

# **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



## Kombinált cölöp-lemez alapozás

- Kétféle alapozási szerkezet együttes alkalmazása
- Terhelések növekedése, városfejlődés
- A pontos modellezése nem megoldott feladat
- Alkalmazott programok (pl.:AXIS VM)
- 3 dimenziós FEM-programok (pl.:MIDAS, PLAXIS 3D)



### Lemessel gyámolított cölöp-alapozás

- Alaplemez kedvező általajon
- Kisebb cölöpmennyiség

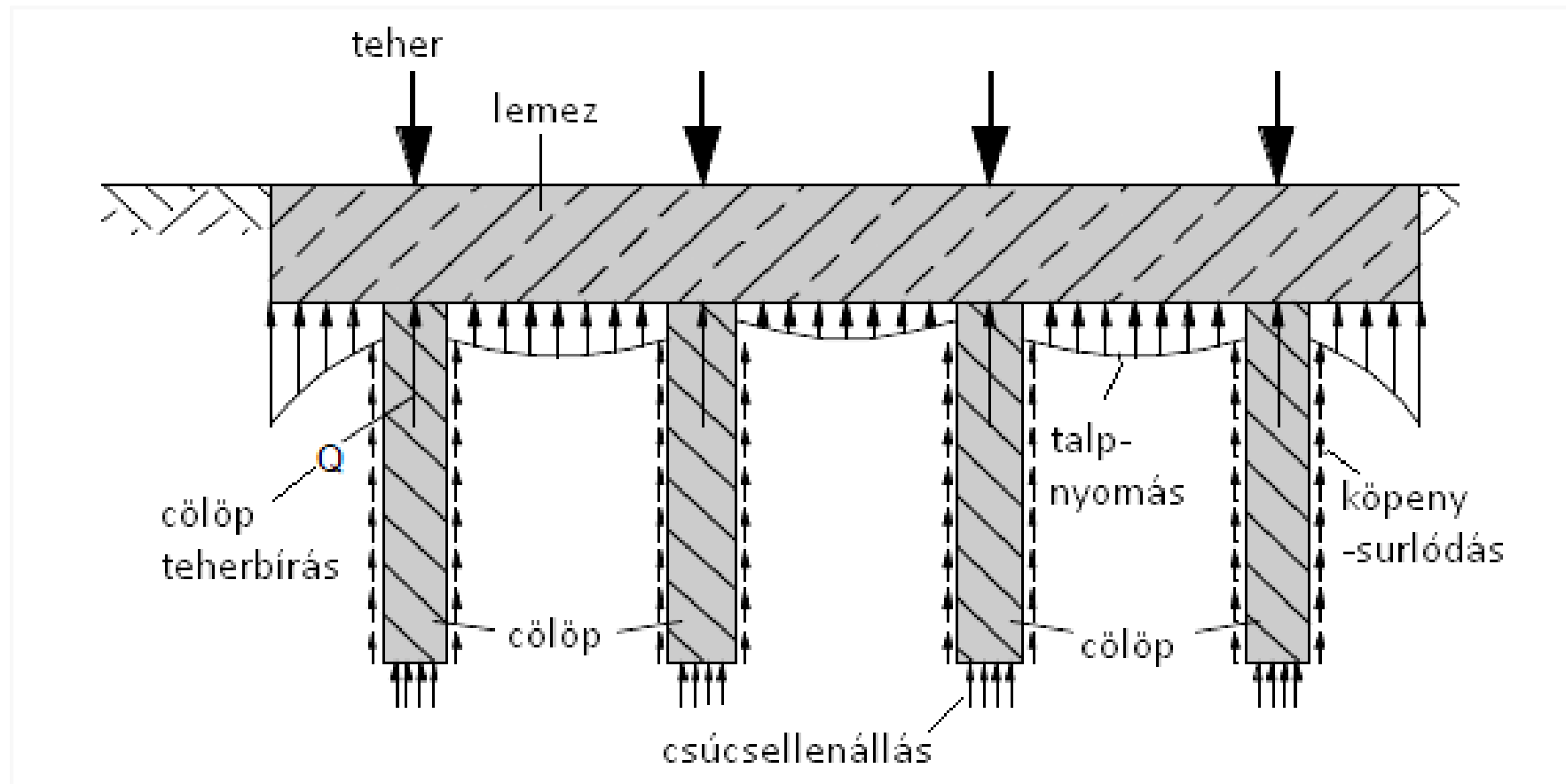


### Cölöppel gyámolított lemez-alapozás

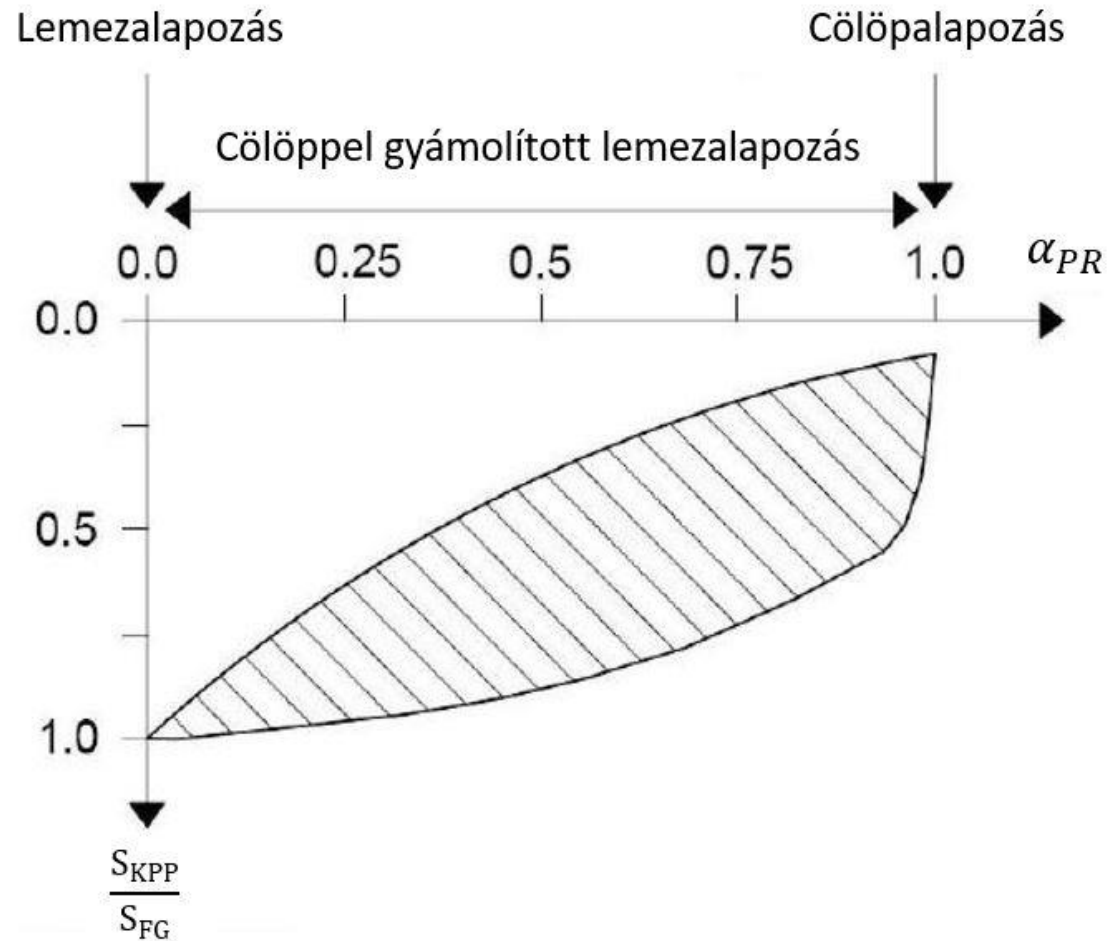
- Alaplemez kedvezőtlen általajon
- Süllyedés különbségek minimalizálása
- Süllyedés csökkentése
- Lemez igénybevételeinek csökkentése

