



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
**Geotechnikai Tanszék**

## **ALAPOZÁS**

**BSc képzés**

Készítette

Dr. Farkas József  
Józsa Vendel

2014.05.26.

# Tartalomjegyzék

<b>Előszó</b> .....	<b>5</b>
<b>1 BEVEZETÉS</b> .....	<b>6</b>
1.1 Az alapozás szerepe, feladata.....	6
1.2 Az alapok sajátosságai.....	6
<b>2 TALAJFELDERÍTÉS</b> .....	<b>8</b>
2.1 A talajfelderítés módszerei.....	8
2.1.1 Nyílt feltárás kutatógödörrel, aknával.....	8
2.1.2 Talajfeltárás fúrással.....	9
2.1.3 Próbatétel.....	10
2.1.4 Szondázás.....	11
2.1.5 Geofizikai talajfelderítés.....	13
2.2 A talajvíz felderítése.....	16
2.3 A talajfelderítés szükséges mértéke.....	18
<b>3 SÍKALAPOK</b> .....	<b>21</b>
3.1 Síkalapok fajtái, szerkezete.....	21
3.1.1 Sávalapok.....	21
3.1.2 Pillér (tömb) alapok.....	22
3.1.3 Szalag (talpgerenda) alapok.....	23
3.1.4 Gerendarács - alap.....	24
3.1.5 Lemezalapok.....	24
3.1.6 Doboalapok.....	24
3.1.7 Héjalapok.....	25
3.2 Síkalapok tervezésének menete.....	25
3.2.1 Az alapozási sík felvétele.....	25
3.2.2 Az alapfelület méretezése a teherbírás alapján.....	26
3.2.3 Teherbírás számítás az MSZ EN 1997-1:2006 szerint.....	28
3.2.4 Síkalapok magassági méretezése.....	29
3.2.5 Szalag (talpgerenda) alapok méretezése.....	31
3.2.6 Rugalmasan ágyazott alapok méretezése.....	31
3.3 Süllyedések.....	33
3.3.1 A süllyedés összetevői és időbeli alakulásuk.....	33
3.3.2 Süllyedésszámítás.....	35
3.3.3 A feszültségek közelítő számítása.....	39

3.3.4	Az építmények süllyedéstűrése .....	44
3.3.5	Egyenlőtlen süllyedések okai .....	47
3.3.6	Süllyedések mérése .....	48
3.3.7	Védekezés káros süllyedések ellen .....	50
3.4	Síkalapok stabilitása.....	57
3.4.1	Elesúszási biztonság.....	57
3.4.2	Felúszási biztonság és tönkremenetel .....	60
3.5	Síkalapokat érő hatások .....	62
3.5.1	Dinamikus hatások.....	62
3.5.2	Földalatti üregnyitás hatása .....	64
3.5.3	Talajvíz kimosó hatása.....	65
3.5.4	Fagyhatás hűtőházaknál.....	65
3.6	Alapozás kedvezőtlen altalajon.....	65
3.6.1	Alapozás térfogatváltozó talajon .....	65
3.6.2	Alapozás roskadékony talajon.....	67
3.6.3	Alapozás feltöltésen .....	68
3.6.4	Alapozás szerves talajon.....	69
<b>4</b>	<b>MÉLYALAPOK.....</b>	<b>71</b>
4.1	Cölöpalapok .....	71
4.1.1	Cölöpök csoportosítása.....	71
4.1.2	Előregyártott cölöpök.....	72
4.1.3	Előregyártott cölöpök talajba juttatása.....	73
4.1.4	Helyszínen készített cölöpök .....	73
4.1.5	Cölöpalapok tervezése .....	75
4.1.6	Cölöpök várható teherbírásának meghatározása.....	75
4.2	Résfalas alapozás .....	76
4.3	Kút- és szekrényalapok.....	78
<b>5</b>	<b>ALAPOK ÉPÍTÉSE.....</b>	<b>80</b>
5.1	Munkagödör határolások.....	80
5.1.1	Rézsűs kialakítás .....	80
5.1.2	Munkagödör dúcolása.....	80
5.1.3	A munkagödör körülzárása szádfalakkal .....	84
5.1.4	Kihorgonyzások .....	86
5.1.5	Munkagödör-határolás résfallal.....	90
5.1.6	Munkagödör-határolás talajszegezéssel.....	92

5.2	Munkagödrök víztelenítése .....	94
5.2.1	Nyíltvíz-tartás .....	94
5.2.2	Talajvízszint-süllyesztés .....	96
<b>6</b>	<b>Irodalomjegyzék.....</b>	<b>101</b>
<b>7</b>	<b>Ábrajegyzék .....</b>	<b>101</b>

## **Előszó**

Ezen „Alapozás” jegyzet célja az, hogy az előadásokon „megszokott” írásos rögzítés ne vonja el a figyelmet a lényegről, a megértéstől, az elhangzó példák átélésétől; vagyis az előadások a lexikális tudás átadásán kívül a szakmai érzék kialakulását, a szakmaszeretet parázsának fellobbbanását is szolgálhassák.

A jegyzet összeállításánál elsősorban az építőmérnök oktatásunk igényeit tartottuk szem előtt. A „non scholae, sed vitae discimus” (nem az iskolának, hanem az életnek tanulunk) elv inkább az előadásokon érvényesüljön!

Az építmények alapozásának széles tárgyköre, az elsajátítandó tananyag sokrétősége miatt egyes kérdéseket csak alapvető módon, sokszor meglehetősen felszínesen, keretszerűen tárgyaljuk.

A jegyzetbe tehát vázaltszerűen az a lényeg lett beszorítva, amit minden építőmérnöknek illik tudni a szakma gyakorlása során.

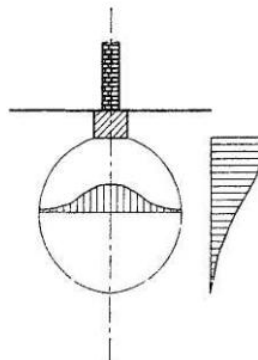
Budapest, 2013. október 25.

Dr. Farkas József  
és  
Józsa Vendel

# 1 BEVEZETÉS

## 1.1 Az alapozás szerepe, feladata

Minden építmény az önsúlyát és a rájutó terheléseket az altalajnak adja át, s állékonysága, valamint tartóssága jórészt attól függ, hogy sikerült-e az építmény és a talaj közötti kapcsolatot helyesen kialakítani. Az építmény, illetve annak alapozása az altalajban **feszültségeket** (1. ábra) és alakváltozásokat ébreszt. A talaj összenyomódik, az alaptest süllyed. Az egyenlőtlen süllyedések a felszerkezetben erőket, feszültségeket idéznek elő, aminek következtében a szerkezet megrepedhet, képlékeny állapotba kerülhet, s rendeltetését nem tudja betölteni. Szélsőséges esetben az alap alatti talajban - túlterhelés miatt - törés is bekövetkezhet. Számos hazai és külföldi esetet lehetne említeni különböző történelmi korokból, amikor az építmény és a talaj közötti kapcsolatot nem tervezték meg helyesen (pl. pisai ferdetorony, transconai siló, nagykanizsai sör erjesztőtartályok, stb). Az **alapok** az építményeknek - általában a terepszint alatti - teherhordó, illetve teherközvetítő szerkezeti részei, amelyek a talajra továbbítják a létesítmények terheit.



1. ábra: Az alap alatti talajban keletkező feszültségek.

Az **alapozás feladata**: a terhek károsodás nélküli átadása az altalajra.

Az alapok lehetnek sík - vagy mélyalapok; illetve beszélhetünk átmeneti megoldásokról is. Az **alapozás módja** függ:

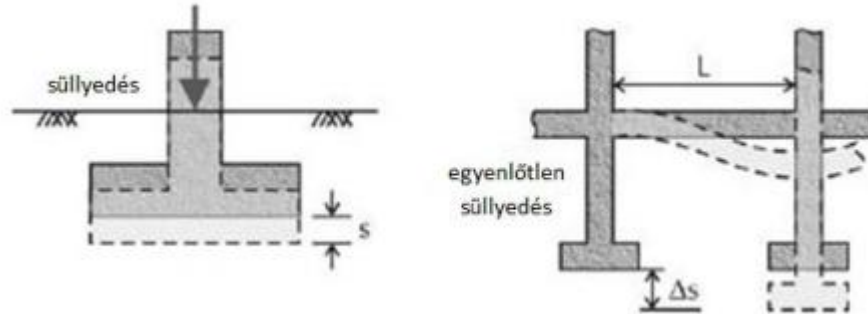
- az altalajtól;
- a talajvíztől;
- a szomszédos építményektől;
- az építmény szerkezetétől;
- a hőmérsékleti hatásoktól;
- a kivitelezés körülményeitől.

## 1.2 Az alapok sajátosságai

Az alapok méretezésénél a következőkben felsorolt határállapotokat kell vizsgálni:

- az általános állékonyság elvesztése,
- az alap alatti talajtörés, átfúródás, kipréselődés,
- tönkremenetel elcsúszás miatt,
- a tartószerkezet és az altalaj együttes tönkremenetele,

- a tartószerkezet tönkremenetele az alap mozgása miatt,
- túlzottan nagy süllyedések (2. ábra),
- túlzottan nagy megemelkedés duzzadás, fagy vagy más okok miatt,
- elfogadhatatlan mértékű rezgések.
- egyszerű, gyors (gépesített), gazdaságos legyen.



**2. ábra: Alaptest süllyedése és süllyedéskülönbsége**

Sajátos épületrész az alap, mert:

- nehezen tipizálható;
- terepszint alatt, rossz körülmények között épül;
- nehezen javítható;
- alapozási hiba az egész építményt veszélyezteti.

## 2 TALAJFELDERÍTÉS

**Célja** az altalaj rétegződésének, a rétegek anyagának meghatározása a legmegfelelőbb alapozási mód kiválasztásához. Műszaki és gazdaságossági szempontból is fontos. A talajfeltárást megelőzően a mérnöknek az építési területet szemrevételezni kell.

### 2.1 A talajfelderítés módszerei

A talaj tulajdonságainak felderítésére **közvetlen** és **közvetett** módszerek vannak. A közvetlen módszerek feltárják az altalajt, talajmintát vesznek, s az egyes rétegek anyagát közvetlen szemlélettel minősítik. Ezeket a módszereket gyűjtőnéven **talajfeltárásnak** nevezzük.

A **közvetlen** felderítés történhet:

- kutatógödörrel;
- fúrással.

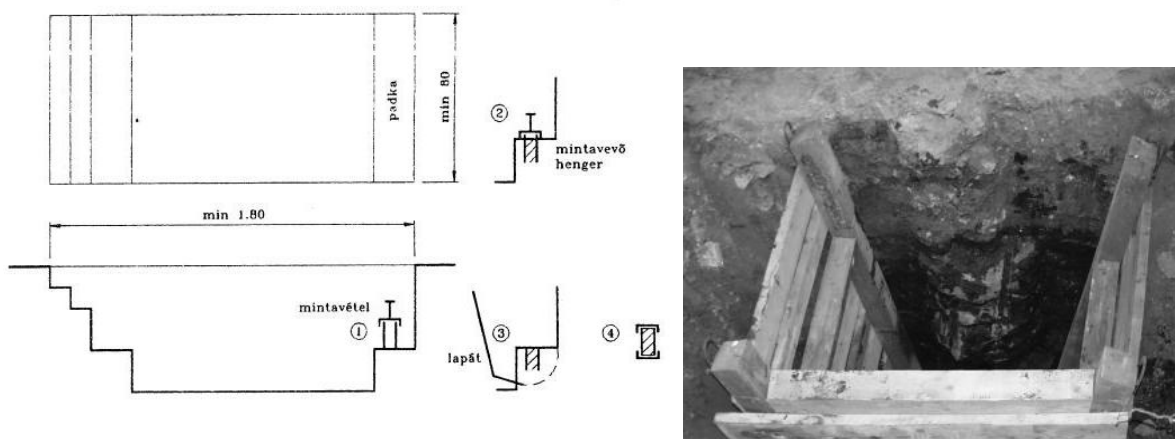
A közvetett módszerek nem tárják fel a talajt, nem vesznek talajmintát, hanem közvetett úton, pl. a talaj elektromos ellenállásából vagy a behatolási ellenállásból következtetnek az altalaj tulajdonságaira, várható viselkedésére.

A **közvetett** felderítés történhet:

- próbaterheléssel;
- szondázással;
- geofizikai módszerekkel.

#### 2.1.1 Nyílt feltárás kutatógödörrel, aknával

Valamennyi módszer közül ez (3. ábra) a legmegbízhatóbb. Szemlélhető a rétegződés, könnyű a mintavétel.



3. ábra Talajmintavétel kutatógödörből

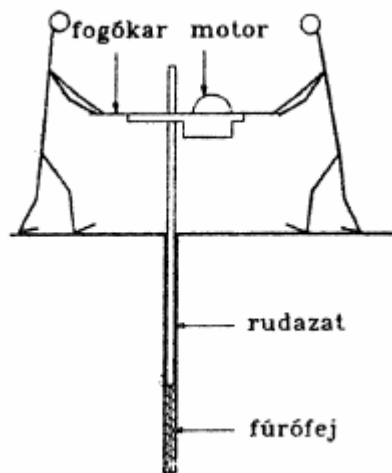
Viszonylag kis mélységig gazdaságos. Csak a talajvíz szintjéig alkalmazható. Szükség esetén - a baleseti veszély miatt is - dúcolni kell, nehogy a földfalak beomoljanak. Ez a módszer használatos meglévő épületek alapfeltárásánál is (pl. emeletráépítés tervezésekor, károsodás vizsgálatokor).



## 2.1.2 Talajfeltárás fúrással

Ez a leggyakoribb. Csaknem tetszőleges mélységig alkalmazható. Lyukat fúrunk, és az onnan kiemelt mintákat vizsgáljuk laboratóriumban.

**Kis átmérőjű** ( $\Phi$ : 35-75 mm) fúrók (házánkban a Borro típusú fúró a leggyakoribb<sup>1</sup>) rendszerint béléscső nélkül használatosak (4. ábra) max. 10-12 m mélységig. (Kavicsban, kemény agyagban nem alkalmas.)



4. ábra: Kézi, motoros fúróberendezés vázlata

Részletes laboratóriumi vizsgálat céljaira **nagy átmérőjű** ( $\Phi$ : 100-300 mm) fúrókat kell alkalmazni; esetenként (hídpillér, metróalagút, stb.) 50-80 m mélységig. A fúrás a rudazaton lévő fúrófejjel történik. A rudazat tartását általában gépkocsira szerelt fúróállvány vagy fúrótorony teszi lehetővé. Száraz - és öblítéses (vízzel vagy fúróiszappal) technológiák alkalmazhatók.

Fúrófej típusok (5. ábra):

- spirál-fúró (kötött talajok);
- csiga-fúró (kötött talajok);
- tányér-fúró (plasztikus, kötött talaj);
- kanál-fúró (laza, puha talajok);
- korona-fúró (kőzet magszerű kivételére);
- véső-fúró (homokkő, sziklabetelepülés áttörésére).

<sup>1</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=5nMkT3eZlqU>

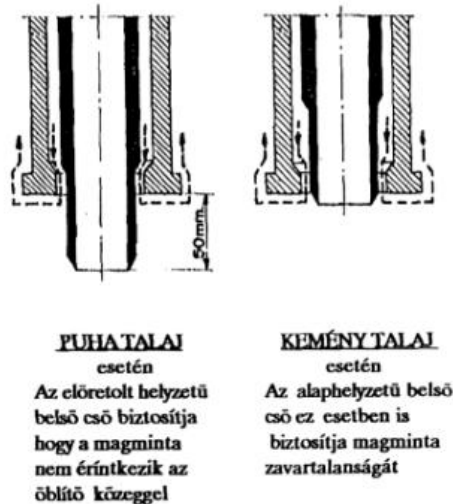


5. ábra: Fúrófej típusok

A talajvizsgálatok elvégzéséhez, a rétegek azonosításához talajmintákat kell venni a fúrásokból (6. ábra). A **mintavétel** módját, sűrűségét, mélységét, az alapozás felelős tervezője vagy a vizsgálatokat végző mérnök írja elő.

Vehetünk:

- zavart;
- víztartalom;
- zavartalan mintákat.



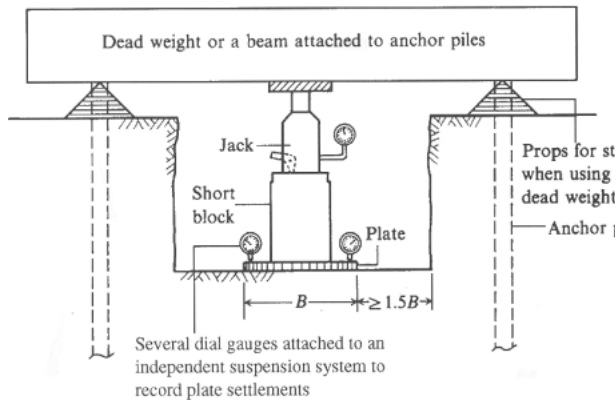
6. ábra: MAZIER magmintavevő

### 2.1.3 Próbaterhelés

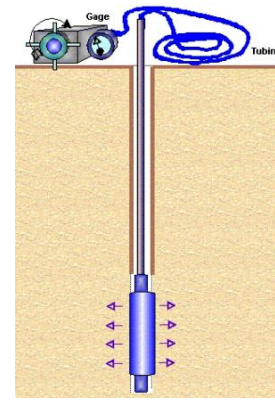
Az altalaj teherbírásának és összenyomódásának helyszíni meghatározására szolgáló próbaterhelések módjai:

- Felszíni próbaterhelés (7. ábra);
- Aknás - árasztásos - próbaterhelés;
- Fúrólukban történő vízszintes próbaterhelés (8. ábra);
- Cölöp-és résfal próbaterhelés<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=9XWYS7v18vo>



7. ábra: Felszíni próbaterhelés



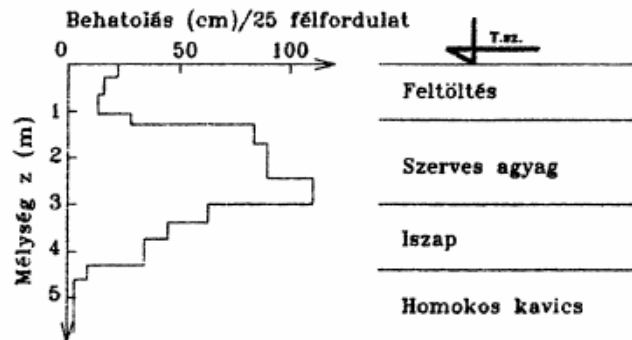
8. ábra: Fúrólukban történő vízszintes próbaterhelés

## 2.1.4 Szondázás

A talaj behatolási ellenállásának változásából következtetünk a talajrétegződés változásaira. Egy vékony vasrudat csavarunk, sajtolunk, vagy verünk a talajba, és behatoláskor mérjük az ellenállást folyamatosan. A behatolási ellenállás mélységbeli változásából következtetünk a **teherbírás** változására. Olcsóbb, gyorsabb a fúrásnál, de itt nincs mintavétel, így közvetlenül nem kapunk talajfizikai jellemzőt sem. Fúrásszám csökkentésére alkalmas; fúrásokkal kombinálva jól használható alapozástervezésnél.

### a) Fúrószonda

A fúróberendezésre szerelhető kúpos-csigamenetes végű szár behatolását mérjük. A réteghatárokat lehet érzékelni és megfelelő kalibrálással a tömörségre lehet következtetni. 10-12 m mélységig használatos. A szondázási eredményt a 9. ábra mutatja be.



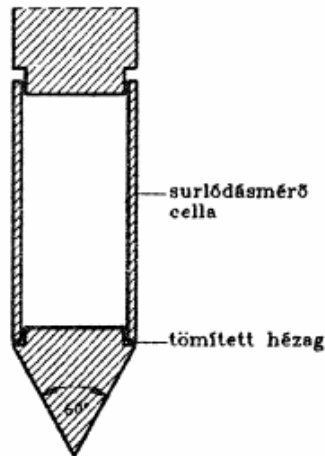
9. ábra: Fúrószondázás eredménye.

### b) Statikus szonda

A lehajtás kétféle módon végezhető:

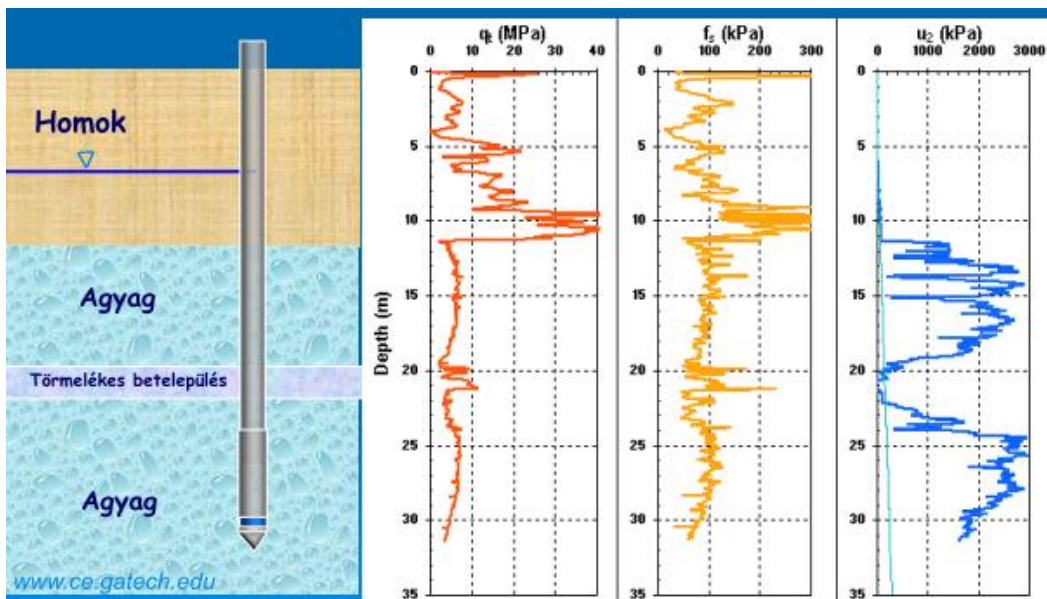
- folyamatosan (meghatározott sebességgel halad);
- stabilizálva (bizonyos mélységekben kiváráják a konszolidációt).

A szondacsúcs (általában)  $10 \text{ cm}^2$  keresztmetszeti területű,  $60^\circ$ -os kúp, elektromos kijelzéssel (10. ábra).



10. ábra: A statikus szonda csúcsa

Az elektromos szonda (CPT)<sup>3</sup> lehetővé teszi a csúcscellenállás ( $q_c$ ) és a köpenymenti ellenállás ( $f_s$ ) folyamatos mérését - elektromos nyúlásmérő bélyeges cellákkal (11. ábra). A berendezés a mért adatokat grafikusán és digitálisan is kijelzi. A szonda behatolási sebessége 1-2 cm/s.



11. ábra: Statikus szondázás eredménye.

### c) Dinamikus szonda (verőszonda)

A kúpos csúccsal ellátott rúd behatolási ellenállását olyan módon mérik, hogy regisztrálják a bizonyos mértékű behatoláshoz (általában 20 cm-hez) tartozó ütőszámot ( $N_{20}$ ). Ütések: meghatározott tömegű súly (pl. 10 kg) adott magasságú (pl. 50 cm) ejtésével.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=Cvu9iBSnQYo>

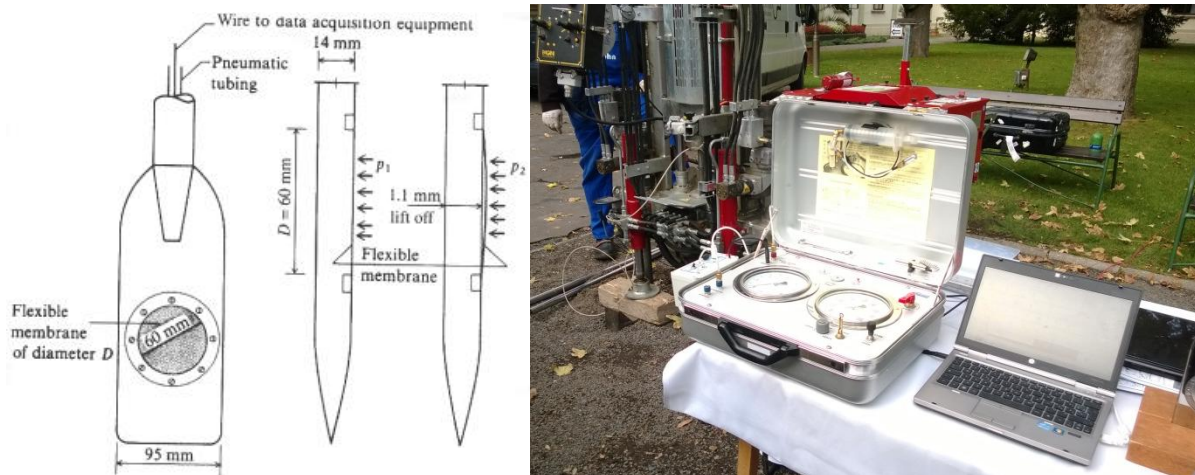
<sup>4</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=MSwlxrZdUP4>

#### d) Lapdilatató

A statikus szonda rudazatára egy rozsdamentes acélpengét erősítenek és azt a talajba nyomják. A penge egyik oldalán 60 mm átmérőjű fémmembrán van elhelyezve. A talajba préselt acélpenge membránját nyomáscsökkentővel felszerelt gázpalackból vezetett gáz segítségével a talajhoz nyomják. A talajhoz feszülő membrán kezdeti gáznyomását ( $p_0$ ) majd az 1 cm-es talajbenyomódáshoz tartozó gáznyomást ( $p_1$ ) mérik 20 cm-es mélységenként (12. ábra).

Alkalmazás:

- nyírószilárdság meghatározására;
- összenyomódási modulus mérésére;
- földnyomás meghatározására
- túlkonzolidáltság.



12. ábra: Marchetti dilatometer

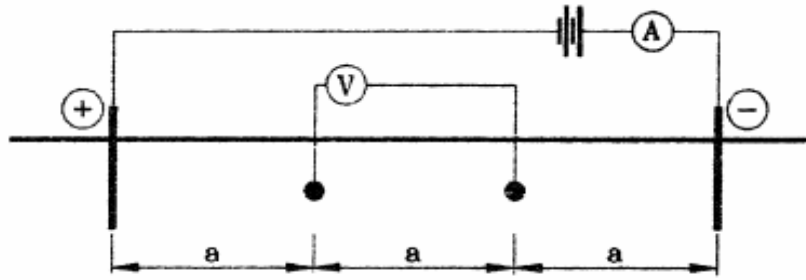
### 2.1.5 Geofizikai talajfelderítés

A talajfelszínen végzett fizikai mérésekből következtetünk a talajrétegződésre. Gyors eredmény - fúrások számának csökkentésére, költségcsökkentésre.

#### a) Elektromos talajfelderítés

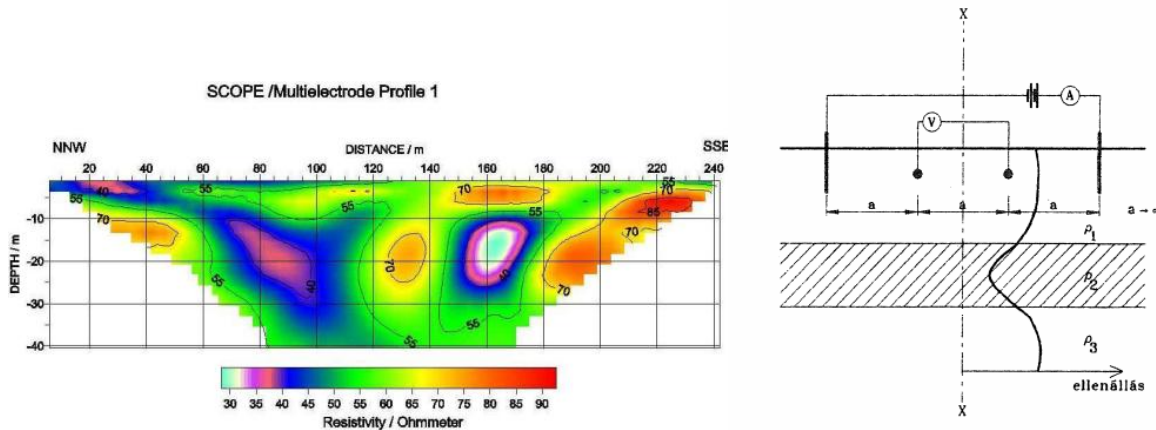
I erősségű áramot két talajba vert elektródán (fémrúdon) keresztül vezetünk, s mérjük az U feszültségesezt (13. ábra), majd az Ohm-törvény alkalmazásával meghatározzuk a fajlagos ellenállás értékét:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot U}{I},$$



13. ábra: Elektromos talajfelderítés vázlata

Az egyes talajféleségek elektromos ellenállása különböző. Az elektróda-távolság változtatásával szabályozható az árammal átfolyt területen a mérés mélységhatára. Az elektródákat egyenletesen távolítjuk a rendszer helyben maradó szimmetria tengelyétől ( $a \rightarrow \infty$ ). Az elektróda távolságokból számítható a mért ellenálláshoz tartozó mélység. Így megrajzolható a mért ellenállások vonala a mélység függvényében, amelynek alakjából és méreteiből következtetünk a kérdéses réteg mélységére (14. ábra).



14. ábra: Talajrétegződés meghatározása

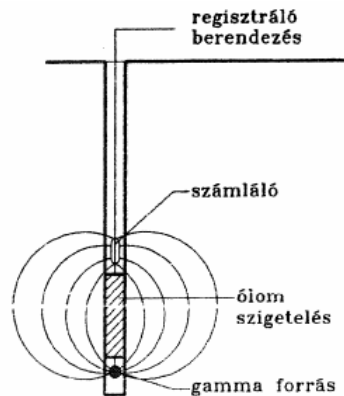
### b) Dinamikus talajfelderítés

Elsősorban szemcsés talajokban alkalmazható. Lényege: vibrátorral a talajra folyamatosan transzverzális hullámokat adunk át. A vibrátor két párhuzamos tengelyre szerelt excentrikus súlyforgatása által fejt ki sinus hullám szerint változó nagyságú erőt az altalajra. A rezgékeltő géptől különböző távolságokban mérik a fáziseltolódást. Nagy jelentősége van a vizsgálatoknak a gépek (pl. turbinák, gőzkalapácsok, stb.) alapozásának tervezésénél, a talaj önrezgésszámának meghatározásánál. A gépalap alatti talaj önrezgésszáma nem egyezhet a gép fordulatszámával. A dinamikus felderítés alkalmas a földmunkák tömörségének meghatározására is.

### c) Izotópos talajfelderítés

A kisátmérőjű fúrólyukban lefelé haladó szondában - sugárzást kibocsátó radioaktív elemet (pl. a cobalt 60-as vagy cézium 137-es izotópot), továbbá szórt neutron sugárzást biztosító generátort helyeznek el. A sugárzó anyagot a csőben felül leárnyékolják, és a sugárzást a csőből való kilépésre, a talajban való továbbterjedésre kényszerítik. A sugárzás intenzitásának csökkenése arányos az átsugárzott anyag (talaj) sűrűségével. Az impulzusokat Geiger-Müller -

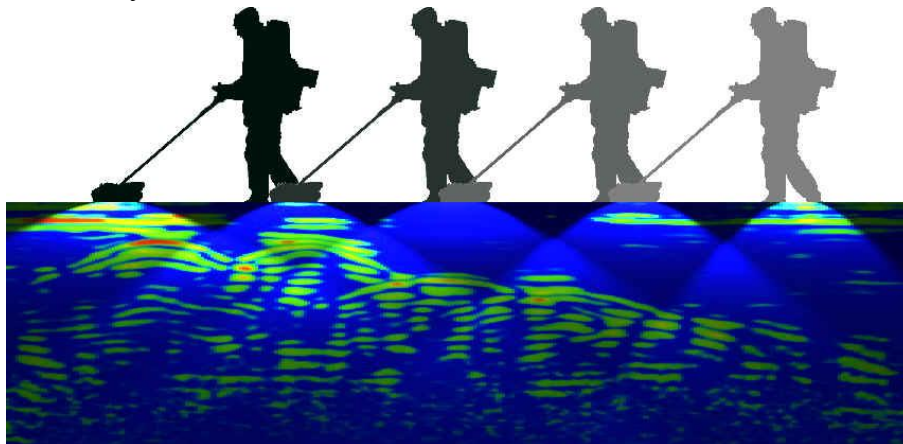
vagy szcintillációs számlálóval regisztrálják (15. ábra). Talajok tömörség-meghatározására, agyagásvány tartalmának, nedves térfogatsúlyának és víztartalmának (neutronnal) mérésére alkalmas. A talaj agyagásvány tartalmára, annak kálium (K-40) tartalma alapján következtetünk. A nukleáris mérőblokkot számítógép vezérli.



15. ábra: Izotópos talajfelderítés vázlata

#### d) Georadar

Felszín alatti határfelületekről grafikus képet ad (16. ábra). Alkalmas a talajrétegződés, talajvízszint, kőpadok, üregek, felöltött folyómedrek kimutatására; de észlelhető vele a térszín alatti épületmaradvány, csővezeték, kábel is.<sup>5</sup>

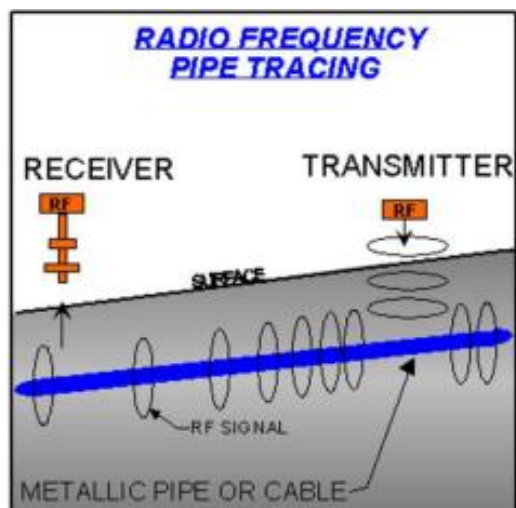


16. ábra: Georadar

#### e) Rádiófrekvenciás talajdiagnosztikai berendezés

1-2 MHz-es frekvenciával működik. Elsősorban üregkutatásra, függőleges inhomogenitások megállapítására használható. Speciális adóantennája által kibocsátott elektromágneses hullámokkal gerjesztett közeg vertikális elektromágneses terét méri.

<sup>5</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=DLW-KUg4-Co>



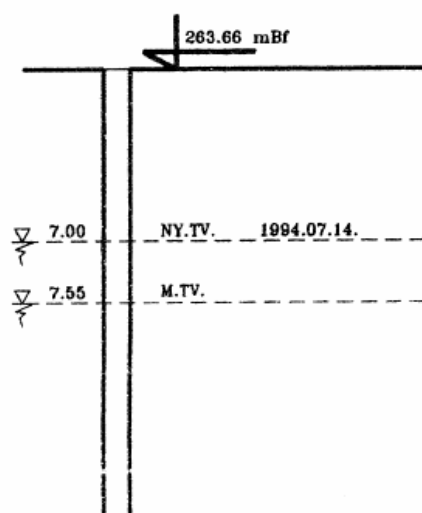
17. ábra: Rádiófrekvenciás mérés sematikus ábrája

## 2.2 A talajvíz felderítése

A talajfeltárás során gondosan meg kell vizsgálni a talajvízviszonyokat is, mivel a tervezés és kivitelezés szempontjait sokszor döntően befolyásolja a talajvíz várható viselkedése. **Szabad felszínű** talajvíz (freatikus): Alul vízzáró réteg, térszín közelében lévő vízáteresztő talajban.

