



Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozat

## Útmutató talajjavítási módszerek alkalmazásához

Készítették:

Chovanyecz Enikő

Koch Edina

Szendefy János

Budapest, 2015. november 16.

Móczár Balázs  
pályázat felelős

Szilvágyi László  
tagozati elnök

## Tartalomjegyzék

- 1 Bevezetés
- 2 Speciális mélyépítési munkák szabványai
- 3 A talajjavítás célja, mérlegelési szempontok
- 4 A talajjavítás rendszerezése, talajjavítási eljárások
- 5 A talajjavítások főbb tervezési kérdései
- 6 A talajjavítások tervezési lépései
- 7 Minőség-ellenőrzés
- 8 Alkalmazási példák
  1. példa: Puha altalajon való töltésépítés
  2. példa: Siló alapozás
  3. példa: Alapmegerősítés
  5. példa: Hídfő háttöltés
  6. példa: Laza feltöltés utólagos injektálása
  7. példa: Raktárépület feltöltésen és puha szerves talajokon
  8. példa Ágyazat építése talajstabilizációból

### 1. Melléklet

#### Talajjavítási technológiák

1. Dinamikus konszolidáció- és talajcsere
2. Vibrációs mélytömörítés
3. Vibrált kőoszlopok
4. Injektálások
5. Jethabarcosítás
6. Mélykeverés
7. Függőleges szalagdrénezés
8. Rigid inclusion
9. Meszes-cementes talajkezelés

# 1 Bevezetés

Az általajjavítási technológiák az 1970-es években terjedtek el széles körben a speciális mélyalapozást igénylő mérnöki létesítményeknél. Előtte csak korlátozott lehetőségeink voltak arra, hogy a kedvezőtlen – puha, összenyomható, kis teherbírású, átázott, folyósodásra hajlamos – talajokban (vagy rajtuk, illetve velük) megoldhassunk építési feladatokat.

A technikai-, technológiai fejlődés nyitotta meg és bővítette egyre ezt az utat, s nagyjából az ezredfordulóra jutottunk el oda, hogy már a rutin tervezés kezdetén is feltesszük a kérdést: a talajadottságokhoz alkalmazkodva megfelelő méretű és erősségű alapokkal, támszerkezetekkel, stb. oldjuk-e meg a feladatot, vagy valamilyen talajjavítás és szerényebb szerkezet összege adja-e az optimumot.

Az innovatív geotechnikai cégek hatékony technológiákat fejlesztettek ki az elmúlt fél évszázadban, mint pl. a jethabarcosítást, a mélyvibrációt, a geoműanyag talajerősítést, a talajstabilizálást, a mélykeverést stb. Ezeknek az építőmérnöki feladatok széles körére kiterjedő lehetőségei is bővültek.

Mára a geotechnika jelentős rész-fejezete lett a talajjavítás kérdésköre. Kifejlődtek módszerek, amelyekkel kedvezőtlen talajok és helyszíni feltételek esetében is lehetséges olyan síkalapozási, alagútépítési és föld alatti építési feladatokat végrehajtani, amelyek még 30 éve is megoldhatatlanok voltak. Ráadásul ma már képesek vagyunk arra, hogy meglévő szerkezetek és létesítmények alatt, illetve közvetlen környezetében építkezzünk, hogy csökkentsük a veszélyeztető természeti erők – földrengések, instabil lejtők – miatti kockázatokat, hogy kezeljük a duzzadó és a roskadékony talajokat, hogy felhasználhatóvá tegyünk egyébként alkalmatlan területeket, és hogy új építési területeket alakítsunk ki.

A sokféle talajjavítás lehetősége valójában ma már ennél markánsabb befolyást gyakorol az építéstervezésre, illetve tágabban a projektfejlesztésre. Míg korábban bizonyos talajadottságokat eleve úgy értékeltünk, hogy azok miatt „beépítésre alkalmatlannak” kell minősítenünk egyes területeket, addig ma már nem érzünk ilyen korlátokat. Ellenkezőleg, egyre gyakoribb, hogy olyan területeket építünk be – nem ritkán talajjavítással kezdve a munkát – melyek éppen azért maradtak szabadon, mert kedvezőtlen az általajjuk, vagy amelyek éppen speciális talajadottságaik miatt másra, mint pl. autópálya-építésre nem nagyon használhatnak fel, de itt említhetjük meg az „offshore” építményeket is. Merész álmokat lehet extrém helyekre építménnyé fogalmazni, bízva abban, hogy a geotechnikusok találnak megoldást. A bizalom indokolt, s a módszer gyakran a talajjavítás. Említsük példaként a balatoni tőzegen épült autópályákat, a bostoni alagutat, vagy a Dubaiban épült mesterséges szigetet. A lehetőségek szinte korlátlaná váltak, képesek vagyunk 50 m mélységben betonná alakítani a talajt, 60 m vastag talajzónát drénezni, 25 m magas meredek támfalat építeni georáccsal erősített talajból.

## 2 Speciális mélyépítési munkák szabványai

A talajjavítások egyre növekvő szerepét jelzi az is, hogy az új európai szabványosítás keretében elkészített „Speciális geotechnikai munkák” című, 13 darabból álló sorozatból, 7 talajjavítási eljárást tárgyal. A tárgykörbe tartozó szabványokat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

| <b>Speciális geotechnikai munkák kivitelezése</b>   |                                   |          |
|---|-----------------------------------|----------|
| MSZ EN 1536:2010+A1:2015<br>MSZ EN 1536:2012 (visszavont)   | Fúrt cölöpök                      | C<br>N   |
| MSZ EN 1537:2013  | Talajhorgonyok                    | N        |
| MSZ EN 1538:2010+A1:2015<br>MSZ EN 1538:2012 (visszavont)   | Résfalak                          | C<br>N   |
| MSZ EN 12063:2002   | Szádfalak                         | N        |
| MSZ EN 12699:2015<br>MSZ EN 12699:2002 (visszavont)   | Talajkiszorításos cölöpök         | C<br>N   |
| <b>MSZ EN 12715:2002</b>  | <b>Injektálás</b>                 | <b>N</b> |
| <b>MSZ EN 12716:2002</b>  | <b>Jethabarcosítás</b>            | <b>N</b> |
| MSZ EN 14199:2015<br>MSZ EN 14199:2005 (visszavont)   | Mikrocölöpök                      | C<br>N   |
| <b>MSZ EN 14475:2006</b>  | <b>Töltéserősítés</b>             | <b>N</b> |
| <b>MSZ EN 14679:2007</b>  | <b>Mélykeverés</b>                | <b>N</b> |
| <b>MSZ EN 14731:2006</b>  | <b>Mélyvibrációs talajkezelés</b> | <b>N</b> |
| <b>MSZ EN 15237:2007</b>  | <b>Függőleges drénezés</b>        | <b>N</b> |
| MSZ EN 14490:2010   | Talajszegezés                     | N        |
| N magyar nyelven bevezetett magyar szabvány<br>C angol nyelven bevezetett magyar szabvány<br>Szürkével – kiemelve az általajjavításhoz tartozó szabványokat |                                   |          |

A hivatkozott szabványokban sok évtizedes tapasztalat alapján a cölöpözések, a földmegtámasztó szerkezetek és a talajjavítások azon követelményeit és fogásait rögzítették, amelyek betartásával e szerkezetek valóban teljesíthetik tervezett funkciójukat.

E dokumentumok ugyan alapvetően „kivitelezési szabványok”, de a tervezés szempontjából is nagy a jelentőségük:

- rögzítik a tervezéskor feltételezhető, a kivitelezett szerkezet vagy eljárás teljesítőképességét meghatározó európai standardot: az adott technológiával megvalósítható méreteket, anyagokat, minőséget,
- mindegyik idetartozó szabvány külön fejezetben ismerteti a szerkezettel vagy eljárással kapcsolatos speciális tervezési követelményeket is.

Nyilvánvaló, hogy elsősre a leggyakrabban alkalmazott eljárásokat szabványosították, de vannak még azokon kívül is ismert és bevált módszerek. Ezek némelyikét esetleg sohasem fogják szabványosítani, mert a szokásos geotechnikai módszerekkel megtervezhetők és kivitelezhetők, ilyen pl. a statikus előterhelés, vagy azért nem, mert annyira speciálisak, ilyennek tűnik a talajfagyasztás. Vannak olyanok is, amelyekre idővel talán sor kerül, pl. a dinamikus konszolidáció.

### **3 A talajjavítás célja, mérlegelési szempontok**

A talajjavításnak két, általában elkülöníthető, de sokszor együtt is teljesülő **célja** van:

- a mechanikai tulajdonságok javítása,
- a hidraulikai viszonyok javítása

**A mechanikai tulajdonságok** javítása önmagában is két célt szolgálhat:

- az összenyomhatóság csökkentése a talaj tömörítése, a hézagok kitöltése, szemcsék közti kötés létrehozása révén, illetve
- a nyírószilárdság növelése tömörítés, hézagkitöltés, a szemcsék közti kötés révén, továbbá a víztartalom és/vagy a víznyomás csökkentésével, valamint félmerev elemekkel történő erősítéssel.

A legtöbb beavatkozás mindkettőt javítja, de sok esetben csak az egyikre van szükség, illetve egyes technológiák csak az egyiket teljesítik.

**A hidraulikai viszonyok javításának** többféle formája és célja lehet:

- a vízkizárás (ideiglenesen vagy tartósan) az áramló talajvíz sebességének csökkentését célozza az áteresztőképesség csökkentésével vagy az áramlást megállító vízzáró elemekkel,
- a talajvíz szintjének, ill. nyomásának (ideiglenes vagy végleges) csökkentésével a vízáramlási viszonyokat és a talaj mechanikai tulajdonságait alakíthatjuk át számunkra kedvező módon,
- a konszolidációgyorsítás a terhelés utáni alakváltozások gyorsabb bekövetkezését célozza az áramló víz útjának megrövidítésével.

A talajfajtát, a talajtulajdonságokat tekintve elsősorban a következők gyakoriak:

- a szemcsés talajok közül a laza homokok és a friss, részben vagy egészben mesterséges feltöltések tömörítése, mechanikai tulajdonságainak javítása és vízzáróságának elérése,

- a kötött talajok köréből a tőzegek, a puha szerves agyagok, természetes vagy mesterséges iszapos üledékek, kis áteresztőképességű kövér agyagok mechanikai tulajdonságainak javítása és vízvezető képességének növelése.

Számos elemzés és döntés kell annak megállapításához, hogy egy adott esetben szükséges és indokolt-e a talajjavítás. Az 1. ábrán láthatók az alapvető szempontok.

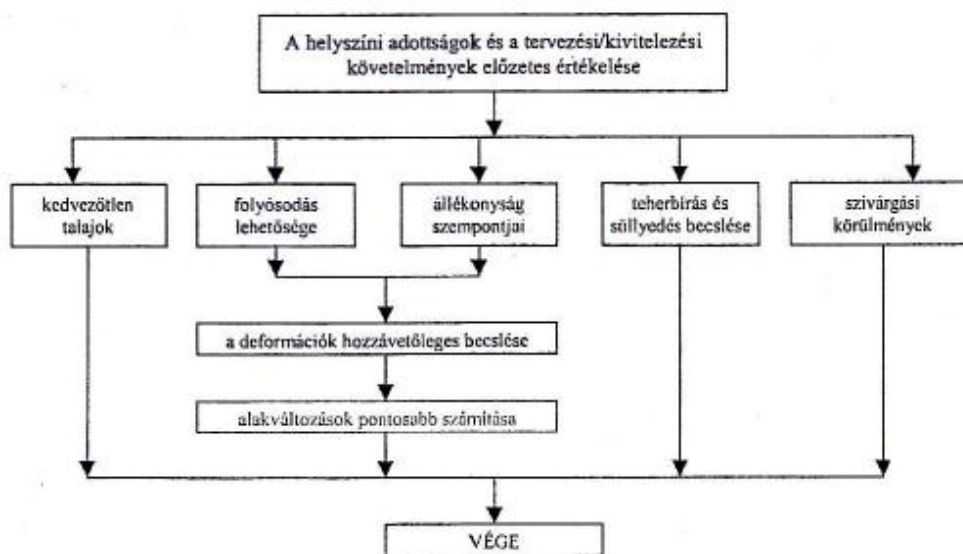
A mérlegelés során a következő kérdésekre kell IGEN/NEM típusú válaszokat adni:

- van-e duzzadó, roskadékony talaj, érzékeny szerkezetű vagy szétesésre hajlamos anyag?
- hajlamos-e a helyszínen levő talaj megfolyósodásra?
- hajlamos-e a terület (lejtő, rézsú) megcsúszásra?
- lehetnek-e a területen teherbírási vagy süllyedési problémák?
- lehetnek-e a területen vízszivárgási gondok?

A válaszokhoz ismerni kell a felszín alatti körülményeket, továbbá a tervezési/kivitelezési követelményeket.

Az ehhez szükséges paraméterek:

- a geológiai adottságok, a talajrétegződés,
- az anyagjellemzők, szemeloszlás,
- a korábbi tapasztalatok, illetve az altalaj ismert tulajdonságai,
- a vízzáró és erősen áteresztő rétegek jelenléte, talajvízszintek,
- geometriai kialakítás, méretek,
- a statikus és a dinamikus terhek,
- a teljes süllyedésre és süllyedéskülönbségekre vonatkozó korlátok,
- a természeti erők (árvíz, földrengés, egyéb veszélyeztető tényezők) jellemző adatai és az ezekkel szemben megkövetelt ellenállás mértéke.



1. ábra: A talajjavítás mérlegelésének szempontjai, lépései

Az ezek alapján elvégzendő elemzések:

- a talajok típusának megállapítása;
- az altalaj viselkedéséről szerzett korábbi ismeretek áttekintése és értékelése;
- a helyi körülményekre vonatkozó előzetes számítások és a kivitelezés közbeni viselkedés mérlegelése;
- a tervezésre és a kivitelezésre vonatkozó követelmények összehasonlítása az előzetes számítások eredményeivel, illetve az adott helyszínen várható kivitelezési körülményekkel.

Ha az elsőként megfogalmazott hat kérdés mindegyikére NEM válaszolható, akkor nincs szükség talajjavításra és további helyzetértékelés sem kell. Ha viszont akár csak egyetlen esetben is IGEN az indokolt válasz, akkor további részletes elemzés kell, mielőtt véglegesen döntenek a talajjavítás indokoltságáról (vagy valamely más helyzetjavító beavatkozásról).

Ilyen értékelésre mind az új, mind a meglévő létesítmények esetében szükség lehet. Meg kell adni a működésükre vonatkozó követelményeket, teljessé kell tenni a helyszín jellemző adatait. A létesítmények adataihoz értendők a terheik és a megengedett süllyedéseik, valamint a természeti erők – árvíz, földrengés, szélvihar – hatásai, illetve az elvárt viselkedésük az ilyen események idején. Meglévő létesítmény esetében új követelményt eredményezhet a működési feltételeinek kiterjesztése, illetve tökéletesítése, vagy a hiányosságainak kijavítása azért, hogy pl. árvíznek, földrengésnek ellenállhassanak.

#### **4 A talajjavítás rendszerezése, talajjavítási eljárások**

Ha szükség van a talajjavításra, milyen módszerek állnak rendelkezésre?

Sokféle talajjavító módszer létezik, melyek közül számosat már régóta alkalmaznak. Ilyen pl. a víztelenítés, a tömörítés, az előterhelés, az injektálás egyes fajtái. Az utóbbi évtizedekben gyorsan fejlődtek a mélytömörítési eljárások, a talajhabarcsolásos injektálás, a mélykeverés, és a kő/kavics cölöpös megoldások. Ezek a módszerek praktikus és költségkímélő változatok számos talajjavítási feladat esetében, midőn a felszínen végrehajtott víztelenítés és tömörítés elégtelen lenne az elvárt javulás eléréséhez.

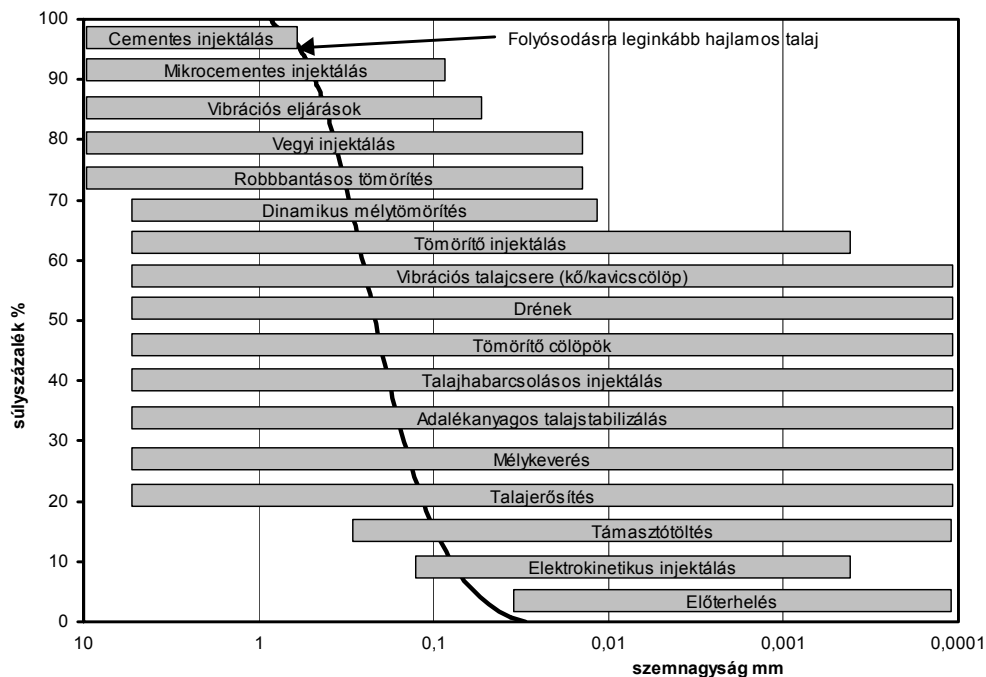
Rendszerint több különböző eljárás is kínálkozik minden feladat esetében. A legmegfelelőbb kiválasztása számos tényezőtől függ. Ezek közül a legfontosabbak:

- a javítandó talaj fajtája,
- a javítás igényelt mértéke,
- az egyes módszerek által elérhető javítás mértéke,
- a kezelés megkövetelt mélysége, illetve területi kiterjedése.

Fontos lehet az eljárás kiválasztásakor a helyszín megközelíthetősége, különösen, ha az már beépített. Ha a talajjavításhoz beépítetlen hely áll rendelkezésre, akkor

jellemzően többféle és olcsóbb a választék, mint ahol szűkös, vagy meglevő szerkezetek, létesítmények miatt korlátozott a rendelkezésre álló terület.