## TEHERVISELÉSI VÁZLAT

$$R_{tot} = \sum R_{pile} + R_{raft}$$



# OPTIMALIZÁLÁS



$$\alpha_{PR} = \frac{\sum R_{pile}}{R_{tot}}$$

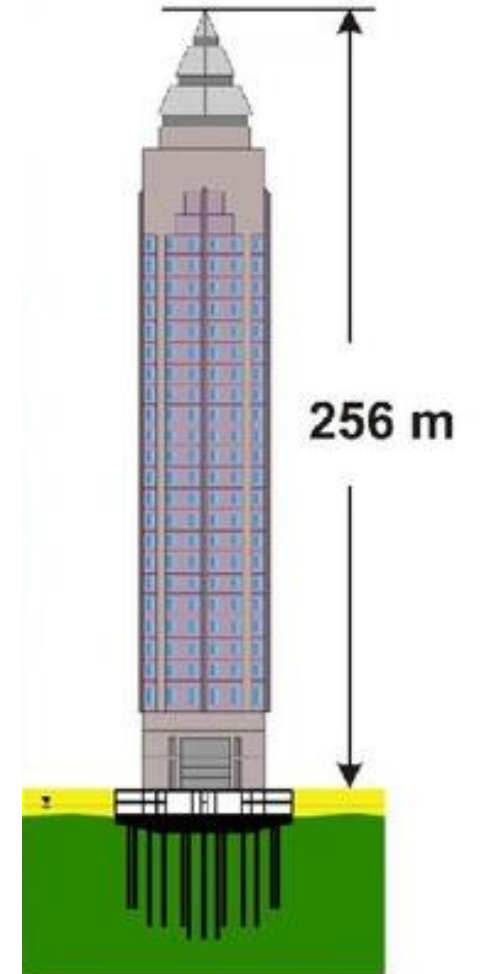
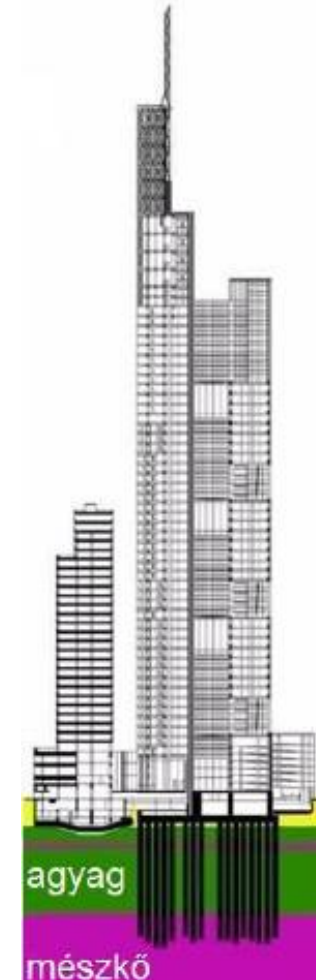
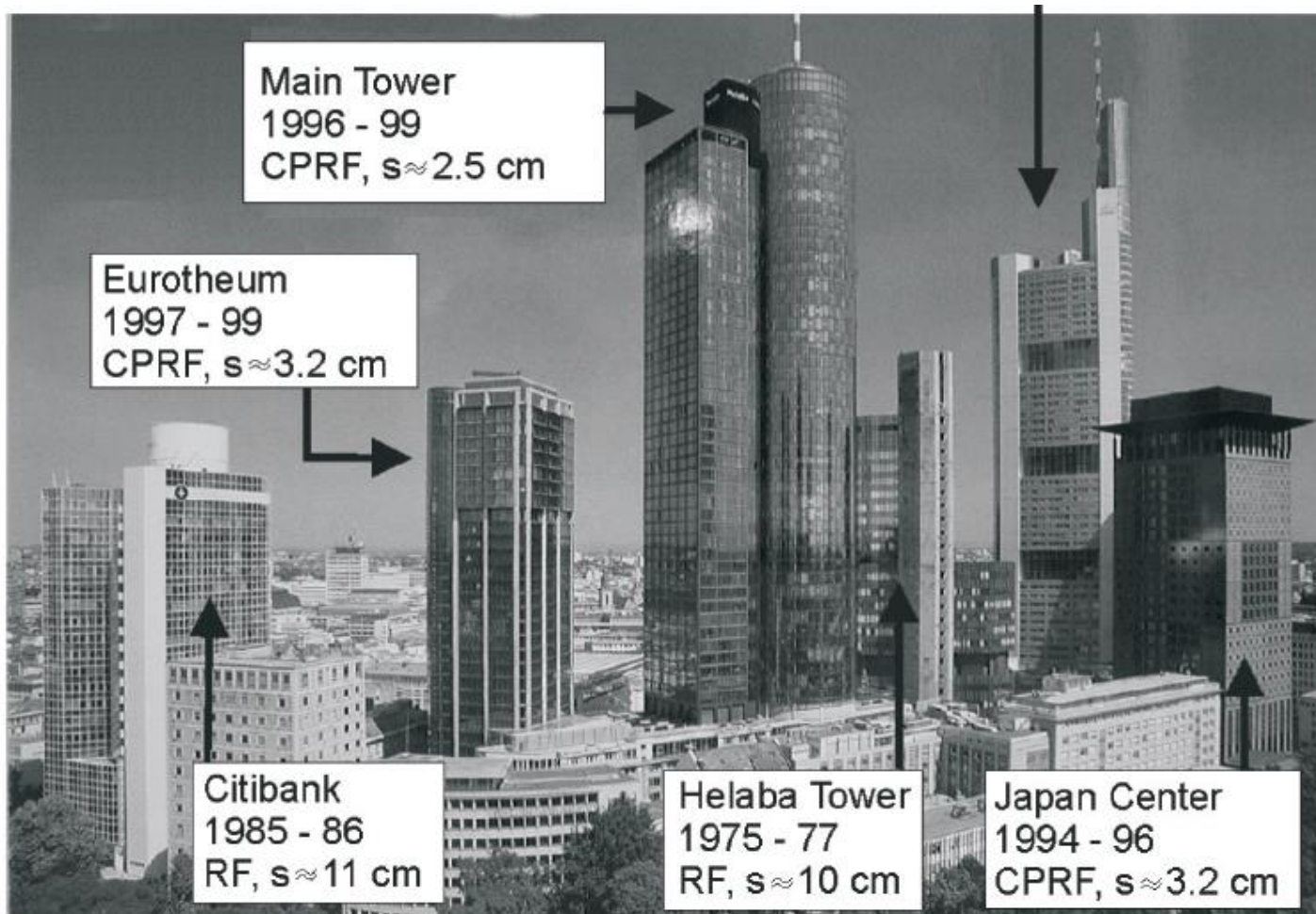
## **Előnyök:**

- A „tiszta” cölöpalapozáshoz képest fajlagosan kevesebb cölöp szükséges
- Mérsékelhető az alaplemez süllyedése és süllyedéskülönbségei
- Kisebb igénybevételek az alaplemezben
- Jelentős költségmegtakarítás érhető el

## **Hátrányok:**

- Nincs szabványban rögzített egyértelmű méretezési eljárás
- Összetett alapozási rendszer modellezése körülményesebb
- Több kialakítás vizsgálendő az optimális szerkezet kiválasztásához
- A cölöpök és lemez közötti tehereloszlás arányának pontatlan meghatározása esetén a lemez megreped

