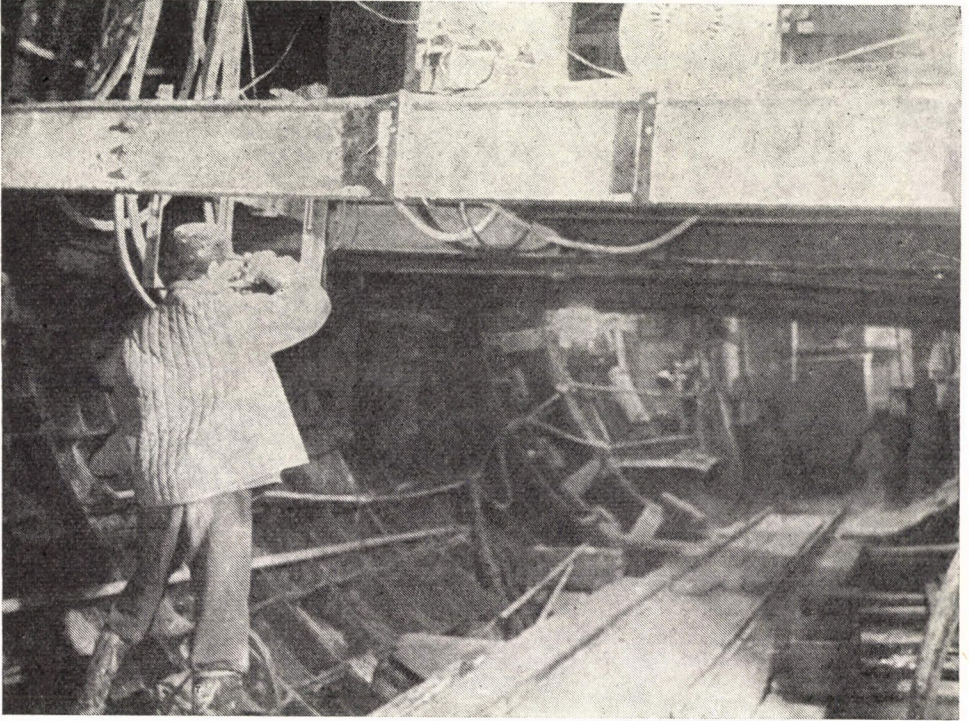
kell elhelyezni, hogy el ne mozdulhassanak. Tekintettel arra, hogy a pajzs tengelye az elméleti tengelyhez képest, melyen tulajdonképpen haladnia kellene, mindig valamilyen térbeli helyzetet foglal el, helyzetét horizontális és vertikális koordinátaival határozzuk meg (29., 30. ábrák).

21.2. Szerelési hézag (31. ábra.)

A pajzs faroklemezében történik a végleges biztosítást szolgáló, palást-elemekből álló alagútgyűrű szerelése. Ezért a faroklemeznek bővebbnek kell lennie. Ez a szerelési hézag általában 30 mm körüli érték. E hézag, ill. ún. tűrés érték, bizonyos mértékig a pajzs méreteitől is függ. Irányhatóság, ívben történő menetel miatt is szükséges. A 29. ábra hosszirányú kapcsolatokkal rendelkező, ún. tübbingekből álló alagútgyűrűt tételez fel.

21.3. Pajzs helyzetét meghatározó adatok és összefüggései (32. ábra.)

Feltételezés: A tübbinggyűrű (alagút) külső átmérője	5500 mm
A pajzs faroklemezének belső átmérője	5560 mm
Szerelési, illetve tűrés hézag	60 mm



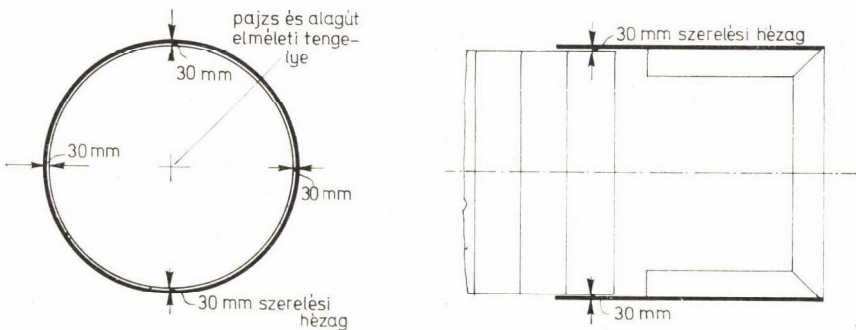
30. ábra. A pajzs magassági helyzetét meghatározó adatainak mérése

A végleges biztosítást hosszirányú kapcsolattal (csavaros) rendelkező öntöttvas tübbingek szolgálják.

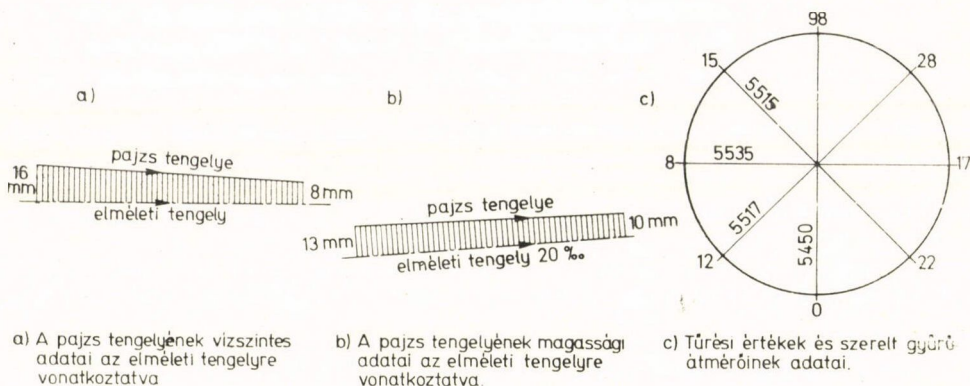
Mi olvasható az ábrák adataiból?

1. A pajzs az elméleti tengelytől balra és fent van. Tendenciája jó, mert enyhe töréssel igyekszik megközelíteni az elméleti tengelyt.

2. A szerelt gyűrű erősen ovális, vízszintes tojás. Annak ellenére, hogy a pajzs az elméleti tengely fölött van, szerelési hézag nincs. Ebből következik,



31. ábra. Szerelési hézag



a) A pajzs tengelyének vízszintes adatai az elméleti tengelyre vonatkoztatva
 b) A pajzs tengelyének magassági adatai az elméleti tengelyre vonatkoztatva.
 c) Tűrési értékek és szerelt gyűrű átmérőinek adatai.

32. ábra. Pajzs helyzetét meghatározó adatok és azok összefüggései

hogyan a szerelt alagútgyűrűk sem követik az elméleti tengelyt, és emelkedésének tendenciája enyhébb emelkedésű, mint kívánatos volna (elm. tengely). Meg kell jegyezni, hogy az átmérőből és tűrési értékekből csak következtetéseket lehet tenni, a gyűrűk pontos helyzetének megállapítására szükség szerint külön mérést kell végezni. Ezt jó, ha előre meghatározott soroknál, ill. méterenként mindentől függetlenül is végrehajtjuk.

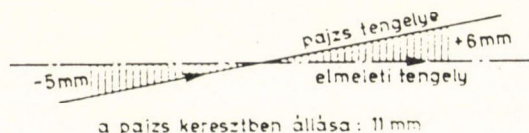
21.4. A pajzs vezetése, irányítása

Pajzs vezetése, irányítása nem más, mint a pajzsot előrenyomása során megfelelő sajtók használatával az ismert pajzshelyzetből a megkívánt pajzshelyzetbe juttatni. Ez a pajzsos alagútépítés egyik leglényegesebb és egyben legkényesebb feladata. Miután a végleges falazatot képviselő alagútgyűrűk szerelése mindig a pajzs faroklemezében történik, a pajzs helyzetei az alagút helyzetét és fekvésének helyességét is determinálják.