A talajjavításokat sokféle szempont szerint lehet csoportosítani. A 2. ábra a különböző módszerek, illetve a szemeloszlási adottságok összefüggését szemlélteti. A 2. táblázat a hatásmechanizmus szerint csoportosítja azokat, elkülönítve a talajtípusok szerint. A szakirodalomban számos, ezekhez hasonló táblázat, ábra található.



2. ábra. A különböző szemcsetartományokban alkalmazható talajjavítási módszerek

2. táblázat. Talajjavítási eljárások rendszerezése

| hatásmechanizmus      | módszer                   | talajfajta              |                                   |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
|                       |                           | szemcsés talaj          | kötött talaj                      |
| mechanikai hatás      | statikus előterhelés      | előterhelő töltés       | többlettöltés                     |
|                       | döngölés                  | dinamikus konszolidáció | dinamikus talajcsere              |
|                       | mélyvibráció              | mélyvibrációs tömörítés | vibrált kőoszlop                  |
|                       | robbantás                 | robbantásos tömörítés   |                                   |
| kötőanyag bevitel     | injektálás                | átítatásos injektálás   | tömörítő injektálás               |
|                       | jethabarcsosítás          | cementált talajoszlop   | cementált talajoszlop             |
|                       | mélykeverés               | cementált talajtömb     | cementes, meszes kötésű talajtömb |
| betétes erősítés      | geoműanyag erősítés       | töltéserősítés          | töltésalapozás                    |
|                       | acélelemes erősítés       | erősített talajtámfal   | szegezett fal                     |
| szivárgás szabályozás | drénezés                  | vízszintes furatok      | szalagdrénezés                    |
|                       | talajvízszint-süllyesztés | szűrőkutak, szivárgók   | vákuumkutak, szivárgók            |
|                       | vízkiadás                 | fagyasztás, légnomás    |                                   |



Az 1. számú melléklet a hazai gyakorlatban leginkább alkalmazott technológiák rövid leírását tartalmazza (dinamikus konszolidáció- és talajcsere, függőleges szalagdrénezés, jethabarcosítás, mélykeverés, mélyvibrálás, vibrált kőoszlopok, rigid inclusion, meszes-cementes talajkezelés, injektálások)

Sok esetben a kivitelezés „menetrendje” eleve megszabhatja az egyáltalán lehetséges talajjavítási eljárások körét. Egyes módszerek azonnali javulást eredményeznek (például a vibrotömörítés), mások hosszabb időt igényelnek (pl. az előterhelés). Ismét mások kezdeti javulást hoznak, amit a szilárdság időbeli növekedése követ (pl. a robbantásos tömörítés vagy a cementet is használó módszerek).

## **5 A talajjavítások főbb tervezési kérdései**

A geotechnikai tervezéshez a projekteket geotechnikai kategóriába kell sorolni. A talajjavítás tervezését, kivitelezését magukba foglaló feladatokat, tekintettel azok bonyolultságára a kapcsolódó kockázatokkal együtt, 2-3. geotechnikai kategóriába kell sorolni. Ez alapján kell meghatározni a geotechnikai vizsgálatok, számítások és az építésellenőrző vizsgálatok terjedelmének és tartalmának minimális követelményeit.

A talajjavítás tervezési és kivitelezési igényei megkövetelik a kezelt talaj statikus és dinamikus terhelés alatti stabilitására és megengedett alakváltozásaira vonatkozó tervezési paraméter ismeretét. A felszín alatti körülmények más tervezési feltételeket is támasztanak, pl. hogy melyik eljárás alkalmazható, és annak mekkora legyen a mélysége, illetve kiterjedése. E tényezők együttese szabja meg a kielégítő eredményhez szükséges talajjavítás mértékét. A helyszíni méretei éppúgy szerepet játszanak a tervezésben, mint a kivitelezés ütemterve és költségvetése. A tervnek tekintettel kell lennie arra is, hogy az adott területen elérhető-e ilyen téren szakavatott kivitelező.

A tervezés kezdeti fázisában, a következőket kell mérlegelni:

1. Meglévő vagy új létesítményhez kell-e a talajjavítás?
2. Mekkora süllyedést bír el a szerkezet átlagos használati körülmények között? Mekkora elmozdulás vagy süllyedés tolerálható veszélyes természeti erők – pl. földrengés, árvíz – idején?
3. Kerülhet-e kritikus helyzetbe a létesítmény? Kritikus szerkezet lehet egy híd, ha le kell zárni és ezzel súlyos zavar keletkezik a forgalomban, vagy egy gát, amelynek átszakadása jelentős életveszélyt és vagyoni kárt okozhat. Nem-kritikus létesítmény lehet egy áruháza, melynek lényeges károsodása kellemetlen, de nem életveszélyes.
4. Mekkora legyen a megfolyósodással szembeni ellenállás?

A tervezés során a helyszíni adottságait is fel kell mérni. A következőket kell vizsgálni:

1. Mekkora a kezelendő terület?
2. A helyszíni könnyen vagy nehezen megközelíthető-e? A rendelkezésre álló hely korlátozza vagy sem a munkálatokat és technológiákat?

3. Vannak-e a közelben rezgésre érzékeny épületek?
4. Szükséges-e a szomszéd tulajdonosok engedélye a talajerősítéshez, pl. szegezés vagy mikrocölöpözés esetén?

A talajjavítási módszer kiválasztásához, megtervezéséhez és alkalmazásához pontosan ismerni kell a kiindulási talajviszonyokat, s ez alapos előkészítő és tervezési vizsgálatokat kíván. Az alábbiakra kell választ adni:

1. Milyen típusú a javítandó talaj?
2. Mely módszerek alkalmasak a javítására?
3. Milyen mélyen fekszik és milyen vastag a kezelendő réteg? A megvédendő szerkezettől mekkora (vízszintes) távolsáig kell kiterjeszteni a kérdéses réteg javítását?
4. Telített-e a réteg? Milyen mélyen van a talajvíz felszíne?
5. Egy vagy több réteget kell-e kezelni, (például egy puha agyagon levő laza feltöltést)? Különböző eljárásokat igényelnek-e az ilyen rétegek, vagy valamennyi ugyanazzal a módszerrel javítható?

A területileg nagy kiterjedésű pl.: autópálya, ipari terület, talajjavítások tervezése során a terület altalajának feltárása céljából az általánosan használt 20-50m rasztertávolságban elhelyezett geotechnikai feltárások megfelelőek. Azonban ennél sűrűbb feltárási raszter szükséges a lokális problémák pl.: agyaglencse talajkezelések tervezéséhez, ahol a feltárások célja egyben a kedvezőtlen talajadottság lehatárolása is. A feltárások mélységét minden esetben úgy kell megválasztani, hogy azokkal a kezelni kívánt talajok alatti, már kedvező vagy elfogadható talajrétegek vagy az építmény által már nem befolyásolt zóna felszíne biztonsággal meghatározható legyen.

## 6 A talajjavítások tervezési lépései

Az 5. pontban megfogalmazott kérdésekre adott válaszok ismeretében a következő lépésekkel folytatódhat a talajjavítás tervezése.

1. A lehetséges módszerek közötti válogatás.
2. A tervek mérlegelése. Hozzávetőleges alaprajzi elrendezések és kezelési pontok kiválasztása minden elképzelt módszer esetében. Meg kell állapítani a kezelendő zóna helyét és méreteit. Ha a meglévő szerkezet megerősítésére is igény van, akkor megtervezhető a létező alapok erősítése és/vagy az új alap. Szükség szerint tanulmányozhatók az alapok terhelései és az általaj deformációi a kritikus vagy összetett szerkezetek esetében.
3. További válogatás a módszerek között, összehasonlítva az előzetes tervek ismeretében legelőnyösebbnek látszó változatokat.
4. Egy vagy több előzetes terv részletes kidolgozása. Meghatározható a kezelendő zónák vagy alpmegerősítések helye, mérete, alakja és megkívánt tulajdonságai. A kiviteli tervek készítése előtt tanulmányokat kell végezni annak igazolására, hogy a létesítmény várható viselkedése megfelelő lesz-e.
5. A legelőnyösebb módszer kiválasztása a végleges tervek alapján. A végső döntést befolyásoló körülmények: a költségek, a létesítmény elvárt viselkedése a talajjavítás után, a kivitelezhetőség, a rendelkezésre álló időtartam és a kivitelező vállalat.
6. Terepi kísérlet az eredményesség igazolására és a kivitelezési eljárás kidolgozásához. A legtöbb esetben célszerű helyszíni vizsgálatot/kísérletet betervezni és elvégezni annak bizonyítására, hogy a javasolt módszerrel valóban elérhető a kívánt eredmény. Ebben a fázisban még lehet a terveket javítani, hogy például a kezelési pontok térközei optimálisak legyenek és ezáltal minél hatékonyabb legyen a javulás.
7. Elkészítendő a kiírások és a QA/QC programok. Az elvégzendő munkálatokhoz kivitelezési előírásokat és minőségbiztosítási - minőségellenőrzési [QA-QC] programokat kell készíteni, figyelembe véve a „Speciális geotechnikai munkák kivitelezése” c. szabványsorozatban, illetve az MSZ EN 1997-1 és MSZ EN 1997-2 szabványokban foglaltakat.

A talajjavítások tervezése általában inkább tapasztalati irányelveken alapul, mintsem szigorú tervezési szabályokon. Vannak egyedi, csak valamelyik talajjavítási módszerre vonatkozó tervezési problémák, míg mások általános érvénnyel alkalmazandók a módszerek legtöbbszörre. Vannak szabadalmazott módszerek és ezeket csak a szabadalom tulajdonosa tervezheti és kivitelezheti.

A következőkben, néhány, a magyar mélyépítési gyakorlatban leginkább alkalmazott technológiákra vonatkozóan foglalkozunk meg - a teljesség igénye nélkül - tervezési irányelveket.

## **6.1 Dinamikus konszolidáció- és talajcsere („tömörített talajzóna” és „kötömsz”)**

A döngöléssel előállított tömörített talajzóna, illetve kötömsz az altalaj komplex javítási módszere, mert készítésük, illetve a kész kötömszök talajtömörítésként, részleges talajcsereként és függőleges drénként is működnek, s így csökkentik a süllyedések mértékét, növelik a talajtöréssel szembeni biztonságot és gyorsítják a konszolidációt.

A tervezéskor a kötömszök kiosztását, mélységét, anyagát és átmérőjét kell meghatározni. Igazolni kell, hogy a kötömszök fölött olyan teherátadódási mechanizmus alakul ki, hogy a földmúkoronán, illetve a szerkezetben már csak megengedhető süllyedéskülönbség lesz. A tervben meg kell fogalmazni az elvárt tömörségnövekedést.

A kötömszök talajjavító hatásait, a süllyedés-csökkentést, a konszolidáció gyorsítását és az állékonyságot akár hagyományos, akár végelelemes módszerekkel vizsgálhatjuk.

## **6.2 Mélyvibrációs tömörítés**

A mélyvibrálással tömörített talajzónát a tervezés során az eredeti mechanikai paraméterekhez képest javított értékekkel vehetjük figyelembe. A tömörség növekedése miatt a vibrációs hatás a süllyedések mértékét és a megfolyósodási hajlamot csökkenti, a talajtöréssel szembeni biztonságot pedig növeli.

Az elérendő tömörítési mértéket a talajjavítással kezelt területre kerülő felépítmény igényeinek megfelelően állapítjuk meg, amit a mélyvibrációs tömörítési pontok kiosztásának és a tömörítési mélység meghatározásával tudunk megtervezni. Az egyes tömörítési pontokra szánt tömörítési időt a használni kívánt eszközök és anyagok tapasztalati paramétereivel határozzuk meg, ezért a részletes technológiai terv és az optimalizált kivitelezési paraméterek a próbatömörítés elvégzése után véglegesíthetőek.

## **6.3 Vibrált kőoszlopok**

A vibrált kőoszlopok készítése az altalaj komplex javítási módszere, mert készítésük, illetve a kész vibrált kőoszlopok (kavicscölöpök) talajtömörítésként, részleges talajcsereként és függőleges drénként is működnek, s így csökkentik a süllyedések mértékét, növelik a talajtöréssel szembeni biztonságot és gyorsítják a konszolidációt.

A tervezéskor a vibrált kőoszlopok kiosztását, mélységét, anyagát és átmérőjét kell meghatározni. Igazolni kell, hogy a kőoszlopok fölött olyan teherátadódási mechanizmus alakul ki, hogy a földmúkoronán, illetve a szerkezetben már csak megengedhető süllyedéskülönbség lesz. A tervben meg kell fogalmazni az elvárt tömörségnövekedést.

A vibrált kőoszlopok talajjavító hatásait, a süllyedés-csökkentést, a konszolidáció gyorsítását és az állékonyságot akár hagyományos, akár végelelemes módszerekkel vizsgálhatjuk.

## 6.4 Injektálások

Az injektálások tervezésekor a rugalmas megközelítés a célszerű, hogy a műveleteket a munka előrehaladása során az előre nem látott talajviszonyokhoz vagy a befogadó közeg viselkedésének változásaihoz lehessen igazítani.

A tervezés során az alábbiakat kell meghatározni:

- a talajviszonyoknak és a munka műszaki előírásának megfelelően az injektálóanyag típusát és összetételét,
- az injektálóanyag bejuttatási módját a tervezési koncepcióhoz és a célhoz igazodóan,
- az injektálási helyeknek az injektálandó tömegben belüli egymáshoz viszonyított elrendezését, mely a következőktől függ:
  - a tömeg alakja,
  - a fúrólukak elrendezését befolyásoló fizikai korlátok,
  - a furatok várható, tűrhető irányeltérései,
  - az injektálóanyagnak a befogadó közegen belül várható szétterjedési távolságára (hatótávolságára) vonatkozó becslés.
- a fúrólukak és injektálási helyek száma, távolsága, mélysége, átmérője, dőlése és iránya, mely igazodjon a geológiai viszonyokhoz, a szilárdítandó szerkezet típusához, az elérendő eredményekhez, az injektálási módszerhez és célhoz, a felhasználandó injektálóanyag típusához, az injektálási nyomáshoz és az injektálóanyag befogadásának mértékéhez.

A tervezés során a következő környezeti tényezőket kell figyelembe venni:

- az injektálóanyaggal kitöltendő nyílások és az injektálóanyag szilárd (hidratált) alkotórészeinek mérete, különösen a pórusszűkületek (legkisebb áthatolási keresztmetszetek) méretei, nem pedig a porozitás (ami csak egy arányszám),
- az injektálandó közeg áteresztőképessége és az injektálóanyag behatolási képessége,
- a talajvíz, a keverővíz és a talaj vegyi tulajdonságai,
- a talaj és az injektálóanyag hőmérséklete,
- az injektálóanyag fény és levegő okozta száradásának kockázata és következménye,
- a környezeti hatások az injektálóanyag keverése, előkészítése és bejuttatása során,
- az injektálóanyag miatt lehetséges környezetszennyezés.

Helyszíni próbainjektálást célszerű végezni a tervezés végső vagy a kivitelezés első fázisában az injektálási módszer kiválasztása vagy alkalmasságának igazolása céljából. Ez indokolt, ahol az első vizsgálatok vagy a helyi, ill. összehasonlítható tapasztalatok nem elegendőek ahhoz, hogy alátámasszák vagy igazolják az injektálás hatékonyságát. Kívánatos, hogy a vizsgálatok szolgáltatassanak útmutatást a furatok kiosztására, az injektálási nyomásra, az injektálóanyag fajtájára és befogadására.

## **6.5 Jethabarcosítás**

A jethabarcosítás mind ideiglenes, mind végleges építményekhez különféle célokra alkalmazható. Például:

- új szerkezetek alapozására,
- meglevő alapok aláfogására,
- kis áteresztő képességű függönyfalak létrehozására,
- teherviselő vagy támasztó szerkezetek létrehozására,
- egyéb geotechnikai munkák kiegészítésére,
- valamely földtömeg erősítésére.

A tervben világosan meg kell adni a jethabarcosítási munkák célját. A habarcsosított talajelemek vagy talajszerkezetek előírt fizikai tulajdonságainak és méreteinek e célnak kell megfelelni, elkerülve a helyi talajtörést, a megengedhetetlen süllyedéseket vagy emelkedéseket. Be kell tartani továbbá a MSZ EN 12716 szabvány mellékletében előírt következő két követelményt:

- a tervezéskor számításba kell venni a habarcsosított talajelemben várható feszültségeket és a talaj inhomogenitásának az elemek szilárdságára gyakorolt hatásait,
- az MSZ EN 1997-ben előírt elveknek megfelelően kell igazolni a habarcsosított talajelemek, valamint az aláfogás vagy megtámasztás céljából épülő szerkezetek általános állékonyságát.

Ajánlatos a tervben megszabni azon szerkezetek és közművek süllyedésének, megemelkedésének, alaktorzulásának elfogadható határait, amelyeket a jethabarcosítási műveletek majd valószínűleg érintenek.

Gondolni kell a kivitelezés sorrendjére és ütemére, a kötés és a szilárdulás időtartamára, valamint az oszloptestek átmérőjére. A tervezési paraméterek megállapításakor számolni kell azokkal a kivitelezési nehézségekkel, amelyek csökkenthetik a jethabarcosítás eredményességét.

Megfelelő előzetes helyszíni próbát kell előírni, ha a helyszínrre vonatkozó felderítési adatok nem hiánytalanok, s így a jethabarcosítási munkák terve sem teljes, s további talajvizsgálatokkal sem lehet hozzájutni a még szükséges tudnivalókhoz.

Ahol nem állnak rendelkezésre korábbi összehasonlítható tapasztalatok, ott előzetes helyszíni próbát kell végrehajtani ugyanazokkal az eszközökkel, anyagokkal és módszerekkel, mint amelyeket a tulajdonképpeni jethabarcosításhoz előirányoztak.

## **6.6 Mélykeverés, tömegstabilizálás**

A mélykeveréssel előállított cölöpszerű testek, illetve a tömegstabilizálással javított teljes talajzóna az altalaj komplex javítási módszere, mert a kész cölöpszerű testek, illetve a javított talajzóna csökkentik a süllyedések mértékét, növelik a talajtöréssel szembeni biztonságot és gyorsítják a konszolidációt.

A mélykeveréses technológia tervezése, többek között, magába foglalja az alkalmas kötőanyag és technológia kiválasztását, a keverési paraméterek megállapítását, a kezelési pontok kiosztását és a javítandó talaj kiterjedésének meghatározását.