## Nagyméretű épületek



8

# MÉRETEZÉSI ALAPELVEK



## Tervezési filozófiák

- „Szokásszerű megközelítés”:

Cölöpök – cölöpcsoportok méretezése a terhek túlnyomó részének viselésére, a lemez közreműködését számításba véve

- „Kúszó cölöpök”:

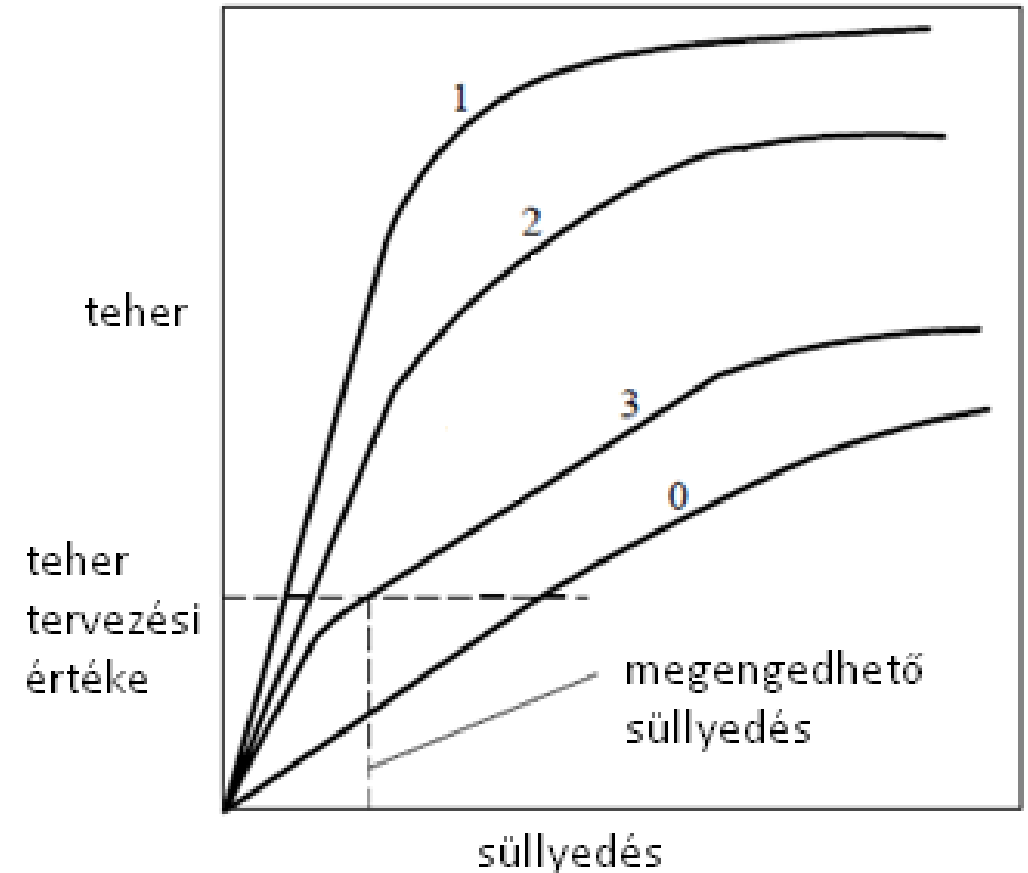
A cölöpöket a hasznos terhelés azon részének felvételére tervezik, amelynél jelentős kúszás következik be, ez tipikusan cölöpök törőterhelésének a 70-80%-a. Elegendő mennyiségű cölöp alkalmazása a lemez és talaj közötti talpfeszültség csökkentésére.

- Süllyedéskülönbségek korlátozása:

A cölöpkiosztás a süllyedéskülönbségek csökkentésére irányul, nem azért, hogy lényegesen csökkentsék a teljes szerkezet átlagos süllyedést

