

**VÍZÉPÍTŐIPARI
KIADVÁNYOK**



Injektálási módszerek a víz- és mélyépítésben

34

84.581 – Internress. Budanest

1.	Bevezetés	1
2.	Általános rész	11
2.1	Fizikai eljárások	11
2.2	Kémiai eljárások	12
2.3	Az injektálás célja	13
2.3.1	Vizzárás	14
2.3.2	Szilárdítás	14
2.4	Az injektálási módszerek fejlődése	15
2.5	Injektálás	16
2.5.1	Talajvizsgálatok	16
2.5.2	Injektáló anyagok	18
2.5.2.1	Habarcscok	18
2.5.2.2	Kémiai anyagok	18
2.5.2.2.1	Egyfolyadékos eljárás- sok, gélek	19
2.5.2.2.2	Gyanták	19
3.	Elterjedtebb injektálási módszerek és anyagok	21
3.1	Habarcscok	21
3.1.1	Instabil keverékek	21
3.1.1.1	Cementalapú habarcscok	21
3.1.1.1.1	Cement szuszpenziók	23
3.1.1.1.2	Cement habarcscok	24
3.1.2	Stabil keverékek	24
3.1.2.1	Cement-agyag habarcscok	25
3.1.2.2	Cement-bentonit habarcscok	26
3.1.2.3	Habarcscok töltőanyagokkal	26
3.1.2.4	Vízüveg alapanyagu habarcscok	27
3.2	Kémiai injektálási módszerek	27
3.2.1	Vízüveg alapú eljárások	29
3.2.1.1	Kétfolyadékos módszer	30
3.2.1.1.1	Joosten eljárás	30
3.2.1.1.2	Superaqua	32

3.2.1.1.3 Folyadék-szilárd eljárás	32
3.2.1.2 Egyfolyadékos eljárások	32
3.2.1.2.1 Reagensek	35
3.2.1.3 Vizüveg-műanyag injektáló anyag	43
3.2.1.4 Supergél	43
3.2.1.5 Lignokrom	44
3.2.2 Műanyagalapú eljárásoknál alkalmazott gyanták	44
3.2.2.1 Karamid gyanták	45
3.2.2.2 Fenolgyanták	45
3.2.2.3 Akril-amid gyanták /AM-9/	46
4. Tervezés	47
4.1 Előkészítés	47
4.1.1 Feltáró furások	49
4.1.2 Közművek	50
4.2 Injektált tartomány kialakítása	50
4.2.1 Injektált teknő	50
4.2.2 Injektált fal /függőleges lezárás/	54
4.2.3 Körgyűrű szilárdítás	55
4.2.4 Ernyőszerű szilárdítási tartományok	57
4.2.5 Paplanszerű szilárdított réteg	57
4.3 Injektáló csápok telepítés	60
4.4 Besajtolási nyomás, próbainjektálás	68
4.4.1 Besajtolási nyomás	70
4.4.2 Próbainjektálás	75
4.5 Az injektáló anyag összetétele	82
4.5.1 Habarcsok	83
4.5.2 Gélek	84
4.5.3 Példa injektáló keverékek összeállítására Durcisseur 600 jelű reagens felhasználásával	88
4.6 Vízkozítás, kötési idő	101
4.6.1 Vízkozítás	101
4.6.2 Kötési idő	102
4.7 Habarcs és gél szilárdság	106

4.7.1 Habarcs szilárdsága	106
4.7.2 Gél szilárdsága	108
4.8 Injektálásnál alkalmazott anyagok és azok injektálási sorrendje	110
4.8.1 Injektáló anyagok kiválasztásáról általában	110
4.8.2 Injektálási sorrendek	112
4.9 Technológiai tervekészítés	115
4.9.1 Injektáló csápok elhelyezése	115
4.9.2 Furatok kitűzése	123
4.9.3 Szelvény /legyező/ tervezése	126
4.9.4 Tervezett injektálási sebesség és nyomás	130
4.9.5 Mennyiségek meghatározása	132
5. Az injektálás végrehajtása	143
5.1 Sziklainjektálás	143
5.1.1 Szikla furás	143
5.1.2 Szikla injektálási módok	144
5.2 Leza talajok injektálása	147
5.2.1 Injektáló csápok elhelyezése	148
5.2.2 Injektálás módszerei	148
5.2.2.1 Injektálás csővégről	148
5.2.2.2 Injektálás perforált csővel	148
5.2.2.3 Gumimandzsettás injektáló csővek	151
5.2.2.4 Kombinált injektálási módszer	155
5.3 Csápok elhelyezése	156
5.3.1 Vibrációval végzett csáptelepítés	156
5.3.2 Furással végzett csáptelepítés	157
5.3.2.1 Furó berendezések	157
5.3.2.2 Furógéplánc	162
5.3.2.3 Öblítőiszap	165
5.3.2.4 A furás végrehajtása	166
5.3.2.5 Injektálócső beépítése	168
5.4 Az injektálás gépei	168

5.4.1 A habarcsok előkészítése és bedolgozása	168
5.4.1.1 Habarcs előkészítés	168
5.4.1.2 Injektáló anyagok bedolgozása	173
5.5 Injektáló géplánc	183
5.5.1 Soletanche géplánc	183
5.5.2 BRAN-LUBBE injektáló rendszer	183
5.5.3 MIO 2000 SIF-BACHY szabvány	186
5.5.4 Szovjet vegyi szilárdításnál alkalmazott módszer	188
6. Ellenőrzés	191
6.1 Geodéziai adatok rögzítése, ellenőrzés	191
6.2 Fúrási munka dokumentálása, ellenőrzés	194
6.3 Öblítőiszap ellenőrzés, mintavétel	200
6.4 Az injektálási munka dokumentálása, ellenőrzése	200
6.5 A teljesítmény és a nyomás ellenőrzése	207
6.6 A felhasznált anyagok ellenőrzése	208
6.7 Az injektálás eredményeinek ellenőrzése	209
6.7.1 Vízárast igazoló vizsgálatok	210
6.7.2 A keverékek színezése	212
6.7.3 Radioaktív nyomelemek	213
6.7.4 Egyéb módszerek	213
7. Szervezés	215
8. Az injektálás alkalmazásának lehetőségei	225
8.1 Besajtolási munkák földkiemelés nélkül vagy a földkiemelést megelőzően	228
8.1.1 Vízáró injektálások	228
8.1.2 Szilárdító injektálás	240
8.2 Műtárgyak kezelése	261
8.3 A besajtolás egyéb alkalmazási területei	268
8.3.1 Injektált cölöp	268
8.3.2 Mikroöblöp	269
8.3.3 Horgonyzás	272
9. Munkavédelmi szempontok	277

9.1 Fúrás	277
9.2 Injektálás	279
9.3 Injektáló anyagok	279
10. Összefoglaló	283
Irodalomjegyzék	285
A Vízépítőipari Tröszt, illetve jogelődjei gondozásában megjelent vízépítőipari kiadványok	291

1. BEVEZETÉS

A víz- és mélyépítési munkáknál - munkagödörknél, építményeknél - a talajvíz kizárására, a szivárgás mértékének csökkentésére vagy a talajvíz elleni szigetelésre különleges kiegészítő módszereket alkalmaznak. Egyrészt szád-, rés-, vagy egymásba metsződő cölöpfalat építenek, másrészt pedig önszilárduló habarcsból kialakítható résfüggönyöket alkalmaznak a céltól függően ideiglenes, vagy végleges szerkezeti elemként.

Az ideiglenes víztelenítési eljárásoknál elterjedten alkalmazzák a talajvízszintsüllyesztéses módszert, a magas költségek miatt ritkábban a fagyasztásos, vagy a légnyomásos eljárást.

A különleges kiegészítő építési módszerek között a már régen ismert, de széles körben Magyarországon még ma sem elterjedt injektálásos eljárás tekinthető a fejlődés egyik fő irányának.

A talajszigetelésre szolgáló injektálást ott alkalmazzák elsősorban, ahol az előzőekben felsorolt végleges megoldást adó eljárások egyikét-másikát csak részben, vagy egyáltalán nem tudják alkalmazni. Az injektálással ilyen esetben egy bonyolultabb megoldást lehet egyszerűbb eljárással helyettesíteni és ezáltal a munkát gazdaságossá tenni.

A tárgyalt technológiára jellemző, hogy különösen nehéz építési feladatok megoldásánál lehet eredményesen alkalmazni az eljárást a vízzárás növelésére, a talaj szilárdítására, esetenként a két módszer kombinációjaként.

A vázoltak alapján érthető, hogy a víz- és mélyépítési feladatoknál a lehetséges megoldások között az injektálásos módszer is mind gyakrabban kerül alkalmazásra, tekintettel a gyorsabban dolgozó injektáló csápelhelyező berendezések üzemeltetése, egyes munkafázisok automatizálása /előkészítés, adagolás, mennyiségmérés, ellenőrzés stb./ miatt. Ezeknél a módszereknél igen nagy fejlődés következett be. Emellett bő-

vült az alkalmazott injektáló anyagok választéka, elsősorban a nagy behatolóképeségű habarcsok kifejlesztésével, az egyfolyadékos eljárás bevezetésével /1909-ben/, pl. a vízüveg és szerves reagensek /1957, 1959/, műgyanták /1958, 1960/ stb. alkalmazásával.

Ami a kezelendő talajok jellemzőit illeti, azok rendkívül változók lehetnek pl. hézagterfogat, repedés, üreg méreteinek szempontjából attól függően, hogy sziklában vagy szemcsés talajban kell a munkát végezni. A jellemző adatok ismeretében választják ki az injektáló anyagot, határozzák meg az injektálás ütemét, valamint az injektáló csápok egymástól való távolságát, mert elsősorban ezek a tényezők befolyásolják a munkák költségeit. A következőkben a besajtolásos eljárást kívánjuk bemutatni a lehetőséghez mérten olyan sorrendben, ahogy azok a gyakorlatban egymást követik.

2. ÁLTALÁNOS RÉSZ

A víz- és mélyépítési munkáknál számos esetben szükség van a talajtulajdonságok megjavítására, amely

- fizikai vagy
- kémiai eljárással történhet.

Az elérendő céltól és a talajviszonyoktól függően mind-egyik eljárásnak megvan a létjogosultsága, gazdaságossága, alkalmazási területe. A két eljárást a következőkben mutatjuk be:

2.1 Fizikai eljárások

A fizikai eljárások mechanikai vagy hőhatással érnek el eredményt. Így például:

- a mechanikai hatás /tömörítés/ a laza üledékek szemcséit hozza egymáshoz közelebb, csökkenti a talaj hézagterfogatát, és ezzel növeli az anyag nyíróellenállását, a talaj nyomószilárdságát,
- a makropórusos talajoknál /löss/ a mechanikai hatás a talaj viszonylag laza makropórusos vázszerkezetét rombolja szét és azt tömör mikropórusossá teszi,
- folyamatos, megfelelő szemcseszerkezetű talaj előállítása /a szemcsés, iszapos, agyagos talajok megfelelő arányú mechanikai keverésével /az anyag hézagelosztását, hézagterfogatát, tömörségét javítja és felületi erők kialakításával a nyíró ellenállást /mechanikai stabilizálás/,
- a finomabb szerkezetű talajokban a víztartalom csökkentése /víztelenítés/ szivattyús, vákuumkutas vagy elektromos úton három fázisúvá módosítja a talajt és a felépő kapilláris belső erők segítségével kohézió növelését idézi elő,

- égetéssel a talaj kötött víztartalmának eltávolításán túlmenően már olvadási-átkristályosodási folyamatok /klinkeresedés/ indulnak meg és ezzel a talaj szilárdsági tulajdonságait növelik,
- a fagyasztással a talaj pórusvizét fagyasztják meg és a kialakuló pórusjég révén jelentősen növekszik a szilárdság.

2.2 Kémiai eljárások

A kémiai eljárásoknál a talaj saját szilárdsággal is bíró vegyi reakcióba lépő anyaggal töltik ki, vagy a kolloid méretű talaj alkotórészek felületi tulajdonságainak kémiai úton való megváltoztatásával érnek el eredményt. Így például:

- A pórus kitöltése besajtolással vagy elektro-oszmózis-sal bevitt valódi vagy kolloid oldattal történik. A bevitt anyag a bejuttatás után - kémiai reakció következtében - a pórusokban merevedik vagy megszilárdul.
- A kolloid talaj alkotórészek felületi tulajdonságait elektrokémiai úton bevitt ionok segítségével megváltoztatják, a célnak és a talajnak megfelelően választott anyaggal a kolloid szemcsék vízerzékenységét, illetve a szemcsék egymáshoz való kapcsolatait kedvezően befolyásolják.
- A kémiai eljárások közé kell sorolni a vegyi anyagok talajba keverésével előállított "stabilizációt" is, noha a mechanikai keverésnek és tömítésnek is jelentős szerepe van a szükséges tulajdonságok elérésében /1/.

A talajkezelési eljárásokat az 1. ábra szemlélteti.

1. BEVEZETÉS

A víz- és mélyépítési munkáknál - munkagödörknél, építményeknél - a talajvíz kizárására, a szivárgás mértékének csökkentésére vagy a talajvíz elleni szigetelésre különleges kiegészítő módszereket alkalmaznak. Egyrészt szád-, rés-, vagy egymásba metsződő cölöpfalat építenek, másrészt pedig önszilárduló habarcsból kialakítható résfüggönyöket alkalmaznak a céltól függően ideiglenes, vagy végleges szerkezeti elemként.

Az ideiglenes víztelenítési eljárásoknál elterjedten alkalmazzák a talajvízszintsüllyesztéses módszert, a magas költségek miatt ritkábban a fagyasztásos, vagy a légnyomásos eljárást.

A különleges kiegészítő építési módszerek között a már régen ismert, de széles körben Magyarországon még ma sem elterjedt injektálásos eljárás tekinthető a fejlődés egyik fő irányának.

A talajszigetelésre szolgáló injektálást ott alkalmazzák elsősorban, ahol az előzőekben felsorolt végleges megoldást adó eljárások egyikét-másikat csak részben, vagy egyáltalán nem tudják alkalmazni. Az injektálással ilyen esetben egy bonyolultabb megoldást lehet egyszerűbb eljárással helyettesíteni és ezáltal a munkát gazdaságossá tenni.

A tárgyalt technológiára jellemző, hogy különösen nehéz építési feladatok megoldásánál lehet eredményesen alkalmazni az eljárást a vízzárás növelésére, a talaj szilárdítására, esetenként a két módszer kombinációjaként.

A vásoltak alapján érthető, hogy a víz- és mélyépítési feladatoknál a lehetséges megoldások között az injektálásos módszer is mind gyakrabban kerül alkalmazásra, tekintettel a gyorsabban dolgozó injektáló csápelhelyező berendezések üzemeltetése, egyes munkafázisok automatizálása /előkészítés, adagolás, mennyiségmérés, ellenőrzés stb./ miatt. Ezeknél a módszereknél igen nagy fejlődés következett be. Emellett bő-

vült az alkalmazott injektáló anyagok választéka, elsősorban a nagy behatolóképessegi habarcsok kifejlesztésével, az egyfolyadékos eljárás bevezetésével /1909-ben/, pl. a vízüveg és szerves reagensek /1957, 1959/, műgyanták /1958, 1960/ stb. alkalmazásával.

Ami a kezelendő talajok jellemzőit illeti, azok rendkívül változók lehetnek pl. hézagterfogat, repedés, üreg méreteinek szempontjából attól függően, hogy sziklában vagy szemcsés talajban kell a munkát végezni. A jellemző adatok ismeretében választják ki az injektáló anyagot, határozzák meg az injektálás ütemét, valamint az injektáló csápok egymástól való távolságát, mert elsősorban ezek a tényezők befolyásolják a munkák költségeit. A következőkben a beszajtolásos eljárást kívánjuk bemutatni a lehetőséghez mérten olyan sorrendben, ahogy azok a gyakorlatban egymást követik.

2. ÁLTALÁNOS RÉSZ

A víz- és mélyépítési munkáknál számos esetben szükség van a talajtulajdonságok megjavítására, amely

- fizikai vagy
- kémiai eljárással történhet.

Az elérendő céltól és a talajviszonyoktól függően mind-egyik eljárásnak megvan a létjogosultsága, gazdaságossága, alkalmazási területe. A két eljárást a következőkben mutatjuk be:

2.1 Fizikai eljárások

A fizikai eljárások mechanikai vagy hőhatással érnek el eredményt. Így például:

- a mechanikai hatás /tömörítés/ a laza üledékek szemcséit hozza egymáshoz közelebb, csökkenti a talaj hézagterfogatát, és ezzel növeli az anyag nyíróellenállását, a talaj nyomószilárdságát,
- a makropórusos talajoknál /lössz/ a mechanikai hatás a talaj viszonylag laza makropórusos vázszerkezetét rombolja szét és azt tömör mikropórusossá teszi,
- folyamatos, megfelelő szemcsészerkezetű talaj előállítása /a szemcsés, iszapos, agyagos talajok megfelelő arányú mechanikai keverésével /az anyag hézagelosztását, hézagterfogatát, tömörségét javítja és felületi erők kialakításával a nyíró ellenállást /mechanikai stabilizálás/,
- a finomabb szerkezetű talajokban a víztartalom csökkentése /víztelenítés/ szivattyús, vákuumkutas vagy elektromos uton három fázisúvá módosítja a talajt és a fel lépő kapilláris belső erők segítségével kohézió növelését idézi elő,

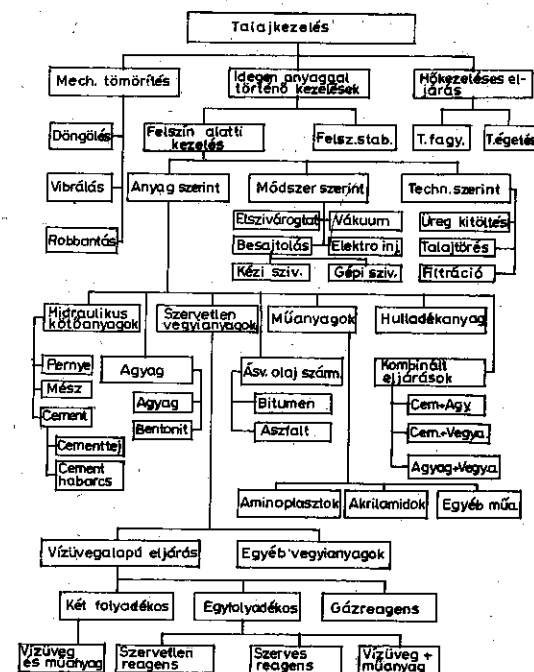
- égetéssel a talaj kötött víztartalmának eltávolításán túlmenően már olvadási-átkristályosodási folyamatok /klinkeresedés/ indulnak meg és ezzel a talaj szilárd-sági tulajdonságait növelik,
- a fagyasztással a talaj pórusvizét fagyasztják meg és a kialakuló pórusjég révén jelentősen növekszik a szilárd-ság.

2.2 Kémiai eljárások

A kémiai eljárásoknál a talaj saját szilárdsággal is bíró vegyi reakcióba lépő anyaggal töltik ki, vagy a kolloid méretű talaj alkotórészek felületi tulajdonságainak kémiai úton való megváltoztatásával érnek el eredményt. Így például:

- A pórus kitöltése besajtolással vagy elektro-ozmózis-sal bevitt valódi vagy kolloid oldattal történik. A bevitt anyag a bejuttatás után - kémiai reakció követ-keztében - a pórusokban merevedik vagy megszilárdul.
- A kolloid talaj alkotórészek felületi tulajdonságait elektrokémiai úton bevitt ionok segítségével megváltoz-tatják; a célnak és a talajnak megfelelően választott anyaggal a kolloid szemcsék vízerzékenységét, illetve a szemcsék egymáshoz való kapcsolatait kedvezően be-folyásolják.
- A kémiai eljárások közé kell sorolni a vegyi anyagok talajba keverésével előállított "stabilizációt" is, noha a mechanikai keverésnek és tömítésnek is jelentős szerepe van a szükséges tulajdonságok elérésében /1/.

A talajkezelési eljárásokat az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra
Talajkezelés osztályozása

2.3 Az injektálás célja

Akár vízzárási, akár szilárdítási céllal készül a tala-jok besajtolásos kezelése, injektálásról beszélünk. Általános esetben injektálás alatt valamely folyékony vagy plasztikus anyagnak a bejuttatását kell érteni mechanikai úton a terve-zett helyre. A földalatti létesítményeknél alkalmazott kitöl-tő injektálásoknak az a célja, hogy a műtárgy építéskor vagy későbbi időpontban keletkezett üregeket, kapcsolati hiányokat vízzárási vagy szilárdítási céllal kitöltse. Az ilyen jellegű

munkánál az általában megkívánható szilárdsági érték az üregeket kitöltő anyag esetében kb. 300 kN/m^2 .

2.3.1 Vízzáras

A vízzáró injektálással egy adott területről ki lehet zárni a vizet, vagy jelentősen csökkenteni lehet az átszivárgó víz mennyiségét. Ez teszi lehetővé például a munkagödöröknek függőleges lehatárolását is, vagy nagy vastagságú vízadó réteg esetén a fenék vízszintes vízzáró lehatárolását.

2.3.2 Szilárdítás

Az injektálással végrehajtott talajszilárdítás célja az érintett talaj /talajtömb/ nyomószilárdságának a növelése a szemcsehalmaz pórusába bevitt kötőanyagok révén. A vízépítésben a különféle anyagok besajtolásával rendszerint a termett vagy a feltöltött talaj, illetve az adott anyag teherbíró vagy vízzáró képességének növelését kívánják elérni. A besajtolás a régi alapok megerősítését, hibáinak kijavítását, az altalaj szilárdítását szolgáló különleges eljárás. A szemcsés altalajba a kívánt összetételű kitöltő vagy szilárdító, esetenként mindkét célnak megfelelő anyagot sajtolnak be az előre elhelyezett injektáló csápokon keresztül. A besajtoló anyag telíti a talajhézagokat, csökkenti a pórusok térfogatát és megkötve nagymértékben növeli annak szilárdságát. Repedezett szikla-talajok vagy falazatok repedéseinek kitöltésére, építmények alatt keletkezett üregek injektálására is alkalmazzák az eljárást.

A völgyzárógátak, a duzzasztóművek, az árvízvédelmi töltések alatti szivárgás csökkentésére vízzáró függőnyt alakítanak ki a besajtolásos módszer alkalmazásával. Ezt ott létesítik, ahol a művek alatt nagy vastagságban vízáteresztő rétegek vannak és a vízzáró fal megoldás nem, vagy csak költségesen valósítható meg, viszont a rétegek az injektálást lehetővé teszik. A besajtolást több sorban telepített függő-

legesen vagy ferdén elhelyezett csápokon keresztül végzik. Fontos, hogy a csápok körül keletkezett vízzáró hengerek egymásba metsződjenek és így folyamatos függőny képződjék. Az injektáló anyag az igényektől függően választható ki. A besajtolási nyomás a talajtól és a mélységtől függően változik /2/.

2.4 Az injektálási módszerek fejlődése

Az injektálási módszer fejlődésének ismertetőjéből derül ki, hogy az eljárás eredete 1802-ig vezethető vissza. Charles Berigny ekkor alkalmazott agyag+mész keveréket először. Egy Franciaországban található alüregelődött zsilib javításánál már 1821-ben alkalmazták a módszert. Ennél a korai munkánál, amit a cement feltalálása előtt Apsdin végzett besajtoló anyagként, szuszpenziót alkalmazott. Ezt a módszert kezdetben csak víz- és alagutépítésnél használták, azok javítási munkái kapcsán.

A korszerűnek nevezhető injektálásos eljárás az első cementbesajtolásos módszert kell tekinteni, amelyet 1876-ban alkalmaztak Angliában egy völgyzárógát építésénél a szikla alap repedéseinek kitöltésére. Ezt a módszert még napjainkban is széles körben használják.

Az injektálás fejlődésének további állomásai az 1886-ban Jeziorsky által bejelentett szabadalom, a Joosten eljárásnak feltalálása /1926/, amit az egyfolyadékos Lemaire, Dumont /1906/, François, Gayard, Rodio /1911/ és a "Monodur" /1959/ eljárás követett.

A szilárd anyagok nélküli szilikátoldatok alkalmazásával a felhasználási terület bővült. Ezzel az eljárással már a durva- és finomhomok hézagainak a telítése is lehetővé vált.

A műanyagok elterjedésével szinte egyidőben kezdődött meg az alkalmazás lehetőségeinek a vizsgálata, amely eredménnyel zárult és így ma már az injektálás az iszapos- vagy iszap anyagok esetén is alkalmazható módszernek tekinthető /3/.

2.5 Az injektálás

Az injektálási feladatokat csak igen alapos előzetes feltárás adataira támaszkodva lehet tervezni. Minden besajtolási módszer tervezése és kivitelezése előtt részletes talajmechanikai és kémiai vizsgálatokat kell végezni.

Az injektálandó tartomány kijelöléséhez minden esetben ismerni kell az elérendő célt /vízzáró-telítő injektálás, szilárdító injektálás vagy a kettő kombinációja/. Igen pontosan kell ismerni a talajmechanikai feltárás alapján a talajfizikai jellemzőket. Meg kell határozni vízzárás esetén a a biztosítandó "k" értéket szilárdulás esetén pedig az érintett talajjal szembeni szilárdsági igényeket. Az adatok birtokában meg kell állapítani az injektálandó tartomány minimális méretét. Tisztában kell lenni azzal, hogy a vízzárást és a szilárdítást nem lehet pontosan kiszámítani, mértegni, kísérletekkel alátámasztva lehet vagy kell a tervet elkészíteni.

Építmények aláfogásával vagy alapozásával kapcsolatban tervezett talajszilárdítások alkalmával a tervezőnek tudnia kell, hogy a szilárdított talaj milyen szilárdsági és összenyomódási tulajdonságokkal fog rendelkezni.

A kijelölt térfogatú talaj /kőzet/ injektálásánál munkát végző szakembernek a munkamódszert és a feladatokhoz tartozó technológiát részletesen ismernie és tudnia kell alkalmazni is. Ahhoz, hogy a munka elvégzésénél a szakszerűséget biztosítani lehessen, a munka teljes időszakában a helyszínen kell tartózkodnia, a munkát irányítani és az eseményeket regisztrálnia kell /4/.

2.5.1 Talajvizsgálatok

A vizsgálatok elvégzésének szükséges részletessége számos tényezőtől függ. A részletességet befolyásolja többek között az építmény rendeltetése a terepadottságok, az elvégzendő munka jellege, vagyis az, hogy szigetelési vagy szilárdítási munkáról van-e szó.

A talajmechanikai szakvéleménynek állást kell foglalni, hogy az adott körülmények között a talajszilárdítás végrehajtható-e, és javaslatokat kell tennie a lehetséges szilárdítási módokra. A szilárdítandó talaj szemszerkezete a talajvíz helyzete az elérendő szilárdság, vízáteresztőképesség és a technológiai lehetőségek ismeretében kell kiválasztani a célnak megfelelő eljárást vagy eljárásokat.

Amennyiben az eredetileg rendelkezésre álló talajmechanikai szakvélemény az ennek elbírálásához szükséges részletes adatokat nem tartalmazza, kiegészítő szakvéleményt kell készíteni a hiányzó adatok pótlására.

A feltáró fúrások adatai alapján meg kell határozni a harántolt rétegek vastagságát, állapotát, talajfizikai jellemzőit. El kell végezni a talaj és a talajvíz vegyvizsgálatát is. Meg kell határozni a talaj, illetve a talajvíz pH értékét, valamint esetenként a CaCO_3 tartalmát. A fúrásból összefüggő mintát kell venni, s a laboratóriumi vizsgálatokhoz felhasznált mintából megmaradt mennyiséget a munka befejezéséig meg kell őrizni.

A talajvizsgálat során meg kell határozni az érintett terület talajvíz viszonyait és a talajvízzel kapcsolatos fontosabb adatokat.

Meghatározandó:

- az építési, maximális és mértékadó talajvízszint,
- a talajvíz-áramlás sebessége, és
- külön gondot kell fordítani az esetleg nyomás alatti talajvíz, illetve rétegvíz felderítésére.

Vegyí anyagos injektálás, ha az a felszín vagy a felszínközeli vizek minőségét befolyásolja, csak az illetékes vízügyi szakhatóság hozzájárulásával az abbna foglalt előírások megtartásával végezhető /5/.

Itt jegyezzük meg, hogy a talajszilárdítással kapcsolatos talajfeltárásra az ME 117-74 sz. műszaki előírásban foglaltakon kívül nincs előírás.

2.5.2 Injektáló anyagok

Az injektálásnak főleg az a célja, hogy a kőzet vagy talaj jellemzőit megváltoztassa oly módon, hogy az igényeknek megfelelően a vízzárás növekedjék vagy az vízzáró legyen - és ha kell - növelje a talaj teherbírását is. Ennek érdekében az üregeket, hézagokat olyan folyékony anyaggal kell kitölteni, mely egy bizonyos idő múlva a kívánt mértékig megszilárdul. Ezt a folyadékot összefoglaló néven általában habarcsnak nevezik. Ez az az anyag, amit nyomással /esetenként gravitációval/ juttatunk be a kívánt helyre.

2.5.2.1 Habarcsok

A habarcsokat az alábbi kategóriák szerint lehet osztályozni:

- szuszpenziók /durva diszperz rendszer; folyékony anyagban szilárd anyag részecskéi lebegnek /ezek lehetnek instabilak/, amelyek hosszabb-rövidebb idő után leüllednek/, valamint stabilak
- folyadékok, amelyek oldat vagy emulzió formájában kerülnek felhasználásra.

A habarcsok közül a legismertebbek a cement alapanyagú habarcsok. Itt kell megemlíteni a cement szuszpenziót is, amely általában instabil. A korábbi években igen gyakran alkalmazták a cement-agyag habarcsot is. Az utóbbi években ez annyiban változott, hogy a cementhez stabilizálás céljából - ha agyagot használnak - bentonittal javítják, vagy csak bentonitot adagolnak hozzá.

2.5.2.2 Kémiai anyagok

A kémiai anyagokat oldat, vagy folyadék - elegy - formájában használják fel. Ezek a termékek más anyagokkal - reagensekkel - vegyi folyamatban lépve teszik lehetővé a kitűzött cél elérését. A kétfolyadékos rendszert a későbbiekben említjük.

2.5.2.2.1 Egyfolyadékos eljárások, gélek

Információs jelleggel mutatjuk be az egyfolyadékos eljárásnál használt géleket, melyek összetétele általában szilikáton /víztüveg/ alapul, amihez egy ásványi vagy szerves reagenst adnak. A folyadék tulajdonságaitól függően lágy vagy kemény gélről lehet beszélni. /Gélnek nevezik a szilárd és folyékony halmazállapot közötti kolloid rendszert./ Az előbbi elsősorban vízzárási célt szolgál, az utóbbit szilárdításra használják.

2.5.2.2.2 Gyanták

A gyantáknak két alkalmazási területe van:

- a szemcsés, nagyon finom talajok szilárdító vagy vízzáró injektálásánál,
- a műtárgyak szerkezeti megerősítésénél vagy regenerálásánál.

Műgyanta alapanyagú eljárásra az ME 117-75 sz. műszaki előírásban van utalás.

A különböző habarcsok alkalmazási lehetőségeit az 1. táblázaton mutatjuk be.

Különböző habarcsok alkalmazási lehetőségei

		Vízzárás	Szilárdítás
Tá- la- jok	Durva hordalékok	Agyag-Cement Bentonit - Cement + szilikagél	Cement - Agyag Cement - Bentonit + - Gél
	Homok	Bentonitgél Szilikagél	Szilikagél+Cement - Bentonit Szilikagél /kemény/
	Izapos homok	Erősen híg szili- kagél Akrilamid gyanták	Gyenge viszkozitású kemény szilikagél Fenolgyanták
Kő- ze- tek	Üregek	Agyag /vagy Bento- nit/ - Cement	Cement-Agyag /vagy Bentonit/ + töltő- anyag ± durva szemcse
	Karsztok vagy repedések	Agyag/vagy Bentonit/ - Cement - töltő- anyag ± durva szem- cse, Porózus hab - - duzzadó habarcs. Meleg bitumen	Cement-hab habarcsok
	Közepes repe- dések	Bentonit - Cement Bentonit - Cement + finom töltőanyag	Cement Cement - Bentonit Cement - Bentonit + finom töltőanyag
	Finom repedések	Bentonit - Cement /igen finom/ Szilikagél + Bento- nit - Cement /igen finom/	Cement /igen finom/ Cement /Igen finom/ - Bentonit
Mű- tár- gyak	Igen finom repe- dések	Bentonit - Szilika- gél Akrilamid gyanták	Szilikagél Fenolgyanták
	Kitöltés		Cement-Agyag /vagy bentonit/+ töltőa- nyag ± finom szemcse
	Kötés /ragasztás/	Bentonit - Cement	Cement+plasztifi- káló - stabilizáló /bentonit/
	Nyitott üregű fala- zat regenerálása	Bentonit - Cement /igen finom/ Porózus habarcsok	Cement /igen finom/ Cement /igen finom/ Bentonit
	Repedések	Akrilamid gyanták Vegyes gélek Latex emulzió	
	Finom repedések	Akrilamid gyanták	Epoxydok, polyester- ek

3. ELTERJEDTEBB INJEKTÁLÁSI MÓDSZEREK ÉS ANYAGOK

3.1 Habarcsok

A habarcsok közül a legismertebbek a cement alapanyagú habarcsok. Ezekből az instabil és a stabil keverékeket mutatjuk be.

3.1.1 Instabil keverékek

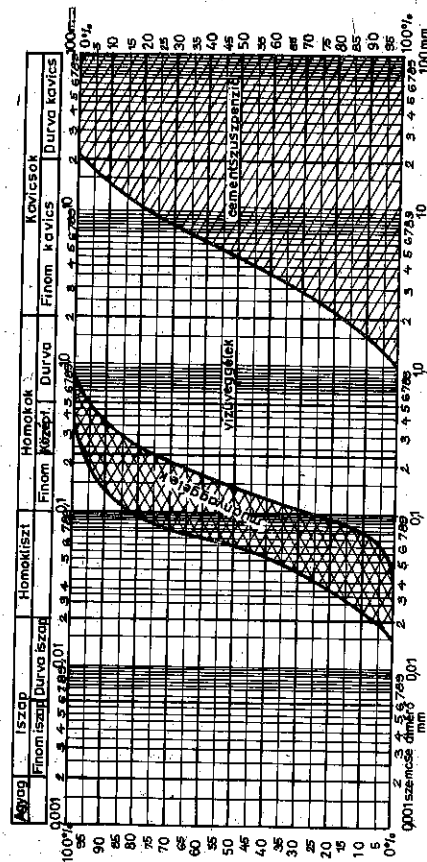
Instabil keveréken elsősorban a cement szuszpenziókat értik. Ezeknek az injektáló anyagoknak a felhasználási területe azokra a talajfélésekre korlátozódik, amelyeknek szerkezete nagyobb, mint 2 mm /lásd a 2. ábrát/. Összehasonlításként az alkalmazott cement szemcséinek átlagos nagysága 0,001 mm /7/.

3.1.1.1 Cement alapu habarcsok

Az eddigi ismeretek alapján előljáróban a cement alapanyagú habarcsokra vonatkozó eredményeket a következőkben foglaljuk össze:

- a habarcs mechanikai szilárdsága a v/c aránytól függően változik,
- nem minden cement adja ugyanazokat az eredményeket,
- egy bizonyos v/c arányon túl a habarcs nehezen válik bedolgozhatóvá,
- egy kiválasztott cementtel és annak megfelelő adagolásával 90 napos korban 5 MN/m² érték is elérhető,
- az eredményeknél jelentkező nagy szórás a keverék elkészítésének pontatlansága okozza.

A habarcsokat általában nagy üregek kitöltésére lehet gazdaságosan alkalmazni. Az anyag előkészítése egyszerű és



2. ábra

Különféle injektáló anyagok felhasználási területe /Több szerző adatai alapján/

a szükséges alapanyag könnyen biztosítható A megfelelő minőségű cement használata esetén az agresszív környezetben is előnyösen alkalmazható.

3.1.1.1.1 Cement szuszpenziók

A cement szuszpenzió¹ instabil habarcs. Ez azt jelenti, hogy csak addig homogének, amíg keverik, illetve mozgásban tartják. Abban a pillanatban, ahogy a cement szuszpenzió nyugalmi állapotba kerül, megindul a cement kiülepedése és újra két alkotóra bomlik: szilárd részre /cementre/ és vízre. Ez a jelenség több hátránnyal jár. Állandóan mozgásban kell tartani az anyagot, bármely hiba esetén ha a szuszpenzió mozgása megszűnik, olyan mértékű lehet a kiülepedés, hogy a továbbító rendszert a hiba elhárítása után csak úgy lehet újra beindítani, ha azt az üzemzavar bekövetkezése után azonnal kimossák. Ugyanakkor előnye, hogy a víz/cement tényező tág határok között változtatható. A kiülepedési hajlamlak előnyei is vannak. A repedésekbe, hézagokba bejutva a leülepedés hatása az iszaptömődékeléshez hasonló. Minél nagyobb nyomással juttatjuk be a tervezett tartományba az anyagot, annál nagyobb lesz a kiszűrődés értéke, vízleadása és ezáltal igen magas szilárdsági értéket eredményez.

Az ismertett szuszpenzióval történő talajszilárdítás alkalmazási területe igen nagymértékben függ a felhasznált cement őrlés finomságától. Gyakorlatilag ott áll fenn a felhasználás lehetősége, ahol a Terzaghi-féle szűrőszabály érvényes, amely a következő: az A anyag szilárd részecskéi akkor nem hatolnak be egy másik B anyag hézagaiba, ha az A anyag szemeloszlási görbéjének 85 %-ához tartozó szem nagyság /d/ négyszeresénél kisebb átmérőjű szemcsék a B talajban legalább

¹ A szuszpenzió egy durva diszperz rendszernek tekinthető /folyékony anyagban szilárd anyag részecskéi lebegnek, amelyek hosszabb-rövidebb idő alatt leülepednek/, ezért került a "Habarcs" c. fejezetbe.

