

MMK GEOTECHNIKAI TAGOZAT

GEOTECHNIKAI ÉS TARTÓSZERKEZETI TERVEZŐI FELADATOK KAPCSOLÓDÁSA AZ ALAPOZÁSOK TERVEZÉSE SORÁN - FELADATOK, KÖVETELMÉNYEK, EGYÜTTMŰKÖDÉS

HORVÁTHNÉ BAK EDINA

DR. MÓCZÁR BALÁZS

SCHEURING FERENC

DR. WOLF ÁKOS

Horváthné Bak Edina

Geotechnikai tervező feladatai

- talajfizikai jell. + T_v szintek karakt. értékei,
- alapozási javaslat (technológia, főbb geometria),
- **mélyalapozás (egyedi és csoport) teherbírásának (GEO) számítása,**
- mélyalapozás (egyedi és csoport) vízszintes és függőleges **támaszmerevség előállítása**
- **a kivitelezés geotechnikai vonatkozású előírásai** (pl. munkagödör kiemelés, víztelenítés, ágyazat, horgony fesz.mentesítés),
- műszaki felügyeleti, megfigyelési és karbantartási követelményeinek előírása talajkörnyezeti szempontból,

Tartószerkezeti tervező feladatai

- tartószerkezeti rendszer leírása,
- az alapozás (teherbírasi és használhatósági) **mértékadó igénybevételeinek meghatározása,**
- az alapozásnál **figyelembe vett / megengedett** relatív (függőleges és vízszintes) **elmozdulások** meghatározása,
- **az alapozás és a felszerkezet kapcsolatát biztosító szerkezetek (fejtömbök) tervezése,**
- **mélyalapozás ellenőrzése STR határáll.,**
- **a kivitelezés tartószerkezeti vonatkozású előírásai** (pl. betonozási ütemek, daruállítás)
- műszaki felügyeleti, megfigyelési és karbantartási követelményeinek előírása tartószerkezeti szempontból,

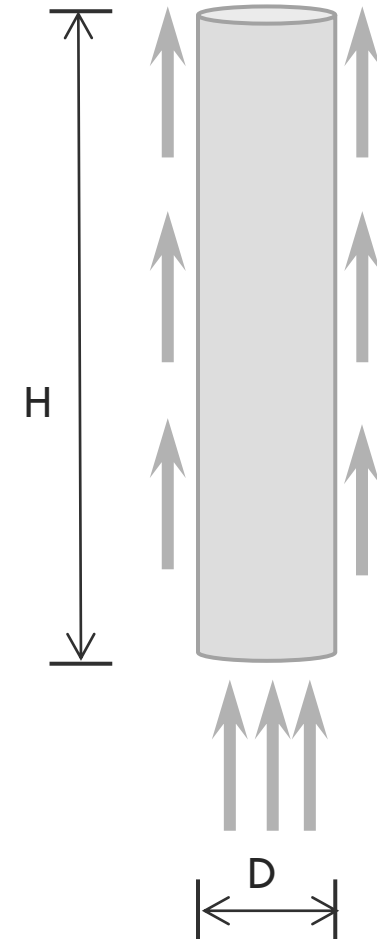
Geotechnikai vagy tartószerkezeti tervező is végezheti

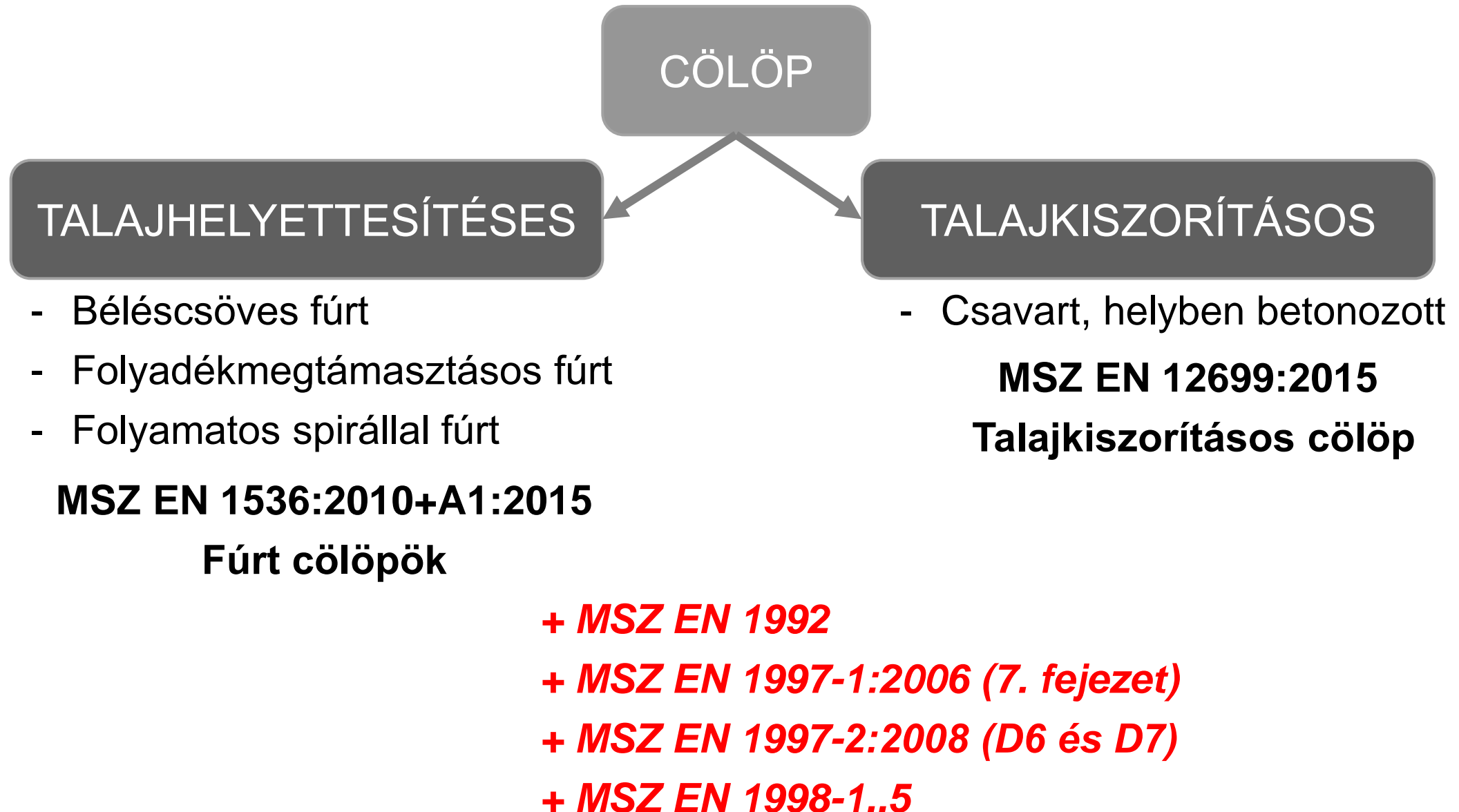
- mélyalapozás geometriai kialakítása,
- mélyalapozás ellenőrzése GEO határállapotban,
- mélyalapozás ellenőrzése UPL határállapotban.

4

SZABVÁNYI HÁTTÉR ISMERTETÉSE

- Cölöp: „a talajban lévő karcsú, a terhek továbbítására való szerkezeti elem”
(MSZ EN 1536)
- Karcsú szerkezet: **szélesség:mélység = 1:5**
- Kútalap \neq cölöp
- Mikrocölöp: $d_{\text{fúrt}} < 300 \text{ mm}$, $d_{\text{vert}} < 150 \text{ mm}$





7

CÖLÖP FÜGGŐLEGES TEHERBÍRÁS MEGHATÁROZÁSA

1) Statikus próbaterhelés

- Tervezett helyszínen
- Tervezett cölöpözési technológia és geometria



2) Számítás

talajszelvény alapján

- Modell cölöp analógia
- Statikus szonda / nyírószilárdság / azonosítás paraméter
- **Csak statikus próbaterheléssel kalibrált számítási módszer**



3) Dinamikus próbaterhelés

- Jel illesztés
- Verési képletek
- **Csak statikus próbaterheléssel kalibrált módszer**

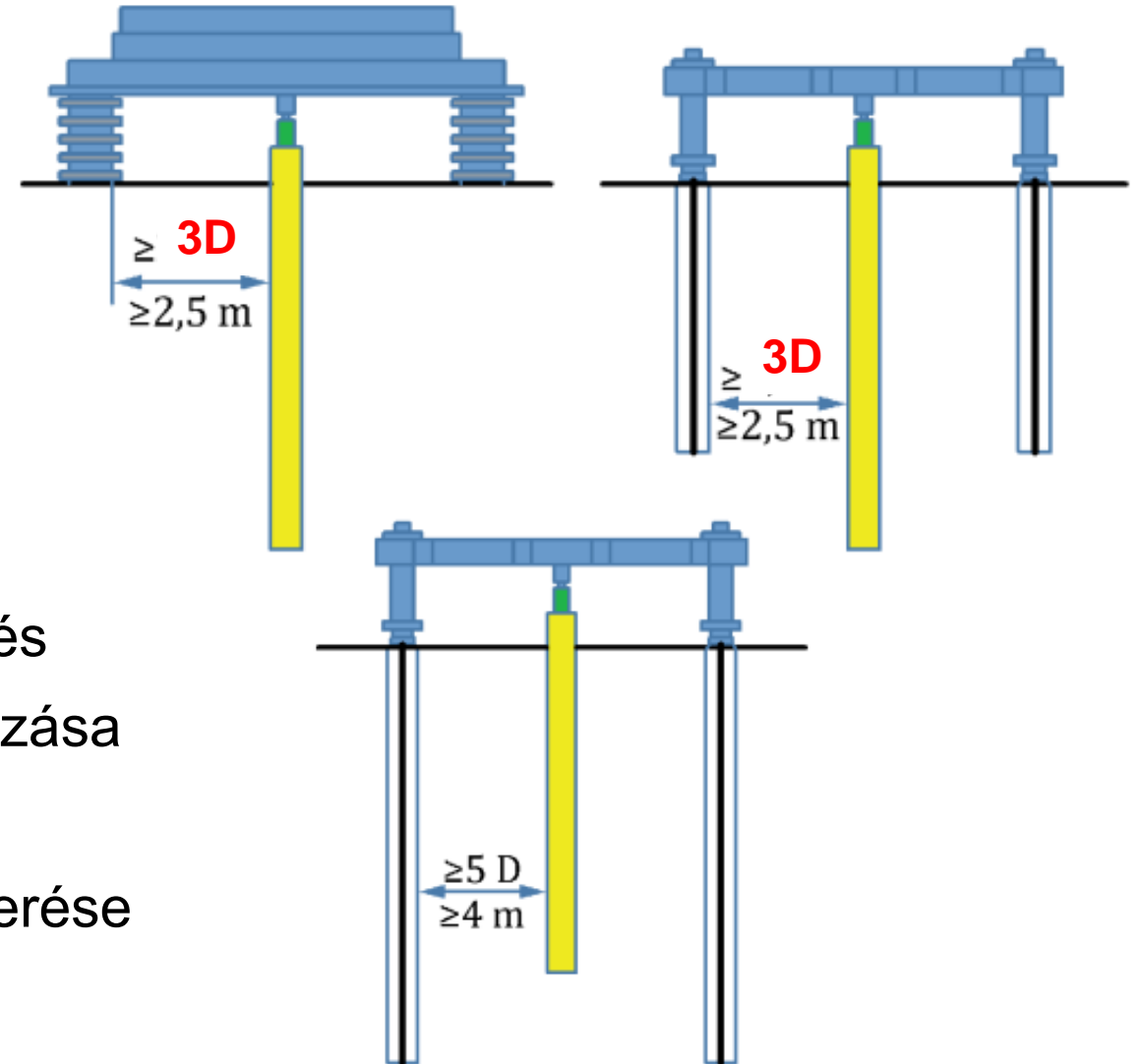


MSZ EN ISO 22447-1:2019 - Statikus nyomóterhelés vizsgálata

Tervezési programban beruházók számára próbaterhelés előírása (állami vs magán beruházás)

Statikus próbaterhelés célja:

- Ellenőrzés – biztonsági szint igazolása
- Optimalizálás – gazdaságosabb tervezés
- Fajlagos teherbírási értékek meghatározása
- Kutatás+fejlesztés – cölöp viselkedés, merevségi viszonyok pontosabb megismerése



Statikus próbaterhelés - példák



Terhelés – süllyedés diagram

Törőteher, talpellenállás,
köpenyellenállás?

Köpenyellenállás kimerülése:
 $0,02 \div 0,03 \times D$

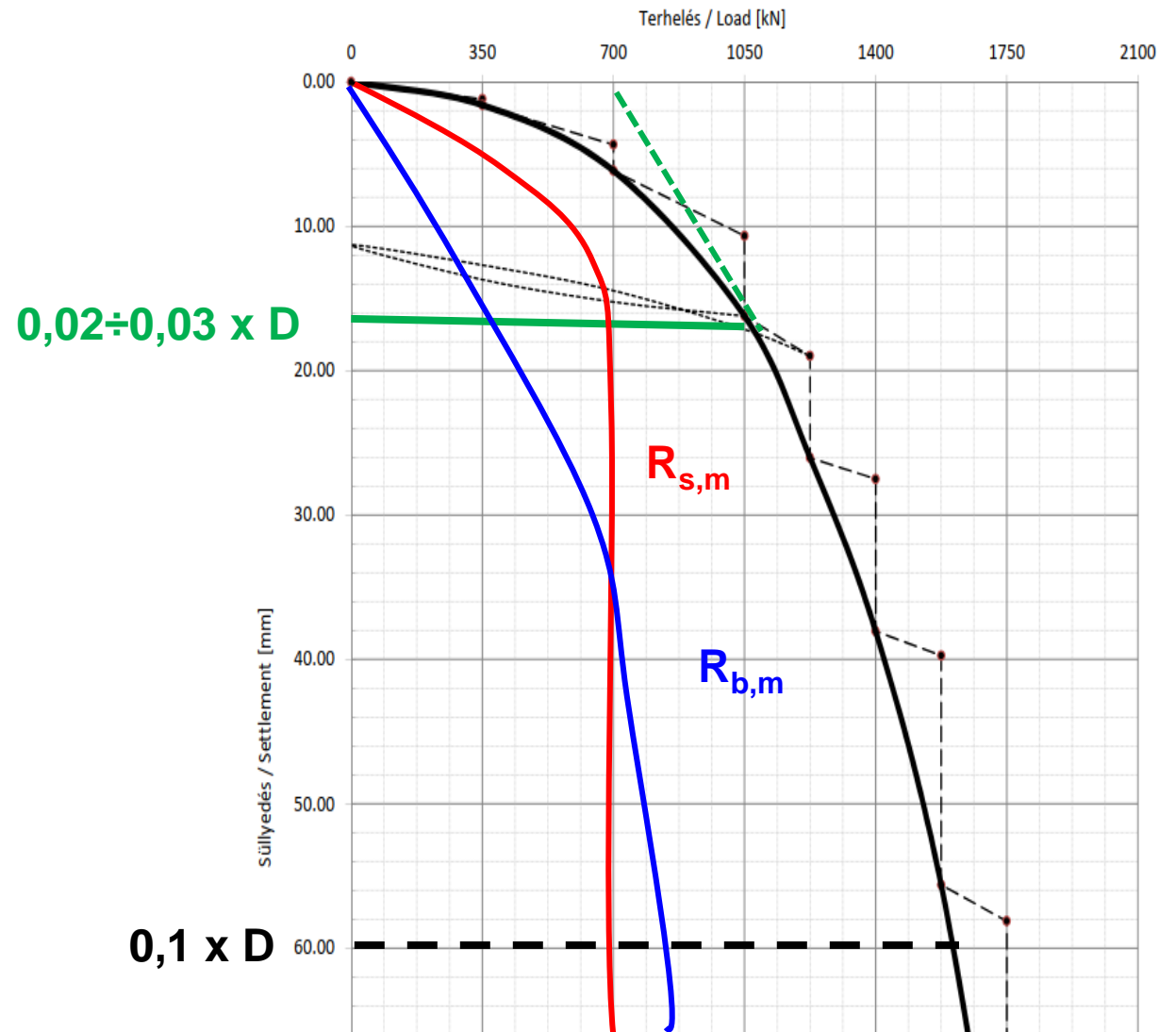
Törőteher: $0,1 \times D$

Mért ellenállás komponensek:

