



Magyar Mérnöki Kamara

2014. november

Szepesházi Róbert

Széchenyi István Egyetem, Győr

Geotechnikai tervezés az Eurocode 7 és
a kapcsolódó geotechnikai szabványok szerint

Tartalom

1. A geotechnikai tervezés alapjai
2. Síkalapok tervezése
3. Cölöpalapok tervezése
4. Támszerkezetek tervezése
5. Alapozások tervezése földrengésre
6. Hidalapozások tervezése

A síkalapok tervezése az Eurocode 7 szerint

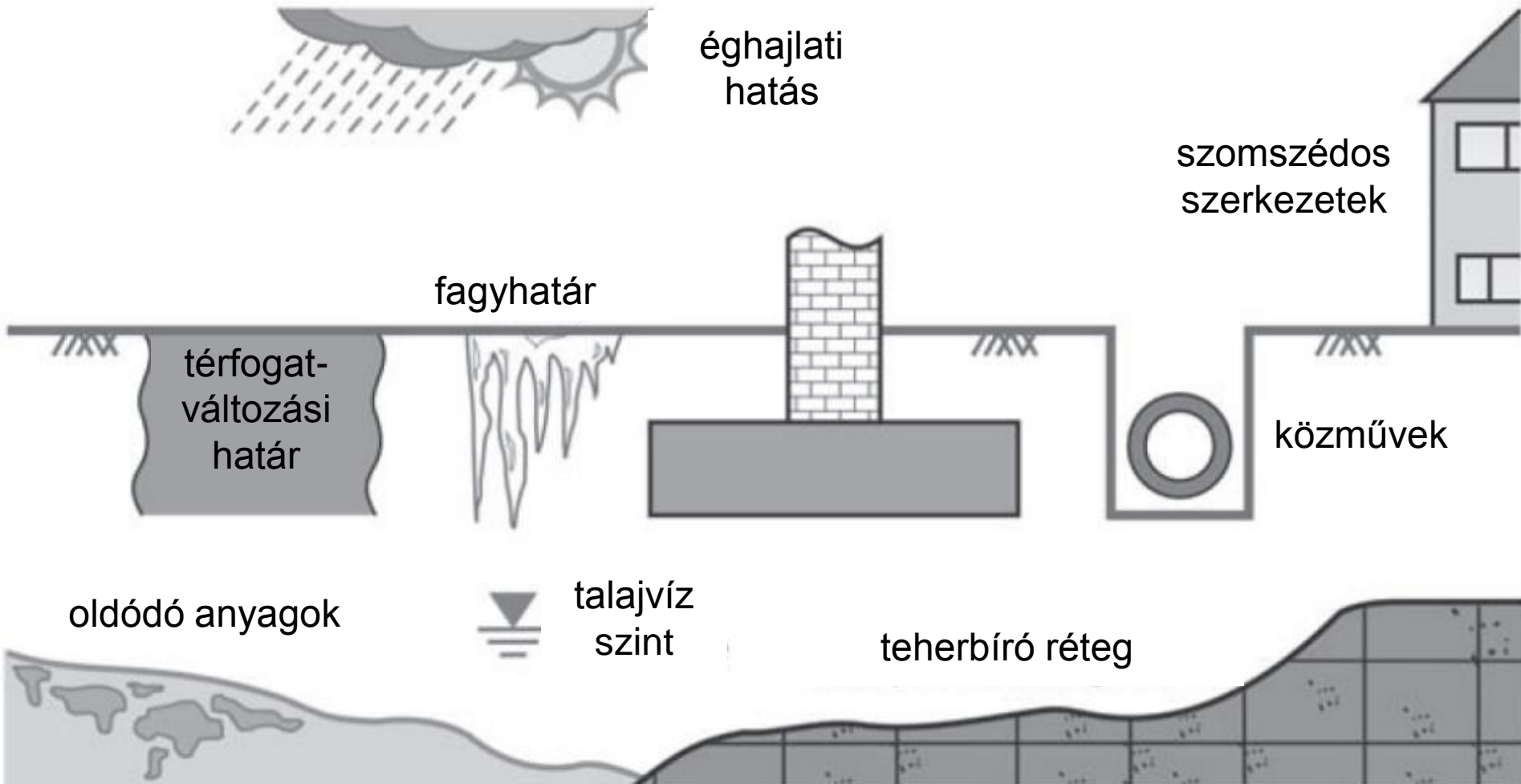
Síkalapok tervezésének alapjai

Alapsík mélységének felvétele

Szemponatok

- megfelelő teherbírású réteg felszíne
- térfogatváltozási határ
- fagyhatár
- talajvízszintek üzemi és építési állapotban
- talajmozgások vagy szilárdságcsökkenés veszélyei
- szomszédos alapok vagy más szerkezetek helyzete
- jövőben várható földkiemelések az alapok körül
- építmény okozta hőmérsékletek hatásai
- aláüregelődési veszély;
- oldódó anyagok (mész, agyag, gipsz kő) helyzete.

Alapozási sík felvétele



Tervezési módszerek

- **közvetlen módszer**

más-más számítási modellt alkalmazva vizsgáljuk a határállapotokat:

- a használhatósági határállapotokat süllyedésszámítással;
- a teherbírási határállapotokat az elképzelt törési mechanizmus alapján.

- **közvetett módszer**

összehasonlítható tapasztalatok, terepi vagy labormérések alapján

a használhatósági határállapot terheit úgy választjuk meg, hogy teljesüljenek az adott esetben értelmezhető összes határállapot követelményei.

- **szokáson alapuló módszer**

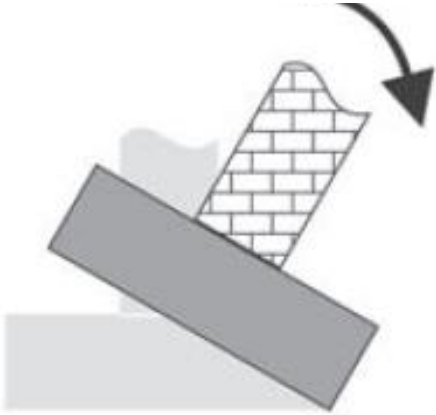
valószínűsített talajtörési ellenállással számolunk.

Síkalapok határállapotai

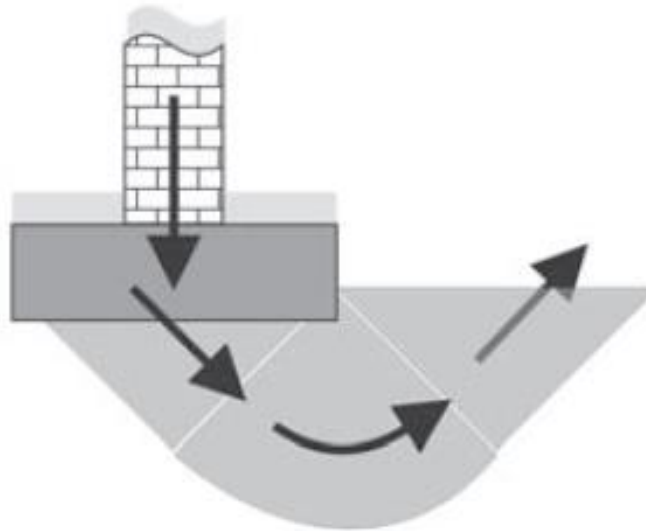
- az általános állékonyság elvesztése;
- az alap alatti talajtörés, átfúródás, kipréselődés;
- tönkremenetel elcsúszás miatt;
- a tartószerkezet és az altalaj együttes tönkremenetele;
- a tartószerkezet tönkremenetele az alap mozgása miatt;
- túlzottan nagy süllyedések;
- túlzottan nagy megemelkedés duzzadás, fagy v. más ok miatt;
- elfogadhatatlan mértékű rezgések.

Síkalapok teherbírési határállapotai

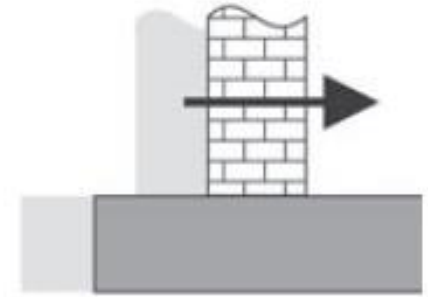
helyzeti állékonyság



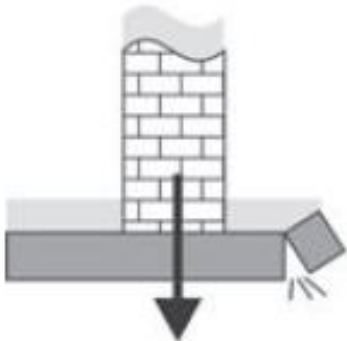
alap alatti talajtörés



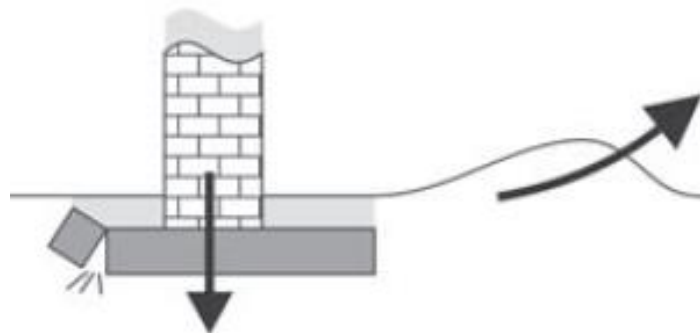
elcsúszás



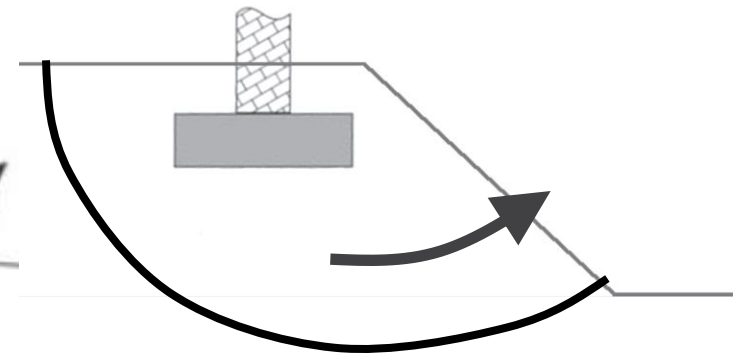
tartószerkezet
tönkremenetele



tartószerkezet és altalaj
együttes tönkremenetele



általános állékonyság

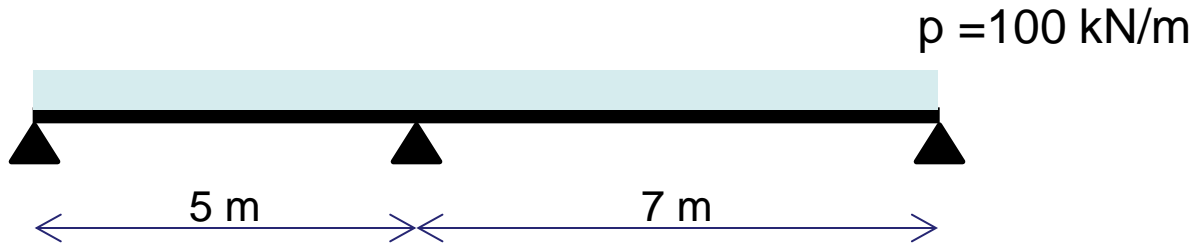


Síkalapok hatásainak felvétele

6.3. Hatások és tervezési állapotok

- (3) Ha a tartószerkezet merevsége számottevő, a hatások eloszlásának meghatározása céljából szükség lehet a szerkezet és az altalaj kölcsönhatásának vizsgálatára.