Az oszlopszerű javítások esetében a „geokompozit” szerkezet komplex viselkedését kell modellezni, a következők figyelembevételével:

- az oszlop és a talaj merevségének aránya,
- a javítás felületaránya,
- az oszlopban és a talajban működő függőleges feszültségek aránya,
- az oszlopok teherviselésének változása a szilárdságnövekedés, illetve a később lehetséges kúszás miatt,
- a talaj és az oszlop relatív áteresztőképessége a konszolidáció befolyásolásával,
- a geokompozitos töltés vastagsága az átboltozódás szempontjából.

A tömegstabilizálás tervezésekor tulajdonképpen a javított talajparaméterek megállapítása után a szokásos, a kezeletlen altalajra vonatkozó számítási eljárásokat alkalmazhatjuk.

### **6.7 Függőleges szalagdrénezés**

A függőleges szalagdrénezés a konszolidáció gyorsítását szolgálja, s ezzel a talajtörés elleni biztonságot növeli. A technológiai tervezés során kell kiválasztani a megfelelő drénterméket, ki kell dolgozni a beépítési technológiát, elsősorban a drénelem vízszállító képességét és szilárdságát vizsgálva, hogy az előbbi ne csökkentse a drénezés elméleti hatékonyságát, ill., hogy a lehajtás közben és később se következessen be az elem kihajlása.

A dréntávolságot gazdaságossági és építésütemezési megfontolások alapján kell megtervezni, biztosítva a konszolidáció elvárt sebességét, időtartamát. Jól alkalmazhatók a hagyományos elméleten alapuló konszolidációszámítások (Barron, Hansbo elméletei), de alkalmazhatunk végeselemes, illetve véges differencián alapuló számítógépes programokat is.

### **6.8 Rigid inclusion**

A rigid inclusion rendszerrel alátámasztott felépítmények tervezése egy komplex talaj-szerkezet kölcsönhatási probléma, melynek megoldásakor a mérnöknek tisztában kell lennie a szerkezet teherbírási és használhatósági határállapotaival. Az ilyen alapozási rendszerekhez napjainkban használatos tervezési módszerek két fő megközelítéssel dolgoznak: az egyik a homogenizáló módszer, a másik a szerkezeti elemeket külön vizsgáló módszer. Mindkét ághoz több különböző számítási eljárás született, ezért csak általánosságban mutatjuk be a különbségüket a következőben.

- A homogenizáló módszer a felületi javítási arány alapján megállapított egyenértékű összenyomódási modulus számításán alapul, hasonlóképpen a vibrált kőoszlopoknál

alkalmazott módszerhez, azonban egy korrekciós tényezőt beiktatva a talaj és oszlop találkozási felületnél létrejövő elcsúszási hatás figyelembevételére. Továbbfejlesztése a bifázisos egységcellás számítási módszer, mely a talaj-oszlop kölcsönhatást és az oszlopokban ébredő erőket is figyelembe tudja venni. A homogenizáló módszer azonban jelentősen egyszerűsített eljárás, csak függőleges terhek esetén és több korlátozást figyelembe véve lehet használható.

- A szerkezeti elemeket külön vizsgáló módszerek kiemelt fontosságú része a teherelosztó réteg méretezése, mely magában foglalja a réteg vastagságát, területi kiterjedését, anyagát, a benne használni kívánt erősítés szakítoszilárdságának számítását, és az átszűrődési ellenállását. A talaj és az erősítő oszlopok közötti teherhordási arány meghatározása iterációs folyamat, a teherátadó réteg és az oszlopok (és kiosztásuk) méretezése egymástól nem függetleníthető a számítások során. Az oszlopok tervezéséhez legtöbb esetben használhatóan a cölöpökre, cölöp csoportokra vonatkozó tervezési módszerek, természetesen technológiának megfelelő paramétereket alkalmazva.

A tervezés során alkalmazhatunk egyszerűsített analitikus, félnumerikus és véges elemes tervezési módszereket is, de gyakran szükség van ezek kombinált alkalmazására.

## **6.9 Meszes-cementes talajkezelés**

A meszes-cementes a kötőanyag talajkezelés technológiájába tartozik, kötőanyagként nem csak meszet vagy cementet, hanem más hidraulikus vagy szintetikus kötőanyagot is alkalmazhatunk. A talajkezelésen belül a talajstabilizáció alapvető célja a talajok kedvezőtlen tulajdonságainak, mint pl. a teherbírás nedvességgel és faggal szembeni érzékenységének, alacsony nyírósilárdság, illetve a térfogatváltozási hajlammal a hosszantartó megszüntetése, a javított állapot stabilizálása. Másik lehetőség a talajjavítás, aminek során rövid távú beavatkozást végzünk pl. a talaj víztartalmát csökkentjük és bedolgozhatóságát javítjuk a kötőanyagok hozzáadásával.

A tervezéskor a talajstabilizációk esetében laboratóriumi vizsgálatokat kell készíteni a kötőanyag típusára és a szükséges mennyiségére vonatkozóan. A laboratóriumi vizsgálatok célja, hogy biztosítható legyen a talajkezelés hosszútávú hatása, a javított talajfizikai jellemzők stabilizálása. A talajjavítás során elegendő lehet laboratóriumi vizsgálatokra, korábbi tapasztalatokra vagy próbaszakasz építésére támaszkodni a szükséges kötőanyag típusának és mennyiségének meghatározásakor. A terveknek minden esetben tartalmazniuk kell a kötőanyag pontos megnevezését vagy a hatóanyag mennyiségét (pl.:CaO tartalom) köbméterre vetítve, a kezelni kívánt réteg vastagságát, több réteg (pl. töltésépítés) esetében az egyes rétegek vastagságát, a beépítés technológiáját. A tervekben ki kell térni a beépítési víztartalomra, illetve annak eltérése esetén szükséges beavatkozásokra. A tervekben számításokkal kell igazolni az elvárt kritériumok teljesítését, illetve meg kell adni a javított talaj fizikai jellemzőit a további tervezési feladatok elvégzéséhez.



A laboratóriumi vizsgálatokkal meghatározott teherbírási és nyírószilárdsági értékekkel a tervezési feladatok (pl.: ágyazattervezés, rézsúállékonyság, talajtörés) a megszokott összefüggésekkel és tervezői programokkal elvégezhetők.

## **7 Minőség-ellenőrzés**

A talajjavítás elvárt eredményességének tanúsítása nehéz, ám rendkívül fontos feladat. A minőség biztosítása és ellenőrzése két fázist jelent:

- 1) megfigyelést a kivitelezés közben, majd ennek befejeztével,
- 2) az eredményességet igazoló geotechnikai vizsgálatok elvégzését.

A kivitelezés közben az összes kezelési ponton ellenőrizni kell – és fel kell jegyezni – például a térszín mozgásait, a feltöltéshez használt anyag térfogatát, a beinjektált vagy kiszórásra kerülő kötőanyag mennyiségét, valamint a ráfordított energia vagy nyomás nagyságát. A munkák befejezése után a terepen végzett szondázásokkal – pl. SPT, CPT és/vagy nyírószondával – vagy tömörség és teherbírásmérésekkel igazolandó, hogy megvalósult az előírt talajszilárdítás. Egyes esetekben talajmechanikai fúrások, magmintavétel és laboratóriumi vizsgálatokra is szükség lehet.

Ezeket a vizsgálatokat rendszerint a kezelési helyek között, „félúton” végzik, vagyis olyan helyeken, ahol várhatóan legkisebb a javulás. Ajánlatos a kezelés előtt és után ugyanazon módszerekkel vizsgálni a tulajdonságokat a talajjavítás hatékonyságának értékelése céljából. Ha hiányoznak a kezelés előtti állapotra vonatkozó széleskörű adatok, akkor bizonyos esetekben nehéz lehet a kezelt általaj jellemzőit meghatározni.

A minőség-ellenőrzés során fontos meghatározni a vizsgálatok kezelés utáni időpontját és az azokból származtatható eredményeket, mivel a javított általaj jellemzői később gyakorra tovább javulnak.

Néhány, a leggyakrabban alkalmazott hazai technológiákra vonatkozó minőségellenőrzési szempontok.

### ***7.1 Dinamikus konszolidáció- és talajcsere („tömörített talajzóna” és „kötömsz”)***

A kivitelezés során minden talajkezelési pontról jegyzőkönyvet kell készíteni. Ellenőrizni kell az ejtési magasságot, a ráejtések helyét, minden egyes ponton az ejtések számát és a kialakult bemélyedést. Feljegyzendő az ebbe visszatöltött anyag fajtája és tömörítésének mértéke. A javított zóna relatív tömörsége a felszín átlagos süppedése és a bedolgozott rátöltés mennyisége alapján számolható ki. Az elkészített kötömszök 1 %-ban pedig verőszondázással vagy presszióméterrel kell kimutatni a kötömszök méretét és állapotát. Szükség esetén célszerű mérni a közeli, meglévő szerkezetekre ható rezgések mértékét. A tervezés és alkalmazás során vizsgálni kell a környezetet érő hatások megengedhetőségét.

## **7.2 Mélyvibrációs tömörítés**

A talajkezelési pontokat alaprajzilag és egyénileg is követni kell a minőség-ellenőrzés során. Az egyes pontokhoz hozzá kell rendelni a tömörítési mélységet és időt, valamint a bedolgozott anyagminőséget, mennyiséget. A modern vibroflot berendezések automatikus kivitelezési paraméterkijelzésre és adatrögzítésre alkalmas rendszerrel vannak felszerelve, amelyek a mélység függvényében ábrázolni tudják a tömörítés közbeni amper (áramfelvétel) értéket, amely a talaj tömörödésével összefüggésben áll. A kész talajjavítás tömörítő hatásának visszaellenőrzését dinamikus vagy statikus szondázással, illetve pressziométerrel is végezhetjük – ezek összehasonlításra való felhasználására természetesen a munkát megelőző megfelelő mennyiségű, ugyanolyan módszerrel végzett mérésre van szükség.

## **7.3 Vibrált kőoszlopok**

A kivitelezés során minden talajkezelési pontról jegyzőkönyvet kell készíteni. Rögzíteni kell a kezelési pontok helyét, a felhasznált anyag térfogatát, ennek mélység szerinti megoszlását, továbbá a bevibrálásra fordított munkamennyiséget, valamint a rátöltött anyag tömörödésének időigényét. Figyelni kell a felszín süppedését. A relatív tömörség változása számítható a felszín átlagos süppedéséből és a rátöltött anyag mennyiségéből.

Ajánlatos a kőoszlop készítéséhez használandó szemcsés anyag keménységét is megvizsgálni. Ezeket az adalékanyagok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálatára vonatkozó MSZ EN 1097 szerinti eljárásokkal összhangban kell elvégezni.

A szemcsés anyag szemeloszlási vizsgálatát, ha megkövetelik, az MSZ EN 1997-2 szerint kell elvégezni.

A vibrált kőoszlopok teherbírását próbaterheléssel - nagytárcsás és zónás - lehet ellenőrizni:

– a nagytárcsás próbaterheléseket teljesítőképességi vizsgálatként célszerű végezni akkora merev tárcsa vagy helyben betonozott alaptest megterhelésével, amelyek elég nagyok ahhoz, hogy lefedjenek egy vagy több oszlopot és az általuk befolyásolt talajt;

– a zónás próbaterhelést a kezelt talaj egy nagyobb felületének a leterhelésével célszerű végezni, rendszerint vagy egy teljes méretű alap megépítésével és megterhelésével, vagy olyan földfeltöltéssel, amely több egyedi terhet helyettesít.

Az elhelyezést, a mérendő paramétereket, a terhelési eljárást, a terhelési lépcsőket, a vizsgálat időtartamát és a terhelési/tehermentesítési ciklusokat a kivitelezés megkezdése előtt célszerű rögzíteni.

## **7.4 Injektálások**

A megfigyelés és ellenőrzés során meg kell adni a bejuttatás alaprajzi helyét; minden technológia estén a bejuttatott kötőanyag térfogatát, az injektálási nyomást, az injektálás időtartamát. Meg kell adni továbbá az injektáló anyag jellemzőit a készítés és a bejuttatás közben, a furatok irányának és dőlésének tűréseit. Meg kell fogalmazni az egyes injektálási fogások befejezésének követelményeit, amelyet célszerű a következőktől függően megállapítani:

- talaj esetében: a nyomás és/vagy a bejuttatott térfogat határértéke, a határértéket meghaladó injektálásból eredő talajmozgás, az injektálóanyag szökése a felszínre, építményekbe vagy a szomszédos furatokba, a pakkerek melletti átfolyás,
- kőzet esetében: a nyomás határértéke (vagy állandósulása) és/vagy a térfogat határértéke, kőzetmozgás, az injektálóanyag szökése, ill. megengedhetetlen elfolyása a szomszédos területekre.

Mérni kell a térszín magasságát a műveletek előtt, közben és után, meg kell állapítani a térszín vagy szerkezet süllyedését vagy emelkedését. A besajtolt anyagból mintákat kell venni a szilárdságvizsgálathoz.

Ellenőrizni kell a talajvíz vegyi adatait, illetve a meglévő kutakban vagy a vízszintészlelő furatokban a vízszintek alakulását.

## **7.5 Jethabarcosítás**

Az eredményes átkeverés feltétele, hogy a talaj az erős folyadéksugárral megbontható legyen.

A habarcsosított talajelemek következő jellemzőit célszerű ellenőrzési céllal figyelni:

- az alakjukat és a méreteiket,

és az adott esethez igazodóan

- a habarcsosított anyag szilárdságát, alakváltozási jellemzőit, áteresztőképességét vagy térfogatsűrűségét.

A jethabarcosítás kivitelezési folyamatának megfigyelése és minőségellenőrzése legalább az összes elem jethabarcosítási paramétereinek a jegyzőkönyvezésére, valamint a zagyvisszáramlás figyelésére terjedjen ki. A felszínre folyamatosan kell megbontott anyagnak kiáramlania. Ha nem lenne zagyfeláramlás, az arra utal, hogy hidraulikus törés következhetett be. Megfigyelendő az injektáló cső forgatásának és visszahúzásának sebessége, valamint az anyag bejuttatásának üteme.

Elfogadható az a feltételezés, hogy összehasonlítható talajviszonyok között az azonos paraméterekkel végzett jethabarcosítás ugyanolyan méreteket, tulajdonságokat és zagyfeláramlást eredményez.

Az első habarcsosított talajelemek elkészülte után célszerű néhány elem méreteit és anyagi tulajdonságait meghatározni, hogy a jethabarcosítási paraméterek és az elkészült elemek tulajdonságai közötti összefüggés megállapítható legyen.

## **7.6 Mélykeverés, tömegstabilizálás**

A tervezéskor nehéz a terepi szilárdságot pontosan felbecsülni. Ezért fontos, hogy a terepi szilárdság alakulását laboratóriumi keverési vizsgálatokkal, tapasztalatok gyűjtésével, terepi vizsgálatokkal és igazoló vizsgálatokkal több fázisban is vizsgálják és értékeljék.

A kivitelezés közben folyamatosan össze kell hasonlítani a ténylegesen felhasznált anyagmennyiségeket a tervezettekkel. Ezen felül jegyzőkönyvezni kell a mélykeveréssel előállított elemek mélységét. Minden egyes elem esetében meg kell figyelni és jegyzőkönyvben kell rögzíteni a fúrás időtartamát és nehézségének fokát.

Kívánatos, hogy az ellenőrző vizsgálatok elégséges számú oszlopra terjedjenek ki, azért hogy az oszloptulajdonságok eloszlását és átlagértékeit a mélykeveréssel kezelt minden fontos talajréteget illetően meg lehessen állapítani.

A tömegstabilizáció során a cementált talajtömb heterogenitásának csökkentése érdekében felügyelni szükséges a bejuttatott kötőanyag mennyiségét és az egyes keverési pontokban eltöltött keverési időt és a keverőfej fel-le mozgását. Az elkészült talajtömb minősítésére és vizsgálatára kellő számú talajmechanikai fúrást, azokból vett magmintákat és verő- vagy nyomószondázásokat kell alkalmazni. A minősítés során vizsgálni szükséges a stabilizált tömb mélységét, valamint statisztikai úton értékelni szükséges a kezeletlenül maradt talajrögök jelenlétének arányát és azoknak a talajtömb átlagos fizikai jellemzőire való hatását.

## **7.7 Függőleges szalagdrénezés**

Beépítésük előtt rendszerint elterítenek egy kavics paplant. Jegyzőkönyvezni kell ennek vastagságát és a kavics milyenségét. A kivitelezés során a süllyedéseket és esetleg a pórusvíznyomások változását kell mérni, de bizonyos esetekben hasznos lehet a nyírószilárdság növekedésének és az oldalkitéréseknek a mérése is. Fel kell jegyezni a műszerek fajtáját, a mérés helyét, magassági helyzetét. A drének beépítése során jegyzőkönyvezni kell minden egyes elem helyét és hosszát.

## **7.8 Rigid inclusion**

A felhasznált anyagok minőségellenőrzéséhez szükség van a teherelosztó rétegbe beépített kőanyag szemeloszlási görbéjére, a geotextil és geoműanyagok hatályos jogszabály szerinti teljesítménynyilatkozatára, mely a szakítószilárdsági jellemzőiket is tartalmazza. Ezen kívül szükség van a bedolgozott RI oszlop anyagminősítésére, amely a teljesítménynyilatkozaton felül az anyagjellemző szabványos vizsgálatát jelenti, tehát beton esetén nyomószilárdság vizsgálati eredményt, acél cső esetén gyártóművi bizonylatot, stb. A kivitelezés jegyzőkönyvében minden egyes merevítő oszlopnál az elkészített átmérőt és hosszát, megvalósult kiosztást kell bizonylatolni. A teherelosztó paplan megvalósult rétegtrendjét és megfelelő tömörségét és teherbírását is bizonyítani kell. Az ágyazati teherbírását tárcsás teherbírásméréssel igazoljuk. A rétegenkénti

tömörségméréseket végezhetjük radiometriás módszerrel is, de ezt a módszert zúzottkő ágyazat esetén különleges körültekintéssel kell végezni az értékelhető eredmények érdekében.

### **7.9 Meszes-cementes talajkezelés**

A talajkezelés sekély kezelési technológiát alkalmaz, így az építési technológia szabad szemmel felügyelhető és jól nyomon követhető. Éppen ezért a talajkezelés sikeressége a technológia pontos betartásával gyakorlatilag garantálható.

