

**FAUR KRISZTINA BEÁTA, SZABÓ IMRE,**

# **GEOTECHNIKA**

# 6



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a  
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

---

## VI. AZ ALAPTESTEK SÜLLYEDÉSÉNEK A MEGHATÁROZÁSA

---

### 1. AZ ALAPTESTEK SÜLLYEDÉSE

A **süllyedés** a létesítmények függőleges elmozdulása valamely (térben és időben értelmezhető) kezdeti helyzethez képest.

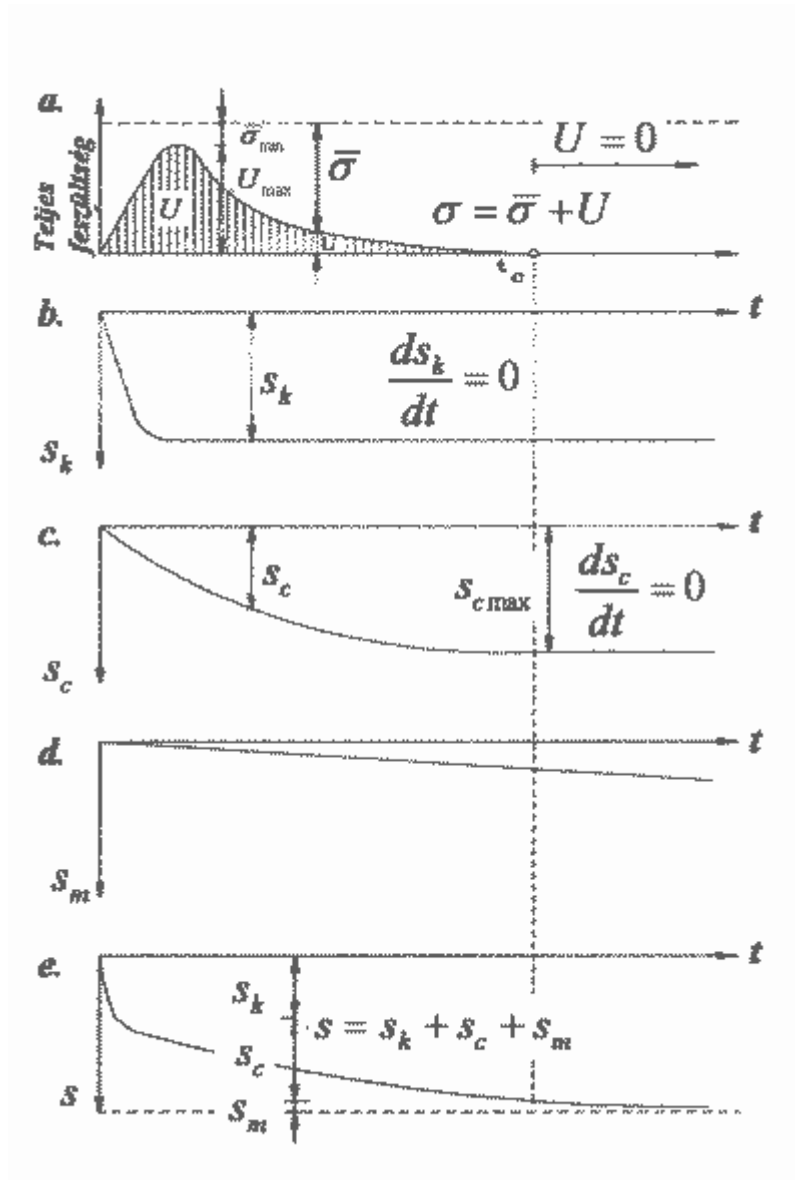
Az alapok helyes megtervezéséhez a teherbírás, állékonyság meghatározása/igazolása mellett, **ugyanolyan fontos része a tervezési folyamatnak annak a bizonyítása, hogy káros süllyedések vagy süllyedés-különbségek nem lépnek fel.**

Süllyedést előidéző legfontosabb okok:

- statikus terhelés,
- dinamikus terhelés és hatások,
- a talajban levő víz hatása (ingadozás, áramlás, roskadás, víztartalom-változás),
- kémiai és fizikai hatások (olvadás, fagyás, kioldódás, stb.),
- dinamikai geológiai folyamatok,
- feszín alatti üregek hatása,
- biológiai hatások.

A fenti okok közül elsősorban a statikus terhelés okozta süllyedések várható nagyságát tudjuk számítani. A többi – esetleg egészen durva károsodásra vezető – süllyedési okot előre el kell hárítani.

Egy "pillanatszerűen" elhelyezett terhelés hatására az alaptest süllyedése a **6.1. ábra** szerinti vázlat szerint értelmezhető.



6.1. ábra: Az alaptest süllyedésének az összetevői

A **6.1.a ábra** a feszültségek időbeli alakulását mutatja telített talajok esetében. A terhelés átadásakor megnő a pórusvíznyomás (a vízfázis kevésbé összenyomható, mint a szilárd váz, így a terhelést először az veszi fel), majd az idő előrehaladtával az értéke "lecseng", azaz a többletterhelés hatására a pórusokból víz nyomódik ki mindaddig, amíg a kezdeti állapotnak megfelelő pórusvíznyomás értéke újra beáll.

A folyamat során csökken a pórusok térfogata, térfogataránya, azaz **a talaj konszolidálódik**.

A süllyedés – szigorúan véve csak telített talajokra – a következő három részből tevődik össze (lásd **6.1.b – 6.1.d. ábrákon**):

- a **kezdeti (azonnali) süllyedés** ( $s_k$ );
- az **elsődleges konszolidáció okozta süllyedés** ( $s_c$ );
- a **másodlagos konszolidáció okozta süllyedés** ( $s_m$ ).

Az elsődleges és másodlagos konszolidáció okozta süllyedést együttesen mint **konszolidációs süllyedést** szokás számítani.

A három összetevő időben változó mértékű összege a **mindenkori süllyedés** (**6.1.e ábra**):

$$s = s_k + s_c + s_m$$

## 2. A KEZDETI SÜLLYEDÉSEK MEGHATÁROZÁSA

A **kezdeti süllyedés** a terhelt talajtömeg térfogatváltozás nélküli alakváltozásából (gyakorlatilag "vízszintes széttolódásából") adódik, meghatározására elsősorban a rugalmasságtani alapon álló összefüggéseket használjuk. Jelentősége elsősorban zárt, nagy kiterjedésű lemezalapok (pl. silók) esetén van. [i]

A kezdeti süllyedések értéke jelentősen függ az altalaj tulajdonságaitól, elsősorban a Poisson-szám, a tömörség és a szivárgási tényező értékétől, valamint a felszerkezet oldaláról az alaptest méretétől, illetve az alaptest szélességi méretének az összenyomódó altalaj vastagságához viszonyított arányától. A kezdeti süllyedést ki kell számítani, ha a hasznos terhelés "felhordása" gyors és a terhelés nagy.

A kezdeti süllyedéseknek a teljes süllyedésekhez viszonyított hányadát néhány talajfajtára a **6.1. táblázat** tartalmazza.

Talajtípus	( $S_k/S$ ) értéke
Homok, iszap talajon	0,45
Homok, normálisan konszolidált agyagon	0,05
Homok, előterhelt agyagon	0,35
Homok, erősen előterhelt agyagon	0,65

6.1. táblázat: A kezdeti süllyedés és teljes süllyedés hányadosának jellemző értéke néhány talajfajta esetében [ii]

## 3. A KONSZOLIDÁCIÓS SÜLLYEDÉS MEGHATÁROZÁSA

Gyakorlati számításoknál az **elsődleges és másodlagos konszolidáció okozta süllyedéseket** együttesen határozzuk meg. A **talajban fellépő feszültségeket rugalmasságtani** alapon, az összenyomhatóságát a zavartalan mintán meghatározott kompressziós görbéből vagy az összenyomódási modulusból határozzuk meg.

### A feszültségeloszlás az alaptest alatti féltérben

Ahhoz, hogy az alaptest süllyedését meg tudjuk határozni, először meg kell ismerkednünk az alaptest – mint közvetítő elem – által átadott terhelés révén **az altalajban keletkező feszültségek számítási módszereivel**.