10 M-nyi mennyiségben fordulnak elő. Ennek alapján beszélhetünk az injektálhatósági arányszámról, az N-ről.

$$N = \frac{D_{15} / \text{az injektálásra kerülő talaj}}{D_{85} / \text{a szuszpendált injektáló anyag/}}$$

Am injektálási arányszám a szerzőktől függően 9-10-15...25 különböző injektálás esetén.

A cement szuszpenzió felhasználására elsősorban repedezett kőzetek szilárdítási munkáinál, többé kevésbé nyílt repedések, valamint zsugorodási hézagok injektálásánál, falazatok javításánál, a műtárgy és a talaj közötti kapcsolat létesítésénél kerülhet sor.

3.1.1.1.2 Cement habarcsok

Nagy üregeket általában homok-cement-habarccsal töltnek ki. Felhasználási területe elsősorban az alagútépítés, ahol a falazat és a talaj között elkerülhetetlen az üregképződés, de a vízepítésben és a bányászati építésben is elterjedt. Itt jegyezzük meg, hogy a budapesti Metró építésénél például homok nélküli talaj-cement-habarcsot használtak. A cementhabarcs legkisebb cement adagolása 300 kg/m^3 , a víz-cement tényező 1-5 között változik. A cement-habarcs - különösen kis cement tartalom esetén - instabil anyag /8/.

3.1.2 Stabil keverékek

A már ismertett instabil keverékeket duzzadó anyagok /bentonit, agyag, vegyszerek stb./ hozzáadásával stabilizálni lehet. Ebben az esetben az injektálás alatt nincs kiülepedés. Vízárásnál alkalmazott keverékekben általában alacsony a cement és magas az agyag /bentonit/- tartalom, szilárdításnál ez az arány fordított. Finom vagy durva repedezett és karstosodott kőzetek kezelésére alkalmas. Bizonyos megkötöttséggel nagy vízáteresztő képességű talajok átítatására is használható.

3.1.2.1 Cement-agyag habarcsok

Tiszta agyagkeverék esetében, amelynek nincs eléggé nagy tixotrópiája, fennáll az a veszély, hogy az injektálás alatt kimosódik vagy nem elég nagy vízleadásnál a bekövetkező vízterhelésnek nem tud ellenállni. A végterméknek tehát bizonyos mechanikai szilárdságot kell biztosítani ahhoz, hogy az a talaj üregeiben megmaradjon. Ennek a szilárdságnak nem kell túl nagy lennie pl.: 100 kN/m^2 .

Ez az eredmény könnyen elérhető, ha a cementhez agyagot adnak. Ennek az a hátránya, hogy az agyagnak nem használható ki az a tulajdonsága, hogy szemcséinek mérete sokkal kisebb, mint a hozzáadott cement szemcsemérete. Ezzel az új anyaggal nem lehet már olyan járatokat, üregeket kitölteni, mint amit az agyag habarccsal lehet. Ezen a helyzeten elsősorban nagy őrlés-finomságú cement alkalmazásával lehet némiképp változtatni.

A cement-agyag habarcsok közül azokat, amelyek nem ülep-szenek ki, stabilnak nevezik. /A stabil habarcsot általában egy cement és agyag vagy bentonit kombinációjának és esetleg egy segédanyagának a vízhez való keverésével nyerik./

A habarcs szilárd alkotói a cement, valamint a természetes vagy kezelt agyag; az utóbbi időben mind gyakrabban használják a bentonitot, mely ugyancsak lehet természetes vagy gyári készítmény.

Ha cement habarcsához agyagot adnak,

- megjavítja a habarcs behatoló képességét,
- az áramló talajvíz esetén ellenáll a kimosásnak,
- mint kötéskeleltető működik és az
- elérhető szilárdsági érték az igényeknek megfelelően igen széles tartományban változtatható $/10 \text{ MN/m}^2\text{-ig/}$.

Ez az érték a cement minőségétől és a víz/cement tényező-től függ.

A cement-agyag keverési arányának szabályozásával a szilárdság meghatározott értéke beállítható a viszonylag kis szilárdság csökkenéstől az egészen csekély szilárdsági értékig.

Az ismertett anyag felhasználható szilárdításra. Ebben

az esetben magas cement és alacsony agyagtartalom a megfelelő. Ha vízzárási célra használják, az arány megváltozik; alacsony lesz a cement és magas az agyag-tartalom.

3.1.2.2 Cement-bentonit habarcsok

A cement-bentonit összetételű habarcsokra értelemszerűen a 3.1.2.1 pont alatti megállapítások érvényesek.

A továbbiakban nem teszünk különbséget a természetes vagy a kezelt agyag, illetve a természetes vagy a gyári bentonit között és egységesen csak agyagokról beszélünk.

3.1.2.3 Habarcsok töltőanyagokkal

Ha a habarcs szilárd anyagtartalmát úgy változtatjuk, hogy nagyon olcsó töltőanyagot is használunk, a habarcs költsége is csökkenthető. A legáltalánosabban használható töltőanyag a homok és a pernye. A töltőanyag-cement arány elérheti, sőt meghaladhatja a 3:1-et.

A cement-agyag, illetve a cement-bentonit habarcsok gazdaságos kiválasztásához a következő szempontok vehetők figyelembe:

A nagy volumenű injektálási munkákhoz felhasznált anyagok /pl. homok, agyag, pernye, kőliszt stb./ alkalmasságát minden esetben kísérleti úton kell megállapítani, az előkészítés, az alkalmazási arány, a javító- és kiegészítő anyagok az injektálási technológia vizsgálatával. A darabos állapotban kibányászott agyagot aprítással, őrléssel, majd szuszpendálással kell alkalmassá tenni az injektálásra. Egyes agyagfajták víz alatti tárolás közben önmaguktól szétesnek és esetleg egyszerű szűrés után felhasználhatók injektálásra. Az agyagok többségét azonban csak őrléssel lehet felaprózni, különböző típusú keverőkben /Koller keverő, kalapácsos őrlő, nagy fordulatszámú fésűs kalapácsos őrlőgépekkel stb/. Kisebb volumenű munkák esetén, amikor az anyag keverésének gépesi-

tése nem gazdaságos, célszerűbb a kereskedelemben kapható zsákolt bentonitot vagy agyagport használni.

3.1.2.4 Vízüveg alapanyagú habarcsok

Tömítési célokra - amennyiben megfelelő helyi agyag áll rendelkezésre - jól használhatók az agyag-vízüveg szuszpenziók is. Az agyag-vízüveg szuszpenziókhöz 30 %-nál nem nagyobb folyáshatárú, 5 %-nál kisebb CaO -, illetve MgO tartalmu agyagok alkalmasak. A felhasznált vízüveg és agyag aránya a vizes szuszpenzióban az elérni kívánt tömítő hatástól függően változhat. Alacsonyabb igényű tömítéseknel a szuszpenzió 10-30 súly % agyagot, 5-10 súly % vízüveget, továbbá reagensként kis mennyiségben valamilyen szervesetlen savat /pl. sósav/ tartalmaz.

Magasabb igényű tömítéshez 22-27 % agyag és 22-27 % vízüveg adagolása szükséges. Az agyag-vízüveg szuszpenziók minősége döntően az agyag összetételétől függ, így a pontos recepturát mindenkor kísérleti úton kell meghatározni. Az elérhető nyomószilárdság $0,2-1,5 \text{ MN/m}^2$, a vízzáróság a plasztikus agyagokkal egyenértékűen alakul /8/. /A vízüveg ismertetésére a következő fejezetben kerül sor./

Megjegyezzük, hogy Magyarországon injektálásra elsősorban a 3.1 fejezetben tárgyalt habarcsokat használják.

3.2 Kémiai injektálási módszerek

A különböző összetételű szilárdító anyagok választékára tájékoztatást a 2. táblázat ad. /2/

az esetben magas cement és alacsony agyagtartalom a megfelelő. Ha vízzárási célra használják, az arány megváltozik; alacsony lesz a cement és magas az agyag-tartalom.

3.1.2.2 Cement-bentonit habarcsok

A cement-bentonit összetételű habarcsokra értelemszerűen a 3.1.2.1 pont alatti megállapítások érvényesek.

A továbbiakban nem teszünk különbséget a természetes vagy a kezelt agyag, illetve a természetes vagy a gyári bentonit között és egységesen csak agyagokról beszélünk.

3.1.2.3 Habarcsok töltőanyagokkal

Ha a habarcs szilárd anyagtartalmát úgy változtatjuk, hogy nagyon olcsó töltőanyagot is használunk, a habarcs költsége is csökkenthető. A legáltalánosabban használható töltőanyag a homok és a pernye. A töltőanyag-cement arány elérheti, sőt meghaladhatja a 3:1-et.

A cement-agyag, illetve a cement-bentonit habarcsok gazdaságos kiválasztásához a következő szempontok vehetők figyelembe:

A nagy volumenű injektálási munkákhoz felhasznált anyagok /pl. homok, agyag, pernye, kőliszt stb./ alkalmasságát minden esetben kísérleti úton kell megállapítani, az előkészítés, az alkalmazási arány, a javító- és kiegészítő anyagok az injektálási technológia vizsgálatával. A darabos állapotban kibányászott agyagot aprítással, őrléssel, majd szuszpenzációval kell alkalmassá tenni az injektálásra. Egyes agyagfajták víz alatti tárolás közben önmaguktól szétesnek és esetleg egyszerű szűrés után felhasználhatók injektálásra. Az agyagok többségét azonban csak őrléssel lehet felaprózni, különböző típusú keverőkben /Koller keverő, kalapácsos őrlő, nagy fordulatszámú fésűs kalapácsos őrlőgépekkel stb/. Kisebb volumenű munkák esetén, amikor az anyag keverésének gépesí-

tése nem gazdaságos, célszerűbb a kereskedelemben kapható zsákolt bentonitot vagy agyagport használni.

3.1.2.4 Vízüveg alapanyagú habarcsok

Tömítési célokra - amennyiben megfelelő helyi agyag áll rendelkezésre - jól használhatók az agyag-vízüveg szuszpenziók is. Az agyag-vízüveg szuszpenziókhöz 30 %-nál nem nagyobb folyáshatárú, 5 %-nál kisebb CaO -, illetve MgO tartalmu agyagok alkalmasak. A felhasznált vízüveg és agyag aránya a vizes szuszpenzióban az elérni kívánt tömítő hatástól függően változhat. Alacsonyabb igényű tömítéseknel a szuszpenzió 10-30 súly % agyagot, 5-10 súly % vízüveget, továbbá reagensként kis mennyiségben valamilyen szerves savat /pl. sósav/ tartalmaz.

Magasabb igényű tömítéshez 22-27 % agyag és 22-27 % vízüveg adagolása szükséges. Az agyag-vízüveg szuszpenziók minősége, döntően az agyag összetételétől függ, így a pontos recepturát mindenkor kísérleti úton kell meghatározni. Az elérhető nyomószilárdság $0,2-1,5 \text{ MN/m}^2$, a vízzáróság a plasztikus agyagokkal egyenértékűen alakul /8/. /A vízüveg ismertetésére a következő fejezetben kerül sor./

Megjegyezzük, hogy Magyarországon injektálásra elsősorban a 3.1 fejezetben tárgyalt habarcsokat használják.

3.2 Kémiai injektálási módszerek

A különböző összetételű szilárdító anyagok választékára tájékoztatást a 2. táblázat ad. /2/

2. táblázat

Tájékoztató a különböző összetételű szilárdító anyagok választékáról

megnevezése	A szilárdítóanyag		Szilárdulási idő nagyságrendje	A szilárdított talaj relatív szilárdsága ára	Alkalmazási terület
	kereskedelmi neve /márka-név/	viszkozitása / η /10 ⁻³ Ns/m ²			
Agyag-cement	-	-	d	1,0	Homokos kavics
Cementtej	pl. d-PFA	-	d	3,5 - 4,5	kavics, kavicsos homok
Karbamid, metanin - formaldhid gyanták	-	<5	h-d	8 - 12	karbonátmentes homok
Rezorcín és fenol alapú gyanták	Geoseal MQ4 Geoseal MQ5	<5	min-h	20 - 40	közepes-finom homok vízzárás
Lignochrom	-	<3	h-d	6 - 10	közepes-finom homok vízzárás
Poliakrilamid gyanta	AM 9 Rocagil 1295 Sumisoil	<2	min-d	50 - 100	homok, homokliszt, iszap, betonszilárdság növelése
Furfurol gyanta	-	<3	h	30 - 40	finomhomok, homokliszt
Vízüveg szerves reagenssel	Szilikatizálás, Carongel, Joosten, stb.	<15	h	2 - 4	homok, inkább vízzárási cél
Vízüveg szerves reagenssel	Monosol, Mono-dur, Siroc SV, Durcisneur, Rebill, Fluodur	<10 508-600	H	3 - 8	homok, homokliszt, szilárdítás
Vízüveg-műanyag	Siprogel	<6	min-h	5 - 15	homok, homokliszt, nagyobb szilárdság

3.2.1 Vízüveg alapú eljárások

Az injektálási módszer fejlődése során két alaptípusú eljárás alakult ki:

- a kétfolyadékös /kétfázisú, vagy elkülönített anyagú/ és
- az egyfolyadékös /egyfázisú, vagy egyesített anyagú/.

Az első esetben a két anyag egymás után /gyakran külön csápokon/ jut a besajtolás helyére, míg a másodiknál az injektáló anyagot a reagenssel összekeverve folyadék fázisként juttatják a talajba.

Az első esetben a második fázis anyaga gáznemű is lehet, és ez a besajtolás helyén lép reakcióba az első fázisként alkalmazott folyadékkal.

Mielőtt a címben megadott eljárások részletes ismertetésére rátérnénk, röviden bemutatjuk a mindkét eljárásnál alkalmazott vízüvegoldatot és a jellemző paramétereit.

A vízüveg általános tulajdonságai közé tartozik, hogy sűrűn folyós, víztiszta, legfeljebb enyhén sárgásbarna árnyalatú, üledékmentes, lugos kémhatású, szagtalan folyadék. Hatóanyaga: a változó összetételű nátronszilikátok meghatározott töménységű vizes oldata. Alkalmazási területéről általában csak annyit kell megemlíteni, hogy a vízüveget az építőipar különféle habarcsokhoz ragasztó és kötőanyagokhoz, hézagkitöltő és injektáló habarcsokhoz, talajszilárdító anyagként stb. használja. Az MSz 929-67 sz. szabványban foglalt minőségválasztékát és azok jellemző paramétereit a 3. táblázatban mutatjuk be.

A továbbiakban a kétfázisú eljárások közül a gáz halmazállapotú anyagokkal nem foglalkozunk.

Műszaki adatok
/vízüveg/

Jellemzők		
Be ⁰ töménység, 20 °C-nál:	35,7-38,0	38,0-40,0
Sűrűség, 20 °C-nál kg/m ³ :	1329-1354	1354-1380
Na ₂ /SiO ₂ molarány:	1,0:3,0-3,5	1,0:3,0-3,5
Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ +CaO+MgO :	1,5-2,0%	1,5-2,0%
Mechanikai szennyeződés :	nem megengedett	
Bőrképződmény, üledék :	nem megengedett	

3.2.1.1 Kétfolyadékos módszer

3.2.1.1.1 Joosten eljárás

A legrégebbi eljárások közé tartozik a kétfolyadékos Joosten eljárás, amelynél a felhasznált alapanyag a vízüveg. A szilárdításhoz ipari minőségű 36-38 Be⁰-os nátron-vízüveget használnak, melynek szilikát modulusa /súlyhányadosa/ 3,0-3,4. Vízzel minden arányban elegyedik. Melegítéskor a viszkozitása csökken, hidegben nő, -3°C-on megfagy. A kétfolyadékos eljárásnál második fázisként az ipari minőségű kalciumklorid /CaCl₂/ vagy magnéziumklorid /MgCl₂/ használatos.

A Joosten eljárással a vegyi anyagokat mindig filtrációs úton juttatják a talajba, a szilárdító anyag a besajtoló nyomás hatására tehát keresztül szűrődik a talaj pórusrendszerén anélkül, hogy áramlási nyomása a szemcsehalmaz egyensúlyi helyzetét megbontaná. Mindig a vízüveget injektálják be először, amely a pórusokat kitölti és az egyes talajszemcséket

burokszerűen bevonja. Amennyiben a kapillárisokat víz tölti ki, a technológia helyes kivitele esetén a nagyobb viszkozitású vízüveg a vizet maga előtt kinyomja, és csak igen kis mértékben keveredik vele. Miután a tervezett hatósugárnak megfelelő talajtartomány vízüveggel való átitatása végbement, a reagens oldat injektálására kerül sor. Mivel egymással érintkezésükkor reakcióba lépnek, a reagensnek az injektálócső perforációján keresztül való kilépésekor a gélképződés megindul. Az injektáló nyomástól mozgató reagens oldat a póruskeresztmetszetekben, kapillárisokban keletkező gélugókat és ezzel együtt előtte a pórusteret kitöltő, csökkent töménységű vízüveget maga előtt tolja. Az adhézióan kötött vízüvegburkolat a szemcsékről nem képes elszakítani, de elhaladtában a szilikagél kicsapódását okozza. Ennek következtében végül is az egész vízüveggel átitatott tartományban megindul a gélesedés. A szilárdító hatást elsődlegesen a szemcse felületeken feltpadt gélhártyák hozzák létre. A szinerezis következtében ezek vastagsága idővel csökken, s ezzel arányosan kötőerejük növekszik. A leszűkült pórustér többi részét a gélképződés folyékony fázisa tölti ki, amely a kémiai reakció során keletkezett vegyületeket is tartalmazza.

A kétfolyadékos talajszilárdítással elérhető eredmények nagyságrendje a természeti adottságoktól és a technológia részéről sok tényezőtől, döntő mértékben azonban a kezelt talaj szemcseszervezetétől, és annak eloszlásától, valamint a besajtoló vízüveg töménységétől függ. Az eljárásnál reálisan várható 28 napos kockaszilárdság értéke 1-3 MN/m² között van, ideális körülmények között 6 MN/m² lehet. Szilárdság szempontjából kedvezőbb a jól graduált durva vagy középszemcséjű homok, amelynek finomhomok tartalma nem túl nagy. Mind a durvább, mind a finomabb frakció felé való eltolódás csökkenti az elérhető szilárdságot, előbbi a fajlagos felület csökkenése, a fokozódó szinerezis miatt, utóbbi pedig a rosszabb gélhártya adhézió, a rendszerint kevésbé tökéletes átitatás és a higabb oldatok használata miatt. A kezelt talaj tömörsége szintén hatással van; laza település esetén a szilárdság kb. 60-70 %-a a tömör talajban elérhető értéknek 8/.

3.2.1.1.2 Superaqua

A superaqua a szuperszilik módosított korszerű változata. A kétfolyadékos eljárás ugyancsak vízüveg alapanyagú. Az első fázis anyaga vízüveget tartalmazó vizes oldat, melyhez a technológia kívánta indokok miatt bizonyos mennyiségű műgyantát adagolnak. A második fázis hidrogén szilikofluorid vizes oldata, amelyhez a műgyanta reagenst adagolják. Alkalmazási területe: a meghibásodott vezetékek /csatornák/ javítása. A két töménységével, és a fázisba adagolt gélképző reagenssekkel lehet szabályozni a viszkozitást és a szilárdsági jellemzőket.

3.2.1.1.3 Folyadék-szilárd eljárás

A címben jelzett eljárás lösztalajoknál használható. A lösz vázszerkezetét biztosító mésztartalom és az általában jelenlevő gipsz a besajtoltt hígított vízüvegben oldódva reagál és a keletkező kalciumszilikát - és hidroszilikát gél szilárdulást eredményez. Ezzel az eljárással a SzÜ-ban számos területen létesített vízpítési műtárgyak építésénél sikeresen szilárdították a talajt. Ugyanilyen hatású a friss beton-szerkezetek vízüveggel való kezelése, mely a beton szabad mésztartalma és a nátriumszilikát közti reakció eredményeként vízzáróvá tömíti a beton pórusait.

3.2.1.2 Egyfolyadékos eljárások

A nátrium-vízüvegoldatok szerepe az egyfolyadékos eljárásnál is igen nagy.

A nátrium-vízüveg oldatokhoz, szilárdulásuk elősegítésére, különböző reagensket kevernek. Ezek hatására az oldat kisebb vagy nagyobb mértékben megszilárdul; lágy vagy kemény gél keletkezik. Az előbbi a talaj vízzáróvá tételére /tömítésére/, az utóbbit szilárdítására, teherbíróvá tételére használják.

A nátrium-vízüvegből, reagensből és vízből álló keverék kezdetben $2-50 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$ általában pedig $3-10 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$ viszkozitású. A gélesedési idő szabályozható és néhány perctől több óráig állítható be. Az ily módon keletkezett lugos injektáló anyag 10-11 pH értékű, és alkalmas minden alluvialis talaj és kőzet szilárdítására.

A tömítési célra szolgáló lágy gélek előállításához általában nátriumbikarbonátot, nátriumaluminátot, nátriumfoszfátot, hígított bórsavat stb. használnak. A lágy gélek jó vízzárást eredményeznek, de nem növelik számottevően a talaj szilárdságát; kb. $0,2 \text{ MN/m}^2$ szilárdság érhető el.

A kemény gélek készítéséhez szerves reagenseket alkalmaznak, melyek a vízüveggel érintkezve savakat szabadítanak fel, és végül teljesen közömbösítik a vízüveget. A leggyakrabban alkalmazott reagens: az etilacetát, a formamid, a glioxál és a kétfázisos savak Durcissuer 508, 600 stb. típusú észterei.

A keverék viszkozitása függ többek között a hőmérséklettől és abenke levő vízüveg-hányadtól. A vízüvegnek ezen kívül döntő szerepe van a gél szilárdságára is. A keverék elkészítése után vegyi reakció indul meg, melynek folytán egyre növekszik a keverék viszkozitása. A korszerű reagens, mint pl. a Durcissuer-ök csak igen lassan fokozzák a viszkozitást, és ezáltal elegendő időt biztosítanak az injektálás elvégzéséhez.

A lágy vízüveg gélek szokatlan tulajdonságokat mutatnak. Ha a gélből vett henger alakú próbatestet sík lapra helyezik, saját súlyának hatására néhány óra alatt szétterül. A géllal stabilizált szemcsés földanyag ugyanakkor nem változtatja alakját, mivel a szemcsék a géllal együtt szilárd vázat képeznek.

A gélek szilárdulása folyamán bizonyos mértékű térfogatcsökkenés következik be, egyidejű vízkiválás mellett - szinerézis megy végbe. A szinerézis mértéke a tiszta gélnél a legnagyobb. A talajba injektált gél szinerézise a szemösszetételtől függően, kisebb mértékű, sőt megfelelő keverék és reagens alkalmazása mellett egyáltalán nem következik be.

Vegyészeti szempontból vizsgálva a gélképződés kérdését,

megállapítható, hogy a nátriumszilikát-oldatok vizes kolloidális oldatok, melyek az oldatban lévő ionkoncentrációval jellemezhetők. Konkrétan számíthatók az oldat komponenseinek súlyviszonyai és a 100 g oldatra vonatkoztatott koncentráció értékei. A szilárdulási folyamat elején, amikor a reakció még nem kezdődött el, a szilikácionok negatív töltése folytán a taszító erők nagyobbak, mint a vonzó erők. A reakció a reagens hozzáadásával indul meg, mivel megváltoztatja az elektromos egyensúlyi helyzetet. Ezek a szerek vagy a lugosságot, vagy a szilikácionok negatív töltését közömbösítik, és ezáltal kovasav keletkezik. A szilikácionok mozgékonyságának megváltozása következtében növekszik a gél viszkozitása.

A viszkozitás változás magyarázatára egyébként két elmélet van. Az egyik szerint a taszítóerők csökkenése okozza a viszkozitás növekedését; a másik szerint ez a szilikácionok között keletkező kondenzációval magyarázható. A gélképződést tehát vagy a viszkozitás megnövekedésének, vagy egy kritikus értékre megnövekedett molekulásúly előállításának tulajdonítják. Az egyik elmélet szerint a viszkozitás növekedése folyamatosan zajlik le, a másik szerint viszont bizonyos idő elteltével hirtelen következik be /9/.

A Joosten-féle eljárás után bevezetett egyfolyadékos eljárásnál a szilikátot szerves reagens hozzáadása után alkalmazták elsősorban lágy gélek formájában. Ezek a gélek természetesen csak vízzárásai vagy kismérvű szilárdításra felel meg. A megindult fejlődés további eredménye volt, hogy igen finom szerkezetű anyagokat sikerült szilárdítani. A lágy gélek továbbfejlesztett változataival jutottak el a kis viszkozitású kemény gélekhez. Az eljárásoknál a kötéseleltetéssel mind jobb és jobb eredményt értek el. Közben megteremtették a szerves gyanták alkalmazásának a lehetőségét is.

A lágy géleket a már ismertett natrium szilikátból állították elő, melyhez injektálás előtt szerves reagenst adagolnak. Injektálhatósági okokból a gél viszkozitása változtatható úgy, hogy értéke a vízéhez közelít és így nagyon finom homok is injektálható. Ma már a lágy gélek vízzárási céllal széles körben /pl. nagy gátak alapozásánál/ használatosak. Előnyük, hogy nedves környezetben is időállóak.

A kemény gélek alkalmazását a szerves reagens kifejlesztése tette lehetővé. Reagensként leggyakrabban az etilacetátot és a már említett Durcisseur /D/ 508, D 600 stb. RHONE PROGIL gyártmányokat használják.

Igen figyelemreméltó eredményeket értek el az injektáló szakemberek a kötési idő /néhány perctől legalább egy óráig/ és a nyomószilárdság szabályozásával /1-4 MN/m² vagy annál nagyobb/ valamint a viszkozitás értékének módosításával /10-25 10⁻³Ns/m²/. Az igényeknek megfelelően kezelt és szabályozott injektáló anyagok mérsékelt nyomáson /0,5-2 MN/m²/ képesek a finomhomok szemcséi közé behatolni /10/.

3.2.1.2.1 Reagens

A különböző egyfolyadékos talajszilárdítási eljárások tehát egymástól csak a reagens fajtájában térhetnek el, ezért a következőkben röviden ezeket ismertetjük.

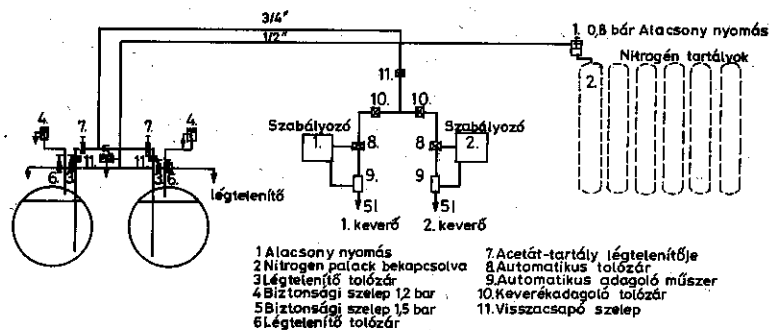
Etilacetát, izopropilacetát

A vízüveg reagensai közül elterjedten alkalmazzák és alkalmazzák még ma is az etilacetátot és az izopropilacetátot, mit hatóanyagot. Az etilacetát hatására a kötési idő rövid, míg az izopropilacetát hatására a kötési idő hosszú. A hatóanyagok megfelelő arányú keverésével a kötési idő a kívánt értékűre állítható be.

A fent említett anyag alkalmazásával kapcsolatban a következőkre kell a figyelmet felhívni:

- mindkét hatóanyag tűz- és robbanásveszélyes, ezért a tárolótartályokat föld alá kell süllyeszteni,
- a földalatti tartályból szifon-elv alapján nitrogénnel kell a kívánt mennyiséget kiszállítani /kiszorítani/,
- egy munkahelyen két tartály telepítése szükséges,
- a két összetevő keverését már a gyárban kell végezni, és csak utána lehet a munkahelyre szállítani, majd az említett tartályokban tárolni.

A fenti megjegyzések után a 3. ábrán az etilacetát felhasználási folyamatát mutatjuk be vázlatosan.



3. ábra

Etil- és izopropilacetát elegy tárolásának és felhasználási módjának vázlatja

A felhasználás során jelentkező számos veszélyforrás miatt az ismerttetett módszert ma már - ha egy mód van rá - nem használják.

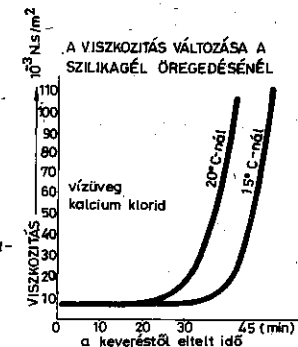
- MONODUR eljárás

Az eljárás lényege, hogy a vízüveghez injektálás előtt speciális reagenst /formamid/ adagolnak, amely beinjektálás után a talajtól és a hőmérséklettől függően a reagens által okozott kémiai reakció savat szabadít fel, ami létrehozza a vízüvegből a kovasavgél kicsapódását. Ennek a reakciónak a lefolyását és a viszkozitás növekedését az idő függvényében a 4. ábra mutatja be /3/.

- MONOSOL eljárás

Az eljárás lényege, hogy a vízüveghez nátriumaluminátot adagolnak reagensként. A létrehozott gél így a már említett lágy gél csoportba tartozik és elsősorban a finom homok erozióálló telítésre szolgál.

VÍZÜVEG = $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$
 $2\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{NaOH}$
 ÉSZTER (ecetsavas etilénészter)
 $\text{CH}_3\text{COO}[\text{H}_2\text{C}=\text{CH}]_n\text{COOCH}_3$
 $\text{CH}_3\text{COO}[\text{H}_2\text{C}=\text{CH}]_n\text{COO} \cdot \text{C}_2\text{H}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$
 VÍZÜVEG + ÉSZTER = SZILIKAGÉL REAKCIÓ LEFOLYÁSA
 Példa a reakció lefolyására:
 $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{NaOH} + \text{CH}_3\text{COO} \cdot \text{C}_2\text{H}_5$
 AZ ÉSZTER ELSZAPPANOSÍTÁSA, NÁTRIUM-ACETÁT KÉPZŐDÉS, NÁTRIUMALKOHOLÁT-SZILIKÁT KÉPZŐDÉS
 $\text{CH}_3\text{COONa} + \text{C}_2\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$
 $\downarrow \text{SiO}_2$



4. ábra

A gélképződés reakciójának és a viszkozitás növekedése az idő függvényében

- SICOR eljárás

A Sicor nevű angol eljárás formamid reagenst alkalmaz, s hogy a felszabaduló ammoniumhidroxid, illetve ammonia-gáz a földmunka során ne eredményezzen kellemetlen emberi mellékhatásokat /könnyezés, köhögés/ formalint kevernek az elegyhez.

- FLUODUR

Egyes információs anyagok szerint pl. a Fluodur gélek a viszkozitáson, a kemény géleknél ismerttetett eredményeken is javítottak. A Bachy által kifejlesztett cimbeli gélek viszkozitása az injektálás végén $3 \cdot 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$ -nél kisebb, ugyanakkor - éppen e tényből következően - a behatoló képességük olyan, hogy ma már az a homok is kezelhető, amelynek telítését régebben csak költséges gyantákkal lehetett megoldani. E gélek alkalmazásánál finom homok esetében is el lehet érni a $2-3 \text{ MN/m}^2$ -t, ugyanakkor a vízzárásuk is igen jó.

--DURCISSEUR 600

A Rhone Progil kutatóinak reagensként az utóbbi évtizedben sikerült egy olyan dikarbonsavat, márkanevén Durcisseur-t előállítani, amely az ismert különböző reagensek kisebb hibáit is kiküszöböli. Az eddigiekhez hasonlóan a Durcisseur reagens alapanyaga is a vízűveg. A Durcisseur 600 reagens felhasználásával alakítják ki a szükséges kötéseidejű gél. Ezek az oldatok igen kis viszkozitásuk az inektálendő tartományban, a talaj jó átítatására szolgálnak.

A Durcisseur 600 alkalmazásával az oldat gélesedése, megszilárdulásának ideje széles határok között szabályozható.

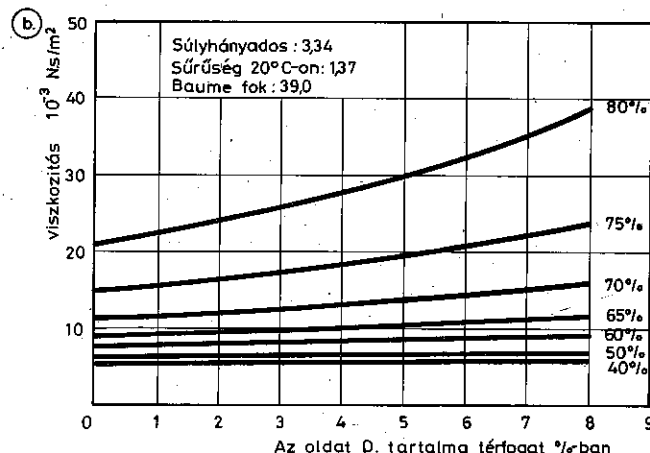
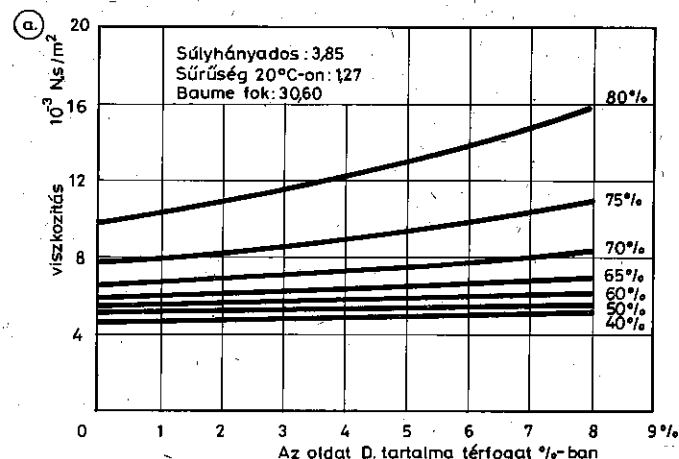
A különböző-tényezők /a koncentráció, a hőmérséklet, a keverési arányok/ hatását a gyár prospektusa grafikonokban adja meg. Az elegyek tulajdonságai közül a legjelentősebb a viszkozitás és a kötéseidő.

A szilárdító anyag viszkozitásának mérése a nyírási sebesség függvényében rendkívül fontos az inektálás szempontjából, mert ez teszi lehetővé az alkalmazandó besajtolási nyomások pontos meghatározását. Ezen túlmenően az eredmények felvilágosítást nyújtanak a csápok egymástól való távolságára is. Inektáláshoz olyan anyagokat keresnek, amelyek viszkozitása a lehető leghosszabb ideig igen kis mértékben változik, majd a megköttéskor rohamosan növekszik.

Meg kell jegyezni, hogy a kezdeti viszkozitás a keverék előállításának pillanatában értendő. A viszkozításra minden esetben nagy hatással van a hőmérséklet is.

Az 5. ábrán feltüntetett két grafikonon látható a kezdeti viszkozitás különböző vízűveg és a Durcisseur 600 töménységénél. A százalékos értékek a vízűveg térfogat-százalékát jelölik az oldatban. Itt még azt kell megjegyezni, hogy a vízűvegre vonatkozó adatok a Progil cég által alkalmazott vízűveg adataival azonosak.

A kötéseidő másik fontos jellemzője a pontosan meg-

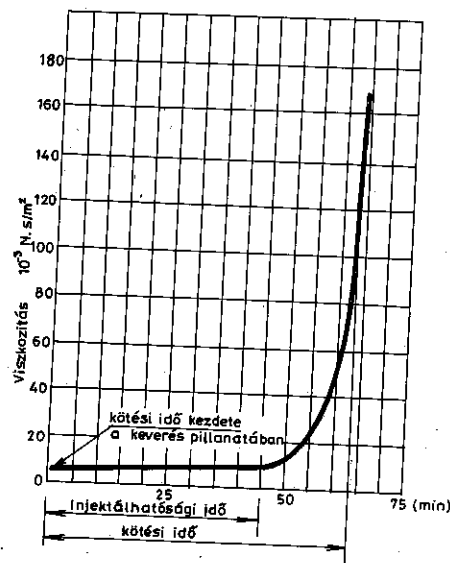


5. ábra

Kezdeti viszkozitási értékek különböző vízűveg és "Durcisseur 600" /D/ koncentrációjánál

határozott adagolású víz, vízüveg és a Durcisseur 600 aránya, amivel biztosítani lehet azt a szükséges időtartamot, amely alatt az injektálás kockázat nélkül hajtható végre.

A víz-vízüveghez adagolt Durcisseur 600 reagens hatására lejátszódó folyamatnál érzékelhető, hogy a viszkozitás lassan növekszik, majd egy meghatározott idő után rohamosan emelkedik. Ezt a folyamatot mutatja be a 6. ábra.



6. ábra

Viszkozitás változása az idő függvényében

A kötési idő alatt azt értjük, amikor a folyadék viszkozitása eléri a $100 \cdot 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$ -t, /a kötési idő a keverés pillanatától számítandó/ ez néhány perccel előzi meg azt a folyamatot, amikor a folyadék eléggé megszilárdul ahhoz, hogy ne folyjon, ha a kísérleti keverőedényt vízszintesen megdöntjük. Az injektálhatóság ideje általában a kötési idő háromnegyed részének felel meg. Ez az az idő, amely alatt a viszkozitás elég alacsony marad ahhoz, hogy az injektálás elvégezhető legyen.