2.2 A pajzs irányításának és a sajtók használatának irányelvei

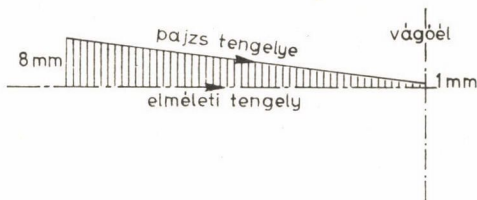
1. A pajzs tengelyével az elméleti alagúttengelyt kell követni.

2. A pajzs vezetése akkor jó, ha a pajzs tengelye az alagút elméleti tengelyétől csak minimális (pár mm) értékkel tér el, és ezen eltérés értékeinek különbsége a vágóél, ill. a faroklemez síkjában (a pajzs keresztben állása) szintén — abszolút értelemben — kicsi érték (33. ábra).



33. ábra. Pajzs keresztbenállása

3. A keresztbenállás nagyságától függően a pajzsnak a helyes helyzetbe való visszatérítését a sajtók megfelelő használatával (esetleg tűzéssel, túlszedéssel stb.) már az előirányzott tengely-találkozás előtt meg kell kezdeni (34. ábra). Megjegyzés: Ennél az állásnál már meg kell kezdeni a pajzs visszatérítését (jobb oldalon több sajtót kell használni).

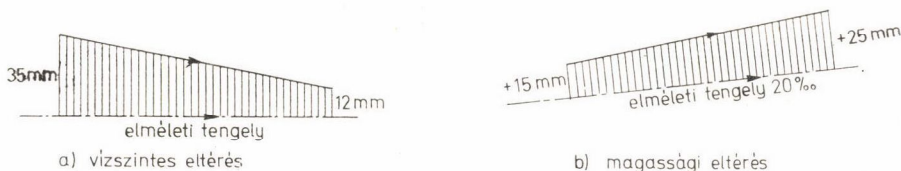


34. ábra. Pajzshelyzet, melynél a visszatérítés már megkezdendő

4. Nagy keresztbenállások esetén az irányítás elkerülhetlenné teszi vagy a megengedett szélső értékek túllépését, vagy a helyreirányítás erő-



35. ábra. Normál eset



36. ábra. Általános, gyakran előforduló eset

szakosabb módját. Mindkét esetben az alagút jósága forog kockán, és a pajzs erősebb igénybevételét is jelentheti. A pajzs enyhe visszatérítése a vonal vezetése szempontjából is mindig előnyösebb.

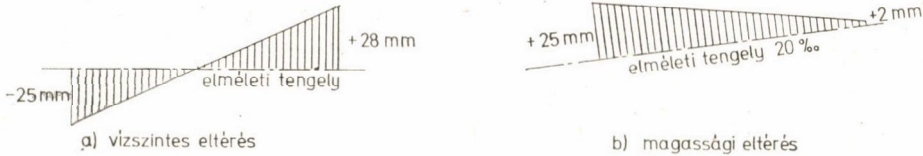
5. Az irányításhoz szükséges sajtók megállapításánál követendő elv:

a) *normál eset* (35. ábra). Normál esetben minél több sajtót kell használni szimmetrikus elosztásban.

b) *általános, gyakran előforduló eset* (36. ábra). Sokszor előfordul, hogy a pajzs keresztbenállása — mind vízszintes, mind magassági értelemben — kezd veszélyes lenni. Ekkor az irányítást legjobban befolyásolni tudó szélső helyeken lehetőleg kevés sajtót kell használni. A sajtók száma fenti elvnek megfelelően csökkenthető vagy növelhető, úgy azonban, hogy a nagy nyomás a sajtók tömítésénél, a kifejtett toleráló nagysága pedig a tübbingekben kárt ne okozzon (törés). Eredményhez szokott vezetni az a gyakorlat is, hogy először például a pajzs előretolási hosszának felén csak magassági értelem-

ben (3 felső sajtót használva) törekszünk a pajzs helyes helyzetének kialakítására, vízszintes értelemben pedig csak ezután.

c) *szélső eset* (37. ábra). Ez esetben nem valószínű, hogy a b) pont alatti sajtók használatával eredményre juthatunk, így az elv alkalmazása mellett a pajzsot kívánt helyzetének elérésében még tovább kell segítenünk. Egyszerűbb esetben segít a talajnak a vágóél előtt pár méteren át a kívánt



37. ábra. Szélső eset

oldalon (példánkban jobb oldalt: a magassági eltérés miatt pedig nem árt a főtérben is) történő túlfertése. Más esetben, a pajzs helyzetének ismeretében, megfelelően elhelyezett ellendúcok alkalmazása vezethet eredményhez (38. ábra). Ellendúcok alkalmazásánál mérlegelendő, hogy ez sem a pajzsban,



38. ábra. Ellendúc a pajzs irányításában való befolyásolására

sem pedig a homlokfalon — esetleg szakadást — nagyobb kellemetlenséget ne okozzon. A pajzs irányításának elve tehát: *A pajzsot lehetőleg kis keresztbenállásokkal vezetni az alagút elméleti tengelye mentén.* Mert mindig könnyebb kis keresztbenállásokból helyére hozni a pajzsot, mint nagy keresztbenállások esetében erőszakosabb módhoz folyamodni.

23. Pajzs irányításának néhány rendkívüli esete

1. A pajzsos alagútépítés leggondosabb kivitelezése során is előfordulnak kisebb-nagyobb szakadások. Érdekes tapasztalatnak számít, hogy a pajzs a szakadás elhárítása után annak irányába igyekszik kitérni az ellen-

irányban használt sajtók ellenére is. Természetesen ez csak abban az esetben igaz, ha a munkamódszer szerint az alsó felszelvényben a vágóéllal a talaj vágatásra nem kerül sor. Ez esetben általában 7–8‰-kel, de előfordul, amikor 15–20‰-kel is ugrásszerűen növeli emelkedését. Magyarán az szolgál, hogy a pajzs a sajtók ellenére is mindig a kisebb ellenállás irányába tér el. Ebben az esetben tehát a szakadás által fellazított talaj irányába. Az irányításra vonatkozóan ebből az a hasznos elv vonható le, *hogy az irányításra használt sajtókon kívül, szélső esetekben, a kívánt pajzshelyzetek kialakítását a vágóél előtt mesterségesen teremtett ellenállással befolyásolni tudjuk.* Általában azonban ezek az esetek adják a legtöbb problémát.