Síkalapokra jutó hatás felvétele

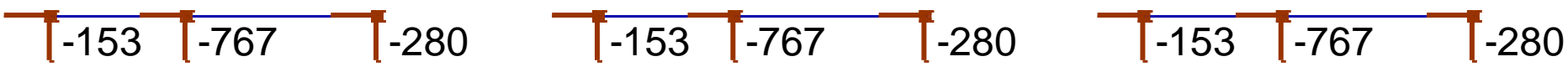


40 x 40 cm

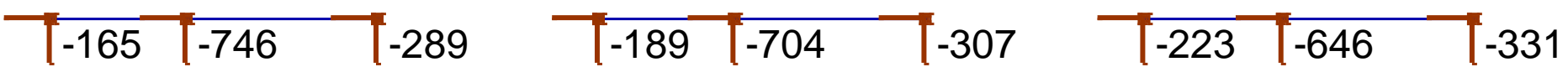
40 x 60 cm

40 x 80 cm

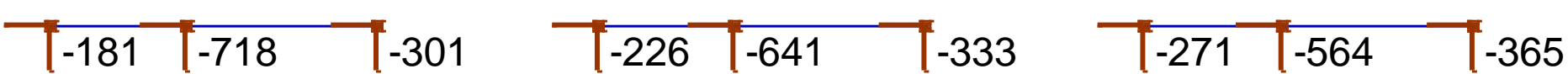
merev ($R_z = 10^{10} \text{ kN/m}$)



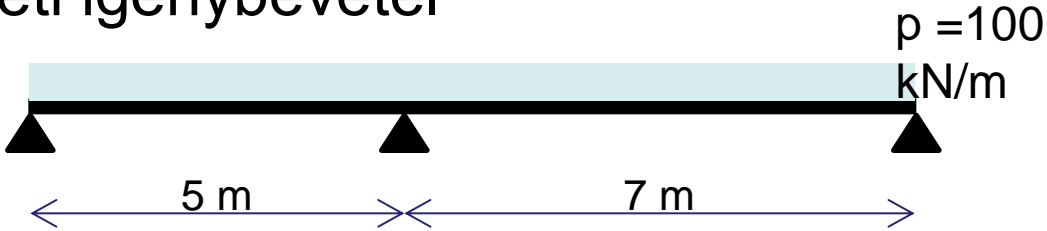
$R_z = 50.000 \text{ kN/m}$



$R_z = 20.000 \text{ kN/m}$



Tartószerkezeti igénybevétel

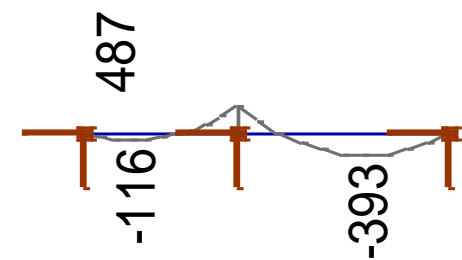
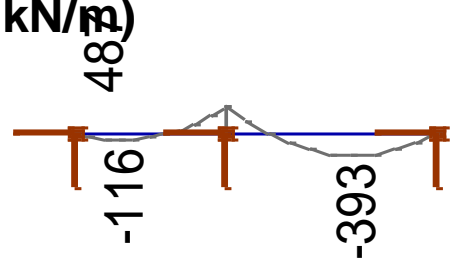
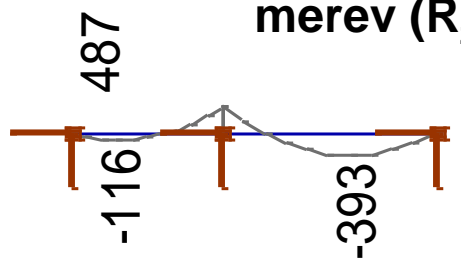


40 x 40 cm

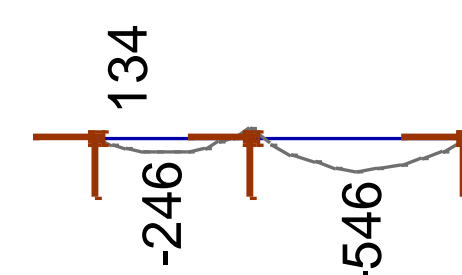
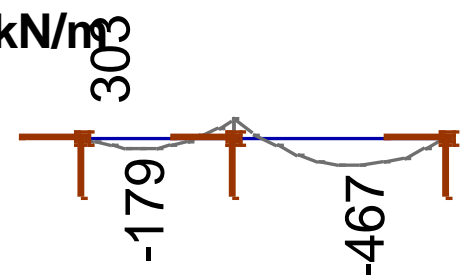
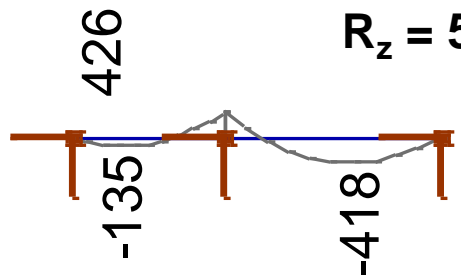
40 x 60 cm

40 x 80 cm

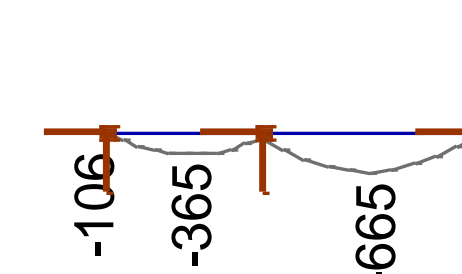
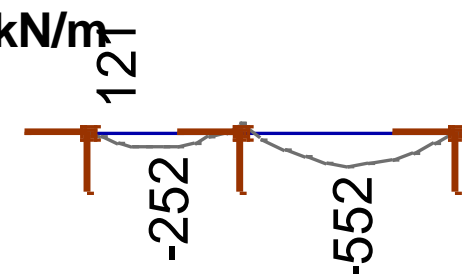
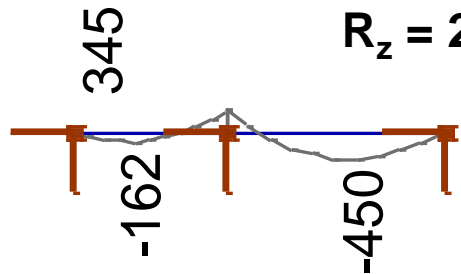
merev ($R_z = 10^{10}$ kN/m)



$R_z = 50.000$ kN/m



$R_z = 20.000$ kN/m



Síkalapok méretezése

talajtöréssel szemben

Síkalapok talajtörési ellenállása

6.5.2.2. Számításos módszer

- (2)P Az R_d tervezési értékének analitikus meghatározásakor **mind a rövid, mind a hosszú időtartamra** vonatkozó eseteket vizsgálni kell, különösen a finom szemcséjű talajok esetében.
- (3)P Ha az alap alatti talaj- vagy közettömegben markáns **rétegződés** vagy más diszkontinuitás van, akkor az alapul vett törési mechanizmus, valamint a kiválasztott nyírószilárdsági és alakváltozási paraméterek számoljanak az altalaj ezen szerkezeti sajátosságaival.
- (4)P Ha olyan **többrétegű üledékre** kerül az alap, amelyen belül a rétegek tulajdonságai egymáshoz képest jelentősen változnak, akkor a talajparaméterek tervezési értékeit minden egyes rétegre meg kell állapítani.
- (5) Ahol **szilárd réteg** fekszik egy **gyengébb zóna alatt**, ott a talajtörési ellenállás a gyengébb réteg nyírási paramétereire alapján számítható. **Fordított elrendezés esetén** indokolt ellenőrizni az átfúródást.
- (6) Gyakran előfordul, hogy a 6.5.2.2. szakasz (3)P, (4)P és (5) bekezdése szerinti tervezési állapotokra az analitikus módszerek nem alkalmasak. Ilyenkor ajánlatos **numerikus eljárást** alkalmazni a legkedvezőtlenebb törési mechanizmus meghatározására.

A talajtörés (GEO) vizsgálata az EC 7-1 szerint

$$E_d \leq R$$

$$E_d = F_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{rep} \leq R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{B' \cdot L' \cdot \sigma_t}{\gamma_R}$$

| | |
|-------------------|--|
| E_d | az igénybevétel tervezési értéke (függőleges erő) |
| F_d | a hatás tervezési értéke |
| $\gamma_G = 1,35$ | az állandó hatások parciális tényezője |
| G_k | az állandó hatások karakterisztikus értéke |
| $\gamma_G = 1,50$ | az állandó hatások parciális tényezője |
| Q_{rep} | az esetleges hatások reprezentatív értéke |
| R_d | a talajtörési ellenállás tervezési értéke (függőleges erő) |
| R_k | a talajtörési ellenállás karakterisztikus értéke |
| $\gamma_R = 1,40$ | a talajtörési ellenállás állandó hatások parciális tényezője |
| B' és L' | a alapfelület dolgozó szélesség és hosszúsága |
| σ_t | a síkalap törőfeszültségének függőleges komponense |

A hatások / igénybevételek oldalán megjelenő biztonság

Hatások, igénybevételek kombinációi az EC1 szerint

- alapkombináció

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- alkombinációk részletes erőteni számításhoz

a)

b)

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Parciális és más tényezők

állandó

forgalmi

esetleges egyidejűségi

csökkentő

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

$$\psi_{0,1} < 1,0$$

$$\xi_j = 0,85$$

A síkalapok méretezési biztonsága

Globális biztonság GEO határállapotra

Síkalap talajtörésre

alapkombináció

$$\text{FOS} \approx 1,40 \cdot 1,40 \approx 2,00$$

alkombinációk

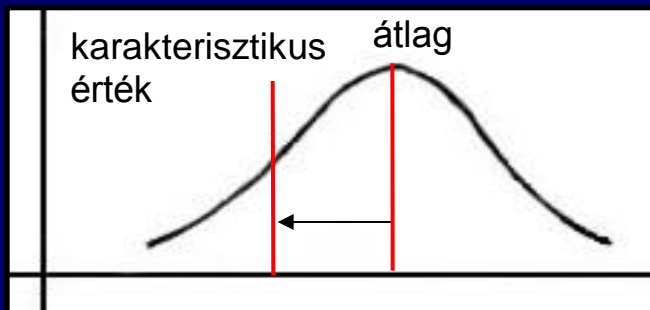
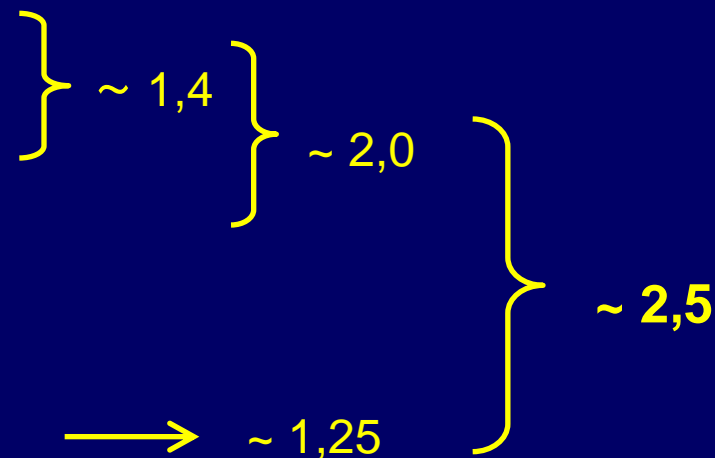
$$\text{FOS} \approx 1,25 \cdot 1,40 = 1,75$$

(A karakterisztikus értékben levő biztonság nélkül.)