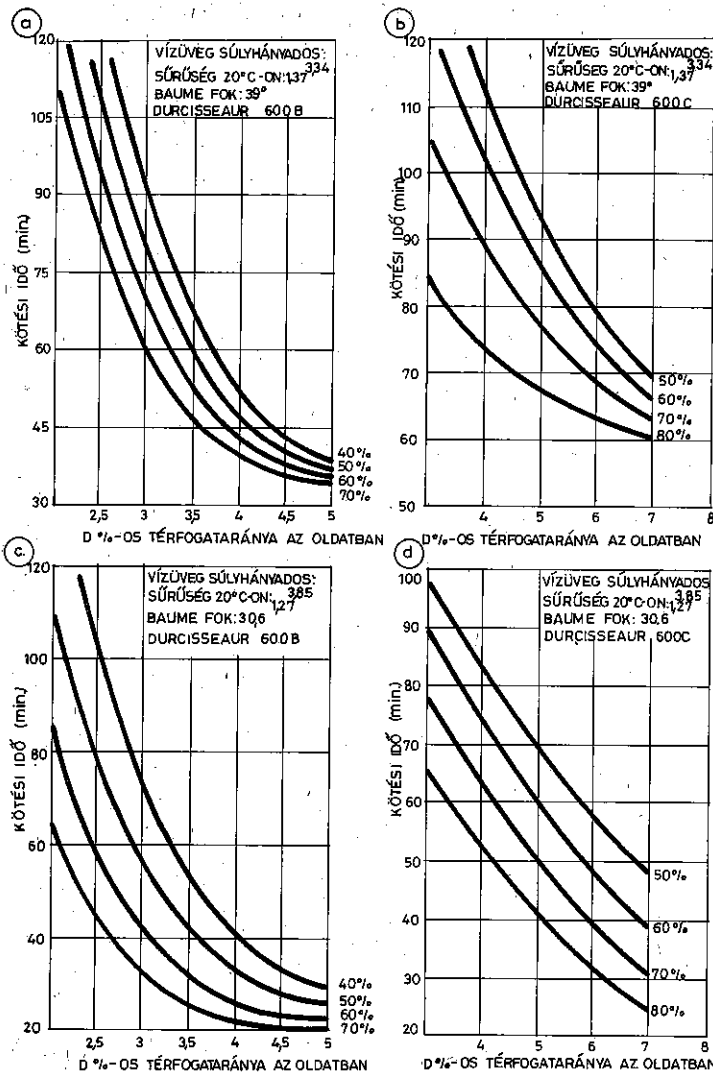
A kötési idő függ

- a vízüveg tulajdonságaitól /arány, szárazanyag/
- a vízüveg töménységétől,
- a Durcisseur 600 fajtájától,
- a Durcisseur 600 koncentrációtól és
- a hőmérséklettől.

A kötési idő változását a Rhone-Progil cég adatai alapján a 7. ábrán mutatjuk be. A grafikonok összeállításánál kétféle vízüveget vettek alapul. Az egyes görbékhez tartozó százalékos értékek a vízüveg térfogat százalékát jelentik az oldatban.

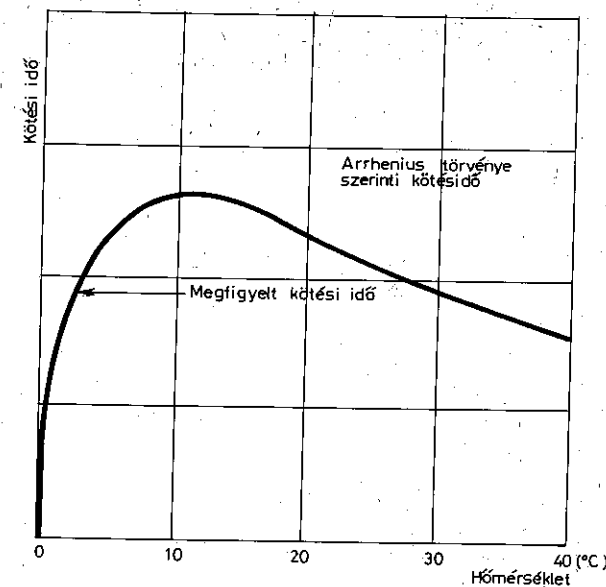
A kötési idő, mely nagymértékben függ a hőmérséklettől is, a 8. ábrán bemutatott módon alakul. A maximumot a 10°C és 20°C között éri el, majd erősen csökken, a 0°C közelében a nullához közeledik. Az ismertetettek teszik szükségessé, hogy a folyadék hőmérsékletét mindig 10°C felett célszerű tartani.

Az előírt arányú vízüveg oldatban diszpergálva a Durcisseur 600 kötőanyag lassan szappanosodáson megy át, ami felszabadítja az alifás savakat és a megfelelő alkoholokat, amely viszont egy előre meghatározható idő eltelte után előidézi a folyadék megalvadását fehér tömeg, gél formájában.



7. ábra

A kötési idő változása 20°C-on a RHONE-PROGIL módszer szerint



8. ábra

Kötési idő alakulása a hőmérséklet függvényében

3.2.1.3 Vízüveg-műanyag injektáló anyag

A címben megadott anyag a Rhone-Progil cég által szabadalmaztatott olyan eljárás, amely a szilikátos és az akrilamidok eljárások előnyeit egyesíti.

3.2.1.4 Supergél

A Supergél nevű injektáló anyagot a francia Soletanche cég már több munkán sikeresen alkalmazta. Összetétele: víz, bentonit, nátrium-pirofoszfát / $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ /, bórsav / H_3BO_3 / és vízüveg /12/.

Az eddigi tapasztalatok alapján szükséges, hogy az egyes alkotórészek a következő tulajdonságokkal rendelkezzenek:

- víz; különösebb kíváncsálom nincs, ivóvíz minőségű megfelel,
- bentonit; 6 %-os töménységű szuszpenzió kezdeti látszólagos viszkozitása legalább $10 \cdot 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$, vízleadása legfeljebb 18 ml, iszapleány vastagsága 1 mm,
- nátrium-pirofoszfát savanyúsó /kristályvíz nélkül/ minőségű legyen,
- bórsav; ipari ortóbórsav megfelelő,
- vízüveg; 1:3,3 - 1:3,4 szilikát, és 36-37 Bé° sűrűségű megfelelő.

3.2.1.5 Lignokrom

Az alkáli és földalkáli lignoszulfítoknak /a fa biszulfitos kezelése után visszamaradó oldat/ az a tulajdonsága, hogy többé-kevésbé konzisztens kolloid habarccsá alakulnak, ha alkáli bikromátot adnak hozzájuk. Az így készült gélek nagyon hasonlóak a szilikagélhez.

A lignokromok alkalmazási területe tehát lényegileg ugyanaz, mint a lágy, vagy félkemény szilikagélé. Azonos szilárd-ság esetén ez legalább 50 %-kal drágább, ezért kivételes esetektől eltekintve inkább szilikagélként használnak.

3.2.2 Műanyag alapú eljárásoknál alkalmazott gyanták

A modern kémia a hidegen polimerizálható cseppfolyós gyanták két kategóriáját bocsátotta a szakemberek rendelkezésére: az egyik kategória vizes oldatban, a másik víz hozzáadása nélkül használható.

Az első kategóriába tartozóknak a viszkozitásuk igen csekély /max. $2 \cdot 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$ /, így a legfinomabb homokba is behatolnak. Ezek közül a leggyakrabban alkalmazott az akril-amid gyanta. Ezek a gyanták csak kis szilárdsági értéket adnak.

A fenolgyanták polimerizálási ideje szabályozható ugyanúgy, mint az akril-amidok esetében néhány perctől néhány óráig, de jelentős nyomószilárdságokat tesznek lehetővé /3-4 MN/m²/, tehát inkább szilárdításra alkalmasak.

A második kategóriába tartozó gyanták kötés után igen jelentős szilárdságot érnek el /nyomószilárdságuk 100 MN/m²/-ig terjedhet/, de igen nagy a viszkozitásuk, így inkább ragasztóanyagoknak tekinthetők. Megfelelő oldószerrel folyékonyságuk növelhető, ilyenkor falszerkezetek és betonok repedéseibe injektálhatók.

A második kategóriába tartozó anyagokkal nem foglalkozunk, az első kategóriába sorolható gyantákat röviden a következőkben ismertetjük. Előljáróban annyit jegyzünk meg, hogy injektálásnál a sokféle gyanta közül csak néhány használható előnyösen, mint pl. a karbamid-formaldehid, a resorcin-formól, /amit a Soletanche szabadalmaztatott/ és az akril-amidok, amit Cyanamid Co hoz forgalomba AM-9 néven /13/.

3.2.2.1 Karbamid gyanták

Karbamid formalin alapú prekondenzált vegyitermék, mely további formaldehid és katalizátor jelenlétében gélle polimerizálódik. Hazánkban az FTV végzett kiterjedt kísérleteket mind laboratóriumi, mind terepméreteken, sőt gyakorlati felhasználásra is sor került. A gélesedést kiváltó anyag savas hatású, ezért a talajok karbonát tartalma megakadályozhatja a reakciót. Karbonát tartalmú talajokban a szilárdító injektálás előtt savazással szokták a veszélyes karbonát-tartalmat veszélyteleníteni /1/.

3.2.2.2 Fenolgyanták

Resorcinból és formaldehidből előállított erősen higítható de mérgező hatású anyag, mely igen finom szerkezetű talajokba is beszajtolható.

3.2.2.3 Akril-anid gyanták /AM-9/

Az akrilamidok legismertebb képviselője az amerikai AM-9 márkajelű termék. Alapvetően két fő összetevője van az anyagnak az akril-amid és a metilén bis-akrilamid.

A térhálósodást ammonium persulfát és egy DMAPN rövidítésű redukáló anyag idézi elő, melyet nátrium metabisulfát, illetve újabb japán kutatások alapján aszkorbinsav helyettesíthet. A kötés szabályozása redox rendszerrel történik /2/.

A 3.221-3.223 pont alatt ismertetett gyantáknak közös tulajdonságai a következők:

Folyékony monomer, vagy por formájában forgalmazzák. Ez az anyag hideg vízben mindenkor, minden arányban tökéletesen oldódik. Ezek az oldatok newtoni folyadékoknak tekinthetők. Ebből következik, hogy ilyen szerves gyantákkal kis nyomáson lehet olyan finom talajokat injektálni, ahol a gélek már nem alkalmazhatók.

A polimerizáció hirtelen következik be előre megállapított idő elteltével és az a katalizátor megválasztásával, vagy koncentrációjával szabályozható. A polimerizáció mindenkor hőtermelő, amit az injektálásakor figyelembe kell venni. Figyelembe kell venni továbbá a polimerizáció idejét, a környezeti hőmérsékletet és a talaj hőmérsékletét, mert a kötésidőt erősen befolyásolja a hőmérséklet.

Az ismertett gyantákkal elért szilárdságok arányosak a monomer koncentrációjával.

A szerves polimerek az összes injektálható termékek közül a legtartósabbak, ugyanis oldhatatlanok és létrejöttükkor nem szabadítanak fel semmilyen oldható sót.

A resorcin-formaldehid és a karbamid-formaldehid nagy szilárdságú gyantát eredményez, amely egyaránt jól használható tömítésre és szilárdításra. Az AM-9 kis szilárdságú, ezért csak tömítésre használható /13/.

4. TERVEZÉS

Az injektálási munka tervezését csak megfelelő alapadatok birtokában lehet megkezdeni. A tervezés minden esetben szekvenciaként /legyezőnként/ külön-külön történik. Az ezzel kapcsolatos tennivalókat a következőkben mutatjuk be. Itt jegegyezzük meg, hogy a tervezési folyamat bemutatásánál a bonyolultabb megoldást mutatjuk be, mely lehetőséget ad egyszerűbb feladatok megoldására is.

4.1 Előkészítés

Az injektálási munkákat csak igen alapos feltárás adataira támaszkodva lehet tervezni. Ezért a tervezés előtt részletes talajmechanikai szakvéleményt kell készíttetni. /A vizsgálatokat csak felkészült és jogosult szakintézet végezheti./ Az idevonatkozó részleteket a 2.51 Talajvizsgálatok c. fejezet tartalmazza.

A feltáró fúrásokból vett mintáknak folyamatosan vett magmintáknak kell lenniük, s a laboratóriumi vizsgálatokhoz felhasznált mennyiségen felül a munka befejezéséig minden megmaradt mintaanyagot meg kell őrizni. A szilárdítás területén az összes közművet fel kell deríteni, annak pontos magassági és vízszintes, valamint a közmű méret adatait rögzíteni kell. A felderítés a fekvés meghatározásához szükséges gyakoriságú kitakarással, pontos beméréssel kell történjen.

A 2,0 méternél mélyebben levő csatornákat nem kell kitakarni, de geodéziailag azokat is be kell mérni.

A közmű bekötésének és utcai víznyelők csatlakozásában a csatorna bekötés helyét és kezdetét is rögzíteni kell; s elég feltételezni, hogy a csatornát magát egyenes vonal mentén fektették. A szilárdítás területéről készített 1:50 léptékű tervben az összes nem közmű jellegű műtárgyat, épületalapot, aknát is fel kell rakni.

Az injektáló fúrás munkák megkezdése előtt a felszínen geodéziai pontrendszert kell telepíteni. Előjáróban példaként bemutatunk egy korszerű berendezéseket igénylő nagy feladatot jelentő injektáló munka megkezdéséhez biztosítandó /a Soltetanche francia cég adatai alapján/ 300-400 m² alapterületű központi munkahelyi telepet, eszköz, berendezés, és építmény megjelölésével, amelyek a következők:
ezen belül javasolt:

- kb 6x7,5 m-es felület a vízszivattyúk keverőberendezések és sűrített levegőszolgáltatás konténerei részére,
- a fúró habarcs előállító és regeneráló berendezéseinek mintegy 5x6 m-es szin-, és hozzá csatlakozóan a 3x1,5 m-es három kamrás ülepítő medence /földbe süllyesztve/ szippantókocsis tisztítási lehetőséggel,
- raktár vagy siló bentonit és cement tárolásához,
- fedett szin a bentonit-cement keverék előállítására szolgáló berendezések részére és
- fedett szin az injektálás anyagai tartályainak, a keringető szivattyúk és a téli időszakra szükséges fűtőberendezés elhelyezésére. A tartályok méretét az anyagbeszerzés és szállítás lehetőségei alapján kell meghatározni,
- biztosítani kell a szociális létesítményeket /iroda, tartozkodó, műhely, öltöző, mosdó, zuhanyzó, WC, elsősegélynyújtó stb./.

A szilárdítás területén biztosítandó:

- a forgalomtól függően fedett vagy nyitott, általában 20x60 vagy 30x70 cm méretű csatornarendszer a fűróiszap szállítóvezetékeinek, és az elektromos kábeleknek;
- a vízgyűjtő és szivattyúzsompok a helyi viszonyoknak megfelelően,
- hírközlési lehetőség /telefon/,
- vízvezeték /az injektáló központban 2"; a munkahelyen 1"/,
- energia,

- a munkahelyen a munka tehermenetétől függően 50-100 m-enként csatlakozó szekrény,
- a csatorna csatlakozás a munkahelyen és az injektáló központban.

Egyes esetekben a szilárdítási munka igényli a vízszintes lebetonozott munkaterületet. Ez teszi lehetővé a pontos furatkitűzést, a pontos gépbeállítást, a munkatér tisztántartását stb.

4.1.1 Feltáró fúrások

A feltáró fúrások távolságát vonalas létesítményeknél mindig a várható talajrétegződés jellege és a helyei adottságok határozzák meg.

Nagy kiterjedésű érintett területeken - mint pl. egy nagy műtárgy teknő injektálása - a talajfeltárást 2500-3000 m²/fúrás sűrűséggel célszerű végrehajtani zavartalan mintavétel-lel, hogy a rétegződés megállapítható legyen.

Mindkét esetben a kapott eredményektől függően szükség szerint kell a feltárást sűríteni. A sűrítés történhet a fúrásos módszeren kívül a helyszíni vizsgálatoknál elterjedt szondázásos módszerrel is. Ez a módszer nem pótolja a hagyományos feltárási módokat, hanem azok kiegészítésére szolgál /14/. Alagutak esetében a feltáró fúrásokat a két alagut tengelye között vagy annak közelében mélyítik le. A feltáráskor begyűjtött adatok alapján - a feladatokról függően - szelvényt és tömbszelvényt kell készíteni. A szelvényen a következő adatokat kell feltüntetni:

- a terepszintet,
- épületek esetén az épület alapmetszetét, az alapsík mélységét, a pince és a padlószintet,
- a rétegsort /a metszetbe be kell jelölni azokat a furatokat, melyek alapján a rétegsor készült/
- alagut esetén az alagut átmérőjét, tengelyét és
- a közműveket /azok metszetének és pontos helyének a feltüntetésével/.

Ezeknek a birtokában lehet meghatározni az injektálási tartományt, a furattávolságot stb.

4.1.2 Közművek

Ahhoz, hogy a kivitelező a munkáját minden gond nélkül el tudja végezni, olyan tervekre van szükség, melyek pontosan tartalmazzák a közművek helyét. Ezért a rendelkezésre bocsátott közműtervek birtokában, de még az előtervezés időszakában ha bármilyen bizpnytalanság van, a megrendelő terhére további kutató /feltáró/ árkok készítését kell elvégeztetni. Ezek az árkok általában 20-25 m-enként készülnek 2 m mélységben. A kutaóárok készülhet az injektálás szelvényében úgy, hogy az a furatok tartományára terjedjen ki. Erre mutat be példát a 9. ábra.

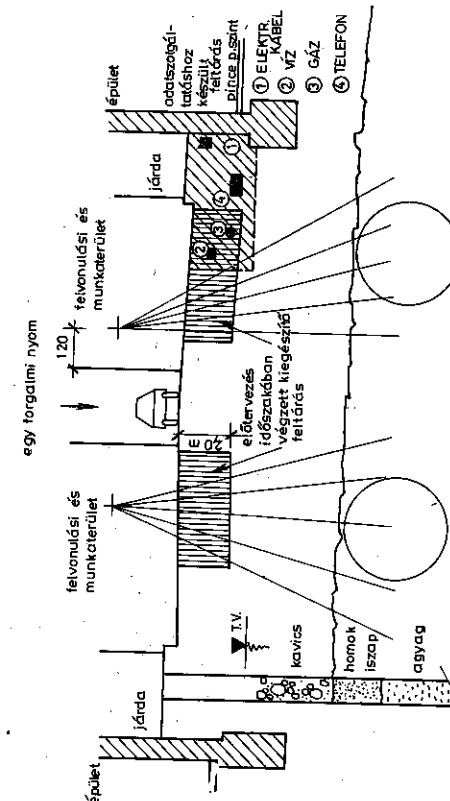
Igy a rendelkezésre álló adatok birtokában a tervezési munka elvégezhető.

4.2 Injektált tartomány kialakítása

4.2.1 Injektált teknő

Erősen vízáteresztő altalaj esetén, amikor a vízzáró réteg igen nagy mélységben van, csak injektálással lehet a munkagödör fenéklezárását biztosítani úgy, hogy az víztele-níthető legyen. Az ehhez szükséges függőleges körülhatárolás történhet résfallal, résfüggönnyel, vízzáró függönnyel vagy injektálással. A 10. ábra egy injektálással kialakított munkagödör lehatárolást mutat be.

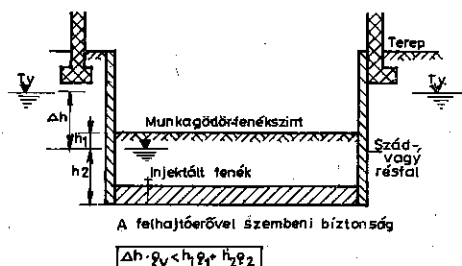
A fenékre ható $\frac{h_1}{\rho_1} + x + \frac{v}{\rho_2}$ hidrosztatikai nyomást megfelelő biztonsággal "n" és "x" vastagságú vízzel telített talaj $\rho_1 = 2,1 \text{ Mg/m}^3$ és a "v" vastagságú injektált talaj $\rho_2 = 2,2 - 2,3 \text{ Mg/m}^3$ súlya kell hogy felvegye és ebből a



9. ábra

Közmű feltárását szemléltető vázlat

Az előzőhöz hasonló megoldást, de vékonyabb injektált fenékkal kialakított munkagödör lezárást mutat a 11. ábra is. A munkagödör fenékszintjének stabilitásához tartozó összefüggést az ábrán tüntettük fel/az injektált fenék β -ját a biztonság javára hanyagolták el/ $3/$.



11. ábra

Munkagödör fenéklezárása injektált teknővel

4.2.2 Injektált fal /függőleges lezárás/

A szigetelést szolgáló függőleges injektált függönyöket is különböző rendeltetésű létesítményekhez tartozóan hoznak létre. Ilyen megoldást alkalmaznak többek között a már említett munkagödör függőleges lezárásánál /ma már mind ritkábban/, valamint a különböző típusú duzzasztóműveknél, gátnál stb. Tekintettel arra, hogy ez az injektálás legegyszerűbb megoldásai közé tartozik, részletezésre nem térünk ki.

4.2.3 Körgyűrű szilárdítás

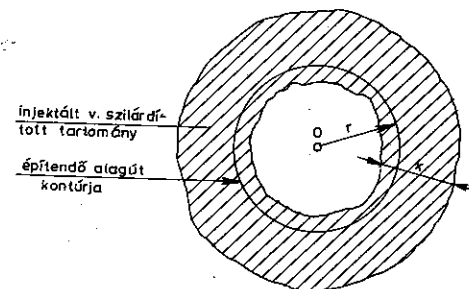
Bécsben az alagutépítésnél végzett talajszilárdítási munkáknál szerzett tapasztalatok alapján, a szilárdítandó köpeny minimális sugárirányú méretét 3,0 m-ben határozták meg. Mindenkor azt használják, ha különleges eset nem fordul elő.

Természetesen a megoldandó feladattól függően ez az érték 3,0 m/ változhat. Ha a gyűrű vastagságát csökkenteni kell, azt a szilárdság növelésével ellensúlyozzák, ha a rétegvastagságának növelése a cél, a szilárdsági értéket kell csökkenteni. A szilárdság az injektáló anyag összetételével szabályozható.

Amennyiben az alagút szelvényében és környezetében csak vízzárásról van szó, abban az esetben sem lehet 1,5 m-nél kisebb gyűrűvastagsággal számolni.

A legkisebb injektálási gyűrűvastagság 1,5-2,0 m. Ez a méret szükséges ahhoz, hogy a kerület mentén - annak minden részén - az injektálás zárt telített tartományt hozzon létre.

Egyik bécsi tanulmányút ideje alatt kapott tájékoztató szerint körszelvényű műtárgyaknál /alagutaknál stb./ a szilárdítandó tartomány - a szilárdított gyűrűvastagság - meghatározásánál az alagút méretezésénél használt eljárással végeztek számításokat. Így határozták meg az x értékét /12. ábra/.



12. ábra

Szilárdított tartomány kialakításának elvi vázlata

A gyakorlatban szerzett tapasztalatok adatainak összegyűjtése és értékelése alapján megállapították, hogy a fent említett számítással nem kaptak minden esetben elfogadható eredményt. A Soletanche és a Swibo cég tapasztalati adatok alapján felállított ökölszabállyal határozták meg a gyűrű minimális és maximális méretét $/x/$.

Felállítottak egy szabályt, melyet a bécsi földalatti építésnél szigorúan be is tartottak. Ez a következő:

$$2r > x > r$$

r = a körszelvény sugara,

x = a szilárdított körgyűrű vastagsága.

A következőkben a fenti szabály alkalmazására két példát mutatunk be:

- ha a tervezett alagutszelvény külső átmérője 5,0 m-es feltételéből indulunk ki, a

$$2r > x > r$$

szabály alapján a következő eredményt kapjuk:

$$5,0 > x > \frac{5,0}{2}$$

ebből kiderül, hogy a gyűrűvastagságnak 2,5 m-nél nagyobb kell lennie. Ezért az x értékét 3,0 m-ben határozták meg,

- ha a tervezett alagutszelvény külső átmérője 10,0 m-es feltételéből indulunk ki, a

$$2r > x > r$$

szabály alapján a következő adatokat kapjuk:

$$10,0 > x > \frac{10,0}{2}$$

ebből kiderül, hogy a gyűrű vastagságának 5,0 m-nél nagyobb kell lennie. Ez esetben az 5,0 m-es vastagságot, mint minimális értéket tartották elfogadhatónak $/16/$.

4.2.4 Ernyőszerű szilárdítási tartományok

A 13. ábra a Swibo cég által kidolgozott, az alagutszelvényt ernyőszerűen védő injektált tartományának meghatározására mutatunk be példát.

Az ábrán bemutatott példasorozaton az x érték szigetelési /telítési/ eljárásnál 2,5 m míg, ha szilárdítási céllal készül az injektálás, 3,0 m. Mint az bából is kiderül, a bemutatott módszer abban az esetben használható, ha az injektálandó tartomány kavics és az még géllel injektálható talajra támaszkodik.

Az ábrával kapcsolatos megjegyzések:

- A feltüntetett "h" érték minden esetben a kavics alsó határa /feküje/ és az alagut tengely közötti távolságot jelöli, míg
- a "b" érték a kavics alsó határa alatt szükséges átmeneti réteg telítésének a méretét adja, amire a biztonság miatt szükség van. Végül
- az "a" érték a "h" és "b" értékek viszonyát mutatja az alagut tengelyéhez képest.

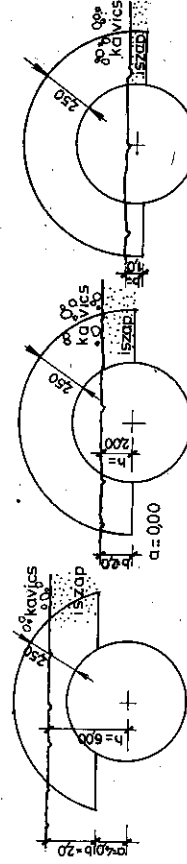
4.2.5 Paplanszerű szilárdított réteg

Befejezésül egy olyan esetet említünk meg /14. ábra/, amikor az alagutszelvény felett a szilárdított tartományt nem ernyő-, hanem paplanszerűen alakították ki. Itt az ábrán látható megoldás részletes ismertetése nélkül csak a hossz- és keresztmetszeti mértékekre hívjuk fel a figyelmet. A hosszmetseten jól látható, hogyan változik a paplan vastagsága. A szilárdítás határa ott van, ahol a megfelelő szerkezetű talaj, mint fedőréteg az alagut felett eléri a 3,0 m-t. $/16/$

a) szigetelés

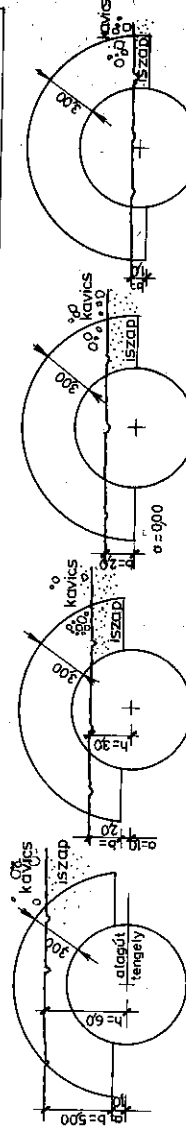
h	500	200	200	1,00	1,00-nél kisebb
a	400	000	000	konstans	000
b	200	konstans	200	100	100
					konstans

Megjegyzés: Kiindulási alap
a 30 m vastag
injektált kőpeny



b) Szilárdítás

h	600	300	200	100	100-nél kisebb
a	100	konstans	000	konstans	000
b	500	200	200	100	100
					konstans

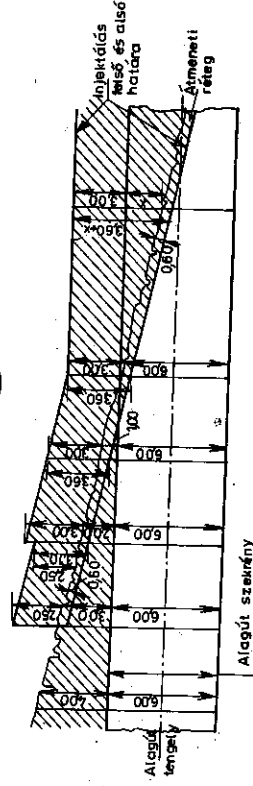
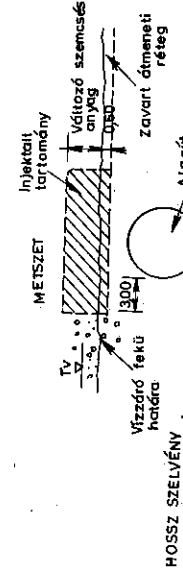


h = a kavics alsóhatára és az
alagút tengely közötti távolság

b = a kavics alsó határa alatt szükséges
átmeneti réteg injektálása a biztonság
miatt

„a”, „b”, és „b” viszonyait
mutatja az alagút tengelyéhez

13. ábra Injektálási tartományok kialakításának elvi megoldásai



14. ábra

Alagút felett kialakított szilárdított réteg / paplan/

4.3 Injektáló csápok telepítése

Az injektálendő rétegen áthatoló csápok /injektorok/ kiosztásának olyannak kell lennie, hogy az injektáló anyag maradéktalanul, megfelelő biztonsággal /átfedéssel/ át tudja itatni a talajt.

Mielőtt a különböző, a hatósugár meghatározására vonatkozó számítási eljárásokat, a gyakorlati tapasztalatok összegyűjtéséből adódó eredményeket bemutatnánk, ismertetjük azt a hatósugár számítási módszert, amelynél a besajtolás nyitott csővégről, nagyvastagságú rétegben történik.

Az injektálendő folyadék áramlását közelítésképpen Darcy törvénye alapján számolják, de figyelembe kell venni a víztől eltérő viszkozitást és a fajsúlyt. A viszkozitás eltérő értékét a talajnak az injektáló folyadékra vonatkozó áteresztőképességi együtthatójával k' tényezővel kell számításba venni, tehát

$$k' = k \frac{\gamma}{\gamma'} \quad /1/$$

ahol k' a talaj áteresztőképességi együtthatója γ'

viszkozitású folyadék esetén,

k a talaj áteresztőképességi együtthatója γ viszkozitású víz esetén,

γ a víz kinematikai viszkozitása,

γ' az injektáló folyadék viszkozitása.

A nyitott csővégen kiáramló folyadék a talajban sugárirányban áramlik szét, az egyenlő nyomású pontok gömbfelületen helyezkednek el, amelyek középpontja a cső vége.

Az r sugarú gömbfelületen áthaladó folyadékmennyiség egyenlő az r_1 sugarú csőbe besajtolott folyadék mennyiségével.

Darcy törvényét alkalmazva a

$$k' \frac{dh}{dr} = \frac{q}{4\pi r^2} \quad /2/$$

differentiálegyenlet adódik, amelynek megoldása

$$k' = \frac{q}{r_1} \cdot \frac{1}{4\pi h} \quad /3/$$

ahol q az időegység alatt besajtolott injektálható folyadék mennyisége,

r_1 az injektálócső sugara,

h az injektáló nyomás.

Az áramlási sebesség dr/dt értékéhez számításakor figyelembe kell venni, hogy az injektáló folyadék a vízzel nem teljesen kitöltött porusokon át áramlik.

Ha a talaj térfogata n , a porusok kitöltöttségi aránya β akkor az áramlás szempontjából számításba jövő keresztmetszeten $n' = \beta n$ és az áramlási sebesség

$$v = n' \frac{dv}{dt} \quad /4/$$

A kiindulási feltételek alapján

$$n' \frac{dr}{dt} = \frac{q}{4\pi r^2} \quad /5/$$

differentiálegyenlet az eredmény, amelynek megoldása

$$r^3 = \frac{q \cdot t}{\frac{h}{3} n' \gamma} + r_1^3 \quad /6/$$

Elhanyagolva az r_1^3 értékét

$$r = \sqrt[3]{\frac{q \cdot t}{\frac{h}{3} n' \gamma}} \quad /7/$$

Ha a /3/ egyenletből a q értékét kifejezzük és behelyettesítjük a /7/ egyenletbe, a várható hatósugár értéke

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 r_1 k' h t}{n'}}$$

ahol t a besajtolás időtartama.

A gyakorlati számításnál az n' értékét 0,8 n -nek lehet felvenni. A k' értékét az injektáló folyadék viszkozitásának mérésével /pl. relatív viszkozitás mérése is megfelel, ha ugyanazzal az eszközzel a víz viszkozitását is méri/

lehet meghatározni. Cementtejnél, bentonitnál a "k" 15-50-szerese a k'-nek /8/.

A csápok egymástól való távolságának meghatározására nincs egyértelmű szabály. Ezért a csápkiosztás részben műszaki adottságoktól, részben az injektálási hatósugártól és a műszaki követelményektől függ, illetve azok szabják meg.

Durva szerkezetű talajban vagy kisebb viszkozitású injektáló anyag esetén ritkább, finomabb szerkezetű talajban vagy nagyobb viszkozitású injektáló anyagnál sűrűbb kiosztást kell tervezni. Törekedni kell arra, hogy a csápok a szilárdítandó réteget lehetőleg közel merőlegesen metszék. A 4. táblázat tájékoztatásul szemlélteti a különböző céllal készülő kialakítható csáphálót a különböző, de átlagosnak tekinthető talaj- és kőzetfélések figyelembevételével.

Tájékoztató adatok csápkiosztásra 4. táblázat

Műtárgy	Talaj	A csápok kiosztása
Függöny falak	Alluvium	Csápok két párhuzamos vonal mentén A csápok egymás közötti távolsága 1,0 - 3,0 m.
	Szikla	Csápok egy vagy két egymással párhuzamos vonalban. A csápok egymástól való távolsága 2,6 - 6,0 m.
A talaj injektálása zónában /talajszilárdítás/	Alluvium	Hálóban 1,00 x 1,00-tól 3,00 x 3,00-ig terjedő osztással.
	Szikla	A hálózat osztásmérete kb. 3,00 x 3,00 m.
Vízáró földfenék /teknő/	Alluvium	Hálóban 1,50 x 1,50-től 7,00 x 7,00 m-ig terjedő osztásban
	Szikla	A hálózat osztásmérete kb. 4,00 x 4,00 m.

A következőkben néhány javasolt megoldást mutatunk be.

Az ME 117-74 sz. műszaki előírás az egy sorban elhelyezett injektáló csövek távolságát 2 r és 1,5 r-ben jelölte meg /r = hatósugár/ attól függően, hogy az injektált tömböknél milyen mértékű összemetsződés az igény. Több sorban elhelyezett injektálócsövet a lehetőségekhez képest sakktábla-szerűen célszerű kiosztani. Az említett előírás függelékében az injektálási hatósugár számítására "x" vastagságú réteg szilárdítására /feltételezve, hogy az injektálandó réteg két vízzáró réteg között van/ és az equipotenciális felületek hengerfelületek lesznek, az alábbi összefüggést adja:

$$r = \sqrt{\frac{2}{n^x \lg \frac{R}{r_1}} \cdot k^x \cdot h \cdot t + r_1^2}$$

ahol k^x = az injektáló anyagra vonatkoztatott áteresztőképességi együttható, m/s;

$$k^x = k \frac{\gamma}{\gamma_t}$$

k = a talajvízre vonatkoztatott áteresztőképességi együttható, m/s;

γ = a talajvíz viszkozitása, 10^{-3} N.s/m^2

γ_t = az injektálóanyag viszkozitása, 10^{-3} N.s/m^2

n^x = az áramlás szempontjából jövő hézagterefogat;

$n^x = \beta \cdot n$

β = a pórusok kitöltöttségi aránya /gyakorlatilag

$\beta = 0,8$;

n = terfogat

R = az a sugár, ahol az injektáló nyomás értéke a külső nyomás értékére csökken, m;

r_1 = az injektálócső sugara, m;

h = az injektálási nyomómagasság, m; $h = \frac{p}{\gamma}$

t = az injektálási idő, s;

Az r_1^2 tag értéke a h értékhez képest igen kicsi és elhanyagolható, ekkor az injektálási sugár arányos

- a h nyomási,
- a k vízáteresztőképességi együttható,
- a víz és a beszajtolt folyadék viszkozitási aránya

$$\frac{\gamma}{\gamma_t} \text{ és a}$$

- t beszajtolási idő négyzetgyökével.

Az egyenlet csak arra a t időre érvényes, amíg a $k \frac{\gamma}{\gamma_t}$ értéke állandó, mivel a $k \frac{\gamma}{\gamma_t}$ értéke az idővel csökken, az injektálási sugár határértékét nem lehet egyértelműen meghatározni.

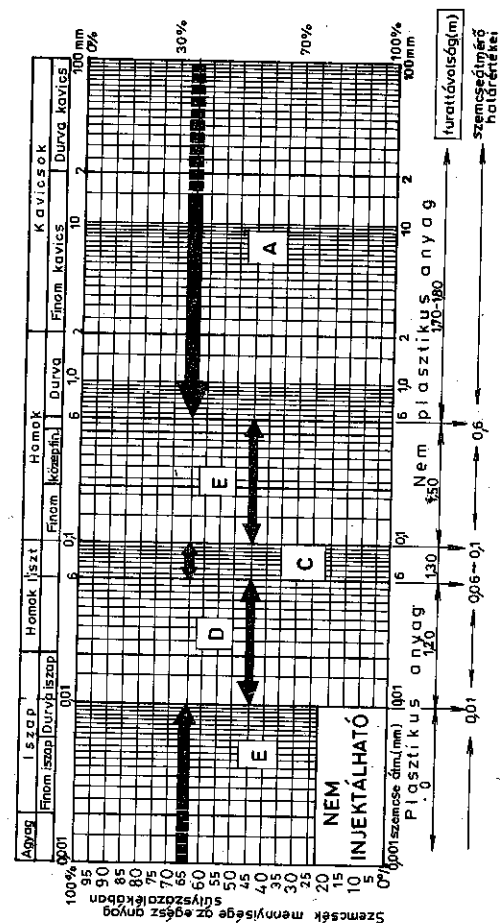
A francia Soletanche cégnél végzett sorozatos ellenőrző vizsgálatok alapján megállapították, hogy elméleti módon nem lehet a csápok egymástól való távolságát meghatározni, ezért azt az összegyűjtött gyakorlati tapasztalatok alapján állapítják meg. A számos kiértékelte adat birtokában kialakított "gyakorlati szabályt" jól tudják alkalmazni.