Köpenyelleállás: $R_{s,m} \approx 700 \text{ kN}$

Talpellenállás: $R_{b,m} \approx 860 \text{ kN}$

Törőellenállás: $R_{c,m} \approx 1560 \text{ kN}$



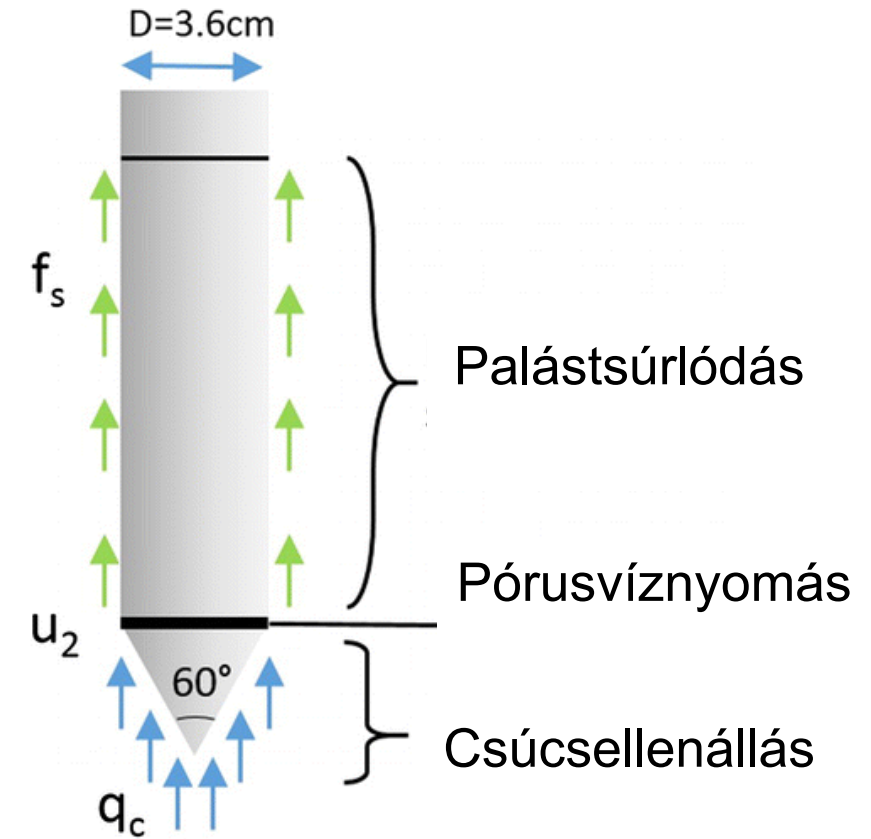
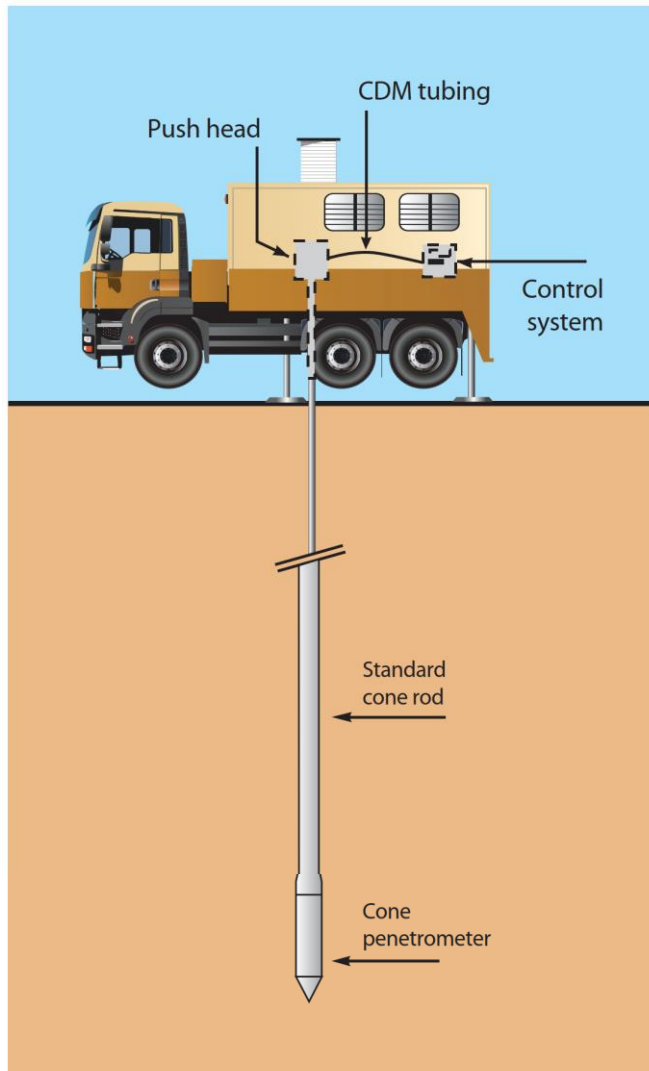
Alkalmazható minden olyan méretezési módszer, melynek érvényességét statikus próbaterheléssel hasonló adottságú cölöpön bizonyították

7.6.2. A talajkörnyezetből származó nyomási ellenállás

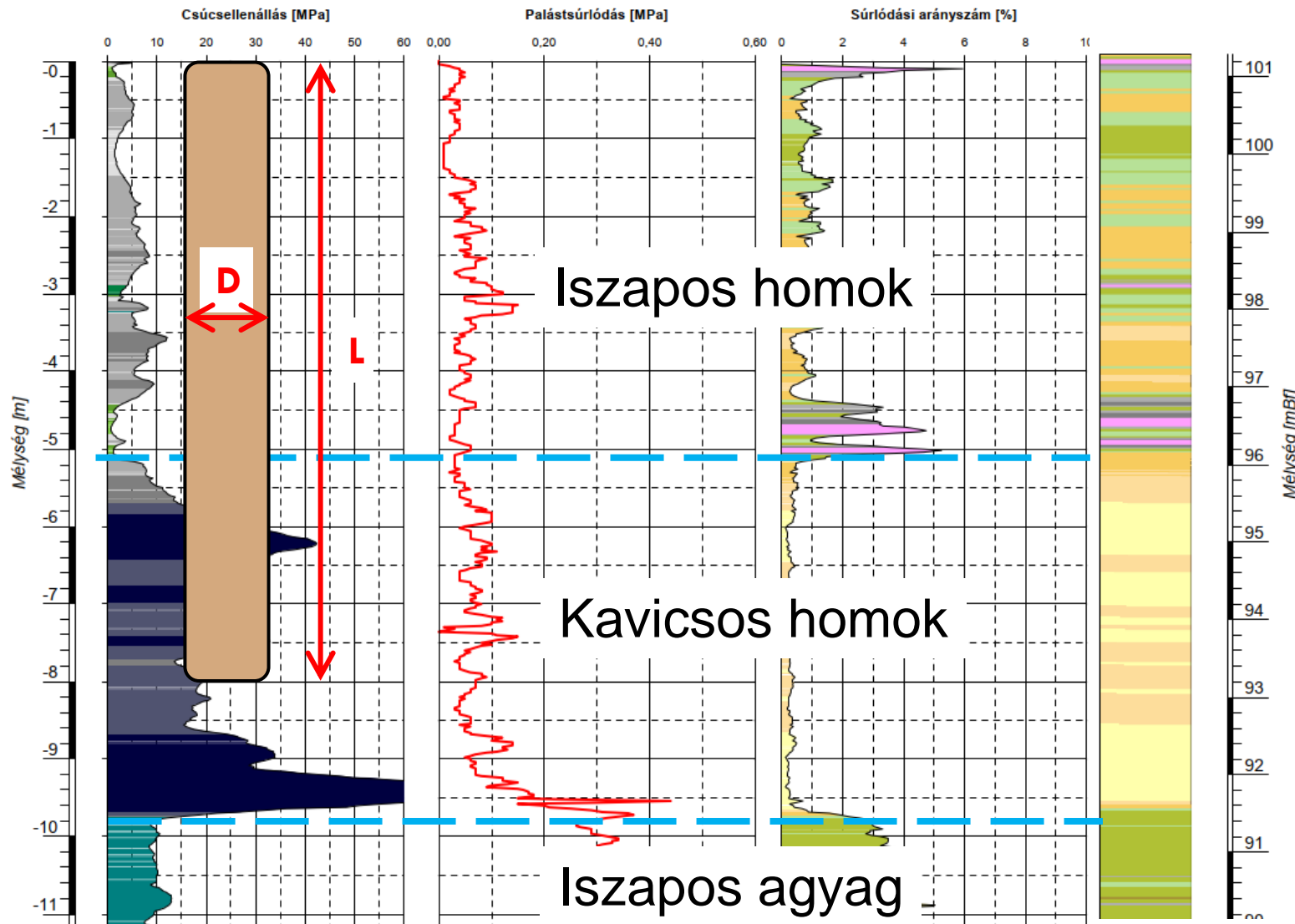
7.6.2.1. Általános elvek

- 9)P Ha a cölöpök által közvetlenül terhelt réteg alatt **gyengébb réteg** van, akkor a gyenge rétegnek a nyomási ellenállására kifejtett hatása figyelembe veendő.
- (10)P A cölöp **talpellenállásának** számításakor figyelembe kell venni a **cölöptalp alatti és feletti talajzóna szilárdságát**.
- MEGJEGYZÉS: E talajzóna talp alatti és feletti vastagsága a cölöpátmérő többszöröse lehet. Az ebben előforduló bármely gyenge talajnak viszonylag nagy a befolyása a talpellenállásra.
- (11) Ha a **cölöptalp alatt** a 4-szeres cölöpátmérőnek megfelelő mélységen belül van **gyenge talaj**, akkor a talp alatti **talaj átszűrődésének** lehetőségével számolni kell.

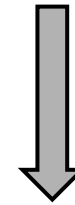
Talajszelvény felvétele statikus szondázás (CPTu) alapján



Talajszelvény felvétele statikus szondázás (CPTu) alapján



Statikus szondázás

Talajosztályozás
(pl. Robertson 2010)Teherbírás számítása
modell cölöpre
(fv. átmérő, hossz és technológia)

Szepesházi módszer – szemcsés talaj

Fajlagos talpellenállás

$$q_b = \lambda_b \cdot \alpha_b \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q_{cm} + q_{clmean}}{2} + q_{cllm} \right)$$

Fajlagos palástellenállás

$$q_s = \alpha_{sq} \cdot \sqrt{q_c}$$

Szemcsés talajbeli fajlagos ellenállás szorzói

Cölöptípus		Talpellenállási szorzó α_b	Palástellenállási szorzó α_s	Palástellenállás maximuma $q_{s,max}$ [kPa]
Talajkiszorításos cölöp	<i>Vert, egy. vb. elem</i>	1,00	0,90	150
	<i>csavart, helyben betonozott</i>	0,80	0,75	160
Talajhelyettesítéses cölöp	<i>CFA-cölöp</i>	0,70	0,55	120
	<i>fúrt, támasztófolyadék védelemmel</i>	0,50	0,50	100
	<i>fúrt, bélésű védelemmel</i>	0,50	0,45	80