**Nyomás alatti** víz (piesztikus): Alul-felül vízzáró réteg. Megállapítása igen fontos, mivel a munkagödör kiemelésekor hidraulikus talajtörést okozhat. A fúrólukba a talajvíz beszivárog. A beszivárgott víz felszíne egy ideig - néhány percig vagy akár több óráig is - emelkedik, majd nyugalomba kerül.

A **megütött vízszint** az a mélység, ahol a beszivárgást először észleltük (18. ábra); a nyugalmi vízszint pedig, ameddig a beszivárgó víz emelkedik.



18. ábra: A vízszintek jelölése a fúrásszelvényen.

Az Eurocode 7 szerint a talajvíz tervezési szintje ( $GWL_d$ ) a karakterisztikus szint ( $GWL_k$ ) 0,5 m-rel növelt értéke.

$$GWL_d = GWL_k + 0,5m,$$

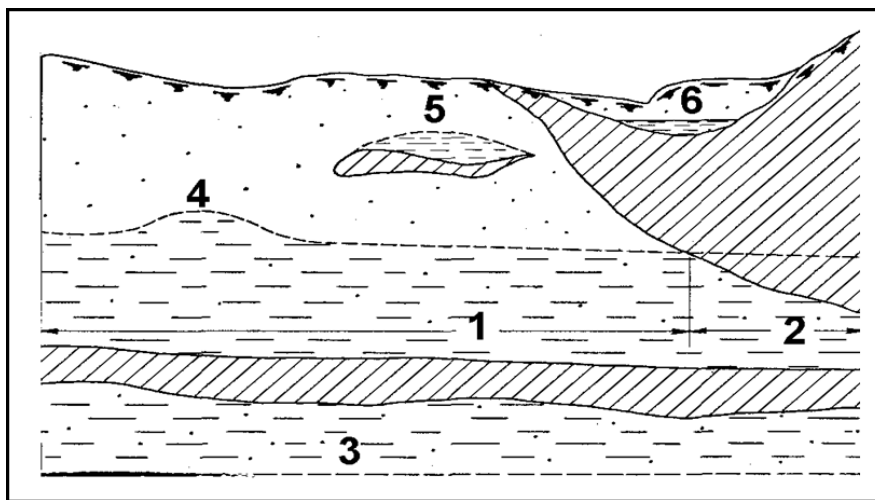


A kivitelezés idején várható vízszintet **építési vízszintnek** nevezzük. Meg kell határozni a talajvíz **vegyi összetételét** ( $\text{SO}_4$ , pH, Cl).

Általában – ha nem lehet egy víztelenítő rendszer tartós alkalmasságát igazolni és a fenntartását biztosítani – a talajvízszint tervezési értékeként indokolt lehet a lehetséges legmagasabb szintet fölvenni, mely a térszín is lehet.

A talajvíztípusok (19. ábra):

- 1) szabad felszínű (freatikus);
- 2) nyomás alatti (piesztikus);
- 3) alsó talajvízemelet;
- 4) vízdóm;
- 5) lebegő talajvíz;
- 6) általajvíz.



19. ábra: Talajvíz típusok

A vízszint a következő esetekben játszik fontos szerepet:

- Alapozási sík felvétele (építési vízszint felett);
- Munkagödör víztelenítés;
- Vízszintingadozás hatása a talajfizikai jellemzőkre (szilárdság, összenyomhatóság);
- Felúszási veszély;
- Talajvíz visszaduzzasztás (pl. METRÓ alagút, földalatti garázs);
- Hidrológiai egyensúly megbontása:
  - vízkivétel,
  - talajvízszint-süllyesztés,
  - csőtörés,
  - erdőirtás,
  - bányanyitás,
  - halastó, víztározó létesítés,
  - csatornázás.

### 2.3 A talajfelderítés szükséges mértéke

Az építmény fontossága, értéke, szerkezete, süllyedésérzékenysége, kiterjedése és az altalajviszonyok határozzák meg. Felderítési terv ezek alapján készíthető. Minél kényesebb az épület, minél rosszabbak az altalajviszonyok, annál részletesebb vizsgálat kell.

A létesítmény és így a talajfelderítés lehet:

- pontszerű (pl. emlékmű);
- vonalas (út, vezetékek);
- terület-felderítés (ipartelep).

Feltárásokat olyan **mélységig** kell tervezni az alapsík alá, amely mélységben az építmény által okozott feszültségek és a talaj rétegződésének figyelembe vétele alapján már elhanyagolható a talaj-összenyomódás mértéke.

A feltárások tervezéséhez az MSZ EN 1197-2:2008 2.4.1.3. szakasza a következő irányelveket adja:

A feltárási mélységek értelmezését a 20. ábra mutatja be.

Általános megjegyzés: jó teherbíró, kellő vastagságú réteggig kell fúrni.

**Foghíjtelek beépítésénél:** A szomszédos épületek alapozási síkját is meg kell határozni.

**Emeletráépítés:** alpméret, alapsík-mélység meghatározás nyílt feltárással.

A talajfelderítés eredménye a talajvizsgálati jelentés.

#### 1. táblázat

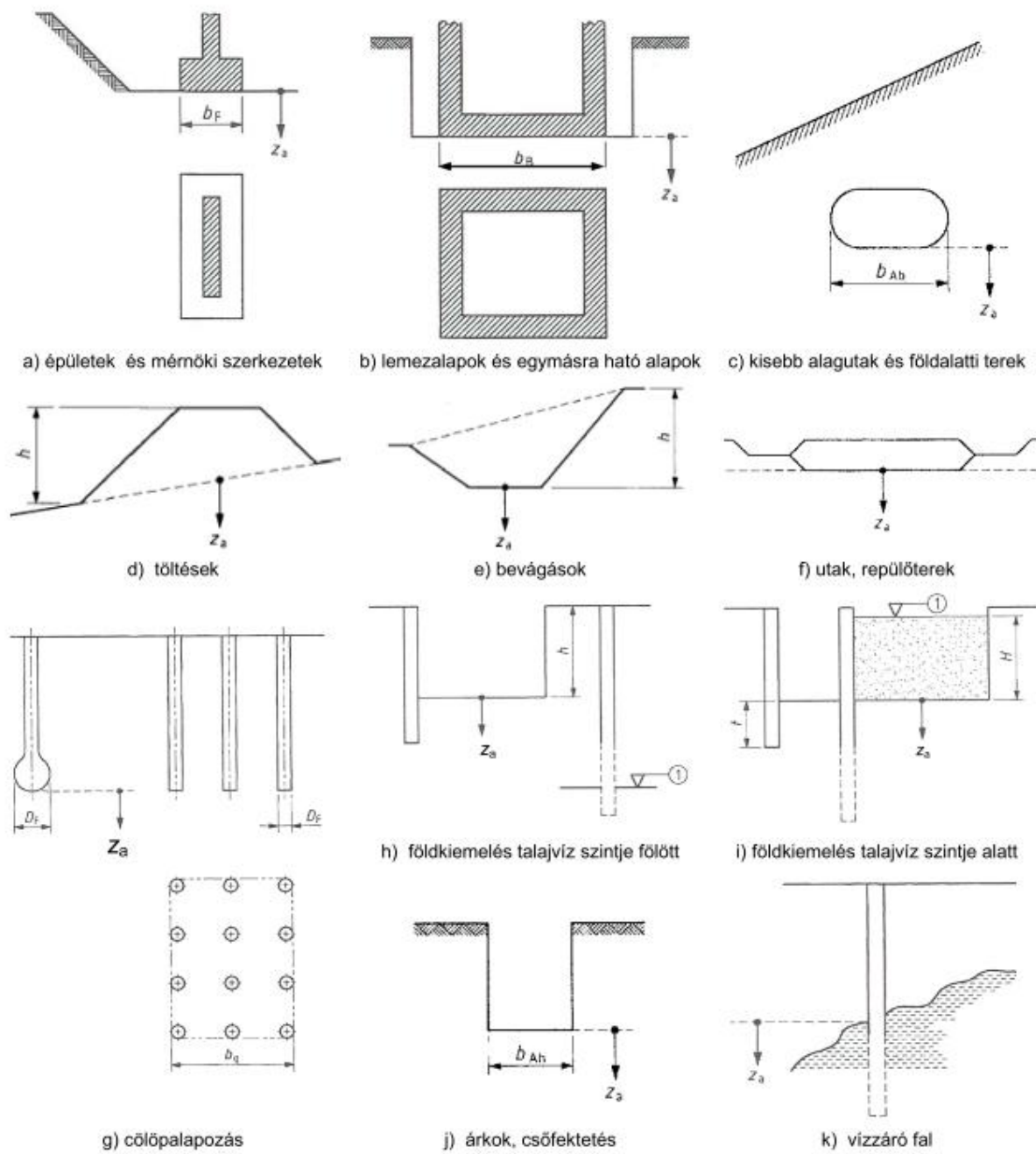
Építmény típus	A feltárási helyek kiosztása
magas építmények és ipari szerkezetek	15 – 40 m-es hálózat
nagy alapterületű szerkezetek	max. 60 m-es hálózat
vonalas létesítmények (út, vasút, csatorna, csővezeték, földgát, alagút, támfal)	20 – 200 m-es hálózat
speciális szerkezetek (pl. híd, kémény, gépalap)	2 – 6 vizsgálat alaptestenként
gátak és duzzasztóművek	25 – 75 m a fontos szelvényekben

2. táblázat

Ábra	Építmény típus	A feltárás mélysége
a	magas szerkezetek és mérnöki építmények	$z_a \geq 6 \text{ m}$ $z_a \geq 3,0 \cdot b_F$
b	lemezalapok, több alaptesten álló szerkezetek, ha hatásuk szuperponálódik	$z_a \geq 1,5 \cdot b_B$
c	kisebb alagutak és földalatti terek	$b_{Ab} < z_a < 2,0 \cdot b_{Ab}$
d	töltések	$0,8 \cdot h < z_a < 1,2 \cdot h$ $z_a \geq 6 \text{ m}$
e	bevágások	$z_a \geq 2 \text{ m}$ $z_a \geq 0,4 \cdot h$
f	utak és repülőterek	$z_a \geq 2 \text{ m}$
g	cölöpök	$z_a \geq 1,0 \cdot b_g$ $z_a \geq 5,0 \text{ m}$ $z_a \geq 3 \cdot D_F$
h	földkiemelés a talajvíz (vagy annak piezometrikus szintje) fölött	$z_a \geq 0,4 \cdot h$ $z_a \geq (t + 2,0) \text{ m}$
i	földkiemelés a talajvíz (vagy annak piezometrikus szintje) alá (* 5,0 m-re növelendő, ha nincs $z_a$ -ig kevésbé vízáteresztő réteg)	$z_a \geq (H + 2,0) \text{ m}$ $z_a \geq (t + 2,0^*) \text{ m}$
j	árkok és csővezetékek	$z_a \geq 2 \text{ m}$ $z_a \geq 1,5 \cdot b_{Ah}$
k	vízzáró fal	$z_a \geq 2 \text{ m}$

Mindig nagyobb vizsgálati mélységet kell választani, ha kedvezőtlenek a geológiai viszonyok, pl. ha gyanítható, hogy a jobb teherbírású rétegek alatt gyenge vagy összenyomódó rétegek vannak.

Ha a szerkezet bizonyosan teherbíró rétegre kerül, akkor a vizsgálati mélység  $z_a=2$  m-ig csökkenthető, kivéve, ha a geológiai viszonyok bizonytalanok, mert ez esetben legalább egy fúrást legalább  $z_a=5$  m-ig le kell mélyíteni. (Ha a tervezett alapsíkon alapkőzet jellegű formáció van, akkor ettől kell  $z_a$ -t értelmezni, egyébként  $z_a$  az alapkőzet felszínére vonatkoztatva értendő.)



20. ábra: A feltárési mélységek értelmezése

### 3 SÍKALAPOK

Az építmények terheit az alapok közvetítik a talajra. Ha az alap közvetlenül az építmény szerkezete, pl. fala alá kerül (mintegy annak kiszélesítéseként, akkor **síkalapról** beszélünk. Ha a teherbíró réteg mélyen van → cölöp, résfal (**mélyalap**) kell terhelésközvetítő elemként.

**Mélyített síkalap:** ha az alapok a szerkezeti megkívánt min. alapsíknál mélyebbre kerülnek. Pl. egy alapincézetlen épületet 2.5-3.0 m mélységben alapozunk.

Síkalap alkalmazható, ha:

- megfelelő teherbírású és vastagságú talajréteg van a felszín közelében;
- a térszín közeli talajréteg teherbírása nem nagy ugyan, de mélyebben sincs jobb, s az épület súlyát nagy felületen el lehet osztani (lemez alap);
- az altalaj teherbírása kicsi de a ráhelyezett épület, építmény-süllyedésre nem érzékeny, és felszínközeli síkalapozással költséges talajvízszint-süllyesztés, vagy mélyalapozás küszöbölhető ki.

Mélyalapot csak akkor tervezzünk, ha a síkalap műszakilag nem megfelelő, vagy csak nagyobb költséggel építhető.

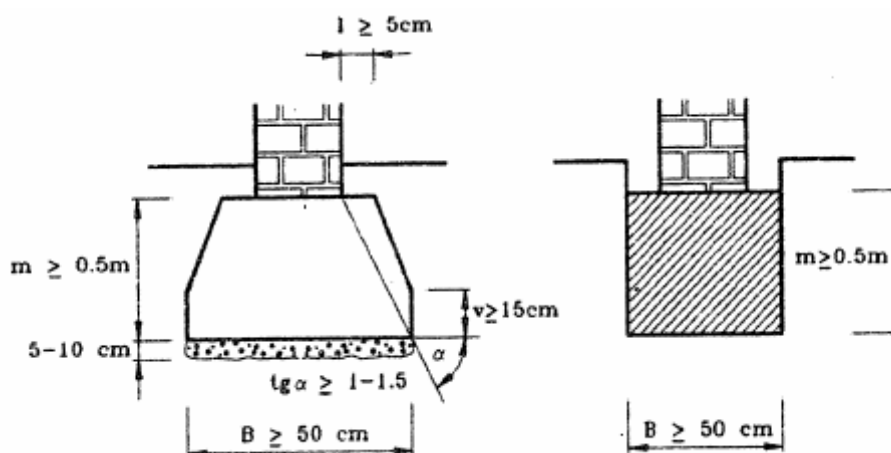
#### 3.1 Síkalapok fajtái, szerkezete

##### 3.1.1 Sávalapok

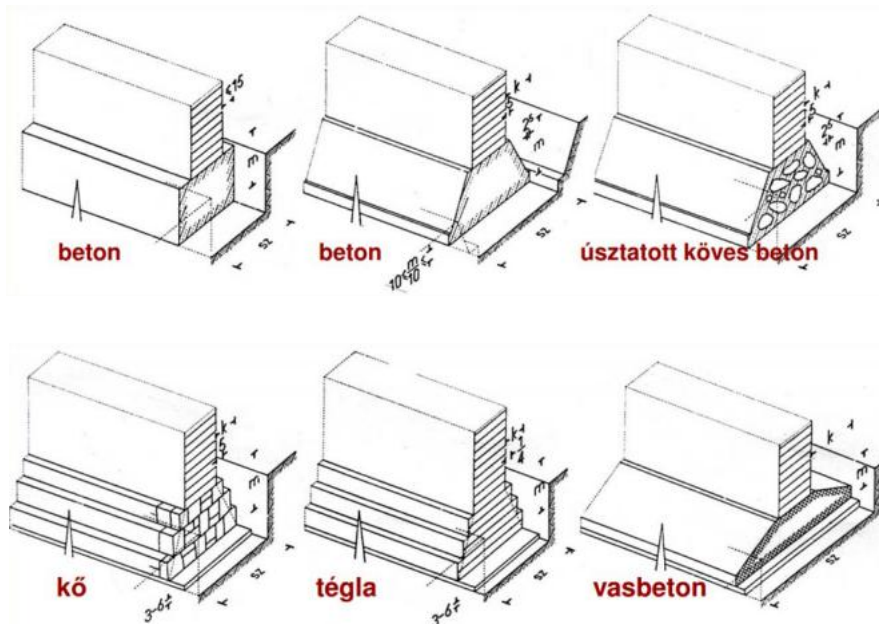
Falak folyamatos alátámasztására készülnek. Talpszélességük kivételesen azonos is lehet a felmenő faléval, de mivel a talaj teherbírása kisebb az építőanyagénál, ezért általában konzolosan kinyúlnak a falak alól.

A sávalapok készülhetnek: téglából, terméskőből, úsztatott betonból, csömöszölt betonból és vasbetonból.

A csömöszölt (zsaluzattal vagy földpartok között épülő) beton sávalapra a 21. ábra mutat példát.



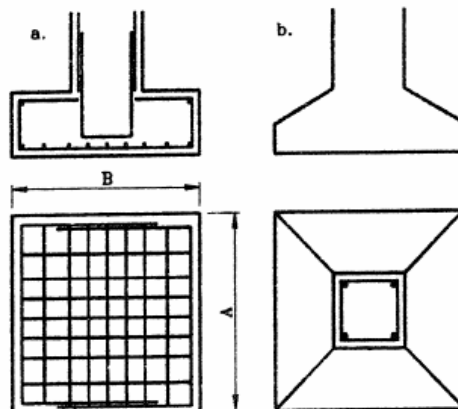
21. ábra: Beton sávalap.



22. ábra: Sávalapok típusai anyaguk szerint

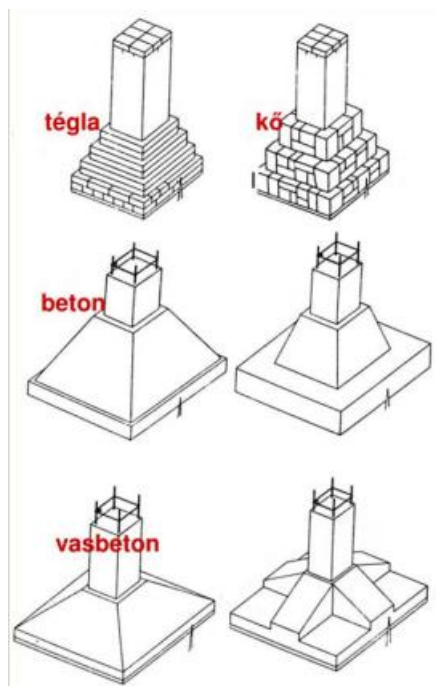
### 3.1.2 Pillér (tömb) alapok

Pillérek, oszlopok alá. Vázás épületeknél is. Alaprajzuk általában négyzet, ill.  $A/B = 1-3.5$ . Anyaguk, építési módjuk a sávalapokéhoz hasonló. Nagyobb igénybevétel miatt betonból vagy vasbetonból készülnek. Leggyakrabban hálós acélbetéttel vannak ellátva (23. ábra).

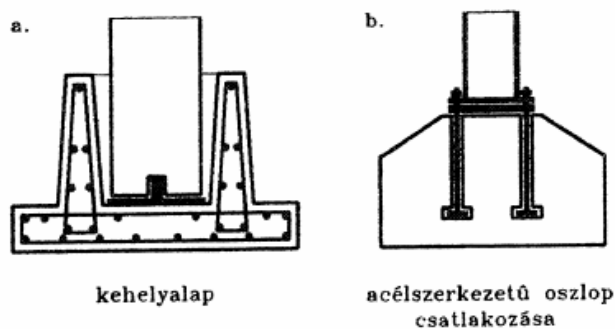


23. ábra: Pillér alapok kialakítása

Ipari épületek előregyártott oszlopainál a 25. ábra szerinti változatokat alkalmazzák általában. Aránylag gyakori az a) részleten látható kehely-alap. Az előre legyártott talp "kelyhébe" állítják be a vasbeton- vagy acéloszlopokat, majd bebetonozással rögzítik őket végleges helyzetükben.



24. ábra: Pontalapok típusai anyaguk szerint

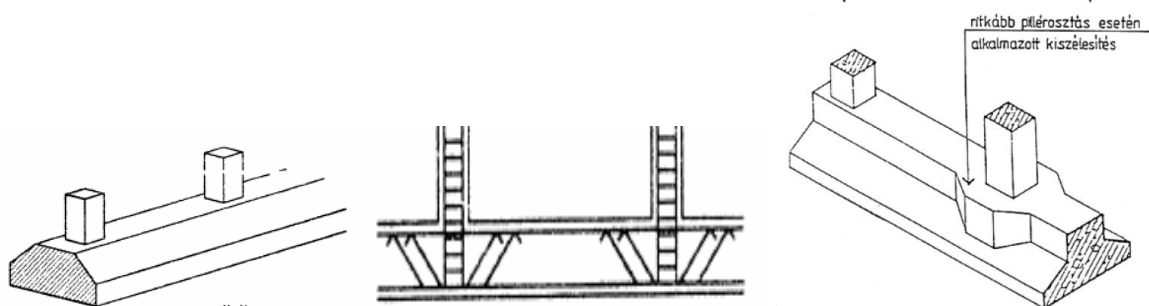


25. ábra: Előregyártott oszlopok alkalmazása

Acélpillér és betonlap kapcsolatára mutat példát a b ábra. A csavarorsós lekötés az esetleges húzóerők átadásához kell.

### 3.1.3 Szalag (talpgerenda) alapok

A gyengébb altalaj vagy erőtani okok miatt állítunk pillérek egy - rendszerint erősen vasalt - sávszerű gerendára (26. ábra). Anyaga vasbeton. Az építménynek hosszirányú merevséget ad.

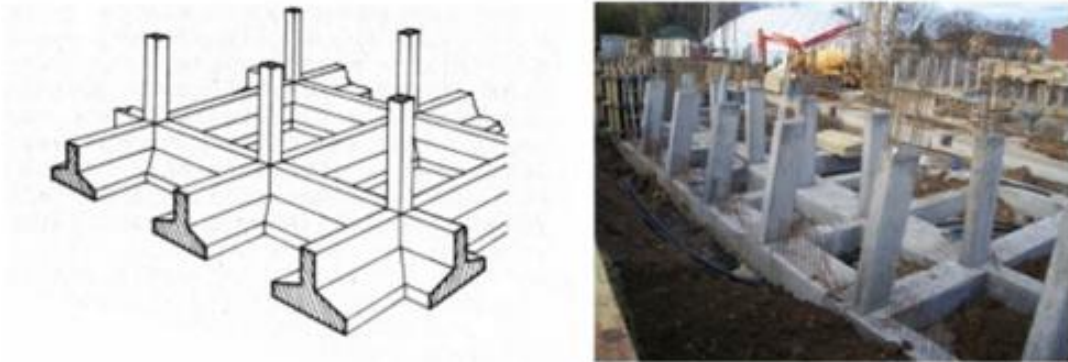


26. ábra: Szalagalap.

Sajátos változata a **körgyűrű alap** (toronyszerű épületeknél).

### 3.1.4 Gerendarács - alap

Egymást metsző szalagalapok együttese (27. ábra).

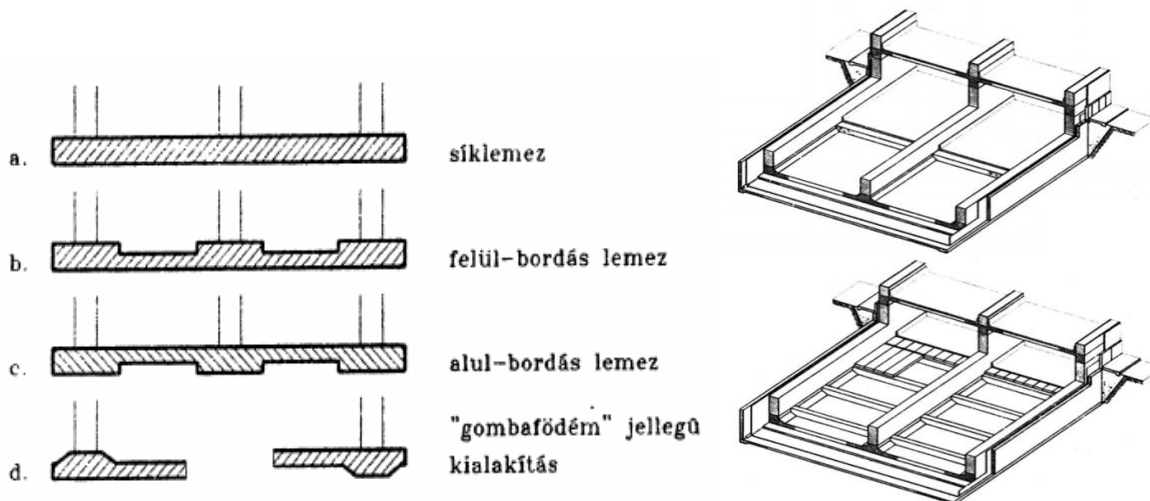


27. ábra: Gerendarács - alap

Ha a talaj kevésbé teherbíró, vagy kétirányban nagy merevség szükséges. Vasbeton anyagúak.

### 3.1.5 Lemezalapok

Az építmény alatt átmenő, összefüggő vb. szerkezetek (28. ábra), amelyek falakat és pillérek egyaránt alátámasztanak.



28. ábra: Lemezalapok

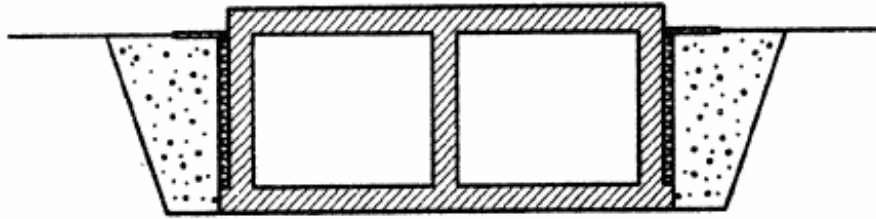
Alkalmazásukra akkor kerül sor, ha az építmény terheit csak a teljes alapterületen lehet átadni, mert az előzőekben említett síkalapok alatti fajlagos terhelés meghaladná az, a talaj teherbírását. A viszonylag kis vastagságuk miatt a lemezek általában igen hajlékonyak. Ha a bordák helyén erősítő vasbetétek maradnak a lemezben, de a vastagság a bordákéval azonos, akkor **rejtettbordás**. Szilárdságilag kedvezőbb az alulról domború felületű ellenboltozat, viszont a készítése bonyolultabb. A lemezek általában hajlékonyak. Gazdaságos a lemez: teljesen alapincézett épületeknél; ha víznyomás elleni szigetelés is kell.

### 3.1.6 Doboxalapok

A házgyári elemekből készült épületek csak kis deformációt képesek károsodás nélkül elviselni. Ezért a lemezalapok itt a rájuk épített pincefalakkal és födémmel együtt monolit



egészet képeznek (29. ábra)



29. ábra: Dobozalap

### 3.1.7 Héjalapok

Speciális – anyagtakarékos, de munkaigényes – lemez. Matematikailag jól leírható egyszeres vagy kétszeres görbületű felületek, amelyekben csak normálerő (nyomás) keletkezik, hajlítás nem.

## 3.2 Síkalapok tervezésének menete

Az alapozás tervezés előtt át kell tanulmányozni a létesítmény terveit szerkezeti és statikai szempontból:

- merevség, süllyedésérzékenység milyen?
- a rendelkezésre álló talajvizsgálati jelentés megfelelő-e?

A tervezés műszaki és gazdaságossági kérdés is.

### 3.2.1 Az alapozási sík felvétele

**Alapsík:** a síkalap alsó támaszkodó felülete.

**Alapozási mélység:** az alapsík és a térszín között függőlegesen mért távolság.

Az alapozási sík felvételétől döntően függ az alapozási rendszer. Tervezéskor mindig a szerkezetiileg szükséges minimális mélységű alapozási síkból kell kiindulni.

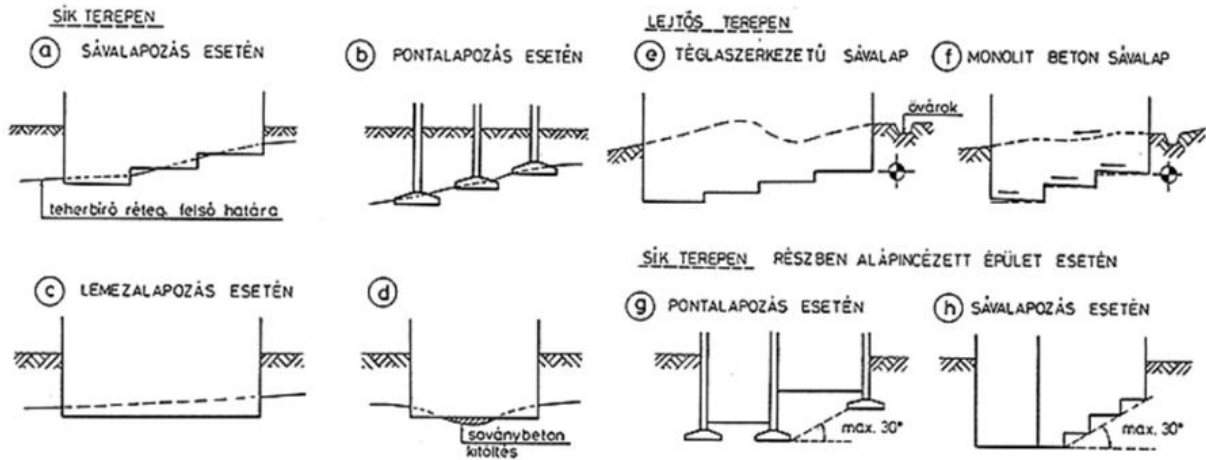
Követelmények:

- alapsík a fagyhatár alatt legyen;
- teherbíró talajon legyen, amely csak kismértékben összenyomható;
- lehetőleg a talajvíz szintje felett legyen a víztelenítés és szigetelés költségének elkerülése miatt;
- az építmény szerkezete (pince, mélygarázs, stb.) által megkívánt mélységben legyen;
- térfogatváltozó altalaj esetén az alapsík a kiszáradási határ alatt legyen;
- igazodjon a beépített környezethez.

**Fagyhatár:** télen  $0^{\circ}\text{C}$  alá hűlő talajréteg legnagyobb vastagsága. Hazai viszonylatban a fagyhatár:

- szemcsés talajban: 0.8 m;
- a Balti tenger szintje felett 500 m-nél magasabban: 0.9 m;

- kötött talajban: 1.0 m;
- szilárd kőzeten álló alap esetén: 0.5 m.



30. ábra: Alapozási sík felvétele síkalapoknál

### 3.2.2 Az alapfelület méretezése a teherbírás alapján

A síkalapok vízszintes méreteit (hossz, szélesség) a talaj teherbírási tervezési értéke és a várható süllyedések szabják meg. A gyakorlatban először meghatározzuk a méreteket a teherbírási követelmények alapján, majd azok ismeretében ellenőrizzük a megengedhető süllyedések szempontjából.

#### a) Síkalapok teherbírása

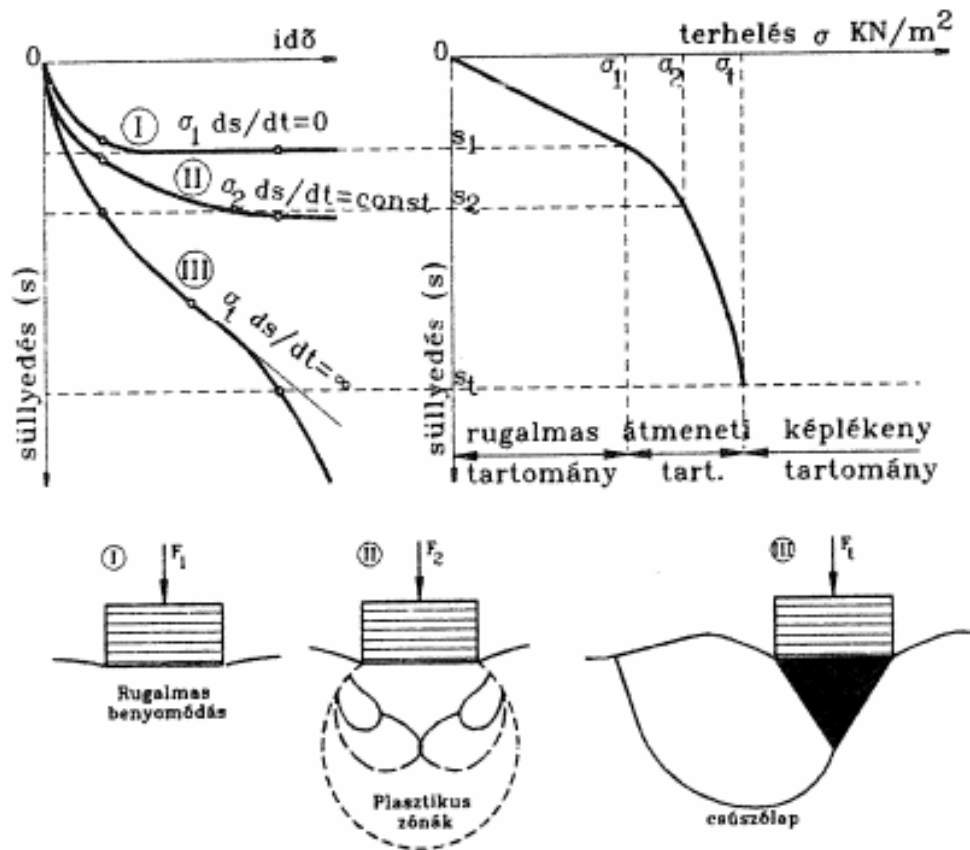
Egy adott méretű és helyzetű alapról az altalajra átadható terhelés meghatározható:

- próbaterheléssel;
- a szomszédos (környező) építményeken szerzett tapasztalatok alapján;
- elméleti úton, képletekből (szabályzatok);
- szondázással kapott adatokból (félig tapasztalati módszer).

Az **elméleti** meghatározásnál először tisztázni kell a talajtörés mechanizmusát.

#### b) A talajtörés mechanizmusa

Ha egy alapra fokozatosan növekvő teher hat, az alatta lévő talaj növekvő mértékben összenyomódik. Kezdetben a süllyedés az erővel, a teherrel egyenesen arányos (31. ábra).



31. ábra: A talajtörés mechanizmusa

Később a benyomódás rohamosan nő (függőleges és vízszintes szemcsemozgás is bekövetkezik), majd határozott csúszólap - talajtörés alakul ki, a terhelt felület elveszti alátámasztását. A "törés" nem mindig következik be az említett módon.

Van:

- általános nyírási törés;
- helyi nyírási törés;
- benyomódás (befúródás).

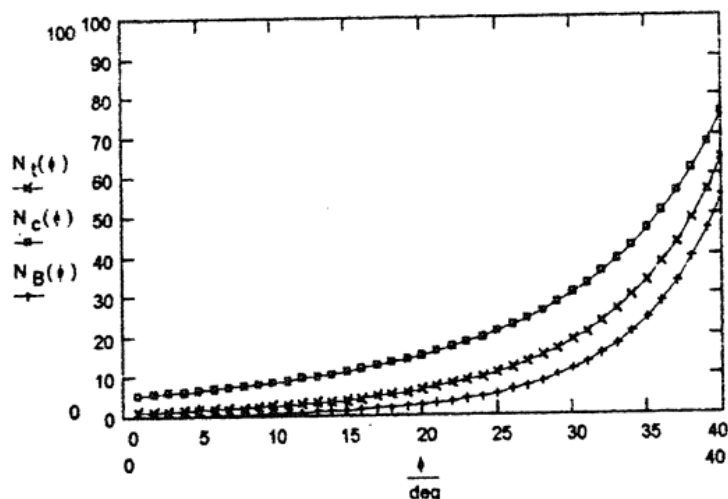
### c) Törőteher számítása

Alapesetként a sávalapot vizsgáljuk; függőleges, központos teher esetén, kis alapozási mélység ( $t < 2b$ ) mellett. Ekkor - tekintettel arra is, hogy az alapsík feletti talaj egy része visszatöltés vagy laza felszíni réteg, az alapsík feletti talaj nyírószilárdságát a biztonság javára.