A kezelt réteg egységes vastagsága érdekében  $\pm 2\text{cm}$  pontossággal előkészített felület szükséges. A víztartalmat a kezelés megkezdése előtt vagy a keverés során a keverődobba kötött locsolóautóval lehet beállítani. A kötőanyag kiszórását a modern, számíterekkel vezérelt szóróberendezések pontosan végzik, ennek ellenére annak helyszíni ellenőrzése egyszerű és megkövetelt dolog. A keverés mélysége szintén beállítható a gépeken, de ennek ellenőrzési is egyszerű és megkövetelt dolog. A keverés során ügyelni kell arra, hogy a gép kellően felaprózta-e a talajt, amennyiben nem, úgy a talajmaró sebességének csökkentése vagy többszöri átkeverés szükséges. A keverést követően a kötőanyagtól függően lehet a tömörítést a elvégezni. A tömörség ellenőrzése a különböző tömörítő eszközök járatszámainak betartásával biztosítható, kiszűrő vagy kitöltő tömörségmérési módszerekkel, valamint a teherbírás mérés során számítható tömörödési tényezőtől meghatározható. A radiométeres tömörségmérést hibával terhelheti a kötőanyag okozta kémiai folyamatok jelenléte. Az elkészült rétegeket általában tárcsás teherbírás-méréssel minősítik.

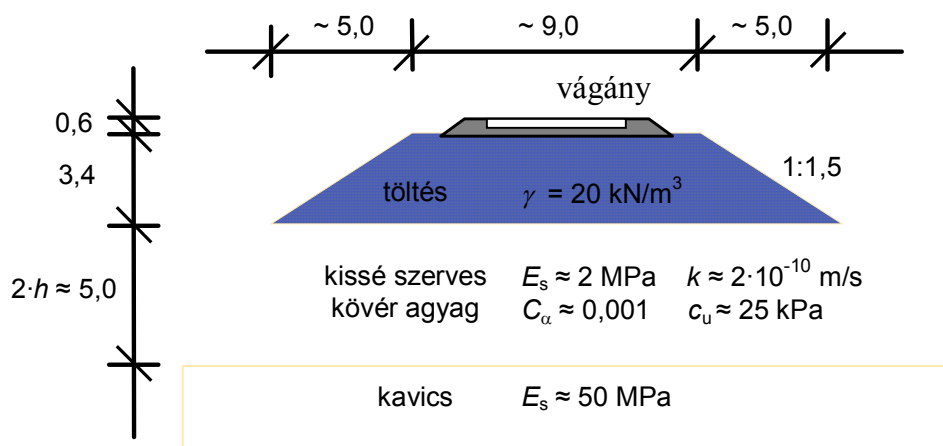
## 8 Alkalmazási példák

Ebben a fejezetben néhány hazai, gyakori alkalmazási példán keresztül mutatjuk be a különböző talajjavítási technológiák alkalmazási köreit.

### 1. példa: Puha altalajon való töltésépítés

#### Feladat

Az alábbi rétegződésű területen vasúti pálya építését tervezik, mely 8-10 m magas töltésen halad. A kivitelezésre szűk határidő áll rendelkezésre, az építés megkezdését követő 12 hónap elteltével a vonatoknak közlekedniük kell.



#### Felmerülő talajmechanikai problémák

A kissé szerves kövér agyag konszolidációs tényezője elég kicsi, így hosszan elhúzódó süllyedésre kell számítani. Terzaghi egydimenziós konszolidációs elméletével számolva a 90%-os konszolidációs fokhoz tartozó idő kb. 50 hónap.

A konszolidációs süllyedés mértéke kb. 20 cm-re tehető.

Az „egyszerű”, közelítő képletekkel számolva az alaptörés, szétcsúszás veszélye nem áll fenn.

Az adott feladat esetében az elsődleges cél a konszolidációs idő csökkentése, a süllyedés mértékének csökkentése másodlagos.

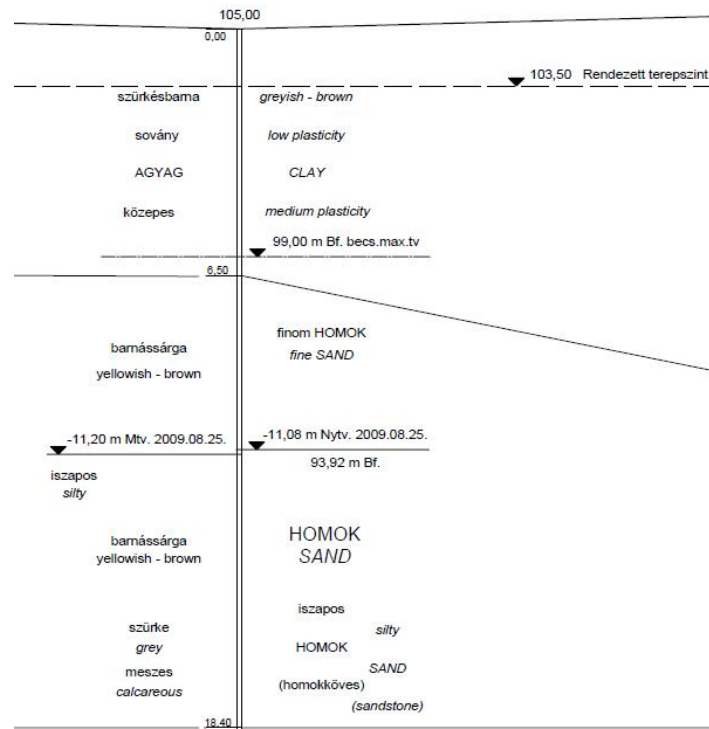
#### Milyen megoldással lehet a feladatot kezelni, hogy az átadás ideje biztosítható legyen?

A sokféle talajjavítási módszer közül a függőleges szalagdrénezés megfelelő megoldás lehet, hiszen az elsődleges cél a konszolidációs idő rövidítése. A méretezéshez a Barron-féle diagram jól használható.

## 2. példa: Siló alapozás

### Feladat

Egy üzembővítés során ~15m átmérőjű henger alakú gabonataroló silót terveznek építeni. A talajra adódó felületi megoszló teher viszonylag magas, 200kPa körüli, és a szerkezetre megadott maximális süllyedéskülönbség (3cm) igen szigorú keretet szab.



### Felmerülő talajmechanikai problémák

Az altalaj felső 8-10 métere puha agyagból és alatta egyszemcsés finom homokból áll, mely megfolyósodásra hajlamos, illetve a lejtésben lévő talajrétegek miatt egyenlőtlen süllyedés veszélye is fent áll.

### Milyen megoldással lehet a feladatot kezelni, hogy a síkalapozás gazdaságos legyen és megfeleljen a süllyedéskülönbségi kritériumoknak?

Elsősorban azok a talajjavítási módszerek jöhetnek szóba, amelyek nagy mélységben kezelik a talajt, és kivitelezés közben a közelben lévő meglévő építményekre nincsenek káros hatással. Ilyen például a rigid inclusion, vagy a mélykeverés.

### 3. példa: Alapmegerősítés

#### Feladat

Régi műemléki épület felújítása során a felszerkezet részleges átépítése statikai változásokat fog eredményezni. Az épület síkalapozásának teherbírása az új, megnövekedett terhelésekkel szemben nem elegendő, ezért alapozásának megerősítése, mélyítése szükséges.

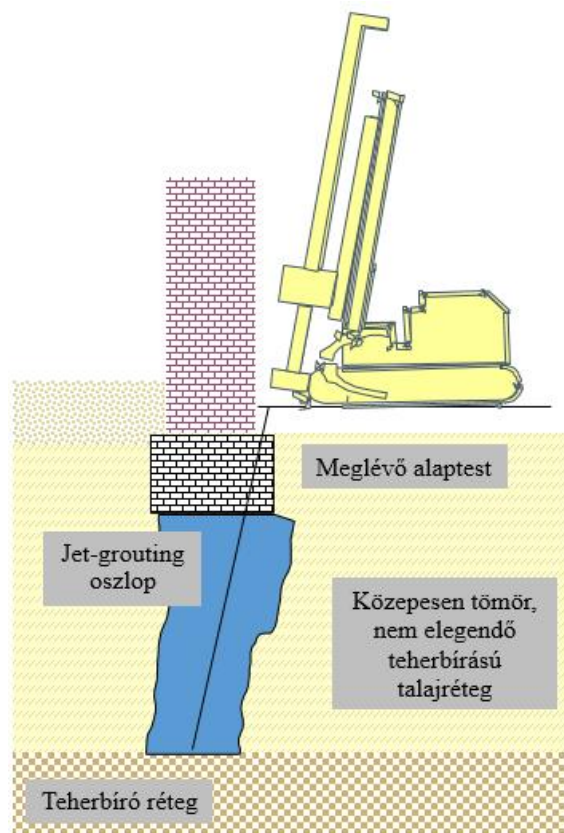
#### Felmerülő talajmechanikai és egyéb tervezési problémák

A meglévő épület alapozási síkja, az építés korának technológiai adottságai miatt, a talajvíz felett helyezkedik el, ugyanakkor az új terhelésekkel szemben teherbíró talajréteg néhány méterrel a meglévő alapozási sík és a talajvíz szintje alatt felszik. Az épületet 3 oldalról építmények, 1 oldalról utca veszi körül, így az alapozás megerősítése csak az épületen belülről valósítható meg.

#### Az organizációs kényszereket is figyelembe véve milyen mélyépítési megoldás jöhet szóba az alaptest megerősítésére?

A síkalapozás teherbírásának vizsgálata alapján annak megfelelő megerősítése a teherbíró rétegig történő lemélyítésével lehetséges. Tekintettel a szűk munkaterületre és a városi környezet egyéb organizációs kötöttségeire, az alapsík mélyítése jet-grouting technológiával valósítható meg, mely géplánc akár szűk pinceterekben történő munkavégzésre is alkalmas.

Geotechnikai tervezési feladat az alapsík szükséges lemélyítésének és szélességének meghatározása az MSZ EN 1997-1:2006 D mellékletében megtalálható teherbírás-számítási eljárás alkalmazásával. Az így előálló alaptest kontúr meghatározása után a technológiai tervek kidolgozását célszerű a szakkivitelező hatáskörébe utalni. Utóbbi dokumentum rögzíthető, igazodva a szakkivitelező gépparkjának adottságaihoz a jet-grouting oszlopok pontos átmérőjét és kiosztását, a kivitelezés ütemezésével kapcsolatos tervezői előírásokat (melyek szoros összefüggésben állnak az érintett épület alapmegerősítés során várható mozgásaival) a minőségirányítás és a munkavédelem fontosabb részleteit (például a jet-grouting oszlopok várható szilárdsága). Fontos megjegyezni, hogy a jet-grouting technológia alkalmazása során a megerősített épület kismértékű (1-2cm nagyságrendű) süllyedése is bekövetkezhet.





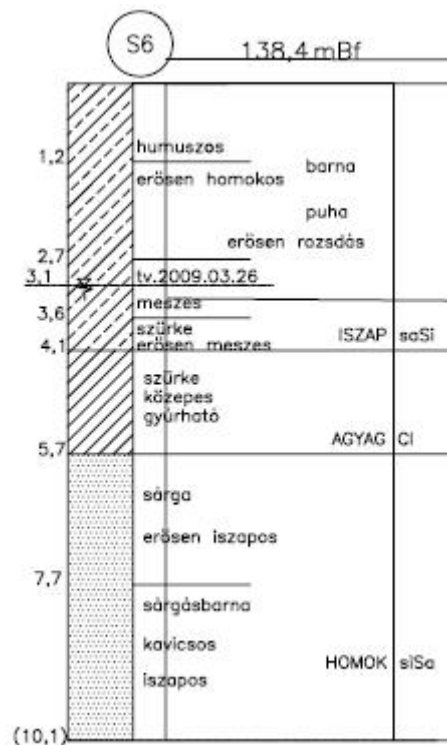
## 5. példa: Hídfő háttöltés

### Feladat

Az épülő autópályán kisebb vízfolyáson átvezető hídján, és a 10 méter magas úttöltés közötti hídfő háttöltése egyenletes átmenetet kell, hogy biztosítson a merev szerkezet és a folyamatosan konszolidálódó földmű között, a pályaszerkezet élettartama és az úthasználók biztonsága érdekében.

### Felmerülő talajmechanikai problémák

A térszínközelségben található puha, ártéri agyag és iszap rétegek miatt a terhelés alatt körülbelül 40cm süllyedés és 10-12 hónapra elhúzódó konszolidáció várható. Ezen kívül a töltés állékonysága és szétcsúszással szembeni ellenállása sem megfelelő, ezért töltésalapozásra van szükség, kiemelten a hídfők alatt.



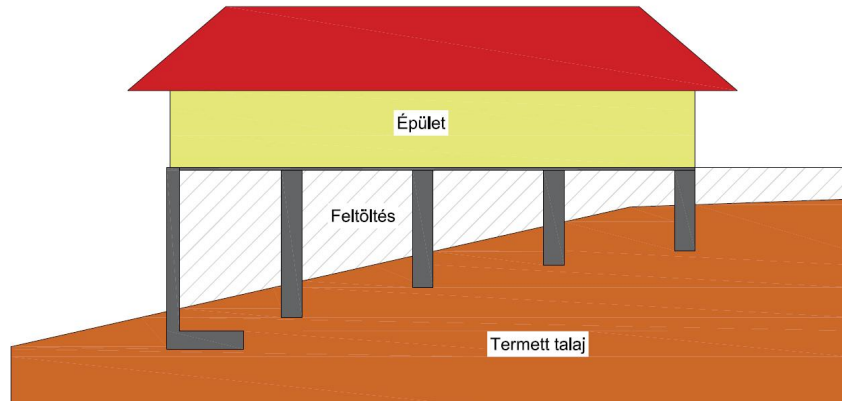
### Milyen megoldással lehet a feladatot kezelni, hogy a hídszerkezet és a töltés közötti kapcsolat egyenletes átmenetet biztosítson?

Azok a talajjavítási módszerek javasoltak ebben az esetben, amelyek egyszerre kezelik a teherbírási, használhatósági határállapotú és konszolidáció-gyorsítási igényeket. A közelben nem találhatóak építmények, és mivel még a hídalap sem kerül elkészítésre a talajjavítás előtt, ezért nem kell kizárni a rezgésekkel, zajjal járó technológiákat sem. Szóba jöhet tehát például a vibrált kőoszlop, a mélykeverés, és a mechanikai erősítésű földmű is, de bizonyos kombinációk előállítására is lehetséges az optimális eredmény érdekében, például drénezés előterheléssel, vagy esetleg tömegstabilizálás rigid inclusionnal.

## 6. példa: Laza feltöltés utólagos injektálása

### Feladat

Használatban álló kereskedelmi épület padlóján és kitöltő falazatain repedések jelentek meg. Az épület tulajdonosa szeretné megszüntetni az épületfunkciót zavaró repedéseket és padlósüllyedéseket.



### Felmerülő talajmechanikai problémák

A korábbi tervek szerint az épület feltöltésre készült. Az épület vázszerkezete a termett talajba befogott kútalapokon és szögtámfalon áll, míg az acélszál erősítésű padló és másodlagos szerkezetek a feltöltésen fekszenek.

A vizsgálatok szerint a feltöltés laza állapotú. A hegy felől rétegvizek érkehetnek. Az öntömörödésből további süllyedések várhatók, míg a rétegvizek jelenléte rokadást okozhat.

A talajmechanikai problémát lehetőség szerint oly módon kell megoldani, hogy az épületben a kereskedelmi tevékenység teljes vagy korlátozott módon folyamatosan fenntartható legyen.

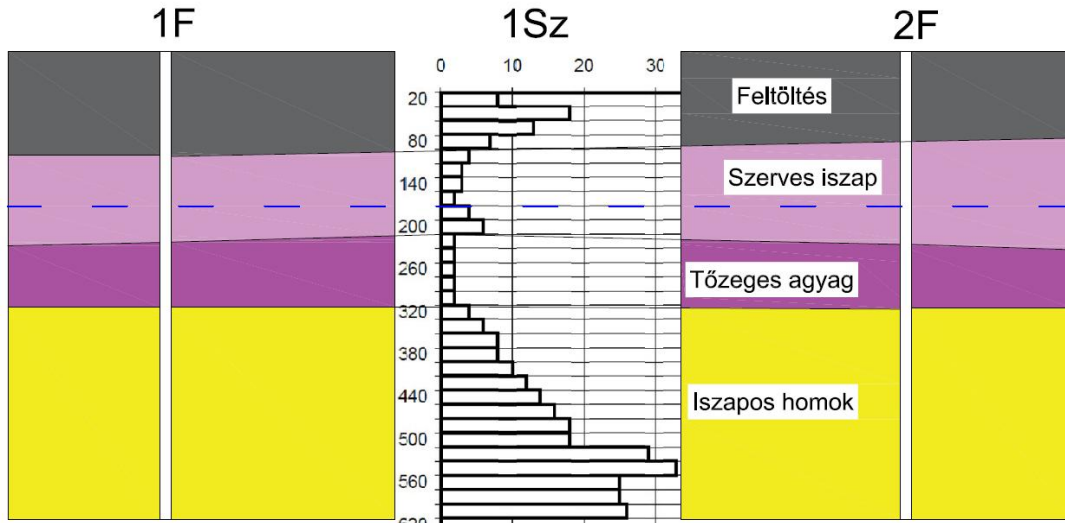
### Milyen megoldással lehet a feladatot kezelni?

A meglévő szerkezet adottságai (belmagasság, szűk terek) és folyamatos üzemeltetési tevékenység fenntartása miatt a talajjavítási módok közül csak a jethabarcosítás és az injektálás vehető számba. A terhek viszonylag kicsik, így nem szükséges nagy szilárdságú talajjavítást létrehozni, valamint a padló vasalatlan, így annak egységes felületi megtámasztása javasolt pontszerű vagy vonalmenti alátámasztással szemben. Ezen megfontolások alapján, a jethabarcosítással raszterben létrehozható talajbeton cölöpök létrehozása helyett az injektálásos talajjavítást célszerű elvégezni. A feltöltés szemcsés anyagú, így az injektáló anyag kellően szét tud terjedni. A feltöltés hézagtenyezőjéből és próbainjektálások elvégzésével a várhatóan szükséges injektálóanyag mennyisége és típusa, valamint a javított talaj tulajdonságai meghatározhatóak.

## 7. példa: Raktárépület feltöltésen és puha szerves talajokon

### Feladat

Egyszintes, kis terhelésű épületet kívánnak építeni az alábbi, kedvezőtlen geotechnikai adottságú területen. A területet ~1m vastagságú, heterogén tömörségű feltöltés fedi, ami alatt ~3m-es mélységig szerves, puha talajok találhatók. A talajvíz térszínhez közeli.