Szepesházi módszer – kötött talaj

Fajlagos talpellenállás

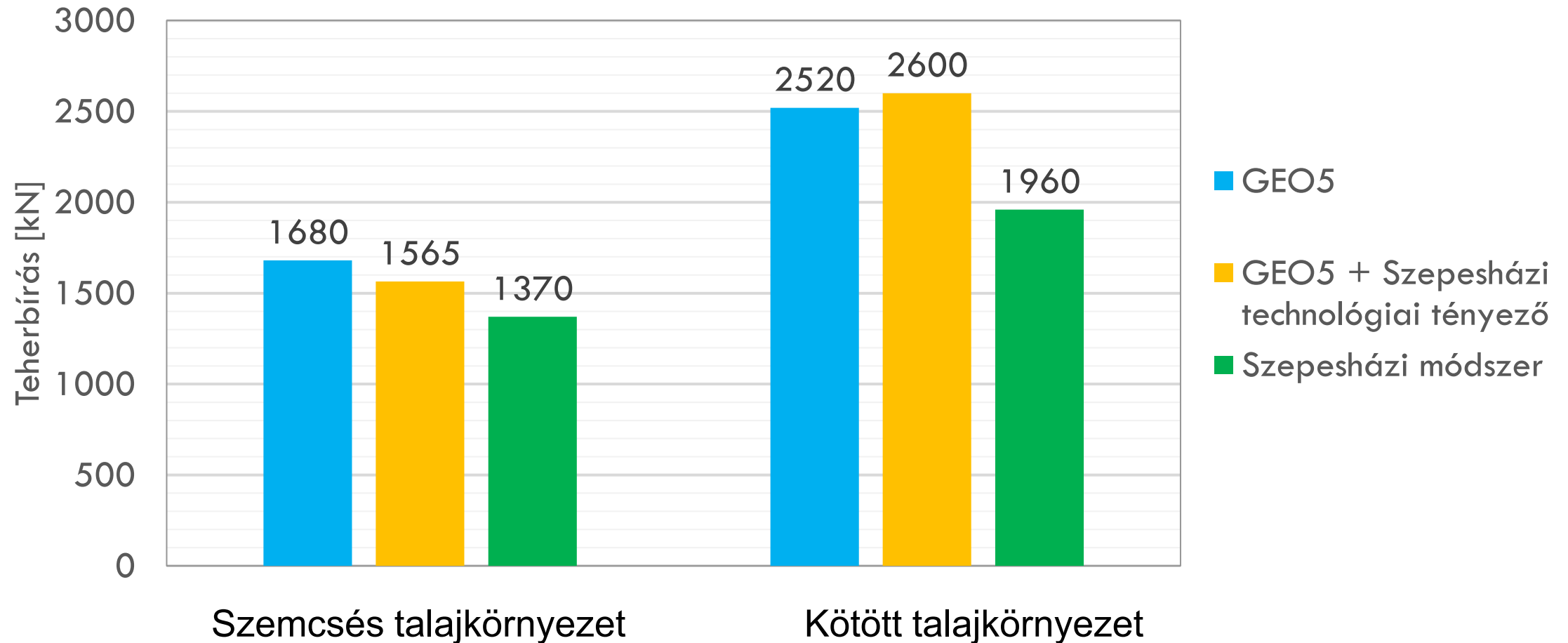
$$q_b = 0,6 * \mu_b * q_c$$

Fajlagos palástellenállás

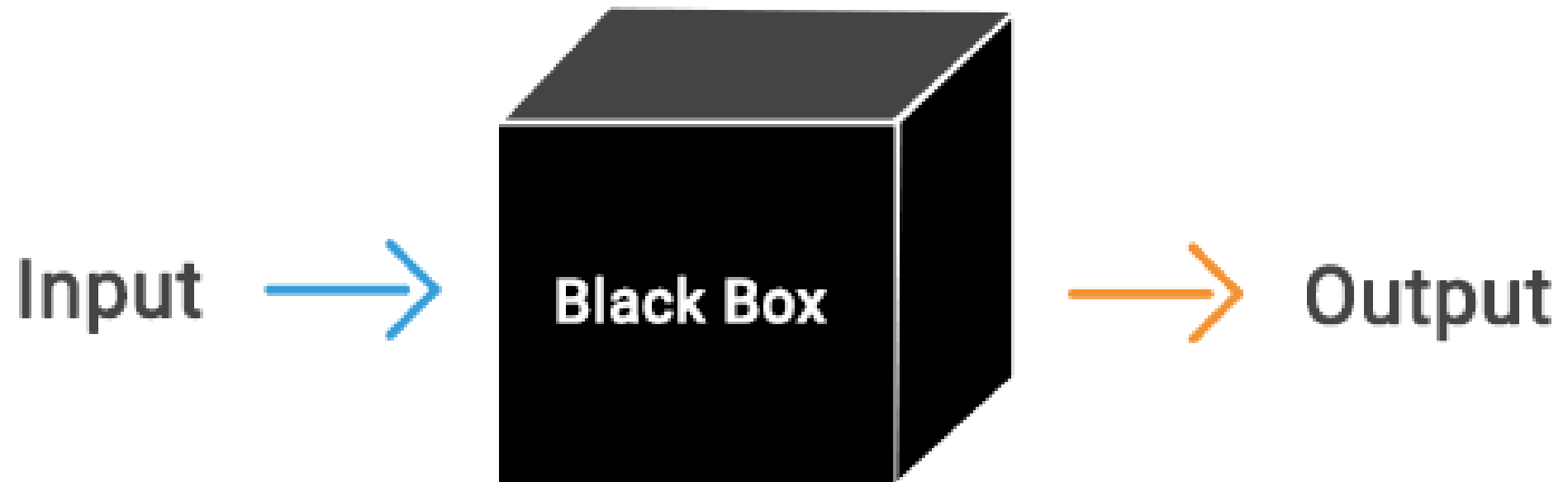
$$q_s = 1,2 * \mu_s * \sqrt{q_c}$$

Kötött talajbeli fajlagos ellenállások szorzói

Cölöptípus		Talpellenállási szorzó	Palástellenállási szorzó	Palástellenállás maximuma
		μ_b	μ_s	$q_{s,max}$ [kPa]
Talajkiszorításos cölöp	<i>Vert, egy. vb. elem</i>	1,00	1,05	85
	<i>csavart, helyben betonozott</i>	0,90	1,25	100
Talajhelyettesítéses cölöp	<i>CFA-cölöp</i>	0,90	1,00	80
	<i>fúrt, támasztófolyadék védelemmel</i>	0,80	1,00	80
	<i>fúrt, bélésű védelemmel</i>	0,80	1,00	80

GEO5 Pile CPT ↔ Szepesházi módszerSzámított cölöpteherbírások $R_{c,cal}$ 

Cölöpteherbírás számítás



Fajlagos teherbírési értékek – nemzetközi kitekintés

Belga javaslat: felső korlát fajlagos ellenálláshoz talajtípusonként

Soil type	q_c (MPa)	η^*_p (-) or q_s (kPa)	R_f (%) (*)
Clay	1 – 4.5	$\eta^*_p = 1/30$	3–6 %
	> 4.5	$q_s = 150$	
Loam (silt)	1 - 6	$\eta^*_p = 1/60$	2–3 %
	> 6	$q_s = 100$	
Sandy clay / loam (silt) Clayey sand / loam (silt)	1 – 10	$\eta^*_p = 1/80$	1-2 %
	> 10	$q_s = 125$	
Sand	1 – 10	$\eta^*_p = 1/90$	< 1 %
	10 – 20	$q_s = 110 + 4 * (q_c - 10)$	
	> 20	$q_s = 150$	

Fajlagos teherbírési értékek – nemzetközi kitekintés

Német (DIN) javaslat: fajlagos ellenállás karakterisztikus értékek

relatív süllyedés s/D	fúrt cölöp szemcsés talajban talpellenállás karakterisztikus értéke $q_{b,k}$ MPa			
	ha az átlagos CPT-csúcsellenállás q_c MPa			
	10	15	20	25
0,02	0,70	1,05	1,40	1,75
0,03	0,90	1,50	1,80	2,25
0,10 = s_g	2,00	3,00	3,50	4,00

relatív süllyedés s/D	fúrt cölöp kötött talajban talpellenállás karakterisztikus értéke $q_{b,k}$ MPa	
	ha a drénezetlen nyírószilárdság c_u MPa	
	0,10	0,20
0,02	0,35	0,90
0,03	0,45	1,10
0,10 = s_g	0,80	1,50

**Szemcsés
talaj**

átlagos CPT- csúcsellenállás q_c MPa	fúrt cölöp szemcsés talajban palástellenállás karakterisztikus értéke $q_{s,k}$ MPa
0	0,00
5	0,04
10	0,08
> 15	0,12

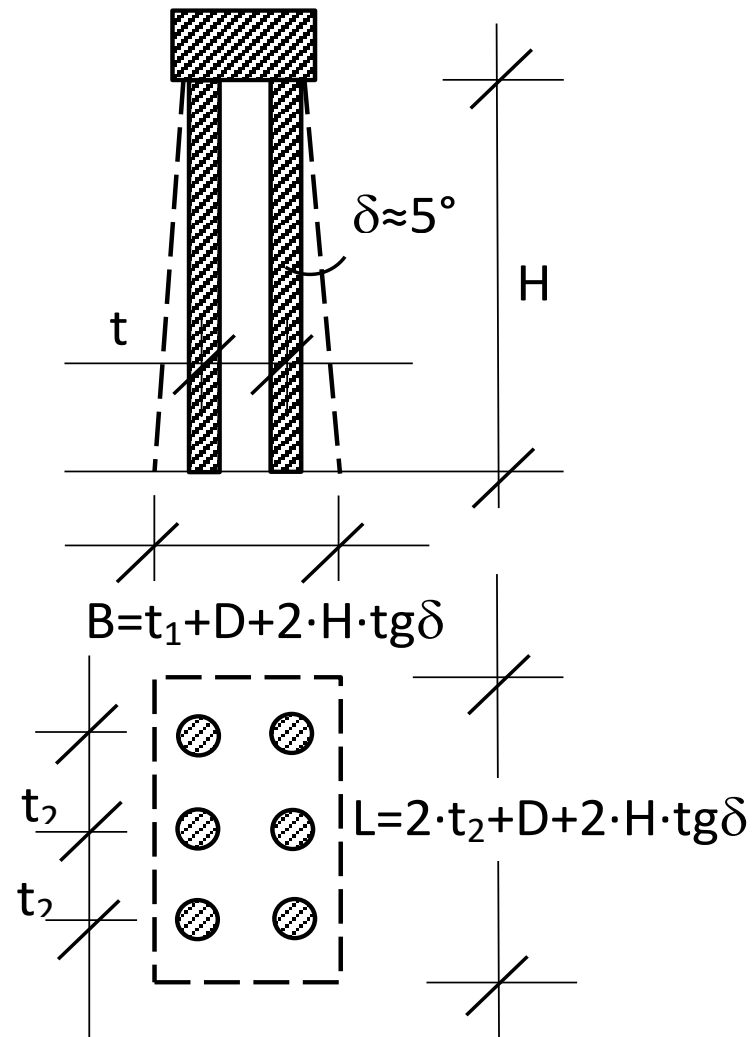
a drénezetlen nyírószilárdság c_u MPa	fúrt cölöp kötött talajban palástellenállás karakterisztikus értéke $q_{s,k}$ MPa
0,025	0,025
0,100	0,040
> 0,200	0,060

**Kötött
talaj**

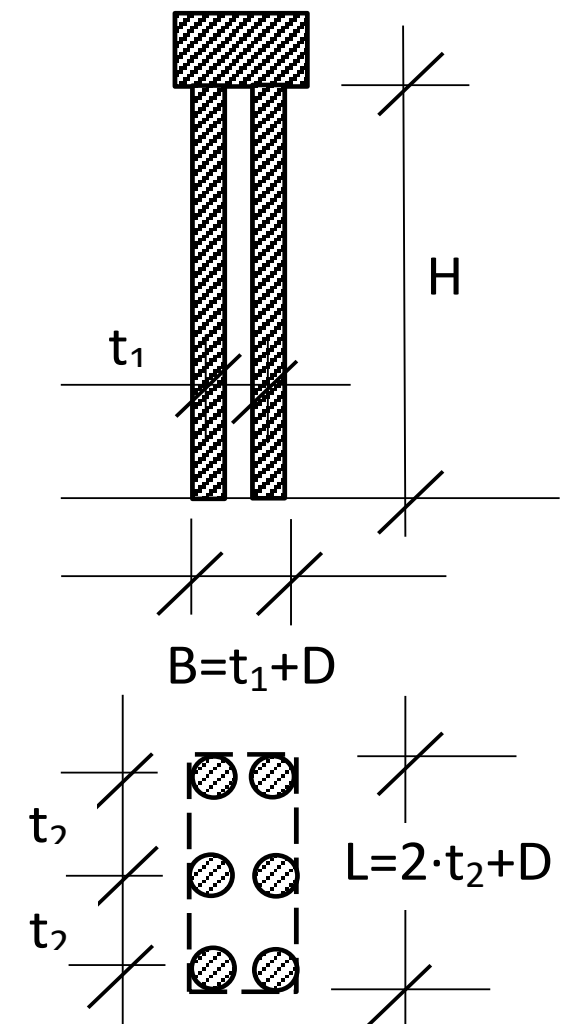
Cölöpcsoport

- 3xD szerkesztési szabály
- Pl: hosszú lebegő cölöpök, közeli álló cölöpök
- ritkán mértékadó

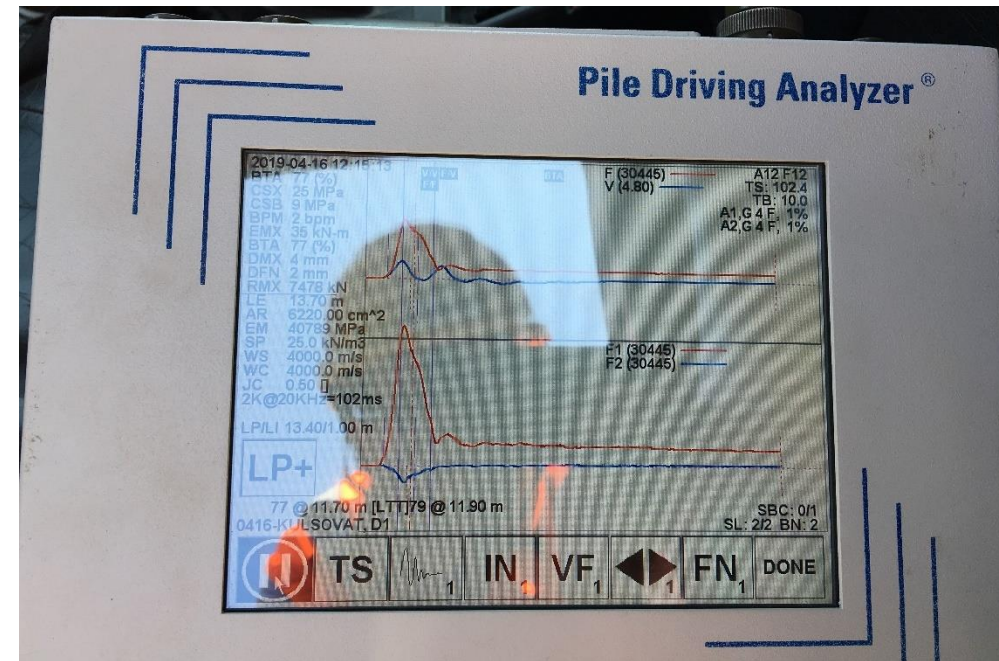
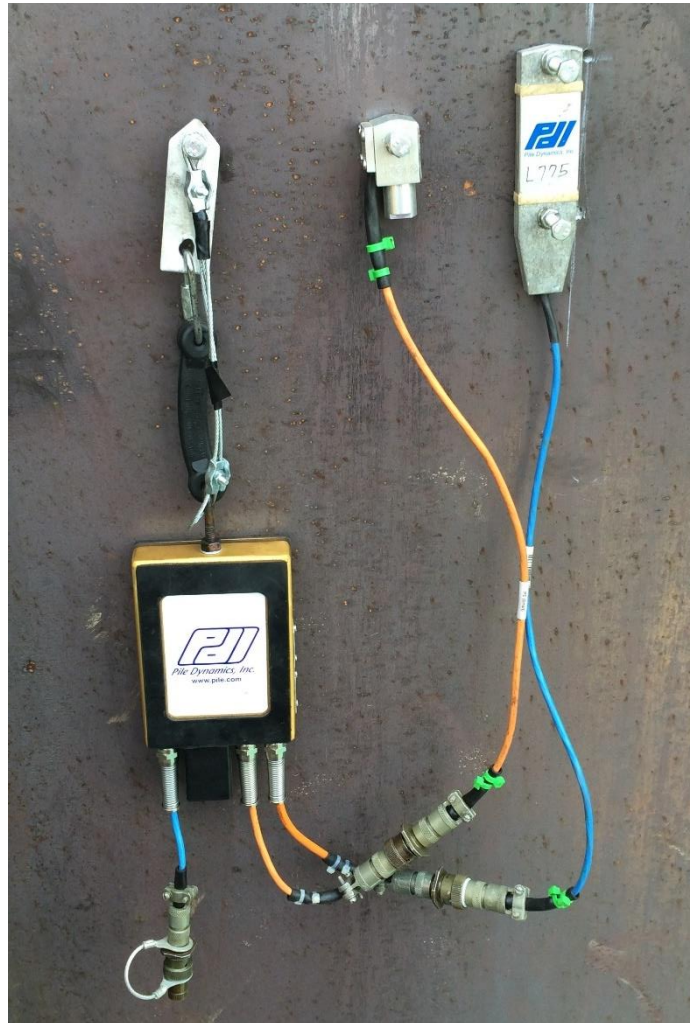
Mélyített síkalap analógia