Terzaghi a talaj törőfeszültségének képletét a következő általános alakban írta fel:

$$\sigma_t = b \cdot \gamma \cdot N_b + t \cdot \gamma \cdot N_t + c \cdot N_c$$

ahol:  $N_b$ ,  $N_t$  és  $N_c$  - teherbírási tényezők, értékük a belső súrlódási szögnek a függvénye - számíthatók s grafikonban vagy táblázatban megadhatók (32. ábra).



32. ábra: A teherbírési tényezők értéke a súrlódási szög függvényében.

### 3.2.3 Teherbírás számítás az MSZ EN 1997-1:2006 szerint

A talajtörési ellenállás karakterisztikus értékét ( $R_k$ ) **drénezett** esetben az alábbi összefüggés alapján határozható meg:

$$R_k = A' \cdot (0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma + c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q)$$

**drénezetlen** esetben pedig:

$$R_k = A' \cdot [(\pi + 2) \cdot c_u \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q]$$

ahol:

- $A'$  – a hatékony alaph felület ( $A = B' \cdot L'$ );
- $B'$  – a hatékony alapszélesség (kisebb vízszintes méret);
- $L'$  – a hatékony alaphosszúság (hosszabb vízszintes méret);
- $\gamma'$  – az alapsík alatti talaj hatékony térfogatsúlya;
- $c'$  – az alapsík alatti talaj hatékony kohéziója;
- $c_u$  – az alapsík alatti talaj drénezetlen nyírószilárdsága;
- $q'$  – a kisebbik hatékony takarási feszültség az alapsíkon;
- $N_\gamma, N_c, N_q$  – a teherbírési tényezők;
- $i_\gamma, i_c, i_q$  – a terhelőerő ferdeségét figyelembe vevő tényezők;
- $s_\gamma, s_c, s_q$  – az alaph felület alakjára vonatkozó tényezők
- $b_\gamma, b_c, b_q$  – az alaph felület hajlásának tényezői

Megjegyzés: az egyes tényezők számítása drénezett és drénezetlen esetben eltérhetnek.

Sávalapok esetén egy vegyes másodfokú, pillérialapok esetén harmadfokú egyenlet megoldása adja a szükséges szélességet ( $B'$ ).

### Az alaptestek szélességi méretezése

Az építmény terheléseiből származó függőleges igénybevétel tervezési értékét állítjuk szembe a talaj teherbírásának tervezési értékével. A teherbírás megfelel, ha

$$E_d < R_d$$

ahol

$E_d$  – az igénybevételek tervezési értéke

$R_d$  – az ellenállások tervezési értéke (talajtörési ellenállás)

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

### **3.2.4 Síkalapok magassági méretezése**

A szélesség meghatározása után a tervezés következő lépése az alapok magasságának számítása, amely az alapnak a szilárdsági méretezését jelenti. Ehhez ismerni kell az alapsíkon a feszültségek eloszlását. A síkalapok mértékadó igénybevétele a felszerkezet terheiből és az ezekkel egyensúlyt tartó talajreakciókból származó hajlítónyomaték. Fellépnek nyíróerők is (pilléreknél átfúródási veszély).

#### **a) Talpfeszültségek eloszlása**

A talpfeszültség az alapsíkon működő feszültség; illetve a létesítmény terheivel egyensúlyt tartó földellenállás fajlagos értéke.

A talpfeszültségek eredőjének egyensúlyt kell tartani a terhekkel, vagyis:

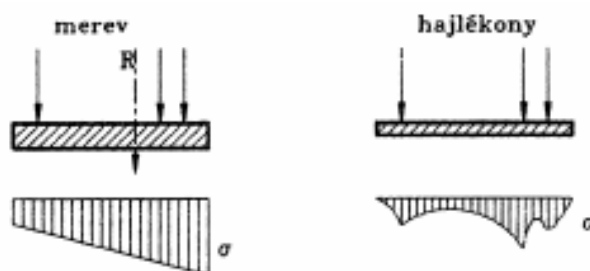
- talpfeszültség eredője = külső teher;
- alapra ható nyomaték:  $M = 0$ .

Eloszlásra kiható tényezők:

- alaptest tulajdonságai (merevsége, alakja, szélessége), építmény merevsége, alapsík mélysége;
- talaj tulajdonságai (szemcsés v. kötött);
- terhelés nagysága, elosztási módja, támadási helye.

**Merev** alaptestnél az eredő helye a fontos.

**Hajlékony** alaptestnél a terhelés eloszlása a lényeges (33. ábra).

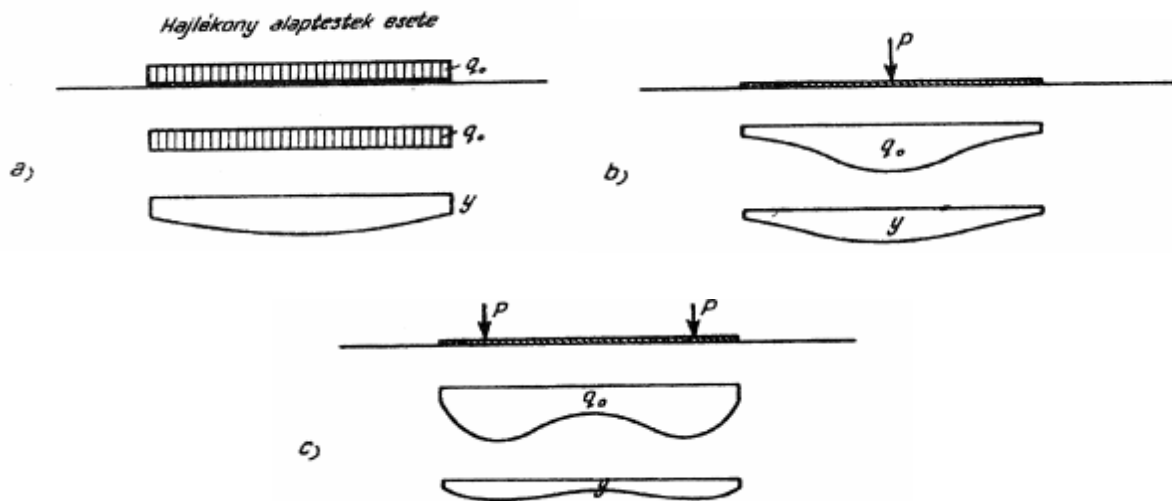


**33. ábra: Talpfeszültség eloszlása merev és hajlékony alapok esetén.**



## Hajlékony alapok

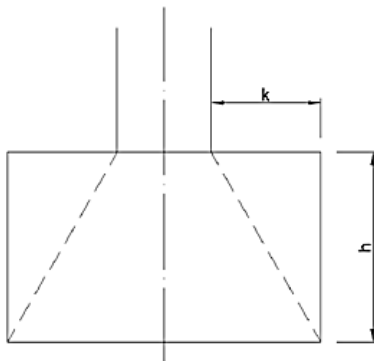
Hajlékony alapok alatti talpfeszültség-eloszlásokat szemléltet a 36. ábra. A talpfeszültség-eloszlás bizonyos értelemben tükörképe a tehereloszlásnak.



36. ábra: Talpfeszültség eloszlása hajlékony alaptest esetére

### b) Sáv-és pilléralapok magasságának meghatározása szerkesztési szabály alapján

A szerkesztési szabályt alkalmazva az alaptest feletti teherhordó fal, vagy pillér geometriáját figyelembe véve számítható  $k$  konzolhossz (37. ábra). A különböző talajtípusokhoz tartozó szükséges konzolhossz és alaptest magasság ( $h$ ) hányados a 3. táblázatban látható. Ez alapján visszszámítható a szükséges  $h$  magasság.



37. ábra

3. táblázat

Talaj típusa (teherbírása)	$k:h$
tömör durvaszemcsés ( $\phi \geq 36^\circ$ ) kemény kötött ( $C_u \geq 75 \text{ kPa}$ )	1:2
szemcsés talajok gyúrható kötött ( $C_u \geq 40 \text{ kPa}$ )	1:1,5
kis teherbírású	1:1

### 3.2.5 Szalag (talpgerenda) alapok méretezése

Keresztirányú méretezésük a sávalapokéhoz hasonló. Hosszirányban azonban hajlékonyak, s a talpfeszültség is ennek megfelelően változik. Vagyis hosszirányban a rugalmas ágyazású gerendák számítási elveinek megfelelően méretezendők.

### 3.2.6 Rugalmasan ágyazott alapok méretezése

Minél szilárdabb az altalaj és minél hajlékonyabb az alaplemez vagy gerenda (gerendarács), annál kevésbé egyenletes a talpfeszültség-eloszlás.

A talpfeszültség az erő támadáspontja körül koncentrálódik. A hajlékonyság a fal,- illetve

pillértávolságokkal arányosan növekszik.

Az alap és az építmény (felszerkezet) merevsége, a süllyedések és a talpfeszültségek eloszlása között jól definiálható kölcsönhatás áll fenn. Az ennek figyelembevételére kidolgozott eljárások 3 csoportba sorolhatók:

- a) ágyazási tényezőn alapuló eljárás,
- b) rugalmas féltér alakváltozásán alapuló eljárás
- c) kombinált modell

### a) Ágyazási tényezős eljárás

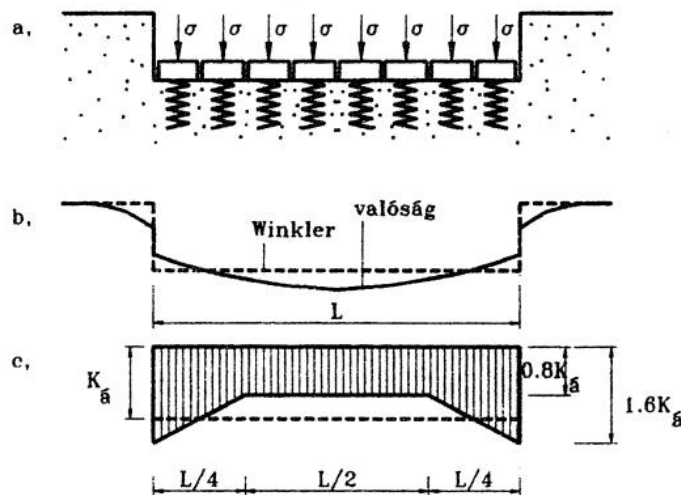
Winkler (1867) szerint a rugalmas ágyazású szerkezetek méretezésének alapja:

$$\sigma = K \cdot s$$

ahol:

- $\sigma$  - talpfeszültség,
- $s$  - süllyedés,
- $K$  - Winkler-féle ágyazási tényező ( $\text{kN/m}^3$ ).

Feltételezi, hogy az alap egyenlő erősségű, egymástól független rugókon áll (38. ábra). A süllyedés egy pontban csak az ott működő feszültségtől függ. Csak keskeny szalagalapok, hosszaljas darupályák esetén közelíti a valóságot.



38. ábra: Az ágyazási tényezős eljárás lényege

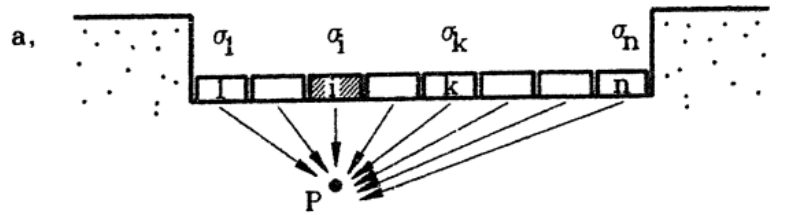
$K$  meghatározása: feltételezzük  $\sigma_{\bar{a}}$  egyenletes talpnyomást, kiszámítjuk az  $s_{\bar{a}}$  átlagos süllyedést, így:

$$K_{\bar{a}} = \frac{\sigma_{\bar{a}}}{s_{\bar{a}}}$$

### b) Rugalmas féltér alakváltozásának módszere

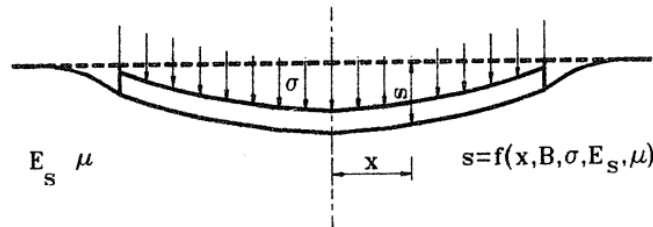
E módszer szerint az ágyazatra jutó terhelés nemcsak a terhelés helyén, hanem a féltér minden pontjában összenyomódást okoz (39. ábra).





39. ábra: Rugalmas féltér alakváltozásának módszere

Vagyis az  $i$ -edik elem nemcsak  $\sigma_i$  hatására süllyed ( $s_i$  mértékben), hanem hatással van rá a többi elem is ( $\sum k : 1 - n$ ). Az általajt a rugalmasan ágyazott tartó méretezéséhez rugalmas-izotróp féltérnek tekintjük, s feltételezzük, hogy a rugalmassági modulus ( $E_s$ ) és a Poisson-féle tényező ( $\mu$ ) állandó értékű (40. ábra).



40. ábra: A rugalmas - izotróp féltér alakváltozása

### 3.3 Süllyedések

A süllyedés - mint már az előzőekben is láttuk - az építmények, az alapok függőleges elmozdulása valamely (térben és időben értelmezhető) kezdeti helyzethez képest. Az alapozás helyes megtervezéséhez hozzátartozik annak igazolása, hogy az általaj nem szenved akkora deformációt, amely az építményre károsan hat vissza.

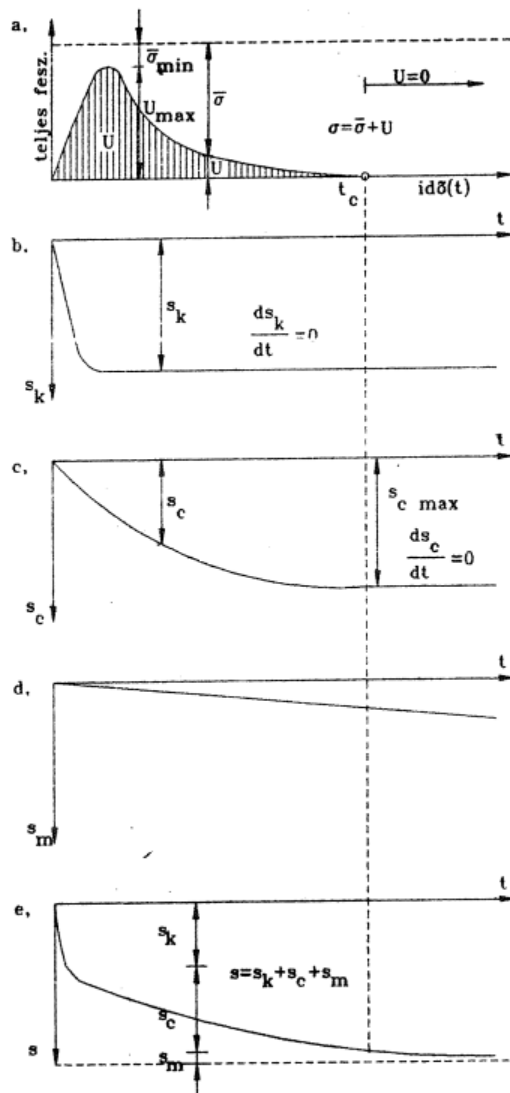
Süllyedések okai:

- statikus terhek;
- dinamikus terhek és hatások;
- talajban lévő víz hatása (talajvízszint ingadozás, vízáramlás, roskadás,  $w$  - növekedés, kiszáradás, csőtörés);
- aláüregelődés (talajvíz kimosó hatása), bányák, pince alagút;
- talajcsúszás (felszínközeli talajmozgás);
- kémiai átalakulások (duzzadás, kioldás);
- hőmérsékleti hatások (fagy, hűtőházak, kemencék).

Viszonylag megbízhatóan csak a statikus terhek okozta süllyedések várható nagyságát tudjuk számítani. A következőkben ezzel foglalkozunk.

#### 3.3.1 A süllyedés összetevői és időbeli alakulásuk

Egy "gyorsan" elhelyezett statikus teher hatására az alap süllyedése a 41. ábra szerint jön létre:



41. ábra: A süllyedések összetevői és időbeli alakulása

Az a) részlet a telített talajra ható terhek, illetve feszültségek alakulását érzékelteti. A terhelődéskor felszökik a pórusvíznyomás, (u) és  $t_c$  idő elteltével csökken az eredeti "pórusvíznyomás-mentes" állapotra.

A b) részleten az  $s_k$  **kezdeti süllyedés** alakulása látható. Ez a terhelte talajtömeg térfogatváltozás nélküli - alakváltozásából ("vízszintes széttolódásból") adódik. Zárt, nagyterjedésű lemezalapok (pl. silók) esetén jelentős.

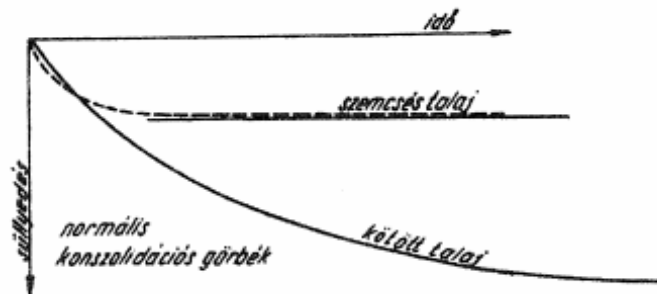
A c) vázlatban látható **konzolidációs süllyedés** ( $s_c$ ) a  $t = 0$  időponttól  $t_c$ -ig tart. Oka: a talaj hézagaiban lévő víz eltávozása, kinyomódása, ami térfogatsökkenést eredményez.

A d) ábrarészen szemléltethető, időben növekvő, lassú, kúszásszerű jelenség a **másodlagos kompressziós süllyedés** ( $s_m$ ). Túlterhelt, puha kövér agyagoknál, szerves talajoknál szokott jelentkezni. (Hazai talajoknál általában elhanyagoljuk.)

E három összetevő időben változó mértékű összege az e) részlet szerinti mindenkor süllyedés:

$$s = s_k + s_c + s_m$$

A süllyedés döntő részét általában a **konzolidáció** idézi elő, ezért érdekes, fontos, hogy az  $s_c$  mennyi idő alatt játszódik le. A konzolidációs folyamat annál lassabb, minél kisebb a talaj áteresztőképessége és minél nagyobb az összenyomhatósága. A **homok** összenyomódása rövid idő alatt lezajlik, míg az **agyagon** lévő építmények süllyedése hosszan elnyúlik (42. ábra).



42. ábra: Konzolidációs görbe

### 3.3.2 Süllyedésszámítás

A süllyedésszámítás első feladata a süllyedések szempontjából mértékadó terhelés rögzítése. Az állandó teher (rendszerint az önsúly) értékét pontos, részletes számításokkal kell meghatározni, majd analizálni kell az esetleges terheket, azok gyakoriságát, előfordulásuk valószínűségét, időtartamát. A mozgó tehernek a süllyedések szempontjából mértékadó, és a süllyedésszámításában figyelembe veendő része az altalajtól, áteresztőképességétől, a terhelés hatásidejétől (pl. szélteher) és az építmény jellegétől (lakóház, ipari épület, híd, siló stb.) is függ. Az "alszerkezet", alapozás, hídpillér, stb. súlya csak előterhelésként működik, a később rákerülő "felszerkezetre" nem gyakorol közvetlen hatást. Dinamikus szorzót kötött talajban rendszerint nem alkalmazunk. A terheket biztonsági szorzók nélkül kell figyelembe venni. A terhelés rögzítése után meg kell határozni az altalajban keletkező feszültségeket.

#### a) Feszültségeloszlás az alapok alatti talajtömegben

Befolyásolja:

- a talaj minősége;
- a terhelés nagysága;
- az alaptest nagysága, alakja és egyéb tulajdonságai.

Egyszerűsítő feltevések:

- mivel a feszültségek csak egy bizonyos hányadát érik el a törést okozó értéknek, így talajt **rugalmasnak** tekintjük, érvényes a Hooke-törvény:  $\sigma = E_s \cdot \varepsilon$
- a talaj **homogén** és **izotróp**;
- az  $E_s$  és  $\mu$  állandó  $\rightarrow$  érvényes a **szuperpozíció** eleve: 
$$\sigma = \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

Elméleti alapokról indulva feszültségszámítási módszerek vannak kidolgozva:

- koncentrált (pont) teher;
- vonalas (él) teher;
- sávteher;
- zárt felületteher esetére.

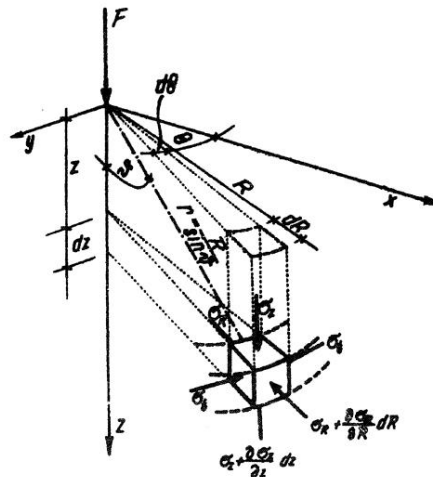
**b) Koncentrált erő esete**

Az igen kis felületen átadott terhelések hasonlítanak hozzá. Alkalmazható tömbalapok esetén a szomszédos alapok alatti többletfeszültség meghatározásához. **Boussinesq** szerint (43. ábra) a rugalmas féltér felszínén működő "pontoszerű" függőleges F nyomóerő által valamely B pontban keltett függőleges feszültség:

$$\sigma_t = \frac{3 \cdot F}{2 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \cos^3 \vartheta$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \quad \cos \vartheta = \frac{z}{r}$$

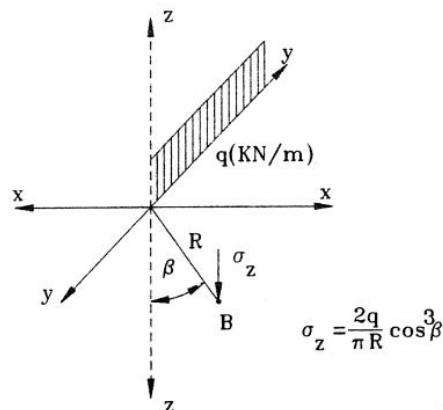
Lényegében hasonló, többé-kevésbé bonyolult képletei vannak  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ , ... feszültségkomponenseknek is.



43. ábra: Koncentrált erő esete

**c) Vonalas teher esete**

Talajra fektetett sínszál (darupálya) viselkedése közelíti meg ezt a szintén elméleti jellegű esetet. Használható szomszédos sávalapok alatti többletfeszültségek közelítő számításánál.



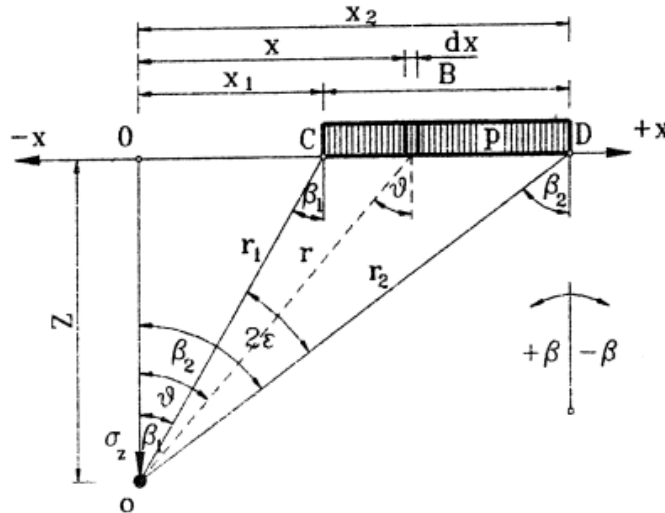
44. ábra: Vonalas teher esete

#### d) Sávterhelés

Falak sávalapjai alatt. A legnagyobb függőleges feszültség természetesen a sáv szimmetriatengelyében keletkezik.

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi} \cdot \sin(\beta_2 - \beta_1) \cdot \cos(\beta_2 - \beta_1) + (\beta_2 - \beta_1)$$

Falak sávalapjai alatt **Mitchell** levezetését a 45. ábra szemlélteti.

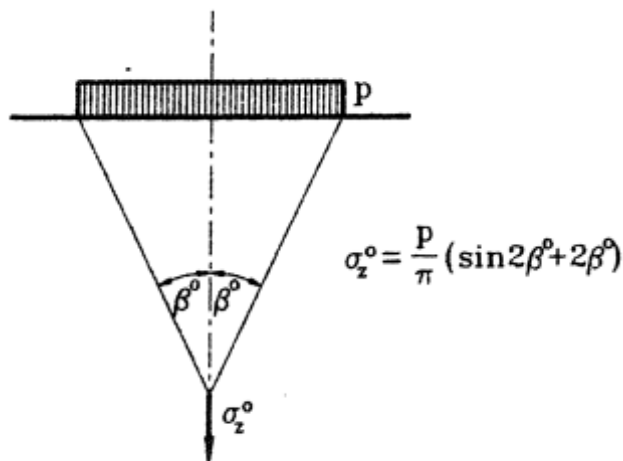


45. ábra: Vonalas teher esete

Induláskor a **p** sávteherből kiragadott dx szélesség-felületen:

$$q = p \cdot dx$$

nagyságú erőt működtet, amelyet vonalas terhelésnek csak a végeredményeit tartalmazza az ábra. A legnagyobb függőleges feszültség természetesen a sáv szimmetriatengelyében keletkezik (46. ábra). A képletben szereplő szögek ívmértékben értendők.

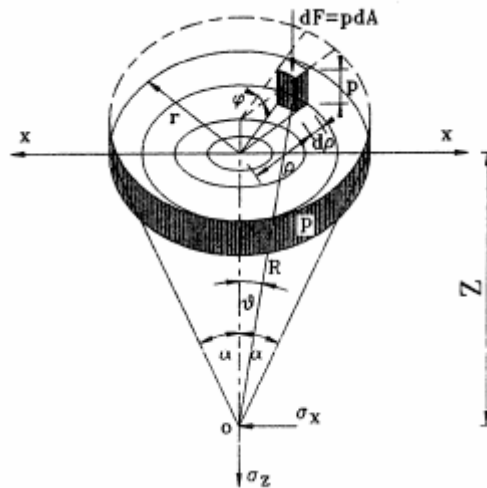


46. ábra: Vonalas teher esete

**e) Zárt felületek alatt keletkező feszültségek**

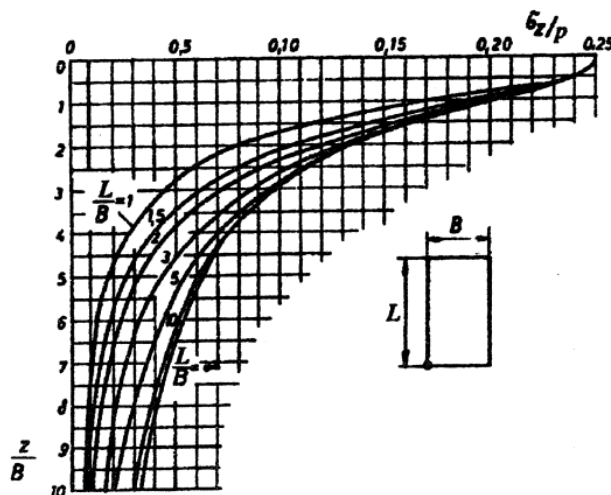
Ezzel az esettel találkozunk a leggyakrabban a mérnöki gyakorlatban (tömbalap, lemezalap). Az egyik legegyszerűbb eset: az egyenletesen terhelt ( $p$ ),  $r$  sugarú körlemez középpontjának függőlegesében keletkező  $\sigma_z$  feszültség meghatározása. Boussinesq pontszerű terhelésre vonatkozó összefüggéséből kiindulva történik a levezetés (47. ábra).

$$\sigma_z = p \cdot (1 - \cos^3 \alpha)$$



47. ábra: Körtárca alatti feszültségek meghatározása (Fröhlich).

**Derékszögű négyszög** alaprajzú alaptestek esetére **Steinbrenner** vezetett le összefüggést. A bonyolult levezetés eredményeinek közvetlen felhasználása nehézkes volna, ezért grafikonok segítségével viszonylag gyorsan meghatározhatóak a függőleges feszültségek. A grafikon használata (48. ábra).



48. ábra: Függőleges feszültségek számítása grafikon segítségével

Kiszámítjuk az  $L/B$  és  $z/B$  viszonyszámokat, ahol  $z$  a vizsgált pontok (amelyekben a feszültségeket keressük) alapsík alatti mélysége. Felkeressük  $z/B$  értékét a függőleges tengelyen, majd vízszintesen haladunk a megfelelő  $L/B$  görbéig. A metszéspontot felvetítjük

a vízszintes tengelyre, ahol leolvasható  $\sigma_z / p$ , amelyből a  $p$  talpfeszültség ismeretében  $\sigma_z$  számítható. A grafikon segítségével az alaptest sarokpontjai alatt keletkező feszültségek számíthatók.

A süllyedésszámításnál az ún. **karakterisztikus pont** függőlegesében keletkező feszültségeket (átlagfeszültségek) használjuk. Ezért grafikonokat szerkesztettek a derékszögű négyszög alap karakterisztikus pontja alatt keletkező meghatározására is (**Kany**) (4. táblázat), amelyet most táblázatos formában adunk meg ( $B = a$  kisebbik alapszélesség).

4. táblázat: Karakterisztikus pont alatti feszültség meghatározása

z/B	B/L					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,05	0,990	0,990	0,989	0,988	0,985	0,981
0,1	0,945	0,944	0,941	0,932	0,918	0,898
0,2	0,826	0,824	0,804	0,770	0,731	0,694
0,3	0,739	0,730	0,689	0,637	0,593	0,557
0,4	0,677	0,660	0,601	0,544	0,502	0,470
0,5	0,630	0,603	0,532	0,477	0,438	0,409
0,6	0,590	0,553	0,477	0,425	0,389	0,362
0,8	0,524	0,469	0,392	0,348	0,316	0,289
1	0,467	0,399	0,329	0,290	0,260	0,234
1,5	0,360	0,278	0,226	0,193	0,166	0,144
2	0,288	0,206	0,163	0,134	0,111	0,094
3	0,203	0,128	0,095	0,072	0,057	0,047
4	0,155	0,088	0,060	0,044	0,034	0,028
5	0,125	0,065	0,041	0,029	0,023	0,018
6	0,113	0,056	0,035	0,024	0,020	0,015
7	0,100	0,047	0,029	0,020	0,016	0,013
8	0,088	0,039	0,023	0,016	0,013	0,010
9	0,075	0,030	0,017	0,012	0,009	0,008
10	0,063	0,021	0,011	0,008	0,006	0,005
12	0,056	0,018	0,009	0,006	0,005	0,004
14	0,050	0,015	0,007	0,005	0,004	0,003
16	0,044	0,012	0,006	0,004	0,003	0,002
18	0,038	0,009	0,004	0,003	0,002	0,001
20	0,032	0,006	0,003	0,002	0,001	0,001

### 3.3.3 A feszültségek közelítő számítása

Az előzőekben említett számítási módok többé-kevésbé bonyolult volta arra ösztönözte a gyakorló mérnököket, hogy egyszerűbb, könnyen kezelhető feszültségszámítási módszereket dolgozzanak ki, főleg **sávalapok** esetére.

#### a) Egyenes vonalakkal határolt zárt tartomány

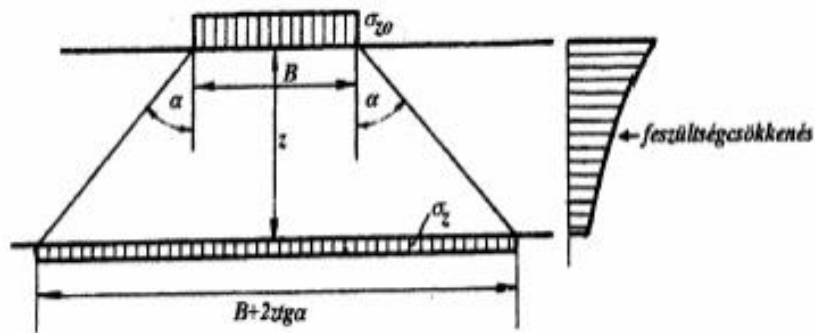
Az oldalhatároló  $\sigma_z = 0$  egyenesek a függőlegessel a szöveget zárnak be, mélységben nincs lehatárolás. A határoló vonalak között bármely  $z$  mélységben egyenletes  $\sigma_z$  keletkezik (49. ábra).

Függőleges vetületi egyensúly alapján:

$$\sigma_{z0} \cdot B = \sigma_z \cdot (B + 2 \cdot z \cdot \operatorname{tg} \alpha)$$

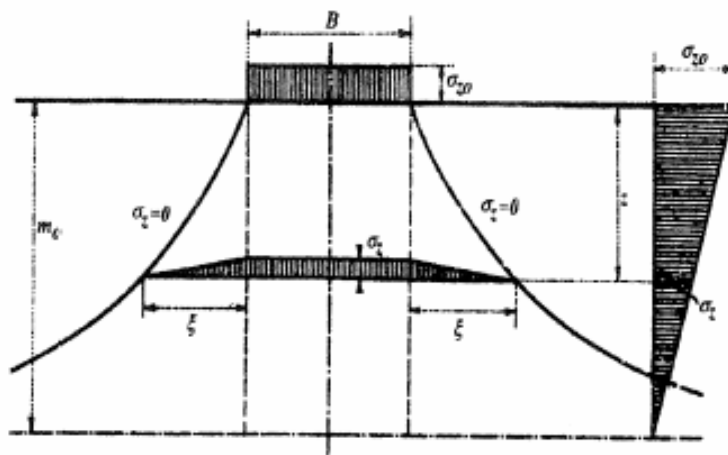
$$\sigma_z = \frac{\sigma_{z0} \cdot B}{B + 2 \cdot z \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

Szokás  $\alpha = \varphi$ ,  $\operatorname{tg} \alpha = 0.5$  feltételezés, de a hazai gyakorlatban inkább az  $\alpha = 30^\circ$ , vagy  $\alpha = 45^\circ$  terjedt el.



49. ábra: Egyenes vonalakkal határolt feszültségi test

b) Jáky-féle határmélység-elmélet



50. ábra: Jáky-féle közelítő eljárás

A feszültség lineárisan csökken

$$m_0 = 2 \cdot B \cdot \left(1 - \frac{B}{2 \cdot L}\right)$$

határmélységig (ez alatt nem keletkezik a terhelésből feszültség).