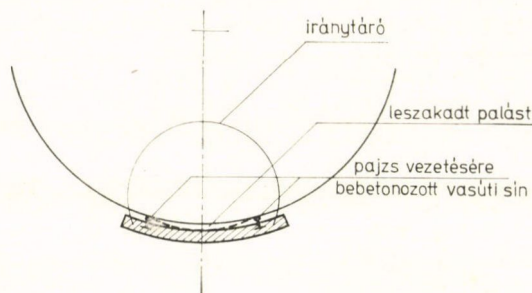
2. Egy esetben pl. a beszerelt sorok a faroklemez helytelen hajtása folytán az előírtnál nagyobb mértékben emelkedtek. A pajzs túlzott emelkedését viszont a legerőteljesebb ellen módszerek (alsó szelvény túlszedés, felső, szorító tűzés alkalmazása, kevés számú sajtó és szorító ellendúcolás használata) együttes alkalmazása sem tudta csökkenteni. A felszíni süllyedések minimális értékre való csökkentése végett a hézagkitöltő injektálással elmaradni nem lehetett. A pajzs emelkedésének folyamatos és lényeges növelése miatt a szerelt sor a faroklemezben majdnem vállig beszorult. A pajzs buktatása miatt az alsó szelvényben válltól lefelé folyamatosan növekvő túlszedést kellett alkalmazni (az irányítás erőszakos befolyásolása). A túljejtésbe a hátul beinjektált habarcs előre folyt, és egy kicsit megkötött. Így a pajzs faroklemezét a szerelt tübbing sor és a megkötött injektáló habarcs befogták. A meg-növekedett pajzsemelkedés megváltoztatására ilyen befogása mellett nem volt mód. Ez a kényszer a szerelési technológia megváltoztatásához vezetett. Meg kellett változtatni a gyűrűk zárását. Nem a főtében, hanem a talpban tettük ezt, szándékolt késleltetéssel, hogy a befogás alól a faroklemez fel lehessen oldani. Az eljárás váratlanul rendkívül eredményes volt. A pajzs emelkedésének az ilyen körülmények között történt előretolásnál már az első méteren 15‰-es csökkenését tudtuk elérni.

3. Nagyobb szelvények hajtása során (8,5 m \varnothing -jú állomási alagutak) szokássá vált, hogy a pajzs előtt iránytárot kell hajtani, és a pajzs vezetésére 2 db bebetonozott sín vagy tartó szolgált. A tapasztalat azt igazolja, hogy az irányítás szempontjából nem szükséges, sőt bajt is okozhat. Azért, hogy a pajzsot a vezető síneken kívánjuk tartani, rendszerint felső sajtókat kell használnunk, és nem tudjuk érzékeltetni kellő gonddal, hogy a vezető sínen, ill. a pajzson milyen koncentrált erő lép fel. Ez rendszerint a bebetonozott sín kiszakításához, a beton feltöltéséhez vezet, mely az irányítás szempontjából még nagyobb gondokat ad. Előfordult pl., hogy egy alkalommal a faroklemez is leszakadt a merevítő gyűrűről (39. ábra).

4. Hasonló, de még kényesebb eset is előfordult irányítási gondatlanságból. Az állomási pajzs fokozatosan kezdett az elméleti tengelytől balra eltérni. Az ok megkeresése nélkül, meggondolatlanul, az erőszakosabb irányítási módhoz folyamodtak. Baloldalt kevés számú sajtót igen nagy tolóerővel használtak. A pajzs köpenye toldási helyén a középső merevítő gyűrű felett ahol a sajtók a tolóerőt átadták, elszakadt. Mintegy 50 mm-es elcsúszás következett be. A megoldás az volt, hogy a pajzs köpenyét ebben a helyzetben behegesztettük, a vágóél előtti túljejtéssel az ellenállást minimumra csökkentettük (a szükséges tolóerő a korábbi 1000 t-ról 180–200 t-ra csökkent) és így a hátralevő 60 m-t a megrokkant pajzssal minden hiba nélkül meg tudtuk építeni. A pajzs eltérések oka, hogy a vállban mintegy 1,00–1,50 m

széles elkövesedett talaj húzódtott, amit a fejtésnél figyelmen kívül hagytak.

5. Nem mindennapi problémát jelentett az alagutak építése során a pajzs tengely körüli elcsavarodása. A pajzs nem volt felszerelve elcsavarodását gátló ún. szárnyakkal. Remélni lehetett, hogy az 1000 m-es, aránylag rövid építési szakaszon belül ilyen probléma nem fog jelentkezni. A pajzs ívben



39. ábra. Koncentrált erő következtében leszakadt palást

haladt és 400—500 m után a csavarodás oly mértékűvé vált, hogy a munkapódiumokon való munkavégzés, az anyagnak pajzsban keresztülről történő szállítása kezdett lehetetlenné válni. Irányítás szempontjából tengely-áthelyezésekkel a kérdést valamelyest megoldottuk, azonban az elferdült munkapadok továbbra is megmaradtak. Minden magyarázat nélkül az elcsavarodást előidéző okok a következők lehetnek:

- a) A pajzsok rossz egyensúlya.
- b) Ívben való haladás miatt, sajtók egyoldali használata.
- c) A pajzs két oldalán különböző talajféleségek vannak, és a biztosítás különböző.
- d) A köpenymenti egyenlőtlen elnedvesedés miatt eltérő nagyságú köpenysúrlódás.
- e) Vágóél, köpeny horpadása.
- f) A tübingek egyoldalú befeszülése a faroklemezbe.
- g) Szélső esetekben használt irányhelyreállítás erőszakosabb módszerei.
- h) A homlok megtámasztó sajtók kitolt dugattyúinak lehajlása, amely a pajzsra fixen erősített hüvelyükbe való visszatolódáskor elcsavaró hatást fejt ki.

Vitatható ugyan, hogy a felsorolt okok előidézhetik-e a pajzs tengely körüli elcsavarodását, és azt milyen mértékben befolyásolják. Az azonban biztos, hogy összeadódnak. Egész sor intézkedés történt, hogy a fent felsorolt, többé-kevésbé szereplő okok megszüntetésével vagy ellene alkalmazott módszerekkel a pajzs további elcsavarodása megakadályozást nyerjen, ill. visszacsavarhatóvá váljék. Ilyen intézkedések voltak:

- a) Ellentétes forgató nyomaték ébresztése ellendúccal.
- b) A köpenysúrlódás minimumra való csökkentése túlszedéssel.
- c) A homlok megtámasztásának a homlok megtámasztó sajtóktól való függetlenítése. (Homlok megtámasztó sajtók kikapcsolása. A homlok a pajzsban keresztülről, tübingekről nyert megtámasztást.)
- d) Ellentétes forgató nyomaték ébresztése a pajzs egyoldalú terhelésével (öntecsekkel való leterhelése).

e) Az irányítási hibát szándékosan eltérve, folyamatosan elkerülni az egyoldalú nyomatásokat.

f) Fentiek együttes alkalmazása.

Az alkalmazott módok mindegyikéről elmondható, hogy részeredmény elérhető vele. A teljes eredmény azonban az együttes alkalmazásukkal sem következett be. Világossá vált, hogy a feltételezett okokon kívül, más befolyásolja a pajzs elcsavarodását. A pajzs előrehajtása során szokásos jegyzőkönyveket kellett azután vizsgálat alá venni. E jkv-ekből statisztikus módon (több részadat vizsgálata) megállapítást nyerhetett, hogy a pajzs csak bizonyos sajtók használatakor csavarodik. E sajtók vizsgálata pedig megmutatta az



40. ábra. A pajzs visszacsavarása egyszerű vasékkal

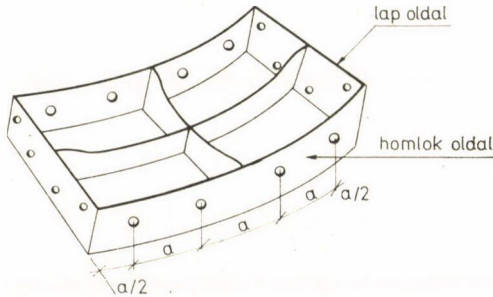
igazi okot. Megállapítást nyert, hogy e sajtók tengelye nem párhuzamos a pajzsköpeny alkotójával, s a párhuzamostól eltérő tolóerő függőleges erőkomponense, a pajzs tengelyre vonatkoztatott forgatónyomatékával okozza a pajzs elcsavarodását a pajzs előretolása során. A tényleges ok felderítése után már nem volt probléma a pajzs visszacsavarása sem. Csak ellenkező erőkomponenseket kellett ébreszteni. Ezt a gyakorlatban egyszerű vasékkal értük el (40. ábra).