Helyettesítő modellcölöp







Módszerek

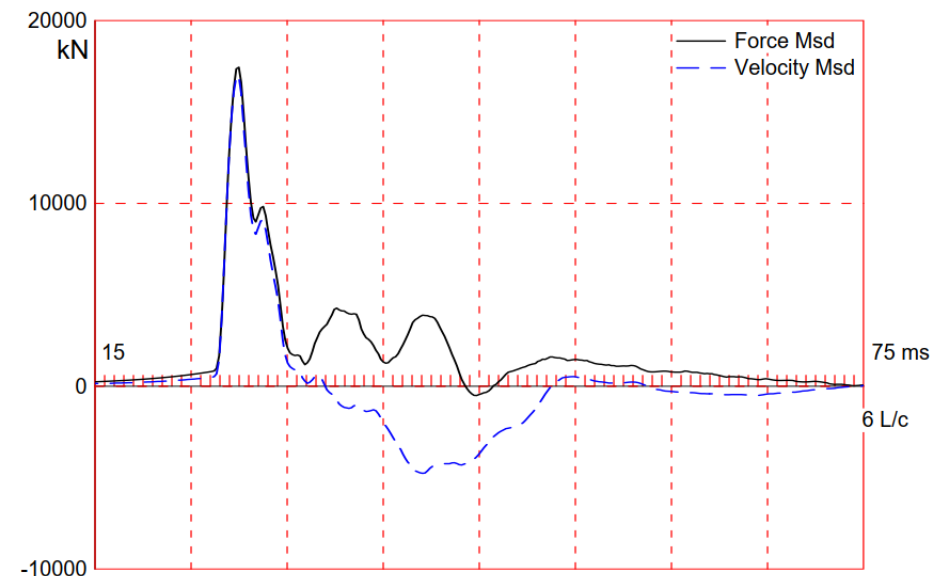
- **Jel illesztés (CAPWAP, iCAP): korszerű, megbízható eljárás, nagy szaktudást igényel**
- Közvetlen számítás (CASE módszer)
- Verési képlet (pl. Dán-képlet): idejét múlt, részben tapasztalati alapú

Kalibrálás statikus próbaterheléssel

- azonos cölöptípuson
- hasonló hosszal és keresztmetszettel
- hasonló talajban

Az eredmény megbízhatóságát növeli

- Kellő ütőhatás (törőteher 1-3%, 2-10 t)
- Elmozdulás (10-50 mm): külön mérni a rugalmas és a maradó alakváltozást
- Erőhatás időtartama (5-100 ms)



EC követelmény

$$F_{c;d} \leq R_{c;d}$$

Teherbírás
tervezési értéke

$$R_{c;d} = R_{b;d} + R_{s;d}$$

Teherbírás
**komponensek
tervezési értéke**

$$R_{b;d} = R_{b;k} / \gamma_b \quad R_{s;d} = R_{s;k} / \gamma_s$$

Teherbírás
komponensek
karakterisztikus értéke

$$R_{s;k} \text{ és } R_{b;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{\text{mean}}}{\xi_3}, \frac{(R_{c;cal})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\}$$

Teherbírás
komponensek
számított / mért értéke

$$R_{b,cal} = qb * Ab \quad R_{s,cal} = \sum_i A_{s,i} * qb$$

$$R_{b,m} \quad R_{s,m}$$

Teherbírási
komponensek
**számított / mért
értéke**

$$R_{b', cal} = qb * Ab$$

$$R_{b, m}$$

$$R_{s', cal} = \sum_i A_{s', i} * qs$$

$$R_{s, m}$$

Korrelációs és modell tényező



Teherbírási
komponensek
**karakterisztikus
értéke**

$$R_{s;k} \text{ és } R_{b;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{\text{mean}}}{\xi_3}, \frac{(R_{c;cal})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\}$$

a ξ korrelációs tényező a cölöppenállás karakterisztikus értékek meghatározásához			
az ellenállás meghatározási eljárása	a próbaterhelések ill. talajszelvények száma	az átlagra vonatkozóan	a minimumra vonatkozóan
	n	ξ_{mean}	ξ_{min}
statikus ^{1,4} próbaterhelés	1	1,40	1,40
	2	1,30	1,20
	3	1,20	1,05
	4	1,10	1,00
	≥ 5	1,00	1,00
számítás talajvizsgálat ^{2,3,4} alapján	1	1,40	1,40
	2	1,35	1,27
	3	1,33	1,23
	4	1,31	1,20
	5	1,29	1,15
	7	1,27	1,12
	10	1,25	1,08
dinamikus próbaterhelés	≥ 2	1,60	1,50
	≥ 5	1,50	1,35
	≥ 10	1,45	1,30
	≥ 15	1,42	1,25
	≥ 20	1,40	1,25

Korrelációs tényező – x

Ha a cölöpösszefogás képes kiegyenlíteni a teherbírás cölöpcsoporton belüli különbségeit, akkor a fenti értékek 1,1-gyel oszthatók, de a módosított érték is maradjon 1,0-nál nagyobb
(pl.: merev fejtömb, faltartó, hídfő)

Modell tényező – g_m

NA25.3. A következőkben megadott modelltényezőket kell alkalmazni, ha egyidejűleg igaz, hogy:

- az alkalmazott eljárás kidolgozásakor a talajjellemzőket igazolhatóan átlagértékekkel vették figyelembe,
- a tervező is a *talajjellemzők átlagértékeivel* alkalmazza az eljárást.

Az alkalmazandó modelltényezők:

- **statikus szondázás (CPT)** csúcsellenállásából származtatott fajlagos cölöpenállások esetében **1,10**,
- **laboratóriumi vizsgálatokkal megállapított nyírószilárdságból** származtatott fajlagos cölöpenállások esetében **1,20**,
- **tapasztalatai alapon** felvett nyírószilárdsági paraméterek vagy **azonosító és állapotjellemzők alapján** megállapított fajlagos cölöpenállások esetében **1,30**.

Parciális tényező – g_b , g_s , g_t , $g_{s,t}$ és $g_{s,upl}$

Karakterisztikus értékből tervezési érték

$$R_{b;d} = R_{b;k} / \gamma_b \quad R_{s;d} = R_{s;k} / \gamma_s$$

Cölöp-típus	Nyomó-igénybevétel			Húzó-igénybevétel	Felúszás
	talpellenállás	palástellenállás	teljes ellenállás	palástellenállás	palástellenállás
	γ_b	γ_s	γ_t	$\gamma_{s,t}$	$\gamma_{s,upl}$
vert	1,10	1,10	1,10	1,25	1,40
CFA	1,20	1,10	1,15	1,25	1,40
fúrt	1,25	1,10	1,20	1,25	1,40

EC7 szerinti biztonsági szint – DA2* tervezési módszer

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_R} = \frac{R_{c,cal}}{\gamma * \mathbf{x} * \gamma_m}$$

Parciális tényező (fv. technológia): $\gamma = 1,1 - 1,15 - 1,2 - 1,25 - 1,4$

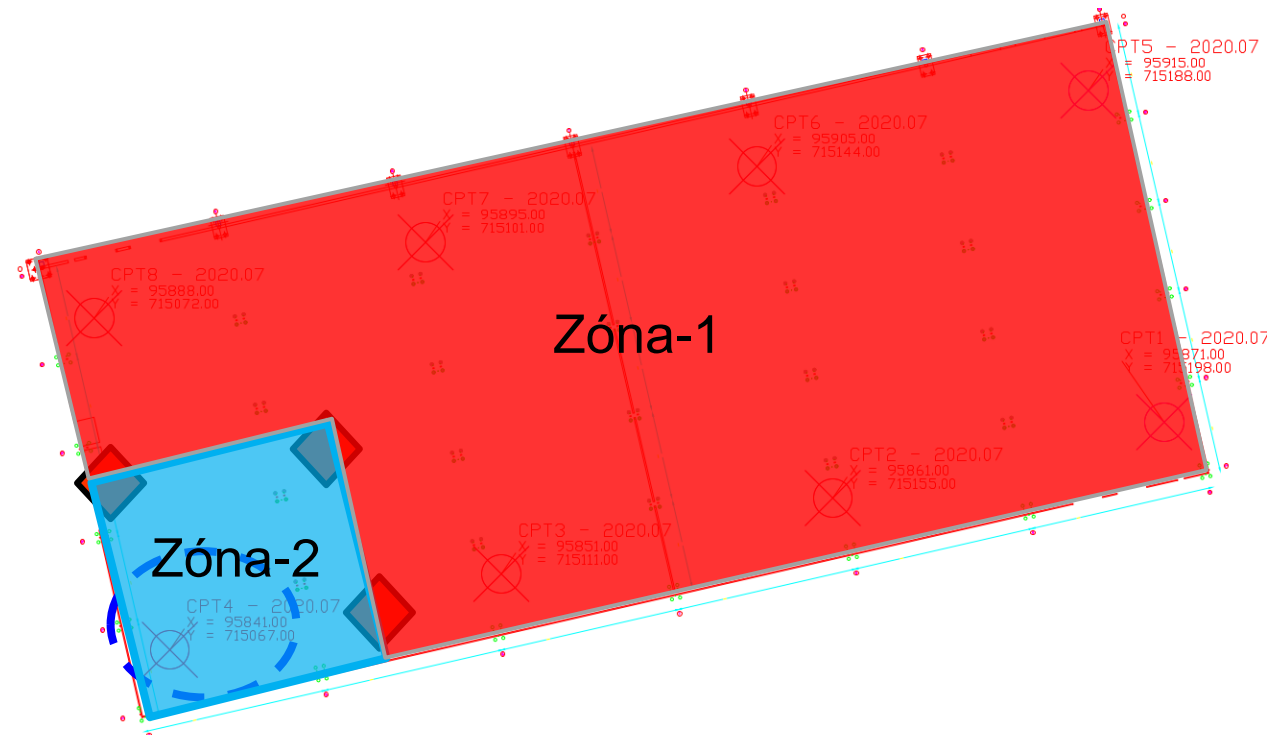
Korrelációs tényező (fv. vizsgálat db): $\mathbf{x} = 1,08 \dots 1,40$ (talajszelvény esetén)

Modell tényező (fv. számítás): $\gamma_m = 1,1 - 1,2 - 1,3$

Tervezési egység

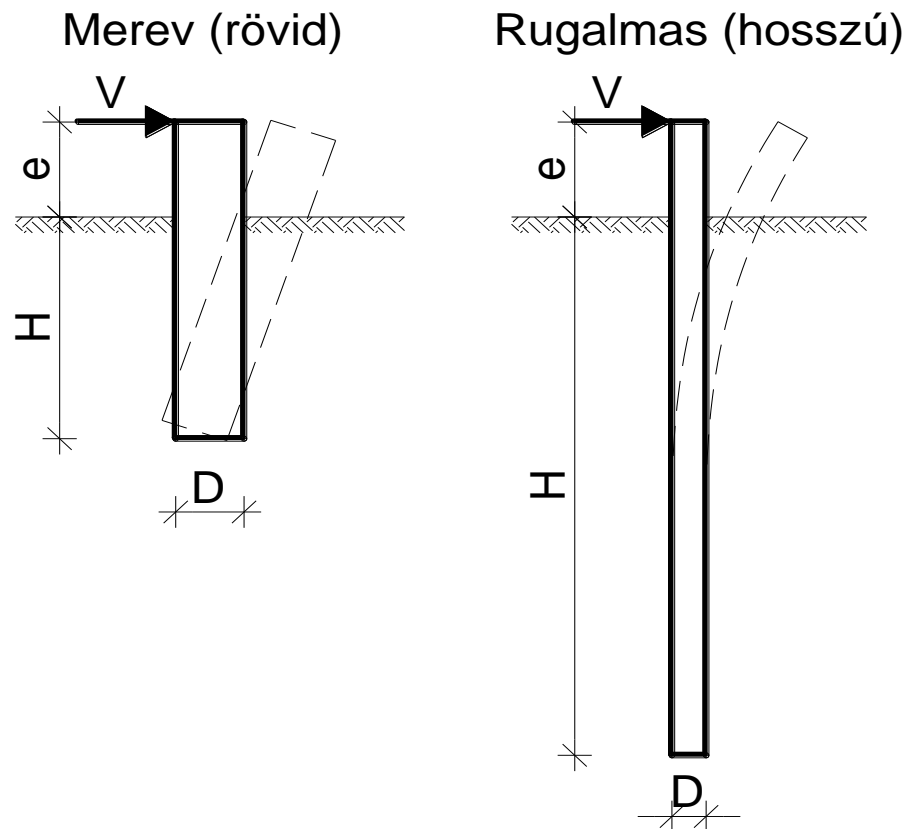
- Adott projekten belül értelmezhető
- A nyomási ellenállás, a talajkörnyezet változása illetve a cölöpszám területi eloszlása függvénye
- Cél: a kisebb ellenállás alapján lehető legkevesebb cölöp tervezése = optimalizálás
- Eszköze: kellő mennyiségű és megfelelő kiosztású talajfeltárás (CPTu szonda), hogy a korrelációs tényező (α) optimális legyen

1. Talajkörnyezet különbözőség azonosítása
2. Kiegészítő talajfeltárásokkal körül határolás
3. Tervezési egységek véglegesítése