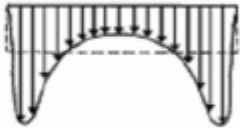


A létesítmény által az altalajban keltett feszültségeket a következőképpen csoportosíthatjuk:

- **talpfeszültségek:** az alaptest síkjával közvetlenül érintkező talajban ébrednek (alapok szilárdsági méretezésekor használják),
- **alapsík alatti talajtömegben keltett feszültségek.**

A fenti csoportosítás nyilvánvalóan önkényes, hiszen kétféle feszültségeloszlás nincs, a feszültségek egymással is és az épület merevségével is kapcsolatban állnak, s csak az egyszerűbb matematikai kezelhetőség miatt van a szétválasztás. Elvileg a kölcsönhatást egyidejűleg figyelembe lehet venni, azonban ezek a megoldások a gyakorlati számítások számára nagyon nehezen kezelhetők.

Az alaptest alatti féltérben kialakuló feszültségeloszlást befolyásolja:

- az altalaj minősége;
- a terhelés nagysága;
- az alaptest nagysága, alakja;
- az alaptestnek az altalajhoz viszonyított merevsége (**6.2. ábra**).

alap- merevség	végtelenül hajlékony	végtelenül merev
talp- feszültség	egyenletes 	széleken nagyobb 
	süllyedés 	
	teknőszerű	egyenletes
példa	földtöltés (falak közt)	sávalap

6.2. ábra: Az alaptest merevségének a hatása [iii]

A feszültségek meghatározásánál a következő egyszerűsítő feltevéseket alkalmazzuk:

- Az altalajt rugalmasnak tekintjük, érvényes a **Hooke-törvény**;
- A talaj **homogén és izotróp**;
- Az  $E_s$  rugalmassági modulus és a  $\mu$  Poisson tényező állandó, a **szuperpozíció elve** érvényes, azaz

$$\sigma = \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

Kidolgozott feszültségszámítási módszereket a következő terhelési esetekre ismerünk.

- **Koncentrált erő** (pontterhelés): a valóságban nem fordul elő, legfeljebb az igen kis felületen átadott terhelések hasonlíthatnak hozzá, s közelíthetők ily módon.
- **Vonalas terhelés**: szintén ritka eset a gyakorlatban. Megközelítőleg ilyen terhelést ad át a talajra fektetett sinszál.
- **Sávterhelés**: az egyik leggyakrabban előforduló terhelési mód.
- **Zárt felülettel** történő terhelésátadás szintén igen fontos és gyakran előforduló terhelési mód.

Az elméleti feszültségszámítások alapja a koncentrált erő által keltett feszültségeloszlás, amelyre a legismertebb a **Boussinesq-féle megoldás**. A szuperpozíció elvét alkalmazva a vonalas terhelésnél egyszeres-, a sávterhelésnél kettős integrálással tudjuk meghatározni az altalajban keltett feszültségeket.

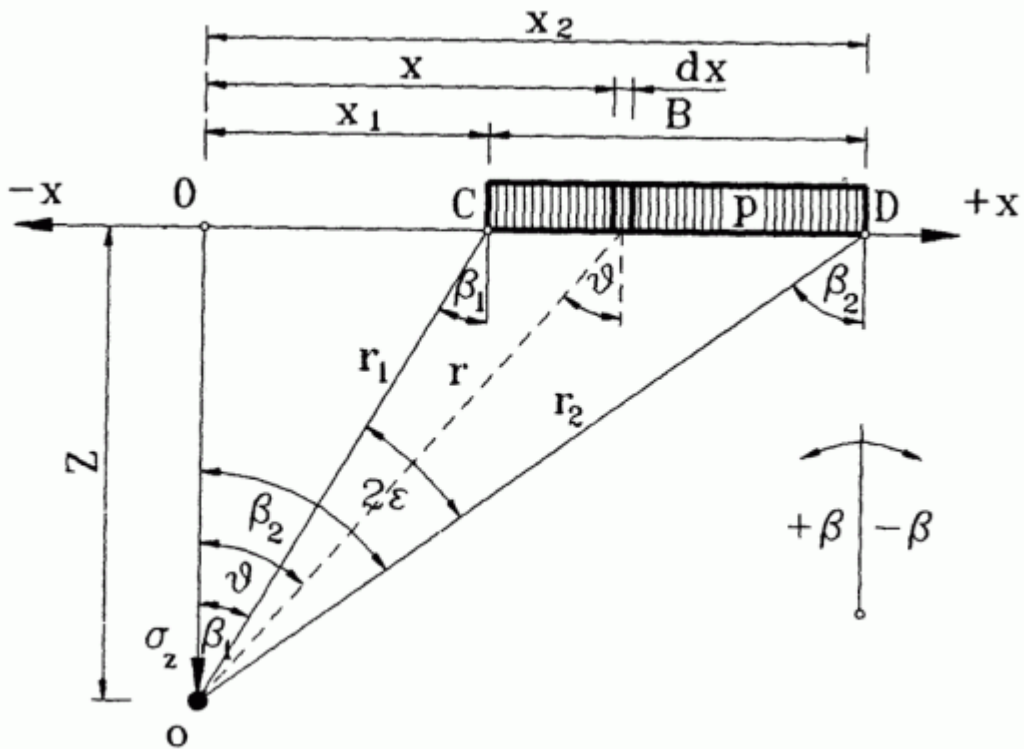
A sávterhelés által keltett feszültségeket a 6.3. ábra jelöléseinek a felhasználásával a következő összefüggés alapján számíthatjuk:

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi} \cdot [\sin(\beta_2 - \beta_1) \cdot \cos(\beta_2 + \beta_1) + (\beta_2 - \beta_1)] \quad (6.1)$$

$$\sigma_x = \frac{P}{\pi} \cdot [-\sin(\beta_2 - \beta_1) \cdot \cos(\beta_2 + \beta_1) + (\beta_2 - \beta_1)] \quad (6.2)$$

ha  $\beta_2 - \beta_1 = 2\varepsilon$  akkor a főfeszültségekre a következő jól ismert összefüggést kapjuk:

$$\sigma_{1,2} = \frac{P}{\pi} \cdot (2\varepsilon \pm \sin 2\varepsilon) \quad (6.3)$$



6.3. ábra: Feszültség számítás sávterhelés alatt

#### A zárt felületek alatt keletkező feszültségek meghatározása

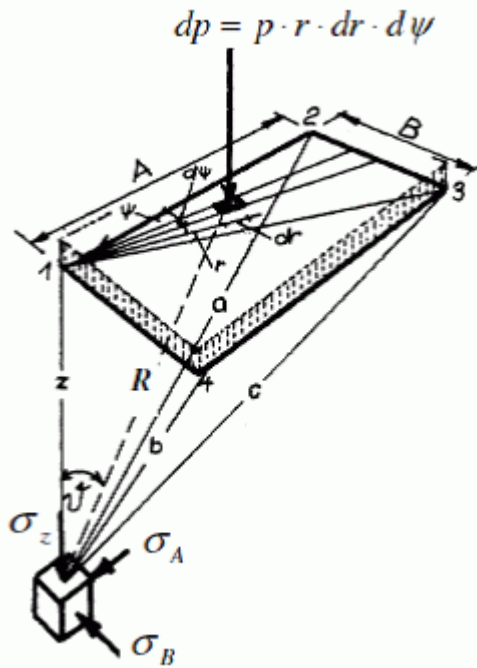
A mérnöki gyakorlatban ezzel az esettel találkozunk a leggyakrabban (tömbalap, lemezalap).

Az általános, összetett feladatok megoldásához ismernünk kell a körlemez ill. a derékszögű négyszög alaprajzú alaptestek alatti feszültségeloszlás számítását, mert ezekből, vagy ezek kombinációjából tetszőleges alakú alaptestek alatti bármely (belső vagy külső) pontban meghatározható az alaptesten elhelyezett terhelés által keltett többletfeszültség.

#### Kör alakú alapok alatti feszültségek számítása

A 6.4. ábrán feltüntetett,  $(p)$  egyenletesen megoszló feszültséggel terhelt,  $r$  sugarú körlemez középpontjának függőlegesében keletkező  $\sigma_z$  feszültség meghatározására a Boussinesq-féle pontszerű terhelésre vonatkozó összefüggésből kiindulva végeredményként kapjuk a (6.4) egyenletet.