### Felmerülő problémák

A feltöltés és az alulkonzolidált, puha, szerves talajok alapozásra alkalmatlanok, ezért az épület alapozási síkját a mélyebben található iszapos homokig kell levinni. A talajvíz magas helyzetű, ezért az alapozási síkig a talajt víztelenítés nélkül nem lehet kiemelni, így kútsüllyesztéssel vagy cölöpözéssel lehet megépíteni az épület alapozását. Azonban az épület vázszerkezete mellett a padlót sem szabad a feltárt kedvezőtlen talajokra fektetve megtervezni, ezért a padló alapozása vagy födémként történő méretezése szükséges.

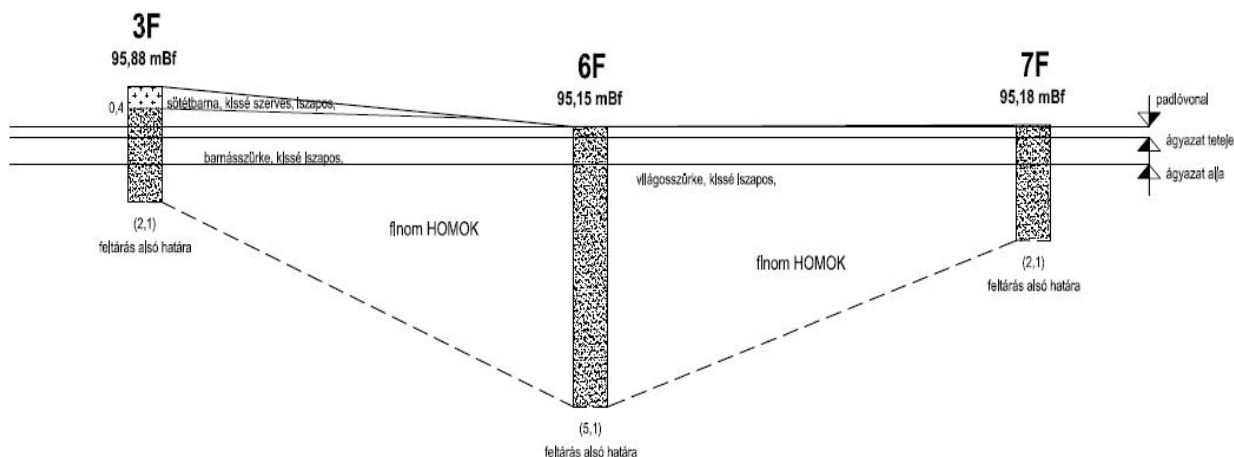
### Milyen megoldással lehet a feladatot kezelni, hatékony és gazdaságos alapozást létrehozni?

A nagy alapterületű, nagy fesztávú keretállások miatt a padló alapozásának költségei lényegesen magasabbak a vázszerkezet alapozási költségeinél, ezért a cél egy hatékony nagy területű talajjavítás megvalósítása. Több talajjavítási mód is figyelembe vehető, azonban célszerű olyat választani, amivel a padló alapozása mellett az épület alapozása is megoldható, így egy technológia felvonultatása elegendő lehet. Az épület vázszerkezetének alapozása alatt sűrűbb raszterben elhelyezett kötömszök vagy kavicscölöpök készülhetnek, míg a padló alatt ritkább raszterben végezhető el a talajjavítás. A padló és a javított talaj között georáccsal erősített, vastagított teherelosztó ágyazat betervezése szükséges.

## 8. példa Ágyazat építése talajstabilizációból

### Feladat

Az alábbi finomhomokkal fedett területen ipari csarnokot és azt kiszolgáló térburkolat és közlekedő utat terveznek. Az ipari padló és a burkolatok az előző ütem padlósíkjához igazodva a térszínnel egy szinten készülne. A tervező eredeti elgondolása 50cm vastag zúzottkő ágyazat volt, amelyen  $E_2=80\text{MPa}$  teherbírást kívánt elérni.



### Felmerülő problémák

A tervezett durvaszemcsés ágyazati anyag csak nagy távolságból, rendkívül drágán szerezhető be és szállítható a helyszínre. A környékben nem áll rendelkezésre a szükséges mennyiségben darált inert hulladék.

A feltárt talajok vízre érzékenyek, fagyveszélyesek.

### Milyen megoldással lehet a feladatot kezelni, hogy a beruházás tervezett költségei tarthatóak legyenek?

A területen az ágyazat elkészítéséhez a helyi talaj kiszedése, majd annak lerakóra való lerakóba történő szállítása szükséges. Mivel a helyi talaj kedvezőtlen tulajdonságú, ezért külső anyag beszállítására van szükség. Amennyiben a helyi talaj tulajdonságai talajstabilizációval feljavíthatók és a talajcsere nagy része elhagyható, úgy költséghatékony és környezetbarát megoldás születhet. A laboratóriumi vizsgálatok szerint a helyi anyag és  $60\text{kg/m}^3$  hidraulikus útépitési kötőanyag (ViaCalcoC50) összekeverésével, a zúzottkővel egyenértékű teherbírással, nedvességgel és faggal ellenálló réteg hozható létre. A lehumuszolást követően 10cm anyaghiány adódik, amit zúzottkővel pótlunk a 40cm vastagságban elkészített stabilizált réteg tetején. Az így elkészített ágyazat tetején  $E_2>120\text{MPa}$  teherbírás mérhető.

# **1. Melléklet**

Talajjavítási technológiák

## 1. Dinamikus konszolidáció- és talajcsere

A francia Louis Menard által kifejlesztett eljárás során a javítandó talaj felületére általában  $a=5-10$  m-es négyzetes raszterben  $m=8-50$  t tömegű tömböt ejtegetnek  $h=10-30$  m magasságból  $n=5-10$ -szer egy daru segítségével.

A tapasztalat szerint a „t” kezelési mélység a bevitt energia négyzetgyökével arányos:

$$t = \alpha \cdot (G \cdot h)^{0,5}$$

,ahol az előbbieket mellett „ $\alpha$ ” a talajfajtától függő hatékonysági szorzó: kavics esetén 1,0, iszapos homok esetén 0,6 és lösz esetén 0,5 vehető figyelembe. A „t” mélység a gyakorlatban általában 8-10 m-re adódik ki. Ha viszont magasabban egy tömör vagy cementálódott réteg van, az elnyelvén az energiát lényegében meggátolja az alatta levő zóna javítását.

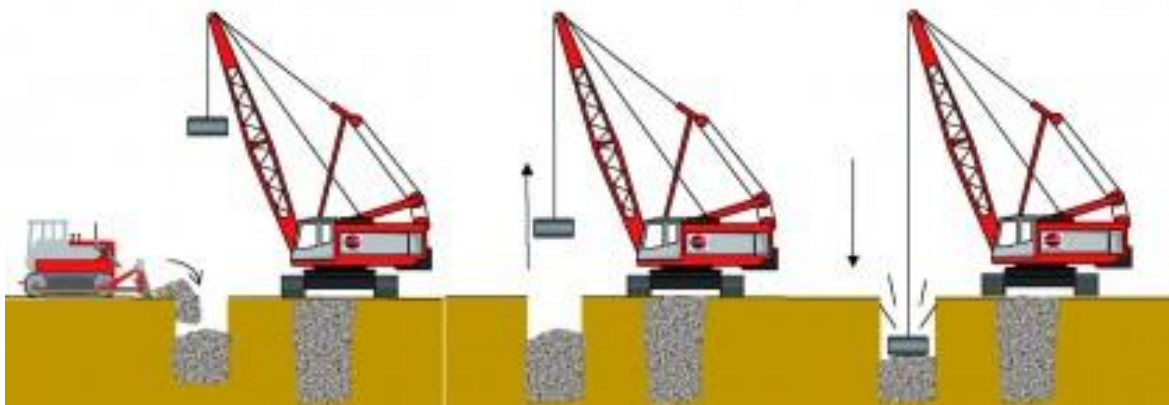
Száraz szemcsés talajban a döngölés tömörödést okoz. Víz alatti szemcsés talaj esetében az első ütések a pórusvíznyomás növelésével megfolyósodást okoznak, a következők tömörödést, majd 1-2 nap alatt a pórusvíznyomás disszipációja következtében a hatékony feszültség növekedése egy utótömörödést kelt. Ilyenkor a felszínen kráter keletkezik, melyet helyi vagy beszállított anyaggal töltenek fel, majd újabb döngölési menetek következnek. A tapasztalat szerint helyesebb kisebb ejtési magasságokkal és nagyobb ütésszámmal dolgozni, s a megfolyósodást elkerülni.

Puha (szerves) agyagokban, különösen tőzegekben viszont a döngöléssel kötömszöket lehet előállítani. A felszínre behordott, 1-2 m vastag szemcsés anyagot dugószerűen beleverik a talajba oldalra szorítva onnan a termett talajt. A mélyedésbe összetolják a környezetből a szemcsés anyagot, s azt lefelé tovább verik (3. ábra). Ezt addig ismételik, amíg a dugó átüti a gyenge réteget és eléri a jobb teherbírású zónát. A módszer tulajdonképpen dinamikus módon részleges talajcsere-t eredményez, innen a francia elnevezése: dinamikus talajcsere (dynamic replacement - DR).

A tapasztalat szerint az eljárás gazdaságos, ha  $5000 \text{ m}^2$ -nél nagyobb felületen 10 m-nél vékonyabb, nagyon laza homokot, feltöltést, vagy nagyon puha szerves talajt kell javítani. Alkalmazása komoly zajt és rezgést okoz, ezért leginkább csak zöldmezős beruházásoknál alkalmazható.

Az ejtegetett test célszerűen 1,5...2,5 m átmérőjű henger- vagy gömbszerű alakzat. Egy-egy kötömszöt 3...6 fázisban, fázisonként 5...6 döngöléssel érdemes előállítani 8...12 m ejtési magasságot és 8...10 t tömeget alkalmazva. Célszerű két ütemben dolgozni, az elsőben 5...7 m oldalhosszú négyzetes kiosztásban haladni, majd a második ütemben ezt a kiosztást „beközepelni”. Törekedni kell arra, hogy a kötömszök területe a teljes kezelt terület 20 %-át közelítse meg.

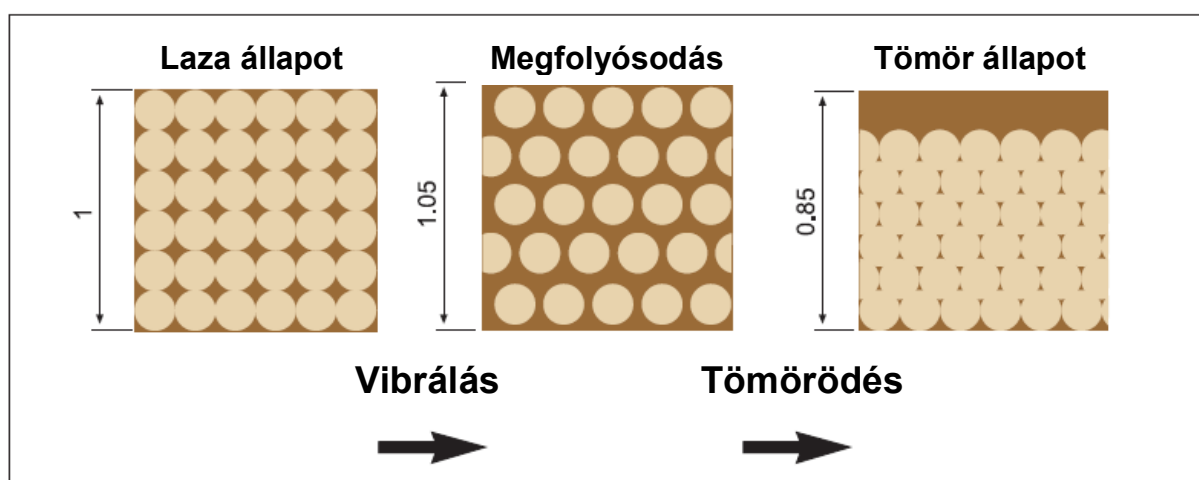
A kötőzsök anyaga tört szemcsés anyag. Előnyös, ha nagy ( $35\text{...}40^\circ$ ) a belső súrlódási szöge, kedvező az összenyomódási modulusa ( $25\text{...}50\text{ MPa}$ ) és elég nagy ( $10^{-5}\text{ m/s}$ ) az áteresztőképessége, de összetételét nem kell túlzottan szigorúan és igényesen megállapítani.



3. ábra Dinamikus talajcsere (DR)

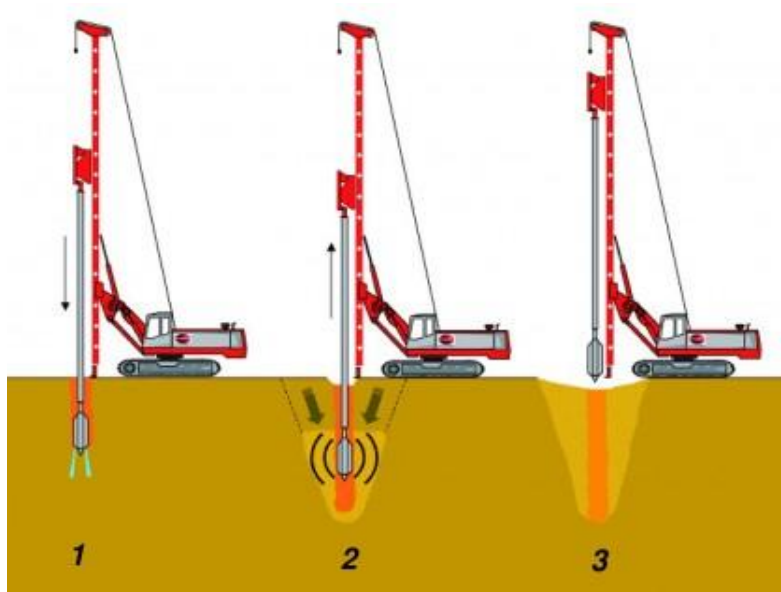
## 2. Vibrációs mélytömörítés

A vibrációs mélytömörítés lényege, hogy a tisztán szemcsés, laza, esetleg inhomogén talajok fizikai tulajdonságait vibroláncza rezgésének segítségével, in-situ tömörítéssel javítsa. A tömörítés során a belső súrlódási szög, a tömörség növekszik, és az összenyomhatóság csökken. A vibroláncza folyamatos rezgése és (vízes eljárás esetén ezen felül) a fejnél kilövő vízszögár együttes hatása lokális megfolyósodást hoz létre a talajban, és a szemcsék átrendeződnek egy nyugalmi, sűrűbb szerkezetű állapotba (általában 70-85% relatív tömörségig) (4. ábra). Kohéziós talajokban a rezgő vibroflot űrt hagy maga után, amit kavicssal vagy zúzottkővel kitöltve vibrált kőoszlopot kapunk.



4. ábra A tömörödés folyamata

Az eljárás menetét az 5. ábra mutatja.



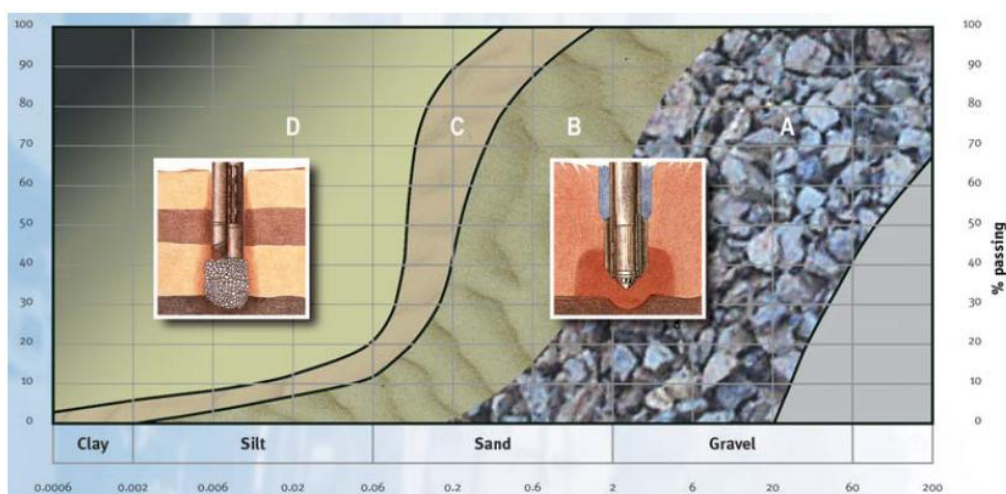
5. ábra Vibrációs mélytömörítés technológiája



1. A géptoronyról függőlegesen lefelé függő vibroláncza a saját súlyánál fogva, és a rezgés által átrendezett szemcsés talajnak, illetve a rendszerint alkalmazott vízszugár erejének köszönhetően hatol a talajba.
2. Lefelé haladva maga körül tömörítve a talajt, tölcser alakú űr keletkezik felette, melyet tiszta homokkal kezdenek kitölteni, amikor a tervezett mélység elérése után a munkagép elkezd felemelni az eszközt. A gyakorlatban 2-20m mélység között a leghatásosabb ez a módszer.
3. A vibrolánczsát fokozatosan felemelve, a talajtípustól és a vibrolánczsa adottságaitól függően 2-4m körüli átmérőjű talajkráter keletkezik körülötte, amelyet folyamatosan homokkal töltenek fel, így a bevitt anyagot is tömöríti felhúzás közben. Amennyiben a tervezett végleges talajszint az eredeti, kezdeti talajszintnél alacsonyabb, az esetben a tömörítés által létrejött, meghatározott méretű szintsüllyedést nem kompenzálják további bevitt anyaggal.

A tömörítési pontok rácskiosztása (háromszöges vagy négyzetes rács), mélysége és az egyes pontok tömörítésére szánt idő a kezdeti talajadottságok és az elérni kívánt tervezési értékek függvényében kerül megtervezésre. A részletes technológiai terv és az optimalizált kivitelezési paraméterek próbatömörítés elvégzése után véglegesíthetők.

A 6. ábra a különböző szemeloszlású talajok vibrációs mélytömörítésre való alkalmasságának besorolásához nyújt segítséget. Az A és B mezőbe illő szemeloszlású talajok ideálisak a módszer alkalmazása szempontjából, relatív magas tömörítési hatékonyságot érhetünk el, ha a finomrésztartalom ( $d_{max} \leq 0,06\text{mm}$ ) 12% alatti tartományba esik. A D zóna, tehát a kötött talajok tartománya a vibrált kőoszlop alkalmazásának ideális területe, és a C mezőbe tartozó iszapos homok / homokos iszap átmeneti talajok esetében is jellemzően javasolt a mélyvibrálást durvább frakciójú anyag hozzáadásával kombinálni.



6. ábra A vibrációs mélytömörítés alkalmazhatósága

### 3. Vibrált kőoszlopok

A vibrált kőoszlopok (kavicscölöpök) az altalaj komplex javítási módszere, mert készítésük, illetve a kész vibrált kőoszlopok talajtömörítésként, részleges talajcsereként és függőleges drénként is működnek, s így csökkentik a süllyedések mértékét, növelik a talajtöréssel szembeni biztonságot és gyorsítják a konszolidációt.