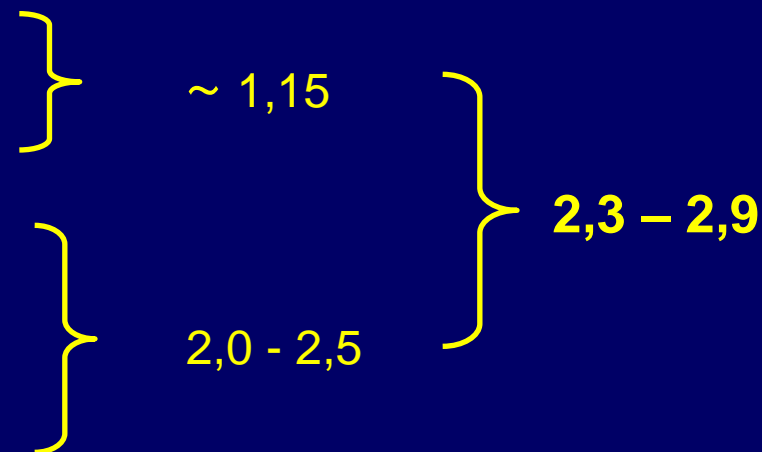
Síkalapozás parciális és biztonsági tényezői és a globális biztonság

EC-7

| | |
|------------------|------|
| Állandó teher | 1,35 |
| Esetleges teher | 1,50 |
| Talajtörés ellen | 1,40 |



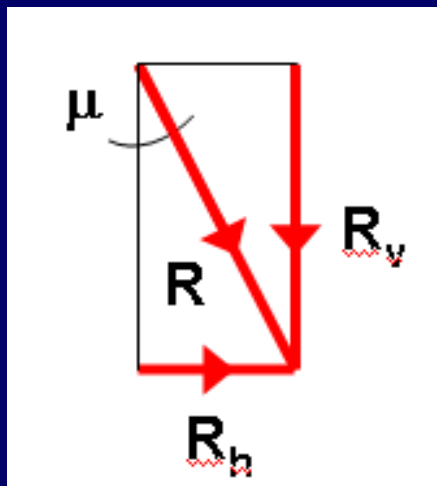
| | |
|-----------------|------|
| Állandó teher | 1,10 |
| Esetleges teher | 1,30 |



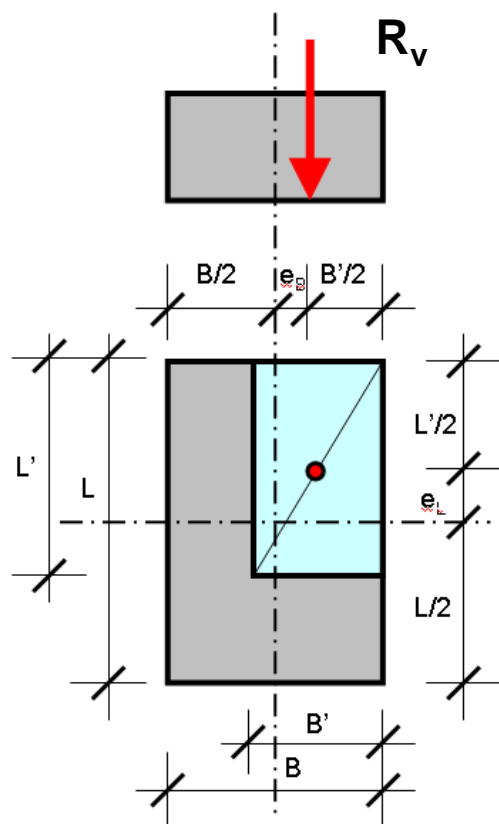
MSZ 15004

| | |
|------------------------------|-----------|
| α_1 - talajfeltárás | 1,0 - 0,7 |
| α_2 - nyírószilárdság | 1,0 - 0,7 |
| α_3 - építmény | 0,9 - 0,5 |

Síkalap talajtörési ellenállása



A terhelés
külpontosságának hatása



tényleges keresztmetszet

B szélesség

L hosszúság

külpontosság

e_B B irányában

e_L L irányában

dolgozó keresztmetszet

B' szélesség

$B' = B - 2 \cdot e_B$

L' hosszúság

$L' = L - 2 \cdot e_L$

MSZ 15004

$$\sigma_t = a_B \cdot \gamma_1 \cdot B' \cdot N_B \cdot i_B \cdot j_B + a \cdot \gamma_2 \cdot t \cdot N_t \cdot i_t \cdot j_t + a \cdot c \cdot N_c \cdot i_c \cdot j_c$$

EC-7

$$R_v / (B' \cdot L') = s_\gamma \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot 0,5 + s_q \cdot q \cdot N_q \cdot i_q \cdot b_q + s_c \cdot c \cdot N_c \cdot i_c \cdot b_c$$

MSZ 15004

$$\sigma_T = a_B \cdot \gamma_1 \cdot B' \cdot N_B \cdot i_B \cdot j_B + a \cdot \gamma_2 \cdot t \cdot N_t \cdot i_t \cdot j_t + a \cdot c \cdot N_c \cdot i_c \cdot j_c$$

EC-7

$$R_v / (B' \cdot L') = s_\gamma \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot 0,5 + s_q \cdot q \cdot N_q \cdot i_q \cdot b_q + s_c \cdot c \cdot N_c \cdot i_c \cdot b_c$$

Teherbírási tényezők

MSZ 15004

$$N_B = (N_t + 1) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$N_t = e^{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)$$

$$N_c = (N_t - 1) \cdot \operatorname{ctg} \varphi$$

EC-7

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg} \varphi$$

Alaki tényezők

MSZ 15004

$$a_B = 1 - B/(3L)$$

$$a_t = a_c = 1 + B/(2L)$$

EC-7

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot (B/L)$$

$$s_q = 1 + (B/L) \cdot \sin \varphi$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1)/(N_q - 1)$$

Az alapsík ferdeségét figyelembe vevő tényező

EC-7

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi)^2$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

A terep ferdeségét figyelembe vevő tényező

MSZ 15004

$$j_t = j_B = (1 - \operatorname{tg} \varepsilon / \operatorname{tg} \varphi)^2$$

$$j_c = j_t - (1 - j_q)/(N_c \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

MSZ 15004

$$\sigma_T = a_B \cdot \gamma_1 \cdot B' \cdot N_B \cdot i_B \cdot j_B + a \cdot \gamma_2 \cdot t \cdot N_t \cdot i_t \cdot j_t + a \cdot c \cdot N_c \cdot i_c \cdot j_c$$

EC-7

$$R_v / (B' \cdot L') = s_\gamma \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot 0,5 + s_q \cdot q \cdot N_q \cdot i_q \cdot b_q + s_c \cdot c \cdot N_c \cdot i_c \cdot b_c$$

A terhelő erő ferdeségét figyelembe vevő tényezők

MSZ 15004

$$i_B = (1 - f)^3$$

$$i_t = (1 - 0,7 \cdot f)^3$$

$$i_c = (i_t \cdot N_q - 1) / (N_t - 1)$$

$$f = \text{tg } \mu = R_h / R_v$$

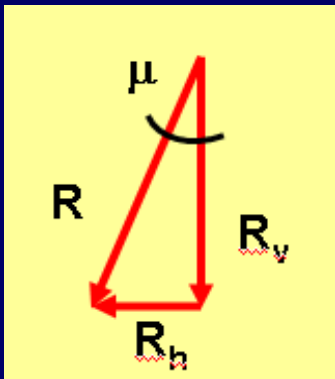
EC-7

$$i_\gamma = (1 - f)^{m+1}$$

$$i_q = (1 - f)^m$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$f = R_h / (R_v + B' \cdot L' \cdot c \cdot \text{ctg } \varphi)$$



R_h vízszintes erő párhuzamos

B-vel

L-lel

$$m_B = \frac{2 + (B'/L')}{1 + (B'/L')}$$

$$m_L = \frac{2 + (L'/B')}{1 + (L'/B')}$$

sávalap ($L \gg B$)

2,0

1,0

pontalap ($L=B$)

1,5

1,5

A síkalap törőfeszültsége drénezetlen terhelésre az EC7 szerint

$$\sigma_t = R_v / (B' \cdot L') = (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Alaki tényező

$$s_c = 1 + \frac{B'}{5 \cdot L'}$$

A terhelő erő ferdeségét figyelembe vevő tényező

$$i_c = 0,5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H_t}{A' \cdot c_u}} \right)$$

EC 7-1

szokáson alapuló (közelítő) számítás
az 1. geotechnikai kategóriában

valószínűsített talpellenállás

- összehasonlítható tapasztalat alapján
- terepi vizsgálat eredményéből korrelációval számítva
- talajtípus és -állapot alapján felvéve

Síkalapok közelítő méretezése talajtöréssel szemben

MSZ 15004

közelítő számítás határfeszültségi alapérték alapján
központos (?), függőleges (?) teherre

MSZ EN 1997

számítás elfogadott (?) valószínűsített talajtörési ellenállás alapján
GK1 és GK2 (?) esetén

MSZ 15004 - módszer transzformálása MSZ EN 1997 NM - módszerré

a parciális tényezők figyelembevételével

a határfeszültségi alapértékek min. 1,5-tel felszorozhatók

Határfeszültségi alapérték MSZ 15004 szerint

| Jel | A közepesen tömör szemcsés talaj megnevezése | Száraz vagy nyirkos | Nedves vagy igen nedves | Telített, talajvízszint alatti |
|-----|--|--|-------------------------|--------------------------------|
| | | talajok határfeszültsége (σ_a), kN/m ² | | |
| a | durva kavics és finom kavics | 650-780 | 650-780 | 520-650 |
| b | homokos kavics és iszapmentes kavics | 580-780 | 580-780 | 450-600 |
| c | közepes szemmagyságú homok | 480-650 | 480-650 | 300-400 |
| d | finom homok | 300-400 | 300-400 | 200-250 |

| Kötött talaj | | Plasztikus index I_p | Hézag tényező | σ_a , kN/m ² | | |
|--------------|------------------------------------|------------------------|---------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| jelle | megnevezése | | | $I_c \geq 1,2$ | $I_c = 1,0$ | $I_c = 0,5$ |
| e | iszapos homok, homokos iszap | 1-10 | 0,5 | 400 | 350 | 300 |
| | | | 0,7 | 300 | 250 | 180 |
| f | iszap, homokos agyag, sovány agyag | 10-20 | 0,4 | 500 | 400 | 320 |
| | | | 0,5 | 420 | 350 | 300 |
| | | | 0,7 | 350 | 300 | 200 |
| | | | 1,0 | 300 | 200 | 150 |
| g | közepes és kövér agyag | >20 | 0,4 | 900 | 750 | - |
| | | | 0,6 | 720 | 600 | - |
| | | | 0,8 | 420 | 350 | 200 |
| | | | 1,0 | 350 | 250 | 150 |

Talajok határfeszültségének tájékoztató meghatározása vízszintes térszín, központos nyomás esetén MSZ 15004 szerint

Szemcsés talaj

$$\sigma_H = c_1 \cdot c_2 \cdot \sigma_a \leq 3 \cdot \sigma_a$$

mélységi tényező: $c_1 = \frac{t + B}{2}$

alaki tényező: $c_2 = 1.0, \text{ ha } \frac{B}{L} \leq \frac{1}{5}$

$c_2 = 1.25, \text{ ha } \frac{B}{L} = 1,$

Kötött talaj

$$\sigma_H = c_3 \cdot \sigma_a \leq 3 \cdot \sigma_a$$

mélységi tényező: $c_3 = \frac{2 + t + B}{4}$

Valószínűsített talajtörési ellenállás az MSZ EN 1997 szerint

$$\sigma_t \geq 1,5 \cdot \sigma_a$$

Valószínűsített talajtörési ellenállás

Móczár Balázs és Szendefy János

Síkalapok teherbírásának
egyszerűsített számítása
az Eurocode 7 elveinek figyelembe vételével

Vasbetonépítés, 2013/1, pp 20-26

| Talajtípusok | | Állapot | σ_{pb} [kPa] tv. felett | σ_{pb} [kPa] tv. alatt | σ_{pb} [kPa] tv. alatt a takarás is |
|------------------|---|---------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| SZEMCSÉS TALAJOK | Homokos kavics (K>50%) | L | 450 | 350 | 250 |
| | | KT | 575 | 450 | 300 |
| | | T | 725 | 575 | 400 |
| | Kavicsos homok (K>20%,I+A< 15 %) | L | 300 | 250 | 150 |
| | | KT | 400 | 325 | 225 |
| | | T | 550 | 425 | 300 |
| | Homok (K<20% és I+A<15%) | L | 200 | 175 | 100 |
| | | KT | 250 | 200 | 150 |
| | | T | 350 | 275 | 200 |
| ÁTMENETI TALAJOK | Iszapos homok (K<20%,I+A< 40%,H>45%) | L | 150 | 125 | 100 |
| | | KT | 250 | 225 | 175 |
| | | T | 350 | 325 | 275 |
| | Homokos iszap (60%>H>20%, A<20%) | L | 175 | 150 | 125 |
| | | KT | 250 | 225 | 200 |
| | | T | 325 | 300 | 275 |
| | Iszap (Ip 10-15%) | Gy | 150 | 150 | 125 |
| | | M | 225 | 200 | 175 |
| | | K | 325 | 300 | 275 |
| KÖTÖTT TALAJOK | Sovány anyag (Ip 15-20%) | Gy | 150 | 150 | 125 |
| | | M | 250 | 225 | 200 |
| | | K | 350 | 325 | 300 |
| | Közepes agyag (Ip 20-30%) | Gy | 150 | 150 | 125 |
| | | M | 250 | 225 | 200 |
| | | K | 375 | 375 | 350 |
| | Kövért agyag (Ip >30%) | Gy | 125 | 100 | 100 |
| | | M | 250 | 225 | 225 |
| | | K | 375 | 375 | 350 |

$$V_d \leq \sigma_{pb} \cdot f_B \cdot f_t \cdot B \cdot L$$

Módosító tényező

| Talajcsoport | Alaki tényezők (f_B) | | Mélyégi tényezők (f_t) |
|-----------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | sávalap | négyzetes pontalap | |
| Szemcsés | 1 | 1,3 - 0,2 · B + 0,1 · t | (B + t) / 2 |
| Átmeneti | 1 | 1,3 | (B / 2 + t + 2,5) / 4 |
| Kötött | 1 | 1,3 | (t + 4) / 5 |

B = 0,5 m ... 2,0 m
t = 0,5 m ... 2,0 m

±10%
pontossággal

Biztonsági szint

Szabvány által elvárt biztonsági szint (részletes számítás): $\gamma_R = 1,40$

Javasolt biztonsági szint: $\gamma_R = 2,25$ **!?**

Síkalapok
elcsúszásának és külpontosságának
vizsgálata

6.5.3. Ellenállás csúszással szemben

(1)P Ha az alaptestre nem merőleges az erő, ellenőrizni kell, nem következhet-e be **elcsúszási törés** az alapfelületen.

(2)P A következő egyenlőtlenségnek kell teljesülnie:

$$H_d \leq R_d + R_{p;d} \quad (6.2.)$$

(3)P H_d értékében kell szerepeltetni az alapra átadódó **aktív földnyomást**.

(5) R_d és $R_{p;d}$ legyenek összhangban a várható mozgások mértékével. Nagy elmozdulás esetén a **reziduális nyírási ellenállás** jellemző. $R_{p;d}$ igazodjék a szerkezet tervezett **élettartamához**.

(6)P Az agyagtalajok esetében az alaptestek függőleges fala mellől **zsugorodás** miatt elválhat az agyag.

(7)P Az alaptest homlokfala mellől az **erózió vagy emberi beavatkozás** eltávolíthatja a talajt.

6.5.3. Ellenállás csúszással szemben

(8)P Drénezett viszonyok esetén a nyírási ellenállás R_d tervezési értékét vagy a talajjellemzőkre, vagy **a talajellenállásra alkalmazott parciális tényezőkkel** kell számítani a következők szerint.

$$R_d = V'_d \cdot \tan \delta_d \quad (6.3.a)$$

vagy

$$R_d = (V'_d \cdot \tan \delta_k) / \gamma_{R;h} \quad (6.3.b)$$

(9)P V'_d meghatározásakor figyelembe kell venni, hogy H_d és V'_d egymással összefüggő vagy független hatások-e.

(10) A δ_d **súrlódási szög** tervezési értéke

- helyben betonozott alaptestek esetében egyenlőnek vehető a nyírási ellenállás hatékony feszültségekhez és kritikus állapothoz tartozó szögének $\varphi'_{cv;d}$ tervezési értékével,

- sima, előre gyártott alaptestek esetében pedig $2/3 \varphi'_{cv;d}$ lehet.

A hatékony feszültségekhez tartozó **c' kohéziót** indokolt figyelmen kívül hagyni.

6.5.3. Ellenállás csúszással szemben

(11)P Drénezetlen viszonyok esetén a nyírási ellenállás R_d tervezési értékét vagy a talajjellemzőkre, vagy **a talajellenállásra** alkalmazott parciális tényezőkkel kell számítani a következők szerint:

$$R_d = A_c \cdot c_{u;d} \quad (6.4.a)$$

vagy

$$R_d = (A_c \cdot c_{u;k}) / \gamma_{R;h} \quad (6.4.b)$$

(12)P Ha víz vagy levegő juthat a drénezetlen agyag és az alap érintkezési felületéhez, a következő ellenőrzést végzendő:

$$R_d \leq 0,4 V_d \quad (6.5.)$$

(13) A (6.5) követelményt csak akkor szabad figyelmen kívül hagyni, ha a talaj és az alap közti hézag kialakulását a talaj tapadása ott is megakadályozza, ahol nincs talpfeszültség.

6.5.4. Nagy külpontosságú terhek

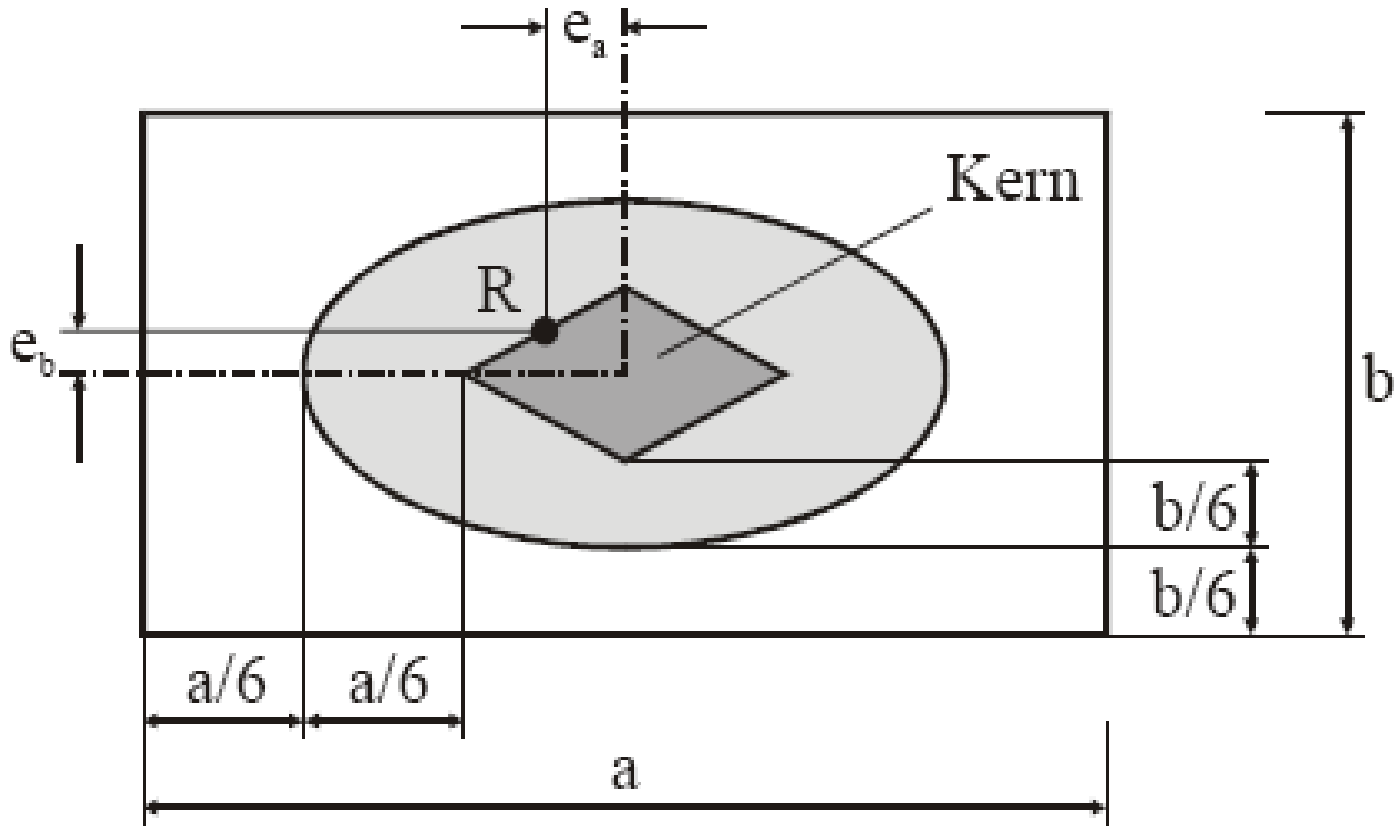
- (1)P Külön óvintézkedések szükségesek, ha az alapsíkon átadódó teher külpontossága meghaladja
- derékszögű alaprajzú alapok esetében az alapszélesség $1/3$ -át,
 - kör alaprajzú alaptestek esetében a sugár $0,6$ -szeresét.

Ilyen óvintézkedések lehetnek:

- újólag megvizsgálni a hatások tervezési értékeit;
- az építési tűrések nagyságát figyelembe véve tervezni meg az alaptest széleinek helyzetét.

- (2) Hacsak nem várható különleges pontosságú kivitelezés, akkor indokolt $0,10$ m-es többleteltéréssel számolni.

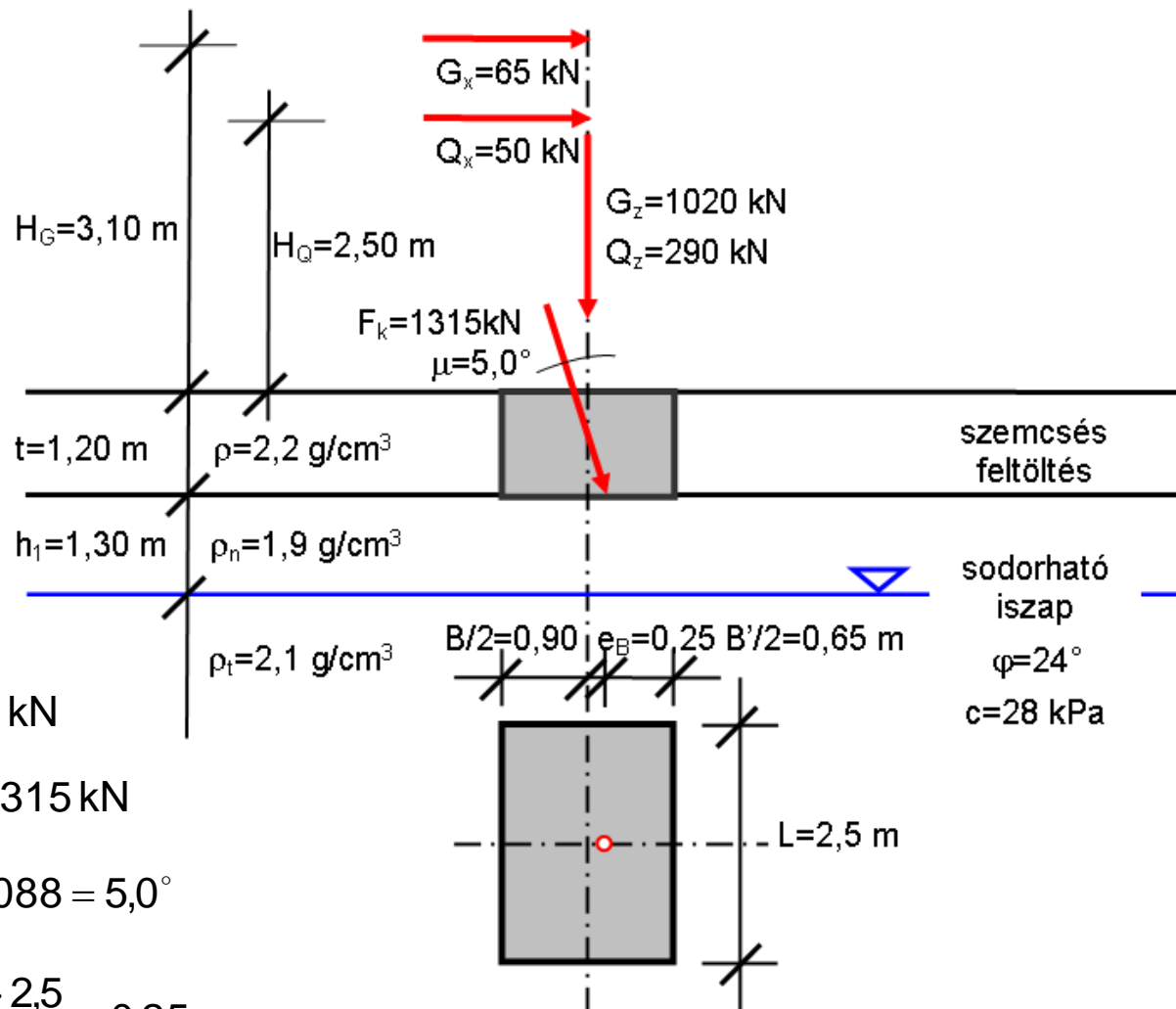
Külpontosság értékelése



$$\left(\frac{e_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{e_b}{b}\right)^2 \leq \left(\frac{1}{3}\right)^2$$

Síkalap talajtörési teherbírási határállapota

Hatások és igénybevételek számítása



$$F_{x;k} = G_x + Q_x = 65 + 50 = 115 \text{ kN}$$

$$F_{z;k} = G_z + Q_z = 1020 + 290 = 1310 \text{ kN}$$

$$F_k = \sqrt{F_x^2 + F_z^2} = \sqrt{115^2 + 1310^2} = 1315 \text{ kN}$$

$$\mu = \arctg \frac{F_x}{F_z} = \arctg \frac{115}{1310} = \arctg 0,088 = 5,0^\circ$$

$$e = \frac{G_x \cdot H_x + Q_x \cdot H_Q}{F_z} = \frac{65 \cdot 3,1 + 50 \cdot 2,5}{1310} = 0,25 \text{ m}$$

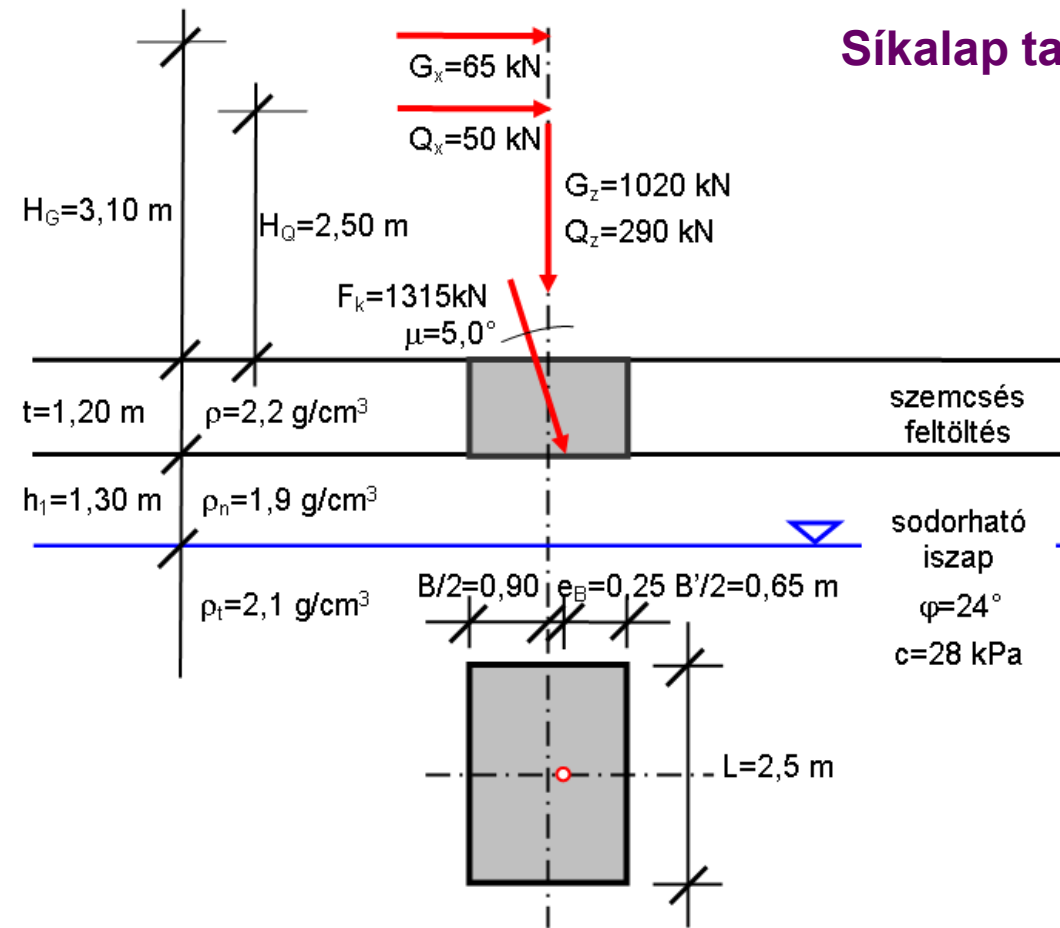
$$E_{x;d} = \gamma_G \cdot G_x + \gamma_Q \cdot Q_x = 1,35 \cdot 65 + 1,50 \cdot 50 = 163 \text{ kN}$$

$$E_{z;d} = \gamma_G \cdot G_z + \gamma_Q \cdot Q_z = 1,35 \cdot 1020 + 1,50 \cdot 290 = 1812 \text{ kN}$$

$$E_d = \sqrt{E_x^2 + E_z^2} = \sqrt{163^2 + 1812^2} = 1819 \text{ kN}$$

Síkalap talajtörési teherbírasi határállapota

Ellenállás számítása



$$s_{\gamma} = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} = 1 - 0,3 \cdot \frac{1,30}{2,50} = 0,844$$

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \sin \varphi = 1 + \frac{1,30}{2,50} \sin 24 = 1,212$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = \frac{1,212 \cdot 9,59 - 1}{9,59 - 1} = 1,237$$

$$B' = B - 2 \cdot e_B = 1,80 - 2 \cdot 0,25 = 1,30 \text{ m}$$

$$L' = L - 2 \cdot e_L = 2,50 - 2 \cdot 0,00 = 2,50 \text{ m}$$

$$\gamma'_1 = \rho_1 \cdot g = 1,35 \cdot 10 = 13,5 \text{ kN/m}^3$$

$$q' = t \cdot \rho \cdot g = 1,20 \cdot 2,2 \cdot 10 = 26,4 \text{ kPa}$$

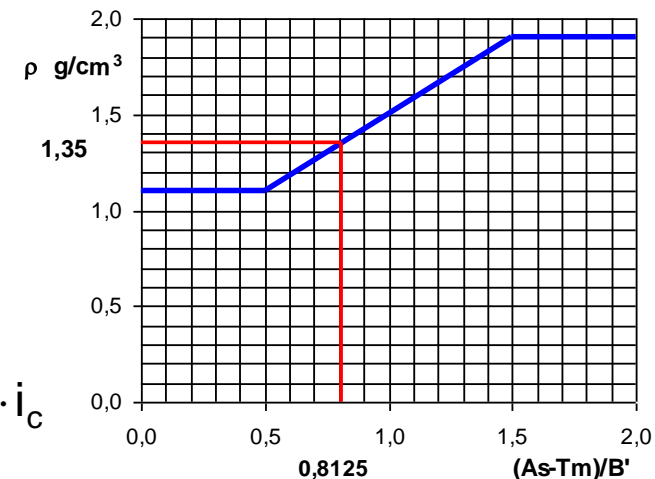
$$c = 28 \text{ kPa}$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \text{tg} \varphi} \cdot \text{tg}^2(45 + \varphi/2) = e^{\pi \cdot \text{tg} 24} \cdot \text{tg}^2(45 + 24/2) = 9,59$$

$$N_{\gamma} = 2 \cdot (N_t - 1) \cdot \text{tg} \varphi = 2 \cdot (9,59 - 1) \cdot \text{tg} 24 = 7,65$$

$$N_c = (N_t - 1) \cdot \text{ctg} \varphi = (9,59 - 1) \cdot \text{ctg} 24 = 19,29$$

$$\frac{R_z}{B' \cdot L'} = \sigma_t = B' \cdot \gamma'_1 \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot 0,5 + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c$$



Síkalap talajtörési teherbírási határállapota

Ellenállás számítása

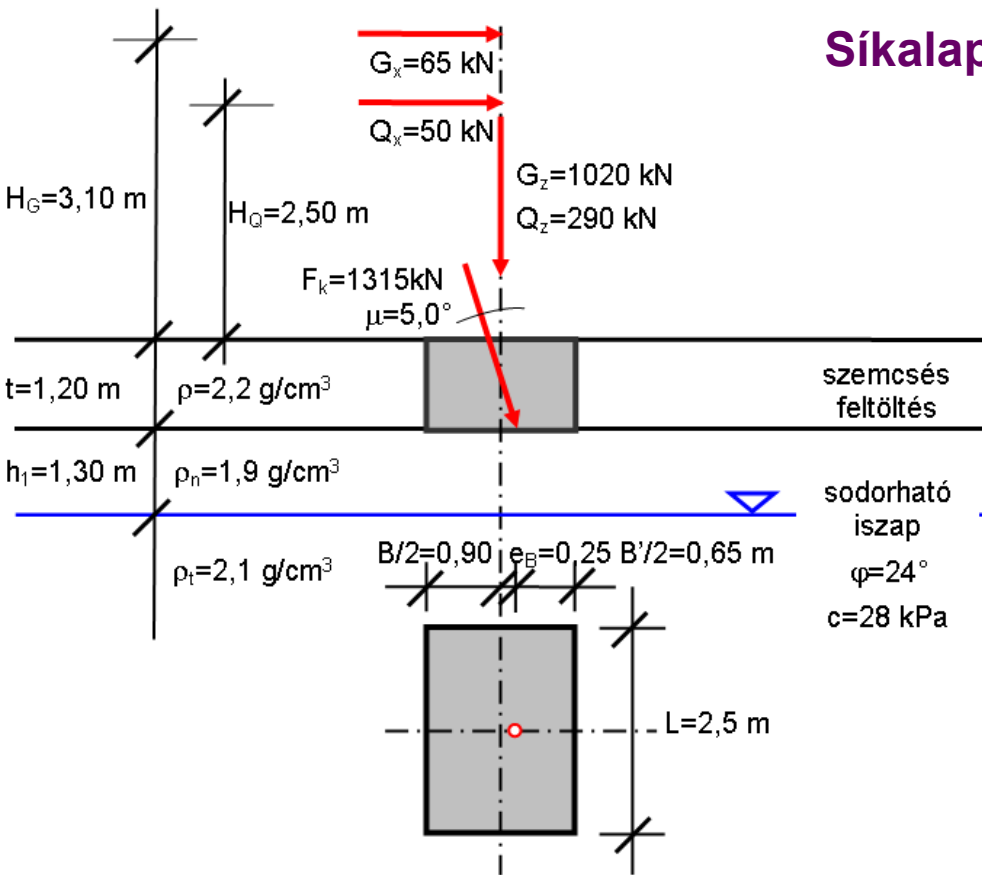
$$f = \frac{R_{x;k}}{R_{z;k} + B' \cdot L' \cdot c \cdot \text{ctg} \varphi} = \frac{\gamma_R \cdot E_x}{\gamma_R \cdot E_z + B' \cdot L' \cdot c \cdot \text{ctg} \varphi} \approx \frac{1,4 \cdot 163}{1,4 \cdot 1812 + 1,30 \cdot 2,50 \cdot 28 \cdot \text{ctg} 24} = 0,083$$

$$i_\gamma = (1 - f)^{m+1} = (1 - 0,086)^{1,658+1} = 0,787$$

$$i_q = (1 - 0,7 \cdot f)^m = (1 - 0,086)^{1,658} = 0,861$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = \frac{0,861 \cdot 9,59 - 1}{9,59 - 1} = 0,845$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'} = \frac{2 + 1,30/2,50}{1 + 1,30/2,50} = 1,658$$



$$\sigma_t = \frac{R_z}{B' \cdot L'} = 1,30 \cdot 13,5 \cdot 7,65 \cdot 0,844 \cdot 0,787 \cdot 0,5 + 26,4 \cdot 9,59 \cdot 1,212 \cdot 0,861 + 28 \cdot 19,29 \cdot 1,237 \cdot 0,845 = 45 + 264 + 565 \approx 874 \text{ kPa}$$

$$R_{z;k} = \sigma_t \cdot B' \cdot L' = 874 \cdot 1,30 \cdot 2,50 = 2841 \text{ kN}$$

$$R_{z;d} = \frac{R_{z;k}}{\gamma_R} = \frac{2841}{1,4} = 2029 \text{ kN}$$

$$R_{z;d} = 2029 \text{ kN} > E_{z;d} = 1812 \text{ kN}$$

$$f(\gamma_R) = 0,083$$

$$f(E_k) = 0,081$$

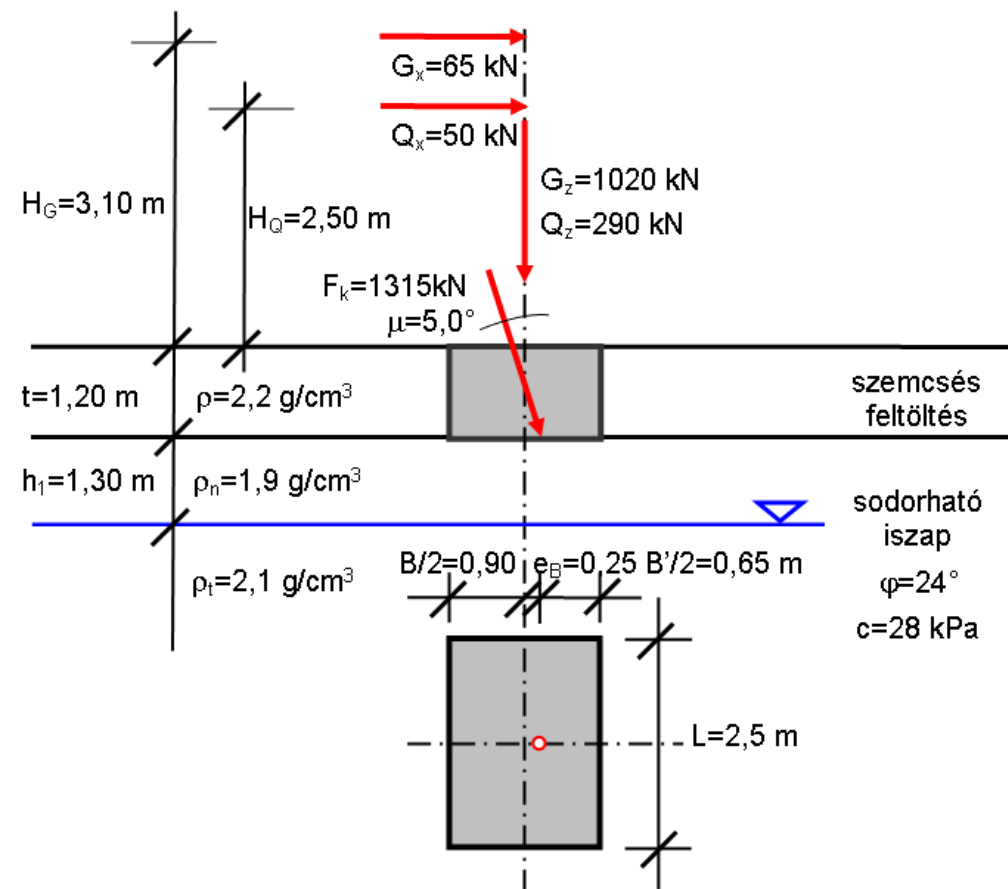
$$f(c = 0) = \text{tg} \mu = 0,087$$

$$f(R_k) = 0,0817$$

$$\frac{R_z}{B' \cdot L'} = \sigma_t = B' \cdot \gamma'_1 \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot 0,5 + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c$$

Síkalap elcsúszási teherbírási határállapota

Ellenállás számítása



$$R_{x;k} = F_{z;k} \cdot \operatorname{tg} \delta_k = 1310 \cdot \operatorname{tg} 24 = 583 \text{ kN}$$

$$R_{x;d} = \frac{R_{z;k}}{\gamma_R} = \frac{583}{1,1} = 530 \text{ kN}$$

$$E_{x;d} = \gamma_G \cdot G_x + \gamma_Q \cdot Q_x = 1,35 \cdot 65 + 1,50 \cdot 50 = 163 \text{ kN}$$

$$R_{x;d} = 530 \text{ kN} > E_{x;d} = 163 \text{ kN}$$

Síkalapok süllyedésének vizsgálata

6.6. Tervezés használhatósági határállapotra

6.6.1. Általános elvek

- (1)P Számolni kell azokkal az elmozdulásokkal, amelyeket az alapokra jutó olyan hatások okoznak, amilyenekre a 2.4.2. szakasz (4) bekezdése mutat példát.
- (2)P Az elmozdulások nagyságának mérlegelésekor figyelembe kell venni az összehasonlítható tapasztalatot. Szükség esetén az elmozdulásokat számítani is kell.
- (3)P Puha agyagok esetében mindig szükséges a süllyedésszámítás.
- (4) Merev és kemény agyagon álló, 2. és 3. geotechnikai kategóriába tartozó síkalapok esetében rendszerint szükséges a függőleges elmozdulás (süllyedés) számítása. Az alapra ható terhek által okozott süllyedések számítására használható módszerek a 6.6.2. szakaszban találhatók.

6.6. Tervezés használhatósági határállapotra

6.6.1. Általános elvek

- (5)P Ha az alapok elmozdulásait a használhatósági kritériumokkal kell összevetni, akkor a **használhatósági határállapot terheinek** tervezési értékével kell dolgozni.
- (6) A süllyedésszámítások eredményei **nem tekinthetők pontosnak**, ezek csak közelítő értékű jelzésnek tekinthetők.
- (7)P Az alapok elmozdulása mind **a teljes alapozási rendszer mozgását**, mind az alapozás különböző részei közti **mozgáskülönbséget** illetően vizsgálandó.
- (8)P A **szomszédos alapok és feltöltések** miatti feszültség-növekményt és ennek befolyását a talaj összenyomódására számításba kell venni.
- (9)P Az alapozás **relatív elfordulásainak** lehetséges mértékét értékelni kell, és össze kell hasonlítani az adott helyzethez illő mozgási határértékekkel.