A fentiek nagyon leegyszerűsítették a kérdést. A tolósajtók vizsgálatával és a szükséges korrekciókkal a tolósajtók ébresztette lényeges forgatónyomaték kiküszöbölést nyert. Szélső helyen állíthatóvá szerelt tolósajtóval tetszőleges hatású forgatónyomaték ébresztésére vált lehetőség. Végső esetre marad mindig a vasék használata, melyet a legnagyobb nyomatékot ébresztő sajtók elé helyezve, bármilyen oknál fogva bekövetkezett elcsavarodást korrigálni lehet.

3. Végleges biztosítást szolgáló alagútgyűrű elemeinek szerelésével kapcsolatos kérdések

31. Biztosítást szolgáló alagútgyűrűről és elemeiről (tűbbingekről) általában

A gyűrű elemei anyagát tekintve lehet öntöttvas és előre gyártott vasbeton, szerkezetét illetően csavaros és blokkok esetében csuklós kapcsolatú (elsősorban vasbeton blokkoknál). Geometriai adatai az alagút kerületétől a választott elhelyező berendezéstől és módszertől, valamint a pajzs előretolási hosszától függenek. A pajzsok sajtói általában 1,0 m-es lökethosszat



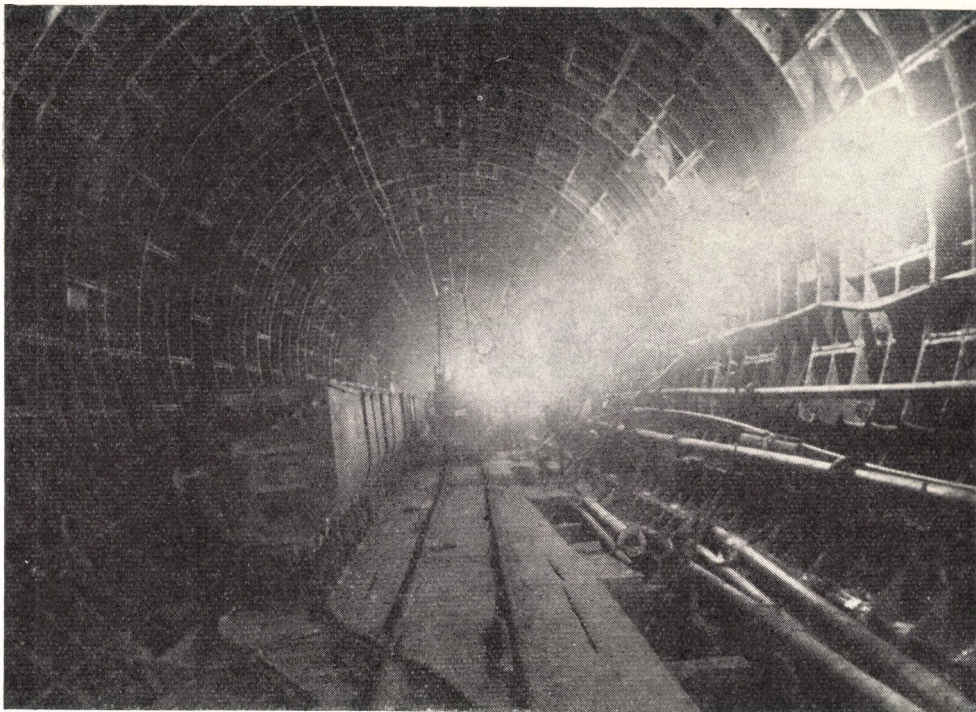
41. ábra. Tűbbinggyűrű normál eleme

tudnak biztosítani, tehát az elemek szélessége ennek megfelelően 1,0 m. Hossza a kerület megfelelő felosztásából adódik, figyelemmel a záró és ezt közrefogó két elemre. Utóbbi idők törekvése, hogy egy alagútgyűrűt minél kevesebb elemből álljon. Egy gyűrűn belül a normál tűbbingekkel együtt általában három-, legfeljebb négyféle elemtípus fordul elő éspedig a normál, a záró a két mellette levővel és az alsó, úgynevezett talpelem. A 41. ábra a csavaros kapcsolatú öntöttvas alagútgyűrű normál elemét mutatja. A csavarlyukak kiosztása a homlokbordákon állandó, hogy a tűbbinggyűrűk egymáshoz képest eltolhatók, tehát elemei kötésben szerelhetők legyenek. A csavarlyukak mérete 2—4 mm-rel bővebb, mint a csavarátmérő, a szerelés könnyítése végett. A homlokcsavarok az alagútgyűrűk hosszirányú kapcsolatát adják, a lapcsavarok a gyűrű alakját és egységes szerkezeti viselkedését biztosítják. Az elemek szerelése mindig a pajzs faroklemezében történik (42. ábra). A továbbiakban az öntöttvas-tűbbingek szerelése terén szerzett tapasztalatokat tárgyaljuk, melyek a pajzsos alagutak klasszikus béléselemei.

32. Öntöttvas-tűbbingekből szerelt alagútgyűrűkkel kapcsolatos kérdések

A faroklemezben szerelt gyűrű helyzetéről „A pajzs irányításával kapcsolatos fogalmak és összefüggések magyarázata” című fejezet 3. pontja szerint általános képet kapunk. E pontban elmondottak szerint a faroklemez helyzetének ismerete és a szerelt gyűrű faroklemezben elfoglalt helyének közelítő adatokkal történő meghatározása sokat mondhat, azonban ez nem mindig elég. Tekintettel arra, hogy a csavaros kapcsolat bizonyos merevséget ad a gyűrűknek, az egymáshoz szerelt gyűrűk tényleges tengelye, vagyis az alagút tényleges tengelye eltérő tendenciájú lehet az alagút elméleti tengelyétől. Ennek ismerete igen fontos. Itt is érvényes a pajzs irányításánál kimont-

dott alapelv, hogy kis eltérések helyrehozása mindig egyszerűbb feladat, mint megvárni az eltérések mértéken túli megnövekedését. A megépített alagútgyűrűk tényleges helyzetének megállapításával kapcsolatosan felmerülő



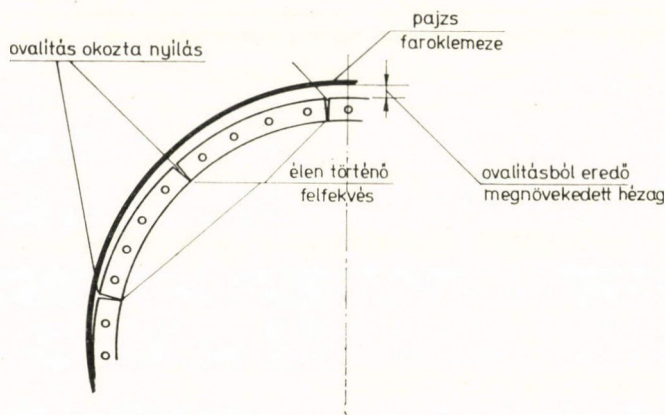
42. ábra. Öntöttvas tübbingekből szerelt alagútszakasz

fogalmakat és azok jelentőségét, a fellépő hibákat és azok megszüntetésére hozható intézkedéseket az alábbiak szerint lehet csoportosítani:

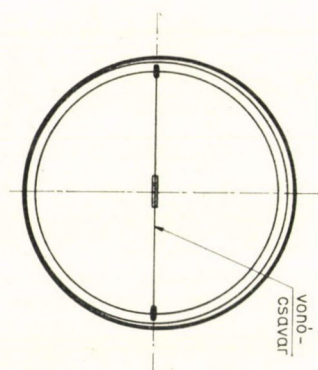
321. *Ovalitás*

Megállapítása egyszerűen az átmérők mérésével történik, természetesen a két főirányon kívül a mellékirányokban is. Az ovalitás legtermészetesebb formája a lapos „tojásalak”. A gyűrű elemeinek szerelésénél ez az önsúly okozta, természetes következmény. Nem elhanyagolható jelenség. Az ovalitás növekedése a szerelési nehézségek növekedésével jár. Szerelési nehézségen kívül velejárója, hogy a gyűrű elemei — a tübbingek — nem lapjukon fekszenek fel, hanem azok élén, és az így ébredő élfeszültség bajt okozhat, különösen vasbetonelemek esetén. Öntöttvas tübbingek esetében tapasztalat szerint az élfeszültségnek nincs jelentősége. Az ovalitás mértékének érzékelésére a gyakorlatnak egyszerű módja van, mégpedig a pajzsból a beszerelt gyűrű homloksíkjának vizsgálata. A 43. ábra jól mutatja az elemek csatlakozásánál ovalitás következtében keletkezett nyílásokat és ezeknek a pajzs faroklemezéhez mutató viszonyát. Az ovalitás megelőzésének legegyszerűbb módja a függőleges „tojás” létesítése. Ennek és a már meglévő ovalitás kiküszöbölésé-

nek eszköze a vonócsavar (44. ábra). Követendő mód lehet, hogy a faroklemezben az alsó félszelvényben már beszerelt felső vonócsavart kap, s ennek méretre történő húzása biztosítja a kört, ill. a függőleges „tojást”. Igen kevés esetben küszöbölhető ki ilyen egyszerűen az ovalitás. Hiszen az előző sorok,



43. ábra. Ovalitás

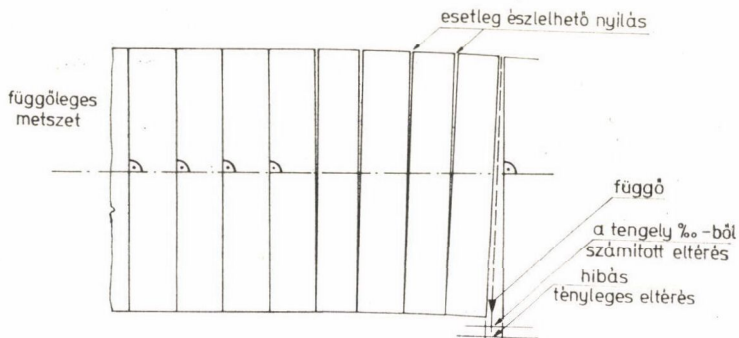


44. ábra. Ovalitás kiküszöbölésére vonó-csavar

gyűrűk is tartalmazzák már. Ebben az esetben 3—4 gyűrű mindegyikét el kell vonócsavarral látni, s ezek meghúzása előtt a gyűrűk homlokcsavarait jó megengedni és a vonócsavarokat is a lehetőség szerint jól meg kell húzni. Súlyosabb esetben a pajzs előrehaladását követő szerelt sorokon át folyamatosan végzendő. Azért nem egyszerű a kérdés, mert hiszen a felszíni süllyedések csökkentése végett a pajzsot követő sor már mindig ki kell, hogy injektálva legyen, s ez a gyűrűnek befogást adva, az ovalitás kiküszöbölése ellen hat. Az eljárás mellett hasznosan lehet alkalmazni a hidraulikus sajtókat is. Nem engedhető meg a faroklemez és tübbing közötti méretre történő ékelés, mert ez a faroklemez deformációjához vezethet. Tapasztalat szerint a dolgozók bizonyos begyakorlottsága után a csavarok, különösen a lapcsavarok, gondos, lelkiismeretes jól történő meghúzásával az ovalitás teljesen kiküszöbölhető, vagy tűrhető — értéken alulra szorítható.

32.2. A gyűrű az adott emelkedőhöz képest túlemelkedik vagy bukik

Megállapítása nagyon egyszerű. Bár a gyűrűk közötti hézag észlelése nem olyan szembetűnő, de ezek vizsgálata is már valamilyen tájékoztatást ad (a 45. ábra egy bukásban levő alagutat mutat). Megbízható adatot azonban a függő mutatta eltérés ad. E mérést jó minden beszerelt sornál elvégezni. Eltérés esetén megoldáshoz vezet a pajzs előretolása során — a vázlat szerinti esetben a felső szelvényben — visszamenőleg több gyűrű homlok csavarainak erős meghúzása, kihasználva a tolóerőnek a gyűrűkre ható összenyomását.

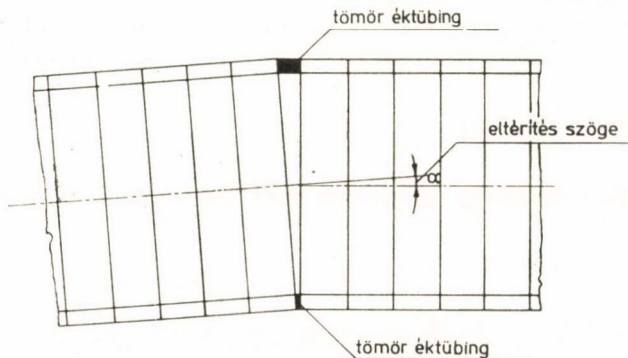


45. ábra. Bukás nagyságának egyszerű megállapítása



46. ábra. Kis eltérést előidéző lemez

Ha nem vezetne eredményhez, az alsó szelvényben a gyűrűk közé megfelelő anyagú és vastagságú lemez helyezendő vigyázva, hogy a gyűrű *visszatérítése ne legyen túlzott, hogy később ellenkező értelmű eltérés keletkezzék* (46. ábra). Alkalmazható e mód több soron át is. (Ez a jobb.) Szélső esetben kerülhet sor az ún. „ék” tübbing alkalmazására (47. ábra). Az éktübbing nem más, mint két gyűrű közé szerelhető, előre meghatározott hajlású (szögeltérést adó),

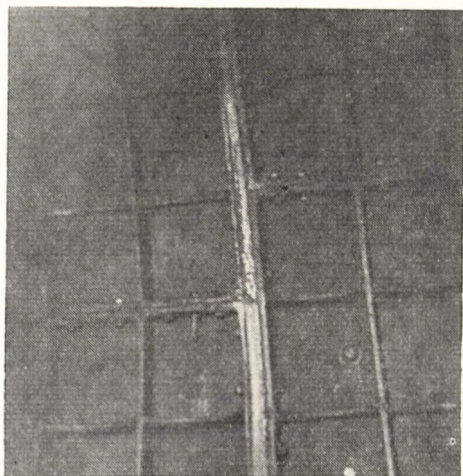


47. ábra. Ék-tübbing

tömör és a homlokléület méretével megegyező méretű elemekből álló tübbing-gyűrű. Éktübingek szabályszerű alkalmazására permillváltozásoknál vagy ívekben kerül sor. Az éktübingek lyukkiosztása megegyezik az alagútgyűrűk tübbingeinek lyukkiosztásával. Így a homlokon eltolható és ezzel a térben az alagút tetszés szerinti irányba terelhető (48. ábra).