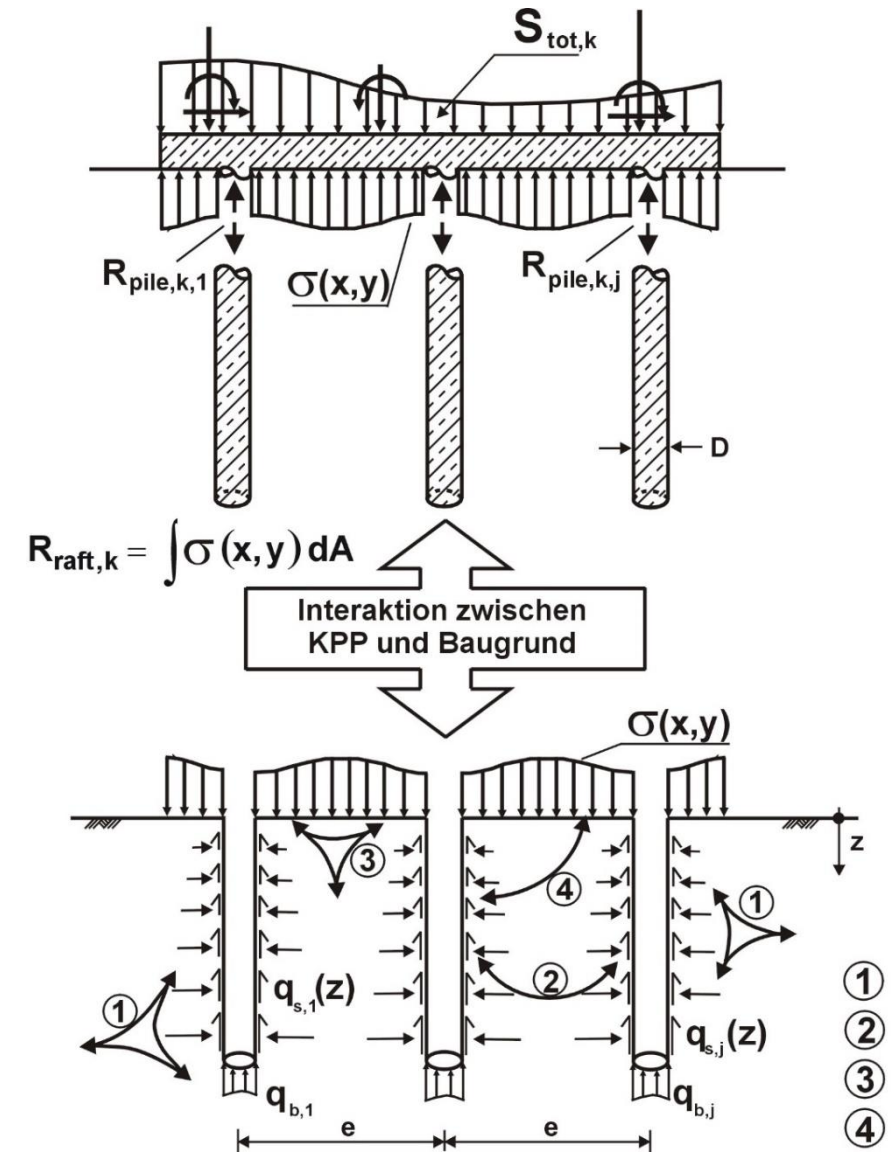
## Terhelés-süllyedés kapcsolata

- „0” görbe:  
csak lemezalap
- „1” görbe:  
szokásszerű megközelítés  
terhek nagy része a cölöpökön
- „2” görbe:  
„kúszó cölöpök”
- „3” görbe:  
„süllyedés-csökkentő cölöpök”