Az előzőekben közölt tájékoztató után egy a tervezés alapját képező csápkiosztási gyakorlati módszert mutatunk be. Az, hogy milyen módon történik a csápkiosztás, mindig a talajtól függ és azon belül is más az elbírálás módja

- a vízáteresztő /kavics, homok, Mo, iszap/ és
- a nem vízáteresztő talajoknál.

A csápkiosztás alapját képező, gyakorlati tapasztalatok alapján meghatározott adatokat a 15. ábra tartalmazza. Az ábrában az A, B, C, D jelzi az injektálható tartományokat feltüntetve a hozzá tartozó csáptávolságot is.

A 15. ábrán bemutatottak használatára vonatkozóan még azt kell tudni, hogy mindig az a tartomány adja a mértékadó csáptávolságot, amely tartományba esik a szemelosztási görbe 30 % fölötti része.



15. ábra

Csáptávolságok meghatározása a szemmagyság függvényében

A durva kavics tartományban [A] minél laposabb a szemelosztási görbe, annál jobban kell közelíteni a csápkiosztásra vonatkozó értékek alsó határához.

Az ismertettekből is kitűnik, hogy a háló távolságának meghatározásához igen pontos szemelosztási görbére van szükség.

Annak bizonyítására, hogy a gyakorlati tapasztalatokon alapuló, a 15. ábrán közölt csápkiosztási módszer az elméleti alapon számított csáptávolság helyettesítésére megfelel, a következő példát mutatjuk be:

- Az injektálandó anyag finom és középfinom homok, melynek szemcseátmérője 0,1-0,6 mm között változnak. A mértékadó csáptávolságot az [E] tartomány adja, mivel a szemelosztási görbe 30 % feletti része a tartományba esik. A $k = 10^{-5}$ m/s. A csáptávolság 1,50 m.

- Az injektálandó talaj adatai:

$$\begin{aligned} k &= 10^{-5} \text{ m/s} \\ \gamma &= 1.10^{-3} \text{ N.s/m}^2 \\ \gamma_t &= 10.10^{-3} \text{ N.s/m}^2 \\ p &= 15 \text{ bar} \\ \rho &= 1200 \text{ kg/m}^3 \\ h &= 12,5 \text{ m} \\ t &= 3600 \text{ s} \\ R &= 0,70 \text{ m} \\ r_1 &= 0,02 \text{ m} \\ n &= 35 \% = 0,35 \\ \beta &= 0,8 \end{aligned}$$

A megadott összefüggés alapján elvégzett számítás szerint az $r = 1,444$ m.

A példából látható, hogy a gyakorlatban alkalmazott csápkiosztási módszer 1,50 m-es csápkiosztást, míg a számítás 1,44 m-t ír elő. A gyakorlati módszer és a számítási módszer közötti különbség oly csekély, hogy a gyakorlatban elhanyagolható.

Repedezett szikla injektálásnál elméleti és gazdasági megfontolások határozzák meg a furatok távolságát. E megfontolások két, egymásnak ellentmondó szabályt rögzítenek:

- minél nagyobb a szikla repedezettsége, annál nagyobb lehet a furatok közötti távolság. Kisebb mértékű repedezettség esetében a furattávolság ennek megfelelően csökken.
- minél nagyobb a furatok egymástól való távolsága, annál több anyagot kell injektálni, hogy összefüggő felület keletkezzék.

A fúrési árak és az injektálási keverék közötti kompromisszumot kell megtalálni. A nyomás fokozásával a furatok közötti távolság növelhető és fordítva.

Elméleti megoldás a kérdésre nem ad választ, így próbainjektálásokkal kell az optimális csáptávolságot meghatározni. Ez a kísérletsorozat - hogy megfelelő eredményeket adhasson - azonban hosszadalmas és költséges. A megoldásra a gyakorlati tapasztalatok nyújtanak segítséget és a 4. táblázat ismerteti erre vonatkozó iránymutató adatokat /4/.

Befejezésül röviden a kétfolyadékos eljárásnál az injektáló sugár kiválasztásáról kell még szólni.

A Joosten-eljárás vegyi anyagának injektálási hatósugara megegyezik a körhenger sugarával, amely elméletileg számítható, de felvétele - az áteresztőképesség ismeretében - jó közelítéssel a következő tájékoztató adatok szerint is lehetséges:

ha $k > 10^{-3}$ m/s,	akkor $r = 1,0-0,8$ m
ha $k = 10^{-3} - 5.10^{-4}$ m/s,	akkor $r = 0,8-0,7$ m
ha $k = 5.10^{-4} - 10^{-4}$ m/s,	akkor $r = 0,7-0,6$ m
ha $k = 10^{-4} - 5.10^{-5}$ m/s,	akkor $r = 0,6-0,5$ m
ha $k = 5.10^{-5} - 10^{-6}$ m/s,	akkor $r = 0,5-0,4$ m /8/.

4.4. Besajtolási nyomás, próbainjektálás

A hatóság számításában több bizonytalansági tényező van, amelyek kiküszöbölése gyakorlati vizsgálatokkal lehetséges. A besajtolási nyomást pl. nem lehet előre meghatározni, legfeljebb a talajtörés elkerülésére limitálni kell annak maximumát, az a talaj áteresztőképessége és a besajtoló folyadék típusa szerint alakul ki. Elsősorban ismerni kell azt a nyomásértéket, amely esetén elfogadható anyagmennyiséget lehet folyamatosan besajtolni.

A gyakorlatban a legcélszerűbb módszer a próbainjektálás. Ennek során meghatározzuk a talaj fajlagos folyadéknyelő képességét q_f , amely a nyomásértékekre és teljesítményekre közelítő eredményt ad.

Nyitott végű cső esetén a fajlagos folyadéknyelő képesség

$$q_f = \frac{q}{P_k} \text{ képlettel számítható, ahol}$$

q_f a fajlagos folyadéknyelő képesség l/min/bar

P_k a kiegyenlítődt besajtolási nyomás, bar

q a besajtoló folyadék mennyisége l/min.

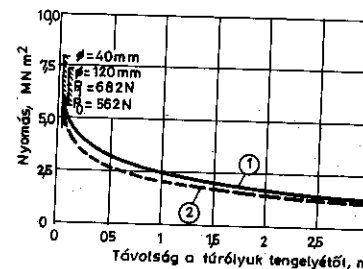
A próbainjektálás nagymértékben hat az injektáló anyag megválasztására, az összetétel kialakítására és a csápkiosztásra /8/.

Repedezett kőzetek injektálásánál a hatóság elméleti meghatározása a sok változó /nyomás, repedések mérete, kiterjedése és sűrűsége stb./ miatt bizonytalan, ezért ilyen esetekben a helyszíni kísérletek eredményesek.

A kőzetek vízvezetőképességét a Lugeon egységgel is jellemzik. Finom repedések esetén a Lugeon érték 1-10 között változik. /Megjegyzés: A kőzetek áteresztőképességét egy empirikus összefüggés alapján Lugeon egységben kifejezett vízmennyiséggel jellemzik, amelyet egy méter hosszú furatszakaszyel el 1 MN/m² injektálási nyomásnál./

Egy Lugeon-egység kb. 1×10^{-7} m/s "k" értékkel egyenértékű /18/.

A repedésekben kialakuló nyomásviszonyokat a 16. ábra szemlélteti a franciák által végzett kísérletek alapján. A sziklarepedésbe cementszuszpenziót sajtoltak $v/c = 2$ mellett. Az ábrán látható ① jelű görbe esetén P_0 nyomásnál 120 mm és a P_1 nyomásnál 40 mm furatlyuk átmérő, míg a ② jelű görbénél a P_0 nyomás esetén a furatátmérő 40 mm volt /19/.



Magyarázat ① Nyomás a részben ha R_0 a nagy és R_1 a kis tőrőlyukban (40 mm) mért telítési nyomás

② Nyomás egy olyan részben, ahol R_0 a telítési nyomás a kis tőrőlyukban.

16. ábra

Sziklarepedés injektálásánál kialakuló nyomásviszonyok

4.4.1 Besajtolási nyomás

A szilárdítandó talaj vízáteresztőképességének, valamint az injektáló keverék viszkozitásának ismeretében elméletileg pontosan meghatározható a talaj homogén szilárdításához szükséges injektálási nyomás. A valóságban azonban vannak zavaró hatások is. Ilyen például szuszpenziók esetén az a körülmény, hogy az injektáló keverékben tulajdonképpen két, egymással nem oldható komponens van, melyek különböző sebességgel hatolnak be a talajba. Ezért figyelembe kell venni a talaj relatív áteresztőképességét is. A szilárdítás folytán előálló szilárdítási értékek eltérőek a laboratóriumi próbadarabok és a tényleges talaj esetében, mivel a talaj természetes tömörsége eltér a laboratóriumi minta tömörségétől, és telítési különbségek is vannak. Lényeges szerepet játszik a talaj szemszerkezete is. Az ide vonatkozó vizsgálatok szerint a szilárdított talaj szilárdsága fordított viszonyban van a talajszemcsék fajlagos felületével /9/.

A szükséges vagy megengedett injektáló nyomás természetesen függ elsősorban a talaj jellemzőitől, a környezettől, a felhasznált habarcsztól stb. Vízzáró függönyöknél a mélységtől függően 10-50 bar-ig terjedhet, szilárdításnál a körülményektől függően 150 bar-ig is el lehet menni /pl. lágy szilikagéleknél/. Ebben az esetben az átitatást erősen folyékony péppel és kis mennyiségek felhasználásával végzik /pl. 1-2 l/sec/ elsősorban azért, hogy így kerüljék el a talajtörést vagy a térszin mozgását.

Bár ellentmondásnak látszik, egyes esetekben a talajtörésnek szerepe hasznos, mert növeli az injektálás hatósugarát, de ugyanakkor nem kívánatos talajmozgások is felléphetnek.

Az injektálás következtében fellépő talajmozgások általában károsak szoktak lenni, de előnyére kell megemlíteni azt is, hogy sík alapok vagy más alaptesteknél bekövetkezett káros mozgások kiküszöbölhetők, illetve a bekövetkezett káros változások helyreállíthatók. Ezzel a kényesnek nevezhető eljárással ugyanakkor néhány igen látványos megoldás is született.

A besajtoló nyomás maximális értékének meghatározására általános szabály nincs. Minden esetben az összes adottságok figyelembevételével kell a nyomást meghatározni.

- a talaj áteresztőképességétől,
- az anyag viszkozitásától, mely az idők folyamán változhat, és
- az injektálás mélységétől.

Az ellenállásként fellépő tényezők határozzák meg a nyomás és az injektálási arány közötti kapcsolatot. Azonban van egy maximális érték, melyet a talaj tartani tud anélkül, hogy a bekövetkező jelenségek a felszínre, illetve a talajra károsak lennének. Káros jelenség lehet a térszin emelkedés vagy a talajtörés.

Gyakorlatban - kezelt felület felső síkjára ható - geostatikai nyomás kétszeresét szokták engedni, azaz

$$p_{\max} = 2 \cdot g \cdot t$$

ahol $p_{\max}$ a megengedett maximális besajtoló nyomás,

t a legközelebbi szabad felszíntől a kezelt réteg felső síkjáig terjedő távolság,

g a szilárdított zóna feletti rétegek átlagos térfogatsúlya Mp/m^3 .

Homogén szemcsés talajban a kritikus nyomás

$$p_k = \frac{4c + g \cdot d}{4\lambda \cdot \operatorname{tg} \varphi} \left[e^{4\lambda \operatorname{tg} \varphi \frac{h}{d}} - 1 \right]$$

képletből számítható.

Azonban az érték nem lehet nagyobb a passzív földnyomás értékénél:

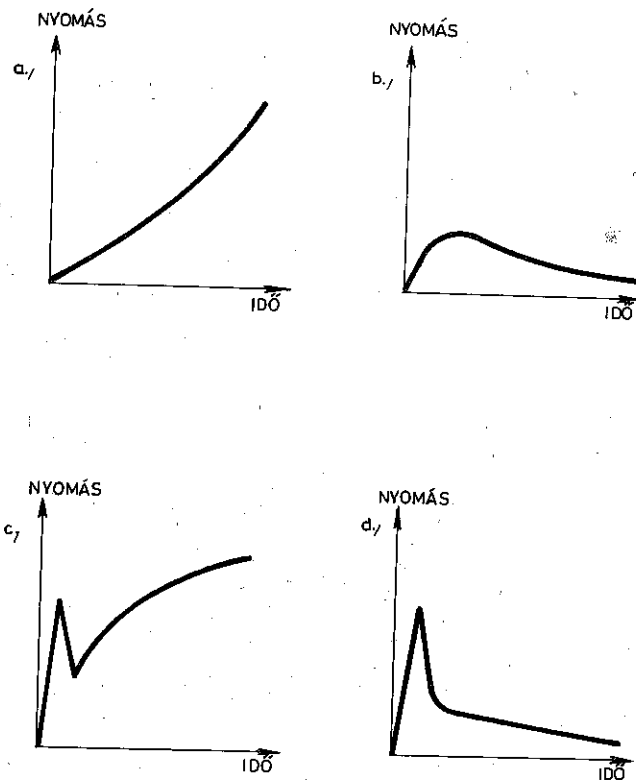
$$p_{k \max} = \frac{g \cdot h \cdot \lambda_p}{\lambda}$$

ahol $\lambda_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)$

λ a vízszintes és függőleges talajnyomás viszonya
a $36\sqrt{\lambda}$

A a besajtoló anyag mennyisége m^3 -ben és
C, φ , δ talajfizikai állandók.

A nyomásnak a besajtolás közben történő változásából
következtetni lehet a besajtolás eredményeire. BERNATZIK sze-
rint a 17. ábrán látható alapeseteket lehet megkülönböztetni:



17. ábra

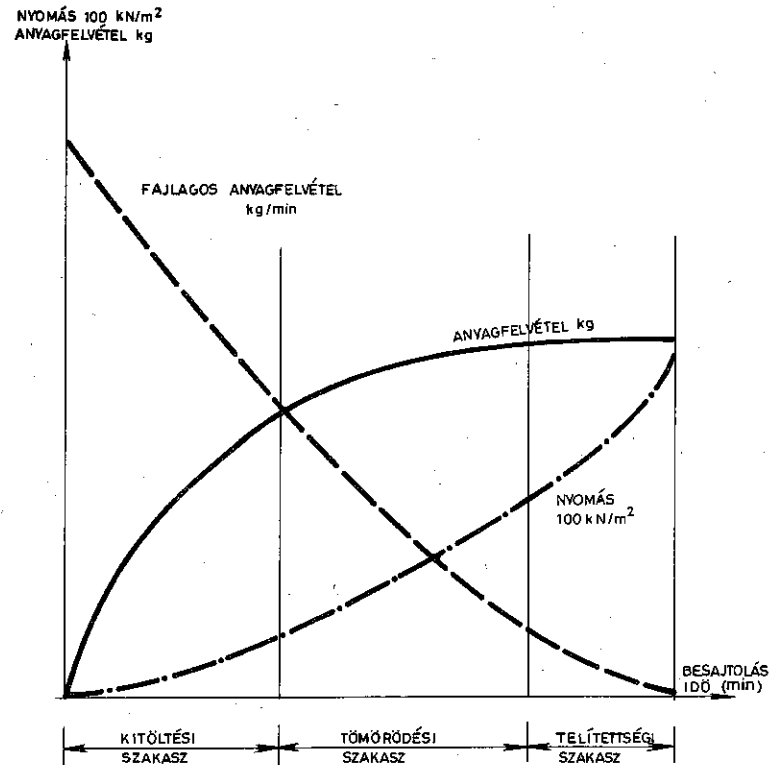
Besajtolási diagram alapesetei

- a nyomás lassan és egyenletesen emelkedik a szivattyú teljesítőképességének határáig. A talajban üregek voltak és teljesen kitöltődtek.
- Kezdeti, kismértékű nyomásemelkedés után a nyomás leesik. Egy meglevő vízszintes hézagba sajtolták a cementet, amely a talajt megemelte. A besajtolás után a fúrólukban még nyomás van.
- Kezdeti nagy nyomás vagy térszinemelkedés után hirtelen nyomáscsökkenés következik be, majd utána lassú emelkedés. A szilárd talajban függőleges hézag keletkezett, mely lassan kitöltődik.
- Kezdeti gyors emelkedés után a nyomás leesik és idővel egyre jobban csökken. A szilárd talajt a nyomás felszakította, vízszintes hézag képződött. A besajtolás befejezése után a fúrólukban nyomás maradt.

Az első és harmadik esetben a besajtolás befejezése után a cementtej valahol megjelenhet a felszínen, míg a második és negyedik esetben a besajtolást a szilárdulás megtörténte után - ha mód van rá - ugyanazon rétegben meg kell ismételni.

A besajtolási idő, az injektált anyag és az injektálási nyomás közötti összefüggés a 18. ábrán látható görbével jellemezhető. A cement besajtolására alkalmazható nyomásokra mutatunk be átlagos értékeket:

alacsony nyomásnál:	< 500 kPa
közepes nyomásnál :	500 - 1500 kPa
nagy nyomásnál :	> 1500 kPa



18. ábra

A besajtolási idő, az injektált anyag és az injektálási nyomás közötti összefüggés

4.4.2 Próbainjektálás

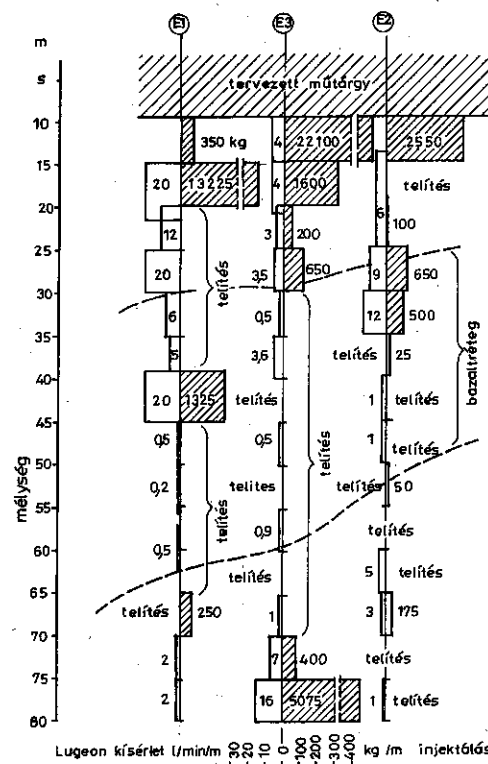
Egy tervezett építkezés helyén végzett próbainjektálásnak elméletileg az a célja, hogy az altalaj tényleges adottságaihoz lehessen alakítani a tervezett injektálási munkát. Francia tapasztalatok szerint addig, amíg pl. egy sziklában tervezett vízzáró ernyő furattávolságának meghatározásához megfelelő ez az eljárás, addig üledékes talajoknál ez már nem érvényes. Üledékes talajoknál azért nem ajánlják az ilyen kísérletek elvégzését, mert az injektálás talajtörést okozhat. Tehát, ha nem lehet az össze üreget kitölteni, akkor az ilyen korlátozott méretű kísérlet helytelen következtetésekre vezethet. Általában kielégítőbb a hasonló munkákon nyert tapasztalat felhasználása.

Ha a tervezett injektálás csak egy lyuksorból áll /pl. sziklarepedés telítésénél/, akkor két szomszédos fúróllyukat célszerű injektálni és a kettő közé ellenőrző fúróllyukat telepíteni. A 19. ábra egy vulkáni kőzet injektálását mutatja. Az E_1 és E_2 jelű fúróllyukak 6 m távolságra vannak egymástól. A csekély távolság ellenére az ellenőrző fúrás relatív nagy elnyelést mutat a felső és az alsó végén, ezért az ernyőt 3 m-es fúróllyuk távolsággal készítették.

A példa is mutatja, hogy az ilyen próbainjektálások értelmezése sokkal inkább szubjektív, mint tudományos alapon nyugszik. Végül megjegyezzük, hogy a sziklainjektálást normál körülmények között egyetlen egy fúróllyuksorral végzik. Ha valamilyen okból két sor szükséges, a próbainjektálást három fúróllyukkal végzik úgy, hogy a furatok egy egyenlőszárú háromszöget alkotnak és ennek a háromszögnek a súlypontjában ellenőrző lyukat képeznek ki /19/.

Olyan vízzáró függöny, amelyet egyetlen csápcsor segítségével hoznak létre, rendkívül ritkának számít laza üledékes kőzetben. Ilyen megoldást általában csak ideiglenes jellegű feladatoknál alkalmaznak /pl. vízzárás munkagödörből/. A tapasztalt azonban azt mutatja, hogy jobb ha a próbainjektálás helyett az altalaj feltárását gondosan végzik el. Természetesen ott, ahol a próbainjektálást nem ajánlják, és meg-

felelő tapasztalattal sem rendelkeznek, mégis végzik. Erről még a későbbiekben lesz szó.



19. ábra

Próbainjektálás vulkanikus kőzetben

Kis áteresztőképessű injektált függöny készítésénél minimálisan két csápsort kell telepíteni, nehezen injektálható tartományokban a 3. sor is szükséges.

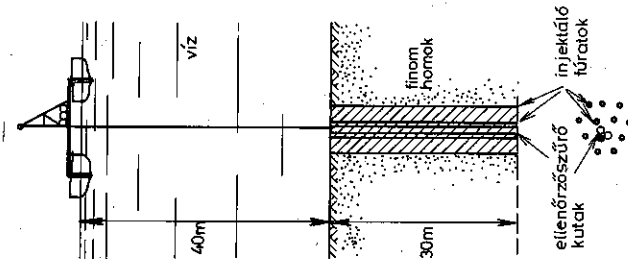
Ilyen elrendezésnél természetesen lehet próbainjektálást végezni. Az értékeléshez szükséges szűrőkutak a függöny síkjában kell elhelyezni. Azonban ez a megoldás már nem felel meg a tényleges viszonyoknak, mert a kút két oldalán már csak egy-egy félvastagságú függöny van, holott a végleges megoldásnál a teljes függöny vastagságának lesz szerepe. Ezt az állapotot csak úgy lehet elkerülni, ha a kút teljes vastagságú függönnyel veszik körül. A próbainjektálás ilyenkor már nagyon költséges. Csak kivételesen vastag függőknél lehet ilyen kísérletet sikerrel elvégezni. Itt a függöny vastagságát a terv szerinti követelmények határozzák meg.

A következőben két kísérletet mutatunk be tájékoztató jelleggel. Ilyen próbainjektálást végeztek pl. a Niluson épült nagy asszuáni /20. ábra/, és a Durance-on levő Serre-Ponçon-i gát /21. ábra/ függönyépítésével kapcsolatban.

Ezek a kísérletek nagyon drágák és csak nagy munkáknál éri meg, hogy elvégezzék azokat /19/.

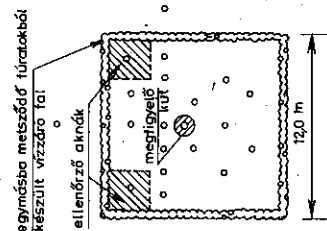
Hasonló kísérletek végrehajtására esetenként elkerülhetetlenül szükség van a munkagödör fenéklehatárolását biztosító, már említett paplan kialakítása előtt is. A Duna-kiliti munkagödör-fenek injektálását megelőzően éppen ezért került sor nagyminta kísérlet végrehajtására. A próbainjektálás célja volt meghatározni az adott talajhoz és injektáló anyaghoz az optimális injektálási sebességet. A kísérlet természetesen kiterjedt a technológia kidolgozására, a felhasználandó alapanyagok, injektáló és résiszapkeverékek előzetes és utólagos vizsgálati módszereinek kidolgozására stb.

A kísérleti munka elrendezését a 22. ábra szemlélteti. Az ME 117-74 3.1 pont alatt a következőket rögzíti: A legmegfelelőbb injektálási mód megválasztására minden esetben próbaszilárdítást kell végezni. A próbaszilárdítás végezhető laboratóriumban, de törekedni kell helyszíni próbaszilárdításra.



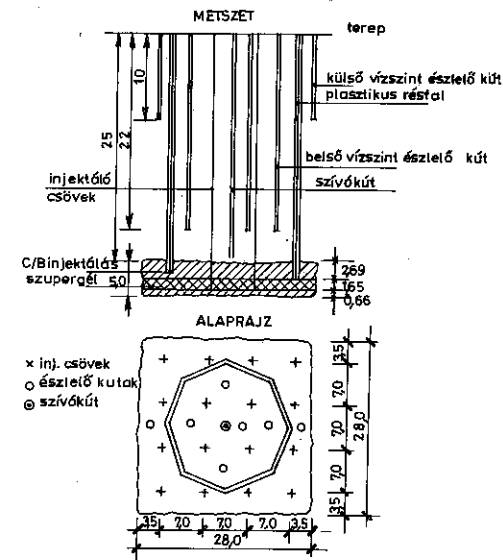
20. ábra

A Sadd-el-Aali duzzasztógát próbainjektálása és próbászivattyúzása /Soletanche/



21. ábra

A Serre-Poçon-i duzzasztógát. Ellenőrzés a a próbainjektálás során /Soletanche/



22. ábra

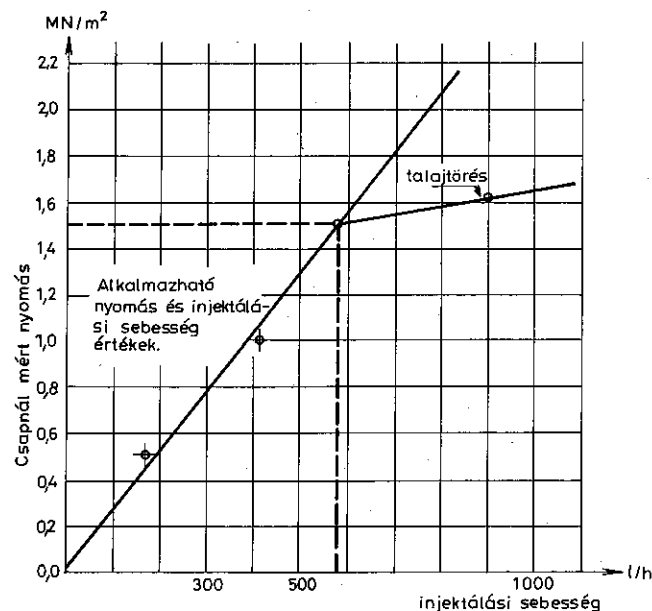
A Dunakiliti duzzasztó munkagödör szigetelést megelőző kísérlet vázlata

Az injektálási munka megkezdése előtt végre kell hajtani a próbainjektálást, melynek célja a tervezett injektálási sebesség és a max. injektálási nyomás ellenőrzése vagy az előírányzat megfelelő módosítása.

Az injektáló csőnél vagy a szilárdítási zónában arányosan elosztva vagy a talaj rétegződésének megfelelően kell a próbát végrehajtani úgy, hogy négy különböző időtartamú és nyomású injektálást kell sorozatban elvégezni minden injektálási ponton. Az idő és a benyomott mennyiség alapján ki-

számítható a tényleges injektálási sebesség. A Metro építésénél végzett szilárdítási munkánál az injektálási sebességet úgy választották meg, hogy az a tervezett 350 liter/óra injektálási sebességet közre fogja, tehát legyen alatta is és felette is érték. Ugyanúgy kell közrefogni a tervezett injektáló nyomást is, pl. a négy lépcsőben 5-10-15 és 20 bar nyomással kell a próbainjektálást lépcsőnként elvégezni, ezzel a tervezett 15 bar nyomásérték közrefogható.

A leírtakra mutat be a 23. ábra egy példát.



23. ábra

Próbainjektálás diagramja

A kapott pontoknak közelítőleg egy egyenesbe kell esni.

Amennyiben a nyomás hirtelen csökken és az injektálási sebesség megnő, azaz a kapott pont az előző pontokhoz húzott egyenestől nagymértékben eltér, ez azt jelenti, hogy a talajban talajtörést okoztunk és ezt az injektálási sebességet, illetve ezt a nyomást a talaj nem bírja.

Ennek az alapján lehet megállapítani a ténylegesen alkalmazható injektálási sebességet és a maximális nyomást úgy, hogy a még talajtörést nek okozó érték 75%-át vesszük az alkalmazható injektálási sebességnek és a maximális nyomásnak.

Az eddigi tapasztalatok alapján cement-bentonit szuszpenzióknál határként a 350-400 l/h-t tekintik, míg a gél esetében

- homokos kavicsban 600 l/h
- homokban 500 l/h
- iszapos homokban 350 l/h.

Az injektálási nyomást - a bécsi gyakorlat szerint is földalatti építési munkahelyen 15 bar felső határban jelölték meg. Ezt az értéket belterületen nem lehetett túllépni.

Tekintettel arra, hogy más körülmények között a nyomásértékek is változnak, a nyomáshatárokat esetenként kell megállapítani.

Talajvíz jelenlétében történő szilárdításnál számítani kell a víz hígító hatásával.

Próbainjektálásnál az előző pontban elmondottak alapján a tervezettnél nagyobb nyomást és nagyobb injektálási sebességet is kell alkalmazni, ami a talajtöréshez és térszín emelkedéshez vezethet. Éppen ezért a próbainjektálás teljes időtartama alatt a térszínen lévő épület mozgását folyamatosan mérni kell a tervdokumentációban megadott, előre elhelyezett fali csapokon.

4.5 Az injektáló anyag összetétele

Az összetétel minden esetben meghatározza az elegy viszkozitását, a kötés idejét /a besajtolás, illetve a talaj hőmérsékletén/ és az árat. A kötésidőnek olyan hosszúnak kell lennie, hogy a besajtolásra elegendő idő álljon rendelkezésre. A viszkozitásnak egyrészt elég alacsonynak kell lennie, hogy a besajtoláshoz szükséges nyomás ne lépje túl a megengedett, másrészt a víz viszkozitásánál nagyobbának kell lennie, hogy a talaj átítatása egyenletes legyen /túl alacsony viszkozitásértéknél a besajtott anyag nem összefüggően helyezkedik el/. A meghatározott célt, a szükséges talajszilárdságot és a vízáteresztőképességet csökkenését több, különböző összetételű eleggyel is el lehet érni. A lehetséges összetételek közül értelemszerűen a legkisebb költségű anyag besajtolásával lehet a leggazdaságosabb eredményt biztosítani. E tényezők figyelembevételével lehet tervezni Greschik módszerével /1/.

A szilárdítás kétféle céllal történhet: a vízzáróság fokozása és a talaj törőszilárdságának növelése.

A legfontosabb tényezők egyike ami lehetővé teszi az injektáló anyag kiválasztását, a kitöltendő üregek, hézagok mérete. A talaj szemszerkezeti görbéi értékes felvilágosítást nyújtanak a legalkalmasabb anyag kiválasztásában. Kritériumként lehet használni az áteresztőképességet is.

Az injektáló anyagokat tulajdonképpen három nagy csoportra lehet osztani:

- cement-agyag vagy cement-bentonit habarcsra
- gélekre /szilikát alapon különböző koncentrációval/ és
- szerves műgyantákra /fenoplasztok, aminoplasztok, akrilamidok/.

Az 5. táblázat adatai tájékoztatást adnak a legfontosabb injektáló anyagok jellemzőiről, megjelölve azok alkalmazási területeit stb.

A továbbiakban csak az első két felsorolt anyagról adunk tájékoztatást.

5. táblázat

	terület	Injektálhatóság
szuszpenziók	talazat a ki-	korlátlan mennyiség de többlet nyomás lép fel
	ak ki-	korlátozott mennyiség
	lések, cs ta-4 m/s.	
fo-lyá-dé-kok	sec	korlátozott mennyiségben
	l/sec	
	sec	
	sec	
	ektálás- l/sec	
	seinek	
	sec	
	áramlás	

Megjegyzés: 1. és vagy megszilárdulás után /kiszilárdulással kapcsolatban meg kell még vizsgálni, és nem a kezelt talajára,

2. csés talajokra vonatkoznak. Ha az nem. /Az átítatás nem egyetlen módja

Legfontosabb injektáló anyagok jellemzői

Injektáló anyag típusa			törőszilárdság /1/	Alkalmazási terület /2/	Injektálhatóság
szuszpenziók	nem stabil folyadék	cementlé /+homok/; v/c = 10/1 - 1/1-ig vagy 1 : 1,5-ig	a betonéhoz hasonló	szikla vagy falazat repedéseinek a kitöltésére	korlátlan mennyiség de többlet nyomás lép fel
	stabil folyadék /néhány %-on ülepszik	aktivált cementlé és habarcsok { prepakt colcrete	a betonéhoz hasonló	nagyobb üregek kitöltésére	korlátozott mennyiség
		cement - agyag /+homok/	0,1 - 5,0 MN/m ²	nagyobb repedések, homok és kavics talajok $k > 5 \cdot 10^{-4}$ m/s.	
		kezelt agyag	< 100 N/m ²		
folyadékok	vegyi anyagokkal készített habarcsok	kemény gél { vízüveg { + CaCl ₂ + etilacetát v. más reagens lignoszulfitt+bikromat	{ 1,0 - 2,0 MN/m ² habarcs 4,0 MN/m ²	$k > 10^{-4}$ m/sec	korlátozott
			{ 30 kN/m ² habarcs: 0,4-0,5 MN/m ²	$k > 5 \cdot 10^{-5}$ m/sec	
		lágy gél { Vízüveg + reagens deflokkuált bentonit	5,0 kN/m ²	$k > 10^{-5}$ m/sec	mennyiségben
			1,0 - 2,0 kN/m ²	$k > 10^{-4}$ m/sec	
		szerves műgyanták { AM 9 resorcin.- formaldehid elősűrített polimerek /epoxy/	100 kN/m ² 1 kN/m ² - 10 MN/m ² 2,0 - 10,0 MN/m ²	szokásos injektálás-ra $k > 10^{-6}$ m/sec	
			nyomásra: 100 MN/m ² húzásra : 30 MN/m ²	beton repedéseinek ragasztására	
		szénhidrogén kötőanyagok { Bitumen { + szilikát emulzió { + rezorcin Forró bitumen	10 kN/m ² habarcs: 1 MN/m ²	$k > 10^{-5}$ m/sec	jelentős vízáramlás
			igen viszkózus		

Megjegyzés: 1. Az itt megadott szilárdság, ha csak nincs más megjegyzés, a tiszta habarcs szilárdságára kötés vagy megszilárdulás után /kis értékek esetén ezt a szilárdságot a merevség kétszeresével vették egyenlőnek/. A törőszilárdsággal kapcsolatban meg kell még jegyezni, hogy ezek az adatok tiszta megszilárdult habarcs /próbatest/ szilárdságára vonatkoznak, és nem a kezelt talajra, melyben a habarcs vizét veszti.

2. A feltüntetett "k" áteresztőképességi együtthatók az injektáló anyag által átittható szemcsés talajokra vonatkoznak. Ha az az injektáló anyagnak kicsi a merevsége, akkor nem szabad nagyon áteresztő talajba beinjektálni. /Az átitatás nem egyetlen módja a kielégítő injektálásnak./

4.5.1 Habarcsok

Az injektálási anyagok cement-tartalma a víz mennyiségéhez képest kicsi, tehát tiszta cement adagolásával a keverék nem lenne stabil és a vízleadás még a kötés megindítása előtt 50 %-nál nagyobb értéket érne el. Ebből is kitűnik az agyag stabilizáló szerepének a fontossága. Az agyag fő feladata, hogy bizonyos viszkozitást és merevséget kölcsönözzön, ezzel megakadályozva a víz kicsapódását kötés előtt.

Az agyagot néhány évtizeddel ezelőtt bentonittal helyettesítették.

Minden új alkalmazásnál újra felmerül az élettartam kérdése. A Soletanche cég vizsgálatai alapján - elsősorban a szilárdság és vízzáróság tekintetében - a következő eredményre jutottak. Megállapították, hogy a szilárdsági értékek az idő múlásával lényegesen növekedtek.

A laboratóriumban készített és a munkahelyekről származó keverékeken végzett mérések 10^{-8} - 10^{-9} m/s közötti áteresztőképességet mutattak. A kísérleteknél az is bebizonyosodott, hogy az injektálás nem telítette a homok hézagait és így a próbatest áteresztőképessége természetesen nagyobb 10^{-7} - 10^{-8} m/s/. A 6. táblázaton két különböző összetételű habarcs adatait tüntettük fel /Soletanche adatok/.

Egy m^3 habarcsához szükséges anyagemennyiség és jellemző értékei

6. táblázat

Víz l	Portland cement	Provins-i agyag	Bentonit FB ₅	Marsh- féle viz- kozil- tás s	Üle- pedés %	7 napos szilárdság kN/m ²	14
860	150 kg	260 kg	-	39	0,75	30	65
925	165 kg	-	65 kg	38	0,75	15	30

A már említett rajnai vízlépcsők munkagödreinek szigetelésénél alkalmazott anyagok összetevőire mutatunk be a következőkben példát:

víz	1000 liter
helyi agyag	500-700 kg
provinci agyag	150 kg
cement	200 kg

Az injektált fenék-kiképzésnél alkalmazott habarcsstipusok:

víz	850 liter
bentonit	30 kg
cement	250-300 kg

Ennek a habarcsnak a szilárdsági értéke 0,3-0,4 MN/m².