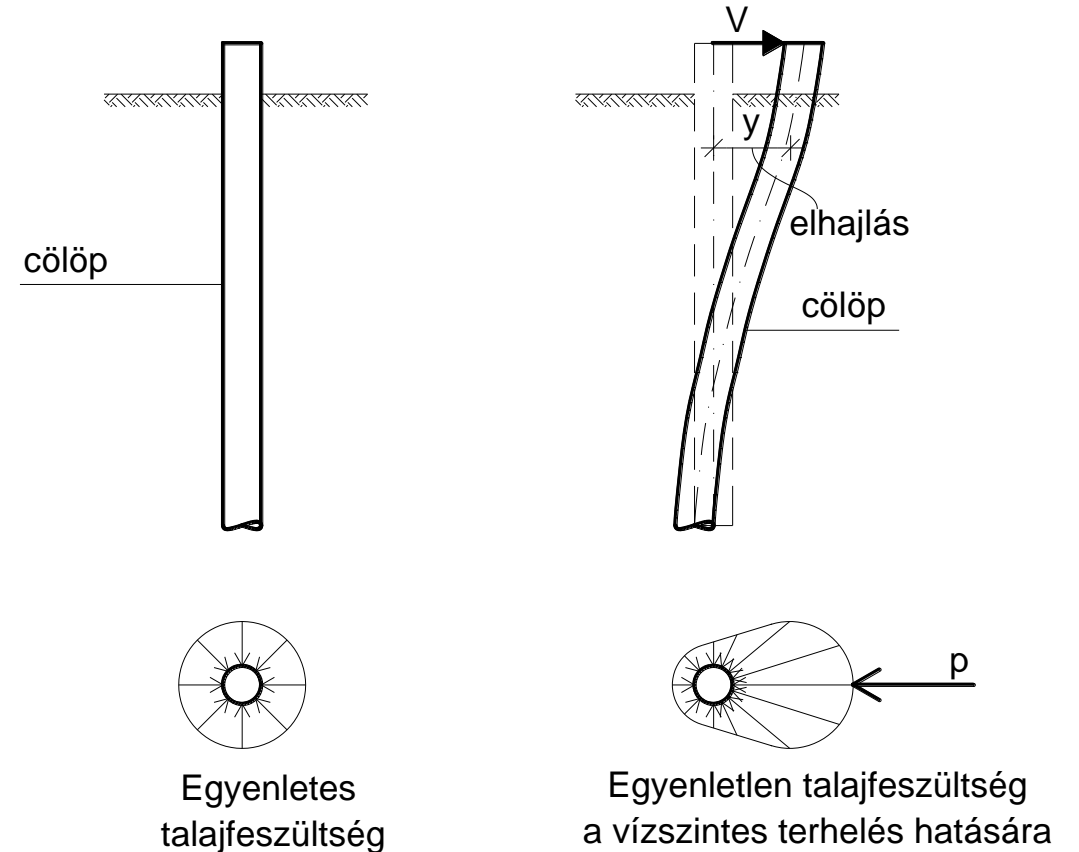
Törési mechanizmus

- Rövid cölöp: merev testként elfordulás vagy eltolódás
- Hosszú, karcsú cölöp: hajlítási törés



Talajkörnyezet változása

- Kezdeti szimmetrikus feszültség eloszlás
- Vízszintes erő hatására jelentős feszültség átrendeződés



Aktív cölöphossz: az a cölöphossz, mely aktívan részt vesz a teherviselésben és alatta a vízszintes erőnek már nincs hatása

$$L_a = 1,5 * \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{1/4} * D$$

ahol E_p : a cölöp anyagának rugalmassági modulusa [MPa]

E_s : a talaj összenyomódási modulusa [MPa]

D : cölöp átmérője [m]

Ellenállás meghatározása

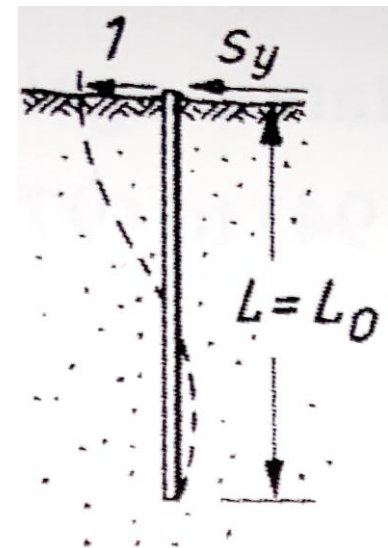
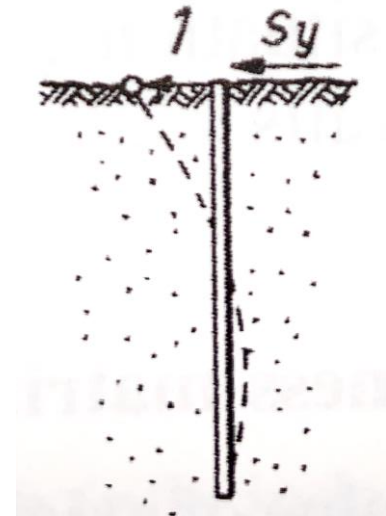
1) Számítás, modellezés (talajvizsgálat és cölöp szilárdság alapján)

- Méretezés feltételezett nyomáseloszlás alapján
- Méretezés a talaj ágyazási tényező, a szerkezet VEM modellezésével
- Méretezés a talaj és a szerkezet VEM modellezésével

2) Vízszintes próbaterhelés

Modellezési követelmények, elmozdulás számításához szempontok

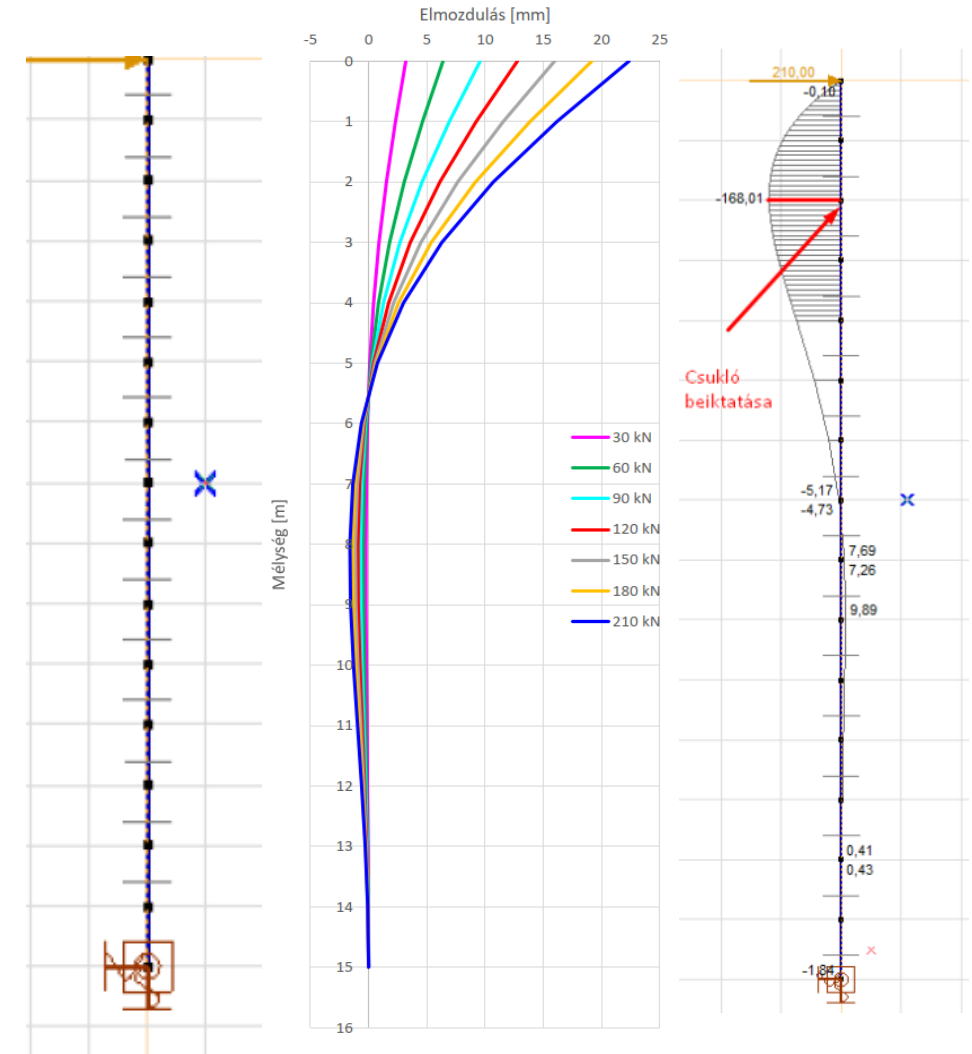
- Tartószerkezeti igénybevétel, talajreakciók és elmozdulások kompatibilitása
- **A cölöptető elfordulási szabadságfoka (csukló / merevséggel bíró / végtelen merev)**
- A talajmerevség alakváltozás mértékétől függő változása
- Az egyedi cölöpök hajlítási merevsége
- A csoportthatás
- A terhek irányváltásának vagy ciklikus ismétlődésének a hatása



(Méretezés feltételezett nyomáseloszlás alapján)

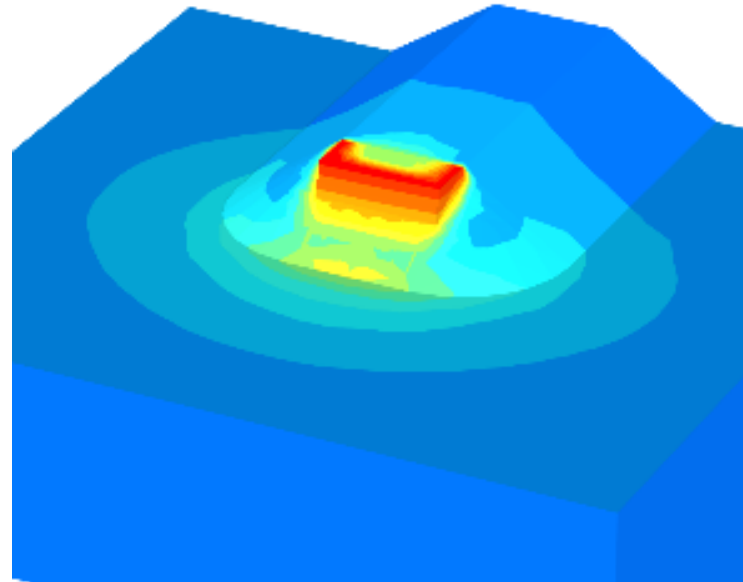
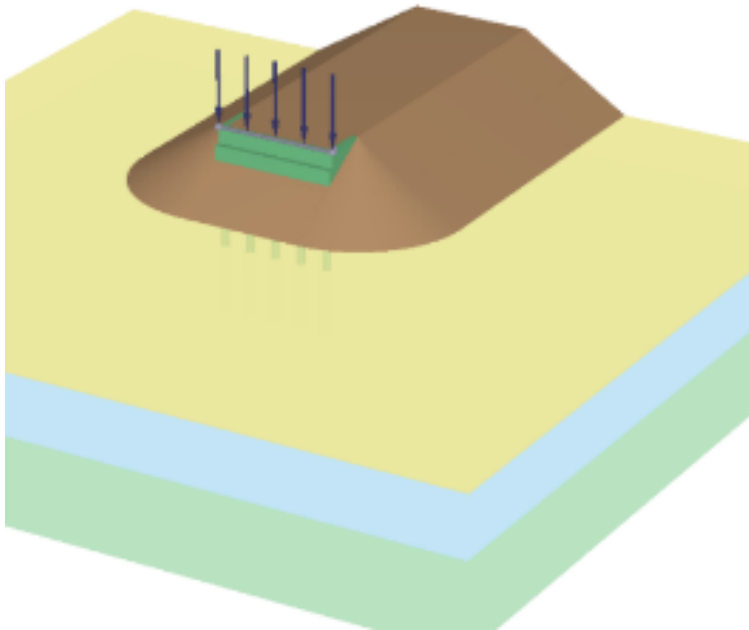
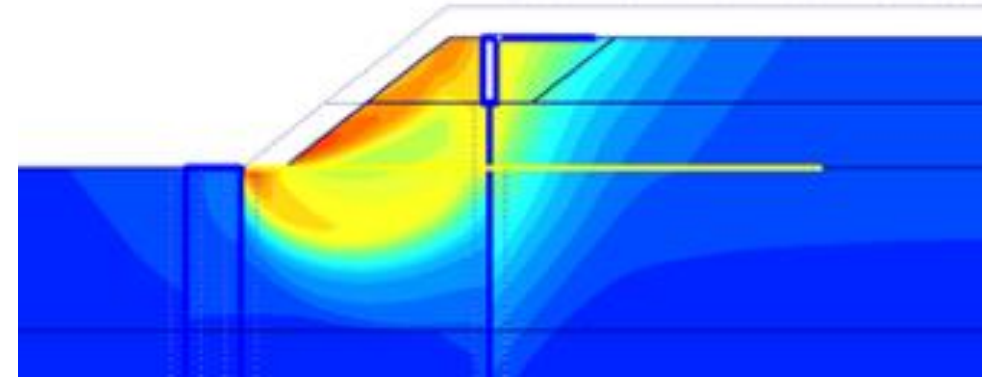
Méretezés a talaj ágyazási tényezős, a szerkezet VEM modellezésével

- *a hosszú, karcsú cölöpök modellje: a felső végén terhelt, vízszintes ágyazási tényezővel jellemzett, deformálódó közeg által megtámasztott gerenda*
- ágyazási tényező felvétele ($C = \alpha \cdot E_s / D$, Monnet diagram, táblázatok, p-y görbe)
- fiktív cölöpszélesség ($B = D + n \cdot x \cdot \text{tg}(\varphi)$)
- VEM szoftver a szerkezetre (pl.: AxisVM)



Méretezés a talaj és a szerkezet VEM modellezésével

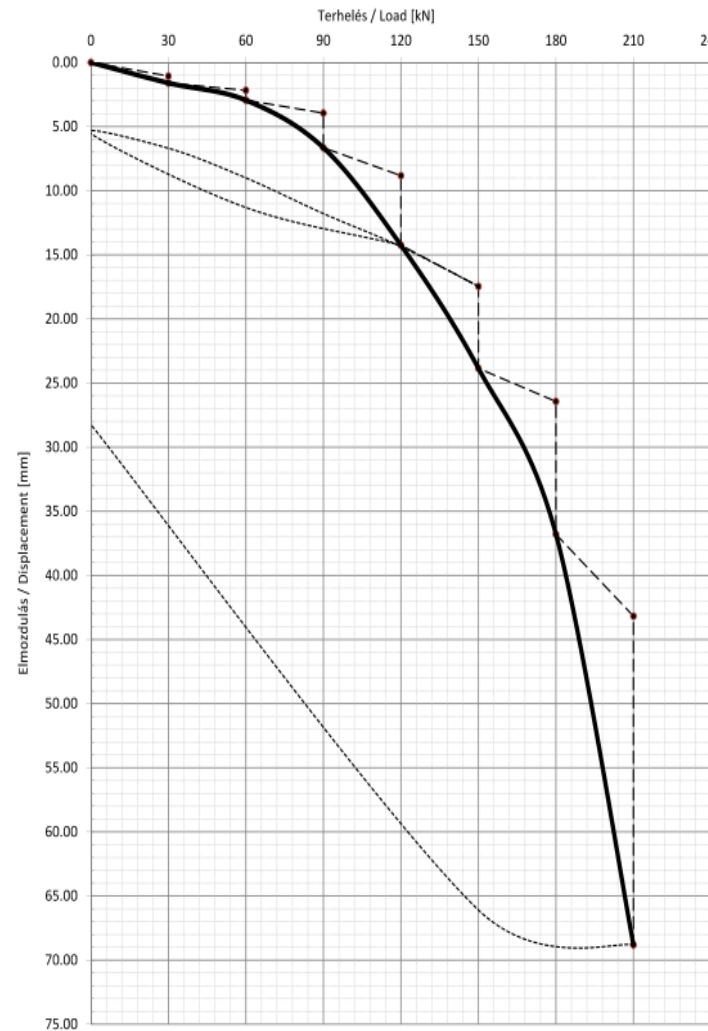
- fejlesztett talajmodellek (preferált HS és HSS)
- 2D modell: fiktív cölöpszélességgel
- 3D modell: valós cölöpgeometriával
- VEM szoftver (PLAXIS, MIDAS)