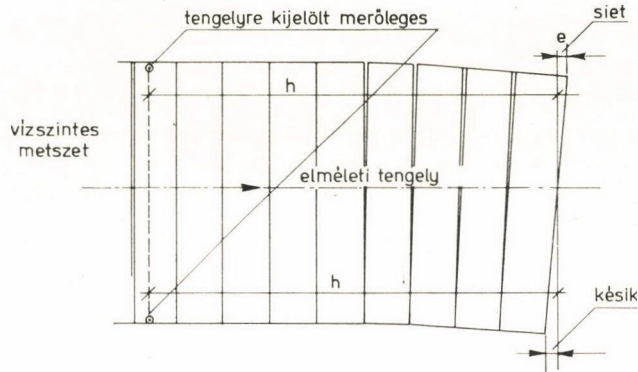
32.3. A gyűrű „késik-siet”

A gyűrű nemcsak függőleges értelemben térhet el az elméleti tengelytől, hanem vízszintesen is. Ebben az esetben használjuk a fenti fogalmat. Pontos



48. ábra. Ék-tübbing alkalmazása

meghatározását a 49. ábra mutatja. Az elméleti tengelyre vízszintes síkban állított merőlegeshez képest a szerelt sor homloksíkjának helyzete adja, hogy az épített alagút-gyűrű melyik oldala siet, ill. késik. (A vázlatban jobb oldal: siet, bal oldal: késik.) A gyakorlatban a már megépült alagútszakaszban kitűzött és megjelölt merőlegeshez képest egyszerű hossz-méréssel gyorsan meg-



49. ábra. „Késik-siet” mértékeinek megállapítása

állapítható a beszerelt alagútgyűrű ilyen értelmű helyzete. A jelentkező hiba kijavítása a 32.2. pont alatt mondottakéval megegyezik. A 32.2. és a 32.3. pontok alatt elmondott eltéréseket a szerelési pontatlanságokon, lazaságokon kívül az egyes gyűrűk közé került anyag, esetleg a tübbing homloksíkjának tisztátalansága is okozhatja. Tübbingek szerelése előtt a fentiekre gondot kell fordítani.

32.4. Az alagút irányának tendenciája

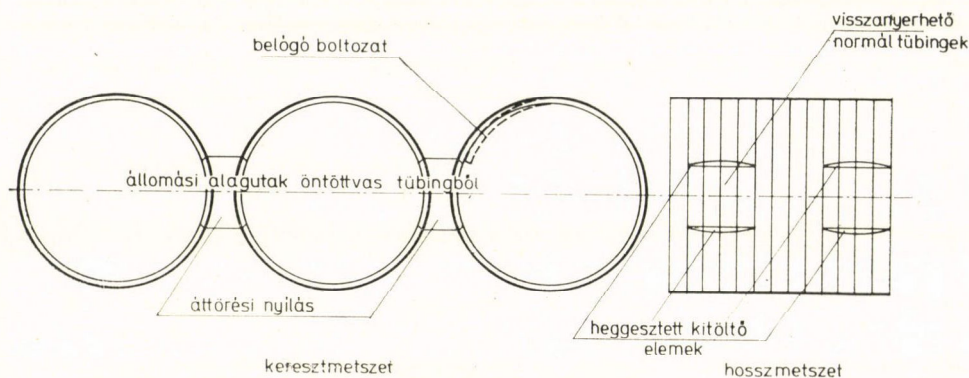
A 32.2. és a 32.3. pontok alatt elmondottak megértése után éreznünk kell, hogy ha a keletkező hibákat nem javítjuk ki, az alagút tengelyének iránya kezd eltérni a megkívánt elméleti tengelytől, és ez az eltérés az előrehaladás során csak nő. Mivel a pajzs az elméleti tengelyben kívánunk maradni, és a tübbinggyűrűk szerelése a pajzs faroklemezében történik, könnyű elképzelni, hogy a hosszirányú csavaros kapcsolat merevsége révén ez esetben egy idő után milyen gyilkos szerelési nehézségek állhatnak elő. A legszembetűnőbb körülmények között folyó alagútépítés esetében is szükségesnek látszik meghatározott számú gyűrűk után a fentiek kontrollálása, a hibák időben történő, lehetőleg legegyszerűbb módon való kiküszöbölése, hogy a folyamatos építésben zavar ne keletkezhessék.

33. Tübbinggyűrűk szerelésével járó nehézségek érdekesebb esetei

33.1. Áttörési nyílás hagyása után a gyűrű nem volt kapcsolható (50. ábra.)

Állomási alagutak építése nyitott állomási fúrópajzsokkal történt. A végleges biztosítást öntöttvas tübbingekből épített gyűrűk adták. A peronhoz való

hozzájárását biztosító áttörési nyílások helye előre gyártott (csavaros kapcsolat nélküli) kitöltő elemekkel és könnyű tübbingekkel történt, hogy a folyamatos alagútépítés biztosított legyen. Egy esetben, a 6. sor szerelése után a 7. gyűrű az áttörés után az első teljes tiszta sor, már nem volt a 6. sorhoz kapcsolható, mert az előre gyártott, hegesztett kivitelű kitöltő elemek gyengének bizonyul-



50. ábra. Áttörési nyílás

tak, és ennek következtében az áttörés feletti tübbingek alkotta boltozat mintegy 8–10 cm-t besüllyedt. Felemelése hidraulikus sajtókkal sem volt lehetséges, mert a felette levő talaj már ráült. Egyetlen megoldás maradt, hogy egy keresztárót kellett az alagúton kívül a boltozat fölött hajtani. Ezzel tehermentesíteni lehetett a tübbing sorokat, és ezután hidraulikus sajtókkal felemelni a belógó boltozatot.

33.2. A szerelt tübbinggyűrűk és a pajzs tengelyeinek tendenciái ellentétesek

Egy alkalommal, sajnálatos félreértés következtében, a magassági töréseknek éktübbingekkel való létrehozása elmaradt. Következménye tanulságos lehet. A pajzs, az irányítási elveknek megfelelően, az alagút elméleti tengelyén haladt. Az éktübbingek elhagyása révén a tübbinggyűrűk nem követték a pajzs terv szerint irányított emelkedését, sőt egy idő után visszatartották azt. A gyűrű és a pajzs irányeltérése miatt a gyűrű teljes alsó felületével ráfeküdt a faroklemezbe, és igen nagy szerelési nehézségeket okozott. Ez a felfekvés nem hagyta a pajzsot megfelelően emelkedni, és azt a tervezettnél mindig nagyobb emelkedővel, de a tervezett tengely alatt, sokszor önmagával párhuzamosan lehetett előre vinni. Mire azonban a szerelési nehézségek miatti vizsgálat a hibát kiderítette, 50 méteren 274 mm-t emeltük éktübbingek beépítése nélkül az alagutat — kínos szerelési nehézségek árán. Tapasztalatként ide sorolható a „Pajzs irányításának pár rendkívüli esete” cím alatt tárgyalt 2. pont alatti eset is. Hiszen itt is a szerelésben tett módosítás vezetett eredményhez. Az eset fentiek megfordítottja volt.

33.3. Gyakran előforduló esetek, megoldások

a) A szerelési technológia lazulása, ellenőrzésének felületessége, a pajzs irányításával kapcsolatos problémák és még sok más ok is, elkerülhetetlenné

teszik, hogy a faroklemezben szerelendő gyűrűk szerelésével olykor-olykor nehézségek ne legyenek. A szerelés általában az alsó szelvényben kezdődik és szimmetrikusan mindkét oldalon folytatódik. A fent említett okok miatti hibák, így a felső szelvény, majd pedig a záró elem elhelyezésénél összegeződnek. Előfordul ilyenkor, hogy a záróelem elhelyezése szinte lehetetlen, vagy igen hosszadalmas időt venne igénybe. Ilyenkor, ha a talaj megengedi, zárás nélkül kell előretolnunk a pajzsot, és most már a záróelem a faroklemez által megszabott korlát alól felszabadított gyűrűbe utólag hidraulikus sajtó segítségével beszerelhető lesz.