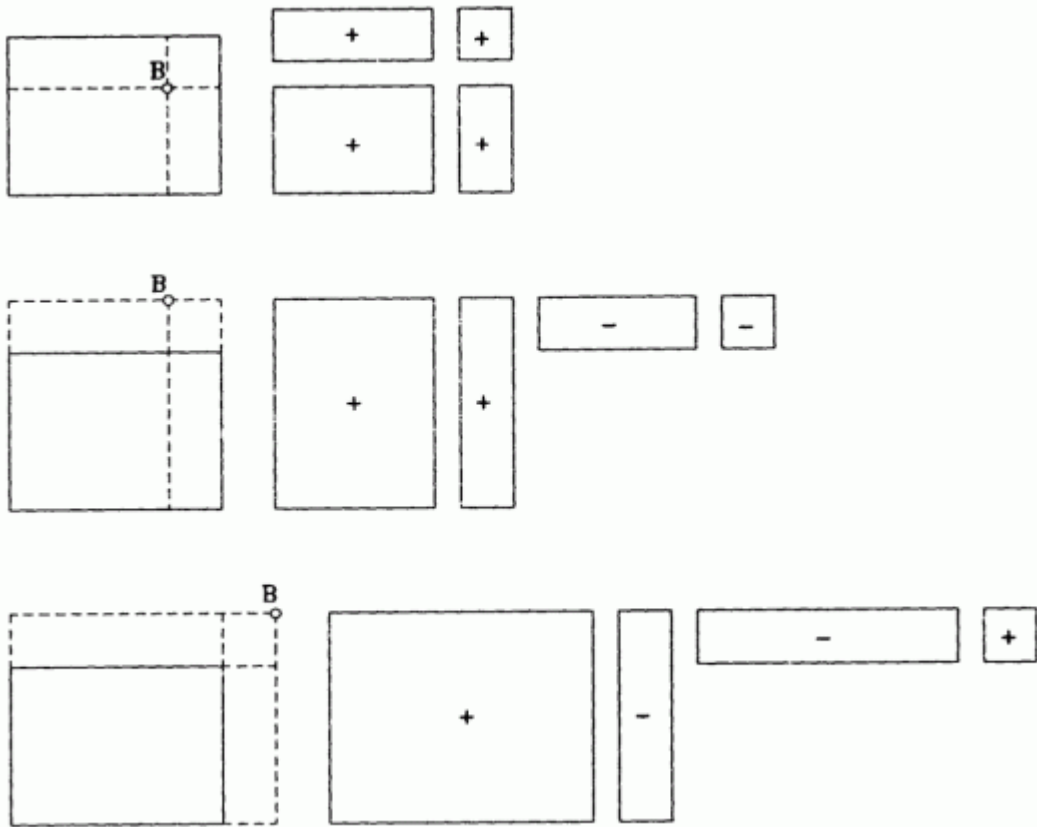
6.5. ábra: A derékszögű négyszög alatti feszültségek meghatározása

$$\sigma_z = \frac{p}{2\pi} \cdot \left[ \operatorname{arctg} \frac{A \cdot B}{z \cdot c} + AB \cdot \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \cdot \frac{z}{c} \right] \quad (6.6)$$

Ha  $A \rightarrow \infty$ , a sávalap megoldását kapjuk.

Amennyiben belső vagy külső pont alatt akarjuk számítani a feszültségeket, úgy a **6.6. ábra** szerint olyan felosztást és kiegészítést kell alkalmazni, hogy az előálló rész – területek mindegyikének külön-külön sarokpontja legyen a vizsgált pont, amelyek alatt a feszültségek meghatározhatók, majd a **szuperpozíció elvét alkalmazva** a kapott részeredményeket előjelhelyesen összegezzük.



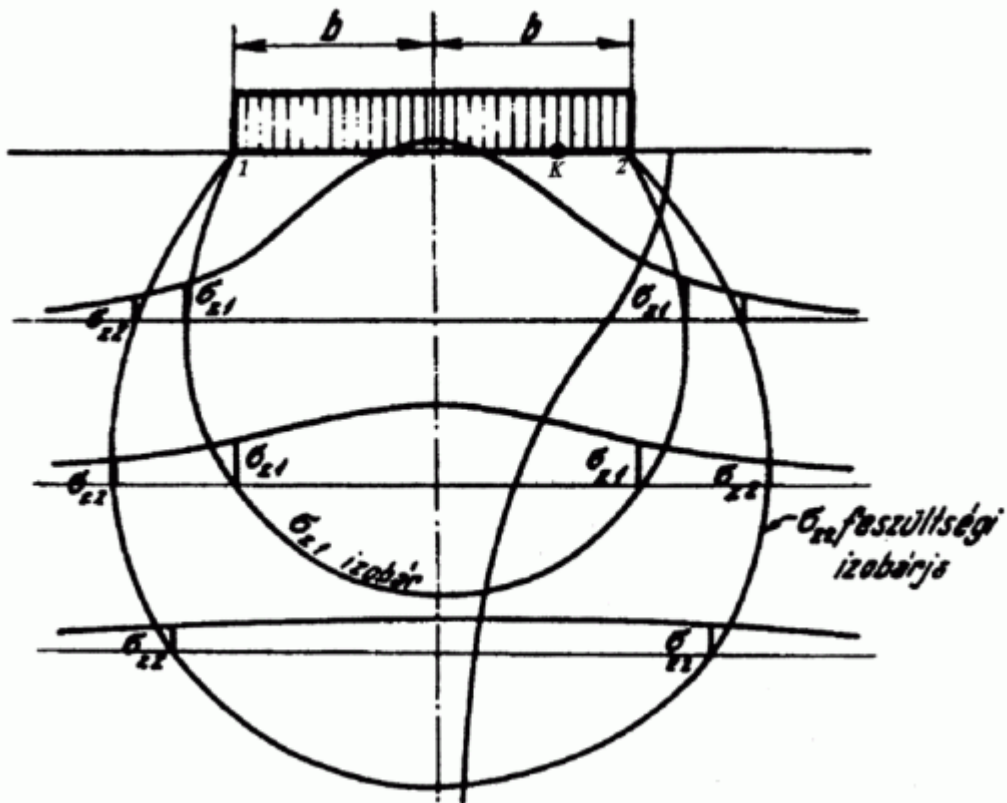


6.6. ábra: A sarokpont módszer alkalmazása belső ill. külső pont alatti feszültségszámításokor

Süllyedésszámításokor – mivel a feszültségek megoszlása az alap alatti síkokon nem egyenletes – a feszültségek átlagértékére lenne szükségünk, ami a feszültségek számítását megnehezíti.

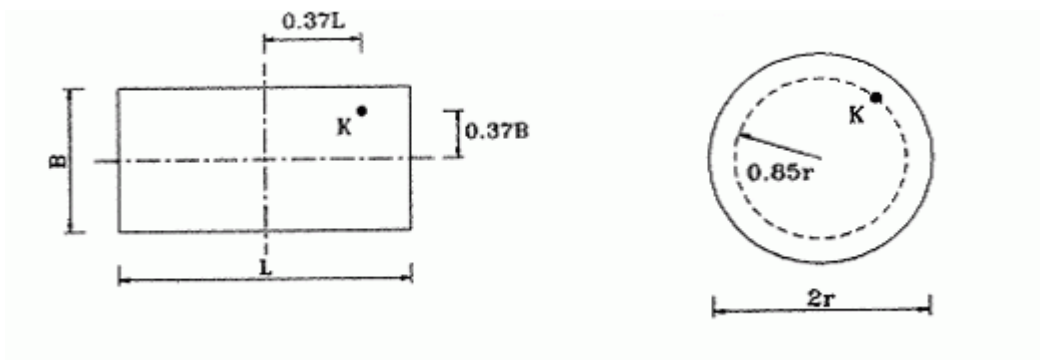
A **6.7. ábra** a  $\sigma_x$  függőleges feszültségek változását szemlélteti különböző vízszintes síkokban, és szimmetriatengelyben egy sávterhelés esetében. Az alaptest 1-2 jelű sarokpontjainak függőlegesei között is változó  $\sigma_x$  feszültségek ébrednek adott mélységben.

A süllyedésszámításoknál nem a tengelyben ébredő legnagyobb  $\sigma_x$  feszültségekkel számolunk, hanem az 1-2 jelű függőlegesek közötti értékek átlagértékével. Létezik az alap támaszkodó felületén olyan ún. karakterisztikus pont (K), amelynek a függőlegeseiben éppen ezek az átlagos  $\sigma_x$ -k ébrednek.