Így sávalapnál:

$$m_0 = 2 \cdot B, (L \rightarrow \infty)$$

négyzetes pillérmél:

$$m_0 = B, (L = B)$$

Az alaptest széleinek függőlegesei között (a háromszögek hasonlósága alapján):

$$\frac{\sigma_z}{\sigma_{z0}} = \frac{m_0 - z}{m_0}$$

vagyis:

$$\sigma_z = \sigma_{z0} \cdot \frac{m_0 - z}{m_0}$$



A  $\xi$  távolság a függőleges egyensúlyból:

$$B \cdot \sigma_{z0} = B \cdot \sigma_z + \frac{1}{2} \cdot \xi \cdot \sigma_z \cdot 2$$

innen  $\sigma_z$  behelyettesítése után:

$$\xi = \frac{B \cdot z}{m_0 - z}$$

### c) Süllyedések meghatározása

Alapösszefüggések

Rugalmasságtan szerint a "közeg" valamely pontban értelmezett függőleges fajlagos alakváltozása:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \cdot [\sigma_z - \mu \cdot \sigma_x + \sigma_y]$$

Ha nem az E rugalmassági modulussal, hanem

$$E_{oed} = E \cdot \frac{1 - \nu}{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}$$

kompressziós (összenyomódási) modulussal számolunk, amit közvetlenül a kompressziós görbe alapján határozunk meg, akkor ezzel már az  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  feszültségek hatását is számításba vettük, és így a képletünk:

$$s = \frac{1}{E_{oed}} \cdot \frac{f}{a} \sigma_z \cdot d_z$$

### d) Gyakorlati számítás

A statikus teher okozta süllyedés három összetevője közül, mint már említettük, a **másodlagos kompressziós** süllyedést a szokásos körülmények között elhanyagoljuk ( $s_m \approx 0$ ). A hagyományos süllyedésszámítás nem tesz különbséget a **kezdeti** és az **elsődleges konszolidációs** süllyedés között; a kettőt együtt, kizárólag a laboratóriumi kompressziós kísérlet alapján számítja. A normálisan konszolidált agyagok esetében a hagyományos módon számolt összefüggések mintegy 60-95%-a konszolidációs süllyedés ( $s_c$ ), a többi pedig a kezdeti ( $s_k$ ) süllyedés.

A hagyományos süllyedésszámítás lépései:

- alapsík felvétel, alapfelület meghatározás, átlagos talpfeszültség számítása, talajrétegződés felrajzolása;
- süllyedések szempontjából mértékadó terhelés rögzítése;
- függőleges önsúlyfeszültségek meghatározása a talajvízszint figyelembevételével.
- meg kell határozni az alap alatti rétegek földkiemelés (pincetömb, alapgödör) okozta tehermentesülését;
- kiszámítjuk az alaptestek tengelyében (az alapsík alatt) fellépő függőleges

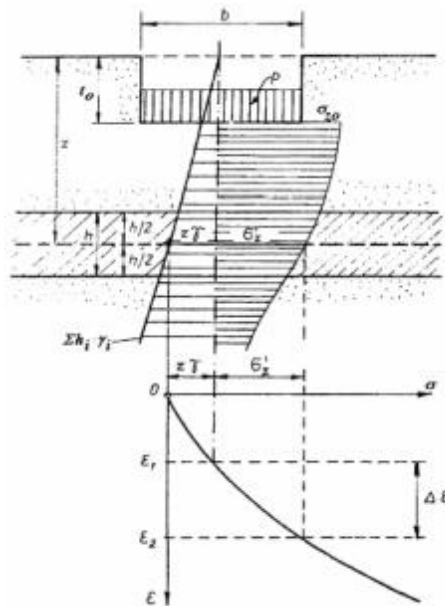
normálfeszültség mélység szerinti eloszlását;

- meghatározzuk az egyes talajrétegek (esetleg a lamellára osztással kapott részrétegek) összenyomódását;
- a teljes süllyedést a részsüllyedések összege adja.

Az egyes talajrétegek összenyomódását számíthatjuk a kompressziós görbék alapján vagy az összenyomódási modulus segítségével.

### 1. Számítás a kompressziós görbével

A számítási módszer lényegét a 51. ábra mutatja be.



51. ábra: Süllyedésszámítás.

Az alapsík alatti talajrétegek (1, 2, i. n.) vonatkozásában megrajzoljuk az önsúlyfeszültségek ábráját ( $\sum h_i \cdot \gamma_i$ ) és feszültségcsökkenési ábrát ( $\sigma_z$ ) a tehermentesülés figyelembevételével ( $\sigma_{z0} = p - t_0 \cdot \gamma$ ). A vizsgált i edik talajréteg kompressziós görbéjének vízszintes tengelyére felmérjük a réteg középvezonájában működő önsúlyfeszültséget ( $g_1, g_2, g_n$ ), ezzel figyelembe véve, hogy a réteg nem volt terheletlen az építkezés előtt sem. A  $g_i$  folytatásaként felmérjük az építmény által a réteg (lamellázásnál a részrétegek) középvezonájában keltett ( $\sigma_{z1}, \sigma_{z2}, \sigma_{zn}$ ) átlagos feszültséget.

Leolvassuk a függőleges tengelyen a terhelés okozta fajlagos alakváltozás növekményét ( $\Delta \epsilon_1, \Delta \epsilon_2, \Delta \epsilon_n$ ), amely alapján a réteg összenyomódása:

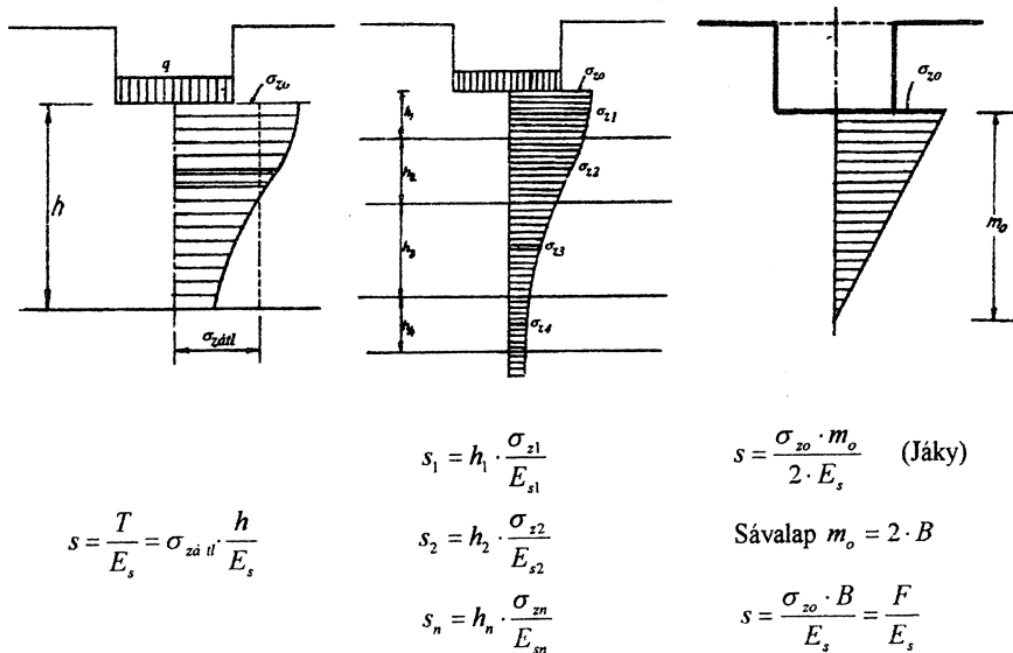
$$s_i = h_i \cdot \Delta \epsilon_i.$$

Az alap süllyedése:

$$s = \sum_{i=1}^n s_i.$$

## 2. Számítás összenyomódási modulussal

Lényegét a 52. ábra vázolja.



52. ábra: Süllyedésszámítás

Mint az előzőekben láttuk:

$$s = \frac{1}{E_{oed}} \cdot \int_a^f \sigma_z \cdot d_z \cong \frac{\sigma_z \cdot h}{E_s}$$

Ezt a számítást az összenyomódási modulusok ( $E_s$ ) ismeretében valamennyi rétegre (részrétegre) összegezzük:

$$s = \sum_{i=1}^n s_i$$

Ha feszültségcsökkenést a Jáky-féle elmélet szerint lineárisnak tételezzük fel (l. 52. ábra jobbra oldala), akkor a süllyedés közelítő értéke igen egyszerűen adódik:

$$s = \frac{\sigma_{z, \text{átl}} \cdot m_0}{2 \cdot E_s}$$

### e) A határmélység

Egyedül Jáky elmélete határolja le azt a mélységet, ameddig többletfeszültség keletkezik a terhelésből az alapsík alatt ( $m_0$ ); vagyis ennek az  $m_0$  vastagságú talajrétegnek az összenyomódását kell számolni. A gyakorlati esetekben indokolt lehatárolni azt a mélységet, ameddig a terhelés talajdeformációt okoz. A legtöbb ország szabályzata azt az  $m_0$  mélységet fogadja el határmélységnek, ahol:

$$\sigma_z = \frac{h_i \cdot \gamma_i}{n}$$

vagyis a terhelésből származó feszültség éppen egyenlő a geosztatikus nyomás (önsúlyfeszültség)  $n$ -ed részével. A hazai gyakorlat  $n = 5$  értékkel számol ( $0,2 \cdot \sum h_i \cdot \gamma_i$ ). A német és az amerikai gyakorlat  $n = 10$  értéket használ. Ha az alap szélessége  $B > 10$  m (lemezalapok), akkor a gyakorlati tapasztalatok szerint

$$m_0 = \frac{3}{4} B \div B / 2$$

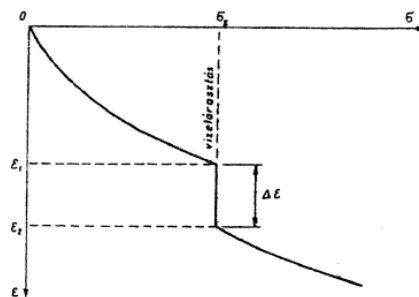
határmélység felvétele indokolt (kötött – szemcsés talaj).

#### f) Roskadás figyelembevétele

Talajmechanikából tanultuk, hogy a makropórusos, laza szerkezetű talajok (lössz, laza homok, feltöltés) terhelés alatt, átázás hatására rendkívül gyors süllyedéseket (roskadást) szenvednek. Az ödométerben végzett, roskasztási kísérlettel nyert kompressziós görbe alapján számítható az alapsík alatti talajok roskadásából várható süllyedéstöbblet. (53. ábra).

$$s_r = \Delta \varepsilon_r \cdot h, \quad \text{ahol } h \text{ a roskadó réteg vastagsága.}$$

Ezt a járulékos süllyedési értéket hozzá kell adni a statikus teher okozta süllyedések számított értékéhez.



53. ábra: Roskadásból származó süllyedés

### 3.3.4 Az építmények süllyedéstűrése

A süllyedések számítása után meg kell vizsgálni, hogy a kapott érték megengedhető-e a szóban forgó építményre. A süllyedés abszolút (magassági) értelemben gondot okozhat pl. a csatorna- és egyéb közműcsatlakozásoknál, a csatlakozó épületeknél. Az egyenlőtlen süllyedések elferdüléseket, meggörbüléseket, áthajlásokat és az ezekből származó többlet-igénybevételeket (nyomaték, nyíróerő) okozhatnak.

Az építmény süllyedéstűrése függ:

- a szerkezettől;
- a méretektől és a
- rendeltetéstől.

**Szerkezetileg:** a statikailag határozatlan szerkezetek - többtámaszú tartók, keretek, ívtartók stb. - érzékenyek. Érzékenyek az előregyártott (házgyári) elemekből épített paneles, blokkos épületek is, a kapcsolatokat biztosító acélbetétek korrózióvédelme miatt. **Méretük** szempontjából a magas súlypontú építmények (víztornyok, gyárkémények) érzékenyek.

Rendeltetés szerint azok az építmények érzékenyek, amelyeknek repedésmentessége a

biztonságos üzemük feltétele (tartályok, medencék).

Az EN 1997-1 „Határértékek a tartószerkezetek alakváltozásaira és az alapmozgásokra” című H melléklete a következőket rögzíti.

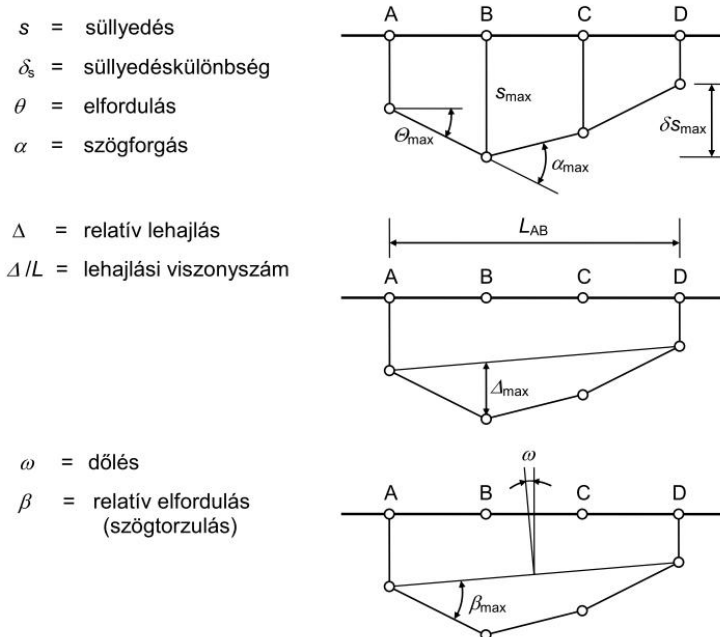
A mérlegelendő alapmozgások összetevői: süllyedés, süllyedéskülönbség (vagy relatív süllyedés), elfordulás, dőlés, relatív lehajlás, relatív elfordulás, vízszintes eltolódás és rezgésamplitúdó. Az egyes alapmozgások és alakváltozások fogalmait a H1. ábra (lásd 54. ábra) szemlélteti.

Nem valószínű ugyan, hogy a nyitott keretszerkezetek, a kitöltött keretek és a teherhordó vagy folytonos téglafalak legnagyobb megengedhető relatív elfordulásai ugyanakkorák lennének, ám valószínűleg az 1/2000 és 1/300 értékek közötti tartományban kell lenniük, hogy elkerülhető legyen a tartószerkezet használhatósági határállapota. Az 1/500 maximális relatív elfordulást a legtöbb szerkezet eltűri. Az a relatív elfordulás, amely már nagy valószínűséggel teherbírasi határállapotot okoz, kb. 1/150 nagyságú.

Ezek az arányok az 54. ábra szerinti, technyszerű mozgásokra vonatkoznak. Az ellenkező, nyeregyszerű mozgások esetében (vagyis ha a peremek nagyobb mértékben süllyednek, mint a köztük levő részek) ajánlatos az említett értékek felét megengedni.

Különálló alapokon nyugvó szokványos tartószerkezetek esetében többnyire eltűrhetők az 50 mm-t meg nem haladó teljes süllyedések (szemcsés talajok esetében, míg kötöttnél 71 mm a határ.). Az ennél nagyobb süllyedések akkor engedhetők meg, ha a relatív elfordulások az eltűrhető határokon belül maradnak, és ha a teljes süllyedés nem okoz gondokat a tartószerkezetbe vezető közműveknél, vagy nem jár dőléssel, stb. A süllyedéskülönbségek általában a számított süllyedések felét-harmadát érik el (a terhelések és a talaj tulajdonságok szóródása miatt).

A süllyedések korlátozására adott ezen irányelvek a szokványos, rutinszerű tartószerkezetekre vonatkoznak. Nem helyes olyan épületek vagy tartószerkezetek esetében alkalmazni őket, amelyek a szokásostól eltérnek vagy amelyek terhelése markánsan egyenetlen.



54. ábra: Az EN 1997 H1. ábrája. Az alapmozgások fogalmi

A nemzeti melléklet NA1. táblázata (lásd itt a 5. táblázatot) összes határértékét az építmény szerkezetileg lényeges pontjai között kialakuló süllyedéskülönbség és e pontok távolságának hányadosaként kell értelmezni a következők szerint:

- a relatív elfordulás két, tetszőleges pont süllyedéskülönbségéből számítandó,
- a billenés egy merev épület két szélső pontjának süllyedéskülönbségéből számítandó,
- a relatív lehajlás valamely belső pontnak a szélső pontokat összekötő egyeneshez viszonyított többlétsüllyedéséből a szélső pontok távolságának arányában számítandó,
- a relatív áthajlás a relatív lehajláshoz hasonlóan értelmezendő, ha a belső pont a süllyedés után a szélső pontokat összekötő egyenes felett marad.

A magyarországi gyakorlat szerint a szokványos épületek esetében az egyenlőtlen süllyedések miatt kialakuló görbület R sugara az épület L hosszának és H magasságának szorzatához viszonyított  $R / (L \cdot H)$  aránya a következők szerint értékelhető:

- részleges védelem nélkül sem várható repedés, ha  $R / (L \cdot H) > 0,25$ ,
- részleges védelem (pl. alsó koszorú) meggátolja a repedést, ha  $R / (L \cdot H) > 0,06$ ,
- részleges védelem nélkül sem okoz életveszélyt a repedés, ha  $R / (L \cdot H) > 0,04$ ,
- részleges védelem esetén nem okoz életveszélyt a repedés, ha  $R / (L \cdot H) > 0,01$ .

Az R görbületi sugarat három szerkezetileg lényeges pontra rajzolható kör sugaraként kell megállapítani.

5. táblázat. Az EN 1997-1 NA21. táblázata

Az építmények szerkezetét nem károsító alakváltozások határértékei				
Az építmény szerkezeti és alapozási jellemzői		Az alakváltozás jellege	Az alakváltozás határértéke	
			ha a konszolidáció	
			gyors	lassú
Építmények teherhordó vázszerkezettel	Statikailag határozatlan vasbeton vagy acélvázak	Relatív elfordulás	0,0020	
	Statikailag határozatlan vasbeton v. acélvázak téglával kitöltött szélső pillérsorokkal	Relatív elfordulás	0,0007	0,0010
	Statikailag határozott vázszerkezetek	Relatív elfordulás	0,0050	
Építmények teherhordó vázszerkezet nélkül	Váz nélküli nagyblokk vagy vasalatlan téglafal	Relatív lehajlás	0,0007	0,0010
		Relatív áthajlás	0,00035	0,0005
	Vasbeton ill. acélbetétes nagyblokk vagy téglafal	Relatív lehajlás	0,0010	0,0013
		Relatív áthajlás	0,0005	0,0006
Egyszintes ipari vagy hasonló szerkezetű épületek		Relatív lehajlás	0,0010	
		Relatív áthajlás	0,0005	
Magas súlypontú merev vagy merev alapozású épületek		Billenés	0,01 · L / H	
Darupályák (sínje)	Hosszirányban	Relatív elfordulás	0,0040	
	Keresztirányban	Relatív elfordulás	0,0030	

A megengedhető abszolút süllyedések épületekre vonatkozó tájékoztató értékei:

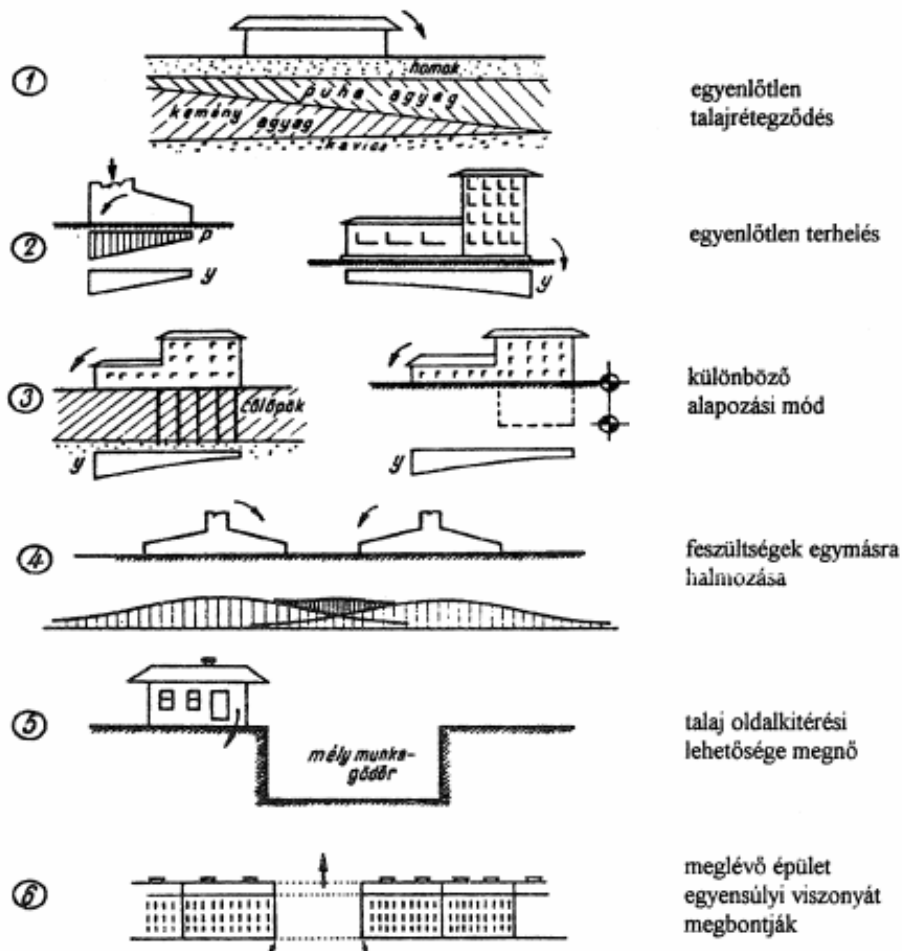
- teherhordó téglafalak: 8-10 cm;
- téglafal vb. koszorúval: 10-15 cm;
- vb. és acélváz épületek: 10 cm;

- lemezalapon álló építmények: 20-30 cm;
- magas súlypontú építmények (kémény, siló): 20-30 cm;
- pillérváz, 1-2 szintes ipari épületek:
- 6 m-es pillértávolság: 6-8 cm;
- 12 m-es pillértávolság: 9-12 cm.

Általában a **süllyedéskülönbségek** okoznak gondot. Kötött talajon (agyagon) álló építmények esetén kb. másfélszer nagyobb süllyedéskülönbség engedhető meg, mint szemcsés talajon álló építményeknél (lassú konszolidációt jobban "bíri" az építőanyag).

### 3.3.5 Egyenlőtlen süllyedések okai

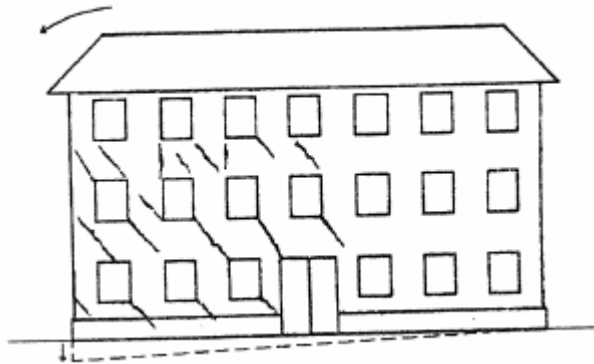
Mint említettük, a legtöbb épületkárt egyenlőtlen süllyedés okozza. Az okok csoportosítását az 55. ábra mutatja be.



55. ábra: Egyenlőtlen süllyedések okai.

A **repedések a nagyobb süllyedésű hely felé** (helyesebben, a mozgás után lejjebb lévő rész felé) **emelkednek**. Természetesen káros süllyedést nemcsak a statikus teher, hanem az egyéb hatások (pl. víz, dinamikus hatás, zsugorodás stb.) is okozhatnak. A házak falain a

leggyengébb helyeken (ajtók, ablakok sarokpontjai között) keletkeznek az első repedések. Nyílászárók befeleződnek, üvegek elpattannak 56. ábra.



56. ábra: Egyenlőtlen süllyedésekből származó repedések

**Hajszálrepedésekről** akkor beszélünk, ha azok tágassága kisebb 0,1 mm-nél. Vakolással még rendbe hozható az 5-15 mm tágasságú repedés. Viszont 25 mm tágasság felett felújítás, illetve újrakepítés szükséges.

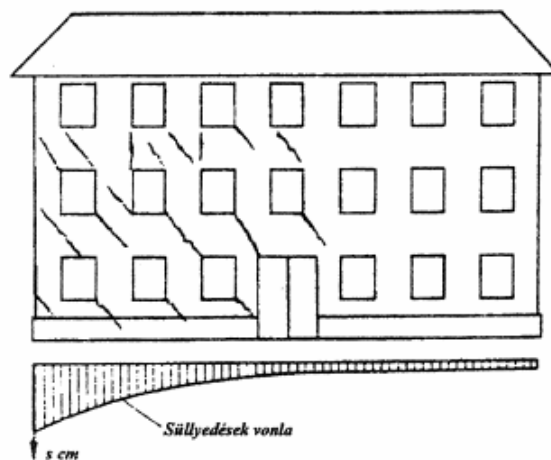
### 3.3.6 Süllyedések mérése

Jelentősebb építmények süllyedését az építkezés kezdetétől mérni kell.

**Mérés:** általában szintézissel (0,1 mm pontosságú léccel, ill. műszerrel).

Relatív süllyedéskülönbségek mérésére alkalmas:

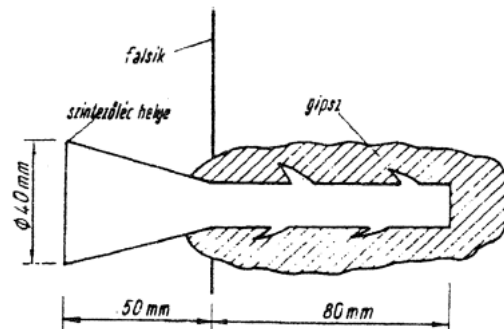
- lábazat (lásd 57. ábra);
- homlokzati párkány;
- földépek;
- függőfolyosók;
- ablaktokok vonala;
- járda.



57. ábra: Az épület lábazatának a mérési eredménye



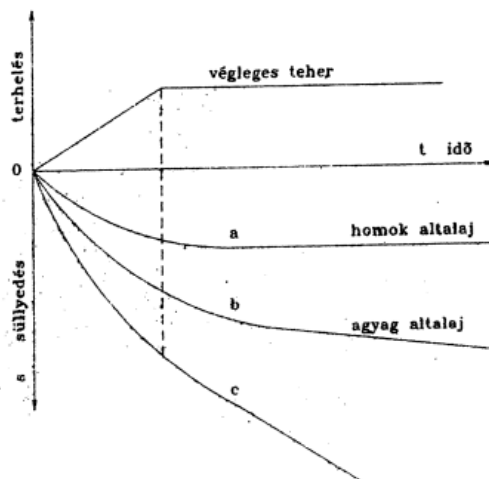
Hosszabb idejű mérések céljára falicsapok (58. ábra) építhetők a pillérbe, falakba.



58. ábra: Falicsap

Jellegzetes süllyedési görbék láthatók a következő ábrán.

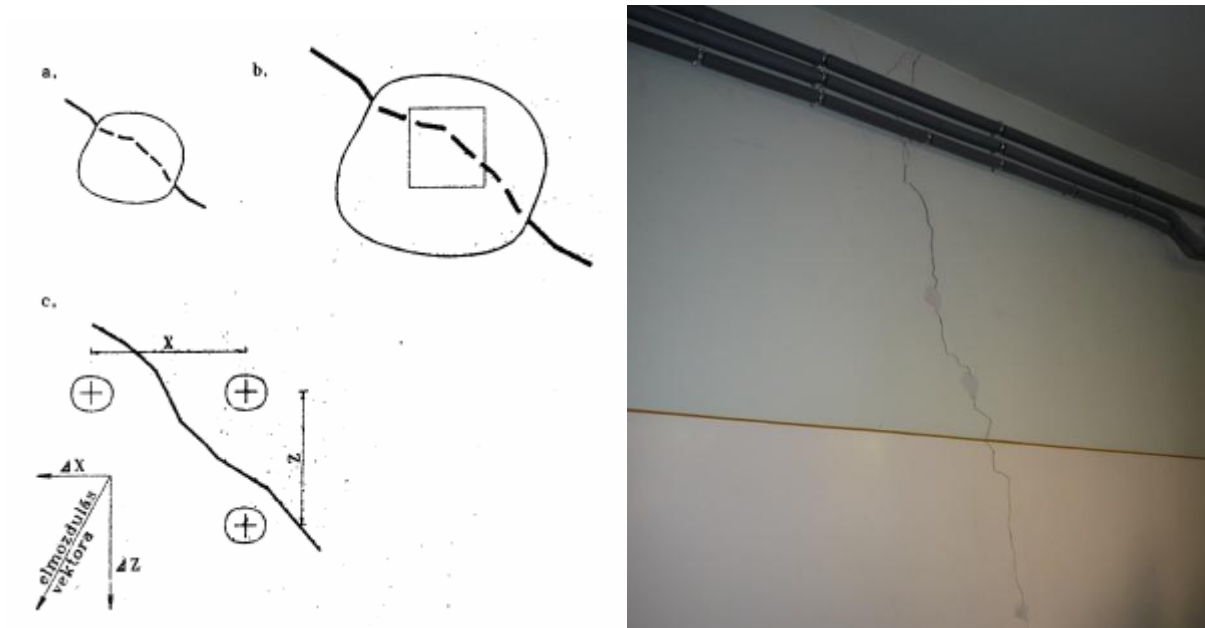
Az (59. ábra) **a** jelű **szemcsés talajon** (homokon) álló építmény süllyedéseinek döntő része már az építés alatt lejátszódik. **Kötött altalaj** (agyag) esetén az építés befejezése után is jelentősek a süllyedések (**b**). A **c** eset süllyedési görbéje ferde érintőhöz tart; a lassú alakváltozás töréshez vezet.



59. ábra: Jellegzetes süllyedési görbék.

Gyakori feladata a mérnöknek annak a megállapítása, hogy egy megrepedt épület a helyszíni szemle idején ("jelenleg") is mozog-e még? Ilyenkor a repedésre gipsztapaszt kell kenni (lásd 60. ábra/a), s ha ez néhány nap múlva átreped, akkor a süllyedés még tart. Célszerűbb a megfigyelést úgy végezni, hogy a gipszet a repedésre kenjük, majd vékony üveglapot nyomunk rá. Ha a repedés tágul, a gipsz, illetve az üveglap is eltörik (lásd 60. ábra/b.). Ily módon csak a mozgás ténye határozható meg; nagysága és iránya nem.

A c. ábrán látható módon az elmozdulás vektora is meghatározható. A "repedés mellé három gipsztapaszt helyezünk, s ezekre jól látható kereszt jelet karcolunk. Az **x** és **z** távolságokat 0.1 mm pontossággal megmérjük. Rendszeres vizsgálatok alapján egyrészt megállapítható, hogy a repedés tágul-e vagy sem; másrészt pedig megszerkeszthető az elmozdulás vektora, amiből a mozgás jellegére is esetleg az okára is következtetni tudunk.



60. ábra: Süllyedésvizsgálat gipsztapasszal

### 3.3.7 Védekezés káros süllyedések ellen

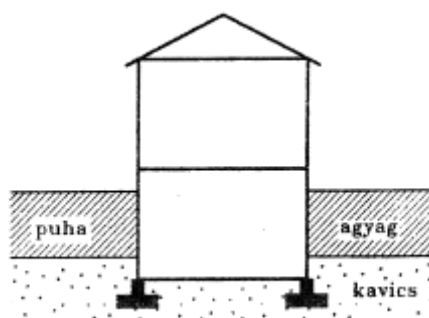
Ha a számított (várható) süllyedések vagy süllyedéskülönbségek nem engedhetők meg az építményre, akkor "védekezni" kell. Ennek módjai:

#### a) Kisebb talpnyomás alkalmazása

A talaj teherbírása szempontjából szükségesnél nagyobb felületű alapot építünk. Szélesebb felület alatt kisebb feszültségek keletkeznek. Sok esetben nem csökkenti a süllyedést olyan mértékben, mint azt a tervező várja, mivel a szélesebb alaptest maga is nagyobb súlyt jelent, de főként azért nem, mert a szélesebb alap alatt nagyobb mélységig jutnak le az összenyomódást okozó feszültségek.

#### b) Alapsík mélyebbre vitele

Akkor jön számításba, ha a térszínközeli kompresszibilis rétegben felvett alapsík esetén a megengedhetőnél nagyobb süllyedéseket jeleznek a számítások, s nem túl nagy mélységben jó teherbíró talaj van (61. ábra).

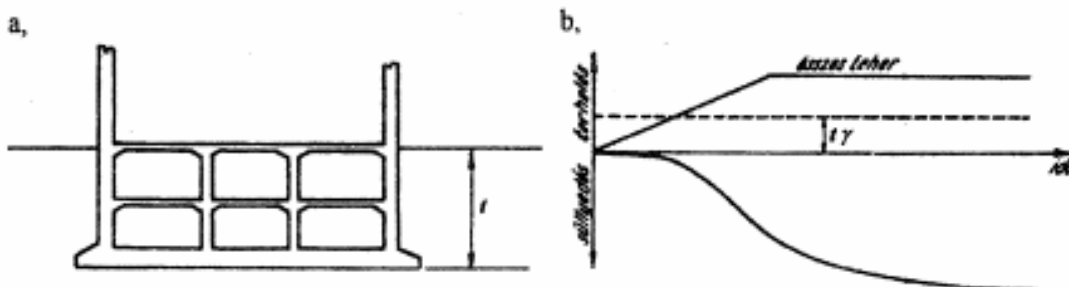


61. ábra: Mélyebb alapsík felvétele

Akkor gazdaságos ez a módszer, ha a terepszint alatti helyiségek hasznosíthatók.

Hatása kettős:

- teherbíró rétegre kerül az alapsík;
- nő a kiemelt földtömeg súlya.



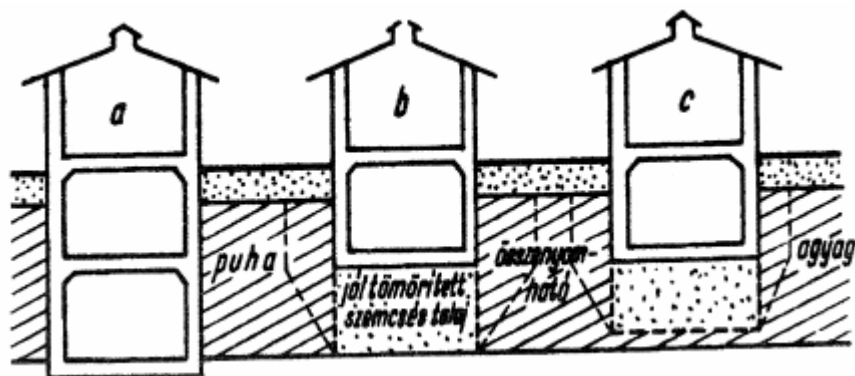
62. ábra: A földkiemelés szerepe

Az a tény, hogy a kiemelt földtömeg jelentős mértékben csökkenti a süllyedéseket, jól kihasználható a tervezői gyakorlatban. A 59/a. ábrán egy két pinceszintes építmény metszete látható. A b. ábrarészen feltüntetett konszolidációs görbe azt mutatja, hogy az épület süllyedése csak akkor kezdődött, amikor az építkezés során elérték a tehermentesítésnek megfelelő terhelést.

Ilyen módon csaknem tökéletesen süllyedésmentes alapozást is lehet készíteni. Ha ugyanis a "pince" helyéről kiemelt talaj tömege nagyobb az oda kerülő építményénél, akkor az altalajra hárított hatékony feszültségek eredője "negatív"; az építmény pedig gyakorlatilag mozdulatlan lesz.

### c) Talajcsere

Az alapsík alatti erősen összenyomódó eredeti talajt teljes vastagságban, vagy csak részben kiemeljük és a helyére cseretalajt (kedvezőbb tulajdonságú: általában homokos kavics, homok) építünk be kellő tömörítés mellett (63. ábra), valamint szükség lehet georács, geotextil, kompozit elválasztó réteg alkalmazására.



63. ábra: Süllyedéscsökkentés talajcserevel

Talajcsere általában csak talajvíz felett végezhető, mert különben nem lehet tömöríteni.

#### d) Oldalkitérés megakadályozása

Laza szemcsés és puha kötött talajokban a felszínközeli alapsík esetén jelentős süllyedést okozhat az, hogy a szemcsék oldalirányban kitérnek az alapsík alól.

Védekezés:

- az egész alapot körbefogjuk szádfalakkal;
- leterheljük az oldalkitérés következtében felpúposodni "készülő" felszín.