4.5.2 Gélek

A gél tömítőanyagként való alkalmazása esetén a következő követelményeket kell kielégíteni:

- az injektáló anyag egyszerű előállítása,
- az injektáló anyag könnyű felhasználhatósága,
- a megfelelő saját és eroziószilárdság,
- az anyag plasztikus alakváltozása,
- az injektált talaj kis vízáteresztőképessége.

A felsorolt követelményeket elsősorban a már tárgyalt lágy gélek elégítik ki. Az ezek leggyakrabban alkalmazott keverékeit a következőképp mutatjuk be:

Monodur eljárásnál:

vízüveg	20-30 %
víz	77-66 %
Reagens /szer- ves/	3-4 %

Monosol eljárásnál:

vízüveg	15 %
víz	82 %
Reagens /szervetlen/ kb.	2,5 %

Ezeknek a keverékeknek a viszkozitása mintegy $3 \cdot 10^{-3}$ N.s/m² és a kötési időtartam 30-90 min.

Csekély kovasavtartalmuknál fogva az injektált homok szilárdsága kicsi - mintegy 300-500 kN/m². A lágy gélek kitűnnek csekély szinerzis tulajdonságukkal.

Az áteresztőképességi együtthatók laboratóriumi kísérleteknél: 10^{-6} - 10^{-8} m/s /3/.

Az egyfolyadékos eljárások szilárdítóanyag-összetételének optimalizált megválasztására Greschik Gyula dolgozott ki újszerű módszert. Felfogása szerint az elegyet összetevő anyagok: a vízüveg a reagens és az ezek oldására, illetve hígítására felhasznált víz, amelynek aránya egyértelműen meghatározza az elegy mechanikai és reológiai, valamint gazdasági tulajdonságait. Az eredmények egységes feldolgozására a három, együttesen 100 %-ot kitevő összetevőt háromszögdiagramba ábrázolja. A három összetevő:

- a nátrium-szilikát /NS/
- a reagens /R/ és
- a víz /H/.

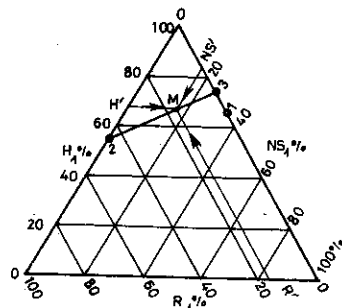
Itt külön is fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a vízüveg víztartalma a harmadik összetevőhöz tartozik, tehát

$$NS + R + H = 100$$

Például egy iparilag gyártott hazai vízüveg összetevői az előző jelölésekkel:

SiO ₂	/S, %/	= 27,72 %
Na ₂ O	/N, %/	= 7,95 %
N + S = NS		= 35,67 %
100 - NS = H		= 64,33 %

Igy a kísérlet során bármilyen oldatösszetétel a háromszög diagramban egy ponttal ábrázolható /24. ábra/.



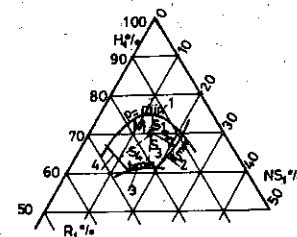
24. ábra

Az oldatösszetétel ábrázolása háromszögdiagramban

Az elegy összetételének optimalizált megtervezése négy paraméter, mégpedig a megengedhető maximális viszkozitás, a minimális gélzilárdság, a szükséges legrövidebb kötési idő és az elfogadható legmagasabb anyagár meghatározását jelenti. Kísérletsorozattal meg kell tehát állapítani - a különböző oldatösszetételek esetén - a négy paramétert jellemző görbéseket. A tervezés következő lépésében kiválasztják a viszkozitás, gélzilárdság, kötési idő és anyagár azon görbéit, amelyek a talajszilárdítás műszaki-gazdasági követelményeit a legmegfelelőbben elégítik ki, és azokat egy háromszögdiagramon összerajzolják /25. ábra/.

Az ábra jelölései a következők: M a választott összetétel, az 1 jelű görbe a gélzilárdság, a 2 jelű a viszkozitás, a 3. a kötési idő, a 4-es az anyagár jellemző értékét tartalmazza. Az 5-ös a jelzett tulajdonság elérésének a biztonságát jelzi.

Az így kapott határgörbék által bezárt terület súlypontja adja meg az optimalizált összetételű elegy százalékos ösz-



25. ábra

Az optimális oldatösszetétel megválasztása

szetevőit. A súlypont távolsága a vonatkozó határgörbétől arányos a kérdéses tulajdonság elérésében meglévő biztonsággal. Ha a tervezés során felvett határgörbék nem határolnak zárt területet, a tervezést meg kell ismételni új kiinduló adatok felvételével.

Az azonos kötési időkhöz tartozó oldatösszetételekre a következő függvénykapcsolat bizonyult a legmegfelelőbbnek:

$$/R - \varphi / NS - \psi / = k,$$

ahol $R + NS = 100 - H$,

φ, ψ , és k a kötési időtől /és nyilvánvalóan a felhasznált vegyi anyagoktól/ függő állandó. Értékek a t kötési idő függvényében /a levezetés mellőzésével/:

$$\psi = 14,30 - 0,168 \cdot t^{0,543} - 6,62 \cdot \lg t$$

$$\varphi = 22,82 - 0,382 \cdot t^{0,543} - 6,62 \cdot \lg t,$$

$$k = 2,5 + 6,62 \cdot \lg t.$$

Ezen állandókkal és a közölt alapképletekkel az R , NS és t adatok közül bármelyik kettőből a harmadik kiszámítható /8/.

4.5.3 Példa injektálókeverék összeállítására Durcisseur 600
jelű reagens felhasználásával

A kívánt szilárdság elérése általában nagyszámú helyszíni talajjal végzett kísérlet alapján lehet az elérhető szilárdságot előre becsülni. Türekvések vannak arra, hogy a szabványosított homokkal végzett kísérletek alapján lehessen a szilárdságot előre becsülni. A francia gyakorlat a fontainebleau-i homokot tekinti összehasonlítási bázisnak, s a homok fajlagos felülete függvényében ad szilárdság előrebecslést.

A következőkben a francia Soletanche cégtől know-how formájában vásárolt korszerű szilárdítási eljárás alapján mutatunk be példát injektálókeverék összeállítására a Rhone-Progil gyártmányú Durcisseur 600 jelű reagens felhasználásával.

A vízüveg alapanyagú géllal kezelt talaj végleges jellemzői számos paramétertől függenek, amelyek a következő felsorolás szerint osztályozhatók:

a/ Elérendő értékek:

- egyirányú nyomószilárdság a talajban,
- a jellemző tartósság /állandóság/,
- a talaj végső áteresztőképessége.

b/ A talaj jellemzői:

- fajlagos felület,
- hidrológiai állapot /talajvízszint van vagy nincs, annak helyzete, felszín alatti áramlás stb./,
- a talaj kezdeti vízátresztőképessége,
- az injektálás maximális nyomása /a fedőréteg függvényeiben meghatározva/,

c/ A gél jellemzői:

- egyirányú nyomószilárdság fontainebleau-i homokra /ez a Rhone-Progil cégnek is az etalonja/,
- a gél kimosással szembeni ellenállása,

- az oldat kezdeti viszkozitása,
- a kötési idő,

d/ A szilikagél keverési aránya:

- vízüveg koncentráció,
- a Durcisseur 600 teljes mennyisége,
- a vízüveg-arány,
- a 600 C/600 B-arány.

A szilikagél összetételének meghatározását szemléltető folyamatábrán is bemutatjuk /26. ábra/ az előzőekben ismertetettéket.

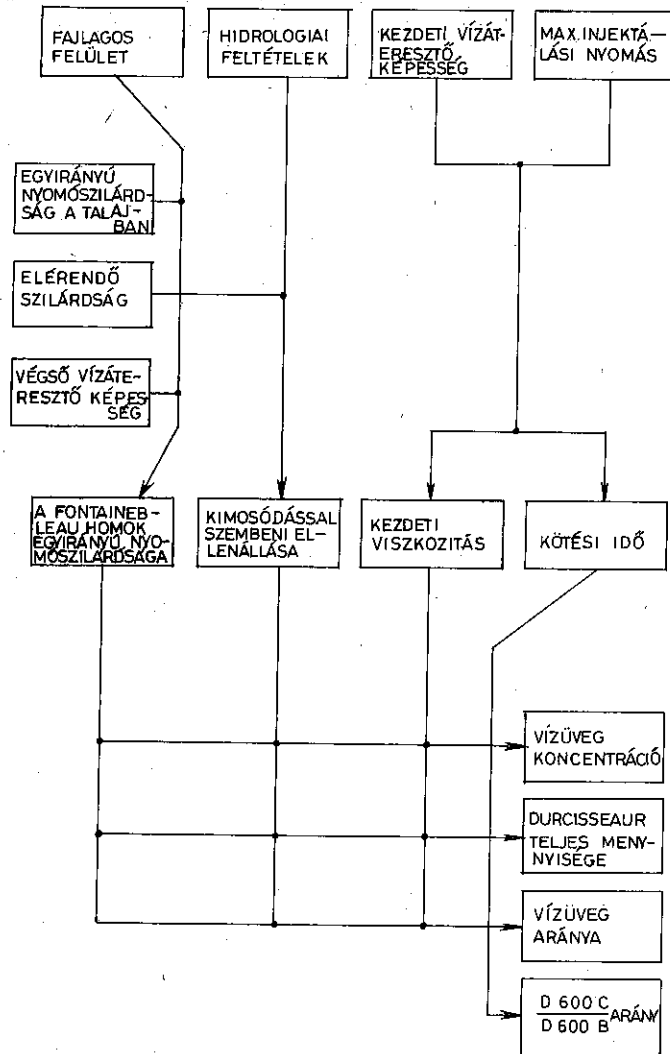
A bemutatott folyamatábra alapján az a, illetve b pont alatti felsorolt adatok birtokában lehet számolni a c pont alatti adatokat, tehát meg lehet állapítani az elegy és a gél paraméterei közötti összefüggést. Ezekhez még a következő magyarázatokat fűzzük:

- A kívánt egyirányú nyomási szilárdság a fontainebleau-i homokra vonatkozó összefüggésből és a talaj fajlagos felületének ismeretében állapítható meg.
- A vízzárási igény esetén a végső áteresztőképesség meghatározható a fontainebleau-i homok egyirányú szilárdságából és egyben következtetni lehet a gél kimosódással szembeni ellenállására.
- A talaj kezdeti áteresztőképessége, valamint az injektálás max. nyomásából megállapítható a folyadék kívánt viszkozitása és kötésiideje.

A fentiek alapján a vízüveg alapanyagú gélnek meghatározható a négy leglényegesebb jellemzője:

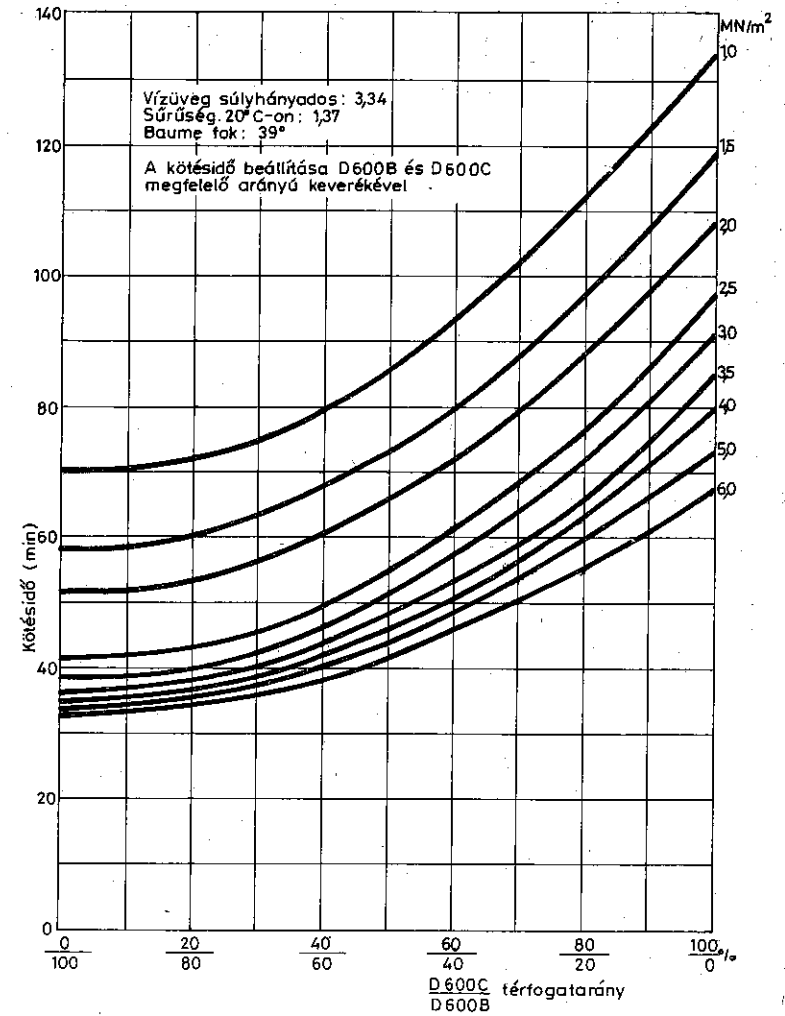
- egyirányú nyomószilárdság fontainebleau-i homokra MN/m^2 /
- kimosódási ellenállás/van-e vagy nincs/
- maximálisan felvehető viszkozitás 10^{-3}N.s/m^2 /
- kötési idő /min./

A keresett nyomáshoz és szilárdsághoz tartozó lehetséges megoldások közül kettőt mutatunk be. A 27. ábra és a 7. táblázat adatai alapján a 600 C/600 B arány meghatározható ta-



26. ábra

Folyamatábra a vízüveg-gél összetétel meghatározására



27. ábra

Vízmentes talaj injektálása szilárdítási céllal

Adatok a száraz talajok kezeléséhez 3,34 súlyarányú vízüveg felhasználásával

7. táblázat

Szilárd- ság MN/m ²	A folyadék össze- tetele térfogat %-ban		Elméle- ti súly % -ban	Semleges- ítési egysé- g ható	A folyadék sűrűsége	Viszkozi- tás 10 ⁻³ N.s/ /m ²	Kötésidő 20°C-on	
	víz- dur- űveg ci- ss- eur	víz					600 B	600 C
1,0	40,0	3,4	56,6	4,68	29,5	5,9	70	134
1,5	47,0	3,7	49,3	4,54	27,3	6,6	58	119
2,0	53,0	3,9	43,1	4,43	25,5	7,3	51	109
2,5	55,0	4,5	40,5	4,61	28,4	7,6	41	97
3,0	59,0	4,7	36,3	4,56	27,7	8,5	38	91
3,5	62,0	5,0	33,0	4,58	28,0	9,5	36	85
4,0	65,0	5,2	29,8	4,57	27,8	10,9	35	80
5,0	71,0	5,5	23,5	4,51	26,9	15,4	34	73
6,0	73,0	6,2	20,8	4,68	29,5	18,4	33	67

Megjegyzés:

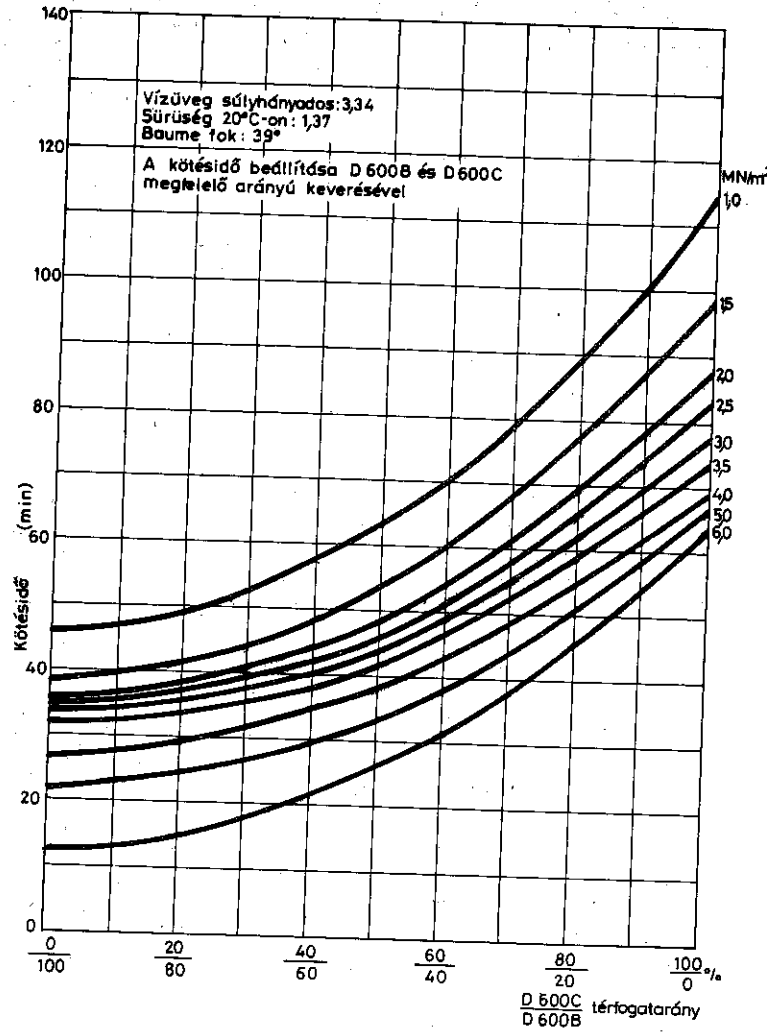
- Normál homok: Fontainebleau - sűrűség 20°C-on: 1,37
- Vízüveg súlyarányos: 3,34
- Durcisseur: 600 jelű
- Szilárdság 7 napos száraz tárolás után.

lajvízmentes tartományban végezhető talajszilárdítás esetén. Ugyanez az adatsor állapítható meg a 28. ábra és a 8. táblázat adatai alapján abban az esetben, ha a szilárdítandó tartomány talajvízszint alatt helyezkedik el. Ha a kívánt kötésidő nem tartható sem a Durcisseur 600 B-vel, sem a Durcisseur 600 C-vel, akkor a kettő megfelelő arányú keverése lesz a jó. Erre is jó tájékoztatást ad a 27. és 28. ábra. Fel kell azonban hívni a figyelmet arra, hogy a talajvíz alatt végzett szilárdításnál külön is vizsgálni kell a víz hatását, hogy a vízüveg alapanyagú gélit hígíthatja, ami egyben minőségét is megváltoztathatja.

A következőkben erre az esetre is mutatunk be egy példát: Legyen a kezelendő talaj 50 cm²/g fajlagos felületű. Az elérendő szilárdság 2,5 MN/m²/ A talaj áteresztőképessége 4.10⁻⁵ m/sec./.

Az injektálendő terület talajvíz alatt van és a szilárdság előírt tartóssága hat hónap. /Ez az injektálási munka és a betonozás között eltelt időszakra vonatkozik./ A 29. ábrán feltüntetett grafikon használatával megállapítható a fontainebleau-i homokra vonatkoztatott nyomószilárdság, amely 3,0 MN/m²-re adódik. Röviden ismertetni kell, hogyan lehet megkapni a fenti értéket. A közölt 50 cm²/g fajlagos felület és a 2,5 MN/m² elérendő szilárdság értékét kivétve adja az A pontot. Ez jelen esetben egy már megadott egyenesre esik. Ha nem esne egy egyenesre, az egyenes halmazsal az A ponton keresztül párhuzamost kell húzni. Ez a párhuzamos egyenes metszi ki a fontainebleau-i homokra vonatkozó egyenesből a B pontot, mely a Rhone-Progil módszer szerint a nyomószilárdságnak felel meg. A megkívánt tartósság miatt, valamint a jelenlévő talajvízre tekintettel a kapott szilárdsági értéket célszerű 4,0 MN/m²-re felemelni.

Számításba véve, hogy a talaj eredeti k értéke 4.10⁻⁵ m/sec, a 30. ábra mutatja, hogy 0,5 l/s teljesítmény megtartásával az injektáló nyomásnak nem célszerű a 20 bar-t meghaladnia, míg a viszkozitás jó ha 15.10⁻³ N.s/m² alatt marad. Ezek mellett a feltételek mellett és figyelembevéve a körülményeket, a kötésidőt 45 min.-ben lehet megállapítani.



28. ábra

Talajvíz alatt végzett talajszilárdítás

Adatok a talajvízszint alatti talajok kezeléséhez 3,34 súlyarányú vízüveg felhasználásával

8. táblázat

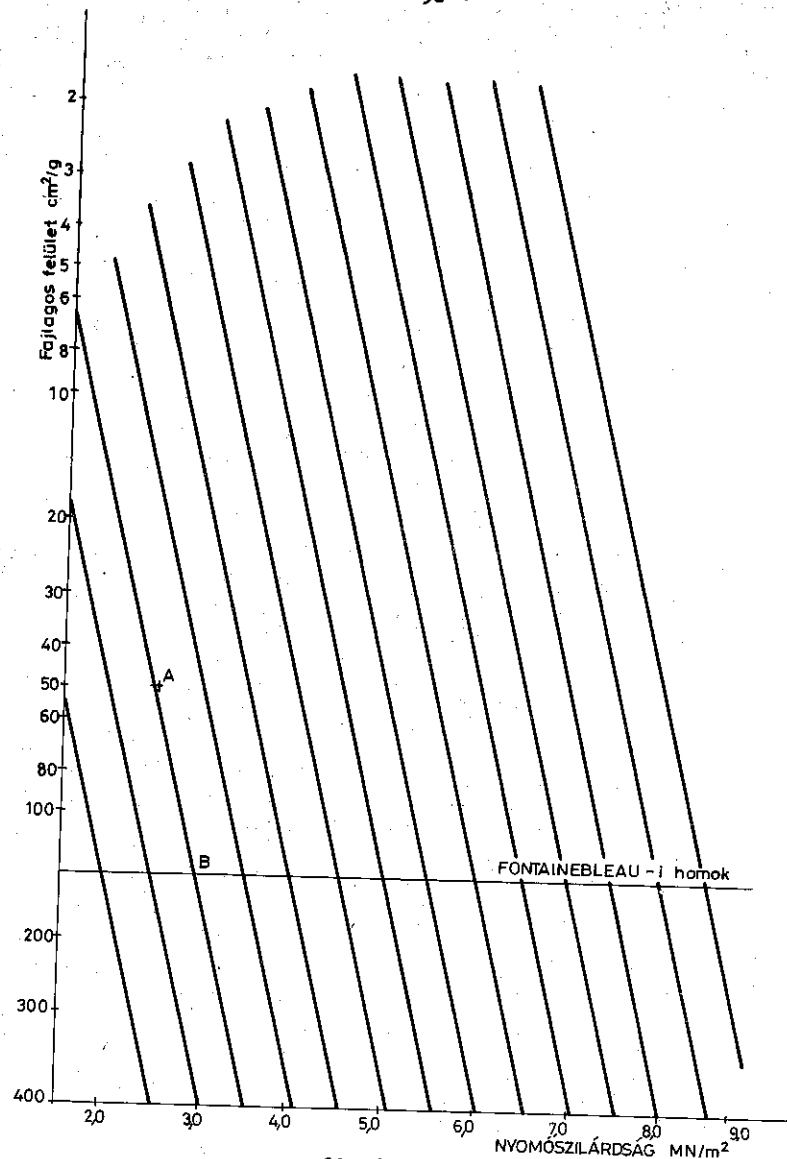
Szilárd- ság MN/m ²	A folyadék összetétele térfogat %-ban		Elmél- ési sú- ly- %- ban	Semle- gési- tési egyt- ható	A folya- dék sú- rúsége	Viszko- zitás 10 ⁻³ N.s/ m ²	Kötési idő 20°C-on	
	víz- üveg	Durcis- sur					600 B	600 C
1,0	37,0	4,4	58,6	41,3	1,14	5,6	46	112
1,5	43,0	5,0	52,0	40,4	1,16	6,3	38	98
2,0	47,0	5,6	47,4	41,4	1,18	6,7	35	87
2,5	51,0	5,9	43,1	40,2	1,19	7,1	34	82
3,0	54,0	6,3	39,7	40,5	1,21	7,7	33	77
3,5	57,0	6,6	36,4	40,2	1,22	8,3	31	73
4,0	59,0	7,0	34,0	41,2	1,22	9,0	27	69
5,0	64,0	7,4	28,6	40,2	1,24	11,2	22	66
6,0	67,0	7,9	25,1	41,0	1,26	13,4	12	63

Megjegyzés:

- Normál homok: Fontainebleau
- Vízüveg súlyhányados: 3,34

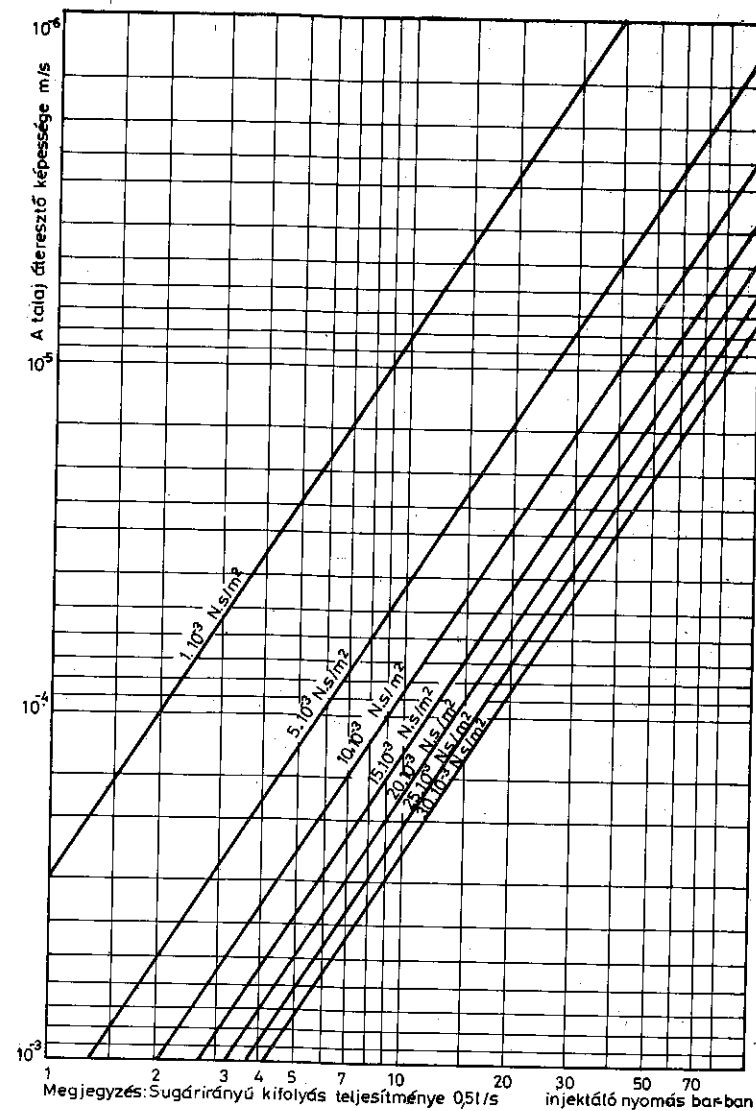
- Sűrűség 20°C-on: 1,37
- Baume fok: 39°

- Durcisneur: 600 jeit
- Szilárdítás 7 napos száraz tárolás után.



29. ábra

A fajlagos felület és a szilárdság közötti összefüggés



30. ábra

Az injektálási nyomás a talaj átteresztő képességének függvényében különböző viszkozitási értékeknél

Hivatkozva a 7. és 8. táblázat adataira, a jelenleg tárgyalt esetben a 8. táblázat adatai érvényesek, mely szerint $4,0 \text{ MN/m}^2$ szilárdsági érték mellett a vízüveg /súlyhányados 3,34/ igény: 58 %, a Durcisseur 600 7 %, a víztartalom 34 % és a viszkozitás $9 \cdot 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$. Ez az érték az ismertetett esetben elfogadható és gazdaságos.

A 45 perc megkivánt kötési idő pontos betartására hivatkozva és a 29. ábra adataira támaszkodva megállapítható, hogy a $4,0 \text{ MN/m}^2$ szilárdsági értékhez tartozó görbe és a 45 perc idő értékei a 600 C/600 B-re a 65/35 %-os arányt adja.

Az idevonatkozó érték tehát:

- 65 % Durcisseur 600 C,
- 35 % Durcisseur 600 B

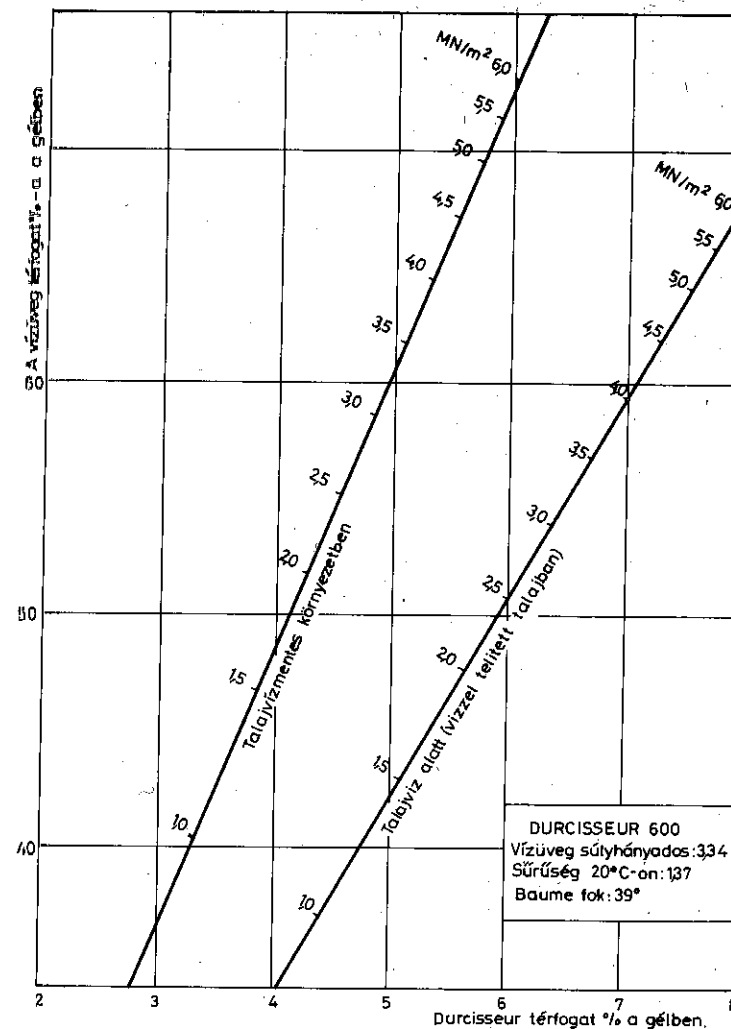
A bemutatottak alapján az injektáló gél végleges összetétele:

- vízüveg /súlyhányados: 3,34/ 50,00 térf. %

- Durcisseur 600 B 2,45 térf. %
- Durcisseur 600 C 4,55 térf. %
- víz 34,00 térf. %

Az összetevők egyszerűbb és ugyanakkor pontos meghatározásához a 31. ábrán egy segédletet mutatunk be, amelyen a száraz és vízalatti talaj szilárdsági értékein kívül a Durcisseur térfogat %-a és a vízüveg térfogatszázaléka is adott. Ez jó kiegészítés az előzőekben bemutatott ábrákhoz és táblázatokhoz.

Az előzőekben bemutatottakat az irodalomjegyzékben 21. sorszám alatti anyag alapján ismertettük.



31. ábra

Segédlet a gél összetevőinek meghatározásához

A bécsi szilárdítási munkáknál a bemutatott példa szerint összeállított anyagot oly módon ellenőrzik, hogy a magmintából anyagot vesznek ki és azt a tervezett injektáló anyaggal összekeverve megvizsgálják. Erre egy összefüggés is rendelkezésre áll, melynek ismertetésére nem térünk ki.

Megjegyezzük, hogy a Magyarországon kapható vízüvegek közül a legkisebb súlyhányados értéket tartalmazó vízüveget célszerű alapul venni. A bécsi Swibo cég 3,3 átlag súlyhányadosú vízüveget használ, mely a 3,25 - 3,95 közé esik.

A következőkben két szilárdításra javasolható összetételre mutatunk be példát. A kötési idő minden esetben egy óra, míg a hőmérséklet 20°C . A vízüveg súlyhányadosa: 3,15.

$0,5 \text{ MN/m}^2$ átlagszilárdság elérése esetén:

vízüveg	400 liter
víz	600 liter
Durcisseur 600	32 liter, ebből
Durcisseur 600 B	75 % és
Durcisseur 600 C	25 %

$1,0 \text{ MN/m}^2$ átlagszilárdság elérése esetén:

vízüveg	450 liter
víz	550 liter
Durcisseur 600	48 liter, ebből
Durcisseur B	50 % és
Durcisseur C	50 %

A következőkben egy részletes példát is bemutatunk.

A földalatti építés egyik munkahelyén végzett szilárdítási munkához - figyelembe véve a talajfizikai jellemzőket - olyan összetételű injektáló anyagot kellett választani, amelynek hosszú a kötési ideje, ugyanakkor lehetővé teszi a talaj minél jobb átítatását. Ennek az anyagnak a megszilárdított talajnál kb. $0,5 - 1,0 \text{ MN/m}^2$ nyomószilárdságot és 10^{-7} m/sec áteresztőképességet kellett volna biztosítania.

Az injektáló anyagot az alábbi mennyiségű összetevőkből kellett előállítani:

- 550 liter vízüveg
- 450 liter víz
- 60 liter Durcisseur 600, melyből
 - 35 % a B komponens és
 - 65 % a C komponens.

A keverést úgy végezték, hogy először a vízüveget és a vizet adagolták és keverték össze, majd a Durcisseur 600 előre összekevert B és C komponenseit adták hozzá az elegyhez. A két komponens külön-külön hozzáadása tilos, mert a B komponens vízüveggel történő érintkezése azonnali gélesedési folyamat megindulását eredményezi még akkor is, ha állandó keverés mellett történik a hozzáadás /22/.

4.6 Viskozitás, kötési idő

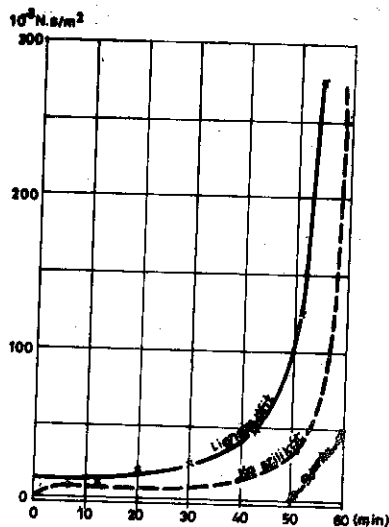
Az előzőekben már szó volt a viszkozitásról és a kötési időről is, ezért itt csak röviden szólunk ezekről.

4.6.1 Viskozitás

Gyakorlatilag az injektálásnál használt keverékek mind, - az agyaggéleket kivéve - egy adott időpontban többé-kevésbé viszkozusak. Viskozitásuk azonban idővel növekedhet vagy növekszik. Könnyen belátható, hogy az injektálás annál körülményesebb, minél viszkozusabb a keverék.

Ezeknek a folyékony keverékeknek a viszkozitási viselkedése tehát döntő az injektálás végrehajtása szempontjából.

A 32. ábra azt mutatja, hogy csak a szerves gyantáknak van a kötésig konstans viszkozitásuk. Az egyéb keverékek jelentősen megvastósodnak. /19/



32. ábra

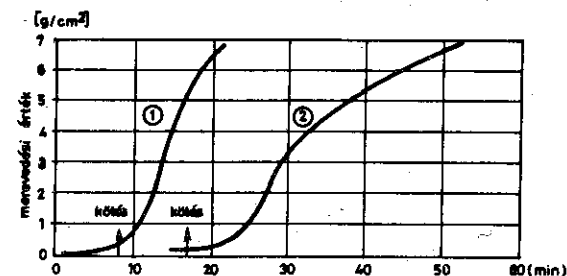
A viszkozitás változása a kötési folyamat alatt három különböző keveréknél

4.6.2 Kötésidő

Azt az időt, amelynek elteltével a folyékony keverék egy többé-kevésbé teljesen szilárd testté alakul át, átalakulási időnek vagy általános kötési időnek nevezzük. A kötési idő csak akkor határozható meg könnyen, ha ez pontosan definiált, mint pl. a gyantáknál. Ez azonban a nátriumszilikátra és a lignoszulfitra általában nem érvényes.

A viszkozitás a kötési idő meghatározására nem alkalmazható. Ismertek olyan anyagok, mint pl. a bitumen, amely különlegesen nagy viszkozitású anyagnak tekinthető, de nem lehet a kötési időről beszélni.

Ha viszkozitás helyett a merevedés változását méri, annak növekedésén felismerhető a kötési időbeli változása /33. ábra/. A merevedési érték állandó növekedése ugyancsak nehezíti a kötési idő pontos meghatározását.



33. ábra

A gélek folyási határának növekedése az idő függvényében

A merevedés közvetett mérőszámát egy acélkúp behatolásával érzékeltetik. A csúcs a kísérlet elején a gél felületén fekszik el. A kúp hegyesszöge 15° , a súly 100 g. A behatolást a kúp elengedése után 5 s-mal kell mérni. A kötési idő azonban itt sem határozható meg pontosan.