Kis áteresztőképességű, nagyon kompresszibilis és kis szilárdságú szerves iszap- és agyagtalajokban célszerű alkalmazni, ahol mindegyik hatásra szükség van, és azok érvényesülhetnek is. A hatásmechanizmus a talajtípustól nagyban függ, az agyagokban inkább a konszolidációgyorsítás lényeges, az iszapokban, tőzegekben inkább a teherátvállalás. Nagyon gyenge (kb. 15 kPa-nál kisebb drénezetlen nyírószilárdságú) talajokban fennáll a vibrált kőoszlopok kihajlásának, szétnyomódásának a veszélye is, ezért csak külön óvintézkedésekkel alkalmazható.

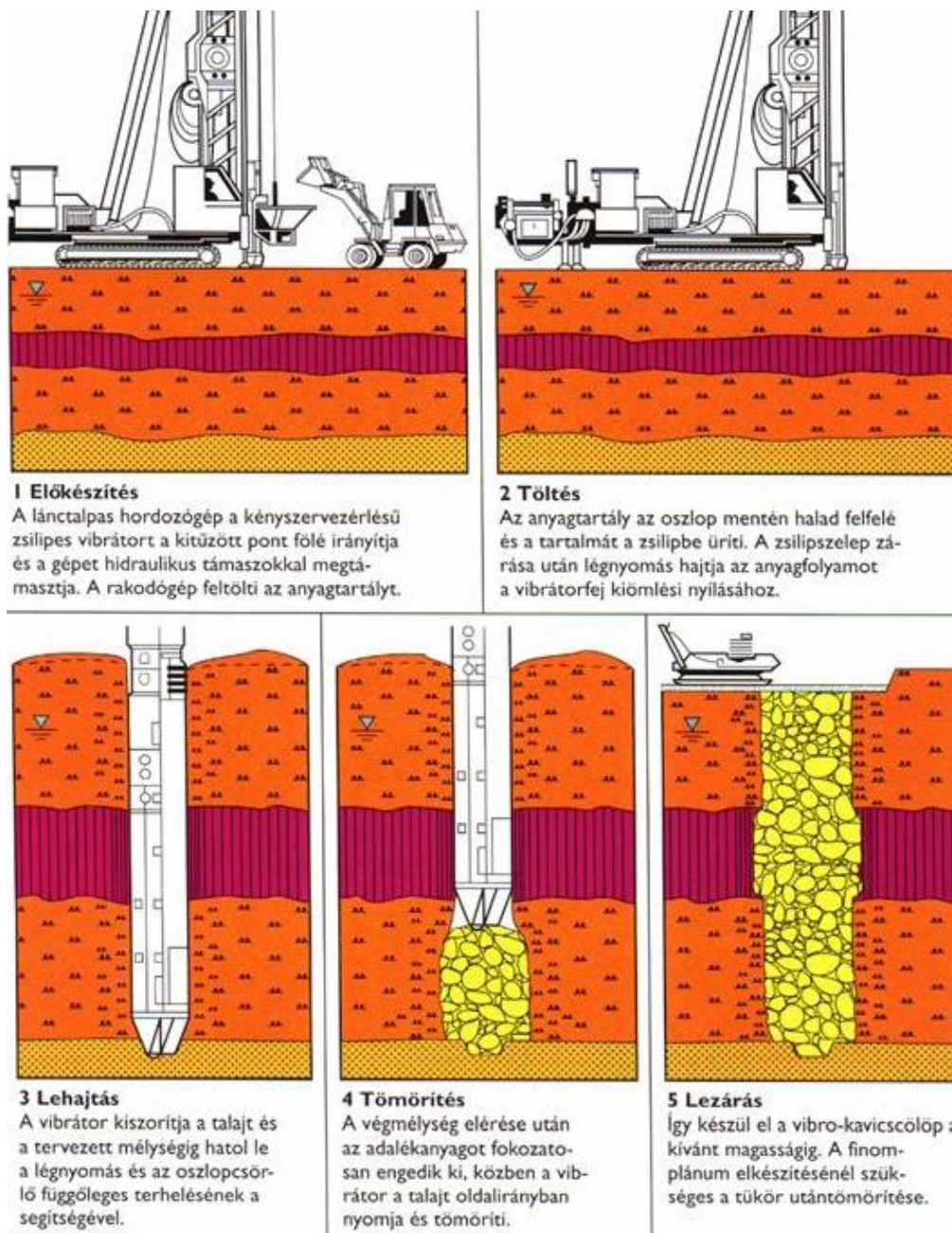
A módszer lényege egy darura felfüggesztett vibrációs berendezés, mely az önsúlya és rezgetése révén, esetleg vízöblítéssel, levegő benyomásával, vagy külső terheléssel segítve hajtható le a talajba. A kívánt mélység elérése után a vibrátort rezgetve felhúzzák, különböző módszerekkel szemcsés anyagot juttatnak az üregbe, azt a vibrátor visszasüllyesztésével tömörítik, illetve összedolgozzák a környező talajjal, mindezeket 0,5-1,0 m szakaszokban ismételve. Többféle eljárás ismert:

a) **Felülről tápláló száraz eljárás:** Ez a módszer szemcsés talajokban rendszerint csak a talajvíz fölött alkalmazható. A teljes berendezés lánctalpas darun függ, és onnan eresztik le a vibrátort a talajra. A feltöltésbe és/vagy az alatta fekvő gyenge talajba való behatolást a vibrátor súlyának, a nagyfrekvenciás vibrációnak és a sűrített levegőnek az együttes hatásával érik el. Egy kompresszor szolgáltatja a mélyvibrátor számára a szükséges levegőt, amely a befoglaló acélburokból a – közvetlenül a vibrátor csúcsa fölött lévő – fúvókákon keresztül lép ki. A megkívánt mélység elérése után a vibrátort rövid ideig helyben tartják, majd visszahúzzák. A vibrátor által kialakított üregbe kis mennyiségű tiszta, inaktív szemcsés anyagot töltenek, majd a vibrátort ismét leeresztik, az tömöríti a betöltött anyagot, és jól összekapcsolja a környező talajjal. A szemcsés anyag kis adagokban való betöltésével, és az adagok meghatározott energiafelhasználású tömörítésével készíthető el egészen a felszínig a tömör kőoszlop. A szemcsés anyag szokásos szemcsemérete 40–75 mm.

b) **Nedves eljárás:** A nedves eljárást akkor alkalmazzák, amikor a felülről tápláló száraz eljárás nem alkalmazható, mert a talaj nem állékony. A mélyvibrátor hasonló a száraz eljárás esetén használthoz, de vízöblítő berendezéssel is fel van szerelve. A darura függesztett mélyvibrátort leeresztik a talajra és megnyitják a vízfúvókákat. A vibrátor a laza talajba a saját súlya, a vízöblítés és a vibráció hatására gyorsan behatol. A vibrátort részlegesen visszahúzzák, majd – ha kell – újra és újra bemerítik, hogy kimosódjon a laza talaj, amely összegyűlt az üreg alján és körülötte. Az állékony üreg kialakulása után a vibrátort a talajban tartják, csökkentik a vízáramlást, miközben a térszínen közvetlenül a vibrált üreg köré folyamatosan utántöltik a tiszta, inaktív szemcsés anyagot. A

szemcsés anyag lecsúszik a vibrátor és a környező talaj közé, így lehetővé válik a kőoszlop kialakítása kis emelésekből és újbóli behatolásokból álló lépcsőkben. Fontos, hogy a vízáramlást folyamatosan fenntartsák mindaddig, amíg a vibrátor végül eléri a felszínt. A vibrátor tömöríti a betöltött szemcsés anyagot, és létrehozza annak szoros kapcsolatát a környező talajjal. A ciklust mindaddig ismételtetik, míg végül a kőoszlop a felszínig elkészül. A szemcsés anyag tipikus szemcsemérete 25–75 mm.

A nedves eljárással jelentős többletgondok járnak együtt: vízellátás, víztelenítő árkok, ülepítő derítő, és a kimosódott anyag végleges elhelyezése az illetékes hatóságok által elfogadható módon.



7. ábra A vibrált kőoszlop készítés folyamata

c) **Alulról tápláló száraz eljárás:** A vibrátor az oszlop készítése közben az üregben marad, így az eljárás nem állékony talajban is sikeres, és a legtöbb esetben a nedves

eljárás helyett is alkalmazható. Az alulról tápláló eljárás esetén egy nagy szállítóképességű anyagellátó cső van a vibrátor egyik oldalához rögzítve, így ezek egy beépített vibrátor/szemcsésanyag-ellátó rendszert alkotnak. Az anyagellátó cső a vibrátor csúcsánál befelé hajlik, hogy biztosítsa a szemcsés anyag központos bejutását.

A vibrátort a kezelendő ponton a talajra helyezik, és a teljes rendszert feltöltik szemcsés anyaggal. Az anyagellátó csőben lévő szemcsés anyaggal, mely a vibrátor csúcsánál dugót képez, a mélyvibrátor a kívánt mélységig behatol a talajba az önsúlya és a vibráció együttes hatására, szükség szerint sűrített levegővel, külső lenyomó erővel is rásegítve. A kőoszlopot úgy hozzák létre, és úgy tömörítik, hogy először visszahúzzák a vibrátort, és ebben a helyzetben tartják mindaddig, amíg a szemcsés anyag aláfolyik, majd újból lenyomják a vibrátort a betöltött szemcsés anyagba, tömörítik azt, és létrehozzák a szoros kapcsolatot a környező talajjal. Ezeket a fázisokat ismételve, a szemcsés anyag szükség szerinti utántöltésével elkészíthető a kőoszlop a terepszintig. A betöltött anyag szemcsemérete általában 8–50 mm.

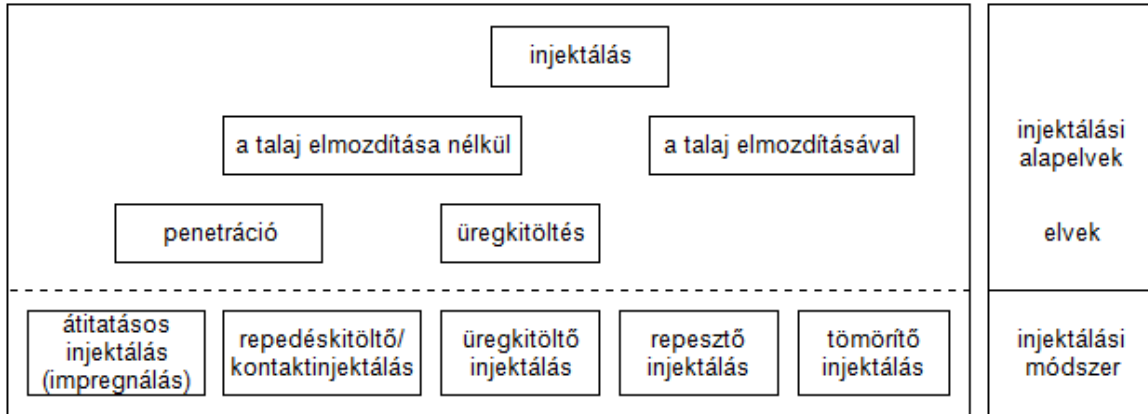
A vibrációs kezelést négyzet vagy szabályos háromszög szerinti elrendezésben, 1,5 – 4,0 m ponttávolságokban végzik. A vibrált kőoszlopok fölé (a terepszintre) a vízelvezetés és a teherelosztás biztosítására min. 0,5 m vastagságban szemcsés ágyazati réteget is be kell építeni. Biztosítani kell, hogy a vibrált kőoszlop fölötti átboltozódás révén a földmű koronáján, illetve a szerkezeten már csak megengedhető mozgáskülönbségek legyenek.

A technológiai folyamatokat a 7. ábra érzékelteti.

## 4. Injektálások

A geotechnikai célú injektálás olyan tevékenység, melynek során egy szivattyúzható anyag talajba juttatását közvetett módon, az anyag reológiai tulajdonságainak megfelelő beállításával és a bejuttatási paraméterek (nyomás, térfogat és átfolyási sebesség) megfelelő megválasztásával szabályozzuk.

Az injektálóanyagot vagy a talaj elmozdításával, vagy anélkül juttatják a befogadó közegbe. A 8. ábra tünteti fel a különféle injektálási módszereket.



8. ábra: Az injektálás alapelvei és módszerei

Kitöltő injektálással a talaj elmozdítása nélkül hézagokat, repedéseket és üregeket töltünk ki.

**Átítatásos injektálás (impregnálás):** Az átítatásos injektálás célja az áteresztő talajok szemcséi közötti hézagok kitöltése injektálóanyaggal a talaj folytonosságának megbontása nélkül. Ez csökkenti a befogadó közeg áteresztőképességét, és rendszerint növeli szilárdságát és tömörségét. Az elmozdulás megelőzése céljából az átítatásos injektálást gondosan ellenőrzött nyomással és injektálási sebességgel kell végrehajtani.

**Repedéskitöltő injektálás és kontaktinjektálás:** A repedéskitöltő injektálás célja a közettömegben lévő nyitott repedések, törések és hasadékok kitöltése új felnyílások okozása vagy a meglévők növelése nélkül, hogy ezáltal csökkentsék az áteresztőképességet és/vagy növeljék a kezelt tömeg szilárdságát. A tagoló felületek közötti rések gyakoriságát, irányultságát, kiterjedését, szélességét, érdességét és kitöltöttségét ismerni kell a terv kidolgozásához.

**Üregkitöltő injektálás:** Üregkitöltő injektálást a nagy természetes vagy mesterséges üregek kitöltésére alkalmaznak. A kifejezés általában a nagy mennyiségű injektálóanyag gravitációs vagy kis nyomású bejuttatását jelenti. Ha sok cementet juttatnak be zárt térbe, figyelembe kell venni a nagy helyi hőmérséklet és az okozott feszültség hatását. Az üregkitöltő injektálást egy nyomás alatti injektálás követheti a még megmaradt hézagok kitöltése céljából.

Az elmozdító injektálás az injektálóanyag besajtolása nyomással, melynek határozott célja a befogadó közeg térbeli elmozdítása. A kifejezés magába foglalja az olyan

módszereket is, mint a tömörítő injektálás és a repesztő injektálás (claquage). E módszerrel a képlékenyen alakítható anyag sűrűségét növelik, és ahol a képlékeny alakváltozás határát már elérték, ott a kezelt tartomány kiterjedését növelik.

**Repesztő injektálás:** A hidraulikus repesztéses injektálás célja:

- az altalaj (talaj vagy kőzet) erősítése vagy stabilizálása;
- valamely szerkezet szabályozott megemelése;
- vízzárás elérése rekeszfalak kialakításával

Egy hidraulikus úton előidézett repedés tovaterjedését nehéz szabályozni. Ezért ajánlatos az injektálást a besajtolások időben széthúzott sorozatával végrehajtani.

**Tömörítő injektálás:** A tömörítő injektálás egy viszonylag merev (viszkózus) szemcsés injektálóanyag talajba juttatása úgy, hogy ez elmozdulást, alakváltozást okozzon. Az injektálóanyagot rendszerint nyílt végű injektálócsövekből sajtolják ki. Az injektálóanyag olyan konzisztenciájú, hogy megmarad homogén tömegként, a befogadó közeg hézagaiba nem hatol be és nem okozza annak hidraulikus felrepszését. A tömörítő injektálást a legtöbbször laza talaj tömörítésére, megsüllyedt szerkezetek alátámasztására és megemelésére alkalmazzák.

Az injektálóanyag típusát és összetételét a talajviszonyoknak megfelelően kell kiválasztani. A 3. táblázat foglalja össze a különböző talajokhoz javasolt injektálóanyagokat.

3. táblázat: A különböző talajokhoz javasolt injektálóanyagok

| Befogadó közeg   | Tartomány   | Kitöltő injektálás                              |  |   | Elmozdító injektálás                |
|------------------|---|---|--|---|-------------------------------------|
|                  |   | Átitatásos injektálás                           | Repedéskitöltő v. kontakthinjektálás                         | Üregkitöltő injektálás  |                                     |
| Szemcsés talaj   | kavics, homokos kavics, durva homok<br>$k > 5 \cdot 10^{-3}$ m/s      | tiszta cement- és cementalapú szuszpenziók      |  |   |                                     |
|                  | homok<br>$5 \cdot 10^{-5} < k < 5 \cdot 10^{-3}$ m/s                  | mikrofinom szuszpenziók, oldatok                |  |   | cementalapú szuszpenziók, habarcsok |
|                  | közepes és finom homok<br>$5 \cdot 10^{-6} < k < 1 \cdot 10^{-4}$ m/s | mikrofinom szuszpenziók, oldatok, vegyi anyagok |  |   |                                     |
| Repedezett kőzet | vetők, törések, karszt<br>$e > 100$ mm                                |   | cementalapú habarcsok és szuszpenziók (agyag töltő-anyaggal) | habarcsok, gyorskötésű cementalapú szuszpenziók, duzzadó poliuretán és hasonló termékek             |                                     |
|                  | törések, repedések<br>$0,1 < e < 100$ mm                              |   | cementalapú és mikrofinom szuszpenziók                       |   |                                     |
|                  | mikrorepedések<br>$e < 0,1$ mm  |   | mikrofinom szuszpenziók, szilikagélek, vegyi anyagok         |   |                                     |
| Üreg             | nagyméretű hézagok  |   |  | cementalapú habarcsok, gyorskötésű cementalapú szuszpenziók, duzzadó poliuretán és hasonló termékek |                                     |

(e = a repedés tágassága)



Az injektálóanyag bejuttatásának módszerét a talajviszonyok, a munka követelményei és a felhasznált injektálóanyag típusa határozza meg. Az alapvető változatok a következők:

- injektálás megtámasztás nélküli furatokból, állékony talaj esetén,
- injektálás visszanyerhető köpenycsővel előállított furatokban előzetesen elhelyezett mandzsettás csöveken keresztül, nem állékony talaj esetén,
- injektálás a fúrórudazaton keresztül, nem állékony talaj esetén, ezt általában előinjektálási fázisnak tekintve, amit az a) vagy b) szerinti injektálás követ,
- tömörítő injektálás, amelyet általában alulról felfelé haladva visszahúzott béléscsőből hajtanak végre.

A 4. táblázat nyújt általános áttekintést a talajban és kőzetben végezhető tevékenységekről, ahol a szakasz egy előre meghatározott injektálási hosszat jelent, amit vagy két pakker, vagy pedig egyetlen pakker és a furat talpa határol.