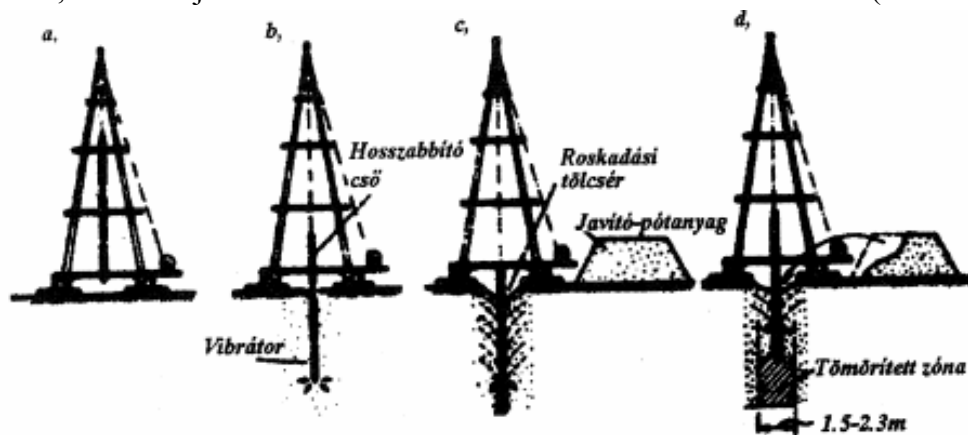
A szádfalazás különösen akkor hatásos, ha a pallók végei a mélyebben fekvő, szilárd rétegbe verhetők, és így bizonyos "befogás" is biztosítható.

#### e) Talajszilárdítás

Az alap alatti - a süllyedés szempontjából veszélyes - talajok fizikai tulajdonságainak mesterséges javítása ez az eljárás, amikor is idegen anyagokat juttatunk be (**injektálunk**), a talaj hézagaiba. De szilárdításnak nevezzük azokat a módszereket is, amelyek a talaj **tömörítésén** alapulnak.

##### 1. Mechanikai szilárdítás

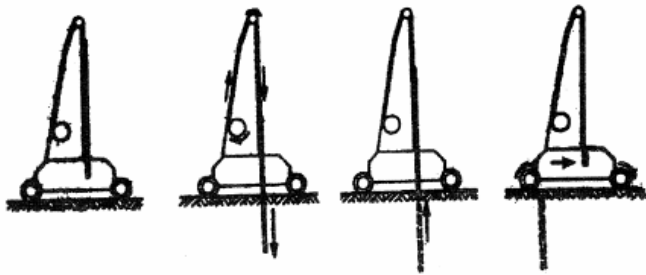
Laza szemcsés talajok, feltöltések összenyomhatóságának csökkentésére, szilárdságának növelésére használják a **mélytömörítést**. A hazánkban is alkalmazott **vibroflotációs** eljárásnál egy darura szerelt rezgékeltő, 38 cm átmérőjű cső önsúlyánál fogva a talajban halad lefelé. A lefelé haladást a vízbesajtolás (öblítés) segíti. Az így kialakított lyuk környezetében a talaj tömörödik. Ezután a vibrátor fokozatos felhúzása közben a lyukba kavicsot, murvát, bányameddőt, homokot juttatnak és a felfelé haladó vibrátorral tömörítik azt (lásd 64. ábra).



64. ábra: Vibroflotációs mélytömörítés<sup>6</sup>

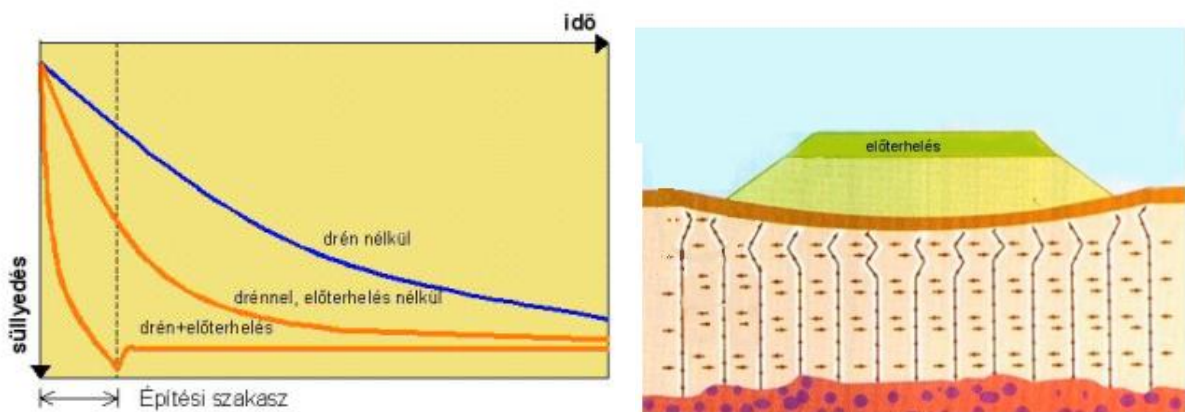
Kötött talajok gyorsabb konszolidációját segítik elő a világszerte egyre gyakrabban alkalmazott **geodrének**. A drénezőgép - mint egy nagy varrógép - merev rudazatot sajtol (vagy ver) le a talajba (akár 10-15 m mélységig), s eközben lehúzza egy szűrőpapírba (szűrőszövetbe) "csomagolt" polietilén csíkot (geodrént). A rudazat visszahúzása után a csíkok bentmaradnak (lásd 65. ábra).

<sup>6</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=0SR8BMbOpAg>



65. ábra: Geodrén elhelyezése<sup>7</sup>

(A varrógép orsóhoz hasonló "dobra" csavart geodrén csíkot a terepszinten aztán elvágják.) A legtöbb esetben bordás kialakítású műanyag drénszalag összegyűjti a kötött altalaj vizét. Ezzel a módszerrel a kötött talajok (agyagok) pórusvíznyomásnak gyors és végleges lecsökkentése, a talajra helyezett építmény süllyedéseinek meggyorsítása érhető el. Alkalmazása gyakori autópályák töltéseinél, ahol előterheléssel tovább gyorsítható az elérni kívánt süllyedés (66. ábra).



66. ábra: Geodrén és előterhelés együttes alkalmazása

## 2. Talajszilárdítás injektálással

Az injektáló anyagot a talajba fúrt, vagy vert csöveken keresztül sajtolják le nyomás alatt.

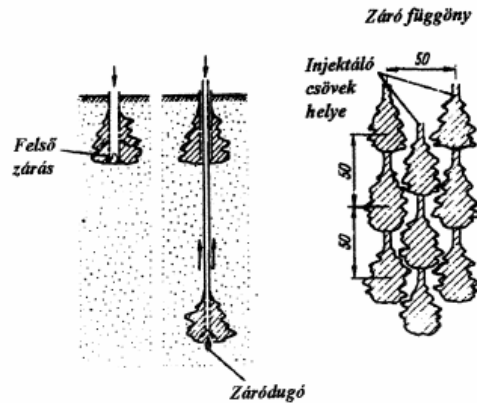
Az injektáló anyag lehet:

- cementtej;
- vízüveg (nátriumszilikát) alapanyagú,
- akrilamid,
- lignoszulfít - lignoszulfát,
- fenoplast;
- aminoplast;
- egyéb anyag.

Cementbesajtolás:

<sup>7</sup> [http://www.youtube.com/watch?v=WP-4\\_5gMb14](http://www.youtube.com/watch?v=WP-4_5gMb14)

A perforált besajtoló csöveket egymástól 50-100 cm távolságban helyezik el, és 7-10 atm. nyomáson juttatják le a cementtejet vagy cement+homok habarcsot. A szilárdítandó talaj hézagainak nagyobbak kell lenni a cementszemcse átmérőjénél, ezért csak 0,8-1 mm-nél durvább homok, illetve üreges, repedezett kötött talaj injektálható vele. Csőfelhúzás közben alulról felfelé kell injektálni (67. ábra).



67. ábra: Cementbesajtolás<sup>8</sup>

Nátriumszilikát alapanyagú injektálás:

- kétfolyadékos eljárás (Joosten, 1925) és
- a SIROK módszer (USA, 1960) terjedt el leginkább.

Elvi alapjuk, hogy a különböző reagensek hatására a folyékony vízüveg amorf, kocsonyás (gél) állapotba megy át, kőkeményre szilárdul a talaj hézagaiban, és egymáshoz ragasztja a szemcséket.

Kétfolyadékos eljárás:

Hazánkban közel 6 évtizede használják.

Lényege: a vízüveget:  $(\text{SiO}_2)_n \cdot \text{Na}_2\text{O}$ ;

(itt  $n = 3-4$ , a vízüveg modulusa) majd a reagens:

$\text{CaCl}_2$  (vagy:  $\text{MgCl}_2$ ) vizes oldatát külön-külön injektálják a talajba, perforált csöveken keresztül.

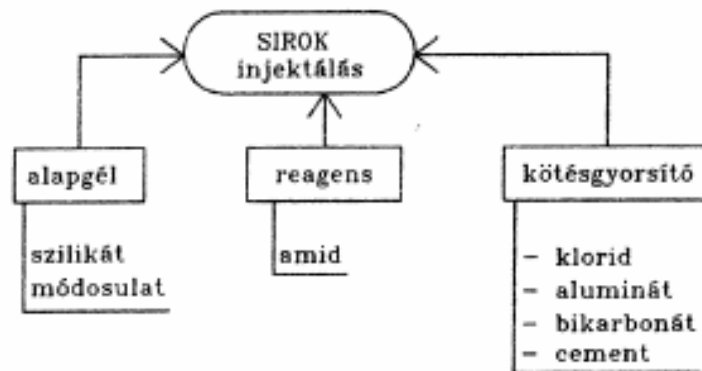
A két anyag érintkezésének pillanatában megindul a gélesedés. A szilárdulást a kiváló kovasav okozza. Homoknál finomabb szemcséjű talajban nem alkalmazható. Viszonylag kicsi a hatósugara ( $r = 40-80$  cm).

SIROK módszer

A SIROK nevű injektálószer esetén a 38%-os vizes oldatú szilikát-gél alapanyaghoz

<sup>8</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=NW64stpqHI&list=PL5D8CA86E166BDB26>

formamid reagenst és valamilyen kötőgyorsítót vagy cementet adnak (68. ábra).



68. ábra: SIROK módszer lényege

### Elektroszilikatizálás

**Elektroszilikatizálásnál** a nátriumszilikát alapanyag és a reagens vizes oldatát nem mechanikai nyomás, hanem az **elektroozmózis** juttatja a talaj hézagaiba.

Az elektroozmózis lényege: a talajban létesített áramkör hatására a folyadék (talajvíz) a negatív sarok felé áramlik, ott összegyűlik.

Ezt használják fel az elektroszilikatizálásnál, pl. a kétfolyadékos eljárásnál: a besajtoló nyomás szerepét az egyenáram által keltett hatás veszi át.

### 4. Ioncserélő eljárás

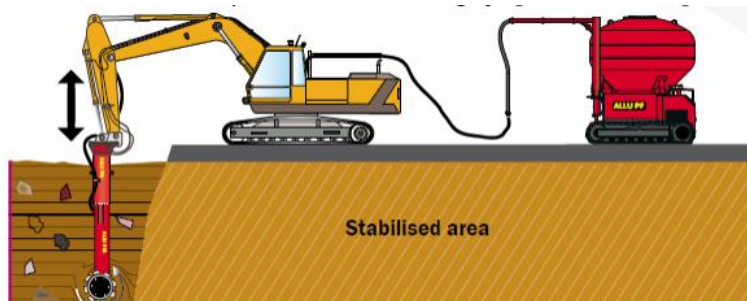
Tulajdonképpen elektrokémiai szilárdítás, amely az agyagásványok koncentrált kémiai kezelésével jár. Különösen az Na, Ca és Mg jelenléte esetén kicsi az agyakok nyírőszilárdsága és nagy az összenyomhatósága. E lazán kötött elemek elektromos áram hatására jóval erősebben kötött vas vagy alumínium ionokkal cserélhetők ki.

### 5. Tömegstabilizáció

A tömegstabilizáció során egy speciális keverőfejjel történik a talaj és a kötőanyag összekeverése. A keverőszár egy forgó felsővázás hidraulikus kotróra szerelhető eszköz, aminek alján található a tengelyeken körbe forgó keverőfej. A keverőfejre a különböző talajokhoz kifejlesztett keverőlapátok szerelhetők fel. A kötőanyag a kotrógéphez csatlakoztatott, önjáró silókból érkezik nyomás alatt. A bekeveréshez szükséges kötőanyag mennyiségét a gépkezelő a kabinba szerelt vezérlőegységen keresztül tudja irányítani, ami egyben információt ad a mobil silókban tárolt anyag mennyiségéről és a nyomás értékéről is. A keverőfej 1,5 m széles és 0,95 m átmérőjű, így egy lépésben ~1,2 m<sup>2</sup> átfogására alkalmas. A keverés során a keverőfejet lefelé-felfelé mozgatják, miközben a fejen keresztül nagy nyomással, folyamatosan érkezik a kötőanyag. A keverőszárak típusától függően 3-5 m hosszúak, amit további 2 m-rel lehet toldószárral meghosszabbítani, így akár 7 m mélységig is leérhetünk a stabilizációval. A tömegstabilizálással átlagosan 0,5-0,8 m<sup>3</sup> talaj keverhető át percenként.

A keverőszár és keverőfej súlya akár 5 tonna is lehet, ezt nyomja a kotrógép talajba, ezért nagytömegű 25-40 tonna közötti alapgép szükséges a művelet biztonságos elvégzéséhez.

A stabilizálási folyamatot minden esetben egy állékony területről kell megkezdeni, hogy a munkagépek dolgozni és mozogni tudjanak, ahonnan a géplánc maga előtt haladva stabilizálja a talajt. A stabilizált felület nem rögtön nyeri el a végleges teherbírását, ezért ha szükséges, a géplánc mozgásának megkönnyítése érdekében geotextíliát, esetleg georácsot és szemcsés anyagot szoktak teherelosztó réteggé készíteni.



69. ábra: Mélystabilizáció technológiája<sup>9</sup>

A technológiát általában nagy felületű stabilizálási munkálatokra használják, de találhatunk a szakirodalomban néhány ezer m<sup>2</sup> felületű stabilizálási munkákat is. Az eszköz gyártója alapvetően az alábbi felhasználási lehetőségeket ajánlja:

- utak, utcák, autópályák, vasutak alatt,
- parkolók, sportlétesítmények, szabadtéri tárolóterületek alatt,
- családi házas területek, ipari épületek, hidak alapozása alatt,
- ipari padlók, ipari területek alatt,
- kikötők esetén, medencék alatt,
- gátak, lejtők stabilizálása és javítása érdekében,
- közművek fektetése esetén,
- földnyomás csökkentése érdekében,
- izoláló rétegek kialakításának érdekében,
- talajfolyósodás megelőzése érdekében,
- szennyezett talajok, szennyvíziszapok stabilizálása érdekében.

#### f) Előterhelés alkalmazása

Az építmény süllyedését olyan módon mérsékeljük, hogy előzetesen felhordott terheléssel "kikényszerítjük" az altalaj összenyomódásának legalább egy részét A helyzet hasonló lesz valamely geológiai előterhelésen "átment" réteg viselkedéséhez. Az előterhelés után az alapra helyezett terhelés súlya alatt már egy előzetesen komprimált és tömörített talajréteg jóval kisebb fajlagos összenyomódásával kell számolni.

#### g) Helyes szerkezeti megoldás alkalmazása

Szerkezet **merevségének** helyes megválasztása:

- vagy olyan merev legyen, hogy a süllyedéskülönbségekből származó feszültségeket károsodás nélkül elbírja;

<sup>9</sup> [www.allu.net](http://www.allu.net)

Czap Z., Dr. Szendefy J.: Mélyebb rétegek, nagy vastagságú talajtömegek stabilizációs lehetőségének bemutatása szennyvíziszap tömegstabilizálásával, Geotechnika 2013 Konferencia, Ráckeve



- vagy olyan hajlékony legyen, hogy a süllyedésből származó alakváltozásokat károsodás nélkül kövesse.

Süllyedésre gyanús területen **statikailag határozott szerkezetet** tervezzünk.

**Anyag:** fa, tégl, acélszerkezet nem túl érzékeny

Hosszú, különbözőképpen terhelt épületrészeket célszerű **süllyedési hézaggal** egymástól elválasztani. (A hődilatació miatt is szükséges.) Nagy süllyedést szenvedő építményeknél gondoskodni kell az üzemi vezetékek, közművek megfelelő bekötéséről (ovális nyílás, hajlékony vezeték).

### 8. Helyes építési sorrend

A süllyedésre érzékeny szerkezeti részeket lehetőleg minél később építjük meg.

Ellentétes tendenciák:

- gépesítés, eszközkötés, előregyártás az építés gyorsítása mellett szól,
- pórusvíznyomás növekedés az ütem lassítását diktálja.

Nagy hasznos terhű építményeknél (silók, folyadéktároló tartályok) a teherfelhordás szabályozható. Hídfők süllyedése a háttöltés építési idejével befolyásolható.

### 9. Mélyalapozás tervezése

A tervezők jelentős része abban az esetben, ha az általa elképzelt síkalapozás mellett a számítások meg nem engedhető méretű süllyedéseket, süllyedéskülönbségeket jeleznek, áttér a mélyalapozásos (cölöp, résfal) megoldására. Ezt az alapozási módot a későbbiekben tárgyaljuk.

## **3.4 Síkalapok stabilitása**

A síkalapok tervezési folyamatának elemzésénél említettük, hogy az utolsó számítási jellegű feladat az állékonyságellenőrzés. Vagyis azt kell bizonyítani, hogy a létesítmény biztonságos:

- elcsúszással;
- billenéssel;
- felúszással szemben.

Ha a vizsgálatok kedvezőtlen eredményt adnak, gondoskodni kell a védekezésről (megerősítésről)!

### **3.4.1 Elcsúszási biztonság**

#### **Ellenállás csúszással szemben és a külpontosság ellenőrzése**

Ha az alapsíkra nem merőleges az erő, ellenőrizni kell az ugyancsak GEO típusú „elcsúszási törés” veszélyét. A következő egyenlőtlenségnek kell teljesülnie:

$$H_d \leq R_d + R_{p,d}$$

ahol

- $H_d$  az alapsíkon működő vízszintes erő tervezési értéke, melyben szerepeltetni kell az alapra átadódó bármely aktív földnyomási erő tervezési értékét is,
- $R_d$  az alapsíkon való elcsúszást akadályozó nyírási ellenállás tervezési értéke, melyet a következőkben ismertetendő elvek figyelembevételével kell mind a rövid időtartamú (drénezetlen), mind a hosszú időtartamú (drénezett) terhelésre vonatkozóan megállapítani,
- $R_{p;d}$  az alaptest oldalfelületén működő földnyomásból származó ellenállás tervezési értéke.

$R_d$  és  $R_{p;d}$  értékeinek összhangban kell lenniük a vizsgált határállapotban várható mozgások mértékével, így nagy elmozdulás esetén a nyírási ellenállás csúcsértékének meghaladása utáni viselkedés lesz a jellemző. Az  $R_{p;d}$  -érték esetében gondolni kell pl. arra is, hogy az alaptest homlokfala mellől az erózió vagy valamilyen emberi beavatkozás eltávolíthatja a talajt, ill. agyagtalajokban a szezonális víztartalom-változások miatt a homlokfaltól elválhat az agyag.  $R_d$  tervezési értékét az EN 1997-1 szerint vagy a talajjellemzőkre, vagy a talajellenállásra alkalmazott parciális tényezőkkel lehet számítani, a magyar nemzeti melléklet szerint alkalmazandó DA-2\* tervezési módszer ez utóbbit írja elő, s megadja a figyelembe veendő parciális tényezőt (6. táblázat).

6. táblázat: Az MSZ EN 1997-1 NA3, NA4, NA5, NA6, NA8, és NA9. táblázata

Az ellenállások ( $\gamma_R$ ) parciális tényezői különböző geotechnikai szerkezetek esetében					
Geotechnikai szerkezet		Az ellenállás típusa	Jel	Értékcsoport	
				R2	R3
Sík alap		Talajtörési ellenállás	$\gamma_{R,v}$	1,4	1,0
		Elcsúszási ellenállás	$\gamma_{R,h}$	1,1	1,0
Cölöp	vert	Talpellállás	$\gamma_b$	1,1	1,0
		Nyomott cölöp palástellenállása	$\gamma_s$	1,1	1,0
		Nyomott cölöp teljes/kombinált ellenállása	$\gamma_t$	1,1	1,0
		Húzott cölöp palástellenállása	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,1
	fúrt	Talpellállás	$\gamma_b$	1,25	1,0
		Nyomott cölöp palástellenállása	$\gamma_s$	1,1	1,0
		Nyomott cölöp teljes/kombinált ellenállása	$\gamma_t$	1,2	1,0
		Húzott cölöp palástellenállása	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,1
	CFA	Talpellállás	$\gamma_b$	1,2	1,0
		Nyomott cölöp palástellenállása	$\gamma_s$	1,1	1,0
		Nyomott cölöp teljes/kombinált ellenállása	$\gamma_t$	1,15	1,0
		Húzott cölöp palástellenállása	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,1
Előfeszített horgony	ideiglenes	Kihúzóerős ellenállás	$\gamma_{a,t}$	1,1	1,0
	tartós		$\gamma_{a,p}$	1,1	1,0
Támszerkezetek		Talajtörési ellenállás	$\gamma_{R,v}$	1,4	1,0
		Elcsúszási ellenállás	$\gamma_{R,h}$	1,1	1,0
		Földellenállás	$\gamma_{R,e}$	1,4	1,0
Rézsű és bármely szerkezet általános állékonysága		Földellenállás általános állékonyság vizsgálatában	$\gamma_{R,e}$	-	1,0

Drénezett viszonyok esetén a nyírási ellenállás

$$R_d = \frac{V'_k \cdot tg\delta_k}{\gamma_{R,h}}$$

ahol

- $V'_k$  az alapra ható függőleges erő karakterisztikus értéke, melyben csak olyan esetleges hatások vehetők figyelembe, melyek a  $H_d$ -vel együtt bizonyosan működnek,
- $tg\delta_k$  az alaptest és az altalaj közti súrlódási szög karakterisztikus értéke, mely az altalaj kritikus állapotához tartozó hatékony súrlódási szögének  $\varphi'_{cv;k}$  karakterisztikus értékéből vehető fel: helyben betonozott alaptest esetében azzal egyenlőre, sima (előre gyártott) alaptest esetében annak kétharmadára.
- $\gamma_{R,h}$  a tönkremenetelhez tartozó parciális tényező

A számításban a hatékony  $c'$  kohéziót az EN 1997-1 szerint általában helyénvaló figyelmen kívül hagyni.

**Drénezetlen viszonyok** esetén a nyírási ellenállás

$$R_d = \frac{A_c \cdot c_{u;k}}{\gamma_{R,h}}$$

ahol

- $A_c$  a nyomott alapfelület,
- $c_{u;k}$  a drénezetlen nyírószilárdság karakterisztikus értéke az alapsíkon.

Előfordulhat, hogy az alap és a talaj között esetleg hézag keletkezhet, (víz vagy levegő juthat az alapfelülethez) ezért a következő korlátozás teljesülését is ellenőrizni kell.

$$R_d \leq 0,4 \cdot V_d$$

(Ez azt jelenti, hogy nem szabad nagyobb nyírási ellenállásra számítani, mint amekkora az alapot terhelő függőleges erő negyven százaléka.)

Ez utóbbi követelményt csak akkor szabad figyelmen kívül hagyni, ha a talaj és az alaptest közötti hézag kialakulását a talaj tapadása (suction) ott is megakadályozza, ahol nincs pozitív talpfeszültség.

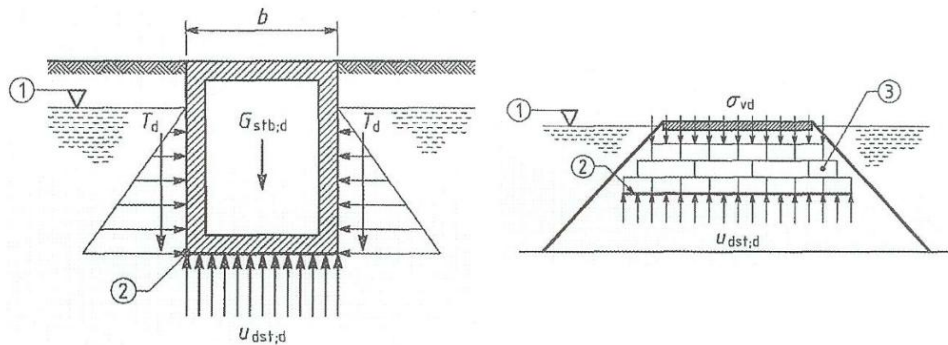
A nagy vízszintes erők gyakran nem csak elcsúszást hanem – ha elég magasan működnek – nagy külpontosságot is okozhatnak. A szabvány előírja, hogy külön óvintézkedések szükségesek, ha az alapsíkon átadódó teher külpontossága derékszögű alaprajzú alapok esetében az alaptest szélességének 1/3-át, kör alaprajzú alaptestek esetében a sugár 0,6-szeresét meghaladja.

Ilyen óvintézkedések lehetnek:

- az EN 1997-1 2.4.2. szakasszal összhangban újílag megvizsgálni a hatások tervezési értékeit;
- az építési tőrések nagyságát figyelembe véve tervezni meg az alaptest széleinek



Egy szerkezet vagy egy kis átteresztőképességű talajréteg állékonyságát a felúszással szemben az állékonyságnövelő állandó hatások (pl. a súly és az oldalfelületekben működő súrlódás), ill. a vízből és esetleg más forrásokból származó állékonyságcsökkentő, állandó és esetleges hatások összehasonlításával kell ellenőrizni. A 72. ábra mutat olyan helyzeteket, ahol kötelező a felúszás ellenőrzése.

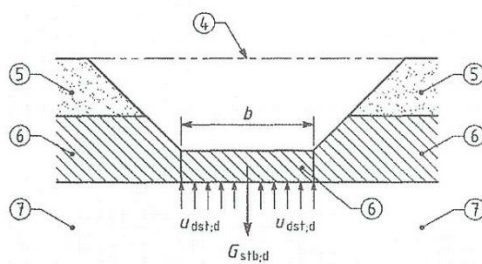


a) Beágyazott üres szerkezet felúszása

- 1 (Talaj-)víz tükör
- 2 Vízáró felület

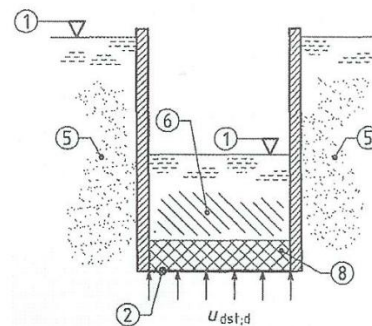
b) Könnyű töltés felúszása árvízkor

- 1 (Talaj-)víz tükör
- 2 Vízáró felület
- 3 Könnyű töltésanyag



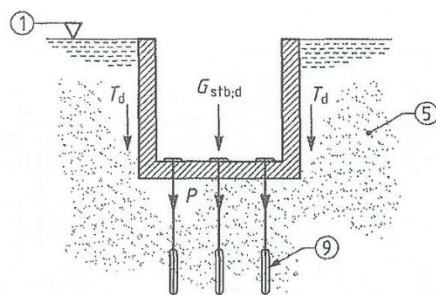
c) Földkiemelés aljának felúszása

- 4 Eredeti térszín
- 5 Homok
- 6 Agyag
- 7 Kavics



d) Lemezalap kivitelezése víz alatt

- 1 (Talaj-)víz tükör
- 2 Vízáró felület
- 5 Homok
- 6 Homok
- 8 Injektált homok



e) Felúszás ellen lehorgonyzott szerkezet

- 1 (Talaj-)víz tükör
- 5 Homok
- 9 Horgonyok

72. ábra: Az EN 1997-1 10.1 ábrája: Példák felúszással fenyegető helyzetekre

A felúszási elleni biztonságot

$$V_{dst;d} = G_{dst;d} + Q_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d = G_{stb;d} + T_d + P$$

egyenlőtlenséggel, az ugyanott közölt parciális tényezőket alkalmazva kell vizsgálni. Ebben az állékonyságnövelő állandó hatás függőleges összetevőjének tervezési értéke ( $G_{stb;d}$ ) pl. a szerkezet és a talajrétegek súlya, az ( $R_d$ ) ellenállás tervezési értéke pedig pl. bármilyen ( $T_d$ ) súrlódási erő és ( $P$ ) horgonyerő összege lehet. Ez utóbbiak állékonyságnövelő állandó függőleges hatásként ( $G_{stb;d}$ ) is felfoghatók.

Az állékonyságcsökkentő állandó és esetleges hatások függőleges összetevőjének tervezési értéke ( $V_{dst;d}$ ) a szerkezet alatt működő víznyomások (állandó és változó részeinek) és minden további fölfelé irányuló erő összege. Egyszerű esetekben megengedhető, hogy az előbbi összefüggésben szereplő erőket a teljes feszültségekkel és a pórusvíznyomásokkal helyettesítsük.

*Az előbbiekkal kapcsolatban a következő két dilemma merül fel.*

*Egy nyílt víz vagy talajvíz alá merülő szerkezet, pl. egy aluljáró esetében, az állékonyságcsökkentő ( $V_{dst;d}$ ) és az állékonyságnövelő ( $G_{stb;d}$ ) erőt is ugyanaz a vízszint befolyásolja. Mivel azonban az előbbi  $\gamma_{G;dst} = 1,00$ , az utóbbi pedig  $\gamma_{G;stb} = 0,90$  parciális tényezővel számítandó, a szerkezet talajvízszint alatti mélységétől függene a felúszás elleni biztonság, ami pedig fizikailag nyilvánvalóan helytelen. Erre alkalmazható az EN 1997-1 2.42. (9) szakasza, mely szerint az állékonyságcsökkentő és az állékonyságnövelő állandó hatások bizonyos esetekben úgy tekinthetők, mint amelyek egy és ugyanazon forrásból erednek, s ekkor szabad egyetlen parciális tényezőt alkalmazni az ilyen hatások vagy igénybevételek összegére. Ez azt jelenti, hogy az állékonyságcsökkentő  $V_{dst;d}$  erőt nem a szerkezetre alulról ható víznyomások eredőjeként, hanem a szerkezetre ható összes víznyomás eredőjeként, azaz mint felhajtóerőt vesszük számításba.*

*A másik kérdés, hogy  $V_{dst;d}$  erőben miként volna elválasztható az állandó és a változó rész. Van olyan felfogás, mely szerint az átlagos vízszintből számítható erőt kell állandónak tekinteni, s az ehhez képest jelentkező ingadozásokból számíthatót esetleges hatásnak. A legtöbb országban azonban inkább úgy tekintik, hogy a kiválasztott vízszint bizonyos időtartamra állandónak tekinthető, s ennek megfelelően csak állandó hatásként veszik számításba a belőle kiadódó erőt.*

*Látni kell még, hogy a felúszással szembeni globális biztonság többnyire csak  $\gamma_{G;dst} / \gamma_{G;stb} = 1,0/0,9 = 1,11$ , ezért különösen fontos a vízszintek óvatos felvétele, vagy a veszélyt csökkentő óvintézkedések bevezetése.*

### **3.5 Síkalapokat érő hatások**

#### **3.5.1 Dinamikus hatások**

Elsősorban az ipari épületek a statikus terheken kívül időben hirtelen vagy állandóan változó dinamikus terheket is viselnek. Ez a hatás az alapokra és az altalajra is áttérjed. Pl. a gépalapok ilyen dinamikusan terhelt alapoknak tekinthetők.

Építményeket érő dinamikus hatások:

- robbantás;
- cölöpözés;
- közlekedés;
- földrengés,

- széllökések; stb.

Különösen a finom szemcsés talajok (főleg ha vízzel telítettek) érzékenyek. (Kötött és durvaszemcsés kevésbé.) A rezgések részben **közvetlen** károkat okozhatnak az építményben, másrészt az építmény alatti **talaj tömörödése**, alakváltozása miatt léphet fel kár.

## Földrengések

Az esetek 85%-ában az ok tektonikus (szilárd földkéreg hirtelen törése, a törés vetődése); 15%-ában vulkánikus.

Richter, amerikai szeizmológus a felszabadult energiát (magnitúdó: M) mérte. Az MSK-64 skála a földrengés intenzitásának (erősségének) 12 fokozatát használja a bekövetkezett jelenségre jellemző hatás alapján. Az egyes fokozatokat római számokkal jelöli.

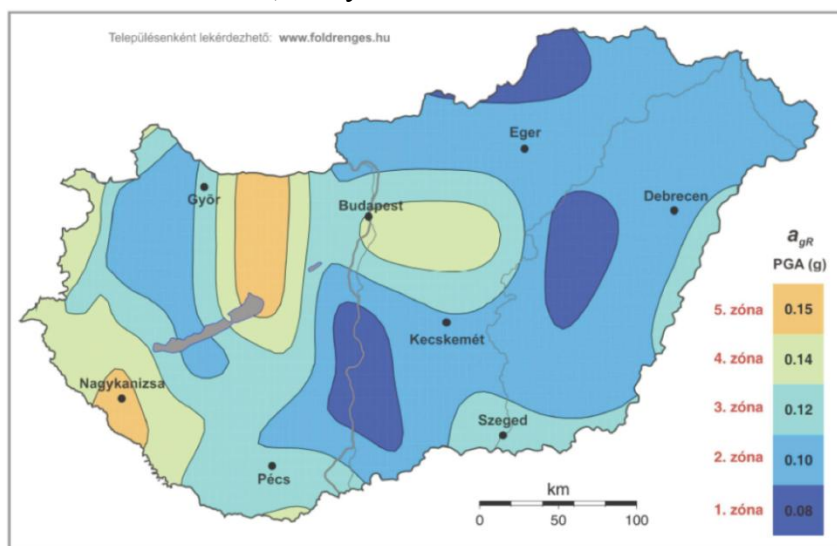
Az 1990-es évek elején az Európai Szeizmológiai Bizottság (ESC) az MSK-64 skálában megfogalmazott számos elvet felhasznált az Európai Makroszeizmikus Skála (EMS) kidolgozása során.

Jelenleg az intenzitás fokozatát három tényező alapján határozza meg az **EMS 1998**, ezek:

- az emberi szervezetre gyakorolt hatás;
- a tárgyakra és a természetre gyakorolt hatás;
- az épületek károsodása.

Mindhárom, összefüggésben van a rezgésereősségi tényezővel ( $\chi$ ), az egyszerű intenzitási fokozat tartalmazza a rázkódás hatását. Az intenzitás 12 fokozatát határozta meg az Európai Geodinamikai és Szeizmológiai Központ (CEGS) (pl. I. Nem érezhető; V. Erősen érezhető; XII. Teljesen megsemmisítő).

A létesítmény szeizmikus hatásokra való tervezését a vonatkozó EC8 szabvány szerint kell elvégezni az 50 éven belül 10 %-os valószínűséggel bekövetkező rengésre, mint rendkívüli hatásra. Magyarország szeizmikus aktivitását bemutató térkép (73. ábra) az adott területi egységekre jellemző  $a_{gR}$  vízszintes talajgyorsulási értékeket mutatja be. Az MSZ EN 1998-1:2008 (EC 8) hét talajosztályt különböztet szeizmikus viselkedés szerint, amelyet a 7. táblázat szemléltet.