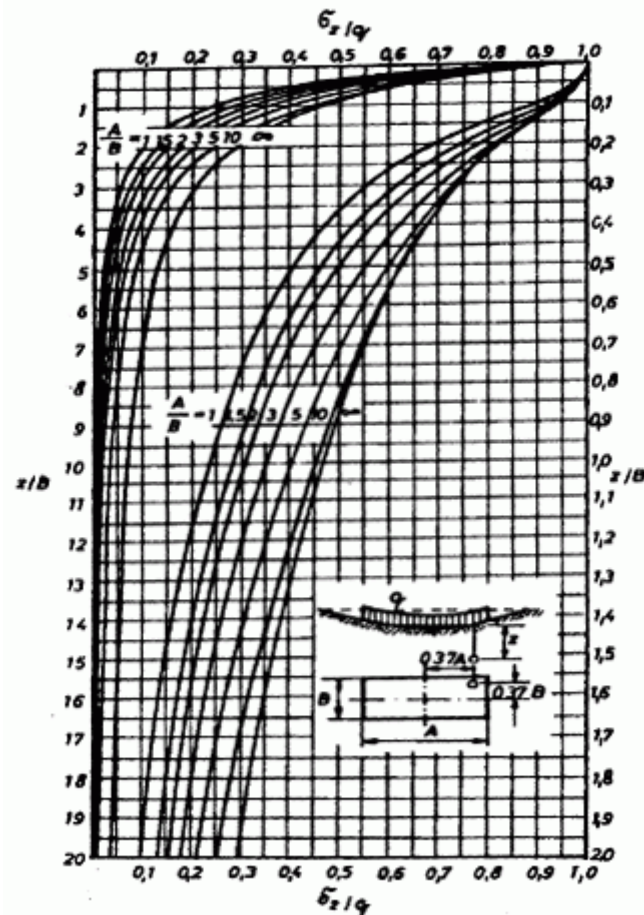


6.7. ábra: A karakterisztikus pont értelmezése

A **karakterisztikus pont** helyét négyzet és kör alakú alaptestek alatt a **6.8. ábra** szemlélteti, míg a **6.9. ábrán** a karakterisztikus pont alatti feszültségek meghatározására szolgáló **nomogram** található.



6.8. ábra: A karakterisztikus pont helye



6.9. ábra: A karakterisztikus pont alatti feszültségek meghatározása

### Tetszőleges alakú zárt felület alatt keletkező feszültségek számítása

Erre az esetre **Newmark** dolgozott ki eljárást, amely a körtárcsára ható egyenletes terhelés hatására, a szimmetriatengelyben keletkező feszültségek (lásd 6.4. ábrát és vö. (6.4) összefüggést) számításán alapul.

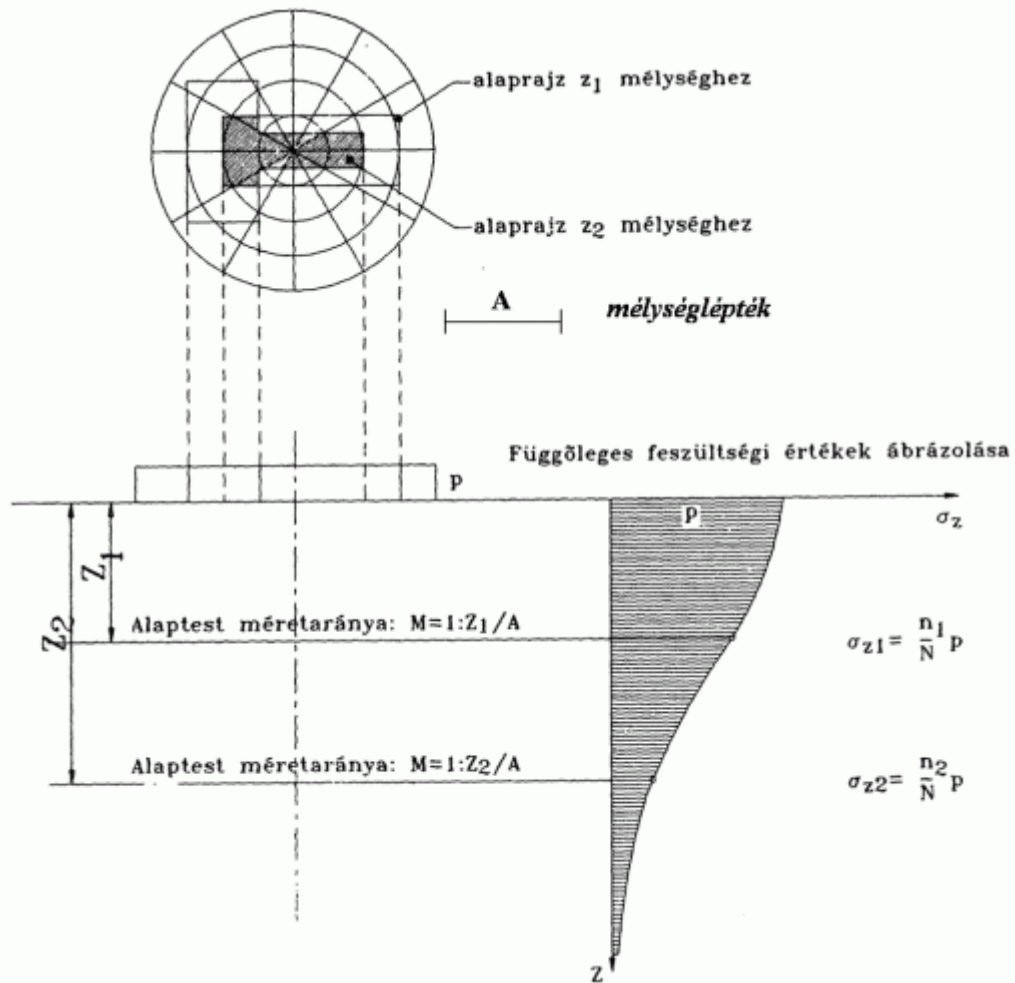
A **Newmark módszer** alap gondolata: osszuk fel a körtárcsát olyan felületelemekre, amelyek terhelése egy adott mélységben ugyanakkora többletfeszültséget okoz. Ezen felületeket értelem szerűen körcikkkel és egyre növekvő átmérőjű körgyűrűkkel érjük el.

A számítás annál pontosabb lesz, minél nagyobb felületosztású hálót használunk. A 6.10. ábrán bemutatott példán egy  $n=48$  mezőre osztott háló található, a gyakorlati számításoknál a mezők száma legalább 1000. Egy ilyen hálózathoz tartozik egy állandó hosszúság, az ún. **mélységlépték** ("A" jelű szakasz az ábrán).

A kívánt mélységben a feszültséget a következőképpen határozzuk meg (lásd 6.10. ábrán):

1. egy T alaprajzú alaptestünk, és keressük a  $\sigma_x$  feszültség értékét  $z_1$  és  $z_2$  mélységben;
2. a  $\frac{z}{A}$  hányadost;
3. az alaptest alaprajzát  $1: \frac{z_1}{A}$  illetve  $1: \frac{z_2}{A}$  méretarányban;
4. Amely pont függőlegesében számítani kívánjuk a feszültségeket, azt a hálódiaagram középpontjába helyezzük;
5. a különböző méretarányú alaptestek által lefedett mezők számát ( $n_1$  és  $n_2$ );

A  $z_1$  és  $z_2$  mélységben a keresett  $\sigma_x$  feszültség:  $\sigma_{z1} = \frac{n_1}{N} P$  illetve  $\sigma_{z2} = \frac{n_2}{N} P$ , ahol  $N$  a lefedett mezők száma.



6.10. ábra: A feszültségek meghatározása tetszőleges alakú alaptest alatt [iv]

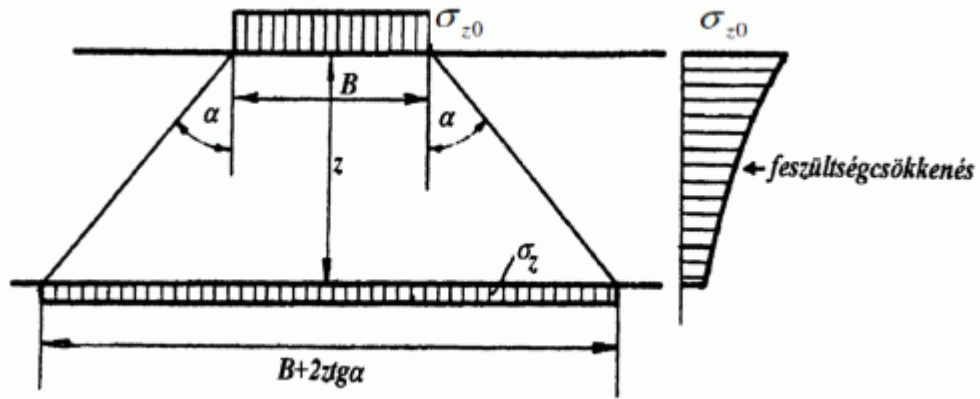
A Newmark módszerrel hasonló hálódíagramok és eljárás segítségével természetesen a vízszintes feszültségek is meghatározhatók.