4. táblázat: Az injektálási eljárások áttekintése

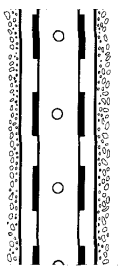
|                                      | Állékony      |   | Nem állékony     |           |   | Talajban         |                     |
|--------------------------------------|---------------|---|------------------|-----------|---|------------------|---------------------|
|                                      | kőzetben      |   |                  |           |   |                  |                     |
|                                      | nyitott furat |   | mandzset-tás cső | fúrószerű |   | mandzset-tás cső | lándzsa vagy bélésű |
| Egyszakaszos injektálás              | X             |   |                  | X         | X |                  | X                   |
| Többszakaszos injektálás             |               |   | X                |           |   | X                |                     |
| Felfelé haladó injektálási szakaszok | X             |   | X                | X         | X | X                | X                   |
| Lefelé haladó injektálási szakaszok  |               | X | X                |           |   | X                | X                   |

Az injektálóanyag a talajba bélésű csövön, ágyazóhabarcsos, perforált csövön vagy mandzsettás csövön keresztül juttatható be.

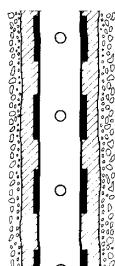
A mandzsettás csővel történő injektálást mutatja a 9. ábra.



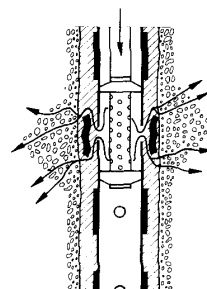
béléscsöves  
fúrás



mandzsettás  
cső  
bevezetése



habarcskitöltés  
és béléscső  
visszahúzás



injektálás a  
bevezetett  
injektálócsővel

### 9. Mandzsettás injektálás



## 5. Jethabarcosítás

A talajok mechanikai tulajdonságainak javítására, ill. az alapozási szerkezetekből származó terhelések fogadására a jet grouting egy széles körben alkalmazott speciális mélyépítési technológia. Az eljárás lényege, melyet a japán Wataru Nakanishi (Nissan Freeze Co.) által bevezetett CCP (Chemical Churning Pile) alapötletből fejlesztettek ki, hogy egy nagy kinetikus energiájú folyadéksugárral a talajt felaprózzuk, és egyben kötőanyaggal összekeverjük. Az eljárás alkalmazása során a helyszínen található talaj szerkezetét szétroncsoljuk és összekeverjük kötőanyaggal annak érdekében, hogy egy kedvező szilárdsági tulajdonságokkal rendelkező, teherbíró anyagot (szilárdított talajoszlopot) kapjunk.

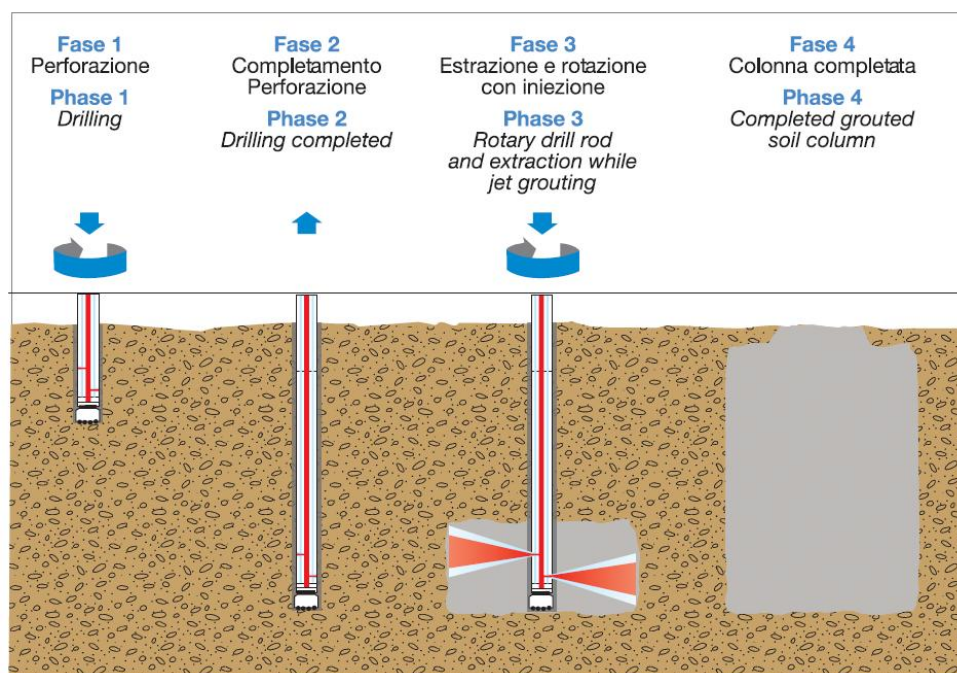
Attól függően, hogy a felaprítást végző folyadék maga a kötőanyag, akkor egyfázisú, ahol erre levegő rásegítés is működik akkor kétfázisú, és ahol az aprítás és szilárdítás elválik egymástól akkor háromfázisú rendszerről beszélünk.

### A jet grouting OSZLOPKÉSZÍTÉS ÁLTALÁNOS ISMERTETÉSE

1 és 2 fázis. Kis átmérőjű (100 – 200 mm) lyukat fúrunk a talajba a megkívánt mélységéig,

3 fázis. A fúrószáron keresztül kötőanyagot injektálunk a talajba 400-500 bar nyomással a fúrórud végén található fúvókákon keresztül a fúró rudazat lassú visszahúzásával és egyidejű forgatásával,

4 fázis. Ezzel hengeres talajhabarcs oszlopot hozunk létre.



10. ábra Jet grouting oszlopkészítés elvi vázlatja



11. ábra. Kibontott jetoszlop

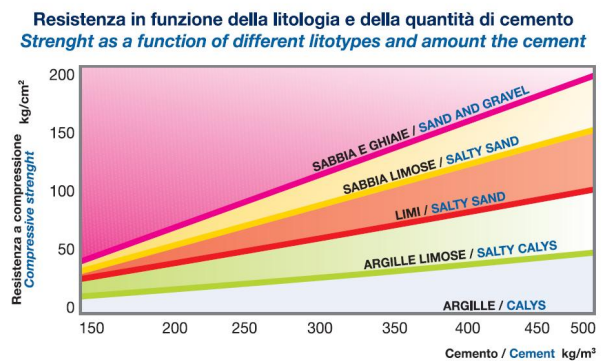
A jet oszlop alakja, mérete, összetétele és szilárdsága függ a helyszínen lévő talaj mechanikai tulajdonságaitól, ugyanígy a bedolgozott kötőanyag típusától, a készítés során alkalmazott áramlási sebességtől, a beállított nyomástól és a fúrószer kihúzási és forgatási jellemzőitől

A teljes géplánc áll egy fúrógépből, lehetőleg átmenő fejjel felszerelve, egy cement vagy kötőanyag silóból, egy jet szivattyúból, valamint egy automata keverőből, amelyhez hozzátartozik egy kiegyenlítő un. puffer tartály is (12. ábra).

Tájékoztató jelleggel a 13. ábra megadja a különböző talajfajták esetén átlagosan jellemző cement felhasználási értékeket. Természetesen a konkrét esetek ettől mindig eltérnek, a technológia szintén nagyban befolyásolja a felhasznált cement mennyiséget, de a grafikon jól mutatja a gazdaságos alkalmazhatóság jellegét.



12. ábra. Keverőtelep



13. ábra. Cementfelhasználás

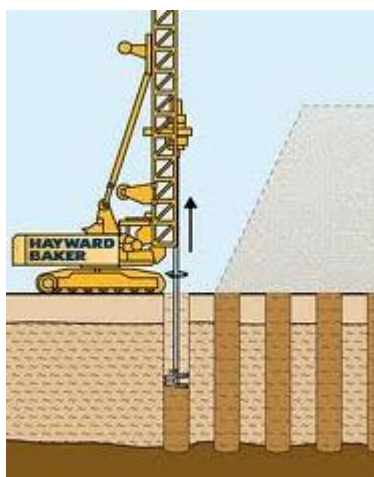


14. ábra. Fúrószer

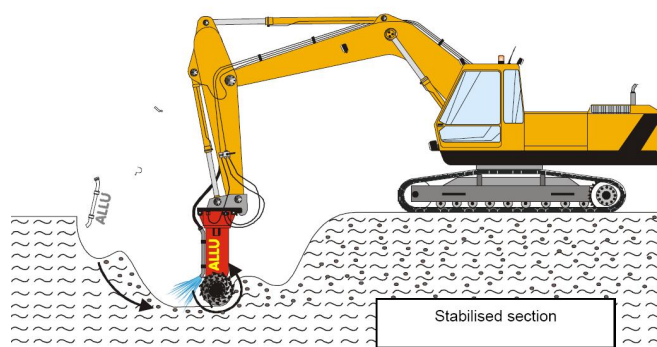
## 6. Mélykeverés

A mélykeverés és a tömegstabilizálás célja a talajjellemzők javítása, azaz a nyírószilárdság növelése s az összenyomhatóság csökkentése azáltal, hogy összekeverik a talajt valamilyen kötőanyaggal, amely reakcióba lép vele. A javítás az agyagásványok felületén lezajló ioncsere, a szemcsék közti kötés és a pórusok kitöltődése révén jön létre.

A mélykeverés kifejlesztése Svédországban és Japánban kezdődött az 1960-as évek vége felé az egyfúrószerű oszlopszerű javítással (15. ábra). Azóta a mélykeverés a világ más részeiben is elterjedt, több új technológiát dolgoztak/dolgoznak ki, amelyek néhány esetben csak a technológia alapgépét jelentő fúrószerű alakjában, illetve a szerszámaiban különböznek, más esetekben pedig az alkalmazott kötőanyag minőségében van eltérés. Az 1. táblázat foglalja össze, hogy mely talajban mely kötőanyag, illetve kötőanyag-keverék bizonyul hatékonyak. A másik, inkább az utóbbi évtizedben terjedő eljárás a tömegstabilizáló keverés, amelyben egy gyenge talajtömeget teljesen átkevernek (16. ábra).



15. ábra. Mélykeverés

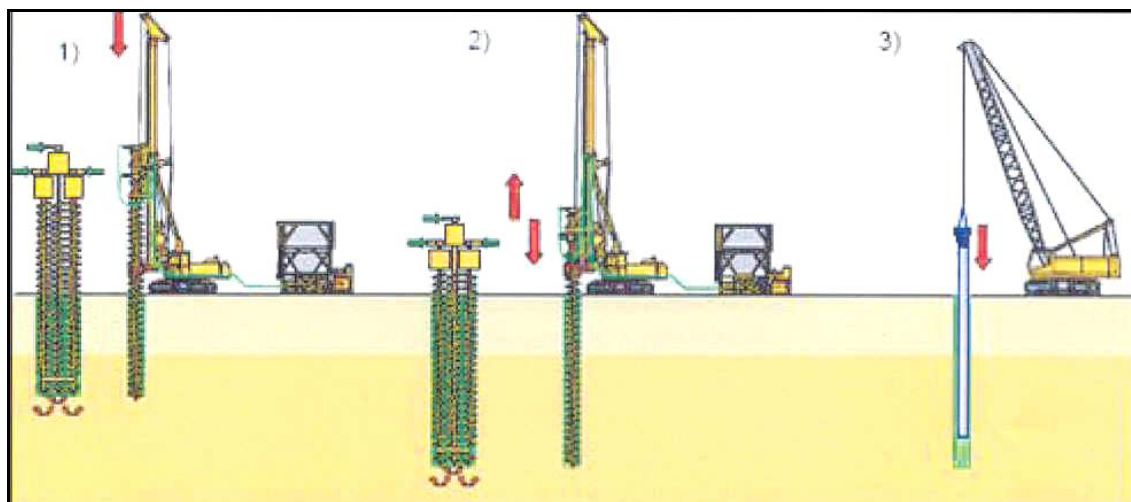


16. ábra. Tömegstabilizálás

A mélykeveréses technológia alkalmazása során gyakorlatilag talajbetont állítanak elő, csak a kötőanyagot nem hidraulikusan (mint a jethabarcosítás esetében), hanem mechanikus energiával viszik be és keverik el a talajjal. Eszköze olyan fúróberendezés, amely 1-6 szárból állhat, s amely(ek)nek a végén egy vagy a szár(ak) mentén több speciális lapát van.

A mélykeverés során miután a fúrószárok elérték a kezelni kívánt mélység alját a száron át cementet vagy cement/mész keveréket engednek le és keverik át a talajjal, majd szakaszosan felhúzza a szárat ezt ismételtetik. A mélykeverésre többféle eljárást, berendezést fejlesztettek ki. A technológiai folyamatot a 17. ábra érzékelteti.





17. ábra: Technológiai folyamat

Kétféle eljárás ismert, a száraz és a nedves keverés.

A száraz eljárás keretében puha agyagokhoz leggyakrabban (égetett) meszet, vagy száraz mész/cement keveréket, laza homokokhoz cementport kevernek általában egyetlen forgó rúd, illetve annak végén elhelyezkedő egyetlen lapát segítségével. A mész és a cement mellett használnak kohósalakot és gipszet is. Száraz eljárással 0,5-1,2 m átmérőjű, 15-25 m mélységű oszlopok készíthetők. A szükséges kötőanyag mennyisége függ a kezelt talaj paramétereitől és a projekt elvárásaitól. A tipikus kötőanyag mennyiség  $80-200 \text{ kg/m}^3$ . A stabilizált talaj szilárdsága általában  $100-200 \text{ kPa}$  között változik. Ez az eljárás elsősorban a skandináv országokban népszerű, s számos projektben alkalmazták sikeresen.

A nedves eljárásban általában  $0,6-2,5$  víz/cement-tényezőjű cementszuszpenziót kevernek a talajba egy- vagy több rudazatú géppel, melyeknek vagy a végén van egyetlen lapát, vagy a szárazon több lapát sorakozik, ami akár folytonos spirál is lehet. Az eljárással merev oszlopokat, illetve falakat lehet előállítani, melyek hasonlóan viselkednek, mint „hagyományos” betoncölöpök, illetve betonfalak. Szükség esetén a vasalásukra is van lehetőség, utólag idomacél sülyeszthető beléjük. Az évek során többféle célgépet alkottak az eljárás megvalósítására, amelyekre a különböző mozaikszavakat alkották: MIP (Mixed-In-Place), COLMIX, TURBOJET, FMI (Fräs-Misch-Injektions-verfahren).

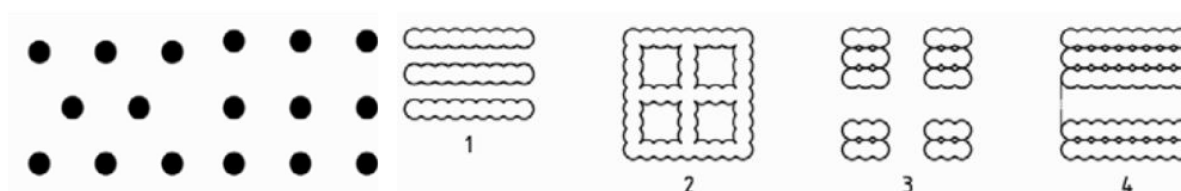
A mélykeverés céljától függően a kezelési pontok sokféle elrendezése lehet indokolt (18. ábra). Az egyedi oszlopokkal akkor dolgoznak, ha az elsődleges cél a sülyedések csökkentése, és a stabilitás növelése másodlagos. Oszlop csoportokat főleg töltések és épületalapok sülyedésének csökkentésére és a teherbírásuk növelésére használják. Az oszlop csoportok, melyekben az oszlopok vagy összeérnek, vagy egymásba metsződnek, lehet rácsszerű, U-alakú és kör alakú. Tömbszerű kiosztás, ami stabilitási célt szolgálhat akkor kell készíteni, ha nagy talajzónát kívánnak jelentősen megszilárdítani.

A tömegstabilizálást Európában döntően az északi országokban (Finnország, Norvégia, Anglia) használják olyan puha agyagok és szerves talajok (tőzeg) javítására, melyek nyírószilárdsága nem haladja meg a 25 kPa-t, azonban kikötői és egyéb ipari iszapok stabilizálása céljából a világ számos pontján (Spanyolország, Törökország, Mexikó), valamint hazánkban is alkalmazták már. A tömegstabilizálás során a talaj felső 2-8 m vastag részét kezelik. Egy „hagyományos” kotróra szerelt speciális keverőfejet süllyesztenek a talajba, majd egy pneumatikus adagolóval kötőanyagot juttatnak a keverőfejbe. A fej folyamatos függőleges és vízszintes mozgásával többé-kevésbé homogén, kezelt talajtömb állítható elő.

Elsősorban mész és cement kötőanyagot használnak (5. táblázat), de minden olyan anyag felhasználható, mely a száraz mélykeveréses eljárásban szokásos (erőművi pernye, gipsz stb.). A kötőanyag szokásos mennyisége 100-250 kg/m<sup>3</sup>. Az egy „fogásban” stabilizált terület nagysága függ a kotró és a keverőfej típusától, illetve a talaj fajtájától, állapotától, de általában 15-50 m<sup>2</sup> között változik. Egy műszak alatt akár 200-300 m<sup>3</sup> talajtömeg is kezelhető.