A különböző nehézségekre tekintettel a gyakorlatban a kötési időt általában úgy definiálják, mint azt az időpontot, amikor a keverék már nem tud kifolyni egy kémcsőből.

Pontosabb eljárás annak az időtartamnak a mérése, amelynek elteltével egy ismert térfogatú szilárdítószert keverő mágneses keverőfej mozgását a viszkozitás növekedése megszüntet. Természetesen az egyes szilárdító anyagoknál még számtalan megoldást lehet találni a kötési idő mérésére. Ilyen pl.:

- a fenol alapú műgyanták vízben való oldhatósága idővel, a polimerizáció mértékétől függően csökken. Egy mérési eljárás során szabályos időközökben vízzel telt edény-

be szilárdítószert cseppentenek és mérik az időpontot, amikor a csepp az edény fenekét eléri anélkül, hogy feloldódna,

- más szilárdítószerek, mint pl. az akril műgyanták, pontosan a polimerizáció időpontjában észlelhetően felmelegsznek. Ez a jelenség felhasználható a kötési idő mérésére, a szilárdítószert hőmérsékleti csúcsértéke időpontjának a meghatározásával.

A hőmérséklet általában jelentős mértékben befolyásolja a szilárdítószerek viszkozitását és kötési idejét. Következésképpen minden az előzőekben ismertetett mérést meghatározott hőmérsékleten kell elvégezni. Gyakran szükség van a kötési időt a hőmérséklet függvényében ábrázoló grafikonok megszerkesztésére és figyelemmel kell lenni az injektált talaj hőmérsékletére is.

Bizonyos műgyanták, mint pl. a fenol alapúak már a kevérs pillanatában felmelegsznek. Ennek a melegedésnek a mértékét pontosan ismerni kell, mert a szilárdítási sebességet befolyásolja és jelentősen megrövidítheti a kötési időt, különösen ha a szilárdítószert nagy mennyiségben állítják elő és nem tud lehűlni /23/.

Az eddigi ismeretek szerint az egyfolyadékos szilárdító elegy kötési ideje a vízzel való hígítással, vagy vízüveggel való további egyesítéssel nő /24/. Számos különböző reagenssel végzett kísérlet tanúsága szerint a kötési idő függ a vízüveg jellemzőjétől, a reagensoldat viszonyított töménységétől, a hőmérséklettől és a reagens fajtájától.

Ha előre meg akarjuk határozni a kereskedelembe kapható oldott vízüveg és egy adott reagensből előállított gél kötési idejét, akkor az eredmény /34. ábra/

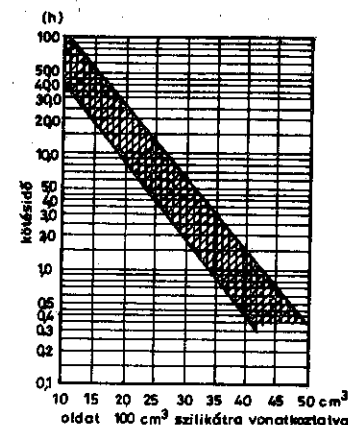
$$t = e^{-kC}$$

ahol t a gél kötési ideje

C a reagens koncentrációja az elegyben

k egy konstans, amely a szilikát minőségétől

- az $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ arány -, oldódásától és a hőmérséklettől függ.



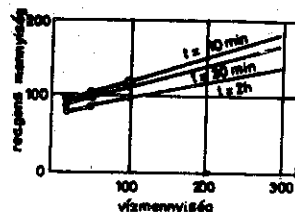
34. ábra

Az esetenként adagolt különböző reagens mennyiségétől függő kötési idő

Az eredmények szórása a kötési idő pontos meghatározása körüli nehézségekre vezethető vissza.

Az exponenciális összefüggés a reagens adagolásának nagy befolyására utal. A gél előállításánál mindenkor rendkívüli lelkiismeretességgel kell az adagolást tudományosan meghatározni, ha az előre meghatározott kötési időt be kívánják tartani.

Ha egy szilikátból és adott koncentrációjú reagensből változó víztartalmú gélt állítanak elő, tudomásul kell venni, hogy egy állandó kötési idejű gél számára szükséges reagensmennyiség a gél víztartalmával lineárisan növekszik /35. ábra/ /19/.



35. ábra

A hígítás hatása a kötési időre /A szilikát mennyiség mindig azonos./

4.7 Habarcs és gél-szilárdság

Szilárdság szempontjából kétféle habarcsot lehet megkülönböztetni:

- az egyik, amely kitölti a talaj üregeit
- a másik, amelyik a talaj üregeit kitöltve kapcsolatot létesít a talaj különféle szemcséi között a ragasztó szerepét tölti be. Ebben az esetben a talaj szilárdsága annak finomságától függ és nagyobb lesz, mint a tiszta habarcs szilárdsága.

Az agyag vagy cement tartalmú habarcsok az első minta szerint, míg a gélek és gyanták a második minta szerint viselkednek.

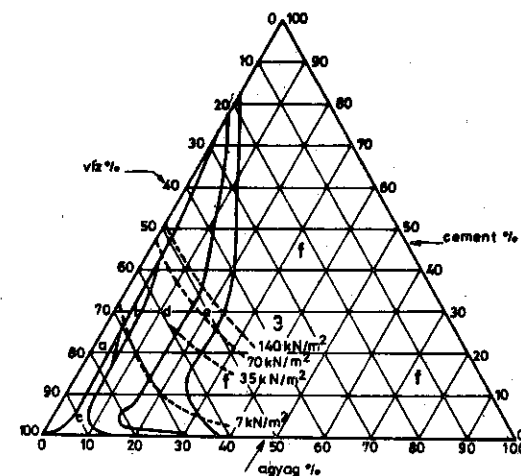
4.7.1 A habarcsok szilárdsága

Az előzőekben már ismertetett cementalapú habarcsok szilárdsága változó. A cement-bentonit habarcsnál a bentonit adagolásnak is határai vannak, amit a következő tényezők szabnak meg:

- a keverék bedolgozhatósága,
- a törőszilárdság /jelentős bentonitadagolással ez az érték lerontható/
- állékonyság ülepedéssel szemben.

A nagy bentonit koncentráció a cementadaggal kombinálva nem ülepedő keveréket hoz létre.

A felsorolt tényezőket is figyelembe véve a cement-bentonit keverékek szilárdságának tulajdonságait a 36. ábra szemlélteti.



36. ábra

Cement-bentonit keverékek szilárdsága

Az ábra az a-f-ig terjedő konzisztenciatartományokat tünteti fel. Ennek részletezése a következő:

- a/ tartomány: instabil ülepedő szuszpenziók; b/ tartomány: időszakosan stabil szuszpenziók; c/ tartomány: kis sűrűségű keverékek; d/ tartomány: stabil, jól injektálható keverékek;

e/ tartomány: stabil iszapyszerű /sűrű/ keverékek; f/ tartomány: nem kezelhető keverékek.

Ha a cement-bentonit habarcsot vízzáró függőfalak készítésére használják, kb. 10-15 %-át kitöltő adalékanyagot is kevernek hozzá.

A habarcsok tulajdonságait is figyelembe véve a hézagok telítését csak úgy lehet biztosítani, ha az injektálást két vagy több fázisban végzik szükség szerint habarccsal vagy géllal, vagy a kettő kombinációjával.

A következőkben két példát mutatunk be a habarcs összeállítására /Regele Zoltán összeállítása/:

1. példa: - esztergomi agyag 350 kg/m³

- szóda /Na₂CO₃/ 3 %, az agyag súlyára vonatkoztatva,
- cement, az agyag súlyának kb. 25 %-a,
- Kerasol légpórusképző a cement súlyának 0,15 %-a
- szükség esetén - ha áramló víz fordul elő - a habarcs összetérfogatára vonatkoztatott 0,5-5 % vízüveg /1,33 - 1,35 sűrűségű/, melyet közvetlenül a besajtolás előtt adunk a habarcsához.

Várható szilárdsági érték 15 kN/m² körüli.

2. példa: A földalatti vasútnál vízzáró céllal, az alagut zsaluzata mögé besajtoló injektáló anyag

- cement,
- v/c = 1,00 - 1,25,
- 4 % szóddal aktivált mádi bentonit, a cement súlyára vonatkoztatva 5 %-ban.

Várható szilárdság: 8-9 MN/m².

4.7.2 Gél szilárdság

A gél mechanikai sajátosságait nyomószilárdságával /mennyiségével/ jellemzik, amely a gél korának a vízüveg töménységének, a reagens fajtajának és töménységének a függvénye.

A cél érdekében elérendő gél kötésekeletetés kétféle módon történhet: olyan reagenseket alkalmaznak, ahol a szilikátnak a teljes közömbösítése nem biztosított vagy pedig a keveréket felhígítják. Ezért az így elkészített gélek viszonylag lágyak, mert a szilárdság a szilikátkoncentrációval arányos és a szilikát-kolloid kiülepedésével százalékos arányban van.

Az alkalmazandó injektáló anyagnak olyannak kell lennie, hogy a gél szilárdság megfeleljen a következő összefüggésnek:

$$R = a \frac{c - 10}{1 + bt}$$

ahol R a gél nyomószilárdsága g/cm²-ben,

c a gél literére számított szilikát g-ban,

t a kötési idő min-ben,

a, b két konstans, mely függ a reagens anyagtól.

A szokásos kötési időre, /amely kb. egy óra/ a nyomószilárdság rendszerint néhány tized g/cm², bármilyen reagenst is használnak.

Ezek a gél szilárdságok duzzasztóművek alatti talajok vízzárófüggőnként való alkalmazásánál elegendők a kimosódás elleni védelemre, elég biztonságot jelent a finom szemcsék kimosódása ellen. Ugyanez az érték azonban elégtelen olyan helyen, ahol később munkagödört, aknát vagy más jellegű talajeltávolítást végeznek.

Az egyfolyadékos eljárásokkal szilárdított talaj egyirányú nyomószilárdsága arányos az injektált talaj /homok/ fajlagos felületével, amit a 37. ábra szemléltet. A gél szilárdság és az injektáló talaj fajlagos felületének ismeretében a következő empirikus összefüggéssel lehet számolni:

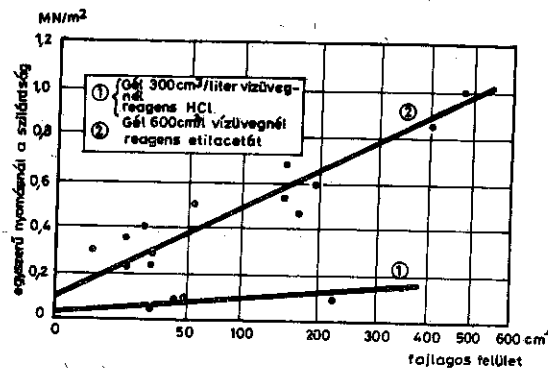
$$RS = RG / 1 + K S /$$

ahol RS az injektált homok nyomószilárdsága kN/m²

RG az injektáló gél szilárdsága kN/m²

S a homok fajlagos felülete cm⁻¹

K a gél szilárdságától függő együttható.



37. ábra

A gél-szilárdság a homok fajlagos felületének a függvényében

A lágy gélek szilárdsága általában olyan, hogy finom homok injektálásánál /100-1000 cm⁻¹ felülettel/ a legelőnyösebb viszonyok között is alig haladja meg a 200 kN/m² értéket. Ez ugyancsak nem elég arra, hogy ilyen talajkezelés mellett megfelelő védőtömb biztosítása nélkül munkagödört lehessen nyitni /25/.

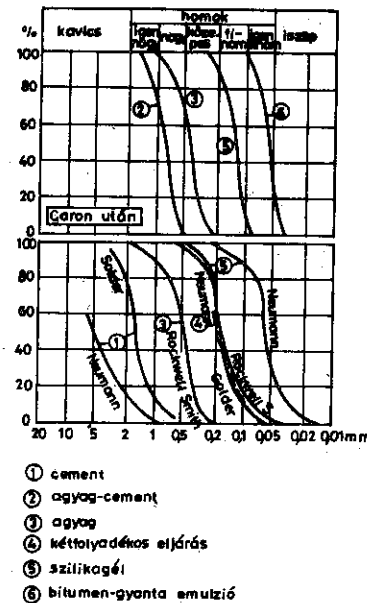
4.8 Injektálásnál alkalmazott anyagok és azok injektálási sörrendje

4.8.1 Injektáló anyagok kiválasztásáról általában

Az eddigiekben bemutattuk, hogy a keverék szemcsenagysága és az injektálandó talaj szemcséinek nagysága között bizonyos összefüggésnek kell lennie azért, hogy az injektálás végrehajtható legyen. Ezek az összefüggések feltételezik, hogy

az injektáló anyag behatolása a teljes talajtartományban bekövetkezik. Ez azonban ideális eset lenne, amit csak ritkán lehet megvalósítani és aminek nem kell okvetlenül érvényesülnie az üledékes rétegek injektálásánál.

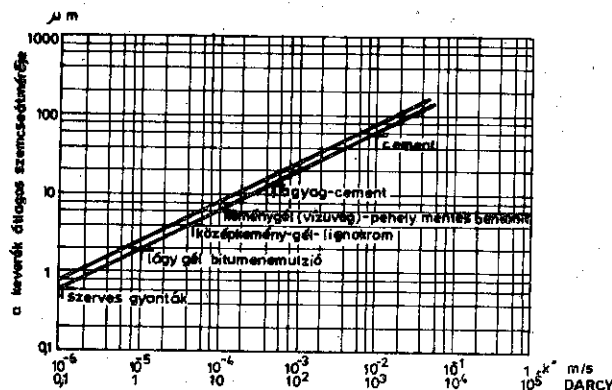
Az e témával kapcsolatban végzett kutatások eredményeit a 38. ábra szemlélteti.



38. ábra

Az injektáló anyagok behatoló képességének a határai a szemszerkezet függvényében

A kutatók vizsgálataik kapcsán a szemeloszláson alapuló összefüggések helyett más megoldást kerestek. Megkísérelték a szemcsehalmazok közötti hézagok értékelését és annak összehasonlítását az injektáló anyag szemcséinek nagyságával. Arra az eredményre jutottak, hogy ha a "d"-t - az injektáló anyag szemcseméretét - a "k" függvényében rakják fel, akkor a behatolási képesség határát egy adott egyenes adja meg./39. ábra/. Ezt a feltételezést a gyakorlati tapasztalat is igazolta /19/.



39. ábra

Az injektáló anyagok behatolási képességének határai az altalaj átteresztőképességének függvényében

4.8.2 Injektálási sorrendek

Az injektálandó talajok egy része vetők mentén vagy törmelékes rétegben helyezkedik el, így mód nyílik arra, hogy nagyobb szemszerkezetű törmelékes vagy görgeteges talajrészeket előzetesen az olcsóbb cementes hagyományos szilárdító - tömítő anyagokkal lehessen telíteni. Csak ennek megtörténte után kerülhet sor az így kialakított szemcszetartomány vegyi szilárdítására. E megoldással jelentős költségmegtakarítás érhető el a kisebb vegyi anyag felhasználásával.

E módszer továbbfejlesztett változata a hármas kombináció, ahol szükség szerint a vízüveg-gél besajtolása után még egy következő anyagfóleséget /gyantát/ is beinjektálnak.

Vannak esetek - főleg amióta az injektálási módszerek szélesebb körben terjedtek el, hogy ugyanazon a csápon keresztül ismétlik meg az injektálást azonos minőségű habarccsal vagy géllal. Ezt a módszert a későbbiekben mutatjuk be részletesen.

A következőkben az elmondottakra mutatunk be egy megoldást.

Durva szemcsés talajban az injektálást két fázisban végzik. Az első ütemben a telítő injektálást készítik el, melynek anyaga: cement-bentonit-víz keveréke. $[C + B/$ szuszpenzió.] A cement-bentonit szuszpenzióknak a talajba való besajtolása kettős hatást fejt ki egyrészt a nyomás következtében a hézagoknak cementszemcsékkel való kitöltése útján csökkenti a talaj pórusainak térfogatát és így összenyomhatóságát, másrészt a talajszemcséket körülvevő cementszemcsék mint kötőanyag a talaj kohézióját és nyomószilárdságát növelik.

A második fázisban alkalmazzák a szilárdító anyagot, mely: vízüveg-víz és reagensből pl. Durcisseur-ból áll.

Finomszemcsés talajban az előbb említett injektálásnak csak a második fázisát alkalmazzák, mert a $C + B/$ habarcs anyagából injektálásnál az injektáló csáp környezetében a cement kiszűrődik, és ez megakadályozza a tervezett tartomány telítését.

A szóba jöhető gélek közül két típus alkalmazása a gyakori:

- az 1 MN/m^2 nyomószilárdságú és
- a $0,5 \text{ MN/m}^2$ nyomószilárdságú.

Az alábbiakban százalékban megadott injektálási érték mindig az injektálandó talaj m^3 -hez tartozó hézagterfogatra vonatkozik.

Ha a talaj hézagterfogata 40 % és ennek 37 %-a habarccsal $C + B/$ várható, hogy a géllal még a 63 % térfogat töltendő ki.

Bár az előzőekben erről már szó volt, de szükségesnek tartjuk megemlíteni, hogy a számítás alapját képező 40 %-os hézagterfogat általában 35-37 %-os hézagterfogatú talajra vonatkozik. A kettő különbségét /3-5 %/ a tervezésnél veszteségként kell figyelembe venni.

Első injektálási fázisként alkalmazott anyag összetételére két példát mutatunk be:

$1,0 \text{ MN/m}^2$ nyomószilárdságú $C + B/$ habarcs összetétele:

- 890 l víz,
- 250 kg cement,
- 50 kg bentonit

2,0 MN/m² nyomószilárdságú /C + B/ habarcs összetétele:

890 l víz,
400 kg cement,
50 kg bentonit.

Az eddigi tapasztalat alapján az első fázisban a hézag-térfogattól függően annak 5-15 %-át töltik ki /C + B/ habarccsal. A második fázisban kerül beinjektálásra a gél. Ha abból indulunk ki, hogy a talaj hézagterfogata 30-40 % és a teljes térfogat 10 %-ába injektáltak C + B habarcsot, akkor a teljes talajterfogatot véve alapul még 20-30 %-nyi mennyiségű gél sajtolható be.

Az injektáláshoz használt gél összetétele attól függ, hogy az szigetelés vagy szilárdítás céljából készül.

Átlagos talajinjektálásnál - ha 50-50 %-os a felhasznált vízüveg arány, kb. 1,0 MN/m² szilárdság érhető el. Számításnál ezt az értéket a 0,5 - 1,0 MN/m² tartományba tartozónak kell tekinteni. Ha 40-60 % a vízüveg-víz keverési arány, az elérhető szilárdság 1,0 - 1,5 MN/m², míg 30-70 %-os aránynál, a szilárdság 2,0 MN/m² érték körül mozog. A példaként bemutatott esetekben a felhasznált vízüveg súlyhányadosa: 3,25-3,95. Hazai gyármányú vízüveg-nél figyelembe vehető átlagos érték: 3,05-3,20.

A besajtolandó anyagnál felhasználandó vízüvegsúlyhányados alsó értékét kell figyelembe venni és minden esetben kísérellettel kell a szilárdsághoz tartozó keverési arányt megállapítani.

A legnagyobb gondot az injektálásnál és szilárdításnál a talaj szerkezete okozza. Ezért ki kell hangsúlyozni, hogy minden esetben igen gondos talajmechanikai feltárássra van szükség. A leirtak tanúsága szerint csak specializált vegyész segítségével lehet az alkalmazandó habarcs optimális összetételét meghatározni.

4.9 Technológiai tervekészítés

A következőkben a technológiai terv készítésével kapcsolatos folyamatot mutatjuk be. Tekintettel arra, hogy a munkafolyamatot azonosnak kell tekinteni minden egyes injektálási feladatnál, a módszer bemutatására egy bonyolultabb megoldást ismertetünk.

4.9.1 Injektáló csápok elhelyezése

A szilárdítandó rétegen áthaladó csápok kiosztásának olyannak kell lennie, hogy az injektáló anyag maradéktalanul, megfelelő biztonsággal /átfedéssel/ át tudja itatni a talajt. Az injektálócsövekre a következőkben több helyen utalunk, de a részletes ismertetéssel csak az 5.2.2 fejezetben foglalkozunk.

Durvább szerkezetű talajban vagy kisebb viszkozitású injektáló anyag esetén, finomabb szerkezetű talajban vagy nagyobb viszkozitású injektáló anyagnál sűrűbb kiosztást kell tervezni. Törekedni kell arra, hogy a furatok a szilárdítandó réteget merőlegesen vagy lehetőleg közel merőlegesen harántolják.

A felszíni beépítettség, közműhelyzet gyakran ferde csápok /furatok/telepítését indokolja. Ilyen esetben nem célszerű a furatok felszínről való indításnál 10-15 cm-nél sűrűbb telepítés.

A műtárgy geometriája és a vizsgálati eredmények alapján kell meghatározni a csápok elosztását és az injektálandó talajtömb méretét. Az ilyen jellegű csápelosztást általában injektálási hálózatként-raszternek- nevezik.

Az elrendezésre jellemző csápkiosztások a feladatok ismeretében a következők szerint foglalhatók össze:

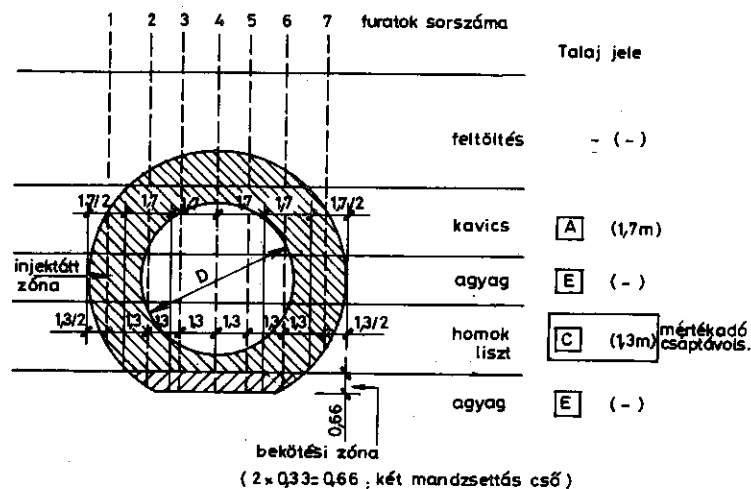
- sugárirányú csápok telepítése meglevő műtárgy körüli, műtárgy alatti talaj kezelésére vagy új műtárgy építés megkezdése előtti injektáláshoz,
- párhuzamos vagy legyezőszerűen elrendezett csápok egy vagy több párhuzamos tengely mentén elhelyezve, terepről vagy kisegítő földalatti műtárgyból kiindulva,

- több egymásba illesztett kúp alkotói mentén elhelyezett furatok a földmunka előrehaladása közben végzendő in-
jektáláshoz, pl. alagut fejtési frontjából kiindulva.

Az ismertett megoldások közül néhány általános elren-
dezést mutatunk be a következőkben. A csápok vagy furatok egy-
mástól való távolságának meghatározására a 15. ábrán már be-
mutatott javaslat adatait vettük figyelembe.

A 15. ábrán bemutatottak alapján vizsgáljuk meg, hogyan
lehet egy alagutszelvény körüli injektálendő tartomány csáp-
kiosztását megtervezni akkor, ha a talaj rétegzett.

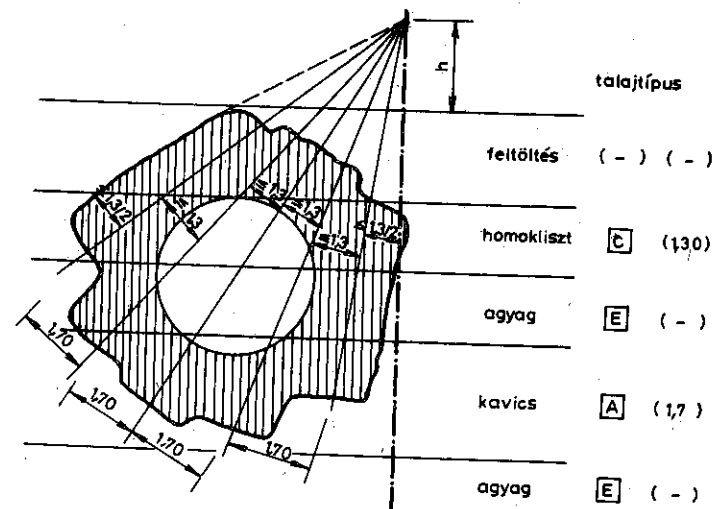
A kiosztás előtt meg kell vizsgálni, hogy az egyes rétegek-
nél milyen értékre adódnak a csáptávolságok és a kiosztásnál
mindig a legkisebb értéket kell mértékadónak tekinteni és e-
szerint kell a kiosztási tervet elkészíteni. A 40. ábrán be-
mutatott megoldásnál a [C] jelű talajszerkezethez tartozó 1,3
m-es furattávolság a mértékadó.



40. ábra

Függőleges csápok kiosztásának
vázlata

Amennyiben a csápokat helyhiány miatt nem lehet függőlegesen
lemélyíteni, az injektorok elhelyezését csak furatok segít-
ségével lehet biztosítani. Ez utóbbi esetben a ferde furatokat
a furógép tornyának forgáspontja körüli síkban kell legyező-
szerűen kiosztani. Erre a 41. ábrán mutatunk be példát.



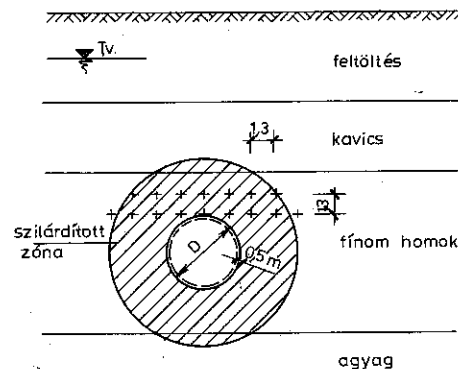
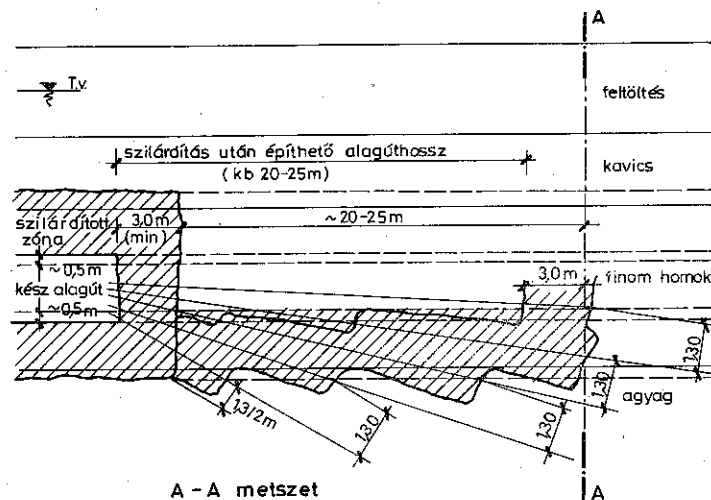
41. ábra

Legyezőszerűen kiosztott furatok vázlat

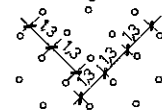
A már idézett ME 117-74 szl. előírás szerint a felszín-
ről indított, ferdén elhelyezett furatoknál a maximális ferde-
ség értéke a függőlegeshez viszonyítva 60°.

Előljáróban itt csak annyit jegyzünk meg, hogy legyező-
szerűen kiosztott furatoknál egy gépállásból max. 9 db furat
készítése a célszerű. A végzett munkák tapasztalati adatai
is ezt igazolják /16/. Ha az ábrán feltüntetett [C] jelű ré-
tegben a furások egymástól való távolsága max. 1,3 m, az [A]
jelű rétegnél 1,7 m-es csápkiosztás megfelelő. Természetesen
itt is, mint minden esetben az első lépés az injektálendő
tartomány méreteinek a meghatározása kell hogy legyen.

A 42. ábrán bemutatott megoldás az alagútból történő injeztálást szemlélteti.



további furatkiosztási lehetőség



42. ábra

Alagútból készülő szilárdítás furatkiosztása

Ebben az esetben is meg van a lehetősége annak, hogy a furatkiosztás a talajszerkezet által megkívánt tényleges értékek figyelembevételével történjék. Az itt tárgyalt esetben a furatkiosztás mindig a szakasz végén előállított metszetben történik, amit a furatok támadáspontjának homlokfalára vetítenek vissza. Itt gondoskodni kell arról, hogy a tervezett furatszám a homlokfalon biztonságosan elhelyezhető legyen. Az injeztált tartomány hossza ebben az esetben általában 20-25 m.

A geometriából adódó furatösszetartás miatt célszerű a szélekre eső furatok helyét külön-külön szelvényenként is megvizsgálni. Ezt elsősorban a gazdaságosság indokolja, de nincs ellentétben a műszaki követelményekkel sem. Szilárdítással az elméleti belső alagut átmérőn belül kb. 66 cm vastagságú tartomány injeztálható ki. /A 66 cm érték ismertetésére a technológiát tárgyaló fejezetben visszatérünk./ Ez az érték azonban 50 cm-nél kevesebb nem lehet.

A 43. ábra az aknából történő injeztálás furatkiosztását mutatja. Itt az A, B, C, D betűk azokat a vízszintes legyezősíkakat jelölik, amelyek mentén a szilárdítást el kell végezni. Ennek a kitűzése után történik az egyes furatok függőleges értelmű pontos rögzítése. A furatokat úgy kell kiosztani, hogy azok között minimálisan 15-20 cm távolság maradjon. A furatok itt vagy négyzet vagy átlós alakzatban helyezendők el, az említett kötöttség miatt. Az akna falán az elméleti kiosztás mindig a kiterített paláston történik.

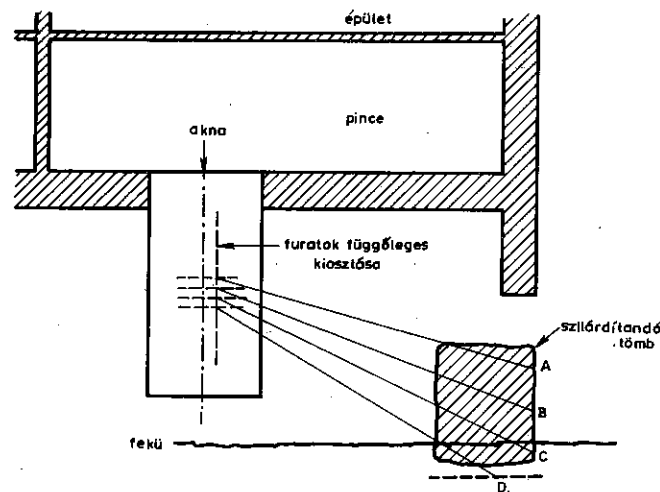
Helyszűke esetén injeztálás történhet árokból is. Mind az aknából, pincéből vagy árokból végzett fúrásoknál külön erre a célra készült gépi berendezéseket használnak. Mind-egyik esetben más-más típus alkalmazása a gazdaságos.

A 44. ábrán egy árokból kivitelezett talajszilárdítási megoldást mutatunk be. Az ároknak olyan hosszúnak kell lennie, mint amilyen hosszú szakaszt tervezünk szilárdítani.

A Bécsben szerzett tapasztalatok alapján fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a legyezőszerű injeztálási szelvények tervezésénél a felszínről indított furatok a függőleges tengelytől lehetőség szerint csak 45°-kal térjenek el. Ha egy mód van rá, célszerűbb ennél nagyobb szög alatt hajló furatkészítéstől elállni. A tapasztalatok /16/ alapján a legyező-

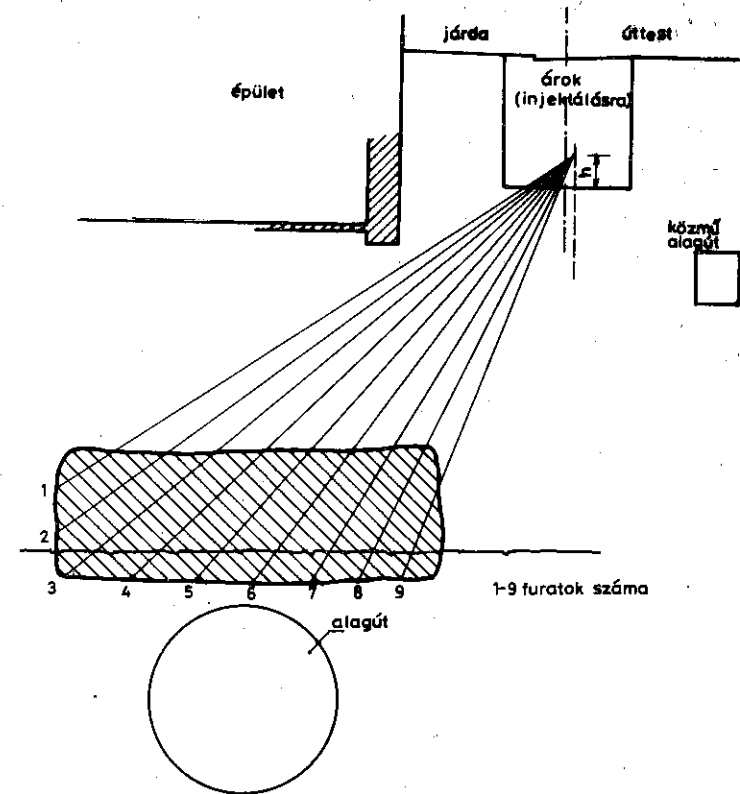
ben elhelyezett furatok többségének a függőlegestől való eltérése max. 30° volt. Igen ritkán fordult elő 55° -os hajlású furat. Ez az érték azonban így is kisebb, mint a magyar előírás szerint 60° .

Az előzőekben már említettük, de itt újra felhívjuk a figyelmet arra, hogy a furatok tervezésénél külön gonddal kell eljárni a közművek közelében. A kialakult gyakorlat szerint a vízvezeték 50 cm-nél jobban megközelíteni nem szabad. A kábeleket /elektromos, telefon stb./ feltárás után is minimum 50 cm-rel el kell kerülni! A csatornákat maximálisan 30 cm-re szabad megközelíteni, de célszerű az 50 cm-t tartani. Ha a fúró támadáspontjánál a furat tengelye az alap függőleges síkjával nem zár be kis szöget, szükség szerint az épület alapja átfúrható. A 45. ábra az ismerttetettre mutat be példát. Itt külön bejelöltük azt az esetet is, amikor az épületalapot is átfúrják.



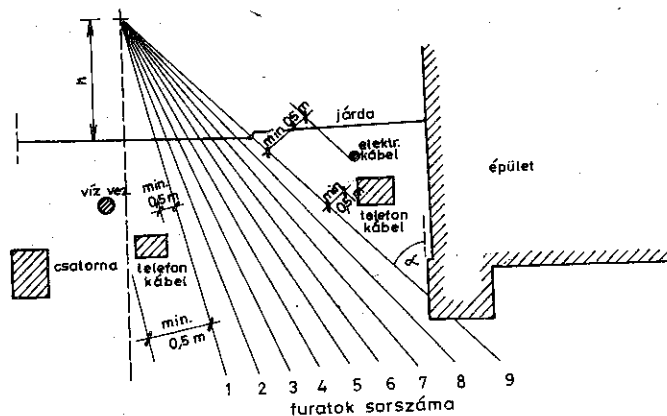
43. ábra

Aknából vezetett injektálás



44. ábra

Injektálás árokból



45. ábra

A legyező furatainak elhelyezése közművek és épületalap között

Ha van olyan terület, ahol valami oknál fogva a legyezőt egy gépállásból nem lehet elkészíteni, ott két külön gépállásból kell azt megtervezni. A későbbiekben erre is mutatunk be példát.

A furatok maximális hossza a kapott információk alapján 36-40 m között változik. Természetesen ez a megállapítás nem vonatkozik pl. a függőleges csápok segítségével végzett teknőinjektálásra, itt a 70-75 m-es injektálási mélység sem ritka. A terepszintről zúditott legyezőszerűen elhelyezett ferde furatnál a tervezett iránytól való eltérés a furat hajlásszögétől és a hosszától függően változik. A 36 m mélységben legyezőszerűen kiosztott furatsornál csak néhány olyan eset ismeretes, amikor az előző furatot az azt követő furat metszette.

Az alagutakból indított furatok közül pl. egy olyan furatnál amelynek hossza 27 m volt, a vízszintes sík felett helyezkedett el és azzal kb. 2°-ot zárt be, a lehajlás mértéke a furat talpánál 0,5 - 0,6 m volt. /16/.

A furatkiosztás és annak tervszerinti végrehajtása igen gondos munkát igényel, ezért nagyon fontos, hogy a tervező mindig a legegyszerűbb megoldást keresse még akkor is, ha az a legbonyolultabb és legmunkaigényesebb tervezési munkát jelenti.

4.9.2 A furatok kitűzése

A fúrások kitűzését megelőzően a tervezőnek részletes helyszinrajzzal kell rendelkeznie, amihez különböző mellékletek - metszetek - is tartoznak. A legyezők tengelyének meghatározása és a furatkiosztás elkészítésének része kell hogy legyen a pontos közműterv is, amelyet szükség szerint külön feltárásokkal ellenőrizni kell. Ennek szükségességét a 45. ábrán bemutattuk és kihangsúlyoztuk.

A furatkitűzéseket sűrű alappont hálózat és ezen belül a geodéziai mérések alapján történhet további sűrítés segíti. A bécsi földalatti építésnél végzett szilárdítási munka furatkitűzését is tartalmazó helyszinrajz részletet a 46. ábra mutat be /16/.