#### A feszültségek közelítő számítása

A gyakorlatban jó szolgálatot tehetnek az egyszerű, gyors becslésekre alkalmas közelítő számítások, amelyek közül a két legismertebbet tárgyaljuk.

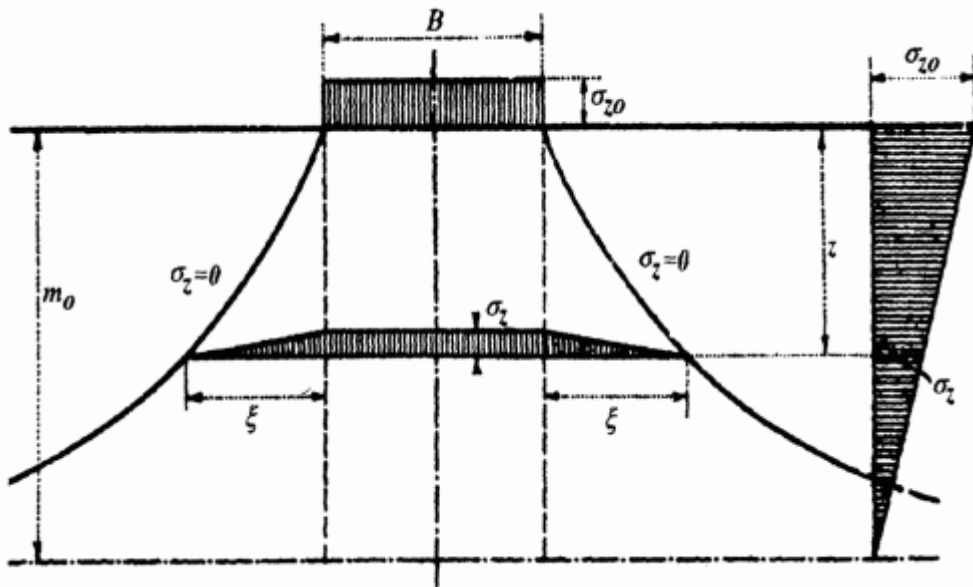
Az **egyenes vonalakkal határolt tartomány** esetében (6.11. ábra) az oldalhatároló egyenesek a függőlegessel  $\alpha$  szöget zárnak be, mélységbeli lehatárolás nincs, a határoló vonalak között a  $\sigma_x$  feszültség értéke konstans. A függőleges vetületi egyensúly alapján:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{z0} \cdot B}{B + 2 \cdot z \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (6.7)$$



6.11. ábra: A feszültségeloszlás egyenes vonalakkal határolt tartomány esetében

A **Jáky-féle határmélység elmélettel számolva** azt feltételezzük, hogy a feszültségek a mélyéggel lineárisan csökkennek, adott mélységben a  $\sigma_z$  eloszlása egyenes-lineárisan csökkenő kombinációja (lásd 6.12. ábrán).



6.12. ábra: A feszültségek számítása a Jáky-féle közelítő módszerrel

Adott  $z$  mélységben a függőleges feszültség értéke:

$$\sigma_z = \sigma_{z0} \frac{m_0 - z}{m_0} \quad (6.8)$$

ahol  $m_0$  az ún. Jáky-féle határmélység, amely alatt már nem keletkezik a terhelésből többletfeszültség.  
Értéke:

$$m_0 = 2 \cdot B \cdot \left(1 - \frac{B}{2 \cdot L}\right) \quad (6.9)$$

ahol  $B$  az alaptest kisebbik,  $L$  az alaptest hosszabbik szélességi mérete.

## A mértékadó terhelés meghatározása

A süllyedésszámításkor figyelembe vett terhek nem azonosak azokkal a terhelésekkel, amelyekre az alaptestet méreteztük: az összterhelésből le kell vonni azokat a hatásokat, amelyek nem okoznak süllyedéseket, és a figyelembe vett terheket biztonsági tényezővel növelni nem kell. A névleges feszültségből le kell vonni az alapgyödör kiemeléséből adódó tehermentesítő hatást.

Általános esetben a kompressziót okozó függőleges feszültség:

$$\sigma_z = \sigma_{zp} - \sigma_{zk} \quad (6.10)$$

ahol:

- $\sigma_{zp}$  : a  $P$  talpfeszültségből adódó függőleges feszültség;
- $\sigma_{zk}$  : a kiemelt földtömeg tehermentesítő hatásával egyenértékű terhelésből adódó függőleges feszültség.

## A határmélység meghatározása

A süllyedésszámítás ellentmondása, hogy amíg a terhelés okozta feszültségek, a számításukra használt  $\sigma_z = f(z)$  összefüggések szerint, általában csak végtelen mélységben adnak zérus értéket, addig az  $\varepsilon_z = f(\sigma_z)$  összefüggések szerint  $\Delta \sigma_{zi} \rightarrow \Delta \varepsilon_{zi}$ , azaz végtelen mélységig kellene  $\Delta \varepsilon_{zi}$ -t összegezni, s így elméletileg végtelen nagy süllyedés adódna. A gyakorlati tapasztalat ezt nem igazolja. A probléma feloldására vezették be a **határmélységet**, amelynél nagyobb mélységben már nem tételezünk fel összenyomódást. E feltevés fizikai alapját a "**súrlódási küszöbfeszültség**" jelenti, amely szerint egy bizonyos feszültségnövekmény már nem okoz szemcsemozgást, mert nem tudja legyőzni a szemcsék közötti nyugalmi súrlódási ellenállást. [V]

A határmélység felvételének a gyakorlatban alkalmazott módszerei az alábbiak:

- Amennyiben az összenyomódó réteget olyan réteg határolja, amelynek összenyomhatósága nagyságrend(ek)el kisebb a fölötte levőnél, a süllyedésszámítás szempontjából figyelembe veendő összenyomódó rétegvastagság (határmélység) a földtani felépítésből adódik.
- Leggyakoribb az az eset, hogy jelentős öszsvastagságú, kisebb-nagyobb mértékben összenyomható rétegek együtteséből épül fel az altalaj. Ebben az esetben általánosan elfogadott módszerként ott vesszük fel a határmélységet, ahol az új terhelés okozta függőleges feszültség a kezdeti hatékony feszültség (többnyire ez egyenlő a geoztatikus nyomással)  $n$ -ed részénél kisebb:

$$\sigma_z \leq \frac{\sum h_i \cdot \gamma}{n} \quad (6.11)$$

A hazai gyakorlat  $n=5$  értékkel számol  $(0,2 \cdot \sum h_i \cdot \gamma)$ . A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy szemcsés talajok, nagyméretű alaptestek (lemezalapotok, vagy pl. depóniák) estében az  $n=5$  értékkel számoltnál kisebb határmélység felvétele a célszerű ( $n=2-3$ ). A szemcsés kőzetekben kialakuló kedvezőbb viszonyokat a feszültségkoncentráció hatásukkal magyarázhatjuk.

- Közeliítőleg a Jáky-féle elmélet alapján (lásd a (6.9) összefüggést).

## A süllyedések meghatározása

### Süllyedésszámítás összenyomódási modulussal

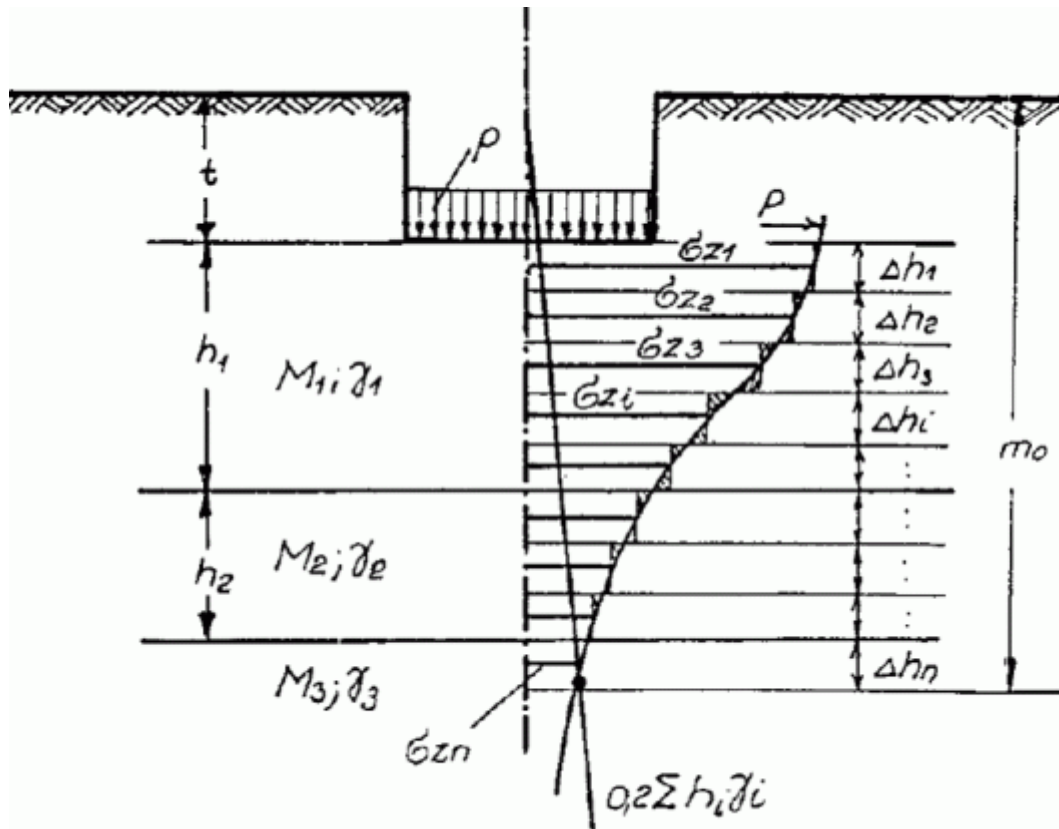
Ha feltételezzük, hogy  $\mu = 0$  ( $m = \infty$ ), akkor valamely pontban a függőleges fajlagos alakváltozást az

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} \quad (6.12)$$

kifejezés adja meg, ennek megfelelően az összenyomódás (süllyedés):

$$s = \int_0^z \varepsilon_x \cdot dz = \frac{1}{E} \int_0^z \sigma_x \cdot dz \quad (6.13)$$

A (6.13) összefüggésben szereplő  $\sigma_x$  értékeket valamely már korábban megismert módszerrel számíthatjuk. Az integráljel alatti kifejezés nem egyéb, mint a függőleges feszültségek ábrájának a területe. A süllyedések meghatározásakor a feszültségeloszlás ábrát  $\Delta h_i$  sávokra osztjuk, (6.13. ábra) sávonként meghatározzuk az összenyomódást, majd összegezzük ezen értékeket.



6.13. ábra: A süllyedések meghatározása az összenyomódási modulussal

Egy sáv összenyomódása:

$$\Delta s_i = \Delta h_i \cdot \frac{\sigma_{zi}}{M_i} \quad (6.14)$$

A teljes összenyomódás:

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zi}}{M_i} \Delta h_i \quad (6.15)$$

A (6.15) összefüggésben szereplő összenyomódási modulus ( $M_i$ ) értékek rétegenként értendők.

Amennyiben a valóságot jobban megközelítő  $\mu \neq 0$  feltevéssel számolunk, akkor a fajlagos alakváltozást a

$$\varepsilon_x = \sigma_x - \mu(\sigma_x + \sigma_y) \quad (6.16)$$

jól ismert kifejezésből kapjuk, s ennek megfelelően az összenyomódás:

$$s = \int_0^x \varepsilon_x dz = \frac{1}{E_i} \int_0^x [\sigma_x - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] dz \quad (6.17)$$

Első lépésben meghatározzuk a  $\sigma_x$  feszültségek mélységbeli változását, majd a határmélységet ( $m_0$ ), s eddig a mélységig számítjuk a  $\sigma_x$  és  $\sigma_y$  horizontális feszültségeket, kiszámítjuk a  $[\sigma_x - \mu \cdot (\sigma_x + \sigma_y)]$  mennyiséget, s a továbbiakban ugyanúgy járunk el (sávokra osztás, összegzés), mint az előzőekben.

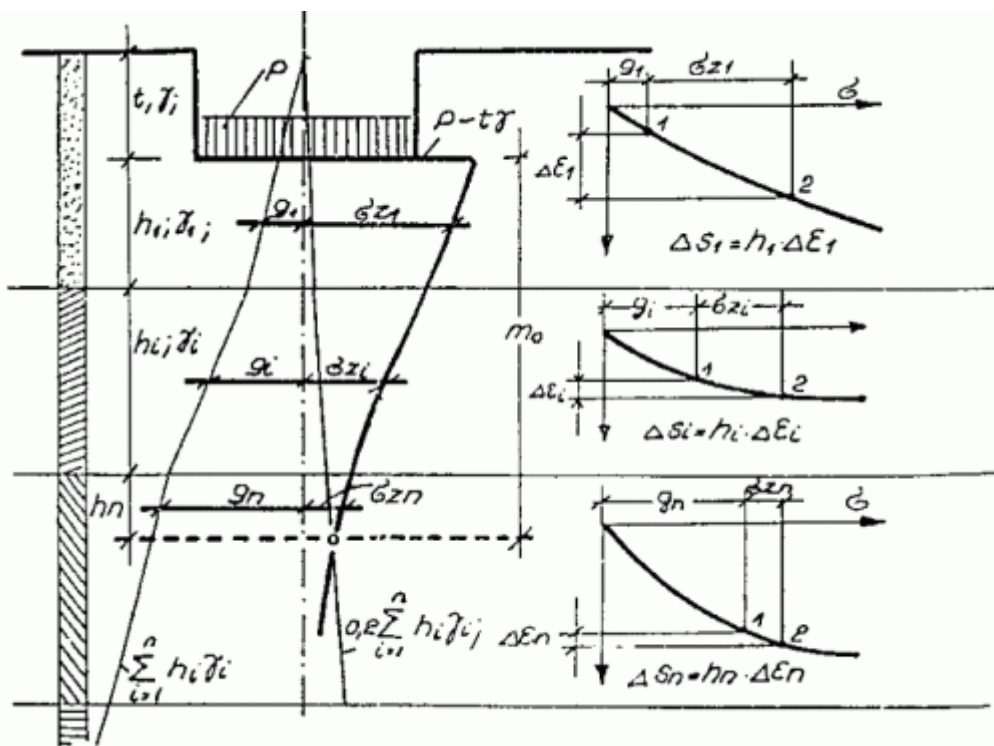
A fenti számítások egyaránt **elvégezhetők mind homogén, mind rétegzett altalaj esetén**, utóbbi esetben a megoldás erősen közelítő jellegű, mivel a feszültségek mélységbeli eloszlását a homogén feltételre érvényes összefüggésekből határozzuk meg, s az inhomogenitást a rugalmassági (E) vagy összenyomódási (M) modulus különböző értékeivel vesszük figyelembe.

Másik lehetőség rétegzett altalajok esetén, hogy valamely zárt alakú rugalmasságtani összefüggéssel számolunk, de ekkor a *rugalmassági modulusok súlyozott átlagértékét* ( $E_{\text{sz}}$ ) kell felhasználnunk, s a különböző tulajdonságú

rétegeket egyetlen  $\sum_{i=1}^n h_i$  vastagságú,  $E_{\text{sz}}$  rugalmassági modulusú homogén összletként kezeljük.

### Süllyedésszámítás a kompressziós görbék ismeretében

Amennyiben ismerjük az alapsík alatti kőzetek kompressziós görbéit, a süllyedések megbízhatóbban határozhatók meg, mint az összenyomódási modulus alapján, különösen, ha ezen utóbbit csak tapasztalati összefüggésekből határoztuk meg. Az eljárást a 6.14. ábra mutatja be.