Megoldás szokott lenni ilyen esetekben a zárásnak az alsó szelvénybe való levitele is. Különösen akkor ajánlható ez a megoldás, ha a talaj rossz, és tartani kell attól, hogy a záróelem hiány miatti nyíláson a bepergés veszélyes lehet.

b) Sokszor adódik az, hogy a szerelt gyűrűk és a pajzs tengelyeinek iránya ellentétes. Az eltérésnek nem kell nagyak lennie, hisz a faroklemez sugara csak mintegy 30 mm-rel bővebb. A tübbingek szerelése a faroklemezben történő felfekvés miatt rögtön nehezül. Ilyenkor a szerelési nehézségek csökkentése, továbbá a folyamatos munka fenntartása, majd a gyűrű irányának fokozatos megváltoztatása végett, *a pajzs irányításával alkalmazkodunk a szereléshez, ill. az összeszerelt gyűrűk mutatta irányhoz.* Természetesen a megszabott hibahatárokon belül.

c) Elképzelhető és előfordult eset már, hogy a pajzs valamilyen oknál fogva az elméleti iránytól lényegesen eltért s vele együtt a tübbing-sorok is. Tehát az alagút bizonyos szakaszon helytelen irányban épült. Az alagútépítés nem állhat meg. Ilyen esetben nem marad más hátra, mint a rosszul épített alagútszakasznak utólagosan gyűrűként történő átépítése. Igen költséges javítási mód.

d) Talán még említésre méltó a megoldásnak az a lehetősége is, hogy — ahol a talaj megengedi és 1,00–1,50 m-t kifejtett állapotban hosszabb ideig dúcolatlanul állni tud, továbbá az építendő szakasz aránylag rövid — pajzs nélkül egyszerűen tübbinggyűrűk szerelésével építsünk alagutat.

e) Igen fontos kérdés annak tudatban tartása, hogy a pajzs előretolása a beszerelt gyűrűről, a sajtói által történik. Soha nem szabad megfeledezni tehát — hibák kijavításánál alkalmazott erőszakosabb megoldások esetében különösen nem —, hogy *a gyűrű elemeinek szilárdsága és a tolóerő között összefüggés van.* Az alkalmazható tolóerő nagyságának a tübbing vagy blokk szilárdsága határt szab. Az esetleges károsodásokkal szemben a sajtók és a gyűrű közé helyezett teherelosztó gyűrű igen előnyös lehet.

4. Járulékos munkák

1. Injektálás — felszíni süllyedés

2. Vízelenítés

41. Injektálás — felszíni süllyedés

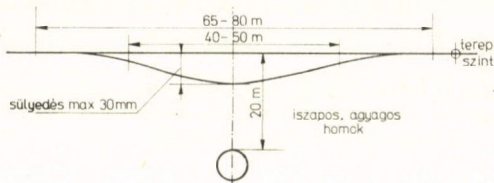
Az injektálás nem szorosan vett alagútépítési munka, azonban annak elengedhetetlen tartozéka — különösen város alatt épülő alagutak esetében. Céljának megfelelően kétféle injektálási munkát különböztetünk meg:

- a) Hézagkitöltő injektálást.
 b) Úgynevezett víztelenítő injektálást.

Elsősorban a hézagkitöltő injektálásról kell beszélnünk. A pajzs előrehaladva, a köpeny vastagságának, és az ún. tűrési, szerelési hézagának megfelelően, űrt hagy hátra. Ezt az űrt csak növeli a főtében az alagútgyűrű természetes lapos „tojásosodása”. Ez együttesen (~30 mm vas-köpeny + 30 mm tűrési érték + 30 mm megengedett tojásosodás) közel 90 mm-t is kitehet. Ezt az értéket a pajzs és gyűrű tengelyeinek excentricitása még tovább növelheti. (Fenti értékek a pajzs és tübbing megengedett helyzetéből adódnak és építési hibát még nem tartalmaznak.) Így a főtében a hézag könnyen lehet 120 mm is. Ezen érték elég ahhoz, hogy — a felső talajrétegek anyagától független — az időben végbe-menő lazulás a felszínen káros hatású felszíni süllyedéseket okozzon. *E káros süllyedéseket a pajzs előrehaladását szigorúan követő hézagkitöltő injektálással lehet elkerülni.* A habarcs anyaga lehet gyöngy-kavics, cement-habarcs vagy a kitermelt anyagból őrlés útján és hozzáadagolt szilárdítóból előállított habarcs. Az injektálás végrehajtásának elve, hogy a faroklemezbe szerelt gyűrű a pajzs elöretolása után már ki legyen injektálva. Ez esetben felmerül a kérdés, hogy ha a pajzs valamilyen oknál fogva megáll, nem köti-e meg a habarcs a pajzs faroklemezét? Ezért a pajzsot minden körülmények között, ha pár mm-t is, de meg kell mozdítani és ezzel a kötést megszakítva e veszélyt el lehet kerülni.

Az injektálási munka látszólag nem okozhat problémát. A tapasztalat azonban mégis az, hogy eredményes végrehajtásáig sok gondot adhat. Tekintettel arra, hogy takart munkáról van szó, ellenőrzése is nehéz. Jóságát kizárólag a felszíni süllyedések tükrözik hűen. Éppen ezért eredményes lehet, ha e munkával foglalkozók bérét a felszíni süllyedés értékeivel kapcsoljuk össze, vagy a kedvező eredményt külön honoráljuk.

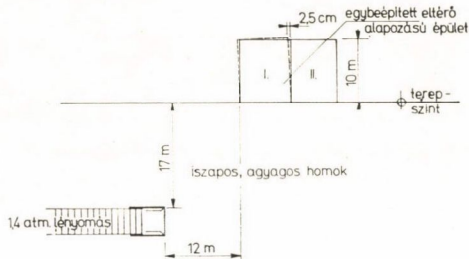
A felszíni süllyedések a pajzs feletti talajréteg vastagságától, anyagától, annak rétegződésétől függően már a pajzs előtt is jelentkeznek. Lefolyásokra jellemző, hogy a mértékadó süllyedés aránylag rövid idő alatt megy végbe. Szemcsés talajban esetleg pár óra alatt, míg kötött talajban 1–2 hét is eltelhet. A teljes konszolidáció azonban 1,5–3 hónapig is eltarthat. A süllyedés nagyságának maximuma természetesen az alagút tengelyében van és maga a süllyedés igen széles zónában is észlelhető. Az 51. ábra a mondottakat kívánja



51. ábra. Felszíni süllyedési zóna

érezkelteni. Természetesen előfordulhatnak rendkívüli esetek is. Mert például az első fejezet d) pontja „Egy-két jellegzetes szakadás leírása” cím alatt leírt szakadás esetében, amikor is a légnyomás levétele után kis nyíláson folyt be az anyag, a süllyedés maximuma nem az alagút felett keletkezett, hanem attól mintegy 40–45 m-re. A szakadással kapcsolatosan leírtak valamilyen magyarázatot adnak a jelenségre. Figyelemre méltó az alábbi

eset is (52. ábra). A pajzs 12 m-re volt már az ábra-szerinti egybeépített, de más-más időben épült különböző alapozású két épülettől, amikor azok, az az I-es épület 15 mm-es süllyedésénél, elváltak. A teljes süllyedés 34 mm volt. Az elváláson kívül káros repedés vagy egyéb kár nem keletkezett.



52. ábra. A pajzs épület előtt és hatása

Az esettel kapcsolatosan keltett pánik azonban elég volt ahhoz, hogy az injekciós munkák technológiai fegyelme megteremtődjék, összhangba kerüljön a pajzs előrehaladásával és biztonságos talajfejtéssel. A hátralevő, mintegy 700 méteren egy esetben fordult elő 19 mm-es süllyedés és a süllyedési értékek általában mind 10–15 mm alatt mozogtak. E hosszon két esetben kellett elmenni gyárkérmény alatt. Az egyik 7 mm, a másik 8 mm-es egyenletes süllyedést szenvedett csak, pedig a talajviszonyokat nem lehetett a legjobbaknak mondani.

42. Víztelenítés

A talajvíz alatt épített alagutak legnagyobb problémája. Nem alagút-építési kérdés, de a teljesség kedvéért röviden, elvekben mégis megemlítendő. Talán ha csoportosítani lehetne az ezzel kapcsolatos tevékenységet, akkor két csoport említendő. Egyik: azok a törekvések, melyek a végleges biztosítást szolgáló alagútfalazatot kívánják olyanná tenni, hogy víz ne, vagy minimális jöhessen az alagútba. A másik törekvés a bejövő vizek csökkentésével, ill. elzárásával kapcsolatos. Tapasztalat szerint eddig az öntöttvas tübbingekből épített alagutak adták e tekintetben a legjobb eredményt. A bejövő víznek injekciós minimumra való szorítása után az elemek csatlakozásánál levő fugák ólommal, vagy duzzadó cementtel történő kitömődékelése, a csavaranya és fej alá helyezett megfelelő alátét alkalmazása, biztosítják legkönnyebben a száraz alagutat. Az alagútba bejövő vízmennyiség minimumra való csökkentésének egyik legmegbízhatóbb módja az ún. víztelenítő injekciós. Ha az alagútépítés légnyomás tartása mellett folyik, akkor a víztelenítő injekciós munkának légnyomás alatt történő elvégzése — a már ismertetett okok miatt is — előnyös. Víztelenítő injekciós eredménye fokozható, ha több lépcsőben végezzük a használt szuszpenziókat megfelelően. Például cementtej, cementtej bentonit és végül tiszta bentonit alkalmazása igen eredményes lehet. Természetesen a szuszpenzió besajtolásához szükséges nyomást is lépcsőként valamivel mindig emelni kell (pl. 8–10–12 atm.). Mindig vigyázva arra, nehogy az alkalmazott nyomás tübbingelemeket törjön. Talán említésre méltó, és az utóbbi időben mind gyakrabban történnek is próbálkozások a mű-

anyaggal történő vízkizárásra. Egyelőre probléma a műanyagnak vizes felületre történő felhordása és időállósága. Ha e kérdés megnyugtatóan megoldódik, akkor a talajvíz alatt épített alagutak víztelenítésével járó sok nagy gondot okozó probléma nyerne megoldást.

5. Szállítási, kiszolgálási és szervezési kérdések

Látszólag e fejezet témája lenne a legegyszerűbb. De csak látszólag, mert a fejezet kérdéseit a körülmények, lehetőségek határozzák meg elsősorban. Az is igaz ugyan, hogy az alagút építése szempontjából nem játszhatnak döntő szerepet, azaz nem okozhatnak akadályt az építés folyamatosságában, de azért az építés-vezetés részéről igen gondos előkészítést kívánnak meg. Rossz anyagellátással, kiszolgálással és szervezéssel egyébként kedvező talajviszonyok mellett zökkenőmentesen építhető alagútépítést is tönkre lehet tenni. Éppen ezért szükségesnek látom az alábbiakban azokat a szempontokat is röviden megemlíteni, amelyek segítséget adhatnak a jobb, folyamatos alagútépítéshez. Mielőtt azonban e szempontok részletezésére kerülne sor, a legfontosabb általános szempontot kell megemlíteni, azt ugyanis, hogy *szállításról, szervezésről és kiszolgálásról mindaddig mértékadóan nem eshet szó, amíg az alagútépítésről teljes elképzelésünk nincs, főbb mennyiségeit nem ismerjük, s az előrehaladás reális lehetősége, célja felmérést nem nyert.*

51. Szállítás

Megkülönböztethetünk az alagútban mély, függőleges és felszíni szállítást. E megkülönböztetést elsősorban a felszerelések különbözősége adja. Város alatti alagutak egy-egy szakaszának építése meghatározott időn belül kell, hogy megtörténjék. Ez rendszerint egyidőben több munkahely létesítését kívánja meg. A munkahelyek általában ott létesülnek, ahol az alagút üzemeltetése miatt szellőzőaknákat is kell létesíteni. Nem döntő szempont, de kedvező, ha már a szellőzőakna helyének megválasztásánál is függőleges, és a felszínen létesítendő szállítási berendezések területigénye szerepet kap. A mély, függőleges és a felszíni szállítás felszerelésének meghatározásánál a szállítandó anyagok mennyiségén kívül, azok egymás közt időnként változó aránya is mértékadó lehet. De döntően befolyásolhatja a mélyről, függőlegesre majd felszíni, vízszintesre való áttérés felszerelés igénye is. Azok a berendezések látszanak jónak, melyek elvben egyszerűek, biztosítják a folyamatosságot, meghibásodásuk nem gyakori, és a hiba egyszerűen javítható. Légnyomás alatt épülő alagutak esetében az átzsilipezés, mint szükséges rossz, további nehézséget okozhat. Ma már mindenképpen az a jó megoldás, amikor az anyagok szállítóeszközük szintjének megváltoztatása nélkül, esetleg a ki-be menő szállítást egyidőben tudják végezni, teljesen elkülönítve a személyforgalomtól.

A szállítás módjának, eszközeinek megválasztása, az egész alagútépítés függvényében, gazdaságossági számítási eredménye kell, hogy legyen. Bár látszólag az alagútépítés összes költségéhez viszonyítva nem látszik jelentősnek, mégis a kivitel gazdaságosságát nagymértékben befolyásolni tudja.

52. Kiszolgálás

Kiszolgálás alatt tulajdonképpen a beépítésre kerülő anyagok előállítását és a beépítés helyére történő [eljuttatását, lényegében az alagút megvalósításához szükséges kézi mellékmunkát kell értenünk. A kiszolgálás akkor jó, ha az alagútépítés folyamatossága biztosított.

53. Szervezés

Az építés-vezetés részéről egyik legfontosabb tevékenység. Minden vonalas munka gazdaságossága tulajdonképpen annak szervezett végrehajtásában rejlik. Fokozottabban érvényes ez az alagútépítésre, elsősorban nagy térfogatánál fogva. Ha egyáltalában szabad és lehet a szervezés szempontjait taglalni, akkor az alábbi három fő szempont említendő:

1. Az építés technológiai fegyelmének megteremtése és fenntartása.
2. Építésben a folyamatosság feltételeinek biztosítása.
3. Béregyensúly fenntartása.

A tapasztalat mutatja, hogy egészséges szervezés mellett, azonos feltételeknél egy éven belül] közel kétszeresére lehet emelni a teljesítményt az indulás első heteinek átlagához képest, minden műszaki fejlesztés nélkül, kizárólag az alagútépítésben nyert begyakorlottság és a munka szervezettebbé tétele alapján. Természetesen ez nem történhet az építés technológiai fegyelmének rovására.

Befejezés

A városi alagutak építésének jelentősége egyre nagyobb. A fejlődés a nehézkes, munkaigényes és lassú bányászati módszereket lassan teljes egészében kizárja. Helyükbe itt a pajzsos alagútépítési mód lép.

A leírtak a nyitott pajzsos módszerrel szerzett tapasztalatok egy-két különleges esetét kívánták adni. Nehéz lenne értékelni most, hogy melyik fejezetnek van az alagútépítés szempontjából nagyobb jelentősége, mert ha az alagútépítés bármelyik munkafázisában törés, hiba, munkakiesés következik be, annak gazdasági vonatkozásai egyaránt súlyosak. Ha mégis súlyozni kellene, természetesen a talajjal, annak biztosításával kapcsolatos ismeretek, tapasztalatok a legfontosabbak, éppen a talaj adta bizonytalanság miatt. *Mindig jobb egy biztonságos fejtési eljárással jó átlagos előrehaladásra mint kockázatvállalással kimagasló teljesítményekre törekedni.*