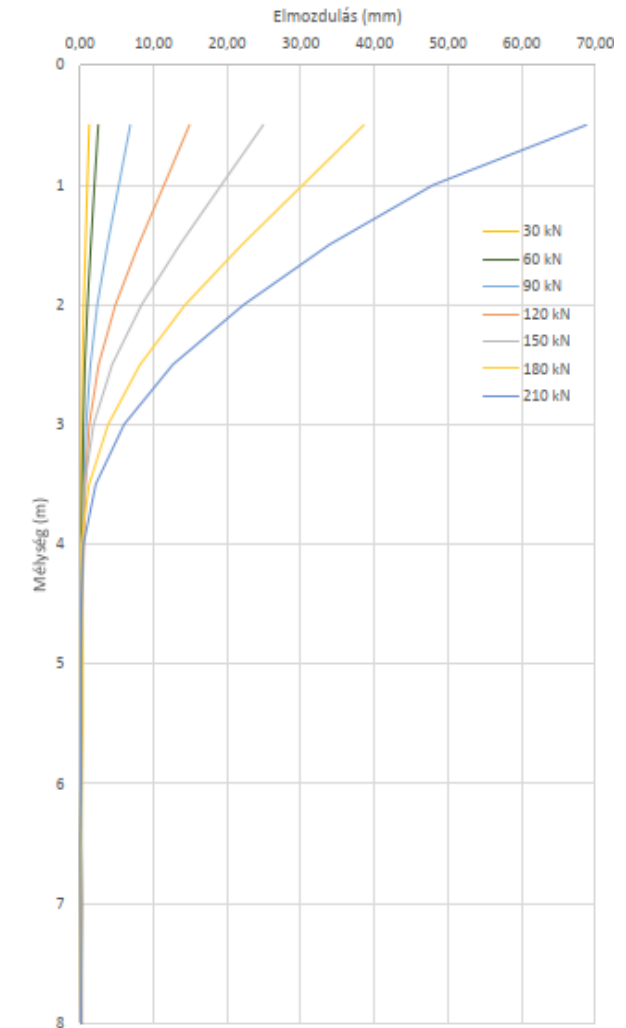
Vízszintes próbaterhelés

- Függőleges statikus próbaterhelés alapján
- Valóságot modellezni:
 - Cölöpvasalás
 - Cölöpfej elmozdulási/elfordulási szabadságfoka
- **Kiegészítő inklinométeres mérés a mozgások teljes cölöphossz menti követéséhez**
- **Görbület – nyomaték kapcsolat**

Tetőponti elmozdulások

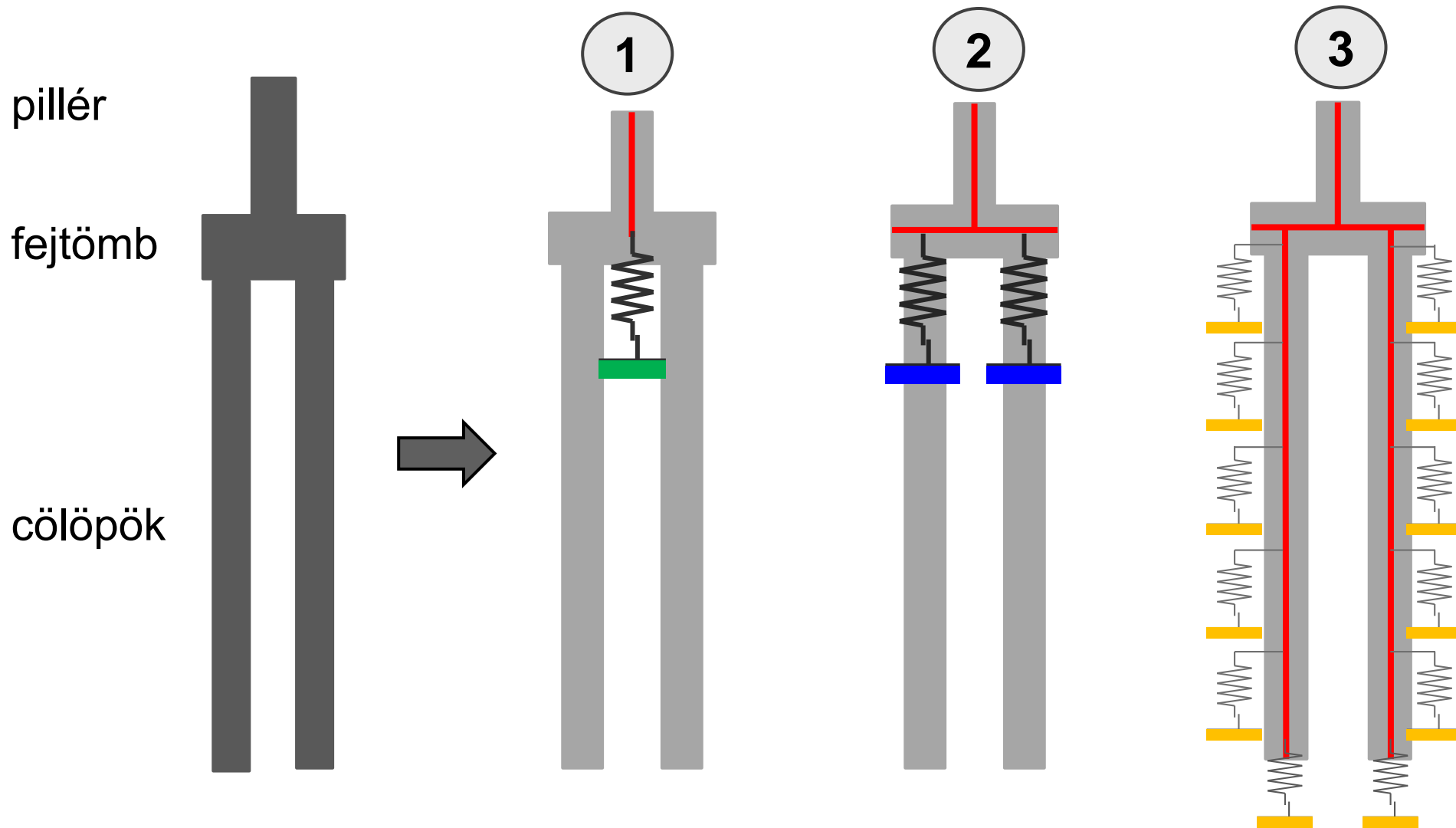


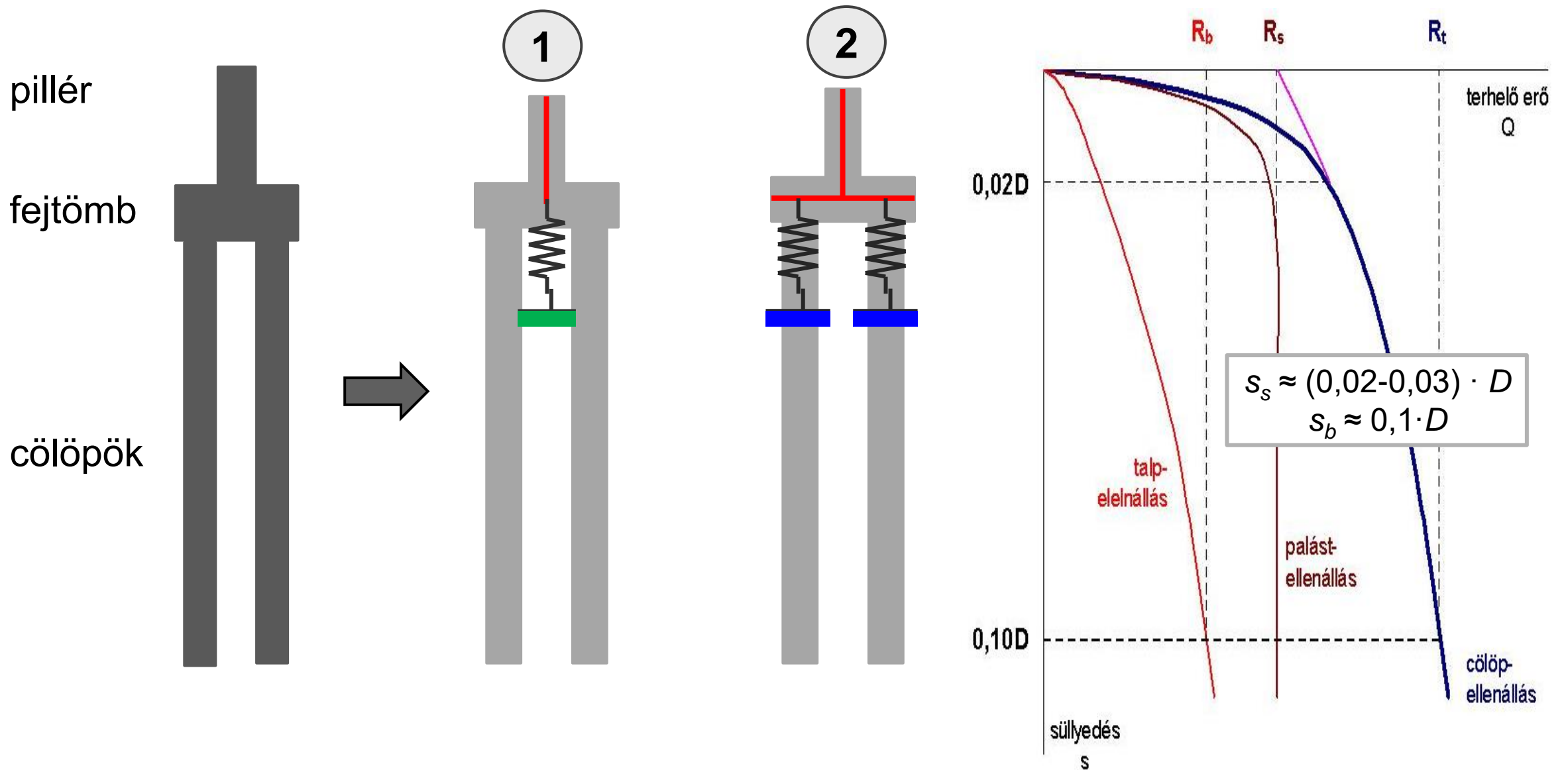
Mélységbeli elmozdulások



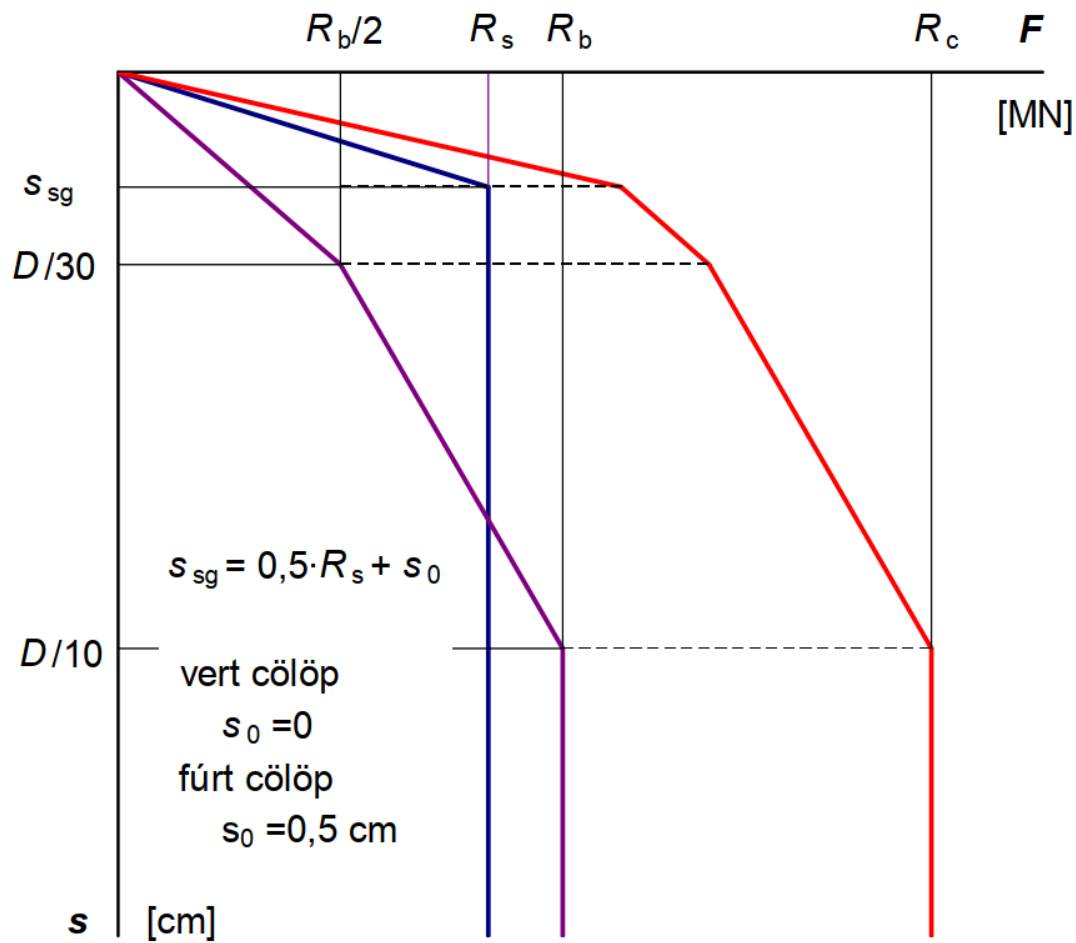
Vízszintes próbaterhelés helyszíni kialakítása