6.6.2. Süllyedés

- (1)P Mind az **azonnali**, mind az **időben elhúzódó süllyedéseket** számítani kell.
- (2) Részben vagy teljesen telített talajok esetében a következő három süllyedési összetevő vizsgálendő:
 - az s_0 azonnali süllyedés, mely a teljesen telített talajban a térfogatállandóság melletti nyírási alakváltozás, a részben telített talajban pedig egyrészt a nyírási alakváltozás, másrészt térfogatcsökkenés miatt következik be;
 - az s_1 a konszolidációs süllyedés;
 - az s_2 kúszás miatt fellépő süllyedés.
- (3) Ajánlatos általánosan **elfogadott módszerekkel számítani** a süllyedéseket.

6.6.2. Süllyedés

- (4) Különös figyelmet kell fordítani olyan talajokra, mint pl. a szerves talajok, puha agyagok, melyekben a kúszás miatti süllyedés gyakorlatilag sohasem fejeződik be.
- (5) Az összenyomódónak tekintett talajréteg mélysége függ az alaptest méretétől és alakjától, az alaptestek távolságától és a talajmerevség mélység szerinti változásától.
- (6) A határmélység általában ott vehető fel, ahol az alap teherből származó hatékony függőleges feszültség egyenlő az eredeti függőleges hatékony önsúlyfeszültség 20%-ával.
- (7) Sok esetben e mélység durva becsléssel az alaptest szélességének 1 vagy 2-szeresére vehető fel, s ez még csökkenthető a kis terhelésű, széles lemezalapotok esetében.

MEGJEGYZÉS: Ez a közelítés nem érvényes a nagyon lágy talajokra.

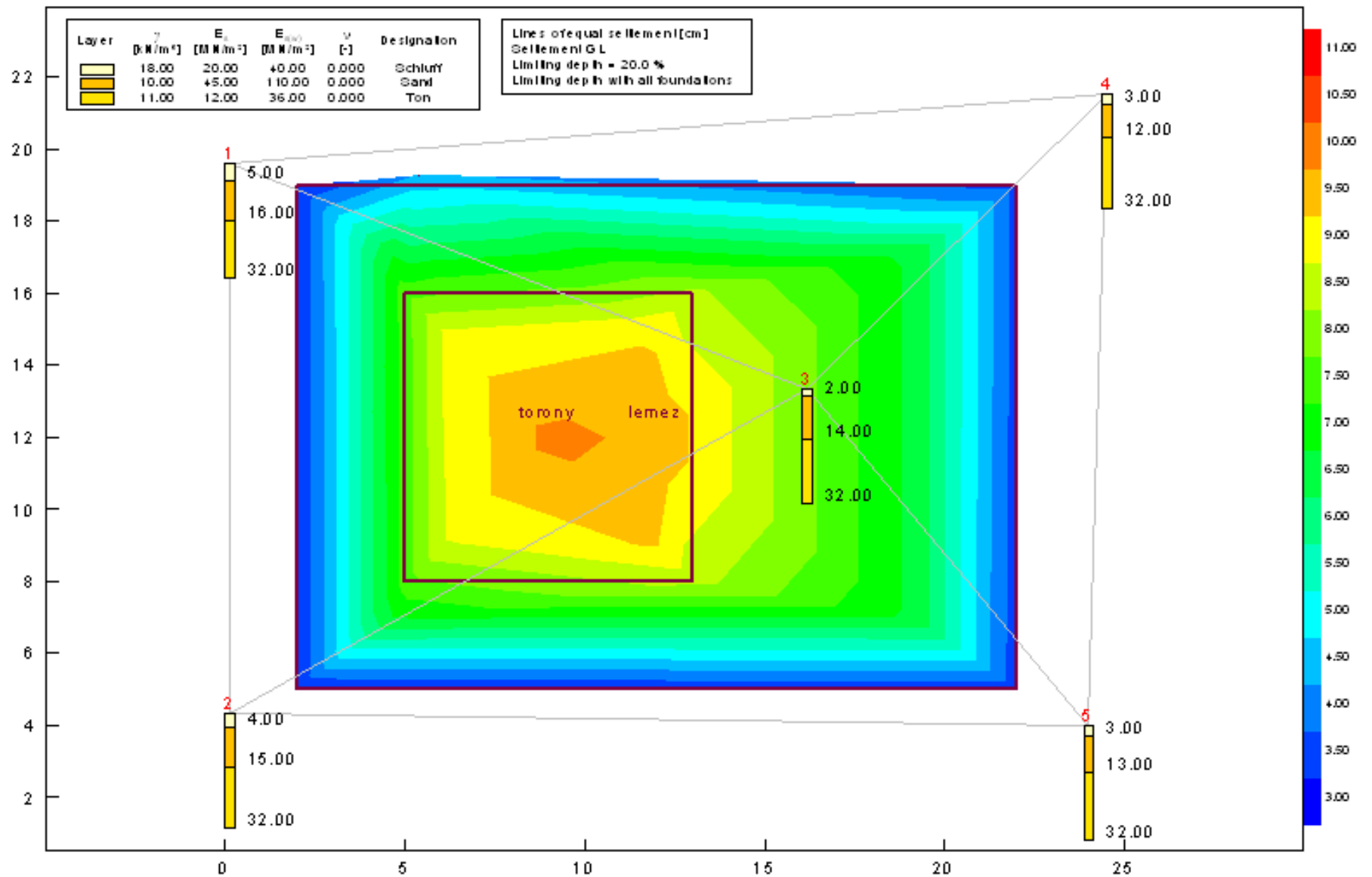
6.6.2. Süllyedés

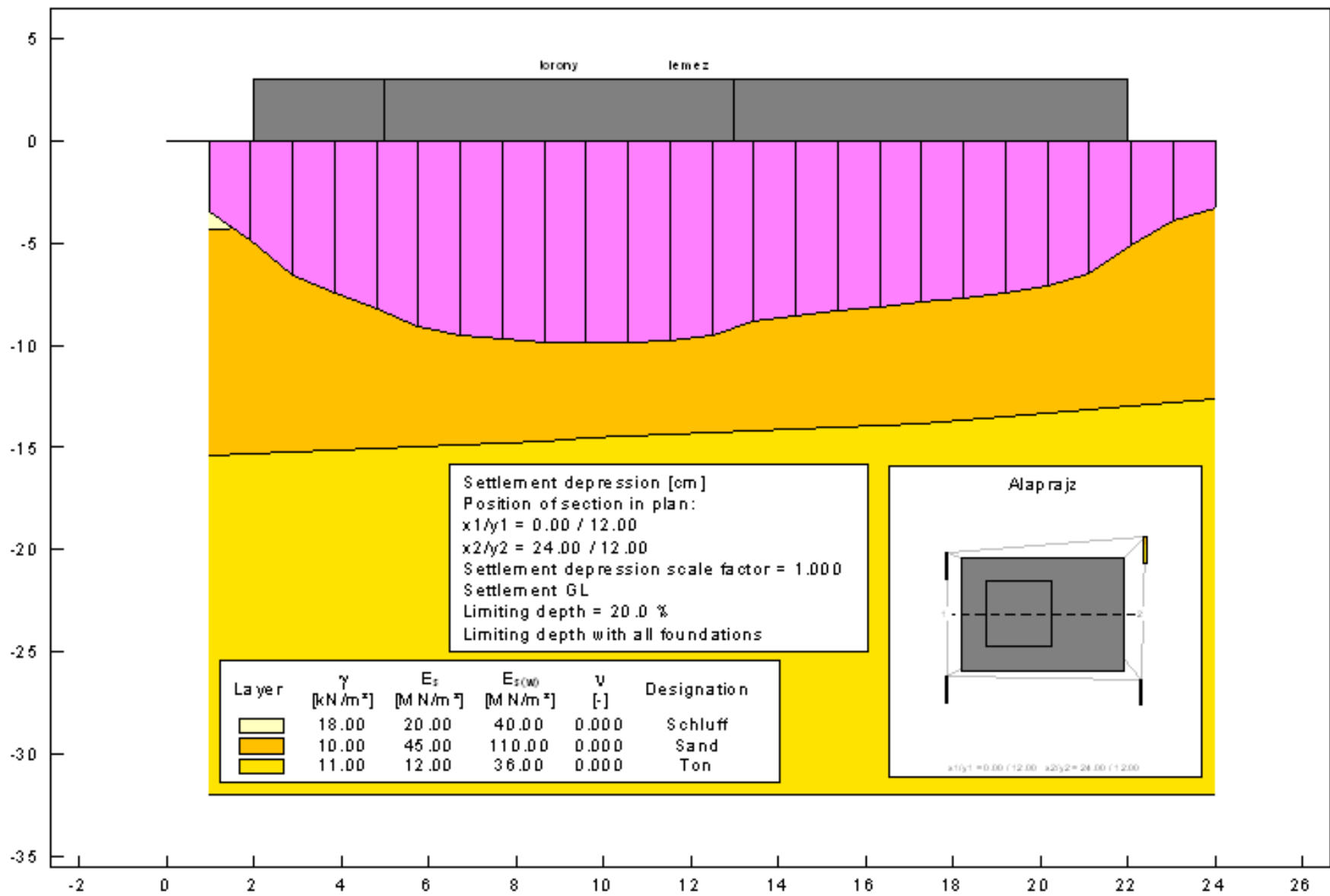
- (8)P A talaj **öntömörödéséből** származó esetleges járulékos süllyedést ugyancsak mérlegelni kell.
- (9) A következőket indokolt figyelembe venni:
- feltöltésben és roskadó talajokban az önsúly, az elárasztás és a rezgés lehetséges hatásai;
 - törékeny szemcséjű homokban a feszültségváltozások hatásai.
- (10)P A **talajmerevség** a körülményekhez illeszkedően akár **lineáris**, akár **nemlineáris modellel** is számításba vehető.
- (11)P A **terhek eloszlásának és az altalaj lehetséges változásainak** figyelembevételével kell értékelni a süllyedéskülönbségeket és a relatív elfordulásokat azért, hogy biztosan elkerüljük bármely használhatósági határállapot bekövetkeztét.
- (12) A tartószerkezet **merevségének elhanyagolásával** számított süllyedéskülönbségek általában nagyobbak, mint amilyenek ténylegesen bekövetkeznek. A tényleges süllyedéskülönbségek kisebb értékeit lehet igazolni **az altalaj és a tartószerkezet kölcsönhatásának** erőtani vizsgálatával.