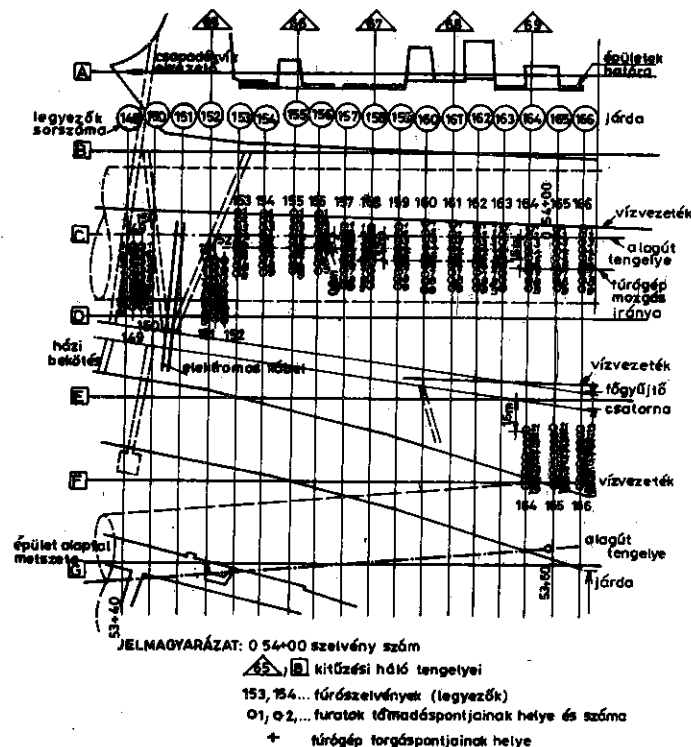
A helyszinrajzon feltüntetett adatok közül az itt tárgyaltaknál a legfontosabb az alaphálóval kapcsolatos feladat elvégzése, melynek végrehajtása a következők szerint történik. A szemecsléti görbe ismeretében a 15. ábrán bemutatottak szerint kell dönteni, melyik jelölt tartomány fogja meghatározni a furatok egymástól való távolságát. Ennek ismeretében a pontok kitűzőivel közölni lehet az alapháló méreteit. A 46. ábrán bemutatott helyszinrajzon az alapháló az alagut tengelyre merőleges osztását a 65, 66, 67, 68, 69 számmal jelölték. A két jelölt szám által képviselt távolság általában a választott - mértékadó - furattávolság háromszoros értékével azonos. Az ismertetett esetben ez az érték 3,6 m /1,2 x 3/. Az erre merőleges osztású háló távolsága - melyet A, B, C, D, E, F, G...-vel jelöltek, ugyancsak 3,6 m.

Az ily módon elkészített hálónak a metszéspontjait is ki kell minden esetben tűzni. A munkahely az injektálás céljából készített legyezők helyének meghatározásánál mindig a sűrített ponthálózatra támaszkodik. A hálón belül most már a furattávolságnak megfelelően kell bejelölni a legyező helyét, amely a tárgyalt esetben nem más, mint a háló távolságának harmada.

A legyezők is sorszámot kapnak /a bemutatott példán 149-166-ig/. A legyezők megtervezésénél törekedni kell arra, hogy a fúrógép lehetőleg minél kevesebb átállással tudja a legyezők furatait elkészíteni. Ezt a feladatot a bemutatott példa kap-

csán nem sikerült biztosítani, mert a 149-150, és a 151-152 jelű legyezőnél 4 db szelvényben kétszer kellett átállni, míg a 153-156, a 157-163 és a 164-166. szelvényben egyszer-egyszer.

Ettől eltér a 164-166. szelvényben a 21. furatszámmal kezdődő sor, ahol minden legyező más és más gépforgásponthoz tartozó függőlegesből indul ki.



46. ábra

Injektálással kapcsolatos alaprajzi elrendezések és jelölések

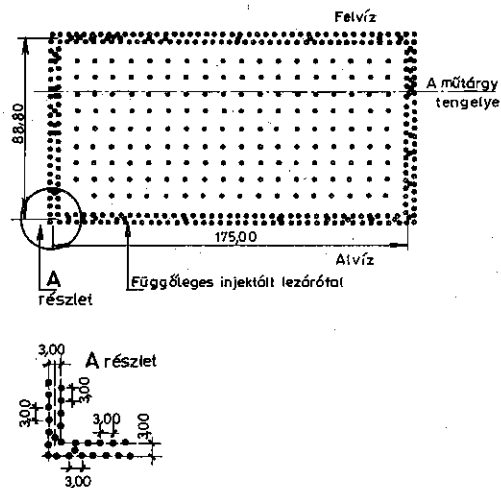
Célszerű azonban ahhoz ragaszkodni, hogy egy tengelyre több építendő legyező legyen feltűzhető. Ha a tengely helye változik, a tengely lehetőleg lépcsősen egymással párhuzamosan kell eltolni. Ezeknek a tengelyeknek - a kitzési hiba elkerülése miatt - mindig párhuzamosnak kell lenniük, például a tárgyalat esetében az [A], [B] stb. jelű egyenesekkel. A legyezőknél a kitzési munka elsősorban a fűtőgép π -gal jelölt forgáspontjának függőleges vetülete jelölendő meg /pl. szögbelővéssel stb./, majd az 1-9 vagy a 21-29 sorszámmal jelölt furatok dőléspontját kell rögzíteni a fűrés indító szintjén.

Ha egy alagutpár mindkét alagutjánál kell injektálni és a két alagut injektálásához tervezett legyezők egy síkba esnek - mint a példán látható 164-165-166 sorszámmal - ott a tévedések kizárása miatt megkülönböztetésül a legyezőkön belüli furatok 1-9 és 21-29. sorszámmal kell, hogy kapjanak. A 153-166. sz. legyezőknél a bekarikázott szelvényszámot a furat jele felett meg kell ismételni, mert mint a 149-152. szelvényben látható, a sűrű közmű miatt a legyező síkját egy bizonyos szög alatt meg kellett dönteni és így az elméleti legyezőkiosztás megváltozott. Ilyen szelvény a példán bemutatott 149-150. és a 151-152., alul a legyező fölé írt sorszámmal azt jelölték, hogy nem maradt ki legyező, tehát a tervezett mélységben a szilárdítandó tartomány határa sem változott, vagyis a terv szerint készültek a furatok.

A kitzés keretében kell megemlíteni az épületek mozgásának figyelését szolgáló csapok elhelyezését is. Az e célból elhelyezendő csapo sűrűsége változó. Egymástól való távolságát a megrendelő határozza meg. Ha ilyen külön kikötés nincs, a csapokat általában 10 m-enként célszerű elhelyezni. Ezeket a csapokat a munkakezdést megelőzően be kell mérni. Tehát olyan kitzési tervet kell készíteni, hogy azon az alapadatokat áttekinthetők és a munkafolyamat alatt kiegészítő mérés nélkül az esetleg szükséges módosítások elvégezhetők legyenek. Befejezésül még egy példát mutatunk be.

A fessenheimi vizierőmű építési munkagödrében az alapozási síkban és alatta kavics és durva kavics helyezkedik el igen nagy mélységben, ahol "k" értéke 10^{-2} m/s. Itt a munkagödör

oldalhatároló függőnye és a fenéklezáró teknője egyaránt injektálással készült. A 47. ábrán az említett munkagödör függőleges, és vízszintes szigetelését biztosító injektáláshoz szükséges csápkiosztás látható /30/.



47. ábra

A fessenheimi műtárgy munkagödrének és furatkiosztásának helyszínrajza

4.93 A szelvény /legyező/ tervezése

Az előző fejezetben ismertettek alapján kell elkészíteni az egyes szelvények /legyezők/ alaptervlapját. Ezen kell meghatározni a fúrás alapjául szolgáló függőleges tengelyt és a fúrógép forgáspontja ismeretében itt kell kiosztani a furatokat is. A példában szereplő 6 m átmérőjű alagútnál

a vízzárási céllal csak telítő injektálást végeznek, a furatok száma 8, ugyanitt szilárdításnál 9 db furattal oldják meg a feladatot. Az alagut injektálásánál úgy kell a munkát elvégezni, hogy a tervezett alagutszelvényen belül legalább 50 cm-re beljebb legyen a telítés határa.

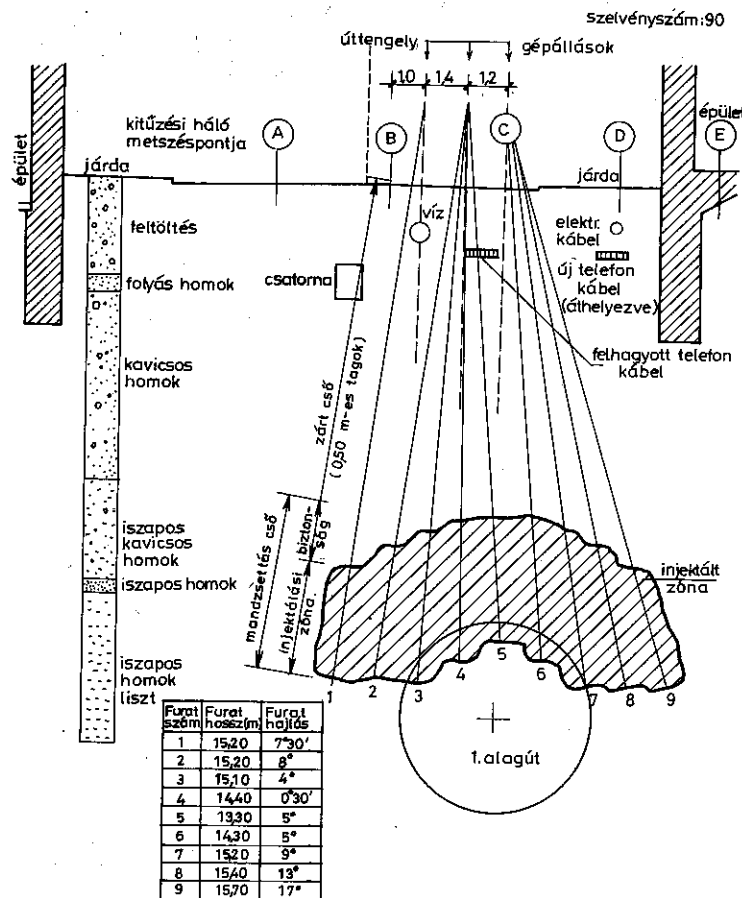
Az egyes szelvényekben az injektálandó tartomány kialakításának gazdaságossága többek között attól is függ, hogy milyen módon készülnek a szükséges furatok. A cél természetesen az, hogy egy fúrógép-állásból több furatot lehessen mélyíteni. Erre a legalkalmasabb megoldás a legyezőben való fúrás, ami egyben a leggazdaságosabb is. Ennek megfelelően a továbbiakban ezt a módszert ismertetjük. A szelvény tervét a 48. ábra szemlélteti. /Az ábrán feltüntetett "mandzsettás cső" ismertetésére a későbbiekben kerül sor/.

Minden szelvényen fel kell tüntetni az ábrán látható adatokat:

- a legyező /szelvény/ számát,
- a terepszintet,
- az érintett épületek mérethelyes alapmetszetét,
- a talajszelvényt /ha két feltáró furat között csak interpolált érték van akkor is/,
- a közműveket,
- az alapkitűzés raszterének adatait,
- a gép forgáspontját,
- az egyes gépállásból eévégezhető furatokat,
- a furat számát,
- a furat hosszát,
- a furatok síkbeli hajlását
- az injektálandó tartományt,
- a műtárgy körvonalát, tengelyét, esetleg szelvényszámát és a tengely magassági értékét /ez utóbbi vonatkozik az utca, illetve járdaszintre is/.

48. 81. vizdok 17. forma nélkül

- 128 -



48. ábra

Egy /legyező/ mintaszelvény

- 129 -

Ha a szelvényt vagy azon belül az egyes furatok hajlás-szögét meg kell változtatni, az ábrán látható táblázat mellé be kell jelölni a dőlés mértékét fok, perc pontossággal és hozzá kell írni az égtájat is, amivel a legyező dőlési irányát jelölik. Tekintettel arra, hogy ez ritkábban fordul elő a legyező dőlésének iránya, így határozható meg leegyszerűbben.

Az ábrán bemutított példán egy kivételes eset látható. Azt az állapotot mutatja be, amikor a közművek miatt egy legyező furatait csak három gépállásból lehet elkészíteni annak ellenére, hogy a telefonkábel a munka megkezdése előtt - mint ahogy ez jelölve is van - kiváltották.

A 48. ábrán feltüntetett szelvényhez még egy adatlap is tartozik /9. táblázat/, ami az egy szelvényben tervezett összes furatra vonatkozó paramétereket és anyagmennyiséget tartalmazza.

Fúrési utasítás

9. táblázat

Furat-szám	Furat-hossz /m/	Dőlés a legyező síkjában	Legyezőre merőleges dőlés	Műanyag csőtaggyűjtés	
				zárt /50cm/db/	mandzsettás /33cm/db/
90 - 6	14,30	5°	0°	18	17
- 7	15,20	9°	0°	18	20
- 8	15,40	13°	0°	18	21
- 9	15,70	17°	0°	18	23

A zárt és gumi mandzsettával ellátott injektálósövek ismertetésére a későbbiekben kerül sor. A táblázat csak a 6-9. sor-számú foratokat adatait tünteti fel. Itt annyit jegyzünk meg, hogy a 48. ábra, illetve a táblázat 2. oszlopában feltüntetett hosszát minden esetben a terepszinttől számították és ehhez a furatok végén biztonságból még egy mandzsettás tag hossza /0,33 m/ is hozzáadódik. A készülő furat azonban rendszerint egy méterrel hosszabb, hogy az injektálóső behelyezésénél

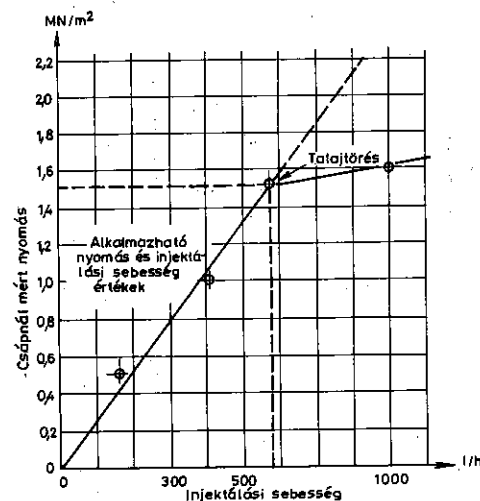
bekövetkező esetleges osztás ne akadályozza a cső elhelyezését. Ezzel a többlethosszal a kivitelező biztosítani tudja azt, hogy ne kelljen esetenként a fúrógéppel újra visszaállni a furat tisztításához.

4.9.4 Tervezett injektálási sebesség és nyomás

A besajtolás végrehajtásánál a tervezett maximális injektálási sebességet a talajszerkezet és a megengedhető épületmozgások figyelembevételével kell megállapítani. Ez az érték általában 200 l/óra szokott lenni /becsült érték/. A bécsi metró alagút injektálásánál megengedhető maximális nyomás általában 15 bar volt, amitől természetesen esetenként el lehetett vagy el kellett térni.

A következőkben egy bécsi tapasztalatok alapján /16/ mutatunk be példát a próbainjektálásra.

A 49. ábra egy adott szakaszra vonatkoztatott kísérleti injektálás eredményét mutatja be. Ezek az adatok természetesen a talajszerkezet változásával változnak.



49. ábra

A próbainjektálás diagramja

A kísérlet célja a tervezett injektálási sebesség és a maximális injektálási nyomás ellenőrzése, vagy az egyes eredmények alapján az elkészült terv adatainak ellenőrzése és esetleges módosítása. A próbainjektálást minden 4. kereszt-szelvényben egy-egy injektálási ponton tervezték végrehajtani úgy, hogy a legyező, illetve az injektálandó tartomány közepén helyezkedjék el. Egy injektálásnál vagy a szilárdítási zónában arányosan elosztva vagy a talajmechanikai rétegződésnek megfelelően kiválasztott 4-5 mandzsettával hajtották végre a próbát úgy, hogy négy különböző időtartamú és nyomású injektálást kellett sorozatban elvégezni minden szelepnél. Az idő és a benyomott anyagmennyiség alapján számítható ki a tényleges injektálási sebesség. Az ismeretek birtokában feltételeznek egy injektálási sebességet pl. 350 l/h értéket és a próbainjektálást úgy végzik el, hogy a választott értéknél kisebb és nagyobb érték is szerepeljen /lásd a 49. ábrát/. Ugyanígy végzik a nyomással kapcsolatos méréseket is pl. a négy lépcsőben 5-10-15 és 20 bar nyomással végzik az injektálást. Ezzel a már említett 15 bar nyomásérték közrefogható.

Homogén szerkezetű talajnál általában 10 méterenként készül egy próbainjektálás. Megfelelő tapasztalati adatok összegyűjtése után ezeket a kísérleti méréseket elhagyják, mert igen költségesek.

A tapasztalatok alapján a cement-bentonit szuszpenzióknál a 350-400 l/h-t tekintik a beinjektálható anyagmennyiség sebesség határának, míg ez az érték gélinjektálásnál homokban 500 l/h; homokos kavicsban 600 l/h; és iszapos homokban 350 l/h.

Talajvíz alatt történő injektálásnál számítani kell a víz hígító hatásával is.

A kitöltő, illetve szilárdító anyagok tervezésénél az eddigi gyakorlati tapasztalatok alapján minden esetben laboratoriumi vizsgálatokkal ellenőrzött adatokra kell támaszkodni.

Talajvíz jelenléte esetén a tervezésnél vigyázni kell az injektálás sorrendjére. A vizet mindig a műtárgytól kell beszorítani, ha lehet nem a műtárgyra merőlegesen, hanem átlósan. Minden furatot egymás után célszerű injektálni, hogy

ne keltekezzenek vízssákok. Az injektálás irányát úgy kell meghatározni, hogy az csak minimális mozgást okozzon. Az injektálás ideje alatt - amennyiben az érintett épületnél mozgás nem észlelhető - az elhelyezett csapokon naponta két alkalommal célszerű ellenőrző mérést végezni.

4.9.5 Mennyiségek meghatározása

A furások és az injektálási pontok, valamint a talaj hézagterfogata határozza meg az egy helyről telíthető pórus-terefogatot. A ténylegesen besajtolandó anyagmennyiség ettől általában eltér. Ha teljes, 100 %-os kitöltése a cél, a mennyiségben csak kis többletbiztonságot szabad engedni, mert különben térszinemelkedés következhet be. A térszinemelkedés egyébként a hatásos injektálás jele, a mozgást általában 0,2 - 0,5 mm pontossággal kell regisztrálni.

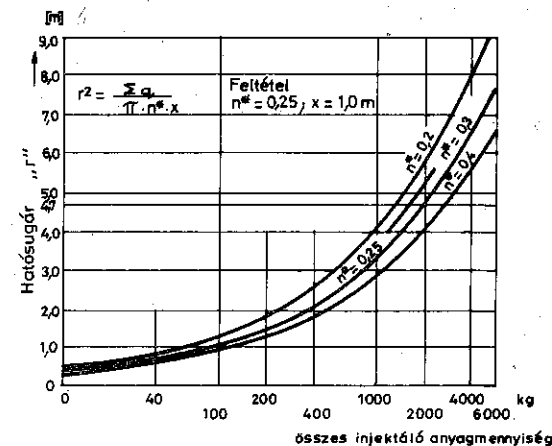
Ha nem szükséges a teljes kitöltés, kisebb szilárdság elérése is elegendő, 20 %-os hézagterefogatnál kisebb anyagmennyiség besajtolását akkor sem szabad előírni.

Az injektálandó mennyiségnek meghatározására különböző megoldások ismereteseek, ezekből mutatunk be a következőkben néhányat.

A már ismerttetett számított hatósugár függvényében a szükséges injektáló anyag a Maag-Kollbrunner által szerkesztett grafikon segítségével is megállapítható /ME 117-74/. Számos bizonytalanság miatt csak tájékoztatásul mutatjuk be a grafikont /50. ábra/.

Az injektáló mennyiségek meghatározásánál különbséget kell tenni:

- a vízzárési célból,
- a szilárdítási célból vagy
- a vízzárési és szilárdítás együttes céljából készülő injektálás között.



50. ábra

Fajlagos injektáló anyagszükséglet meghatározása /Maag-Kollbrunner szerint/

Első lépésként a talajmechanikai szakvélemény alapján eldől, hogy a talaj injektálható-e, és meghatározható az injektálási módszer. Ezt követi annak eldöntése, hogy milyen százalékban és milyen injektálási tartományban kell a telítést elvégezni.

Ha az injektálási tartomány és az injektálandó talaj pórusterfogata ismert, meghatározható a szükséges injektáló anyagmennyiség is, aminek értéke általában a talajterefogat 30-40 % körül van.

Ha kis injektálási tartományban végzik a besajtolást, 40-50 %-os injektálási mennyiséggel kell számolni /10 %-kal több a meghatározottnál/.

Ha a zóna vastagsága nő, akkor általában 35 %-os anyagmennyiséggel el lehet érni a kívánt hatást.

Nem elég azonban csak a szemelosztási görbe adataira támaszkodni és az alapján dönteni. Figyelembe kell venni a megrendelő szempontjait és azt, hogy mi a munka kivitelezésének a célja /szigetelés, szilárdítás, alagutnál levegőszökés megakadályozása stb./.

Ebből kitűnik, hogy más a mennyiség megállapítása a biztonsági szigetelésnél és más az állékonysági cállal végzett szigetelésnél.

Durvább szemszerkezetű anyagban az injektálás két fázisban történik. Az első fázisban telítő injektálásként cement + bentonit + víz /C + B/ keverékből előállított habarcsot, míg a második fázisban gél injektálnak.

A telítő vagy szigetelő injektálásra használt habarcsok /C + B/ szilárdsági értéke általában $1,0 - 2,0 \text{ MN/m}^2$.

A rendelkezésre álló /C + B/ habarcs és a magmintavételből származó, a kezelendő rétegre jellemző anyag keverékből minták készíthetők. Ezeknek a mintáknak vizsgálata minden esetben mérhető adatot szolgáltat. Ennek az előzetes tájékoztatást nyújtó értéknek a laboratóriumban történő megállapítása igen lényeges.

A tulajdonképpeni szilárdságot mindig a gél adja. A szilárdságot mindig az határozza meg, hogy a gél hogyan tapad a talajszemcsékre vagy a talaj és a habarcs /C + B/ alkotó elemeire.

A habarcs /C + B/ csak vázszerkezetet ad, a váz összerakó eleme a gél.

Injektálásnál azt kell eldönteni, hogy mennyi habarcs /C + B/ és mennyi gél szükséges.

A következőkben a mennyiségek megállapításának szemléltetésére mutatunk be egy példát a feltételezeten 40 % hézagterfogatú talaj telítéséről. Ha /C + B/-vel a talaj hézagterfogatának 25 %-át töltjük ki, a gél-igényt a hézagterfogat további 75 %-ára kell megállapítanunk. Az eddigi gyakorlati tapasztalatok alapján a /C + B/ minimális értéke 5 %, a maximális 20 %, de egyes esetekben túl is lehet lépni a 20 %-ot is. A szilárdítást megelőző telítés esetén ez az érték max. 25 % lehet.

A már említett bécsi példára hivatkozva 10 %-os habarcs /C + B/ kitöltés esetén - 6-10 bar nyomást és kb. 400 l/h injektálási sebességet figyelembevéve - a megengedett terep vagy műtárgy emelkedés 5 mm volt.

Nagyobb mértékű emelkedésnél az injektálást szüneteltetni kell. Ha a szüneteltetés után az emelkedés értéke csökkent, akkor a csökkentett injektálási sebességgel és nyomással lehet az injektálást folytatni. Amennyiben a pihentetés alatt az emelkedés értéke nem változott, ez azt jelenti, hogy a talaj túlterhelt. Ebben az esetben a beinjektálandó mennyiséget csökkenteni kell. A beinjektált mennyiség csökkentéséhez a tervező előzetes hozzájárulása szükséges.

Ha a talaj hézagterfogata 38 %, a beinjektált habarcs /C + B/ értéke 15 % és a gél értéke 23 %, elvileg a talaj hézagterfogatának kívánt telítése tényleg megtörtént. Ennek elérése 2-3 %-os nagyobb anyagmennyiséggel kell számolnunk. 37 % esetén 40 %-os hézagterfogatot vesznek alapul. /A későbbiekben bemutatott mennyiségsszámításnál - mivel az grafikus eljárással történik - a hiba lehetősége is nagyobb a megadott 2-3 %-nál./ Meg kell jegyeznünk, hogy a százalékos értékek mindig a szilárdítandó talaj térfogatára vonatkoznak.

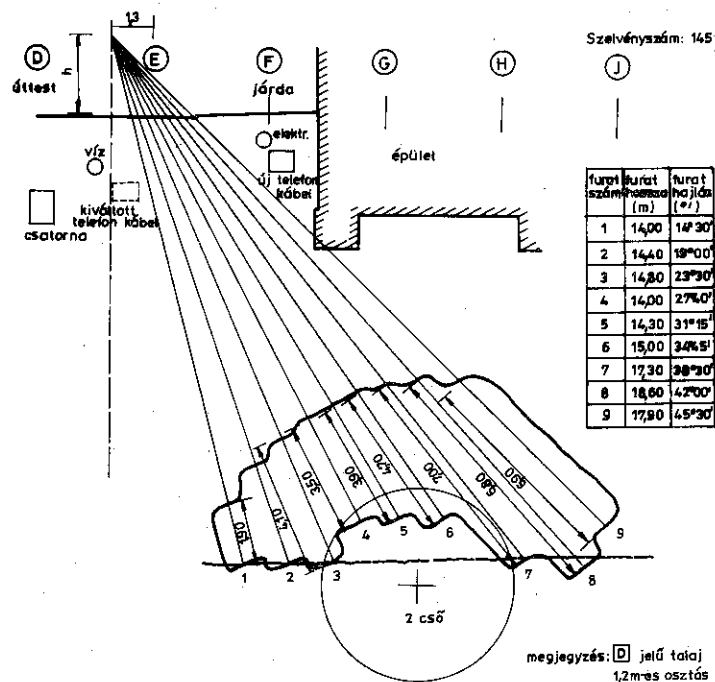
Az 51. ábrán egy a valóságban elkészült szelvény /legyező/ látható. /Ezt az ábratípust az előzőekből már ismerjük./

Az itt feltüntetett és mérhető adatok birtokában kell kitölteni a 10. táblázatot. A táblázat adatai alapján megállapítható a csőszükséglet, külön a sima és külön a mandzsettás injektálócső. Az injektálandó tartomány fölött többletként még 2,0 m hosszú mandzsettás szakasszal és minden furatnál azonos hosszúságú sima csővel számolnak, ami a bemutatott példa esetében 8 m hosszúnak felel meg. Ezzel lehet a munkahelyen elkövetendő hibákat kiküszöbölni.

A csőszükséglet megállapítása után meg kell határozni az injektáló anyag mennyiségét, 38 %-os pórustérfogat figyelembevételével. Ezt a következőképpen végezzük el.

Az 51. ábrán - az injektálandó zónán belüli furathosszak értékeit külön-külön is feltüntettük. Ha az itt látható értékek és a 0,33 hányadosa nem egész szám, ki kell egészíteni úgy, hogy az a 0,33-nak az egész számú többszörösét adja. Ha ez

az adat rendelkezésre áll, a 11. táblázaton feltüntetett 1. oszlop a habarcs /C + B/ és a gélhez tartozóan is kitölthető.



51. ábra

145.sz. Keresztmetszelvény

Legyező adatait tartalmazó táblázat

10. táblázat

Furat-szám	Furat-hossz	Dőlés a legyező síkjában	Dőlés a legyező-re merőlegesen	Műanyag csőszükséglet	
				zárt /33 cm/db/	mandzsettás /33 cm/db/
145-1	14,00	14°30'	0°	24	19
2	14,40	19°00'	0°	24	20
3	14,80	23°30'	0°	24	22
4	14,00	27°45'	0°	24	19
5	14,30	31°45'	0°	24	20
6	15,00	34°45'	0°	24	22
7	17,30	38°30'	0°	24	29
8	18,60	42°00'	0°	24	33
9	17,90	45°30'	0°	24	31

A táblázatról néhány szót. Ha csak habarcs /C + B/ injektálást végeznek, csak az első hasábra van szükség. Ha habarcs /C + B/ és gél injektálás is történik, az első hasábra kerülnek a habarcs /C + B/ adatai, míg a második hasábra a gél adatai. Itt jegyezzük meg, hogy a géleknel kétféle megkülönböztethető jelzést -rövidítést - kell alkalmazni.

Egyik:

- a kemény gél /Gél K/ 1,0 MN/m², a másik
- a lágy gél /Gél L/ 0,5 MN/m², nyomószilárdsági értéket képvisel.

Visszatérve a táblázat adataira, ha az első hasámban jelölt habarcs /C + B/ injektálásánál a regisztrált adatok szerint a nyomás 4 bar alatt volt, egy következő habarcs /C + B/ injektálására is szükség van. Ebben az esetben ez kerül a második hasámba, míg a gélre vonatkozó adatok a harmadik hasámba.

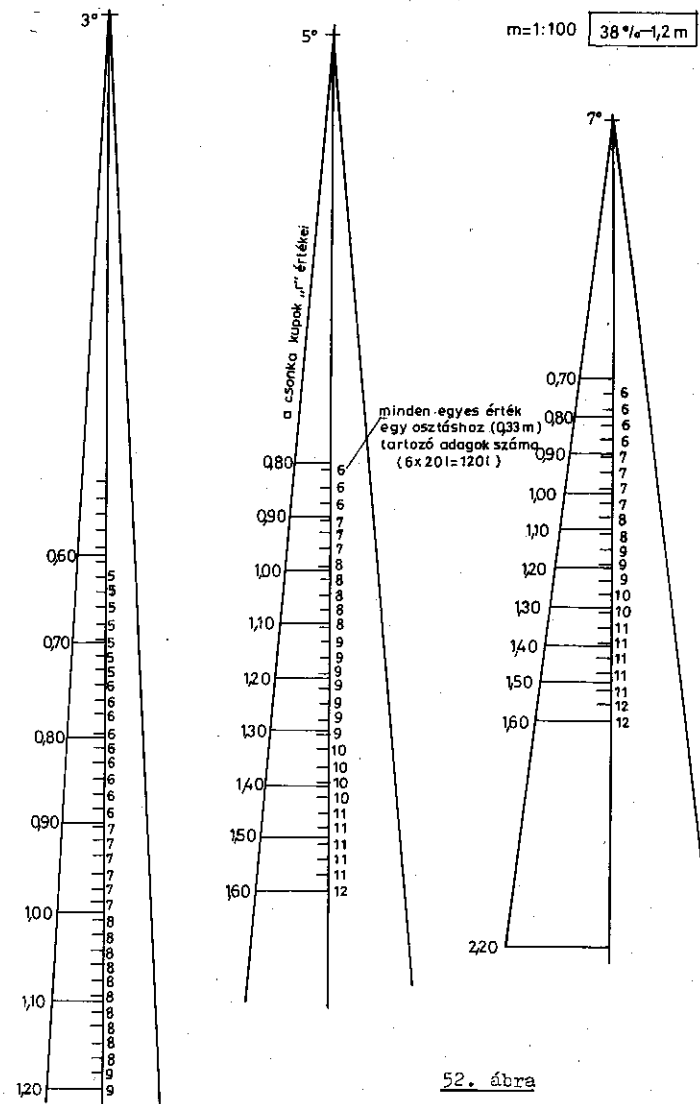
Minden egyes szelvényhez annyi - a 11. táblázathoz hasonló - táblázat kell, ahány furat van a szelvényben. A példában a 145-7. sz. furatra jellemző tervező által megadott adatokat tüntettük fel.

A táblázatban bemutatott 1. és 2. hasárból mindegyiknek az első oszlopát az 51. ábra adatai alapján ki lehetett tölteni. A következő lépés: meghatározni, hogy mandzsettánként hány húsz literes adagot kell beinjektálni ahhoz, hogy a tervezett mennyiséget elérjük. Ezt a műveletet az 52. ábrán bemutatott segédlettel lehet elvégezni.

A bemutatott segédlet a 38 %-os pórustérfogatú és 1,2 m-es furatosztású talajoknál alkalmazható. Ezen belül a 3°, 5° és 7° az a hajlásszög, melynek a segítségével szerkesztett kúpokon belül a 0,33 m magasságú csonkakúpsor jellemző adatokat szolgáltat az egyes furatok mentén beinjektálandó mennyiségekre. A függőleges tengelyen feltüntetett értékek azt jelölik, hogy egy osztáson /0,33 m/ belül hány 20 literes adag beinjektálására van szükség ahhoz, hogy a talaj telített legyen. A szelvényenként beinjektálandó mennyiségeket az alkalmazott berendezéstől függően literben vagy adagban /általában 20 lit./ állapítják meg.

A segédlet a következő:

A kúp tengelyét annak a furatnak a tengelyére kell illeszteni, amely furatnál felhasználandó anyag megtervezése a cél. A kúp tengelyét úgy kell a furat tengelyén le-fel mozgatni, hogy a kúp két határoló alkotója a két szomszédos furattengelyt lehetőleg fedje. Ezzel a művelettel a három adott kúp között lesz egy olyan, amelynél a fenti feltételek kielégítést nyernek. A vizsgált esetben a 3°-os elégítette ki a leírt feltételeket, az alapján meg lehet határozni a 38 %-os hézagterfogatú és 1,2 m-es furatosztású talajnál a



52. ábra

Segédlet a mandzsettánkénti injektálandó adagok /20 l/ számának megállapítására

ásodik
eltűnt-

jektálni,
összes
adag,
k hasáb
em egész
lé kere-
g kerül

hatkozó
szatérünk -
folyamán
atja a
nyenként
sszesít-
; mennyi-

ktálandó
 'ikusan/
 50 m².
 k az
 fi-
 ereken
 agokból
 ék a
 tett -
 téket
 Tényle-
 . A biz-
 n felkere-

ájára
tt annyit
t az
zés ro-

(Cég neve)		munkahely		házszám		Injektálási terv (I)				körzet		furat száma:					
1. Injektálási fázis		B/C Injektált anyag jele		Dátum		Szivattyú szám		1. Injektálási fázis		B/C Injektált anyag neve		Dátum		Szivattyú száma			
33. mandzsetta hossz (cm)		tervező neve		Injektáló központi aláírások		33. mandzsetta méret (cm)		tervező neve		Injektáló központi aláírások		mandzsetta mérete (cm)		tervező neve		Injektáló központi aláírások	
Injektáló adag		Számoló állás		Idő		Injektáló adag		Számoló állás		Idő		Injektáló adag		Számoló állás		Idő	
terveztől		kezdetig		végéig		terveztől		kezdetig		végéig		terveztől		kezdetig		végéig	
Nyomás		Nyomás		Nyomás		Nyomás		Nyomás		Nyomás		Nyomás		Nyomás		Nyomás	
kezdő		végő		kezdő		végő		kezdő		végő		kezdő		végő		kezdő	
12 %		12 %		12 %		12 %		12 %		12 %		12 %		12 %		12 %	
Mégjegyzés		Mégjegyzés		Mégjegyzés		Mégjegyzés		Mégjegyzés		Mégjegyzés		Mégjegyzés		Mégjegyzés		Mégjegyzés	
17	33	3						17	33	6							
		3								6							
		3								6							
16	33	2						16	33	6							
		2								6							
		2								6							
15	33	2						15	33	6							
		2								6							
		2								6							
14	33	2						14	33	6							
		2								6							
		2								6							
13	33	2						13	33	6							
		2								5							
		2								5							
12	33	2						12	33	5							
		2								5							
		2								5							
11	33	2						11	33	5							
		2								4							
		2								4							
10	33	2						10	33	4							
A metszet alapján		A metszet alapján		A metszet alapján		A metszet alapján		A metszet alapján		A metszet alapján		A metszet alapján		A metszet alapján		A metszet alapján	
kifőltve		kifőltve		kifőltve		kifőltve		kifőltve		kifőltve		kifőltve		kifőltve		kifőltve	
A 12%-hoz tartozó értékek		A 12%-hoz tartozó értékek		A 12%-hoz tartozó értékek		A 12%-hoz tartozó értékek		A 12%-hoz tartozó értékek		A 26%-hoz tartozó értékek		A 26%-hoz tartozó értékek		A 38%-hoz tartozó értékek		A 38%-hoz tartozó értékek	
Teljes mennyiség		Teljes mennyiség		Teljes mennyiség		Teljes mennyiség		Teljes mennyiség		Teljes mennyiség		Teljes mennyiség		Teljes mennyiség		Teljes mennyiség	
Igazolások:		Igazolások:		Igazolások:		Igazolások:		Igazolások:		Igazolások:		Igazolások:		Igazolások:		Igazolások:	

Injektálási terv (I)
II. táblázat

~ 1,0 m -rel egyenlő

= 0,33 m -rel, egy mandzsettás cső hossza

val

A 12%-hoz tartozó értékek

A 26%-hoz tartozó értékek

A 38%-hoz tartozó értékek

Teljes mennyiség

Igazolások:

Teljes mennyiség

Igazolások:

Teljes mennyiség

Igazolások:

Otdalszám:

SECRET

12. táblázat

[illegible]

vatba a kieső időket, ami nem más, mint az injektálás helyén egy kétméteres injektáló csőtag kiszerezésének időszükséglete /16/.

A tervdokumentációkban szereplő keresztiszelvényekben valamennyi injektálási adat fel van tüntetve. Az injektálandó mennyiségek mandzsettánként 20 literes adagokban vannak megadva.

A megadott szám egy mandzsettánál azt jelenti, hogy hány-szor 20 liter mennyiséget kell az adott helyen beinjektálni. A terveken injektálócsővenként összegezve van az összes adag-szám, illetve az összes beinjektálandó mennyiség literben.