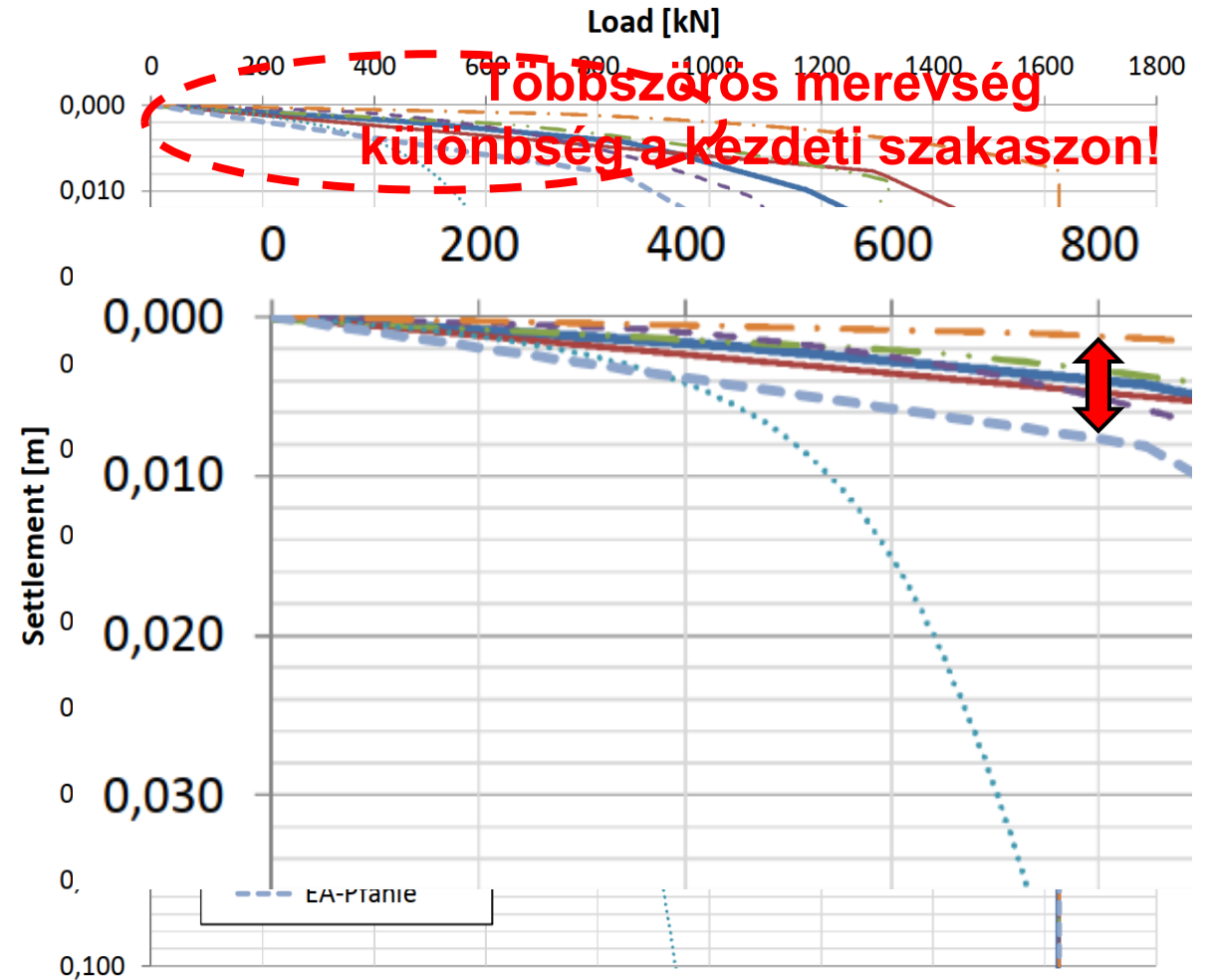




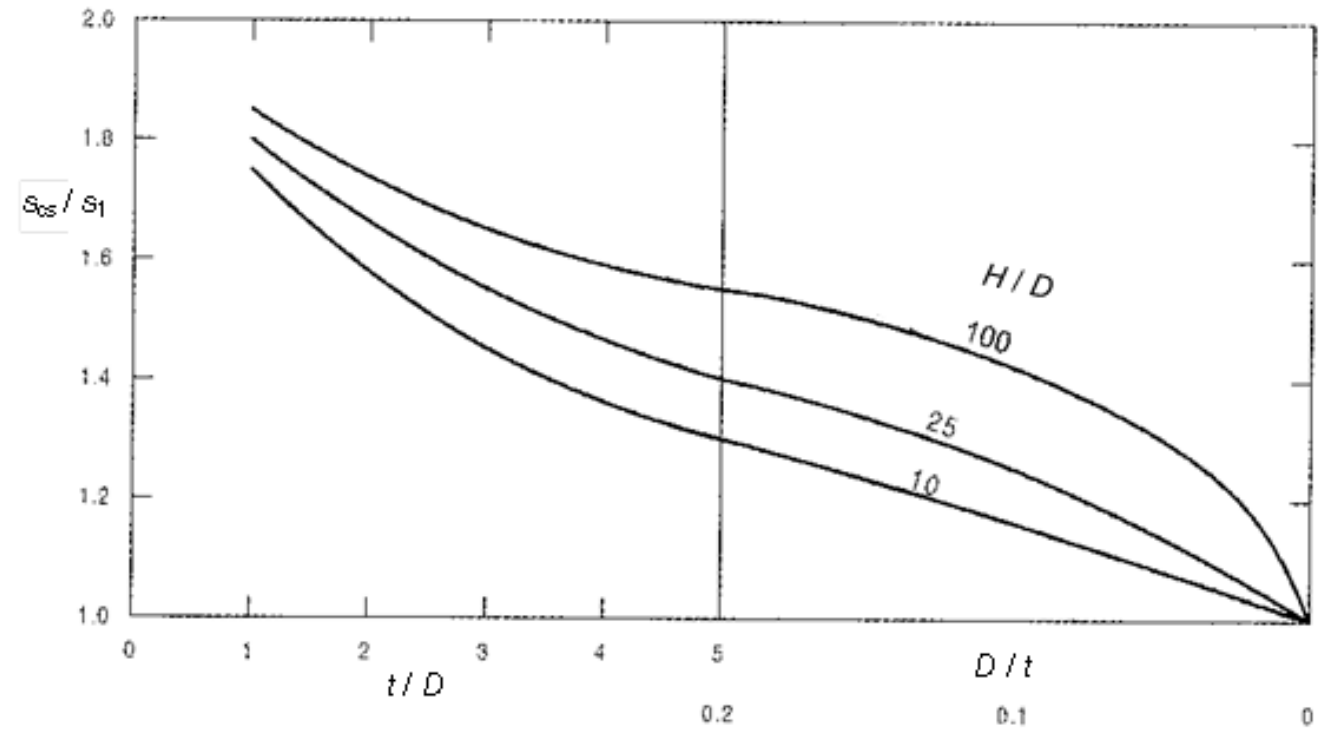
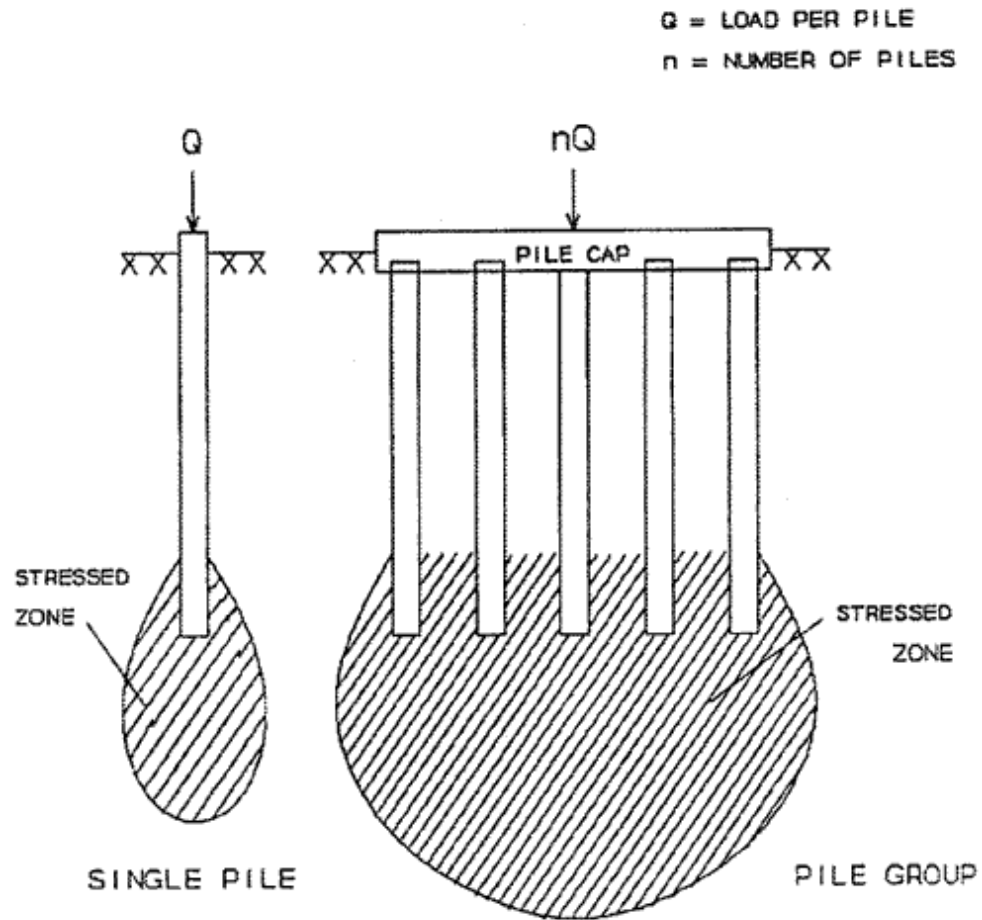
DIN ajánlás



Nemzetközi ajánlások



Cölöpcsoport-hatás



2.5. ábra. A cölöpcsoport és az egyedi cölöp süllyedésének aránya (t = tengelytávolság, D =átmérő, H =cölöphossz)

Hajlékony cölöp statikus merevsége (MSZ EN 1998-5:2009)

Soil model	$\frac{K_{HH}}{dE_s}$	$\frac{K_{MM}}{d^3 E_s}$	$\frac{K_{HM}}{d^2 E_s}$
$E = E_s \cdot z/d$	$0,60 \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,35}$	$0,14 \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,80}$	$-0,17 \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,60}$
$E = E_s \sqrt{z/d}$	$0,79 \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,28}$	$0,15 \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,77}$	$-0,24 \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,53}$
$E = E_s$	$1,08 \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,21}$	$0,16 \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,75}$	$-0,22 \left(\frac{E_p}{E_s} \right)^{0,50}$

E_s – talaj rugalmassági modulusa

G – talaj nyírási modulusa

d – cölöp átmérője

E_p – cölöp rugalmassági modulusa

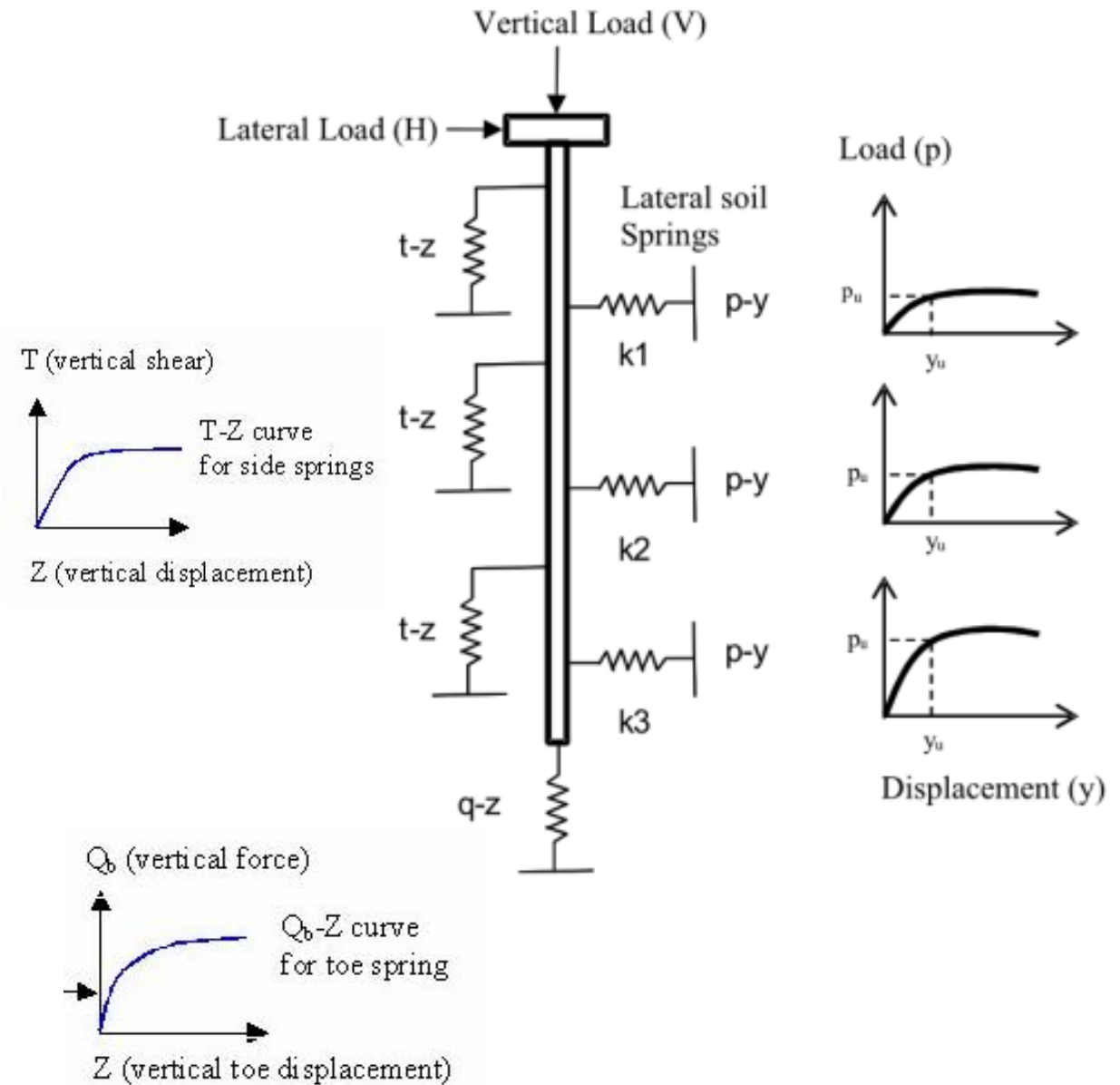
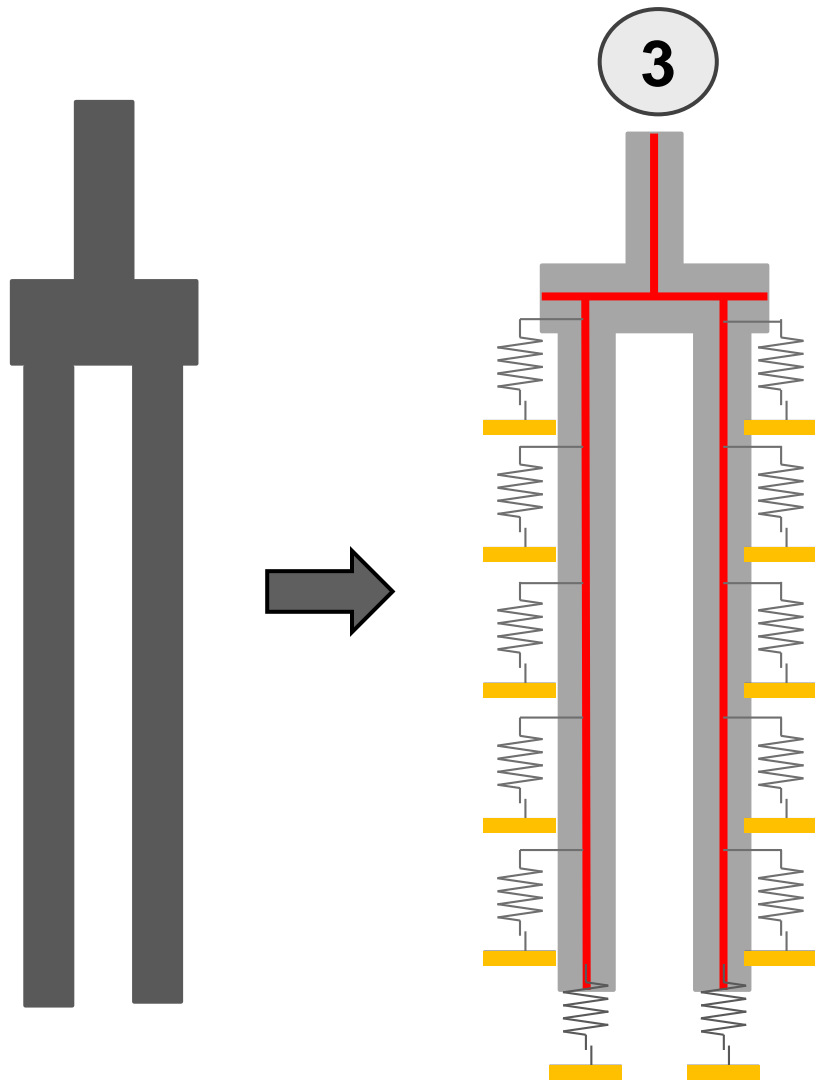
R – cölöp sugara