73. ábra: Magyarország talajgyorsulási térképe

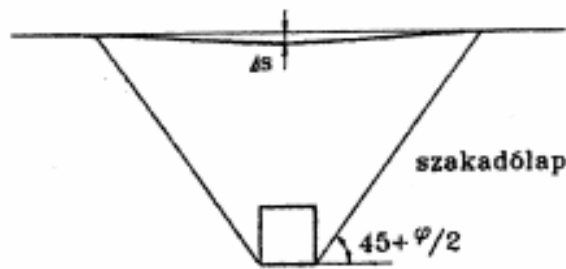
7. táblázat: Altalajosztályok az EC8 szerint

Altalaj- osztály	A rétegszelvény leírása	Paraméterek		
		$v_{s,30}$ [m/s]	$N_{SPT}$ [ütés/30cm]	$C_u$ [kPa]
<b>A</b>	Szilárd kőzet vagy kőzetszerűen viselkedő geológiai képződmény, amely felett legfeljebb 5 m gyengébb fedőréteg van	>800	-	-
<b>B</b>	Nagyon tömör homok-, kavics- vagy kemény agygrétegek legalább több tíz m vastagságban, a mechanikai jellemzők a mélységgel fokozatosan növekednek	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Tömör vagy közepesen tömör homok-, kavics- vagy merev agygrétegek több tíz vagy akár több száz m vastagságban	180-360	15-50	70-250
<b>D</b>	Laza vagy közepesen tömör, kohézió nélküli talaj (némi puha kötött réteggel vagy anélkül), vagy túlnyomóan puha-gyúrható kötött talaj	<180	<15	<70
<b>E</b>	Felszíni üledékréteg, amely a $v_s$ érték szerint C vagy D osztályú, 5 és 20 m közötti vastagságú, alatta 800 m/s-nál nagyobb nyíróhullám-sebességű, merevebb anyag			
<b>S<sub>1</sub></b>	Puha agyagból/iszapból álló vagy legalább egy 10 m vastag agyagot/iszapot tartalmazó, nagy plaszticitású ( $PI > 40$ ) és nagy víztartalmú rétegek	<100 (az érték figyelmeztető)	-	10-20
<b>S<sub>2</sub></b>	Folyósodásra hajlamos talajok, érzékeny agyagok vagy más olyan talajrétegek, amelyek nem sorolhatóak az A-E vagy S <sub>1</sub> osztályba			

### 3.5.2 Földalatti üregnyitás hatása

Közvetlen süllyedésveszélyt jelent, ha a meglévő felszíni építmények alatt mesterséges üregek (alagút, bánya, pince) építését kell végrehajtani (74. ábra). Az üregnyitás megváltoztatja az eredeti feszültségállapotot; a felette és oldalt lévő földtömegek elmozdulnak az üreg felé. Minél mélyebben van az üreg és minél szilárdabb a talaj, annál kisebb lesz és később következik be az elmozdulás. Fontos: az üreg megtámasztása és víztelenítése mielőbb megtörténjen. Süllyedések nagysága az üregbe benyomódott talajtömegeből számítható közelítőleg.





74. ábra Üreg feletti süllyedési teknő kialakulása

### 3.5.3 Talajvíz kimosó hatása

Élővizek partján, szemcsés talajra emelt építmények esetén - gyors apadásnál a magasabb talajvízszint miatt erős áramlás jön létre a folyó irányába, s az magával ragadja a szemcséket. Üregek keletkeznek az épület alatt.

### 3.5.4 Fagyhatás hűtőházaknál

Egy-egy hűtőház üzembe helyezése után a "nullizoterma" mindaddig mélyebbre hatol, amíg a talaj hőveszteségét a Föld középpontja felől áramló hő nem biztosítja, pótolja. Rossz szigetelés esetén 6-12 m-ig is átfagy a padozat alatt. Az átfagyás padló és épületemelkedést okozhat. A fagykárak felléptének megakadályozására **hőszigetelő** réteget (pl. bitumenes parafa) kell beépíteni. A szigetelés helyett, vagy azzal párhuzamosan a **padlófűtés** is szóba jöhet. Normál épületek esetén elsősorban a külső falak és a pincepadló (nyitva hagyott pinceablak miatt) van kitéve a fagyveszélynek.

## 3.6 Alapozás kedvezőtlen altalajon

Hazánk területének jelentős részén találunk a terepszint alatt olyan térfogatváltozásra hajlamos agyagokat, roskadásra hajlamos talajokat, szerves üledékeket és feltöltéseket, amelyekre történő alapozások tervezésénél kellő óvatossággal és szakszerűséggel kell eljárni. A térfogatváltozó agyagok és roskadásveszélyes talajok (elsősorban a löszök) az építmény kivitelezése után hosszabb-rövidebb idő múlva **állapotukat** külső hatásra olyan mértékben változtatják, hogy az építmény egyenlőtlen mozgása, károsodása következik be. A **kis szilárdságú, nagymértékben összenyomódó** szerves talajok és feltöltések általában alkalmatlanok a terhek viselésére. Felismerésük viszonylag egyszerű és egyértelmű.

### 3.6.1 Alapozás térfogatváltozó talajon

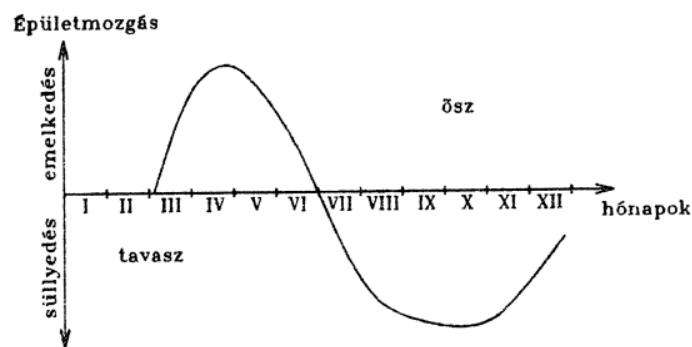
A zsugorodásra - duzzadásra hajlamos talajon álló, viszonylag kis terhelésű (1-2 szintes) épületek legtöbbje előbb-utóbb megsérül. Az épületkárok a nagyobb nyári szárazság után (főleg, ha több száraz év követi egymást) jelentkeznek. Külső falakon a sarkok felé emelkedő és függőleges repedések alakulnak ki. A falak kifelé dőlnek. Épülettoldalékok: lépcsők, teraszok elválnak a főfalaktól. Az ilyen épületek altalja kövér, mozaikos agyag, melynek felszíne száraz időben repedezett. A talajvíz mélyen van.

A térfogatváltozó agyagok jellemzői:

- $I_p > 25\%$ ;
- magas montmorillonit, illit (agyagásvány tartalom);
- $z_{s1} > 5\%$ ;
- max térf. változás  $> 15\%$ ;
- duzzadási nyomás  $> 100$  kPa;
- fajlagos duzzadás  $\delta_d > 0,04$ .

A károk:

- 83%-a egyszintes;
- 13%-a kétszintes;
- 4%-a háromszintes épületeknél jelentkeznek.



75. ábra: Az épületmozgás jellege az év különböző időszakaiban

A duzzadás (épületesemelkedés) általában tavasszal, a zsugorodás (süllyedés) pedig ősszel jelentkezik (lásd 75. ábra). A térfogatváltozásból származó építménykárok elkerülhetők a következő tapasztalatok és szabályok szem előtt tartásával:

- az alapsík ne legyen a terepszinhez 2-2,5 m-nél közelebb;
- kis terhelésű építményeket teljesen alá kell pincézni (részleges alapincézés a legrosszabb megoldás);
- három szintesnél magasabb épületeknél nem tapasztalunk károkat;
- talaj teherbírását minél teljesebben ki kell használni (kis alapszélesség);
- az alap vegye fel a térfogatváltozásból származó hajlítást, húzást; vagyis ne a felszerkezetet hanem az alapokat erősítsük (vasaljuk) elsősorban,
- rendezni kell az építmény körüli terepet, el kell vezetni a csapadékból származó vizeket;
- tetővíz gondos elvezetése;
- épület köré 1,0-1,5 m széles, kifelé lejtő járda kell;
- kerülni kell az épület fő tömegéből kinyúló kis terhelésű épületrészeket;
- ne legyen az épült közelében nagy vízigényű növényzet (pl. nyárfa, nyírfa);
- az ún. "vizes" közművek bekötései merőlegesek legyenek az építmény falára, és biztosítani kell a relatív elmozdulás lehetőségét a vezeték és a fal között.

### 3.6.2 Alapozás roskadékony talajon

Roskadáshoz három tényező kell:

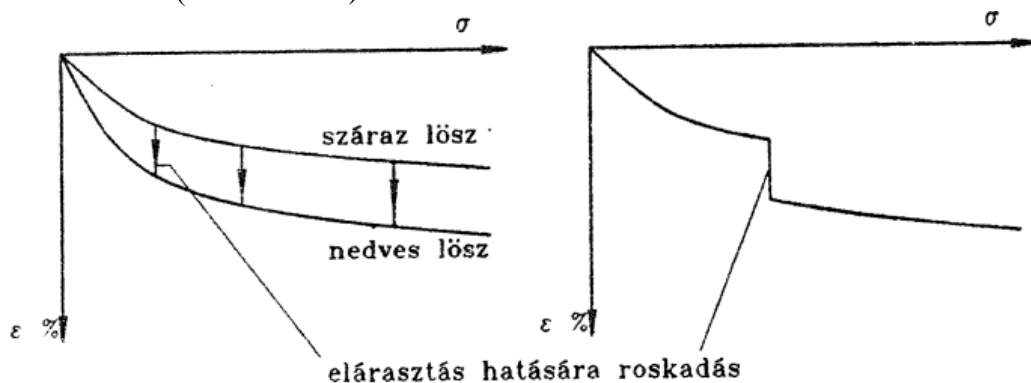
- roskadékony talaj;
- terhelés;
- víz.

Ezek megléte esetén talajtörés elleni biztonság növelésével (alapszélesítéssel) sem védhető meg az épület a gyors süllyedéstől.

Roskadás-veszélyes talajok:

- lösz (makropórusos szerkezetű);
- laza (száraz) finomhomok és átmeneti talaj;
- laza, friss feltöltés.

Azokat a talajokat nevezzük roskadás-veszélyesnek, melyeknek a roskadási tényezője:  $i_r > 0,01$  (1%). Hazánk területének c.ca 1/3-át lösz bontja. A nedves lösz már a "puszta" terhelés hatására is roskad. (lásd 76. ábra).



76. ábra: A roskadás jelensége

Károk elleni védekezés:

- felszíni vizek távoltartása (tereprendezés);
- tetővizek elvezetése;
- közművezetékek gondos tervezése és kivitelezése;
- nedves üzemű alsó szinti helyiségbe vízzáró padozat;
- emeletenként falsüllyedésre méretezett koszorú (vb);
- vasalt sáv-, szalag- vagy gerendarács alap.

Talajjavítás:

- felszíni tömörítés ejtett döngölőlapokkal (3-5 tonna - 3-5 m-ről ejtve);
- mélytömörítés (vibroflotációs);
- talajszilárdítás (pl. vízüveges);
- talajégetés;
- elárasztás+előterhelés.

**Vigyázni:** építéskor az alapgödör ne ázzon át!

### 3.6.3 Alapozás feltöltésen

Városok, ipartelepek fejlődése egyre több feltöltött területet produkál téglagyári gödrök, kavics - homokbányák, várárok, salakhányók, szemétkerakatok). Feltöltések anyaga és kora eltérő, s ennek megfelelően a viselkedésük is.

Anyaguk:

- talaj;
- építési, - ipari törmelék;
- 10%-nál nagyobb szerves tartalmú anyag (meddőhányó, ipari hulladék);
- égési termék (salak, hamu);
- házi szemét és hulladék;
- fentiek keveréke.

Nagyon "veszélyes" a házi szemét és a kb. 10 évnél frissebb feltöltés. Az ilyen területeken való építkezés igen nagy körültekintést kíván.

A hazai károsodott

- szerkezeti elemek 40%-a,
- válaszfalak 57%-a,
- padozatok 70%-a állt feltöltésen!

A károk 87%-át víz (csatornatörés, tetővíz, nyomócsőtörés, felszíni víz) váltotta ki. Tervezés előtt meg kell határozni a fajlagos roskadást. Számításba kell venni, hogy a feltöltésben mérgező gázok (pl. cián) és robbanásveszélyes gázok (metán) is képződhetnek.

Tervezési irányelvek:

- talpfeszültség ne haladja meg a 150-200 kPa értéket;
- vizet távol kell tartani;
- kerülni kell a melléépítést;
- az alapok alatt közel azonos vastagságú feltöltés maradjon;
- építmény térbeli merevségét fokozni kell.

**Feltöltések javításának módjai:**

**- Felszíni tömörítés:**

- vibrolappal (10-30 cm vtg. réteg tömöríthető);
- vibrohengerrel (30-50 cm vtg. réteg tömöríthető);
- ejtett döngölőlappal (2-4 m vtg. réteg tömöríthető).

**- Mélytömörítés (laza és vastag feltöltés esetén):**

- vibroflotációs;
- cölöpökkel való tömörítés;
- robbantásos.

- **Talajcsere** (tvsz.felett) lehet:

- teljes;
- részleges;

csereanyag: homokos kavics, kőzúzalék, homok, stabilizált talaj, fontos:  $\rho_{d \max} > 1,75 \text{ g/cm}^3$ .

### Injektálás

- cementinjektálás kis mennyiségű bentonittal; felülről lefelé kell injektálni;
- vízüveges injektálás sűrű anyaggal.

### 3.6.4 Alapozás szerves talajon

A feltöltés mellett a szerves talajok okozzák a legtöbb károsodást.

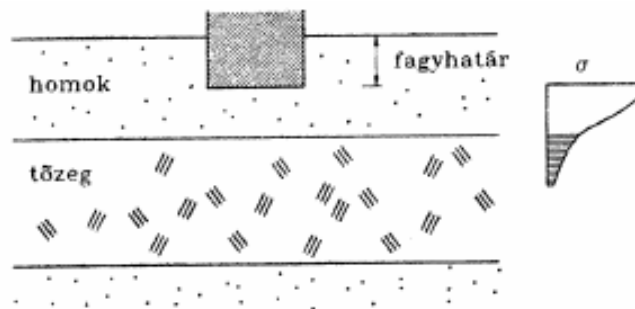
Felismerés:

- sötét szín;
- kis térfogatsúly (könnyű);
- víztartalom nagy ( $w > 50-70\%$ );
- szálás, rostos szerkezetű.

Sajátosságok:

- összenyomódási modulus ( $E_s$ ) kicsi (500-2000 kPa);
- vízáteresztőképességi együttható ( $k$ ) kicsi, konszolidáció lassú;
- szerves bomlás, másodlagos kompresszió;
- hőhatásra érzékeny;
- zsugorodik;
- változó vastagságú.

Sok esetben jó állapotú fedőréteggel takart. Ilyenkor elsősorban kis mélységű síkalapozás lehetőségét kell tervezéskor először megvizsgálni (77. ábra). Vagyis ebben az esetben elsősorban a kis szélességű sávalap vagy a vb. gerendarács alkalmazása jön szóba. Ügyelni kell ilyenkor arra, hogy a tőzegrre ne jusson 60-80 kPa-nál nagyobb feszültség. Ha a tőzeg a felszínen van, akkor igen gyakran talajcsereét alkalmazunk. Lehetőleg közel azonos terhelésű, egyező alapsíkú alaptesteket tervezzünk! Amennyiben a szerves talaj kisebb vastagságú, úgy kellő merevségű és szilárdságú, süllyedéskülönbségek szempontjából nem érzékeny építmények építhetők.



77. ábra: Jó állapotú fedőréteg esetén kis mélységű síkalapozás.

Veszélyes:

- dinamikus hatás;
- talajvízszint ingadozás.

Közműcsatlakozásoknál gondolni kell az épület nagyobb süllyedéseire. Kerülni kell a részleges alapincézést, melléépítést. Zárt alaprajzú, térbelileg merevített épületeket tervezzünk.

## 4 MÉLYALAPOK

Amennyiben a terepszint közelében nincs megfelelő teherbírású talaj, illetve a síkalapozás nem megfelelő, akkor az építmény szerkezeti elemei és a mélyebben fekvő, kellő teherbírású altalaj közé **közvetítő elemet** építünk. Ez a mélyalapozás.

Fajtái:

- cölöpalapozás<sup>10</sup>;
- résfalas alapozás<sup>11</sup>;
- kút-és szekrényalapozás.

Vannak a sík-és a mélyalapok között "átmeneti" alapozások is, nehéz szabatosan kijelölni a csoportok határát (pl. markolt "tömb" alap).

Mélyalapot alkalmazunk, ha:

- a megbízható teherbíró réteg mélyen van;
- magas talajvíz miatt a síkalap költségesebb;
- síkalap esetén kimosás, kiüregelés veszélye áll fenn (pl. hidak);
- elcsúszási veszély állna fenn síkalapnál;
- meg nem engedhető süllyedések keletkeznének síkalap esetén,
- gazdaságosabb a síkalapnál.

### 4.1 Cölöpalapok

Leggyakrabban alkalmazott mélyalap. "Cölöpalap" két részből áll:

- cölöpökből és
- azok fejeit összefogó tömbből, lemezből, cölöprácsból.

#### 4.1.1 Cölöpök csoportosítása

a) Teherátadás módja szerint:

- álló cölöp;
- lebegő cölöp;
- vegyes cölöp.

b) Igénybevétel módja szerint:

- nyomott;
- húzott;
- hajlított.

c) Anyaguk szerint:

- fa;

---

<sup>10</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=awW\\_uoRUJ8o](https://www.youtube.com/watch?v=awW_uoRUJ8o)

<sup>11</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=pgMZGGShvF4>

- acél;
- beton;
- vasbeton;
- habarcs;
- homok, kavics, zúzottkő
- talajbeton.

d) Készítés módja szerint

- előregyártott;
- helyben készülő.

e) Méreteik szerint:

- rövid cölöp (3-5 m);
- mikrocölöp ( $d < 30$  cm);
- normál cölöp ( $30 \text{ cm} < d < 60$  cm);
- nagy átmérőjű cölöp ( $d > 60$  cm).

#### **4.1.2 Előregyártott cölöpök**

a) Fa cölöpök:

- fenyő, tölgy, akác anyagúak;
- többnyire ideiglenes cölöpök (provizóriumok);
- végleges is lehet, ha állandóan víz alatt van (a talajvízszint nem ingadozik).

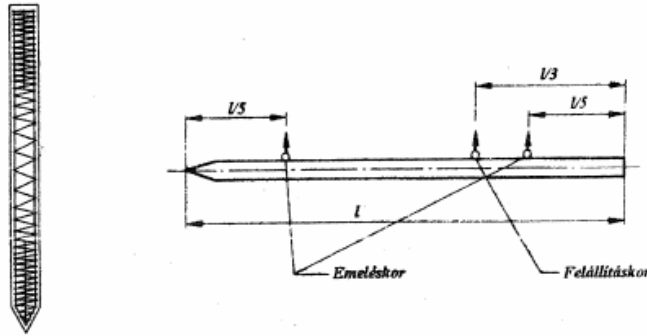
b) Acélcölöpök:

Ugyancsak ideiglenes használatra valók. Előnyük, hogy csaknem tetszőleges hosszban készíthetők (toldhatók), általában visszanyerhetők és többször is felhasználhatók. Végleges beépítésükre betonra agresszív talajvíz esetén szokott sor kerülni. Hátrányuk a drága anyaguk. Legtöbbször hegeszthető, nagy szilárdságú acélcsővet (vagy H cölöpöt) használnak cölöpözésre, s alsó végét általában csúccsal zárják le.

c) Vasbeton cölöpök

A leggyakrabban használt cölöpök. Tartós, nagy teherbírású. Hátrány a nagy súly, ami a kezelést, szállítást, verést nehezíti. Hazánkban 30x30 (és 40x40) cm oldalhosszúságú, négyzet keresztmetszetű, 4-12 m hosszúságú, előregyártott vb. cölöpöket alkalmaznak. Betonjuk általában C20/25, amelyet portlandcementtel, (C jelű), agresszív talajvíz esetén a megfelelő beton receptúrával pörgetett betoncsövet készítenek. Az acélbetétek legalább B 38.24. minőségűek legyenek. Az acélbetétek elrendezését a 78. ábra ismerteti.





78. ábra: Előregyártott vb. cölöp acélbetéteinek elvi elrendezése

A hosszbetéteket a szállítás, emelés közben a cölöp önsúlyából keletkező hajlításra kell méretezni; a kengyelezés pedig a verés közben fellépő keresztirányú húzás felvételére szolgál. Az ábrán láthatók a cölöp emeléséhez és felállításához szükséges emelőkampók. Az épületelemgyárok kétféle vasalással készítik a cölöpöket:

- normál vasalás (átlagos talajviszonyokra): 4-10 m hossz;
- erősített vasalás (nehéz talajviszonyokra): 8-12 m hossz.

#### 4.1.3 Előregyártott cölöpök talajba juttatása

##### a) Veréssel

- mechanikus;
- pneumatikus;
- gőz vagy;
- diesel kalapácsokkal.

##### b) Vibrálással

- közönséges vibrálás;
- vibrációs verés;
- öblítéssel egyidejű vibrálás.

##### c) Csavarással

#### 4.1.4 Helyszínen készített cölöpök

Igen sokféle módszer van. Lyukat fúrnak, markolnak, vernek, vagy vibrálnak, és azt bebetonozzák.

Készülhet:

##### a) köpenycsővel

- visszanyert;
- elvesző.

##### b) köpenycső nélkül

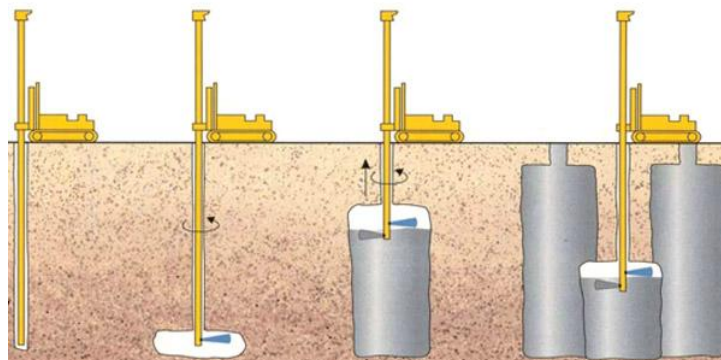
- szárazon;
- zaggyal;

- folyamatos spirállal;
- csavartcölöpös technológiával.

A Magyarországon alkalmazott technológiák:

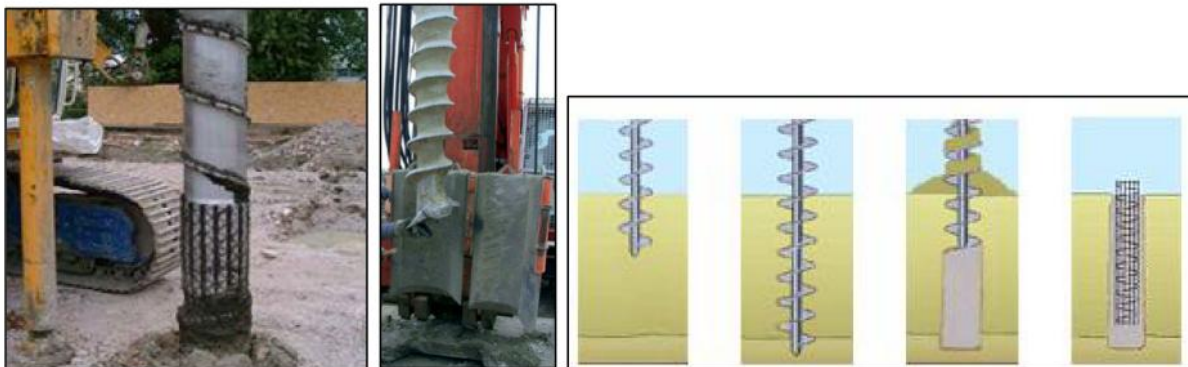
- Béléscsővezetett, „közönséges” fűrt cölöp,
- Markolt cölöp,
- Franki cölöp,
- Soil Mec cölöp,
- Folyamatos spirállal készített (CFA) cölöp,
- Sima köpenyű csavart cölöp (Omega, CMC)
- Csavarmentes köpenyű cölöp (Screwsol),
- Full Displacement Pile (FDP)
- Mikrocölöp<sup>12</sup>,
- Jet-grouting eljárás.

Jet-grouting eljárásnál a talajba juttatott fűrórudazat forgó mozgás közben nagy nyomású injektáló folyadéksugárral átkeveri és cement alapanyagú szilárdítóval telíti a környező talajt; így módon "talajbeton" cölöpöt állít elő (79. ábra).



79. ábra: Jet-grouting eljárás<sup>13</sup>

A nagy nyomású folyadéksugár szétrombolja a környező talaj szerkezetét, és kötőanyaggal telíti. Az eljárás gyakorlatilag mindenfajta talajban alkalmazható.



80. ábra: FDP, Screwsol és CFA cölöpözés

<sup>12</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=TNXd577IReE>

<sup>13</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=i8x2xFCaR5o>

Az egyes cölöpféleségekkel a „Mélyalapozás” c. tárgy fog foglalkozni.

#### 4.1.5 Cölöpalapok tervezése

A cölöpkéből és fejtömbből" (rácsból) álló cölöpalap tervezésének lépései:

- meghatározzuk a cölöpcsoport mértékadó terhét;
- felvesszük a cölöpök számát, átmérőjét, helyét;
- meghatározzuk az egyes cölöpökre áthárított mértékadó igénybevételeket;
- cölöphossz meghatározása;
- meghatározzuk a cölöpcsoport várható süllyedését és összehasonlítjuk az építmény süllyedéstűrésével;
- szükség esetén módosítjuk a kiindulási adatokat (pl. cölöpszám, átmérő, típus), és újra elvégezzük a számításokat.

#### 4.1.6 Cölöpök várható teherbírásának meghatározása

Az egyedi cölöpök nyomási ellenállásának karakterisztikus értéke az előbbieket szerint többféle eljárással határozható meg, s ezeket az EN 1997-1 külön alfejezetekben tárgyalja. Ezek

- statikus próbaterhelés,
- talajvizsgálati eredmények alapján végzett számítás,
- dinamikus próbaterhelés.

##### a) Teherbírás számítás statikus szondázás alapján

A cölöpök teherbírása az MSZ EN 1997 – 1: 2006 szabvány előírásai szerint CPTu szondázási diagramok felhasználásával is meghatározható.

Egy cölöp nyomási ellenállásának számított értéke:

$$R_{c,cal} = R_{b,cal} + R_{s,cal}$$
$$R_{c,cal} = q_{b,cal} \cdot A_b + D\pi \sum_{i=1}^n h_i \cdot q_{s,cal,i}$$

ahol  $q_{b,cal}$  – a talp alatti talaj számított fajlagos talpellenállása,

$A_b$  – a talp keresztmetszeti területe,

$q_{s,cal,i}$  – a fajlagos számított köpenymenti ellenállás az egyes harántolt talajrétegekben, de max. 120 kPa

$h_i$  – a harántolt talajrétegek vastagsága.

A fajlagos talpellenállás:

$$q_{b,cal} = \mu_b \cdot \alpha_b \cdot 0,5 \cdot \left[ \frac{q_{cI} + q_{cII}}{2} + q_{cIII} \right],$$

ahol:

$\mu_b$  – technológiától függő tényező

$\alpha_b$  – a cölöp típusától függő talpellenállási szorzó

$q_{cI}$  – a mélyalap talpa alatti  $t_{kr}$  mélység átlagos szondaellenállása ( $0,7D < t_{kr} < 4D$ ),

$q_{cII}$  – a mélyalap talpa alatti  $t_{kr}$  vastagságú zóna legkisebb  $q_c$  értékeinek súlyozott átlaga,  
 $q_{cIII}$  – a mélyalap talpától 8D magasságig felfelé felvehető legkisebb  $q_c$  érték súlyozott átlaga (de  $q_{cIII} \leq 2000$  kPa).

A fajlagos köpenymenti ellenállás:

$$q_{s,cal,i} = \alpha_{s,i} \cdot q_{c,i}^{átl}$$

A talpellenállás karakterisztikus értéke:

$$R_{b,k} = \frac{R_{b,cal}}{\xi}$$

A köpenymenti ellenállás karakterisztikus értéke:

$$R_{s,k} = \frac{R_{s,cal}}{\zeta}$$

A nyomási ellenállás **tervezési értéke**:

$$R_{c,d} = \frac{R_{b,k}}{\gamma_s} + \frac{R_{s,k}}{\gamma_b}$$

ahol:

- $\xi_{(mean/min)}$  – korrelációs tényező,
- $\alpha_{s,i}$  – talajtípustól függő palástellenállási szorzó,
- $\gamma_s$  – köpenymenti ellenállás parciális tényezője,
- $\gamma_b$  – talpellenállás parciális tényezője.

Érdemes odafigyelni, hogy számításánál a köpenymenti ellenállás parciális tényezőjére eltér nyomott és húzott cölöp esetében (lásd: 6. táblázat).

## 4.2 Résfalas alapozás

A korszerű építési gyakorlat az 1960-as évektől használja a függőleges falú árokban, annak kibetonozása útján épülő résfalakat.

Az alaptestek az építmény teherhordó szerkezetének kontúrjával megegyező vonalazású résfal, vagy hosszabb - rövidebb réspillérek (a cölöpökhöz hasonlóan).

A réseléses technológia a tixotróp tulajdonságú bentonitos zagy (résiszap) függőleges falat megtámasztó, talajvizet kizáró hatásán alapul. Vagyis a talajba mélyített függőleges falú réseket bentonitos zaggyal töltik meg.

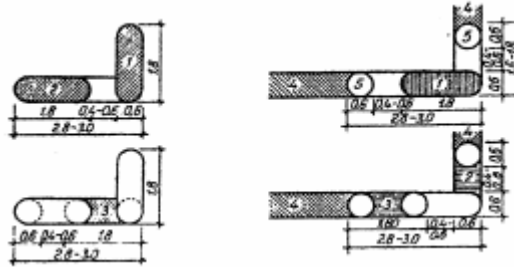
Réselés menete:

- résvezető gerenda készítése;
- réselés zaggyal való megtámasztás;
- vasszerelés elhelyezése;
- betonozás.

Rések szélessége általában: 40-120 cm.

Egyszerre elkészített réspillér hossza: max. 8-10 m.

Készülhet folyamatos fal, de pillérszerű kialakítás is. A folyamatos résfalat is rövidebb szakaszokban építik (81. ábra).



81. ábra: Folyamatos résfal készítése

Földkiemelés történhet:

- markolóval,
- fúrési technológiával,
- hidrofrézer.

Résalap előnyei:

- kialakítás variálható (hossz, alaprajz:82. ábra);
- nagy teherbírás, kis süllyedés;
- mással gazdaságosan meg nem oldható szerkezetek építhetők (pl. földalatti garázsok);
- vízszintes és függőleges teherviselés is;
- nincs szükség talajvízszint-süllyesztésre;
- tetszés szerinti mélység;
- nem kell zsámozás, dúcolás;
- zaj és rázkódásmentes (viszonylag);
- felszerkezettel jól összekapcsolható;
- próbaterhelhető.



82. ábra: Réspillérek keresztmetszeti kialakítása

### A hidrofrézeres réselési technológia

Ez a réselési technológia 1985 óta van jelen az építőiparban. A gép (83. ábra) francia szabadalom, így a frézerek kezelését csak franciák végezhetik. Ezt a technológiát világszerte használják napjainkban, így például Hong Kongban, Ausztráliában és a metróépítés kapcsán hazánkban is.

A hidrofrezeres technológiával lehetőség nyílik arra, hogy réspilléreket és résfalakat készítsünk a talajfajták széles körében, mint például a kohézió nélküli, szemcsés talajban vagy akár egy-egy igen kemény sziklában. A technológia előnye, hogy ebben az esetben nincs szükség szakaszoló panel használatára, a vízzárás automatikusan megoldott két egymás melletti panel között, illetve a rezgések csökkenése miatt jól alkalmazható lakott övezetben is. Egy átlagos hidrofrezér kiemelési mélysége 60 méter, de Japánban használták egy különleges változatát is, ami 150 méter mélységig képes leásni a résfalak megfelelő állékonyságának biztosítása mellett.



83. ábra: A hidrofrezér marótárcsás vezérgép és marótárcsák.

Magyarországon ez a technológia a 4-es metró építése során került alkalmazásra. A Szent Gellért téren 40 méter, a Fővám téren 48,3 méter mély résfal kiemelése folytán került hazánkba ez a még itthon újdonságnak számító hidrofrezeres technológia.

### 4.3 *Kút- és szekrényalapok*

#### Kútalap:

Nagyátmérőjű, rövid cölöphöz hasonlító, alul-felül nyitott körfal, amelynek belsejéből fokozatosan kiemelik a földet, s az a saját súlya alatt besüllyed az így kialakított üregbe (84. ábra). Alkalmazási köre hasonló a cölöpökéhez. Ha a teherbíró réteg 4-8 m mélységben van a térszín alatt (pl. kőzet), akkor versenyképes lehet a cölöppel. A végleges mélység elérésekor a talpat betondugóval zárják le

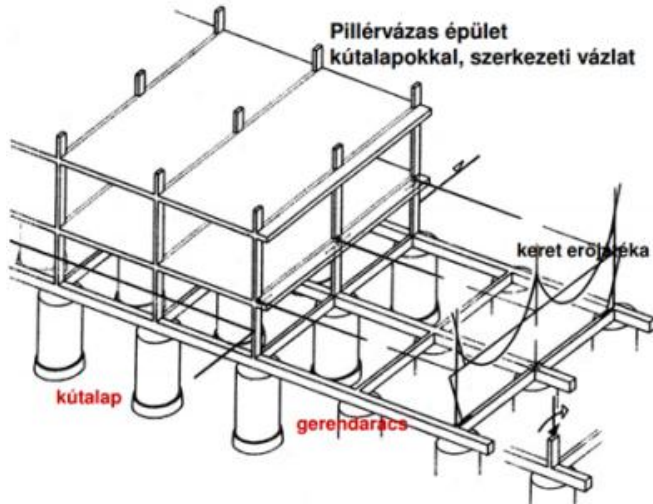
#### Szekrényalap:

Lényege azonos a kútalapéval, de míg a kutak pontonként támasztják alá az építményt, és a cölöprácshoz hasonló szerkezet fogja össze őket, addig a szekrény alaprajza azonos az építmény (pl. hídpillér) alaprajzával, így sokkal nagyobb (85. ábra). Benne merevítő

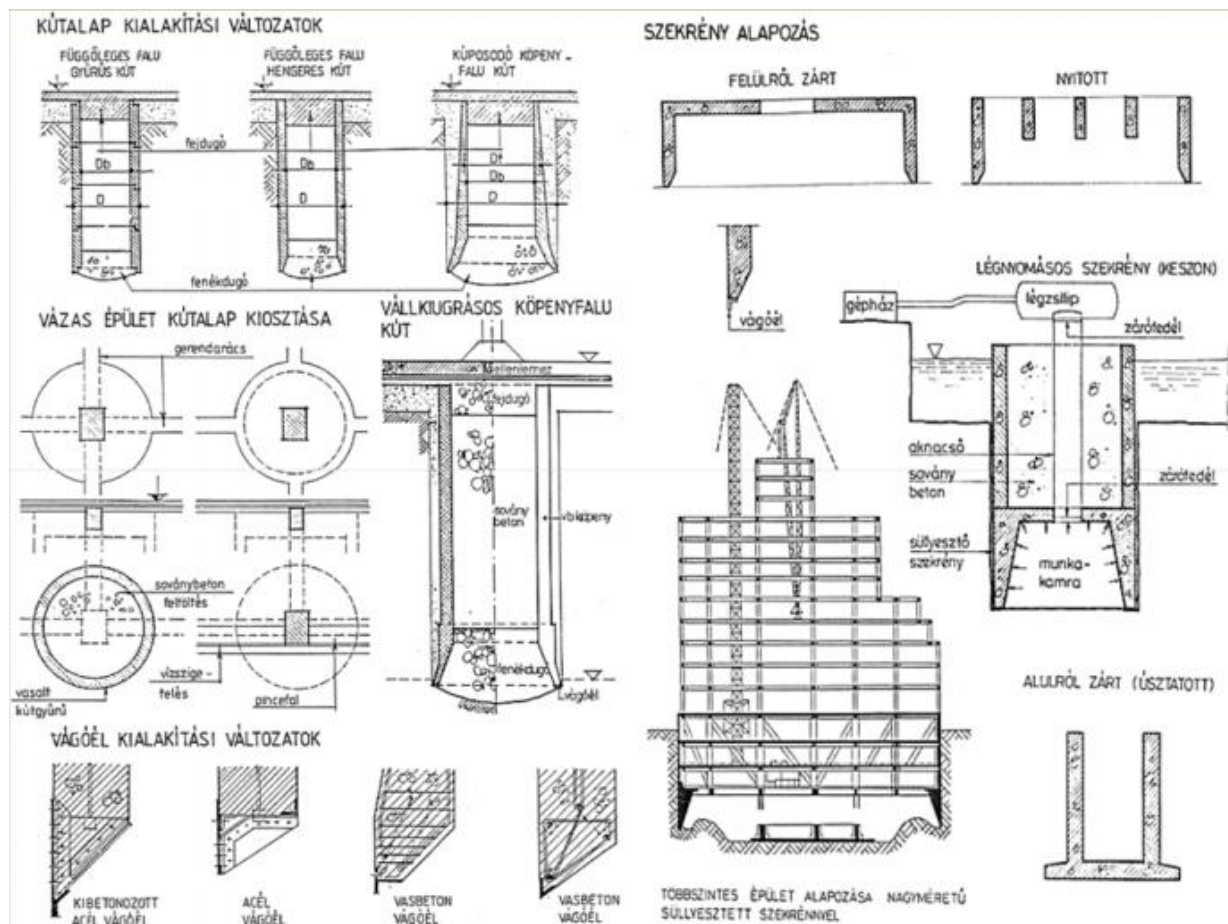
rekeszfalak vannak. Jól kotorható talajban 40-50 m mélységig levihetők. Roskadási tölcser alakulhat ki a környezetükben.

Anyaguk:

Általában vasbeton (a kút előregyártott elemekből (kútgyűrű) is készülhet);  
acél (agresszív víz esetén).



84. ábra: Kútalapozás



85. ábra: Szekrényalapozás

## 5 ALAPOK ÉPÍTÉSE

### 5.1 Munkagödör határolások

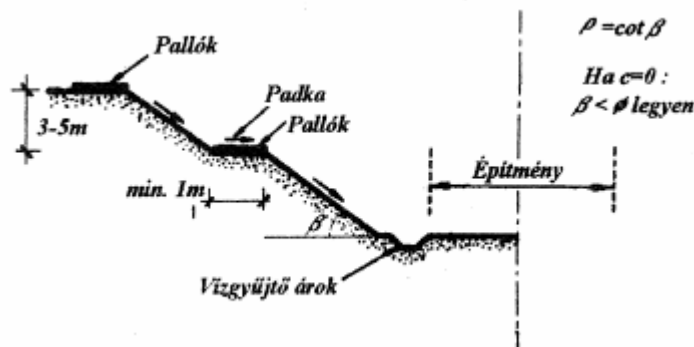
Az alapsík a terepszint alatt van. A felette lévő talajtömeget alapozáskor el kell távolítani, vagyis kiemelik az alapgyödröt. Keskeny munkagödrök esetében használjuk a "munkaárok", "alapárok" megjelölést is.

A határolás **kialakítható:**

- rézsúsen (burkolatlan, füvesített, lövellt betonos, burkolt);
- dúcolással (fa, vasbeton, acél, műanyag elemek);
- szádfalakkal (fa, acél, vasbeton);
- réselte falakkal,
- gátakkal;
- fagyasztott vagy vegyileg szilárdított falakkal;
- nagy-szekrényel;
- talajszegezéssel.

#### 5.1.1 Rézsús kialakítás

Legegyszerűbb, de nagy helyet igényel és nagyobb földtömeg megmozgatása szükséges, mint függőleges falnál (86. ábra).



86. ábra: Rézsús munkagödör határolása

A kiemelt föld deponálása a szakadólapon kívül történjen! Talajvíz emelkedése is okozhat rézsúmozgást. Szádfal - vagy cölöpverés, forgalom okozta dinamikai hatás is csökkentheti az állékonyságot. Fel kell hívni a tereprendezés fontosságára a figyelmet. A csapadékvíz ne folyjon a munkagödörbe!

#### 5.1.2 Munkagödör dúcolása

A dúcolás földmegtámasztást jelent, amelynél a gödröt határoló - általában függőleges - földfalak nyomását pallók, ezekre merőleges hevederek, és a megtámasztó dúcok rendszere veszi fel. A függőleges földfal megtámasztás nélkül  $m_0$  mélységig állékony:



$$m_0 = \frac{4 \cdot c}{n \cdot \gamma} \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

ahol

- c - kohézió;
- $\varphi$  - belső súrlódási szög;
- $\gamma$  - talaj térfogatsúlya;
- n - biztonsági tényező (2-3).

Ekkora mélységig tehát megtámasztás nélkül kiemelhető a függőleges falú gödör; azonban a megtámasztást mielőbb el kell készíteni. (A talajvíz szintje alatt nem ajánlatos ez a módszer.) Ha a munkagödör mélységénél (H) nagyobb az  $m_0$ , akkor is el kell helyezni "minimális" (hézagos) dúcolást. A megtámasztó elemek közötti hézagok - sem vízszintes, sem függőleges irányban - nem lehetnek nagyobbak  $0,5 m_0$ -nál.

Dúcolni kell a függőleges falakkal kiemelt munkagödröket, árkokat mindenhol, ahol a földfalak beomlása kárt vagy balesetet okozhat, mégpedig:

- homokban, ha  $H > 0,5 \text{ m}$ ;
- átmeneti talajban, ha  $H > 1,0 \text{ m}$ ;
- kemény agyagban, ha  $H > 2,0 \text{ m}$ .

Dúcolni kell mindig, ha dinamikus hatás lehet (közlekedés, cölöpözés stb), illetve épületek mellett.

### Dúcolás anyagai

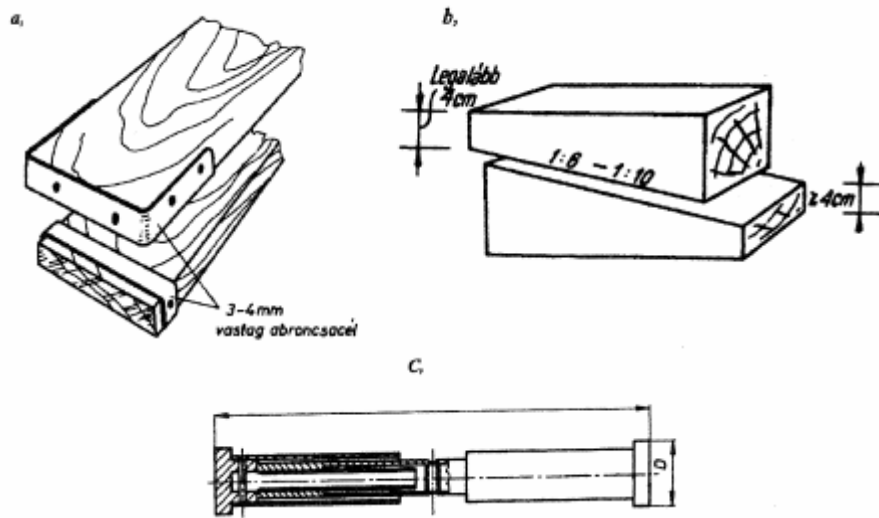
A dúcolás általában fából vagy acélból készül. Leggyakrabban III. osztályú faanyagot használnak.

A pallók (lásd 87. ábra/a) vastagsága általában 48 mm, szélessége: 20 cm, hossza pedig 5-6 m. A pallók végeit acélabronccsal lehet a szétrepedéstől védeni. A dúcok átmérője legalább 12 cm legyen. Az ékek kemény-fából készülnek (87. ábra/b).

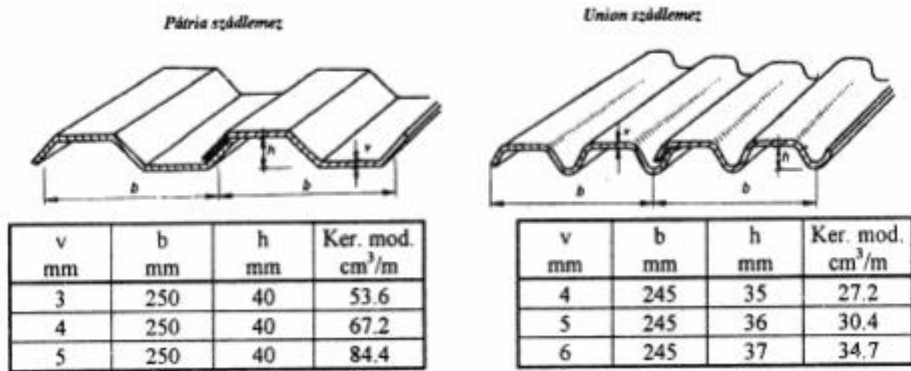
A dúcokat és hevedereket minden 1,5 m-nél szélesebb árokban ácskapcsokkal kell összefogni.

Fadúc helyett célszerűen alkalmazható a c. ábrán látható **csavaros acéldúc**, amelynek egyik előnye a nagyobb teherbírása, s így különösen hasznos ott, ahol a fadúcot annyira sűrűn kellene elhelyezni, hogy az a munkát akadályozná. A másik előny az, hogy a hossza változtatható, és így könnyen alkalmazható különböző szélességű árok dúcolásához.

Fapallók helyett egyre gyakrabban használják az acél **szádlemezeket** (csatornapallókat), amelyek hideghajlítással készülnek. Könnyen beverhetők, visszahúzhatók; sokszor felhasználhatók. A hazai gyakorlatban alkalmazott két típus adatai a 83. ábra szemlélteti.



87. ábra: Dúcolásokhoz használt anyagok



88. ábra: Szádlemezek és jellemző adataik



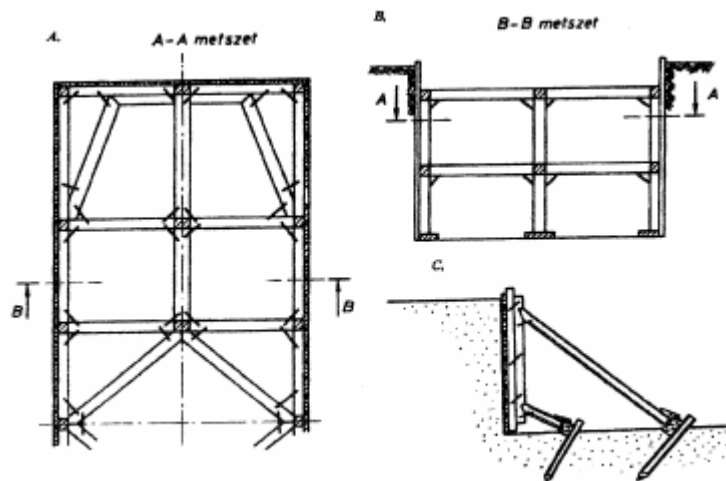
89. ábra: Munkagödör-határolás szádfallal, Sambeek, Holland

### Keskeny munkagödör dúcolás

A pallózás rendszerét az határozza meg, hogy hogyan helyezzük el és támasztjuk meg a pallókat, illetve a hevedereket. Az alábbiak nemcsak a fapallókra, hanem a szádlemezekre is érvényesek. Rendszerint a függőleges helyzetű pallózást készítik acél elemekből.

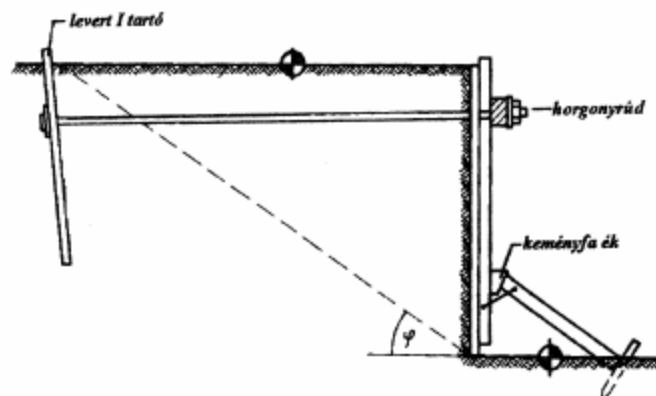
### Széles munkagödör megtámasztása

A 3 m-nél szélesebb gödörnél már számolni kell a dúcok kihajlásával (kibicsaklásával), ezért a dúcokat minden irányban kimerevítve kell elhelyezni (90. ábra).



90. ábra: Széles munkagödör belső megtámasztása

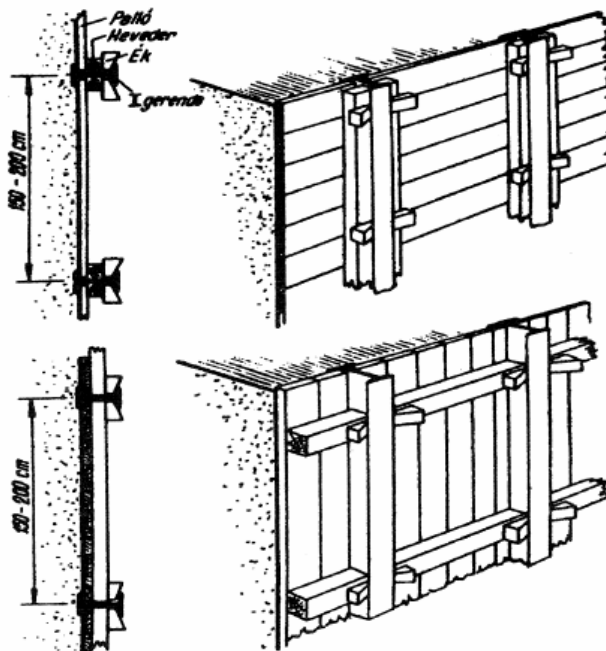
Nagy szélesség esetén ez a megoldás már igen nehézkes. Nagyméretű dúcokra lenne szükség, vagy olyan sűrű dúcolásra, hogy a gödörben a munka lehetetlenné válna. Ilyenkor a 90. ábra/c. szerint látható **ferde megtámasztás** alkalmazható, ha a munkagödörben elegendő hely áll rendelkezésre. Sok esetben előnyösen felhasználható a megtámasztásra az építendő műtárgy alaplemeze is. Ha nincs hely a ferde kitémasztáshoz, akkor **kihorgonyzással** kell a függőleges hevederek helyzetét biztosítani (91. ábra). A horgonyrudakat általában megfelelő távolságban levert acél gerendákhoz erősítik.



91. ábra: Hátrahorgonyzás

## Siemens (berlini) dúcolás

Elsősorban 6 m-nél mélyebb és 3-4 m-nél szélesebb munkagödörnél használható előnyösen (92. ábra).



92. ábra: Siemens dúcolás

A gödör határa mentén I tartókat vernek a talajba, s ezek közé a földkiemeléssel lépést tartva megfelelő hosszúságú vízszintes vagy függőleges pallókat csúsztatnak. A tartók a munkagödör fenékszintje alá vannak verve, felül pedig vagy dúcokkal támasztják meg vagy hátrahorgonyozzák őket.

### **5.1.3 A munkagödör körülzárása szádfalakkal**

Talajba vert és egymáshoz hornyokkal kapcsolódó **szádpallókból** álló fal.

Feladata:

- biztosít a beomlás ellen;
- a hornyos kapcsolat oldalsó vízzárást biztosít;
- szükség esetén a létesítmény szerkezeti elemét képezi.

A munkagödör kiemelése előtt verik le a szádpallókat ideiglenes vagy végleges használat céljából.

Szádfalak anyaga:

- fa;
- vasbeton;
- acél.

A fa- és vasbeton szádfalakat régebben használták.

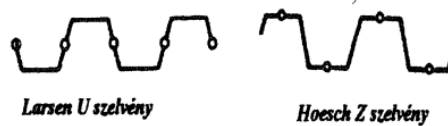
## Acél szádfalak

Egymásba kapcsolódó hornyokkal hengerelt acélpallókból állnak. Ideiglenes és végleges felhasználásra is alkalmasak. Anyaguktól megkívánjuk, hogy korrózióálló és az elverődéssel szemben kellően szívós legyen.

a, Egyenes pallók - Union Flach szelvény



b, Félhullám alakú pallók



c, Teljes hullám alakú pallók - Rote Erde szelvény

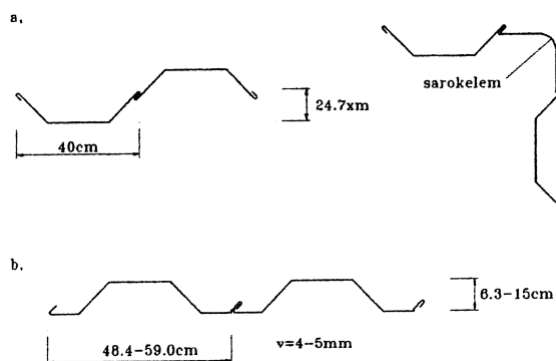


93. ábra: Szádpalló típusok

Lehetnek:

- egyenes;
- félhullám (U alakú, Z alakú);
- teljes hullám vonalúak (93. ábra).

Nálunk az import félhullám Larssen pallókat használják (94. ábra/a).



94. ábra: Larssen (a) és Cs típusú (b) szádpallók.

A hazai gyártmányú (ÁBKSZ) CS-1, CS-2 és CS-2M típusú szádpallókat elsősorban árvízvédekezésnél alkalmazzák (94. ábra/b). Ez utóbbiak átmenetek a csatornapalló és a szádfal között.

Szádpallók lehajlása

Ütő (verő) vagy vibráló hatást kifejtő gépekkel juttatják a pallókat a talajba. Rendszerint acélszerkezetű verőállvány szükséges, amely csörlőjével segít a pallók felemelésénél és beállításánál; majd verés közben tartja a pallót, illetve a verőeszközt. Manapság elterjedően van a sajtolásos technika is.

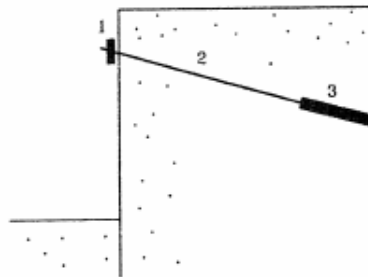
#### 5.1.4 Kihorgonyzások

Ha az egyszerűbb, olcsóbb dúcolásra nincs szabad munkatér, vagy a szembetámasztási távolság nagy, akkor a megtámasztó szerkezetet a megtámasztott földtömegbe (hátra) horgonyozzák.

A **horgony** a létesítmény, szádfal és a környező talaj erőtani együttműködését biztosító előfeszített, húzott szerkezeti elem.

A horgony fő szerkezeti része (95. ábra).

1. horgonyfej;
2. horgonyszár;
3. horgony csúcsa (befogási szakasz).

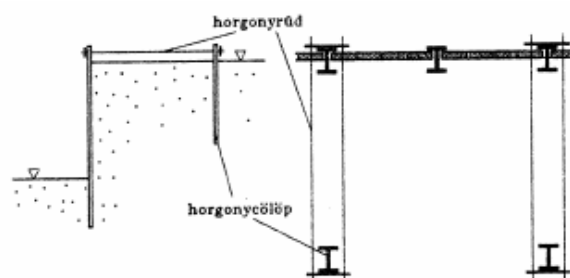


95. ábra: A horgony fő szerkezeti elemei

A horgony lehet végleges (pl. a partfalnál) és ideiglenes (szádfalnál) rendeltetésű.

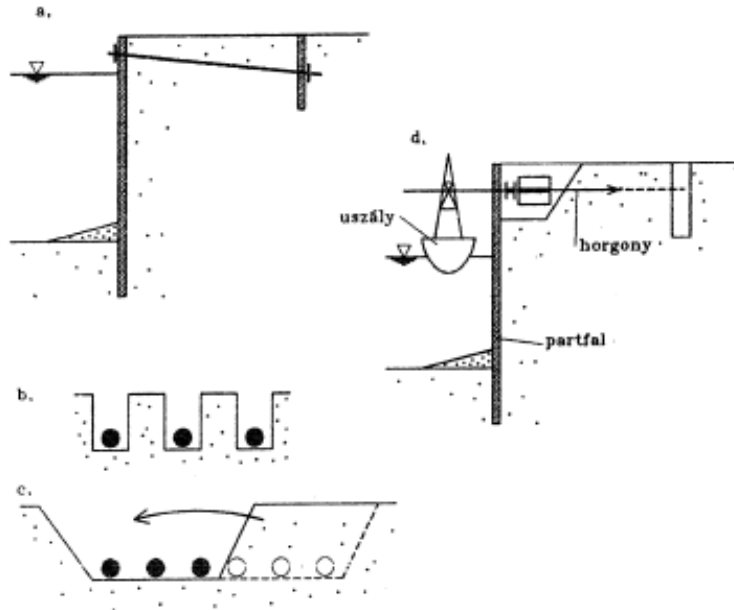
#### Hagyományos horgonyszerkezetek

Szádfalaknál, Siemens (berlini) dúcolásoknál előnyösen használt megoldást szemléltet a 96. ábra.



96. ábra: Levert „I” tartóhoz való felszíni hátrahorgonyzás

A faltól "elég" távol függőleges idomacél gerendákat vernek a talajba és a térszínen v. annak közelében hátravezetett köracél horgonyrudakkal kapcsolják össze őket. Folyami partfalaknál (résfal vagy vb. szádfal) a nagy terhelésű (500-1500 kN) horgonyokat réselt falegységekhez kötik hátra (végleges építményeknél). Erre mutat példát a 97. ábra/a. A horgonyrúd készülhet betonacélból, hengerelt szelvényből, acélkábelből.



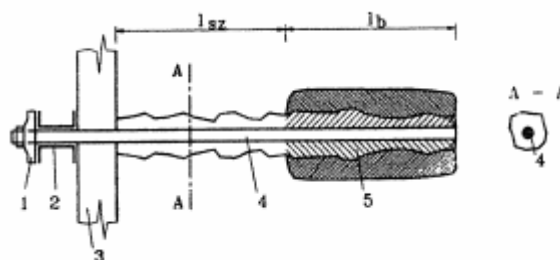
97. ábra: Hátrahorgonyzás részfalhoz (a) metszet; b) horgonyelhelyezés résekben; c) horgonyelhelyezés széles munkaárokban; d) horgonyelhelyezés sajtolással

### Injektált horgonyok

A horgonyszár kialakítható:

- helyszínen készített furaton át;
- sajtolással<sup>14</sup> (hidraulikus sajttal nyomják a csövet);
- veréssel vagy vibrálással juttatják be a teherhordó acélszerkezet, majd megfelelőhosszon végzett injektálással rögzítik a teherhordó altalajba.

Az acélszerkezetet szükség esetén a kívánt teherbírásnak megfelelően előfeszítik, majd ebben az állapotban a megtámasztáshoz rögzítik (ez egyben próbaterhelés is!). A feszített horgony szerkezetét a 98. ábra mutatja be.



98. ábra: Feszített horgony szerkezete

1-horgonyfej, 2-mellgerenda, 3-szádfal/résfal, 4-horgonyszár, 5-injektált (aktív) szakasz

Az ábrából kitűnik, hogy csak a horgony végének környezetében injektálnak, itt hozzák létre az  $l_b$  befogási hosszat. Az  $l_{sz}$  szabad hosszon nincs erőátadás, a megfeszítés során a horgonyszárnak ez a része szabadon megnyúlhat - itt csak a korrózió elleni védelemről kell

<sup>14</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=TnWgQxZTooA>  
[http://www.arcelormittal.com/projects/europe/foundationsolutions/EN/driving\\_equipment/giken.htm](http://www.arcelormittal.com/projects/europe/foundationsolutions/EN/driving_equipment/giken.htm)

külön gondoskodni. A horgony tehát az  $l_b$  hosszban át hűzőerejét a környező talajra, a horgonyszár és az injektált tömb között pedig vagy felületi tapadás, vagy valamilyen szerkezeti kapcsolat közvetíti az erőt. A feszített horgony szerkezeti elemeivel kapcsolatosan az alábbi megjegyzések a legfontosabbak.

Horgonyszár:

- 1 db  $\phi > 20$  mm betonacél;
- 1 db nagyszilárdságú betonacél (pl. DIWIDAG);
- több kisebb átmérőjű ( $\phi = 5,5 - 7$  mm) feszítőacél szál;
- több - elemi szálból font - pászmás acélkábelből ( $\phi = 12 - 14$  mm) bélésű felhasználásával.

Horgonyrúd szabad hossza:  $l_{sz}$  (itt nincs erőátadás)

- nem injektálják, a horgonyerőt közvetíti;
- súrlódáscsökkentő és korróziógátló anyaggal körbevéve (állandó horgonyok, 2 évnél hosszabb idő esetében).

Horgonyrúd befogási hossza:  $l_b$

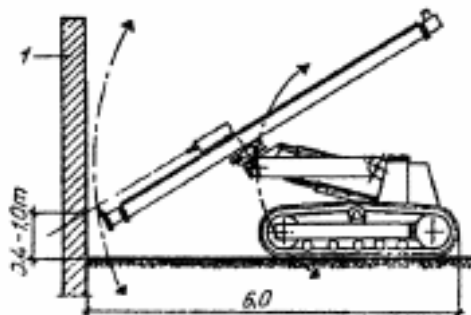
- injektálással előállított horgonytest, amely átveszi horgonyerőt és átadja azt az altalajra.

Horgonyfej:

- feladata a horgony által biztosított támaszerő átadása a horgonyzott szerkezetre (rézfal, szádfal).

### Vert - injektált horgonyok

Szemcsés és átmeneti talajokban alkalmazzuk. Bennmaradó csúccsal ellátott bélésű csövet vernek verőkocsiról (99. ábra), majd abban helyezik el a több, nagyszilárdságú acélrúdból készített horgonyt. A csövet sapkával lezárják és betonszivattyúval cementhabarcsot injektálnak be a bélésű cső fokozatos kihúzása közben. A habarcs megszilárdulása után az acélbetéteket megfeszítik kb. a várható terhelésük 90%-áig, majd rögzítik őket.



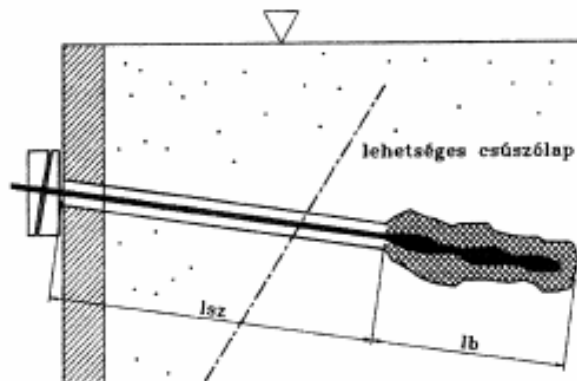
99. ábra: Vert-injektált horgony készítése.



## Fúrt injektált horgonyok (100. ábra)<sup>15</sup>

Készítésének fázisai:

- a vízszintessel  $\alpha = 0 - 45^\circ$  hajlású lyukat fúrnak béléscsővel vagy résiszapos technológiával;
- furat tisztítás: vízzel vagy. híg cementtejjel;
- húzott (acél) elemek elhelyezése;
- horgonytest injektálása;
- megszilárdulás (8-12 nap) után horgonyfeszítés a tervezett igénybevétel 80-90%-áig, rögzítés;
- ellenőrzés utáni átadás - átvétel.



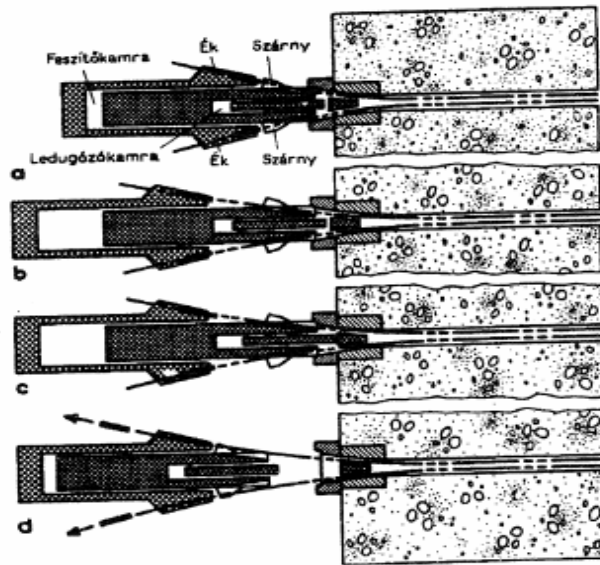
100. ábra: Fúrt-injektált horgony

Végleges horgonyok esetén az acélt védeni kell a korrózió ellen. Ez lehet:

- korrózióálló anyag alkalmazásával;
- acélanagra húzott PVC csővel;
- korróziógátló zsírral (pásmáknál).

Az injektáló habarcs víz - cement tényezője: 0,3-0,5. Fúróeszköz (fal és talaj átfúrásához) lehet önjáró (láncalpas, gumikerekes) és lehet mozgatott célgép. Az injektálási nyomás a körülményektől függően igen nagy ( $5000-6000 \text{ kN/m}^2$ ) lehet. Az injektált horgonyokat 1-2 hét elteltével hidraulikus hengerrel (feszítőpuskával) meghúzzák, majd ebben az állapotban rögzítik (101. ábra). A "puskák" max. feszítőereje általában 2000 kN.

<sup>15</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=eahj3groyj8>



101. ábra: Az injektált horgonyok feszítése

## Lehorgonyzások

Előfordul, hogy egy szerkezetet a függőlegesen felfelé ható erő (pl. talajvíz felhajtó ereje) ellen kell lehorgonyozni az alatta lévő talajhoz vagy kőzethez. A lehorgonyzás történhet:

- horgonycölöppel;
- horgonytömbbel;
- csavartányéros horgonnyal
- cölöppel.

### 5.1.5 Munkagödör-határolás résfallal

A résfalas építési technológia lényegét a résfalas alapozásnál ismertettük. A résfal helyettesíti a szádfalat és új lehetőségeket nyújt a terep alatti szerkezetek kialakításánál.

A munkagödör kontúrja mentén készített folyamatos résfal funkciói:

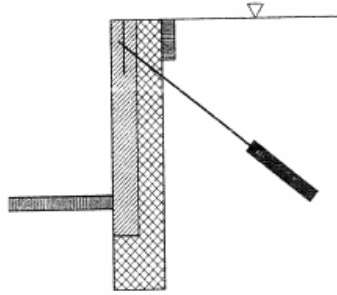
- munkagödör határolás; vízkizárás;
- szomszédos építmények biztosítása;
- felépítmény alapozása;
- térszín alatti építmény oldalfalainak elkészítése.

A határoló résfalat a szádfalakkhoz hasonlóan kell méretezni.

#### Előregyártott résfalak

A hagyományos módon, zagy védelme mellett elkészített résbe előregyártott réselemeket helyeznek el. Közvetlenül az elemek beemelése előtt egy injektáló csövön keresztül a rés aljába bentonit-cement összetételű, önszilárduló réshabarcot vezetnek be, amely alulról felfelé kiszorítja a résből a támasztó zagyot.

A benne elhelyezett előregyártott, vasbeton elemek általában 35-45 cm vastagok, 1,2-3,0 m szélesek és 6-15 m hosszúságúak (102. ábra).



102. ábra: Az önszilárduló zagy szilárdsága

Egy-egy elem súlya lehetőleg 200 kN-nál (20 t-nál) kisebb legyen.

Az önszilárduló zagy szilárdsága:

- 7 napos korban: 500-900 kPa;
- 28 napos korban: 1600-5000 kPa.

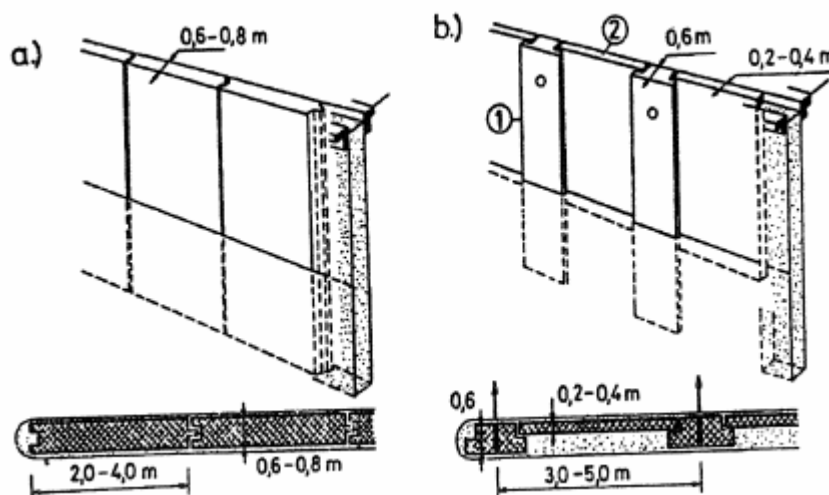
Az előregyártott résfal típusai:

- a) azonos méretű, horgonyos lemeztáblából álló szerkezet (103. ábra/a);
- b) oszlopos, lemezbetétes résfal (103. ábra/b).

Az elemeket daruval vagy markoló gémmel emelik a részbe és a részvezető gerendára függesztik őket a kitöltő habarcs megszilárdulásáig.

**Előnyei** a monolit résfalakkal szemben:

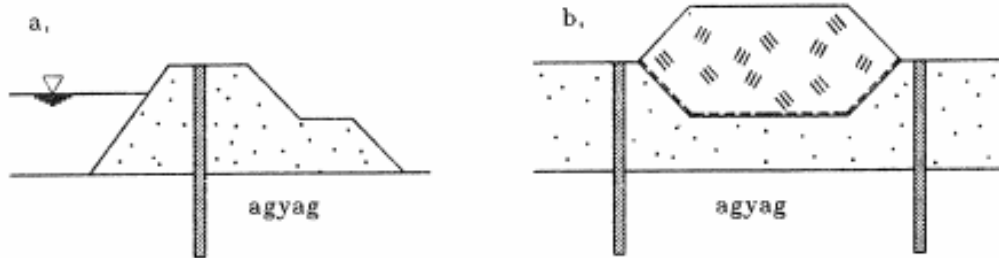
- belső falfelület sima, egyenletes, nincs szükség kezelésre (acél sablont kenik);
- elemek vékonyabbak;
- jobb vízzárás, táblakapcsolat (5-15 cm folytonos szilárdult zagy a fal mögött);
- beton minősége jobb, megbízhatóbb;
- vasalás pontosabb elhelyezésű, betonfedés jobb;
- falban kiképezhető csatlakozások (pl. földépek) helye szabatos.



103. ábra: Előregyártott résfalelemek: a) horgonyos lemezek; b) oszlopos, lemezbetétes kialakítás.

### Keskeny résfalak

Vízzáró függönyfalak, membránfalak kialakítására használjuk. Szélességük (vastagságuk) kisebb 40 cm-nél. Kiválóan alkalmas árvédelmi töltések vízzárásának fokozására (104. ábra/a). Használható hulladék - lerakóhelyek szigetelésénél, a talajvíz-szennyezés elleni védelemnél (104. ábra/b) is.



104. ábra: Keskeny résfalak alkalmazása.

E függönyfalak általában háromféle technológiával készülnek:

a) Árokásó, keskeny markoló "vékony" árkot ás, majd a rést képlékeny anyaggal töltik ki.

Réskitöltő anyag:

- agyag-cement keverék;
- bentonit-cement keverék (100-150 kg cement /m<sup>3</sup>).

b) „I” profilú tartót vernek, vagy vibrálnak a talajba, majd kihúzáskor a keletkezett rést bentonitos szuszpenzióval töltik ki (105. ábra).



105. ábra: Függönyfal-készítés „I” tartóval.

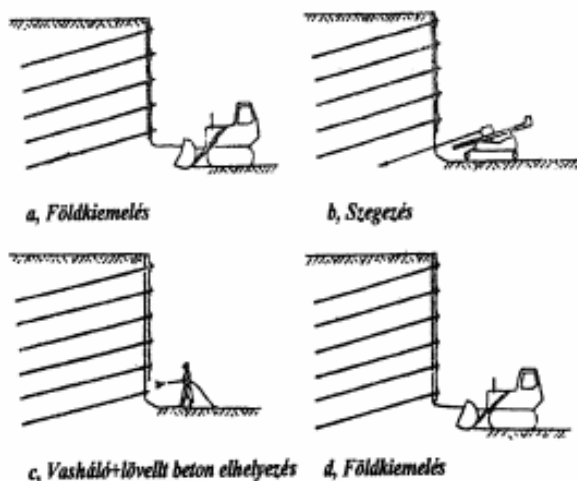
c) Jet-oszlopokkal hozzák létre a függönyfalat.

### **5.1.6 Munkagödör-határolás talajszegezéssel**

A talajszegezés munkafázisait a 106. ábra mutatja be.<sup>16</sup>

A várható csúszólap mögé kellő mélységig benyúló szegek (általában acél rudak) húzó, nyíró igénybevételeknek vannak kitéve. A munkagödör oldalfalát általában vékony - drót vagy acélhálóval erősített - lövellt betonnal borítják. A gödörmélyítés 90-180 cm-es függőleges szakaszokban történik.

<sup>16</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=cRAEZTOCBm0>

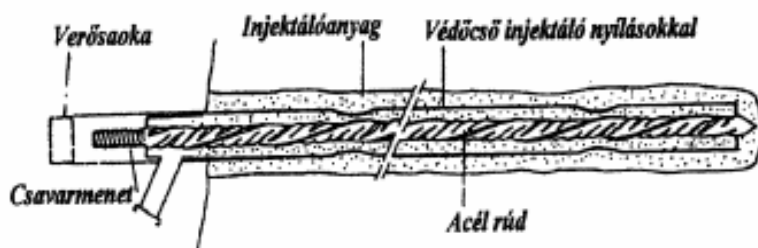


106. ábra: A talajszegezés munkafázisai.

Kétféle szegezési technológia ismert:

a) rövid (5-8 m hosszú) szegeket (betonvas, L, Z vagy négyzet keresztmetszetű zárt szelvényű rudakat) vernek, vibrálnak vagy lönek (sűrített levegővel) a talajba. Négyzetméterenként 1-3 szeget alkalmaznak.

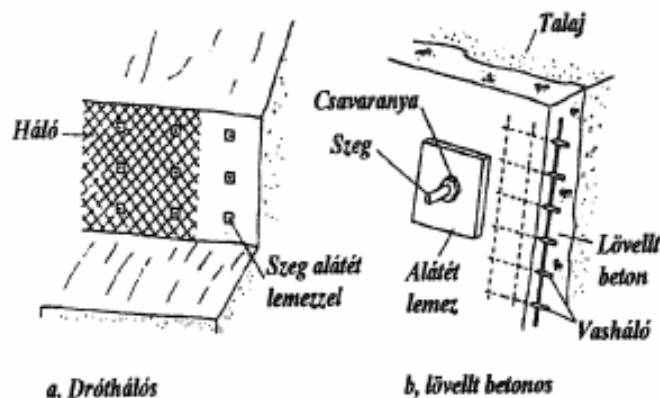
b) injektált szegezés:  $\phi = 10-15$  cm-es fűrt lyukba  $d = 12-36$  mm-es, nagyszilárdságú acélrudat helyeznek, majd a lyukat kiinjektálják. **H** mélységű munkagödörnél a szegek szükséges hossza:  $0,8-1,2 \cdot H$ . Négyzetméterenként  $0,15-0,9$  injektált szeget használnak. Egy injektált szeg hosszmetését a 107. ábra ismerteti.



107. ábra: Injektált szeg

A felületkialakítás kétféle lehet (108. ábra).

- dróthálós borítás (állékony talajok esetén);
- 6-8 cm vastag lövelt beton borítás  $d = 6-8$  mm-es betonvas hálóval erősítve.



108. ábra: Szegezett rézsűfelszín kialakítása

Talajszegezést nem szerencsés alkalmazni vízzel telített, puha agyagok esetén.

## 5.2 Munkagödrök víztelenítése

A munkagödörbe csapadékvíz, talajvíz esetleg folyó vagy tó vize juthat. A munkák zavartalanága miatt e vizeket távol kell tartani. Vízteleníteni úgy kell, hogy ne bontsuk meg a talajt, kimosás, fellazulás ne legyen. Az időszakos felszíni vizeket a munkagödörbe jutás előtt övárokkal fel kell fogni, és el kell vezetni. A gyakorlatban használt víztelenítési módok:

- nyíltvíz-tartás;
- talajvízszint-süllyesztés;
- vízkiszorítás sűrített levegővel;
- elektrooszmózissal;
- talajfagyasztás.

### 5.2.1 Nyíltvíz-tartás

Ez a legegyszerűbb és legolcsóbb víztelenítési mód, ezért ha lehet, mindig ezt alkalmazzuk. E lényege: a gödörbe jutott vizet nyílt árkokban vagy szivárgókban gyűjtjük össze, ezekből a gyűjtőaknába (zsompba) jut, és onnan kiszivattyúzzuk. Csak olyan talajban alkalmazható, ahol az áramló víz sebessége nem lazítja fel azt. Kis

áteresztőképességű kötött ( $k = 10^{-5} - 10^{-9}$  cm/s) talajokban (agyagokban) tervezhető elsősorban. Szemcsés talajban csak kis depresszió mellett alkalmazható.

Veszélyesek az ún. "folyós homokok" (finomhomok, iszapos homok/homokos iszap régi szabványban homokliszt), ha:

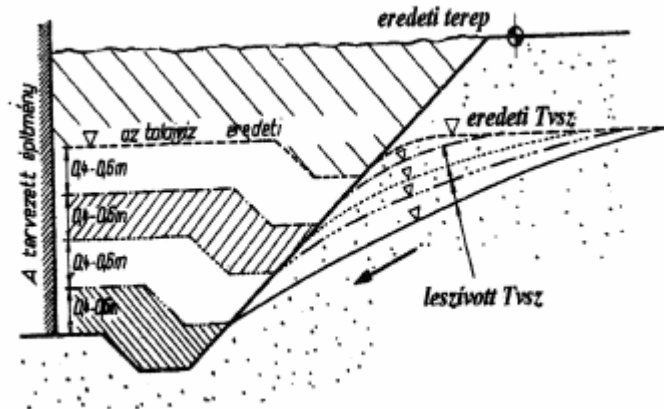
$$0,1\text{mm} > d > 0,05\text{mm}, \quad U < 5$$

Ezek a talajok áramló vízben, vagy verés, rázás hatására sűrű folyadék módjára viselkednek, s "buzgárok" formájában áramlik a víz és a talaj a munkagödörbe. Nyíltvíztartást tehát csak akkor szabad végezni, ha a víz lassan áramlik a munkagödör felé, így nem okoz kimosást, fellazulást. Az áramló víz sebessége:

$$v = k \cdot i = k \cdot \frac{H}{L}$$

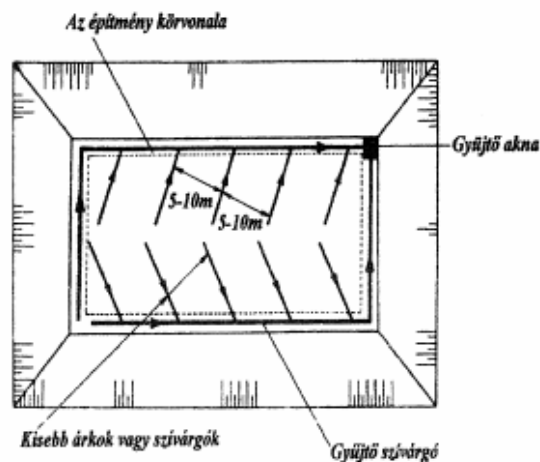
akkor kicsi, ha a talaj kevésbé vízáteresztő, vagy ha a hidraulikus esés ( $\frac{H}{L}$ ) csekély.

Rézsús határolás esetén a munkagödör kialakítását a 109. ábra mutatja be.



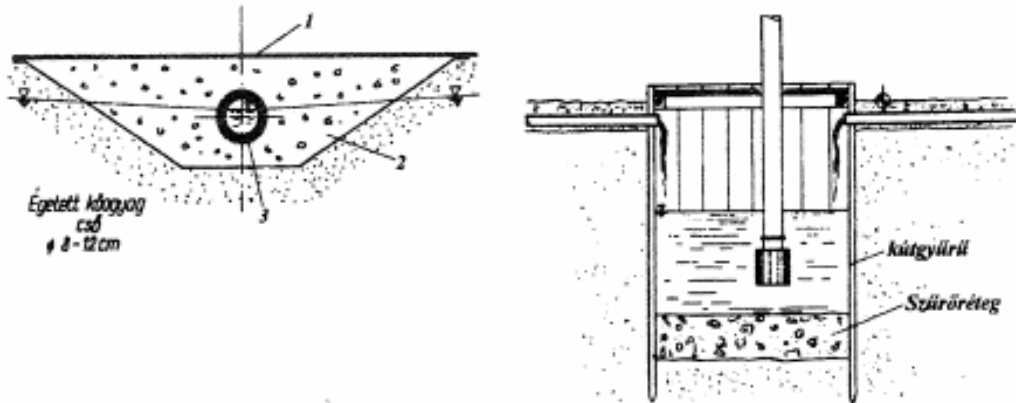
109. ábra: Munkagödör kiemelése nyíltvíz-tartás mellett

A talajvízszint elérése után a beszivárgó víz összegyűjtésére **árokhalozatot** kell kialakítani (2-3% lejtéssel). Az árok fenékszélessége és mélysége 40-50 cm legyen (110. ábra).



110. ábra: A nyíltvíz-tartásos munkagödör alaprajza.

A munkagödör belsejében lévő kisebb árok vizét a gyűjtőárkok vezetik a zompba, ahonnan szivattyúval távolítják el azt. Laza talajban a fenékárkokat homokos kavicsal, zútottkővel töltik ki (szivárgóárok) (111. ábra).

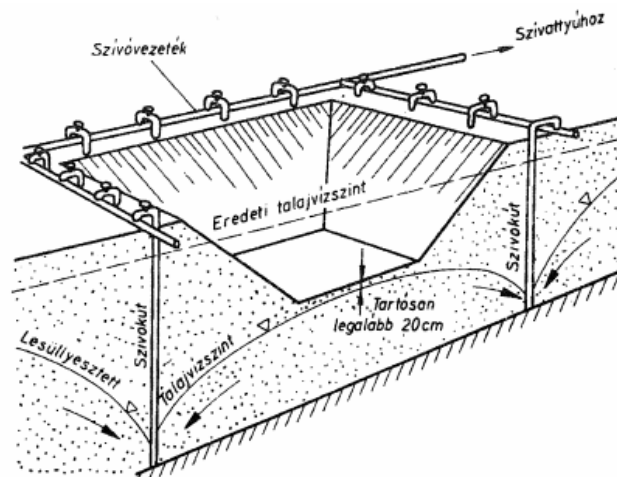


111. ábra: A szivárgó és a gyűjtőakna kialakítása: 1-kátránypapír; 2-kavics; 3-drainsó (PVC)

A **gyűjtőaknát** (zsompot) az építési szivárgók kiépítése előtt, az építmény alapterületen kívül kell megépíteni. Ezek az aknák olyan méretűek legyenek, hogy a néhány perces üzemszünet alatt tárolni tudják az összegyülekező vízmennyiséget. A gyűjtőakna általában 80-150 cm átmérővel (gyakran kútgyűrűkből) készül; a mélysége 1-2 m. Vonalas létesítményeknél kb. 80 m-enként kell gyűjtőaknát építeni; széles munkagödörben pedig a kerület mentén 80-100 m-enként egyet-egyét, lehetőleg a legmélyebb pontokon. A talajvizet az alapsík alá min. 20 cm-re le kell süllyeszteni, s addig tartani, amíg felúszási veszély nincs. A szivárgót utólag csöveken keresztül 1:3 arányú cement/homok habarccsal kiinjektálják. A zsompot víz alatti betonozással kell megszüntetni. Az építés befejezése után fokozatosan kell megszüntetni a nyíltvíztartást.

## 5.2.2 Talajvízszint-süllyesztés

Nem a munkagödörbe bejutott vizet távolítjuk el, hanem az akörül telepített kutakból szívjuk ki a talajvizet (112. ábra).



112. ábra: Munkagödör víztelenítése talajvízszint-süllyesztéssel

A mélyebb depresszió miatt több vizet kell kiszívni, mint a nyíltvíztartásnál. A közműépítéseknel szokásos keskeny munkaárkok mellett esetleg egy sor kúttal is célt lehet érni.

Durvaszemcsés talajokban (kavics, durva homok) a gyors vízutánpótlás miatt nem



alkalmazható. Kötött talajokban a nyíltvíztartás gazdaságosabb. Olyan talajokban alkalmazzuk, ahol:

$$k = 10^{-1} - 10^{-7} \text{ cm / s}$$

(közepes homok, iszapos homok, homokos iszap).

Folyós homokban kiválóan alkalmazható. A talajvízszint-süllyesztő rendszer részei:

- víz összegyűjtésért, szolgáló kutak;
- víz elszállítására szolgáló vezetékek;
- vizet mozgató gépek, szivattyúk, motorok, gépház.

Talajvízszint-süllyesztést csak tervek (hidraulikai és gépészeti) alapján szabad végezni. A munkagödör fenékszintje alatt min. 20 cm-re (ha gépek is dolgoznak a gödörben, akkor min. 50 cm-re) legyen a lesüllyesztett talajvízszint. Észlelő (megfigyelő) kutakra is szükség van. Külön víztelenítési naplót kell vezetni. Elháríthatatlan zavar esetén a félig kész építmény felúszását elárasztással kell megakadályozni (ehhez elárasztó csöveket kell beépíteni) A talajvízszint-süllyesztés üzemét csak az építető engedélyével szabad leállítani. Ekkor sem szabad hirtelen, egyszerre befejezni, hanem a kutak fokozatos kikapcsolása mellett, folyamatosan kell leállni. A kutak helyét gyorsan kötő cementhabarccsal kell kitölteni.

Fajtái:

- "Siemens" rendszerű (ha a talaj átteresztőképessége:  $k = 10^{-1} - 10^{-4} \text{ cm / s}$ );
- mélykutas ( $k = 10^{-1} - 10^{-3} \text{ cm / s}$ );
- pontkutas ( $k = 10^{-1} - 10^{-6} \text{ cm / s}$ );
- vákuumkutas ( $k = 10^{-3} - 10^{-7} \text{ cm / s}$ ).

#### a) "Siemens" rendszerű (szívókutas) süllyesztés

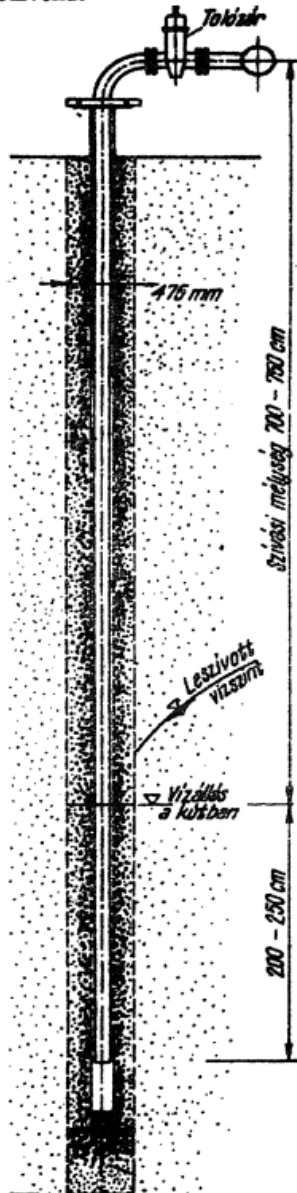
Vízáramlás a megszívott kútban lévő alacsonyabb vízszint és a nyugalmi tvsz. közötti magasságkülönbség hatására (gravitációs süllyesztés).

Kútmélység: 8 - 12 m,

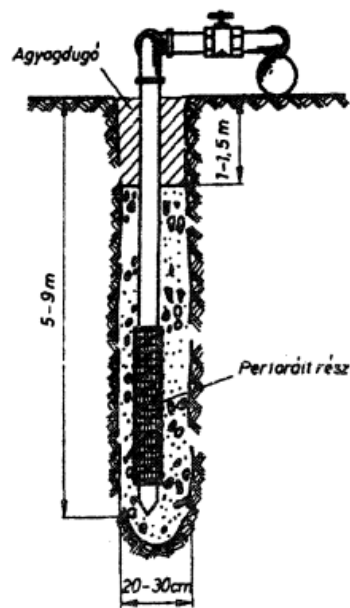
Kutak távolsága: 6-10 m,

Kutak átmérője: 20-60 cm.

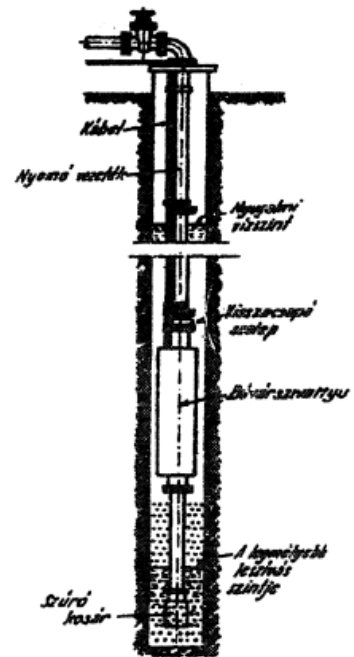
a, Szívókút



b, Vákuumkút

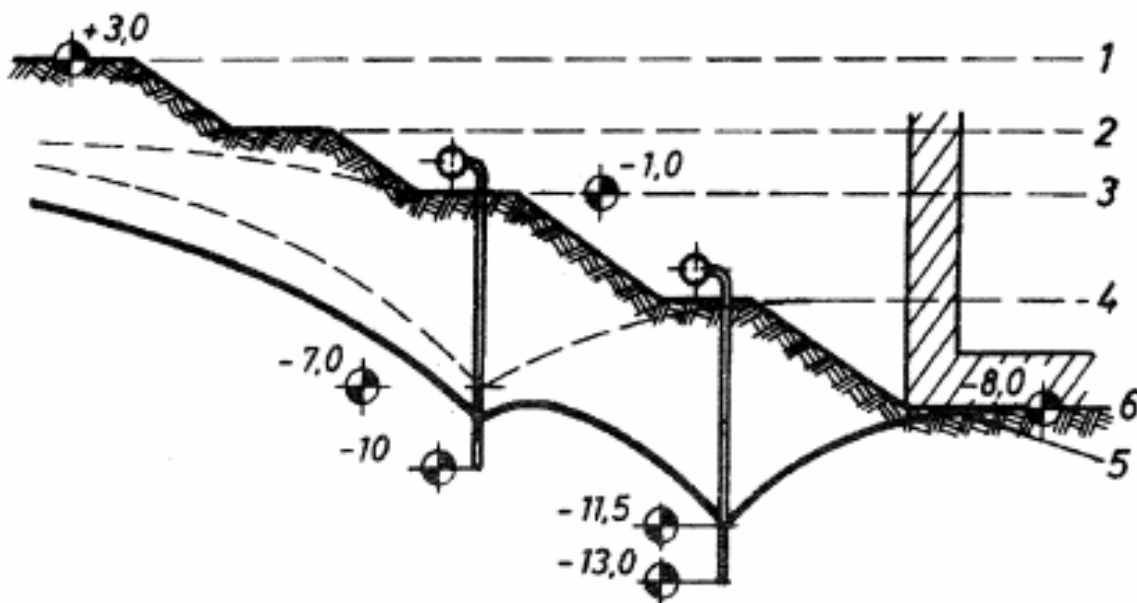


c, Mélykút



113. ábra: Talajvízszint-süllyesztő kutak fajtái

A fúrás **béléscső** védelme mellett történik. A furat aljára kavics szűrőréteg kerül, majd központosan, függőlegesen beállítják a **szűrőcsövet**, amely 3-5 mm vastag, perforált, horganyzott acélső, amire drótháló, szűrőszövet, geotextília és az azokat rászorító acélhuzal kerül. Alul fadugóval vagy acélsapkával zárják le. A béléscső és a szűrőcső közé kavicszűrő kerül. A szívócsőre felül tolózarat szerelnek. A szívóvezeték a gépház felé emelkedjen, hogy az esetleg belé került levegő eltávozhasson (légsapda). Általában elektromotorral meghajtott szivattyúkat alkalmaznak, amelyeknek benzinmotoros (100%-os) tartaléka van. A szívómagasság elméletileg 10 m lehet, de a veszteségek miatt ebből csak kb. 7 m valósítható meg a szűrőkútban. Az egymástól 8-10 m távolságban lévő kútsorral 3-3,5 m leszívást lehet a felezővonalban elérni. Ha ennél nagyobb leszívás kell, akkor lépcsős talajvízszint-süllyesztést alkalmazunk (114. ábra).



114. ábra: Lépcsős talajvízszint-süllyesztés

Nagyobb mélységek esetén három, vagy akár több lépcső alkalmazása is előfordulhat. Ilyenkor - homogén talajviszonyok mellett - azonban már gazdaságosabb tehet a mélykutas rendszer.

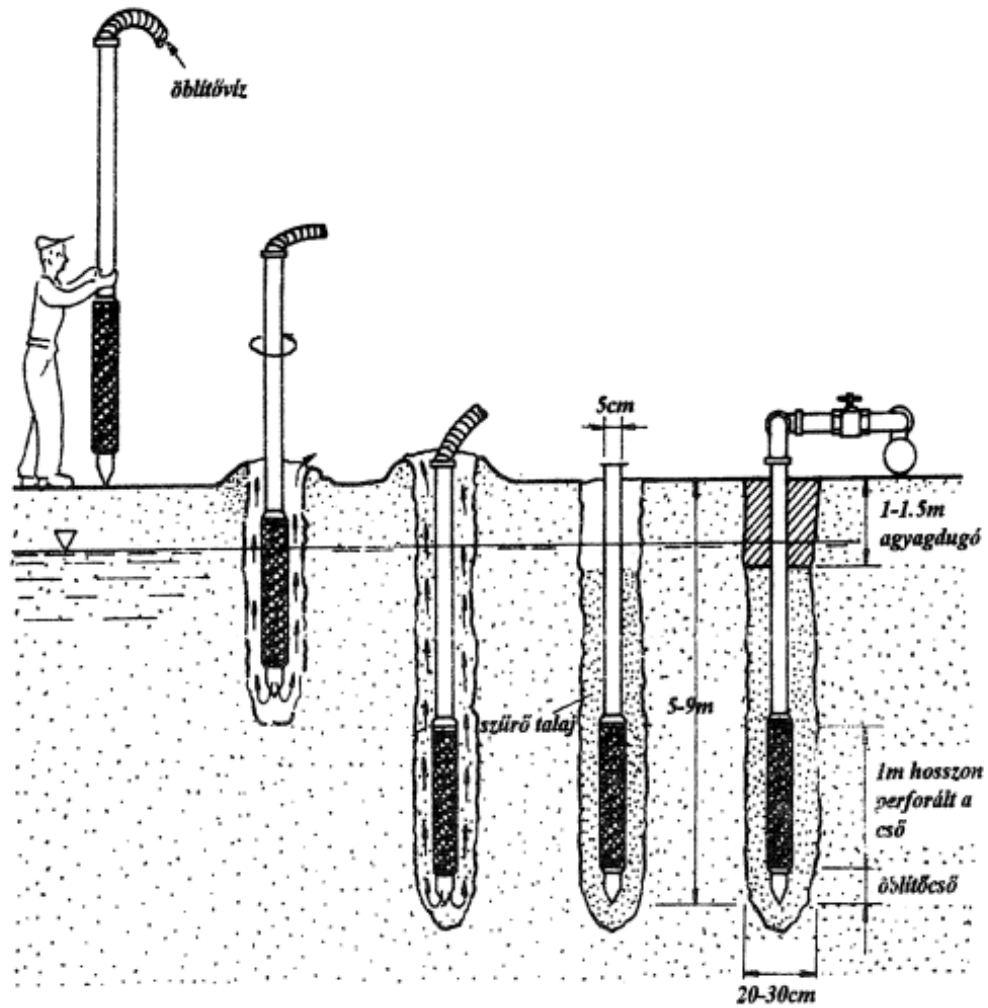
#### b) Mélykutas talajvízszint-süllyesztés

Ugyanolyan szerkezetű - csak lényegesen mélyebbre nyúló és valamivel nagyobb átmérőjű szűrőkutakat építenek ki, mint a Siemens rendszerűnél, de nincs bennük szívócső, hanem minden kútba egy-egy búvárszivattyú kerül, amely felnyomja a vizet. A kút kialakítását a 113. ábra/c. része ismerteti. A 80-100 cm átmérővel fűrt kútba 30-55 cm átmérőjű szűrőcső kerül. A GRUNDFOS típusú szivattyúk 80-200 m emelőmagasság mellett 33-3500 l/perc teljesítményre képesek. Hátrány: sok és drága szivattyú kell.

#### c) Pontkutas rendszer (tűkutas)

Ezeket a tűkutakat 5-7 cm átmérőjű csövekből készítik, amely egyidejűleg szűrőcső és szívócső is. A cső alsó 1-1,5 m hosszban perforálva van, ide szitaszövetet, geotextiliát borítanak, rácsavart dróttal rögzítve (113. ábra/b., mint vákuumkút). A kutakat 60 cm, 120 cm vagy 180 cm távolságban telepítik egymás mellé fűréssal vagy öblítéssel. (115. ábra).

Öblítéssel a cső 5-10 perc alatt lesüllyeszthető. Az öblítőfej golyós szelepe (105/b. ábra) telepítéskor nyit, kútüzemben zár. Szívási üzem a Siemens rendszerhez hasonló, a kutakat közös gyűjtővezetékre kell kapcsolni.



115. ábra: Pontkút lehajtása

#### d) Vákuumkutas rendszer

Olyan, mint a pontkutas rendszer, csak a szivattyútelepet légszivattyúkkal egészítik ki. A kút alsó, perforált részén légritkítást hoznak létre, így a víz nemcsak a gravitáció, de a  $p_0$  légnyomás hatására is áramlik a kút felé. A vákuumhatás miatt a szűrőhomok felső 1-1,5 m hosszú részét agyagdugóval kell lezárni (113. ábra/b.) Elérhető leszívás: 4-4,5 m.

Előnye:

- finomabb szemcséjű talajokban is gazdaságos;
- depresszióhoz kevesebb idő kell, mint a gravitációsnál;
- munkagödör rézsúai meredekebbek lehetnek a levegő támasztóhatása miatt.

Hátrány:

- bonyolultabb gépi berendezés;
- durvaszemcséjű talajban nem használható.

## 6 Irodalomjegyzék

Dr. Farkas József: Alapozás (Műegyetem Kiadó)

Dr. Farkas József – Czup Zoltán: Alapozás gyakorlati útmutató (Műegyetem Kiadó)

Szepesházi Róbert. Geotechnikai tervezés, Tervezés az EUROCODE 7 és a kapcsolódó európai geotechnikai szabványok alapján. Budaörs: Business Media Magyarország Kft., 2008.

## 7 Ábrajegyzék

1. ábra: Az alap alatti talajban keletkező feszültségek.....	6
2. ábra: Alaptest süllyedése és süllyedéskülönbsége .....	7
3. ábra Talajmintavétel kutatógödörből .....	8
4. ábra: Kézi, motoros fúróberendezés vázlata.....	9
5. ábra: Fúrófej típusok .....	10
6. ábra: MAZIER magmintavevő .....	10
7. ábra: Felszíni próbaterhelés .....	11
8. ábra: Fúrólukban történő vízszintes próbaterhelés.....	11
9. ábra: Fúrósondázás eredménye. ....	11
10. ábra: A statikus szonda csúcsa .....	12
11. ábra: Statikus szondázás eredménye.....	12
12. ábra: Marchetti dilatometer .....	13
13. ábra: Elektromos talajfelderítés vázlata.....	14
14. ábra: Talajrétegződés meghatározása .....	14
15. ábra: Izotópos talajfelderítés vázlata .....	15
16. ábra: Georadar .....	15
17. ábra: Rádiófrekvenciás mérés sematikus ábrája .....	16
18. ábra: A vízszintek jelölése a fúrászelvényen. ....	16
19. ábra: Talajvíz típusok.....	17
20. ábra: A feltárási mélységek értelmezése.....	20
21. ábra: Beton sávalap. ....	21
22. ábra: Sávalapok típusai anyaguk szerint.....	22
23. ábra: Pillér alapok kialakítása.....	22
24. ábra: Pontalapok típusai anyaguk szerint .....	23
25. ábra: Előregyártott oszlopok alkalmazása .....	23
26. ábra: Szalagalap.....	23
27. ábra: Gerendarács - alap .....	24
28. ábra: Lemezalapok.....	24
29. ábra: Doboزالap .....	25
30. ábra: Alapozási sík felvétele síkalapoknál.....	26
31. ábra: A talajtörés mechanizmusa .....	27
32. ábra: A teherbírási tényezők értéke a súrlódási szög függvényében. ....	28
33. ábra: Talpfeszültség eloszlása merev és hajlékony alapok esetén. ....	29

34. ábra: Talpfeszültségek eloszlása merev alaptest alatt .....	30
35. ábra: Sávalapok alatti (egyszerűsített) talpfeszültség eloszlás különböző mértékű külpontosság (e) esetén.....	30
36. ábra: Talpfeszültség eloszlása hajlékony alaptest esetére.....	31
37. ábra.....	31
38. ábra: Az ágyazási tényező eljárás lényege.....	32
39. ábra: Rugalmas féltér alakváltozásának módszere .....	33
<b>40. ábra: A rugalmas - izótróp féltér alakváltozása .....</b>	<b>33</b>
41. ábra: A süllyedések összetevői és időbeli alakulása .....	34
42. ábra: Konzolidációs görbe .....	35
43. ábra: Koncentrált erő esete .....	36
44. ábra: Vonalas teher esete .....	36
45. ábra: Vonalas teher esete .....	37
46. ábra: Vonalas teher esete .....	37
47. ábra: Körtárcsa alatti feszültségek meghatározása (Fröhlich).....	38
48. ábra: Függőleges feszültségek számítása grafikon segítségével.....	38
49. ábra: Egyenes vonalakkal határolt feszültségi test.....	40
50. ábra: Jáky-féle közelítő eljárás .....	40
51. ábra: Süllyedésszámítás.....	42
52. ábra: Süllyedésszámítás.....	43
53. ábra: Roskadásból származó süllyedés.....	44
54. ábra: Az EN 1997 H1. ábrája. Az alapmozgások fogalmai .....	45
55. ábra: Egyenlőtlen süllyedések okai.....	47
56. ábra: Egyenlőtlen süllyedésekből származó repedések.....	48
57. ábra: Az épület lábzatánának a mérési eredménye .....	48
58. ábra: Falicsap.....	49
59. ábra: Jellegzetes süllyedési görbék. ....	49
60. ábra: Süllyedésvizsgálat gipsztapasszal.....	50
61. ábra: Mélyebb alapsík felvétele.....	50
62. ábra: A földkiemelés szerepe .....	51
63. ábra: Süllyedéscsökkentés talajcserével .....	51
64. ábra: Vibroflotációs mélytömörítés .....	52
65. ábra: Geodrén elhelyezése.....	53
66. ábra: Geodrén és előterhelés együttes alkalmazása .....	53
67. ábra: Cementbesajtolás .....	54
68. ábra: SIROK módszer lényege.....	55
69. ábra: Mélystabilizáció technológiája .....	56
70. ábra: Billenés szempontjából kritikus pont .....	60
71. ábra: Védekezés felúszás ellen.....	60
72. ábra: Az EN 1997-1 10.1 ábrája: Példák felúszással fenyegető helyzetekre .....	61
73. ábra: Magyarország talajgyorsulási térképe .....	63
74. ábra: Üreg feletti süllyedési teknő kialakulása .....	65
75. ábra: Az épületmozgás jellege az év különböző időszakaiban .....	66
76. ábra: A roskadás jelensége .....	67

77. ábra: Jó állapotú fedőréteg esetén kis mélységű síkalapozás.....	69
78. ábra: Előregyártott vb. cölöp acélbetéteinek elvi elrendezése.....	73
79. ábra: Jet-grouting eljárás.....	74
80. ábra: FDP, Screwsol és CFA cölöpözés.....	74
81. ábra: Folyamatos résfal készítése.....	77
82. ábra: Réspillérek keresztmetszeti kialakítása.....	77
83. ábra: A hidrofrezér marótárcsás vezérgép és marótárcsák.....	78
84. ábra: Kútalapozás.....	79
85. ábra: Szekrényalapozás.....	79
86. ábra: Rézsús munkagödör határolása.....	80
87. ábra: Dúcolásokhoz használt anyagok.....	82
88. ábra: Szádlemezek és jellemző adataik.....	82
89. ábra: Munkagödör-határolás szádfallal, Sambeek, Holland.....	82
90. ábra: Széles munkagödör belső megtámasztása.....	83
91. ábra: Hátrahorgonyzás.....	83
92. ábra: Siemens dúcolás.....	84
93. ábra: Szádpalló típusok.....	85
94. ábra: Larssen (a) és Cs típusú (b) szádpallók.....	85
95. ábra: A horgony fő szerkezeti elemei.....	86
96. ábra: Levert „P” tartóhoz való felszíni hátrahorgonyzás.....	86
97. ábra: Hátrahorgonyzás résfalhoz (a) metszet; b) horgonyelhelyezés résekben; c) horgonyelhelyezés széles munkaárokban; d) horgonyelhelyezés sajtolással.....	87
98. ábra: Feszített horgony szerkezete.....	87
99. ábra: Vert-injektált horgony készítése.....	88
100. ábra: Fürt-injektált horgony.....	89
101. ábra: Az injektált horgonyok feszítése.....	90
102. ábra: Az önszilárduló zagy szilárdsága.....	91
103. ábra: Előregyártott résfalelemek: a) horgonyos lemezek; b) oszlopos, lemezbetétes kialakítás.....	91
104. ábra: Keskeny résfalak alkalmazása.....	92
105. ábra: Függönyfal-készítés „P” tartóval.....	92
106. ábra: A talajszegezés munkafázisai.....	93
107. ábra: Injektált szeg.....	93
108. ábra: Szegezett rézsűfelszín kialakítása.....	94
109. ábra: Munkagödör kiemelése nyíltvíz-tartás mellett.....	95
110. ábra: A nyíltvíz-tartásos munkagödör alaprajza.....	95
111. ábra: A szivárgó és a gyűjtőakna kialakítása: 1-kátránypapír; 2-kavics; 3-draincső (PVC).....	96
112. ábra: Munkagödör víztelenítése talajvízszint-süllyesztéssel.....	96
113. ábra: Talajvízszint-süllyesztő kutak fajtái.....	98
114. ábra: Lépcsős talajvízszint-süllyesztés.....	99
115. ábra: Pontkút lehajtása.....	100