5. táblázat. A kötőanyag kiválasztása a talajtípus függvényében

| kötőanyag                       | iszap    | agyag                 | gyttja/sár,<br>szerves agyag | tőzeg  |
|---------------------------------|----------|-----------------------|------------------------------|--------|
| cement                          | ++       | +/(+)                 | +/(+)                        | ++/+++ |
| cement+gipsz                    | +        | +                     | ++                           | ++     |
| cement+salak                    | ++/++(+) | ++/++(+)              | ++                           | ++/+++ |
| mész+cement                     | ++       | ++                    | +                            | -      |
| mész+gipsz                      | ++       | ++                    | ++                           | -      |
| mész+salak                      | +        | +                     | +                            | -      |
| mész+gipsz+salak                | ++       | ++                    | ++                           | -      |
| mész+gipsz+cement               | ++       | ++                    | ++/++(+)                     | -      |
| mész                            | -        | +++                   | -                            | -      |
| +++ legtöbbször nagyon hatékony |          | ++ többnyire hatékony |                              |        |
| + néhány esetben hatékony       |          | - nem használható     |                              |        |

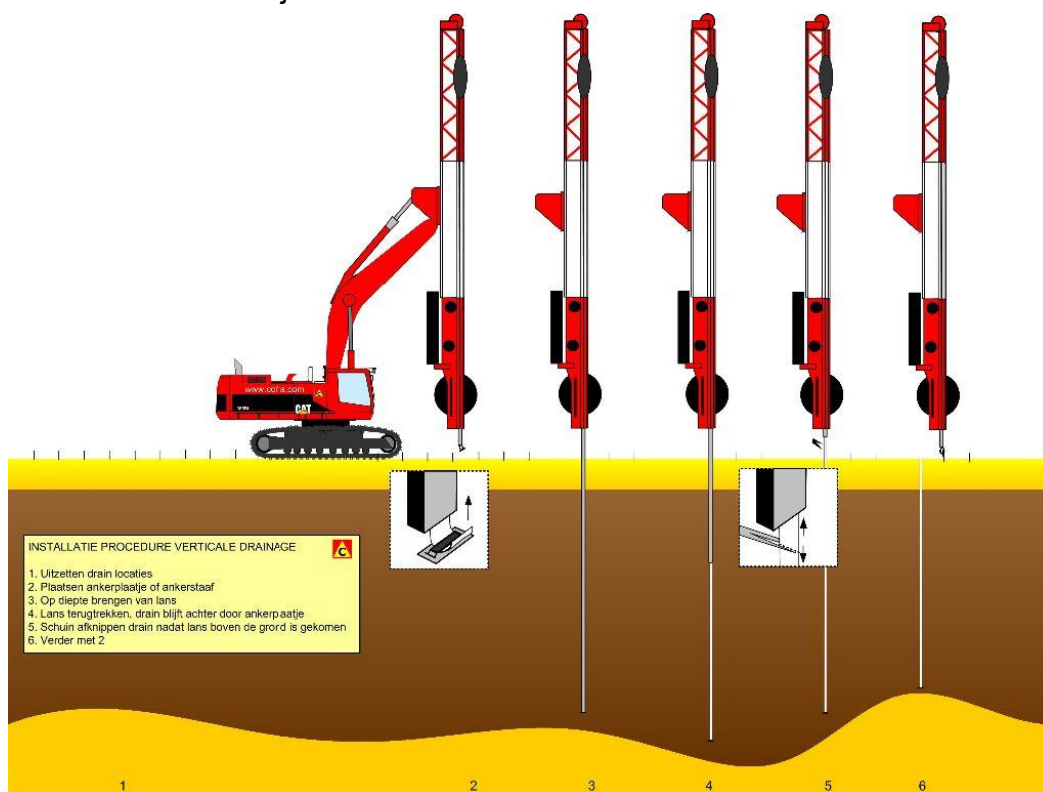


18. ábra: Mélykeveréses talajkezelések tipikus kiosztása.

## 7. Függőleges szalagdrénezés

Az észak-európai országokban már nagyon régóta alkalmazzák a függőleges szalagdréneket. A nagyon kis áteresztőképességű agyagokban azt teszik lehetővé, hogy a víznek a terhelés hatására e talajokban nem függőlegesen kell nagy utat megtéve kiáramolnia, hanem csak a legközelebbi drénig kell lassan elszivárognia, onnan a drén gyorsan tovább vezeti. Ezzel a konszolidációs időt rövidítik le. Gyakran kombinálják többletterheléssel, illetve újabban a földanyag behordásával nehezkesebben előállítható terhelés helyett vákuummal biztosítják a terhelést.

Leggyakrabban műanyag szalagdréneket szokás telepíteni, melyek bordás műanyaglemezből vagy összepréselt műanyag szálak gombolyagából készülő, távtartást és a vízmozgás keresztmetszetét biztosító magból, valamint az ezt körülvevő, nemszőtt geotextiliából álló szűrőköpenyből állnak. A szalagok vagy a préselt gomolyag felületképzése biztosítja a vízvezetőképességet és a mechanikai ellenállást. A drének keresztmetszete leginkább téglalap alakú, szélessége általában 100, vastagsága 5-10 mm, s tekercsekben szállítják.



19. ábra Függőleges szalagdrén lefűzése

A függőleges dréneket olyan berendezéssel kell beépíteni, amely a legkisebb károsodást okozza a munkaszinten és az altalajban. A legalkalmasabbak erre a feladatra az állandó sebességű nyomással operáló berendezések. Vibrátorok, vagy verőberendezések alkalmazása nem ajánlatos, mert a vibráció és más dinamikus hatások szétroncsolják a drén környezetében a kötött talaj szerkezetét, csökkentve ezáltal annak nyírószilárdságát, s esetleg az áteresztőképességét is. Az öblítéssel

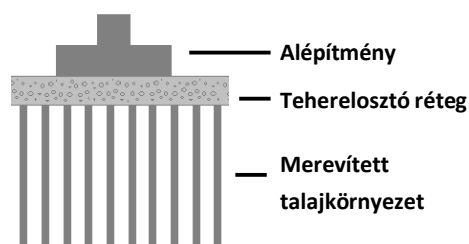
technika szintén nem javasolt. A függőleges dréneket befűző-, vagy megvezető túske segítségével kell keresztüljuttatni az összenyomódó rétegen a szükséges mélységig állandó teher, vagy állandó behatolási sebesség biztosításával (19. ábra). A drénszalagot az alsó végén kis horgonylemezzel vagy rúddal látják el, hogy a drén a kívánt mélységben maradjon a lefűző túske visszahúzása közben is. A letűzés során fokozottan figyelni kell a függőlegestől való eltérésre, a megengedett eltérés 2%.

A szalagdrének fölé a drénekből kinyomódó víz elvezetésére legalább 0,5 m vastag szivárgó-paplant kell építeni, melybe a szalagdréneket min. 25 cm hosszan be kell kötni. A szivárgópaplan alá sokszor egy réteg szűrő/elválasztó funkciójú geotextíliát is fektetnek a szivárgótest eltömődésének megakadályozására.

A függőleges szalagdrénezést akkor célszerű tervezni, ha elsősorban a konszolidáció elhúzódnása és nem a süllyedések nagysága, illetve a teherbírás a kritikus.

## 8. Rigid inclusion

A Rigid Inclusion talajszilárdítási rendszert speciálisan a gyenge és szerves anyagokat tartalmazó talajok teherbírásának növelésére és a süllyedések korlátozására fejlesztették ki. Kiemelten jól alkalmazható módszer nagy megoszló terhelésű szerkezetek (pl. silók, ipari tartályok) esetén, ahol az alapozásról a talajra ható vízszintes erők és húzóerők nem jellemzőek, vagy elhanyagolhatóak. A rendszer alapvetően négyszög vagy háromszög hálósan kiosztott, függőleges merevítő elemekből és szemcsés anyagú teherelosztó rétegből áll, mely együttesen alkotja a talaj kezelése után a kontrollált összenyomódású, merevített talajkörnyezetet.



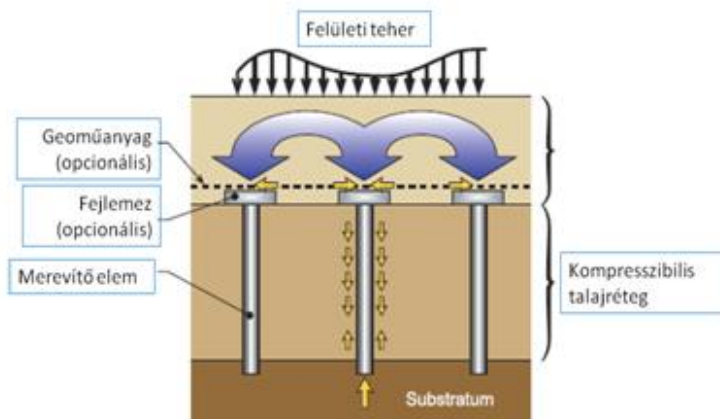
20.ábra: A rendszer általános kialakítása

A működési modell szerint a teherelosztó rétegben átboltozódás alakul ki, és mivel a merevítő elemek számottevően magasabb szilárdsággal és merevséggel rendelkeznek a környező talajhoz képest, átterhelődik rájuk az igénybevétel arányosan nagyobb része, ugyanakkor az erősített talajkörnyezet is részt vesz a teherviselésben. A merevítő elemek talajkiszorításos fúrási vagy verési, illetve talajkeveréses eljárással készülnek, és megfelelő vendéganyagot használva (ez lehet acél, beton, habarcs, talajhabarcs, stabilizált talajkeverék vagy éppen fa is) javítjuk a közvetlen talajkörnyezet teherbírasi tulajdonságait. Előnyei a fenti anyagok használatának a kontrollált, jól ellenőrizhető anyagminőség, illetve a kívánt talajjavítási aránnyal való megbízható összehangolás lehetősége. A merevítő elemek jellemzően kis átmérőjűek a járatos cölöpátmérőkhöz képest, maximum 50-60cm, és egymáshoz mért tengelytávolságuk, a teherelosztó réteg felső síkján esetleg megjelenő egyenlőtlen süllyedések elkerülése érdekében, nem haladja meg a 3 métert.

A jellemzően nagy nyírószilárdsággal (belső súrlódási szög  $>35^\circ$ ) rendelkező, szemcsés (zúzottkő vagy folyami kavics) anyagú, vagy hidraulikus kötőanyagú talajkeveréssel szilárdított, méretezett teherelosztó rétegbe szükség szerint készíthető fejlemez, illetve geoműanyag erősítés is. A réteg felső síkjára kerül a síkalapozás vagy a töltéstest rétegtrendje, mint felületi terhelés. A Rigid Inclusion talajszilárdítás használata többek között lehetővé teszi egyszerűbb síkalapok és alépítmények alkalmazhatóságát, gazdaságos, gyors, környezetbarát kivitelezést tesz lehetővé, továbbá célja, hogy a



felszíni terheléseket a gyenge, összenyomható rétegek nem kívánt süllyedéseit kiküszöbölve közvetítse.



21. ábra: A teherviselés elvi sémája

Fokozott süllyedésmentességi követelmények esetén különösen alkalmas a szerkezet használhatóságát veszélyeztető egyenlőtlen süllyedések kiegyenlítésére; az abszolút süllyedések csökkentésére, kis teherbírású felszínközeli talajrétegek jelenlétében; a szeizmikus hatásból származó elmozdulások (és igénybevételek) korlátozására.

## 9. Meszes-cementes talajkezelés

A felszíni talajkezeléssel a felső talajréteg tulajdonságait módosítjuk oly módon, hogy az megfeleljen a tervekben található vagy a műszaki megfontolásokból szükséges kritériumoknak. A felszíni talajkezelés mellett épített töltések esetén az egyes talajrétegek is kezelhetők, aminek segítségével meredekebb rézsűhajlás, erózióval szemben ellenálló töltés építhető ki. A talajkezelés során a talajt valamilyen típusú kötőanyaggal keverjük össze. A keverés elviekben bármilyen technológiával elvégezhető, ami kellően jól fel tudja aprítani a talajt kis részekre, majd azt a kötőanyaggal homogénebben összekeverni.

Ezt a folyamatot leghatékonyabban az önjáró remix gépek tudják elvégezni (1. kép), amik önsúlyuk és a nagy teljesítményű hajtásuknak köszönhetően akár 50cm vastagságban képesek egy munkafázis során a talajt feltörni, aprítani és a kötőanyaggal összekeverni. Korábban nem álltak rendelkezésre ilyen teljesítményű gépek, ezért a talaj



feltörését egy megelőző munkafolyamatban ekével vagy feltépő fogazattal végezték, majd a keverést szintén ekével vagy kis teljesítményű talajmaróval végezték el. Annak ellenére, hogy a talaj feltörését egy másik gép végezte, az összekeverés során akár többször is át kellett mennie a gépnek a területen, hogy a talajt kellően felaprózza és homogén keveréket képezzen.

Amennyiben 50cm-nél vastagabb talajréteg kezelése szükséges, úgy a talajt ki kell emelni a kívánt síkig, majd onnan lefelé számított legalsó 50cm vastag réteget összekeverni a kötőanyaggal, ezt követően pedig 50cm vastagságú rétegek visszaterítésével és kezelésével lehetséges visszaépíteni a talajt. Azonban ilyen módszerrel legfeljebb 1,5-2,0m vastagságú talajréteg kezelése javasolt, annál vastagabb vagy mélyebb rétegek kezelését már más technológiával célszerű végezni. Ha lefelé nem is javasolt nagy vastagságú rétegek kezelése, töltésépítésnél, ahol a rétegek behordása amúgy is 30-50cm-ként történik jól alkalmazható technológia a beépítésre nem alkalmas talajok földműanyagként való hasznosítására.

A felszíni talajkezelés során külön választjuk a talaj-javítás és talaj-stabilizáció fogalmát. A talaj-javítás során a talaj tulajdonságainak megváltoztatása nem feltétlenül garantált hosszú távon. Azt gyakran csak azért végezzük, hogy a talaj tulajdonságait gyorsan és rövid távon megváltoztassuk, hogy az a kívánt célnak megfeleljen. Ennek talán leggyakoribb módja a talaj szárítása, amikor a nedves talaj a magas víztartalom miatt nem tömöríthető be a kívánt tömörségre. A talaj néhány százalék őrölt, égetett mészhozzáadásával hatékonyan szárítható. Probléma lehet a talaj felaprózása is, ami szintén

fontos a tömörítés elvégzéséhez. Ekkor szintén 1-3% őrölt égetett mész adhat jó megoldást.

A talaj-stabilizációk készítése során a talaj tulajdonságait hosszú távon is megváltoztatjuk, ennek köszönhetően új, a korábbinál kedvezőbb anyagot hozunk létre. A talajstabilizáció hatására megszüntethető a talajok térfogatváltozási hajlama, teherbírásuk vízzel és fagyhatásokkal szemben tartós marad. A talajok nyírószilárdsága megnő, így a stabilizált talajból nagy teherbírású rétegek vagy akár meredekebb rézsűk alakíthatóak ki.

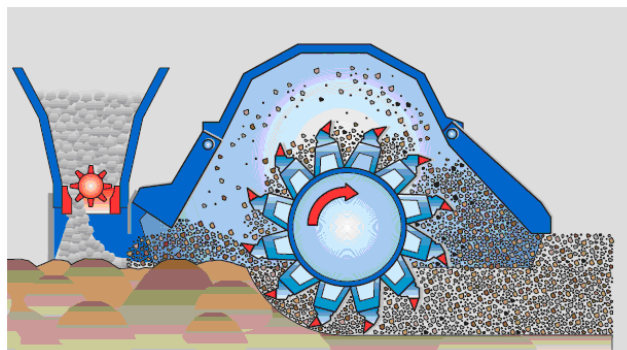
A talaj-javítás és talaj-stabilizáció során alkalmazott technológiai folyamatok megegyeznek. A terület előkészítése során tereprendezést kell végezni. Felszíni rétegek kezelése során a humuszos, szerves feltalajt el kell távolítani, majd a terület gréderrel  $\pm 2\text{cm}$  szintre kell rendezni. A terület síkra rendezése azért fontos, hogy a kezelt talajréteg vastagsága a végső állapotban mindenhol azonos legyen.

Az előkészített felületre történhet a kötőanyag kiszórása szórógéppel (2. kép). A manapság használatos szórógépek már számítógéppel vezéreltek, aminek köszönhetően a tervezett kötőanyag mennyiség pontosan és viszonylag pormentesen szórható ki a területre. Ennek ellenére a minősítés és a munka kontrollja miatt a kiszórt anyag mennyiségét meghatározott egységenként mérőtálcával szükséges ellenőrizni.



A kiszórást követően a remix gép összekeveri a talajt a kötőanyaggal. A remixálás során

a gép sebességét, illetve a keverődob fordulatszámát oly módon kell beállítani, hogy a talaj minél kisebb darabokra legyen feldarálva. Amennyiben az első keverést követően a talajdarabok nagysága meghaladja a  $\sim 2,5\text{cm}$ -t, úgy a remixálást többször el kell végezni. A remix gépek keverődobja a menetiránnyal

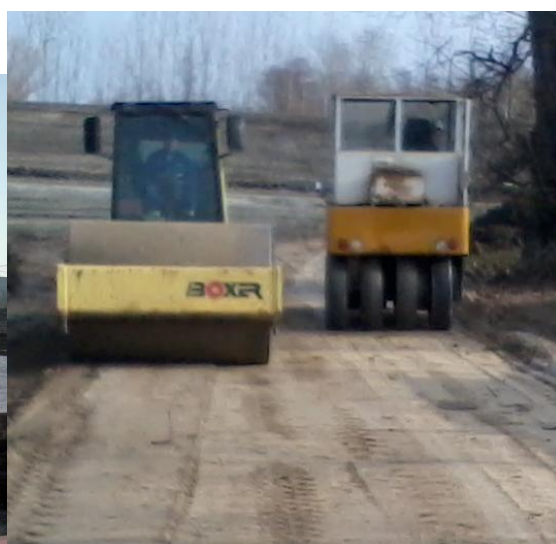


ellentétesen forog (3. kép), így a talajszemcséket a dobban feldobva és megperdítve a kötőanyaggal való homogénebb elkeverés biztosítható. A modern gépek keverődobjaiba a kötőanyag közvetlenül is beköthető, így a szélfújás okozta kötőanyag csökkenés, illetve por elkerülhető.

A kötőanyag mellett az új keverődobokba már víz is beköthető, így a keverék optimális víztartalmának beállítása könnyen és egyszerűen végezhető el. Ebben az esetben a remix gép előtt egy tartálykocsiból történik a víz keverődobba történő bejuttatása (4. kép).



A talaj és kötőanyag összekeverését követően előtömörítést kell végezni, aminek lényege, hogy a talajszemcséket és a kötőanyag szemcséket még közelebb nyomjuk egymáshoz, így segítve a kémiai folyamatok kialakulását. Az előtömörítést követően profilozás, majd a tömörítés készül. Cementes vagy más kötőanyagok esetében az előtömörítés és a végső tömörítés között nem szükséges technológiai szünetet tartani, azok közvetlen egymást követően elkészülhetnek. Őrölt, égetett mész esetén azonban az előtömörítést követően ~90 perc technológiai szünetet kell hagyni, ami a mész oltódásához szükséges. A mész oltódása háromszoros térfogatnövekedéssel jár, ami a tömörített földművet fellazítaná, ezért a végső tömörítést csak az oltódást követően lehet csak elvégezni. A profilozás minden esetben gréderrel történik, a tömörítést kizárólag nagy tömegű hengerrel (>16t) javasolt elvégezni. A hengerezés több típusú henger használatával javasolt, míg a tömörítést juhláb-henger vagy kombinált-henger végzi, addig a felületzárást gumikerekű-hengerrel kell végezni.



A hengerezést követően locsolással utókezelést kell végezni. Az utókezelés időtartama általában 3 nap. Az utókezelés célja a felület nedvesen tartása, megakadályozva ezzel a felület repedezését, valamint kellő mennyiségű nedvességet biztosítani a kezelés során létrejövő kémiai folyamatokhoz.