6.14. ábra: A süllyedések meghatározása a kompressziós görbék segítségével

A várható süllyedés meghatározásának a menete a következő:

1. a  $\sigma_x$  feszültségek mélységbeli eloszlását a kívánt pont, vagy a karakterisztikus pont alatt;
2. Meghatározzuk a függőleges önsúlyfeszültségek (az ún. geosztatikai nyomás) ábráját a talajvízszint figyelembe vételével (kezdeti hatékony feszültség);
3. az  $m_0$  határmélységet;



4. az  $m_0$  határmélység fölötti rétegek középvezetékében a  $g_i = h_i \cdot \gamma_i$  geosztatikai nyomást és a  $\sigma_{zi}$  feszültséget. Nagyobb rétegvastagság esetén további sávokra (résztétegekre) bontással pontosíthatjuk az eljárást;
5. a rétegek – vagy sávnak – megfelelő kompressziós görbe vízszintes tengelyére a  $g_i$ , ill. a  $g_i + \sigma_{zi}$  értékeket, s leolvassuk a  $\sigma_{zi}$  feszültségtöbbletéhez tartozó  $\Delta \varepsilon_i$  fajlagos összenyomódás értékeket;

6. az adott réteg (sáv/résztéteg) összenyomódását:

$$\Delta s_i = \Delta \varepsilon_i \cdot h_i \quad (6.18)$$

7. az egyes rétegek összenyomódásait, s az alaptest várható süllyedése:

$$s = \sum_{i=1}^n \Delta \varepsilon_i \cdot h_i \quad (6.19)$$

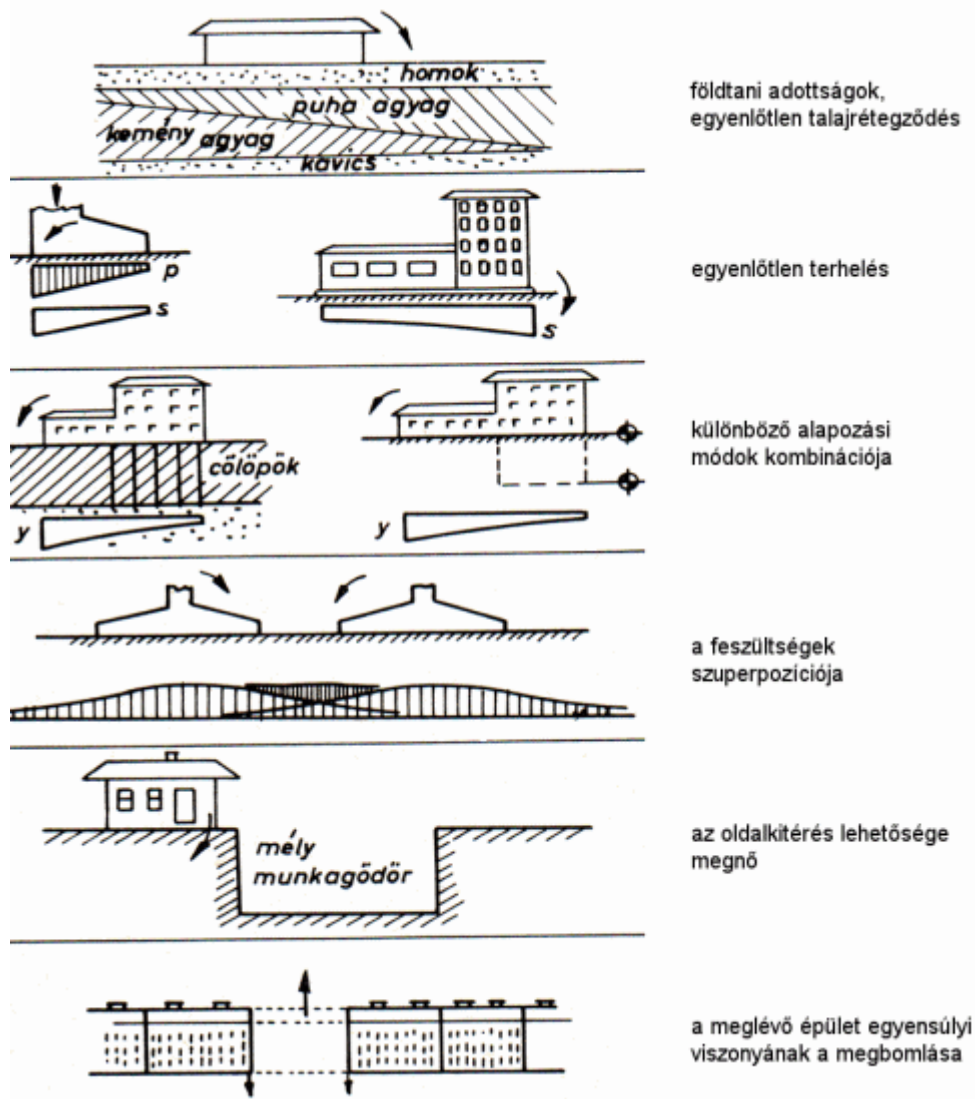
### Közvetlen süllyedésszámítás, zárt képletekkel

A közvetlen, zárt képletekkel történő süllyedésszámításra számítógépes programok állnak rendelkezésre, az alkalmazás feltétele: [vi]

- a vizsgált alap alatti feszültségek egyetlen alap terheléséből származzanak;
- az  $\varepsilon_x = f(\sigma)$  kapcsolat lineáris (az általános Hooke-törvénnyel vagy az  $\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_s}$  összefüggéssel leírható) legyen;
- a talaj (elég jó közelítéssel) homogén legyen;
- a határmélység könnyen felvehető legyen;
- legyen az adott terhelési szituációra kidolgozott képlet, aminek feltétele volt, hogy az eset  $\varepsilon_x = f(z)$  függvénye integrálható legyen.

### Az egyenlőtlen süllyedések okai

Az épületkárok jelentős részét az egyenlőtlen süllyedések okozzák. A **6.15. ábra** foglalja össze a leggyakoribb okokat.



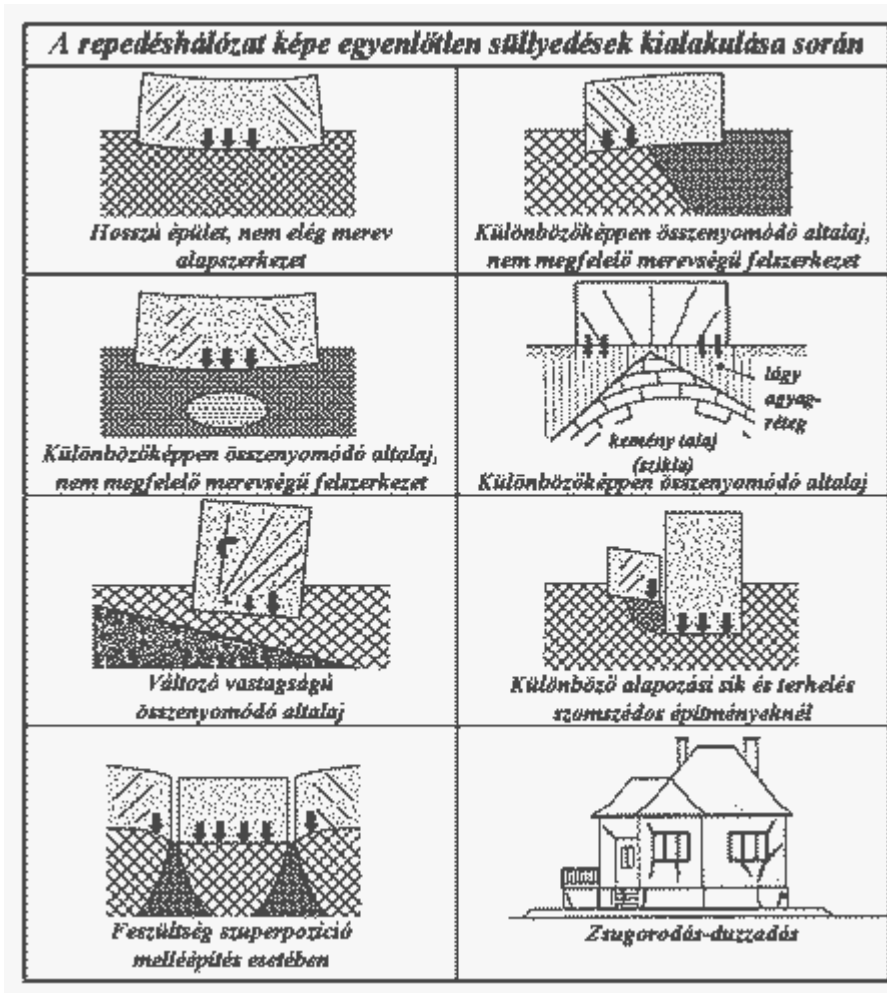
6.15. ábra: Az egyenlőtlen süllyedések okai

Az ábrán feltüntetett okok mellett felléphetnek még további hatások, amelyek az épület egyenlőtlen süllyedését okozhatják:

- Forgalomból származó dinamikus terhelés (különösen szemcsés altalaj esetében);
- Térszín alatti üregnyitás hatása (pl. metróalagút építése);
- Fagyhatás okozta süllyedések (fagyveszélyes altalaj, magas kapillaris vízszintemelkedés);
- A talaj térfogatváltozása és ennek hatását figyelmen kívül hagyó hibás alapozási mód (pl. egyenlőtlen alapozási síkok, az ún. neutrális zóna felett alapozott – elsősorban kis terhelésű - építmények);
- Talajvízszint süllyesztés okozta egyenlőtlen hatékony feszültség növekedés (pl. a visontai kültetés víztelenítése).

Az egyenlőtlen süllyedések következtében az épületen először repedések jelennek meg.

A repedések a nagyobb süllyedést szenvedett (a mozgás után a lejjebb lévő) hely felé emelkednek (6.16. ábra).



6.16. ábra: A repedéshálózat képe egyenlőtlen süllyedések kialakulása során

Általánosan megállapítható, hogy

- 50 mm egyenletes süllyedés általában megengedhető;
- 20 mm süllyedéskülönbség statikailag határozott szerkezeteknél még nem okoz kárt;
- Relatív elfordulásként (ami két pont süllyedéskülönbségének és távolságának az aránya) megengedhető 1:500 elfordulás, de 1:150 elfordulás már kárt okoz. Minél alacsonyabb – kisebb merevségű – az épület, annál kevesebb relatív elfordulás engedhető meg károsodás nélkül.

### A MEGENGEDHETŐ ABSZOLÚT SÜLLYEDÉSEK ÉPÜLETEKRE VONATKOZÓ TÁJÉKOZTATÓ ÉRTÉKEI [vi]

- teherhordó téglafalak: 8-10 cm;
- téglafal vasbeton koszorúval: 10-15 cm;
- vasbeton és acélvázás épületek: 10 cm;
- lemezalapon álló építmények: 20-30 cm;
- magas súlypontú építmények (kémény, siló): 20-30 cm;
- pillérvázás, 1-2 szintes ipari épületek:
  - 6 m-es pillértávolság: 6-8 cm;
  - 12 m-es pillértávolság: 9-12 cm.

Védekezés a káros süllyedések ellen

A káros süllyedések ellen a leginkább használatos módszerek a következők:

- Az alapozási sík mélyítése;
- Talajcsere;
- Egyenlő süllyedésre való méretezés;
- Talpnyomások csökkentése;
- Oldalkitérések meggátolása;
- A feszültségek szuperpozíciójának a csökkentése;
- Lépcsős alapozás;
- Előterhelés, túlterhelés alkalmazása;
- Helyes építési sorrend megválasztása;
- Helyes szerkezeti megoldás alkalmazása;
- Talajszilárdítás, geoműanyagok alkalmazása;
- Mélyalapozás.

#### 4. FELADATOK

**FELADATOK 6. LECKE**

Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező**.  
A feladat végső eredményének a mindenkori **legutolsó megoldás** számít.

---

**Egészítse ki a hiányzó fogalmat!**

1. A süllyedés telített talajok esetében a következő három részből tevődik össze:

1. a kezdeti (azonnali) süllyedés;
2. az elsődleges konszolidáció okozta süllyedés;
3. a  
okozta süllyedés.

---

2. **Válassza ki a helyes megfogalmazást!**

Az elsődleges és másodlagos konszolidáció okozta süllyedést együttesen mint konszolidációs süllyedést szokás számítani.

Az azonnali és az elsődleges konszolidáció okozta süllyedést együttesen mint konszolidációs süllyedést szokás számítani.

Az azonnali, az elsődleges- és másodlagos konszolidáció okozta süllyedést együttesen mint konszolidációs süllyedést szokás számítani.

3. **Válassza ki a helyes paramétereket az alábbi felsorolásból! (Több lehetséges helyes válasz!) Az alaptest alatti féltérben kialakuló**

**feszültségeloszlást befolyásolja:**

összenyomódó altalaj vastagsága	kohézió
szivárgási tényező	Poisson szám
tömörség	belső súrlódási szög

**Döntse el, hogy az állítás igaz vagy hamis?**

4. Az azonnali süllyedések nagysága független a felszerkezettől.

I	H

**Válassza ki a helyes paramétereket az alábbi felsorolásból! (Több lehetséges helyes válasz!)**

5. Az alaptest alatti féltérben kialakuló feszültségeloszlást befolyásolja:

- az altalaj minősége
- a terhelés nagysága
- az altalaj vastagsága
- az alaptestnek az altalajhoz viszonyított merevsége
- az alaptest merevsége
- az alaptest nagysága, alakja

**Egészítse ki a következő mondatban a hiányzó szavakat!**

A feszültségek meghatározásánál a következő egyszerűsítő feltevéseket alkalmazzuk:

- Az altalajt rugalmasnak tekintjük, érvényes a -törvény;
- A talaj homogén és .

**Igaz-e a következő, a sávterhelés alatti főfeszültségekre vonatkozó összefüggés?**

8. 
$$\sigma_{1,2} = \frac{p}{\pi} \cdot (2\varepsilon \pm \cos 2\varepsilon)$$

I	H

**Válassza ki a helyes megoldást!**

**9. Melyik megfogalmazás korrekt a karakterisztikus pontra vonatkozóan?**

Az alaptest középpontjának függőlegesében éppen az átlagos  $\sigma_x$ -k ébrednek, ezért ezt a pontot karakterisztikus pontnak nevezzük.

Az alaptest középpontjának függőlegesében a maximális  $\sigma_x$ -k ébrednek, ezért ezt a pontot karakterisztikus pontnak nevezzük.

Az alaptest egyik sarokpontja az ún. karakterisztikus pont, amelynek a függőlegesében éppen az átlagos  $\sigma_x$ -k ébrednek.

Létezik az alap támaszkodó felületén olyan ún. karakterisztikus pont, amelynek a függőlegesében éppen az átlagos  $\sigma_x$ -k ébrednek.

**10. Melyik állítás igaz?**

Az alaptest alatt egy adott mélységben a terhelés által keltett többletfeszültség értéke független az alaptest alakjától.

Az alaptest alatt egy adott mélységben a terhelés által keltett többletfeszültség értéke annál kisebb, minél zártabb az alaptest.

Az alaptest alatt egy adott mélységben a terhelés által keltett többletfeszültség értéke nem független az alaptest alakjától.

Az alaptest alatt egy adott mélységben a terhelés által keltett többletfeszültség értéke annál nagyobb, minél zártabb az alaptest.

**11. A Jáky-féle határmélység elmélettel számolva, azonos talpfeszültség mellett melyik alaptest alatt nagyobb a határmélység?**

sávalap

pilléralap

**12. A süllyedések számításakor melyik összefüggés alapján kapunk nagyobb süllyedéseket?**

$$s = \int_0^x \varepsilon_x dz = \frac{1}{E_i} \int_0^x [\sigma_x - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] dz \quad s = \int_0^x \varepsilon_x \cdot dz = \frac{1}{E} \int_0^x \delta_x \cdot dz$$

**13. Egyenlőtlen süllyedésekből származó repedések:**

a kisebb süllyedést szenvedett (a mozgás után a feljebb lévő) hely felé emelkednek függőlegesen

a nagyobb süllyedést szenvedett (a mozgás után a lejjebb lévő) hely felé emelkednek

a vízszintessel  $45^\circ + \frac{\phi}{2}$  szöget zárnak be

**Válassza ki a hibás válaszokat! (Több lehetséges!)**

**14. A káros süllyedések ellen a leginkább használatos módszerek a következők:**

Előterhelés, túlterhelés alkalmazása

Talajcsere

Az elmozdulások szuperpozíciójának a csökkentése

Oldalkitérések elősegítése

Helyes építési sorrend megválasztása

Mélyalapozás

Talpnyomások növelése

Egyenlőtlen alapozási sík

## BIBLIOGRÁFIA:

---

- [i] Farkas, 2000
- [ii] in. Dulácska et al., 1982
- [iii] Szepesházi, 2008
- [iv] Farkas, 2000
- [v] Szepesházi, 2008
- [vi] Szepesházi, 2008
- [vii] Farkas, 2000