6.6.2. Süllyedés

- (13) Illő számítani az **altalaj változékonysága** miatti süllyedés-különbségekre, hacsak a tartószerkezet merevsége meg nem gátolja létrejöttüket.
- (14) Termett talajon álló síkalapok esetében indokolt arra számítani, hogy általában akkor is **bekövetkezik valamekkora süllyedés-különbség**, ha a számítások csak egyenletes süllyedést jeleznek.
- (15) **Külpontosan terhelt alaptest dőlését** szabad úgy becsülni, hogy lineáris talpfeszültség-eloszlást tételezünk fel, s a vázolt módon a sarkok alatti függőleges feszültségeloszlás alapján meghatározzuk az alaptest sarkainak süllyedését.
- (16) **Agyagokra** alapozott szokványos tartószerkezetek esetében ajánlatos kiszámítani a talaj kezdeti drénezetlen nyírószilárdságából adódó **teherbíró képesség** és a használhatósági állapothoz tartozó **terhelés arányát**. El kell végezni a süllyedésszámítást, ha ez az arány kisebb, mint 3. Ha pedig kisebb, mint 2, úgy a talaj nem-lineáris merevségét is indokolt számításba venni.

Süllyedésszámítási példa





Síkalapok tartószerkezeti tervezése

6.8. Síkalapok tartószerkezeti tervezése

- (1)P A síkalapok szerkezeti tönkremenetelét a 2.4.6.4. szakasszal összhangban kell megakadályozni.
- (2) **Merev alapok** esetén szabad **lineáris talpfeszültségeloszlást** feltételezni. Az altalaj és a tartószerkezet kölcsönhatásának részletesebb erőtani vizsgálatával gazdaságosabb terv is igazolható.
- (3) **Hajlékony alapok** esetében a talpfeszültségeloszlás meghatározásához az alap rugalmas féltéren v. megfelelő merevségű és szilárdságú rugók sorozatán nyugvó gerendaként vagy lemezként modellezhető.
- (4)P Gerenda- és lemezalapok **használhatóságát** a használhatósági határállapotra vonatkozó terhelés, valamint az alap és a talaj alakváltozásának megfelelő talpfeszültség-eloszlás figyelembevételével kell ellenőrizni.

6.8. Síkalapok tartószerkezeti tervezése

- (5) Koncentrált erőkkel terhelt gerenda- vagy lemezalapok esetében a szerkezetben fellépő erők és hajlítónyomatékok lineárisan rugalmas ágyazat feltételezésével számíthatók. Az **ágyazási tényező értéke** süllyedésszámítással állapítható meg, amihez a talpfeszültségeloszlást megfelelően meg kell becsülni. Ha kell, az ágyazási tényezők változtathatók úgy, hogy végül a velük számított talpfeszültségek ne haladják meg azokat az értékeket, amelyekig a lineáris viselkedés feltételezhető.
- (6) A tartószerkezet egészének abszolút **süllyedéseit és süllyedéskülönbségeit** az előbbiek szerint indokolt számítani, amire **az ágyazási tényezős modellek** használata többnyire **nem megfelelő**. Az előzőeknél pontosabb, pl. **véges elemes számítást** indokolt alkalmazni, ha az általaj és a tartószerkezet kölcsönhatásának meghatározó szerepe van.

Felszerkezetek teherbírasi határállapota a süllyedéskülönbségek miatt

Teherbírasi határállapot

- a hatások $\gamma > 1,0$ parciális tényezővel veendőik figyelembe
- hatás a felszerkezeten = süllyedés(különbség)
- azonos teherállás a nyomatékok és a süllyedések számításához

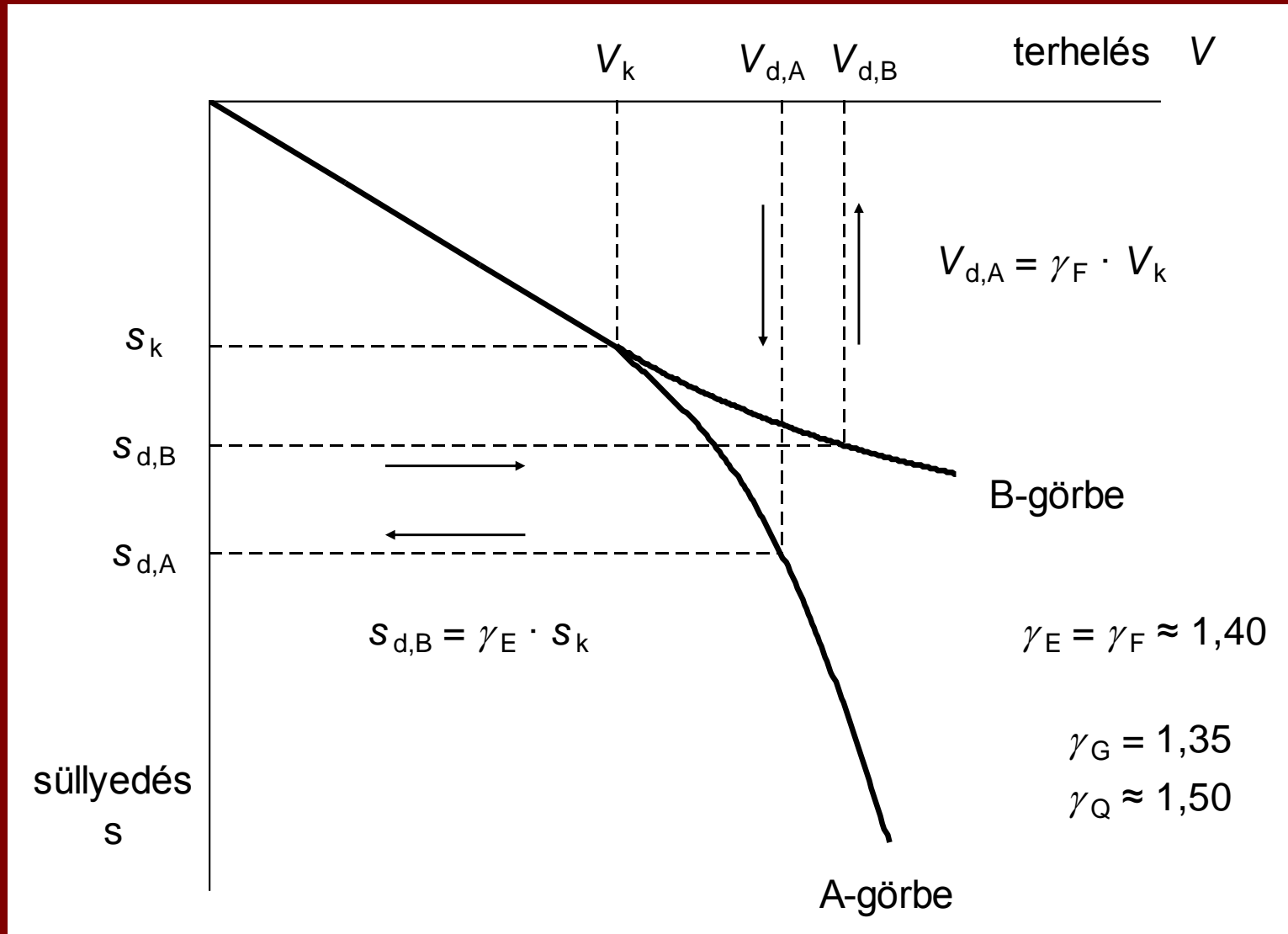
Süllyedés tervezési értéke

- a hatások használhatósági határállapotra ajánlott, $\gamma = 1,0$ parciális tényezőkkel számított gyakori kombinációjára megállapítva és $\gamma > 1,0$ parciális tényezővel felszorozva
- a hatások teherbírasi állapotra ajánlott, $\gamma > 1,0$ parciális tényezővel számított alap- vagy alkombinációjára meghatározva

Ajánlható méretezési módszer

- a felszerkezet VEM-vizsgálata süllyedő alátámasztással, nemlineáris számítással
- az alátámasztás paramétere rugóállandó és határerő síkalap süllyedésszámítása vagy cölöp F-s görbéje alapján

Felszerkezetek teherbírási határállapota a süllyedéskülönbségek miatt



Ágyazási tényező meghatározása

$$C_i = q_i / s_i$$

- a) Pontos, ill. pontosított süllyedésszámítással
- b) Közelítő süllyedésszámítással
- c) Közelítő képlettel
- d) Tapasztalati képlettel

Ágyazási tényező meghatározása

$$C_i = q_i / s_i$$

A. Pontos, illetve pontosított süllyedésszámítással

1. közelítés a szerkezeti merevség elhanyagolásával

talpfeszültség-eloszlás felvétele a terhek eloszlása alapján $q_{z1}(x,y)$

süllyedésszámítás

feszültségszámítás pl. Steinbrenner szerint

$$\sigma_{zi1}(x,y,z)$$

határmélységek meghatározása pl. 20% szabállyal

$$m_{oi1}(x,y)$$

fajlagos alakváltozások számítása és összegzése

$$s_{i1}(x,y)$$

ágyazási tényezők számítása

$$C_{i1}(x,y) = q_{zi1} / s_{i1}$$

2. talaj-szerkezet kölcsönhatás analízise a C_{i1} -értékekkel pl. AXIS szoftverrel

talpfeszültség-eloszlás

$$q_{z2}(x,y)$$

süllyedések

$$s_{i2}(x,y)$$

új ágyazási tényezők számítása

$$C_{i2}(x,y) = q_{zi2} / s_{i2}$$

3. talaj-szerkezet kölcsönhatás 2. analízise a C_{i2} -értékekkel

...

Ágyazási tényező meghatározása

$$C_i = q_i / s_i$$

B. Közelítő süllyedésszámítással

átlagos talpfeszültség számítása a terhekből
átlagos süllyedés számítása

$$\frac{p_a = q_a}{s_a}$$

$$s_a = \frac{p_a}{E_s} \cdot B \cdot F\left(\frac{m_0}{B}; \frac{L}{B}\right)$$

átlagos ágyazási tényező számítása (C_a)

$$C_a = q_a / s_i$$

javítás:

a szélső negyedekben

$$1,6 \cdot C_a$$

a belső félben

$$0,8 \cdot C_a$$

Ágyazási tényező meghatározása

$$C_i = q_i / s_i$$

C. Közelítő képlettel

$$s_{\acute{a}} = \frac{p_{\acute{a}}}{E_s} \cdot B \cdot F\left(\frac{m_0}{B}; \frac{L}{B}\right)$$

képletből

$$C_{\acute{a}} = \frac{p_{\acute{a}}}{s_{\acute{a}}} = \frac{1}{F(L/B; m_0/B)} \cdot \frac{E_s}{B}$$

$$C_{\acute{a}} \approx 2 \cdot \frac{E_s}{B} \quad \text{négyzetes alaprajz esetén}$$

$$C_{\acute{a}} \approx \frac{E_s}{B} \quad \text{sávszerű alaprajz esetén}$$

javítás:

a szélső negyedekben
a belső félben

$$1,6 \cdot C_{\acute{a}} \\ 0,8 \cdot C_{\acute{a}}$$

Ágyazási tényező meghatározása

$$C_i = q_i / s_i$$

D. Tapasztalati összefüggéssel

$$C_{\acute{a}} = E_s \cdot \left(\frac{1}{B} + \frac{1}{m_0} + \frac{1}{L} \right)$$

javítás:

| | |
|----------------------|---------------------------|
| a szélső negyedekben | $1,6 \cdot C_{\acute{a}}$ |
| a belső félben | $0,8 \cdot C_{\acute{a}}$ |