Egyes dugattyús injektálógépeknél egy löket alatt a ki-
nyomott habarcsmennyiség egy liter és a löketszámot regisz-
trálja a számláló műszer is. Ebből következik, hogy a terveken
feltüntetett adagszámokat mindig literre kell átszámolni és
ennek megfelelően kell beállítani a szelepenkénti /mandzsettán-
kénti/ benyomandó mennyiséget.

Az injektálást egy injektálócsőben úgy kell végrehajtani, hogy az injektálást a legalsó szelepnél kell kezdeni és alulról felfelé haladva valamennyi szelepnél elvégezni.

Égy mandzssettánál az injektálás megkezdésekor mindig nagy nyomás szükséges, mert az injektálás indításánál először az ágyazóhabarcsot kell az injektáló szelep segítségével feltörni. Ez a megnövekedett feltörési nyomás teljesen független a megengedett max. injektálási nyomástól, ennek káros hatása nincsen, mert az ágyazó gyűrű feltörése után a nyomás azonnal visszaesek.

A törési nyomásnak folyamatosan rajzolt, nyomást regisztráló kördiagrammon jóformán egybeesve kell hirtelen megnövekedni, majd visszaesnie és a továbbiakban a megengedett nyomás alatt maradnia.

Az injektálás befejezése utáni sorrendjét úgy kell megállapítani, hogy az injektálás során a talaj pórusaiban lévő vizet a műtárgy alól - mint azt már jeleztük -, kifelé hajtjuk ügyelve arra, hogy a talajvizet sohase zárjuk körül /22/.

Tekinettel arra, hogy a nagy injektálással is foglalkozó cégek tervezési módszerei különbözőek, így egy általános el-

járást bemutatni nem lehet. Az előzőekben azért mutattuk be a "Soletanche-Swibo" módszert, mert azt minden szempontból korszerűnek és megbízhatónak tartottuk.

Az ismertetettekből is kitűnik, hogy az injektálási tervdokumentáció kerettervként kezelendő, amelyben foglaltak a talaj adottságainak változásai miatt a kivitelezés során kisebb-nagyobb mértékben módosulhatnak. Ezért fokozott tervezői művezetés szükséges. A módosításokat a kivitelezési tapasztalatok függvényében a tervező rendeli el. A tervdokumentációban foglaltaktól eltérni csak a tervező jóváhagyásával lehet.

5. INJEKTÁLÁS

A kijelölt térfogatú talaj /kőzet/ injektálásánál munkát végzőknek a munkamódszert és a feladathoz tartozó technológiát részletesen kell ismerni és tudni kell azt alkalmazni is. Az előzőekben bemutatottakból kitűnik, hogy még mindig nagy szükség van a gyakorlati tapasztalatok gyűjtésére és azoknak az építésben való hasznosítására. Az injektálás eredményességét döntően befolyásolja az injektálást végzők tapasztalata. Az injektálásnál nem lehet általános megoldásról beszélni, minden feladatot egyedinek kell tekinteni és a technológiát ennek megfelelően kell kiválasztani. Ma már több olyan vállalat van külföldön, mely az injektálási munka korszerűsítése folyamán teljesen automatizált keverő- és injektáló telepet üzemeltet, de ez sem teszi fölöslegessé a gyakorlati tapasztalatok gyűjtését, hasznosítását elsősorban a tervezés kapcsán.

Az injektálandó anyagnak a tervezett helyre való bejuttatása csöveken, csápokon /perforált vagy perforálás nélküli/ vagy mandzsettás csöveken keresztül történik. Nagyobb feladatoknál központi injektáló állomásról vezérlik a besajtolást. Mielőtt az injektálásra, azok eszközeinek ismertetésére rátérnénk, röviden a sziklainjektálás elvi végrehajtását mutatjuk be.

5.1 Sziklainjektálás

5.1.1 Sziklafúrás

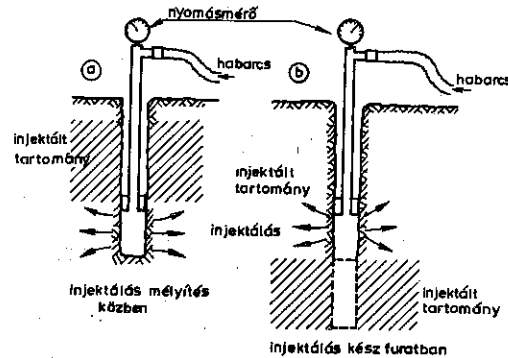
A szikla /repedezett kőzet/ injektálási feltételeit megteremtő furatok kialakítására hosszú időn keresztül a mélyfuratok készítésénél a forgó rendszerű fúrókat, kis mélységnél /10-15 m/ a hagyományos ütve működő berendezéseket használták.

A korszerű forgó vagy ütve-forgó fúróberendezések ma már nagy teljesítményűek és az öblítő szuszpenziók alkalmazásával - amit nagy nyomással juttatnak a furatba - igen gyorsan és gazdaságosan lehet az injektálási helyeket kialakítani. A furatok átmérője általában 2-3" /51-76 mm/ csak kivételes esetben alakítanak ki 1,5"-os /38 mm/ vagy kisebb átmérőjű furatot.

A furat hosszát az egyenestől való eltérés megengedhető értéke határozza meg. Minél nagyobb szögben hajlik a furat a függőlegeshez, vagy ha a vízszintes sík fölé hajló furatot kell készíteni, az eltérés mértéke - a tervezetthez képest - mindig nagyobb. Ez befolyásolja a készítenő furat hosszát. Mind szilárdítási, mind vízzárési célból készülő injektálási munkáknál előzetes kísérletre van szükség. Ez teszi lehetővé a furatok kiosztásának, azok távolságának a meghatározását.

5.12 Szikla injektálási módok

A sziklás talajok injektálása kétféleképpen történhet /53. ábra/.

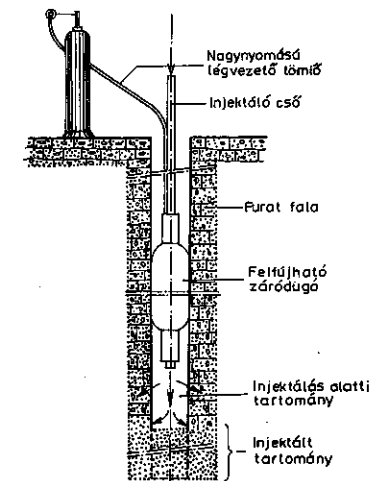


53. ábra

Szikla injektálási módszerek

Az egyik mód szerint az injektálást mélyépítés közben végzik /53/a. ábra/, egy-egy szakaszt fúrás után injektálnak, a fúrési és az injektálási folyamatok egymást követik. Mindegyik injektálási ütem után a furatot elzáró injektáló habarcsréteget át kell fúrní. Ez a költségesebb módszer akkor szükséges, ha igen repedezett sziklában kell a munkát végezni.

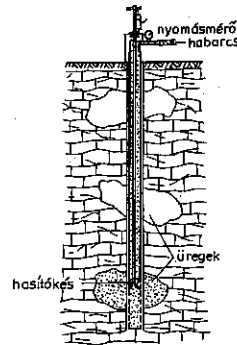
A másik módszer, amikor az injektálást a már kész furatban a furat fenekén kezdik ugyancsak szakaszosan /53/b. ábra/. A tapasztalat azt mutatja, hogy minőségileg kifogástalan injektálás végezhető ezzel az eljárással. Előnye, hogy külön lehet a fúrési és injektálási ütemeket választani. Ez a módszer igen repedezett kőzetben nem alkalmazható, mert az injektáló habarcs a repedéseken keresztül a záródugót /54. ábra/ megkerülheti és ez a dugó elvesztésével és az injektálás megállításával járhat.



54. ábra

Furat fenekén kezdett szakaszos sziklainjektálás felfújható záródugóval

A szikla injektálásnál a Soletanche cég üregek kitöltésére szabadalmaztatott eljárást mutatunk még be /55. ábra/. Itt a furatot előre elkészítik és abba egy műanyag csövet helyeznek el. Ezt a csövet az injektálás időpontjában az erre a célra szerkesztett késekkel felszerelt fúrószár hasítja fel. Ezen a hasítékon jut az üregekbe a kitöltő habarcs /26./.



55. ábra

Üregek injektálására alkalmazott módszer vázlata

Az injektálás közben az injektáló nyomást és a teljesítményt gondosan kell ellenőrizni, hogy az esetleges zavarok, szomszédos létsítménynél - ha van - a mozgások elkerülhetők legyenek vagy aközvetben kár ne keletkezzék, főleg nagy mennyiségű beinjektálás esetén.

Az elérhető vagy a tovább nem fokozható nyomás értékének a meghatározása sokmindentől függ, melyek közül néhányat az alábbiakban sorolunk fel:

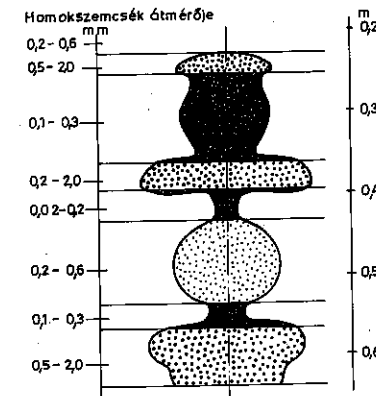
- az elérendő oél,
- a kőzet repedezettségének a természete, mértéke,
- a talajvíznyomás,
- az injektáló habarcs jellemzője, stb.

Elsősorban a szilárdításnál ajánlatos egymást követő szakaszokban, fokozatosan emelkedő nyomással végezni az injektálást. A maximális nyomásra általában akkor törekszenek, amikor előfeszítéssel kívánják megnyitni a repedéseket.

A cement alapanyagú habarcsoknál az injektálást általában hígított habarccsal kezdik. Ennek a habarcsnak víz/cement aránya az injektálás folyamán fokozatosan növelendő mindaddig, amíg a maximális nyomást el nem érik.

5.2 Laza talajok injektálása

Besajtolási feladatoknál nagyon ritka esetben lehet találkozni homogén szerkezetű talajokkal. Többségében egymásra rakodott réteges üledékes talaj az, amit kezelni kell. Az injektáló csáp különböző szerkezetű rétegeken halad keresztül. Az injektáló anyag először az áteresztőbb réteget telíti és az után kerülhet sor a kisebb áteresztő rétegek telítésére. Mindegyik esetben hengeres kialakítású lesz a telített tömb, de hatósugara - mint ahogy azt az előzőekben már benutattuk - változik. Erre mutat példát az 56. ábra /19/.



56. ábra

Heterogén talajban kialakult telített tartomány AM-9 kis viszkozitású injektáló anyag felhasználásával

5.2.1 Injektáló csápok elhelyezése

Laza talajokban a csápok elhelyezési módjai:

- béléscső ideiglenes elhelyezésével, veréssel, forgatással vagy tiszta vizes öblítéses veréssel és újabban sajtolással,
- béléscső nélkül, forgatással vagy forgatva veréssel, öblítő folyadékkal, amely lehet furóiszap, habarcs, égyazó habarcs vagy bármely más furat megtámasztására alkalmas anyag.

A laza talajoknál ugyancsak befolyásolja az injektáló csáp mélységét a tervezett furattengelytől való várható eltérés.

5.2.2 Injektálás módszerei

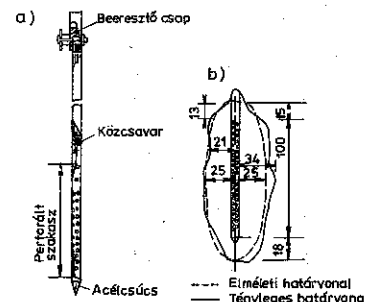
5.2.2.1 Injektálás csővégről

A legegyszerűbb injektálási eljárás a ma már ritkán alkalmazott módszer, a csővégről történő besajtolás. A cső alsó végét eltömődés ellen kúpos kialakítású elvesző hegygel védik. A besajtolást a cső fokozatos felhúzása közben folyamatos injektálással hajtják végre.

5.2.2.2 Injektálás perforált csővel

A hazai cementbesajtolásos módszernél általában perforált köpenyű 40-78 mm ϕ -jú injektáló csöveket alkalmaznak. A csáponkénti injektált tömböket a cső szakaszos felhúzásával végzik. Egy-egy tömbön belüli szakasz hossza általában 0,3 - 0,6 m között változik, de ettől eltérő méret is választható. A leggyakrabban 2"-os /5 cm/ keresztmetszetű varrat nélküli acélcsövet használnak. Az injektálás mélységétől függően az injektáló csőtagok hossza 1,5 - 2,0 m-es és belső

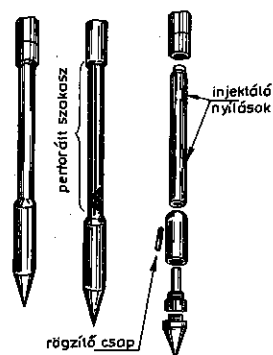
menetes kialakítású. A tervezett tömbön belüli injektálandó szakasz hosszának megfelelően perforálják a csövet körkörösén fm-ként kb. 120 db 6 mm ϕ -jú lyuk kialakításával. Ily módon akár két-, akár egyfolyadékos eljárással sajtolható be a telítendő tartomány. Az első esetben a második fázis után, a második esetben a folyadék besajtolása után azonnal tovább kell húzni a csapot a következő szakaszba, máskülönben beköthet a talajba. Perforált csövek ferde elhelyezésénél előnyösebben lehet a 3" /76 mm/-os varrat nélküli csöveket alkalmazni. Az 57. ábrán egy lösztalajban végrehajtott injektálásnál alkalmazott csáp kialakítását és az injektálásnál egy szakaszban végezhető telítés határait lehet látni.



57. ábra

Lösztalaj szilárdításra alkalmazott perforált cső kialakítása és alkalmazása

Az 58. ábrán egy külföldön használt perforált injektálócső megoldást mutatunk be. Ezt a csapot egy könnyű verővel /cölöpverő, vibróverő, kos, légkalapács stb./ a telítendő réteg alsó határáig juttatják le. Az ábrán látható két nagyobb átmérőjű karmantyú között helyezkedik el a perforált szakasz /perforáció helyett hasítékok vannak/. A beverés alatt a réseket eltömődés ellen az alsó hengeres muff védi. Az injektálás megkezdése előtt egy célszerszám segítségével tisztítják meg a hasítékokat és ezután végzik el ugyancsak szakaszosan az injektálását. Az injektálandó tartományt a csáp szakaszos kihúzásával lehet telíteni /19/.

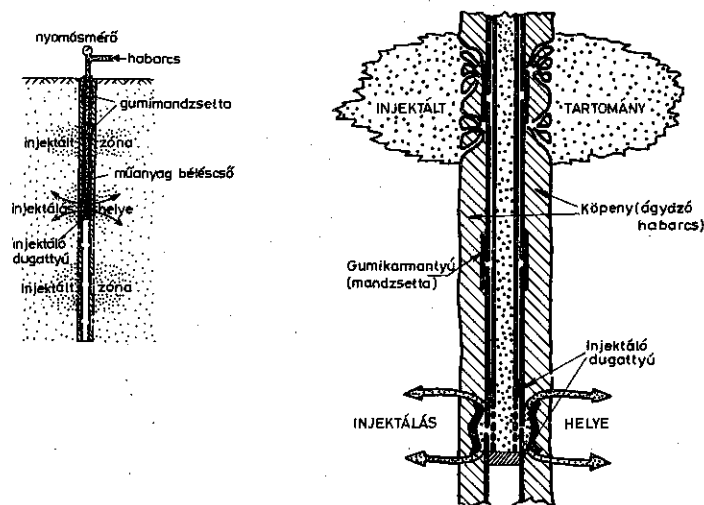


58. ábra

Injektálócső kis mélységben végzett injektáláshoz

5.2.23 Gumimandzsettás /karmantyús/ injektálócsövek

A gumimandzsettás /karmantyús/ csőtípust a Soletanche cég fejlesztette ki és szabadalmaztatta. Ez annak a szokásos bélésű csőves megoldásnak a továbbfejlesztett változata, amelyet elhelyezés után a tervezett mélységben felhasítottak és így végezték al az injektálást. A karmantyús megoldást az 59./a. annak részletét az 59./b ábra szemlélteti /19/.



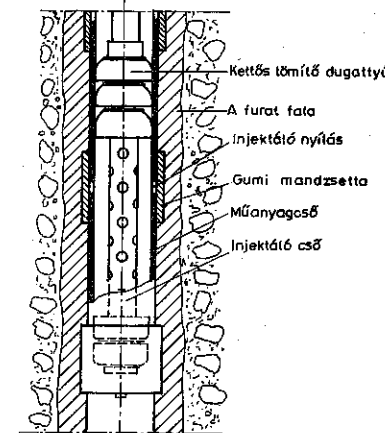
59. ábra

Injektálás karmantyús /mandzsettás/ csővel

Előljáróban meg kell jegyezni, hogy a különböző cégek által alkalmazott mandzsettás csövek elvi megoldása azonos, kivitelezése és anyaga más és más. Van mandzsettás acélcső, műanyagcső mandzsettával /2-6 m hosszú/ és speciális kialakítású /Soletanche/ ahol a mandzsettás tagok 33 cm-es, míg a zárt szelvények 50 cm-es menetes csatlakozású műanyag csőtagokból állnak. Bármelyik kialakításról van szó a mandzsetta anyaga gumi. A karmantyus injektálócső beépítése a következő módon történik.

A végleges mélységet elért fúrólyuk tisztítása után teljes mélységig egy kb. 50-60 mm átmérőjű csövet raknak be, melynek csőfalát szabályos távolságokban /33 cm/ kifurják, lyukcsoportot helyeznek el /2, 3, vagy 4/ és ezt gumiköpennyel fedik be, amely a csapószelep szerepét látja el. Ezt karmantyúnak vagy mandzsettának nevezik. Így az injektáló anyag kiszajtolható, és az újra a csőbe nem juthat vissza. A fúrólyukat az injektálócső behelyezése után cement-agyag habarccsal töltik ki, amit általában ágyazó habarcsnak neveznek. Ez a habarcs egy vastag gyűrűt képez és teljesen beágyazza az injektálócsövet a furatba. Az injektálás csak akkor kezdhető el, ha az ágyazóhabarcs elérte a megfelelő szilárdságot. Az injektálás csak akkor kezdhető meg, ha a csőbe benyomott injektáló anyag az ágyazóhabarcsot fel tudja repeszteni. Az injektálást a 60. ábrán bemutatott kettős tömítésű dugóval lehet elvégezni. A felrepesztéshez szükséges nyomás nagyon kicsi is lehet, vagy nagyon nagy /60 bar/. A köpeny képzésére alkalmas keverék összetételeinek a meghatározására a felhasználásra szánt anyaggal néhány kísérletet kell végezni.

A kettős tömítésű injektáló dugattyút úgy kell elhelyezni, hogy az egy mandzsettát fogjon közre. Az injektáló anyag a fém injektálócsővön keresztül a kettős dugattyúk által lehatárolt térbe kerül és az injektálóanyag nyomása következtében nyit a kívül elhelyezkedő gumiszelep, mely a nyitás közben úgy viselkedik, mint egy kis hidraulika, és elmozdulása következtében fölrepeszti a körülötte elhelyezkedő ágyazóhabarcsot.



60. ábra
Injektáló dugattyú

Ez az eljárás az alábbi előnyöket biztosítja:

- az injektáló anyag kiáramlása mindig irányított és közel sugár irányú lesz,
- ellenőrizhetővé és irányíthatóvá teszi az injektálóanyag bejutásának a helyét és mennyiségét,
- az áteresztőbb talajrétegeket előbb lehet tömíteni és így biztosítani lehet a most már kevésbé áteresztő talajok jobb átítatását,
- az injektálást teljesen függetlenné teszi a fúrási munkától és kedvező feltételeket teremt az injektáló üzem jó kihasználásához,
- szükség esetén az injektálás több lépcsőben is végrehajtható.

Ez a mandzsettás injektálócső csak a telítendő szakaszon kerül elhelyezésre, a csáp többi része perforálatlan tömőr falu cső.

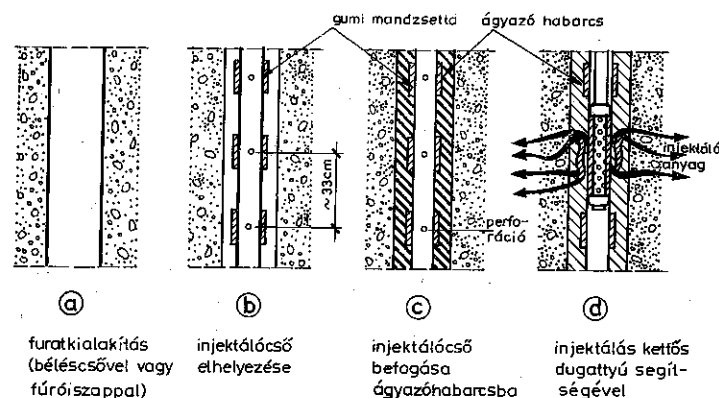
A Soletanche cég által szabadalmaztatott gumimandzsettás műanyagcsöves megoldást alkalmazza a KÉV-METRÓ Vállalat.

Ez a megoldás lehetővé teszi:

- a fúrési és injektálási művelet jó szétválasztását,
- a talaj injektálásának megkezdését a legátéresebb tarományban,
- az injektáló habarcsnak a furat hosszában való felemelkedésének kizárását,
- annak megakadályozását, hogy a talajban nyomás alatt levő habarcs az injektálás végén visszatérjen az injektálócsőbe.

A jelenlegi gyakorlatban a szelepes csáp a legbiztosabb megoldás laza talajok injektálásánál.

Az injektáló cső elhelyezésének és az injektálás megkezdésének folyamata a 61. ábrán látható.



61. ábra

Injektálás folyamatábrája mandzsettás csövek alkalmazásánál

5.2.2.4 Kombinált injektálási módszer

A kombinált módszer a vert csáp és a mandzsettás csöves eljárást egyíti.

A módszer lényege, hogy egy egy vastag falu béléscsövet /kb. 100 mm/ vibrálnak be a megkívánt mélységig - ami a gyakorlat szerint 60-70 m lehet -, majd ez után helyezik el az üres béléscsőbe a mandzsettákkal előre felszerelt injektálócsövet, aminek a beépítése után lehet a kijelölt tartomány egyszeri vagy többszöri injektálását elvégezni. A veréshez használt béléscső 6 m-es tagokból áll, külső-belső súllyesztett lapos menetpáros csatlakozással. A béléscső részei:

- az indító tag egy kúposan kialakított elvesző hegy, tengely irányú és palástra merőleges furatokkal,
- alsó indító tag alsó bővített övrésszel. Ehhez csatlakoznak a szükséges darabszámú csőtagok;
- a záró csőtaghoz, - amely a verésben is résztvesz - vízvezeték csatlakozás is tartozik. Verés közben 80 bar nyomású vízzel az elvesző fej furatain keresztül lazítja a talajt és megakadályozza a hegynek a köpenycsőbe való szorulását.

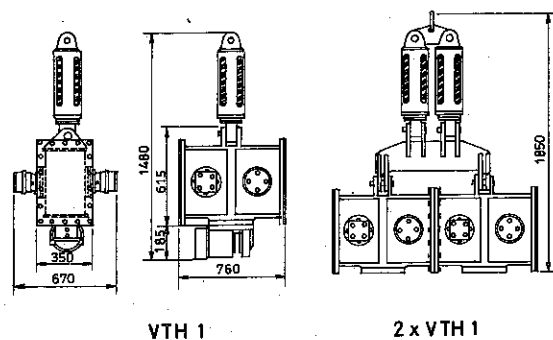
A tervezett mélységig levert béléscsőbe helyezik el az injektáló csövet, mely általában 6 m-es tagokból áll. A perforált és mandzsettával védett szakasz hosszát a beinjektálandó tömb vastagsága határozza meg. Az injektáló lyukak távolsága a körülményektől függően 30-50 cm között változhat. Az injektálócső elhelyezése után kezdhető meg a béléscső visszahúzása. E művelet előrehaladtával egyidőben a szabad partfalon bekövetkező omlások fogják be az injektálócsövet. A béléscső eltávolítása után az injektálócső legalsó szelepén át kis nyomással /kb. 3 bar/ ágyazóhabarcs beinjektálásával töltik ki a műanyagcső és a furat fala közti teret. Az ágyazóhabarcs megkötése után a munkafolyamat hasonló az 5.2.2.3 fejezetben leírtakhoz. /FERRO-KONSTRUKT módszer/

5.3 Csápok elhelyezése

Az injektáló csápokat ötféféle módon lehet elhelyezni. Ezek közül a következőkben két eljárást mutatunk be.

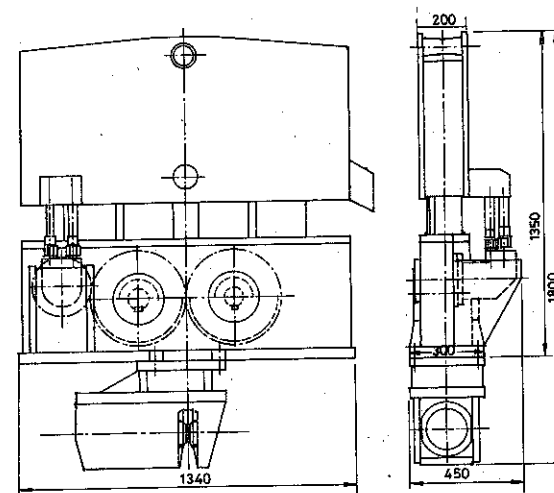
5.3.1 Vibrációval végzett csáptelepítés

A vibrációs verőberendezéssel a perforált csöveket 5.2.2/ és az 52.2.4 fejezetben bemutatott módszer béléscsővét verik le a tervezett mélységig. A vibrációs verőberendezésnek olyan-
nak kell lennie, hogy azzal az adott hosszú és átmérőjű cső-
vet a kívánt mélységig le lehessen juttatni. Egy ilyen típusú
verőberendezés-család körvonalrajzát /SOIL-MEC gyártmány/
mutatja be a 62. ábra /Vizép tulajdon/. A 63. ábrán annak
a berendezésnek a körvonala látható /tipusjele 1016 Ferro-
-Konstrukt gyártmány/, amellyel a kombinált módszerbéléscső-
vét verték le 70 m mélységbe.



62. ábra

VTH-1 és 2xVTH-1 típusú vibróverőberendezés



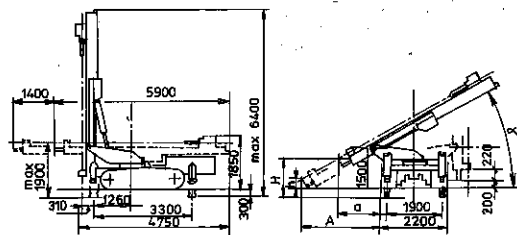
63. ábra

FK 1016 típusú vibróverőberendezés

5.3.2 Fúrással végzett csáptelepítés

5.3.2.1 Futóberendezések

Az injektáló csápok elhelyezését biztosító furatokat különböző típusú fúróberendezéssel lehet előállítani. Függőleges furatoknál különösebb igény nincs; a ferde furatok készítéséhez külön célgépeket terveztek és alkalmaznak. A Soletanche injektálásos módszer hazai bevezetésével egyidő-
ben vásárolta meg a KÉV-METRO az F-320 típusú berendezést is
/Soletanche gyártmány/, melynek körvonalrajzát a 64. ábra
szemlélteti.



64. ábra

F-320 típusú fúróberendezés körvonalrajza

Az F-320-as fúrógép tartozéka egy fúrófej, amely egy állítható árbócon mozog, a vízszintestől a függőlegesig dönthető és ez egy önjáró alvázra van felszerelve. Üzemét tekintve:

- minden vezérlés hidraulikus,
- a forgatást egy változtatható hozamú hidraulikus szivattyú vezérli /0-110 ford/min./, maximális nyomaték 1600 Nm,
- az előtolást és a kiemelést állandó hozamú szivattyúk vezérlik,
- maximális nyomóerő 40 kN,
- a kiemelés sebessége 32 vagy 64 m/min.,
- a fúrófej tengely körül forog, süllyeszthető,
- a rudazatot vezető csúszópálya $\varnothing 68$, 3,20 m hosszú fúrószárak befogadására alkalmas.

A berendezés működésére és a tervezéshez alapadatként figyelembe kell venni szükség szerint az F-320-as berendezésre vonatkozó 13. sz. táblázatban foglalt adatokat is.

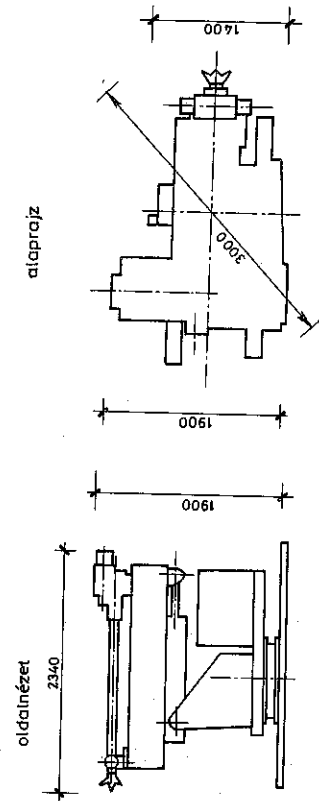
F-320-as fúróberendezés jellemző adatai

13. táblázat

h	H	a	A	α
0	500	530	530	90°
0	555	735	830	80°
0	650	920	1150	70°
0	770	1090	1525	60°
0	920	1230	2000	50°
0	1090	1345	2420	40°
280	1280	1430	2640	30°
710	1490	1480	2790	20°
1150	1700	1495	2870	10°
1600	1900	1470	2870	0°

A pinceből, árokából, aknából végzett szilárdításhoz szükséges furások készítésére a Hausherr-típusú berendezés alkalmazható, melynek körvonalrajza a 65. ábrán látható. A berendezés típusjele: HBM 12 K/Hy-So.

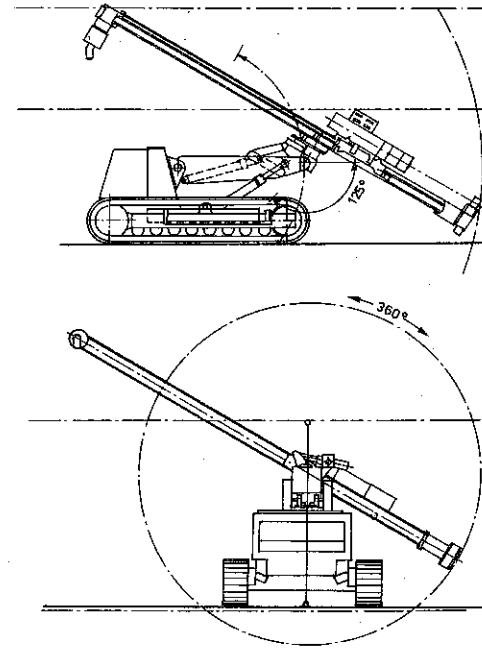
Az említett típuson kívül még a BAUER cég által használt fúróberendezés körvonalrajzát mutatjuk be minden külön megjegyzés nélkül /66. ábra/.



65. ábra

Hausherr típusú fúróberendezés
körvonalrajza

Az említett típusokon kívül még a BAUER cég által használt fúróberendezés körvonalrajzát mutatjuk be minden külön megjegyzés nélkül /66. ábra/.



66. ábra

Bauer-rendszerű fúróberendezés

5.3.2.2 Fúrógéplánc

A ma legkorszerűbbnek nevezhető, Magyarországon bevezetett besajtolásos eljárás csáptelepítésének géplánc a következőkből áll:

- 1 db F-320-as fúrógép/öblítőfejekkel, fúrószárakkal, görgős fúrókkal,
- 1 db iszapkeverő hidrociklon,
- 1 db iszaptisztító berendezés /tartállyal, vibrórostával, 1 mm-es szitaszövettel/,
- 1 db BE-100/110 tip. dugattyús öblítőszivattyú,
- 1 db Cs-3100-as merülő zagyszivattyú.

A fenti berendezésekhez tartozik még a különféle átmérőjű tömlőkészlet.

A 67. ábrán bemutatott géplánc 4 db fúrógép üzemeltetésére alkalmas.

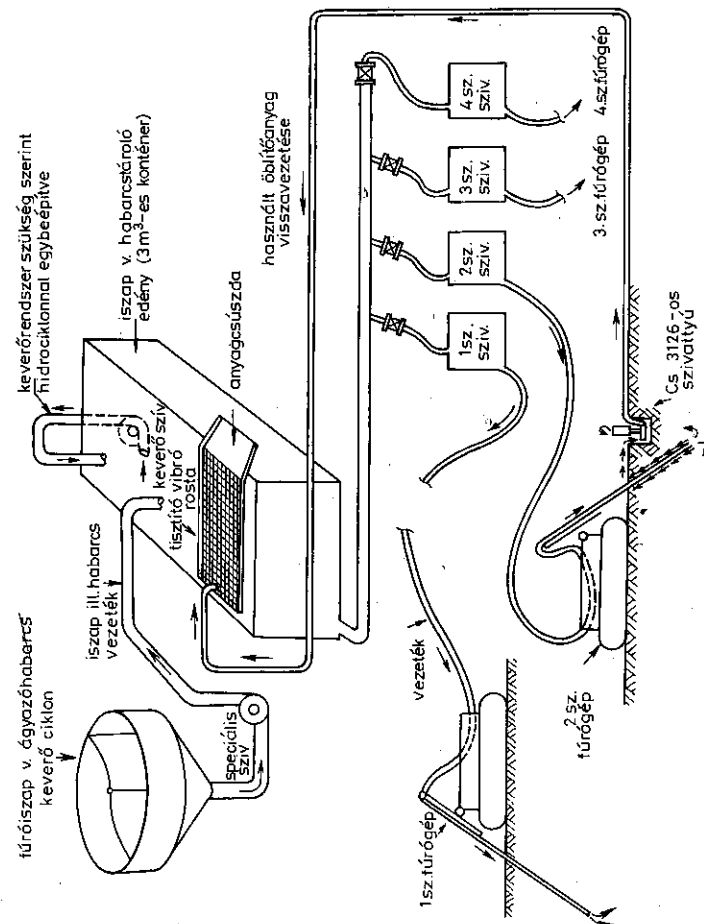
A későbbiekben ismertetendő recept szerinti fúró-, illetve ágyazó iszapot egy hidrociklonban /68. ábra/ keverik meg. Ez az anyag a tárolóba, vagy az iszaptisztító berendezés tartályába kerül /69. ábra/.

A tartályból a BE-100/110 típusú dugattyús öblítőszivattyú továbbítja az iszapot a fúrógép öblítőfejéhez.

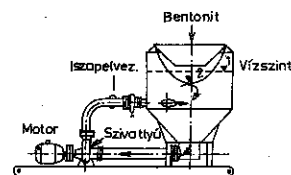
Az öblítőfejen és a fúrószárakon keresztül a furatba kerül a támasztó iszap a furadékkal együtt a furaton keresztül távozik /jobb öblítési módszer/ a pallóval körülkalodázott zsompha. A zsomphban elhelyezett Cs-3100-as merülő szivattyú a fúróiszapot a tisztító berendezéshez továbbítja, ahol a vibrórostával történő tisztítás után ismét bekerül a tisztító berendezés tartályába és újból a körfolyamatba. A szivattyú műszaki adatait a 14. táblázaton soroltuk fel. A fúrási munkáknál általában görgős fúrót alkalmaznak, melynek mérete $\varnothing 3,1/2'' - \varnothing 4''$.

A géplánc akkor alkalmas a furatok elkészítésére, ha fel van szerelve öblítőfejjel, megfelelő darabszámú fúrószártaggal, valamint görgős fúrókkal, a szükséges öblítőiszap előállítására alkalmas berendezés és a géplánc többi része is rendelkezésre áll.

67. ábra

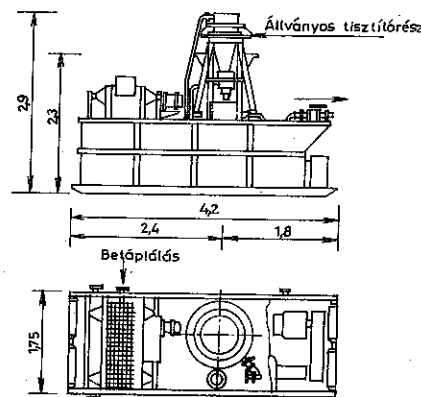


Fúrás gépláncának működési folyamatábrája



68. ábra

Ciklon rendszerű iszapkeverő berendezés



69. ábra

Soletanche rendszerű tisztító berendezés

Cs típusú szivattyúk műszaki adatai

14. táblázat

Tipus		Cs-100	Cs-3101	Cs-3126
Szállítómagasság	m	22	12	12
Szállított mennyiség	l/perc	2500	2400	3600
Motorteljesítmény	kW	7,5	3,2	7,4
Fordulatszám	1/perc	1450	1450	1450
Magasság	mm	762	730	850
Szélesség	mm	593	460	600
Tömeg	kg	130	114	176

5.3.2.3 Öblítőiszap

A fúrás munkáknál - az eddigi gyakorlat szerint - a következő összeállítású fúró- és egyben ágyazóiszap alkalmazása az ajánlott /m³-re vonatkozó adatok/:

400-450 kg S-54-es cement,
100 kg F-2 jelű bentonit,
810-830 liter víz.

Minden olyan esetben, amikor a fúrás közvetlenül a telítő injektálás követi, az első injektálási fázisként végzett telítő injektálásnál használt anyagot alkalmazzák öblítő iszapként is.

Az ágyazóhabarcs lényeges szerepét röviden már ismertettük. Az ágyazóhabarcs összetételét gondos tanulmányozás után kell eldönteni. Kiegészítésül még megemlítjük, hogy az ágyazóhabarcs nem lehet sem túl pasztikus, mert az injektáló anyag