I_p – cölöp keresztmetszet inercia

pillér

fejtömb

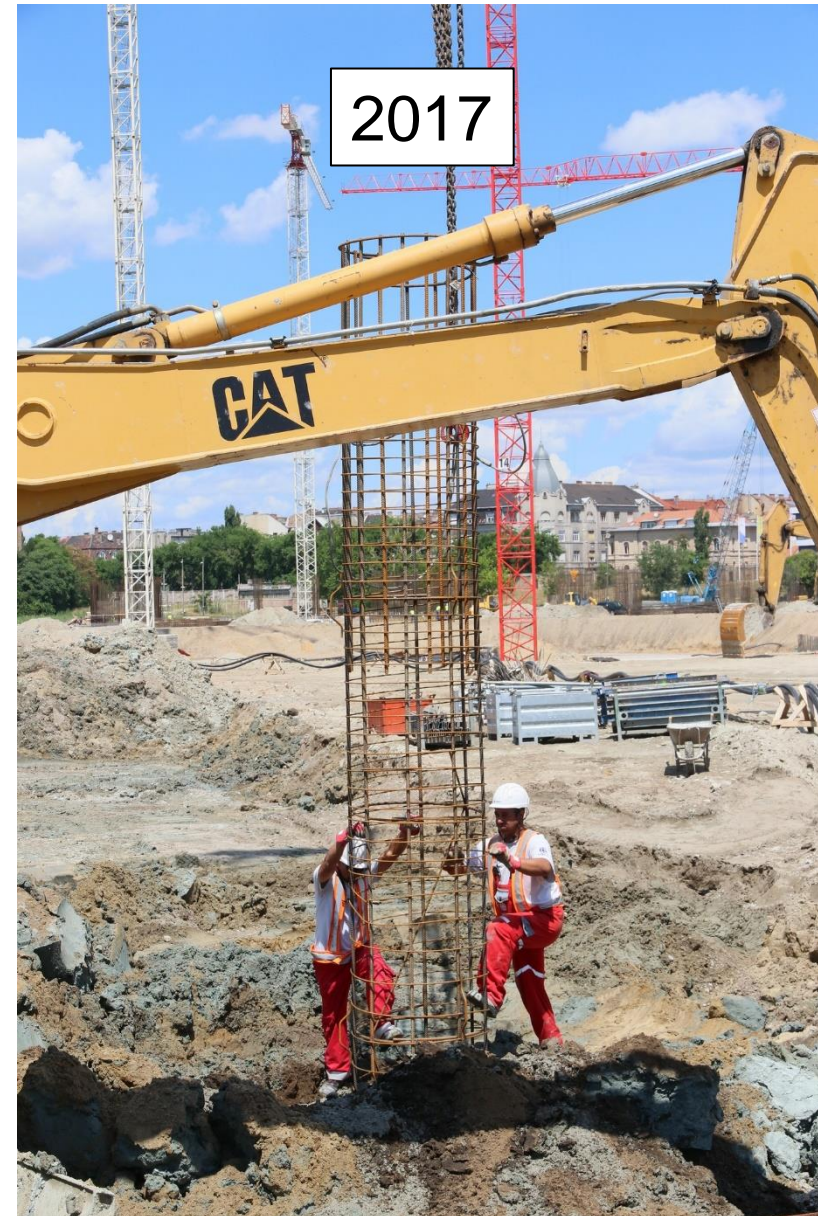
cölöpök



Modellezés AxisVM programban

- Rugóállandó: függőleges merevség, vízszintes merevség, hajlítási merevség
- Határerő definiálása
- **Visszaellenőrzés: számított cölöperő alapján érvényes a felvett merevség?**

	<i>Vízszintes</i>	<i>Függőleges palást</i>	<i>Függőleges talp</i>
határerő	$q_{hmax} = [(K_p - K_a) \cdot (p + \gamma \cdot z) + 2 \cdot c \cdot (\sqrt{K_p} - \sqrt{K_a})] \cdot \beta \cdot D$	$q_{s,max}(z) = \pi \cdot D \cdot q_s(z)$	$q_{b,max}(z) = \pi \cdot D^2 / 4 \cdot q_b(H)$
rugóállandó	$k_h(z) = C_h(z) \cdot D = \alpha \cdot E_s(z) / D \cdot D = \alpha \cdot E_s$	$k_s(z) = q_{s,max}(z) / e_{s,max} = q_{s,max}(z) / (0,02 \cdot D)$	$k_b(H) = q_{b,max}(H) / e_{b,max} = q_{b,max}(H) / (0,10 \cdot D)$



ARMATÚRA TERVEZÉS

=

Tartószerkezeti igénybevételre méretezés





Emelés?
Szerelhetőség?
Beton körülfolyás?

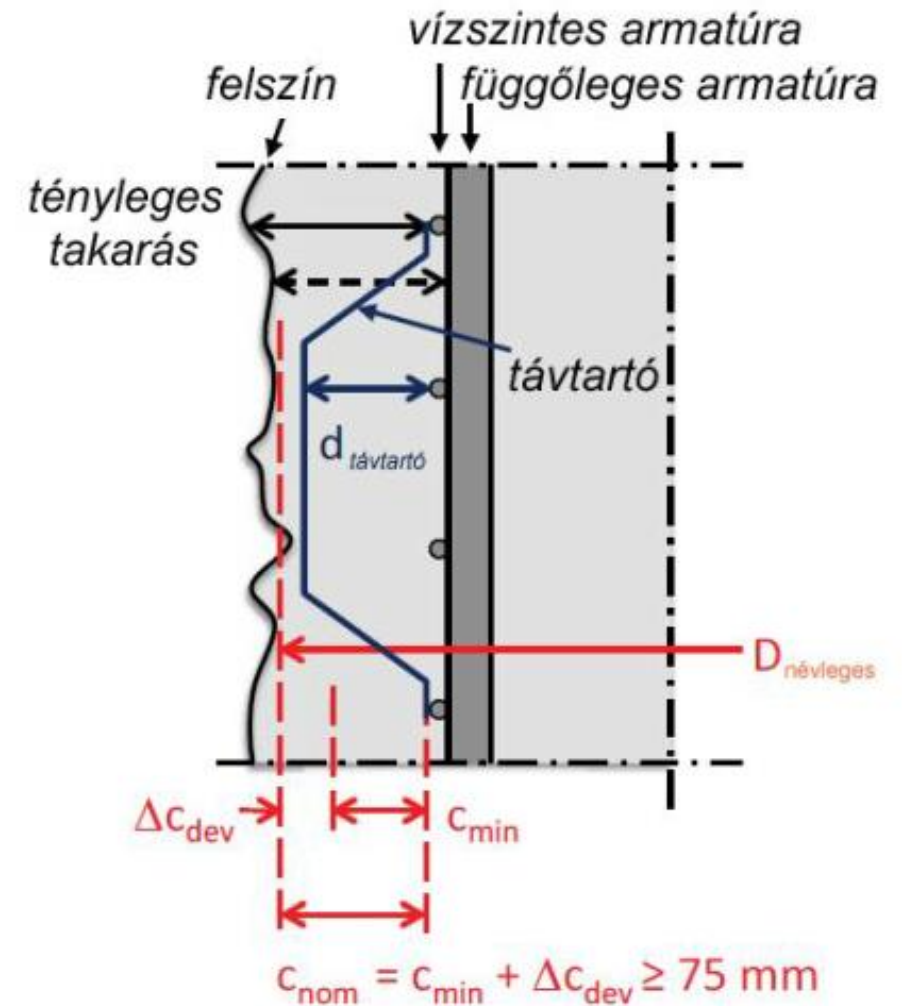
~~ARMATÚRA TERVEZÉS~~

~~Tartószerkezeti igénybevételre méretezés~~

Vasalás TERVEZÉSI szempontok:

- A) Tartószerkezeti: **szükséges vasalás**
- B) Emelési, mozgatási, szállítási
- C) Toldási
- D) Szerelhetőségi
- E) Technológiai geometriai kényszerek

- Betonfedés: $c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$
- **Kitéti osztály + kivitelezési technológia alapján**
 - Min. 75 mm – folyadékmegtámasztás
 - Min. 60 mm, ha $D > 0,6$ m
 - Min. 50 mm, ha $D \leq 0,6$ m
- Távtartás: laposacél vagy műanyag kerék



Armatúra arányok

1) Méretezett vas

- hajlítás = h távolság
- nyírás = s menetemel

2) Emelés, mozg

- méretezett
- belső mere

3) Technológiai geometriai kényszerek:

- cölöpcsúcsban összehúzott / betört vasak
- cölöptalp felett ~50cm vasalatlan rész
- távtartó: 2÷3 m kiosztás, min. 4 (3) db/km
- 1-2 cm kotyogás

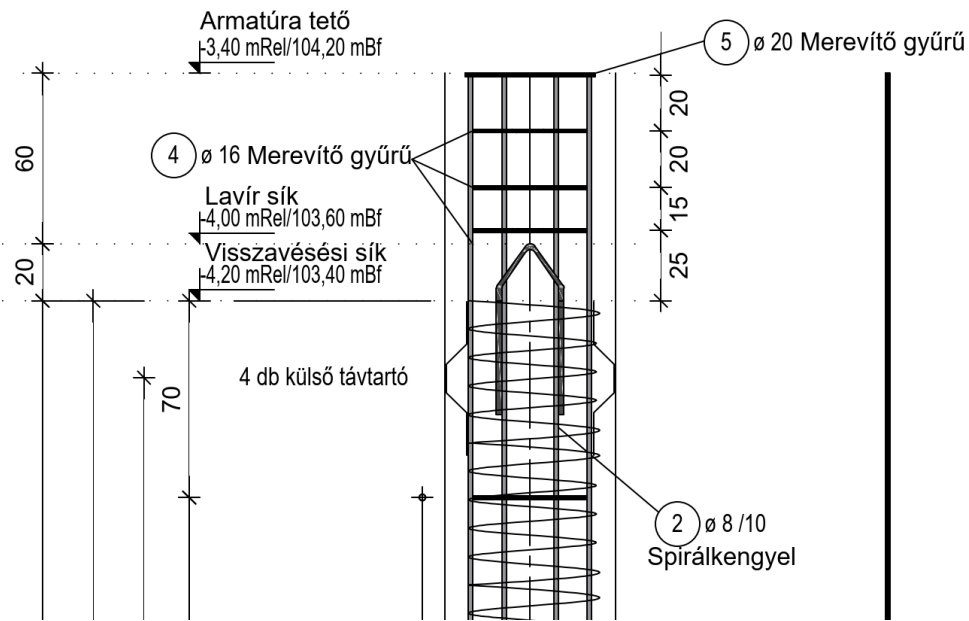


↓
A

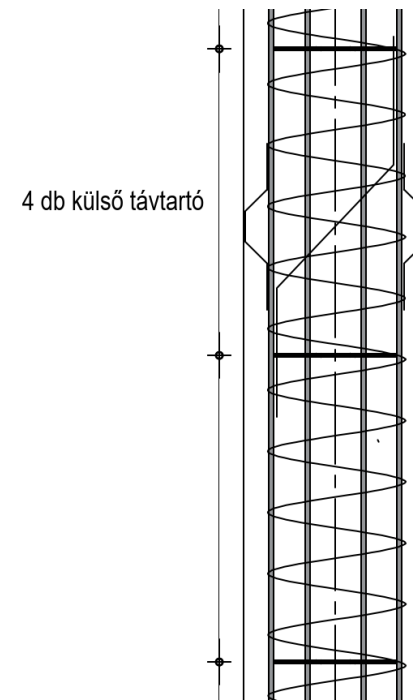


CFA armatúra kialakítás minta

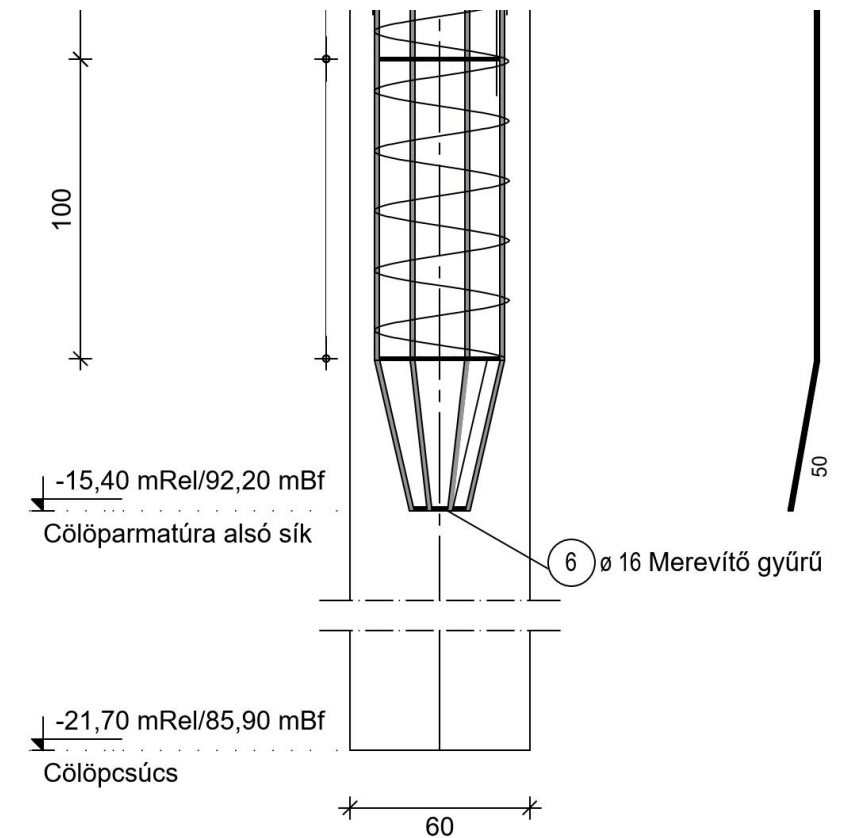
armatúra tető



merevített törzs



cölöpcsúcs



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET