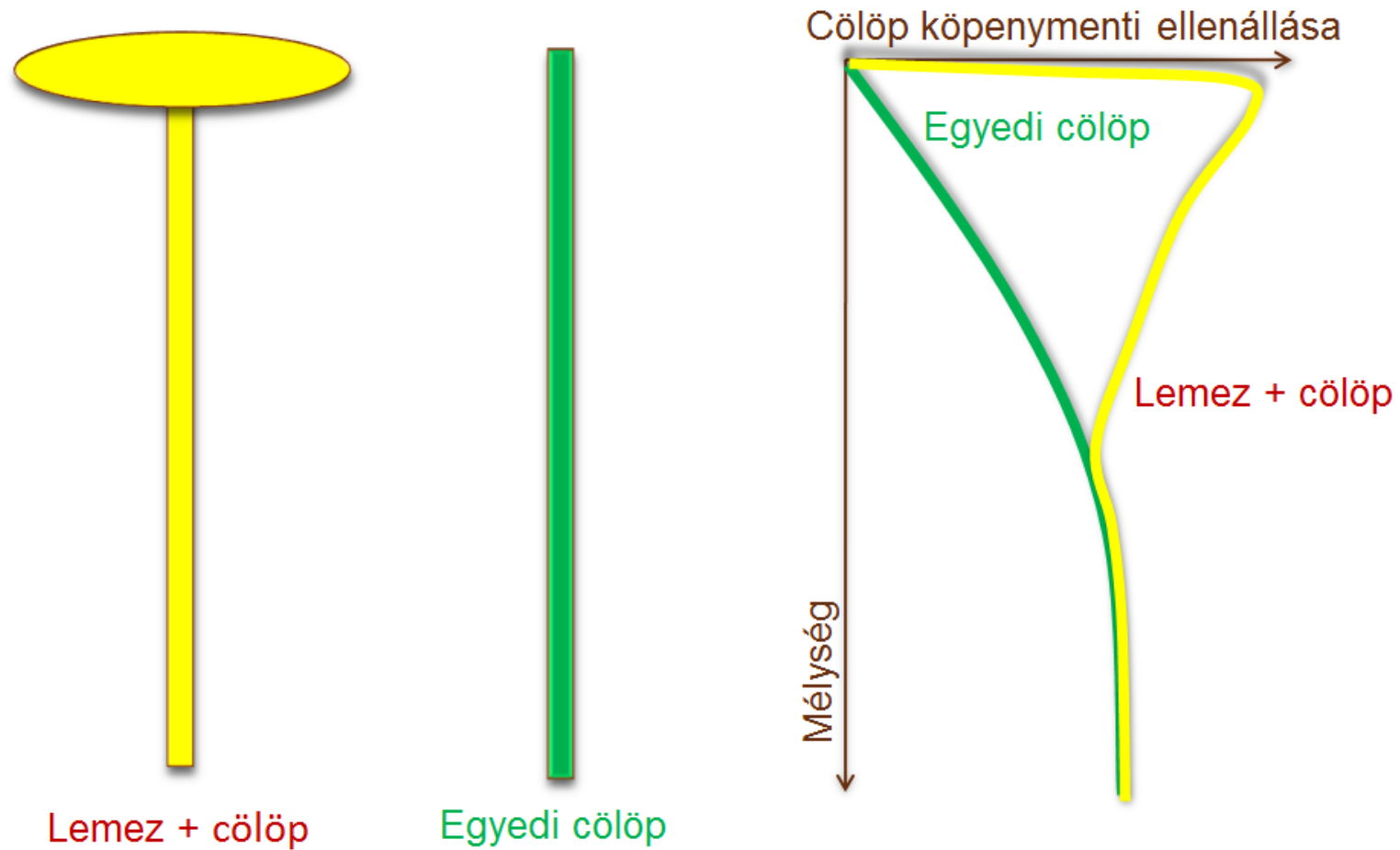


## Talaj-szerkezet kölcsönhatás

- ① Cölöp-talaj kölcsönhatása
- ② Cölöp-talaj-cölöp kölcsönhatása
- ③ Lemez-talaj kölcsönhatása
- ④ Lemez-talaj-cölöp kölcsönhatása



## Lemez-cölöp kölcsönhatás





## Számítási módszerek osztályozása

- Egyszerűsített számítási módszerek
  - ✓ Jelentős egyszerűsítéseket tartalmazó modellek
  - ✓ Poulos és Davis (1980), Randolph (1983,1994), Van Impe és Clerq (1995), Burland (1995)
- Közelítő számítógépes módszerek
  - ✓ Cölöpököt rugóként alkalmazva
  - ✓ Rugókkal alátámasztott gerenda
  - ✓ Rugókkal alátámasztott lemez
- Pontosított számítógépes módszerek
  - ✓ Határelemes módszer
  - ✓ Kombinált határelemes módszer
  - ✓ Véges elemes módszer

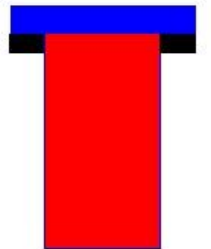
## Egyszerűsített számítási módszerek: PDR módszer

### Két esetet vizsgál:

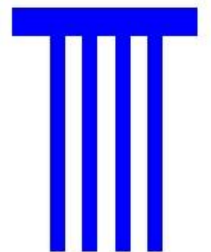
- Az alaplemezt és a cölöpöket magába foglaló tömb határteherbírása, megnövelve a cölöpök körvonalán kívül eső lemezrész határteherbírásával
- Alaplemez és cölöpök teherbírásának összege

the smaller between:

$$a) Q_{PR,lim} = Q_{block} + Q_{ext}$$



$$b) Q_{PR,lim} = Q_{R,lim} + Q_{P,lim}$$



## Egyszerűsített számítási módszerek: PDR módszer

$$K_{pr} = \frac{K_p + K_r * (1 - \alpha_{cp})}{1 - \alpha_{cp}^2 * K_r / K_p}$$

$K_{pr}$  = a cölöpökkel gyámoltított lemezalap merevsége

$K_p$  = a cölöp csoport merevsége

$K_r$  = a lemezalap merevsége

$\alpha_{cp}$  = a lemezalap – cölöp kölcsönhatási tényező

$$\alpha_{cp} = 1 - \frac{\ln(r_c / r_0)}{\zeta}$$

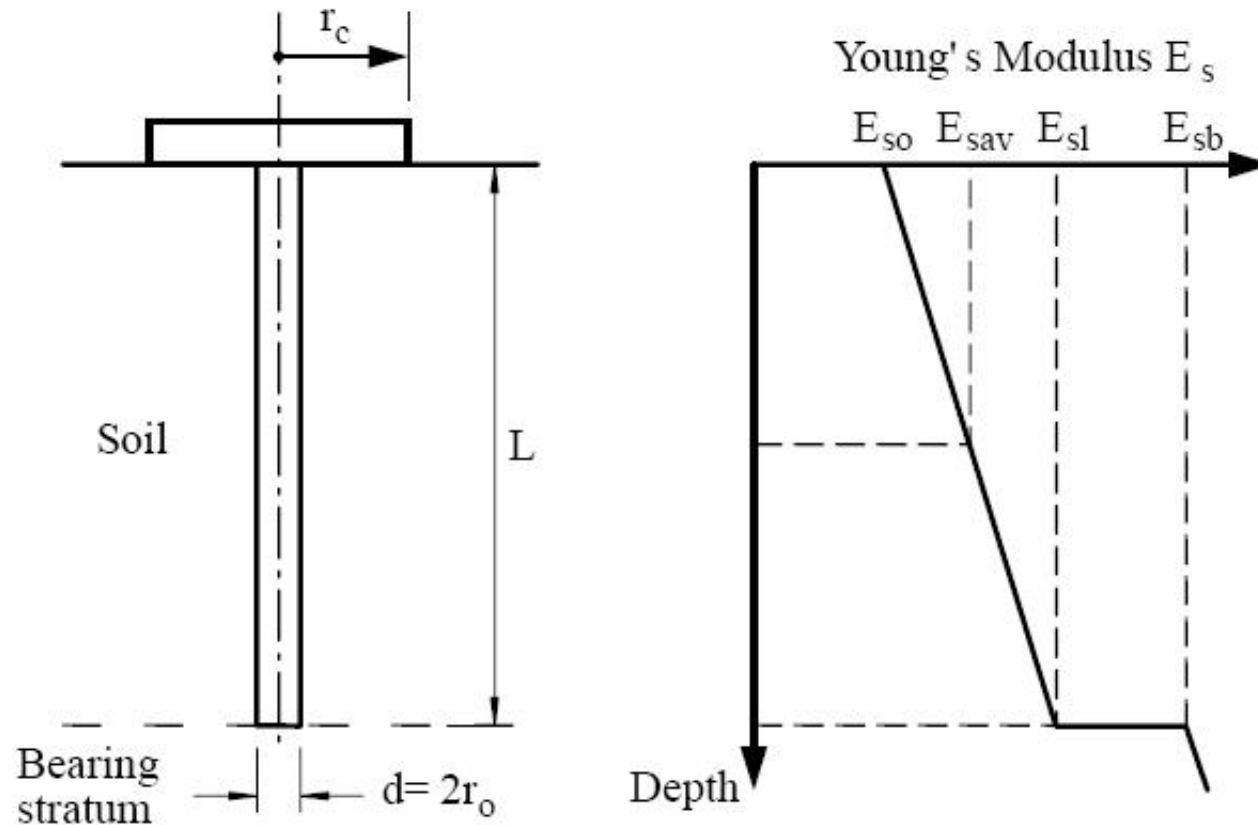
$r_c$  = a cölöpfej átlagos sugara

$r_0$  = a cölöp sugara

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{K_r * (1 - \alpha_{cp})}{K_p + K_r * (1 - \alpha_{cp})} = X$$

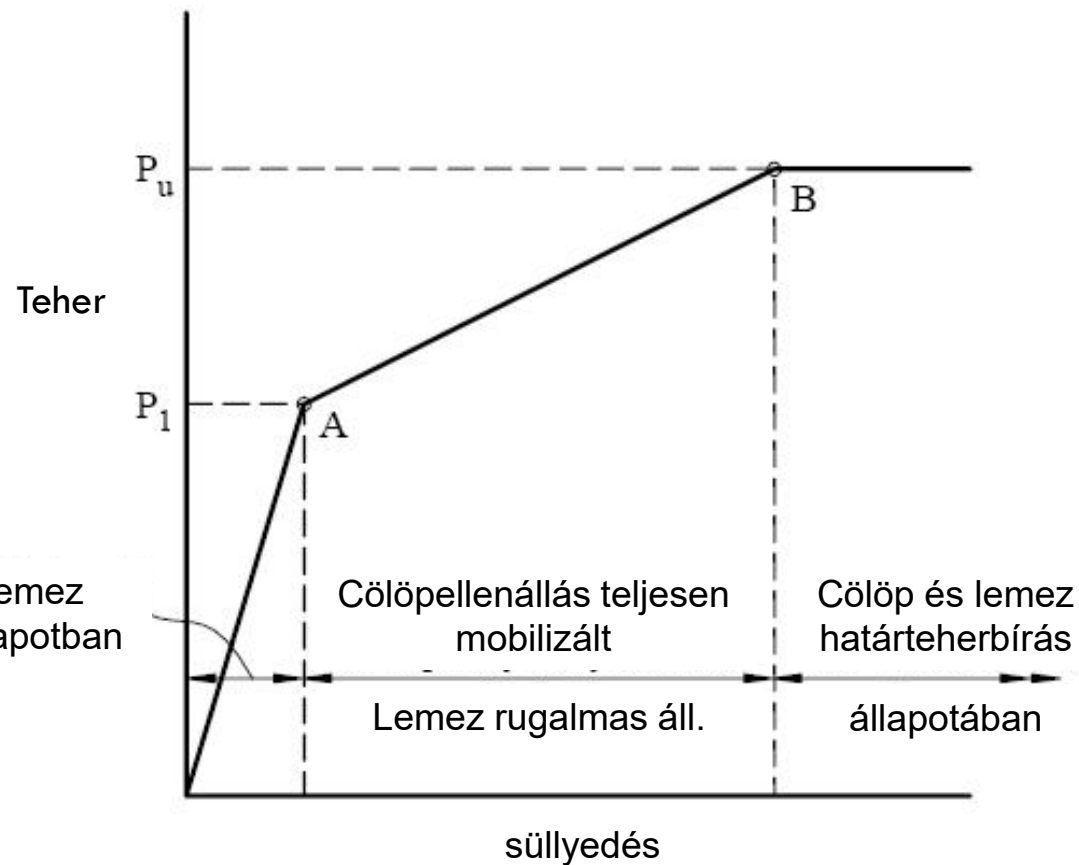
$P_r$  = a lemezalap által hordott terhelés

$P_t$  = a teljes terhelés





## Egyszerűsített számítási módszerek: PDR módszer



$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{K_r * (1 - \alpha_{cp})}{K_p + K_r * (1 - \alpha_{cp})} = X$$

$P_r$  = a lemezalap által hordott terhelés

$P_t$  = a teljes terhelés

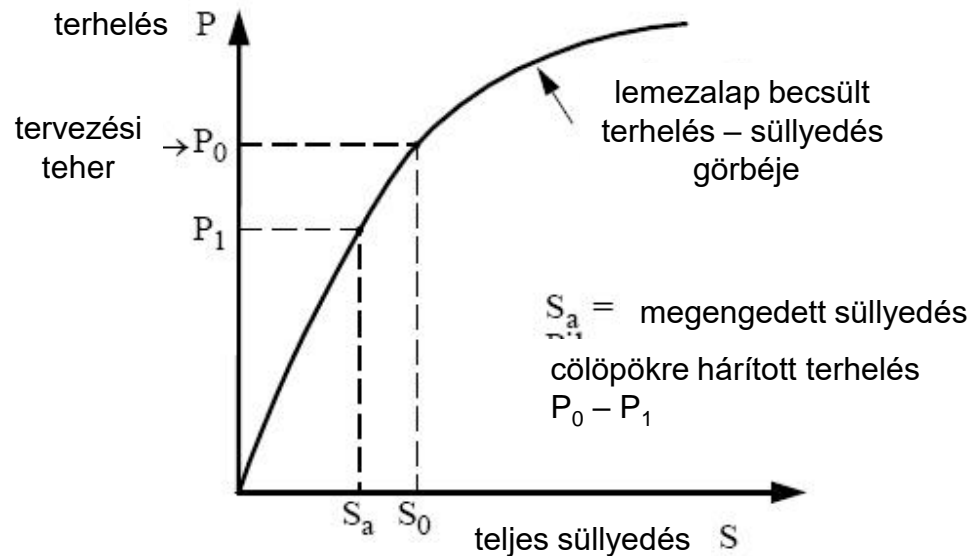
$$P_1 = \frac{P_{up}}{1 - X}$$

$P_{up}$  = cölöpcsoport teherbíró képessége

$P_1$  = a cölöpök teherbírása

$X$  = a cölöpök által viselt terhelés aránya

## Egyszerűsített számítási módszerek: Burland-féle megközelítés



Süllyedés becslése Randolph megközelítésével:

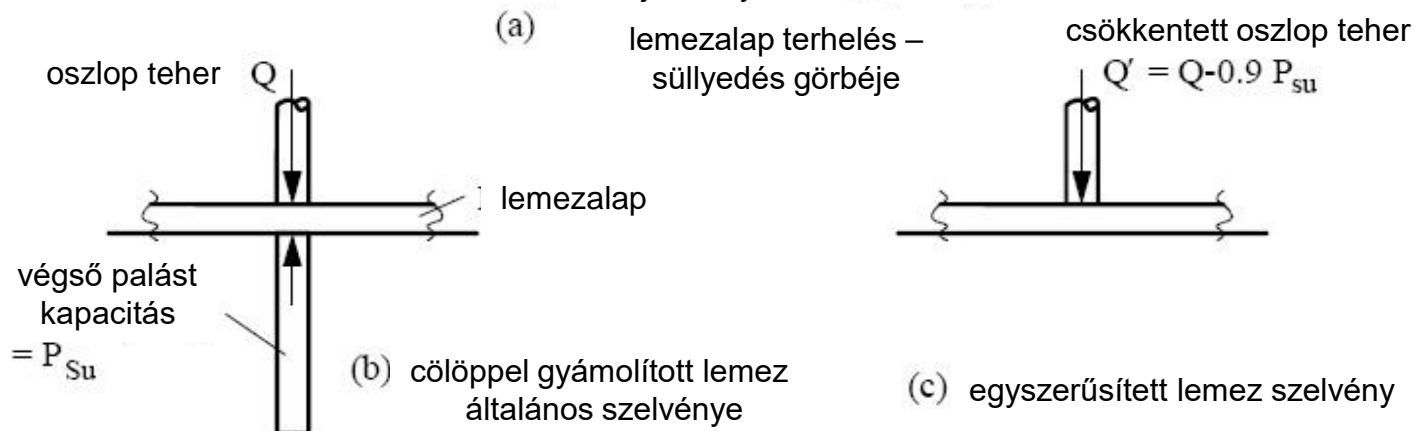
$$S_{pr} = \frac{S_r * K_r}{K_{pr}}$$

$S_{pr}$  = a cölöpökkel gyámoltott lemezalap süllyedése

$S_r$  = cölöpök nélküli lemezalap süllyedése a teljes tervezési terhelésből

$K_r$  = a lemezalap merevsége

$K_{pr}$  = a cölöpökkel gyámoltott lemezalap merevsége



## Közelítő számítógép-alapú módszerek

### „Rugókkal alátámasztott gerenda” modell:

A lemezalap egy szeletét egy rugalmasan ágyazott szalagalap jelképezi, a cölöpöket rugókkal modellezzük.

A numerikusan elvégzendő műveletek elvégzésére számítógép használata szükséges

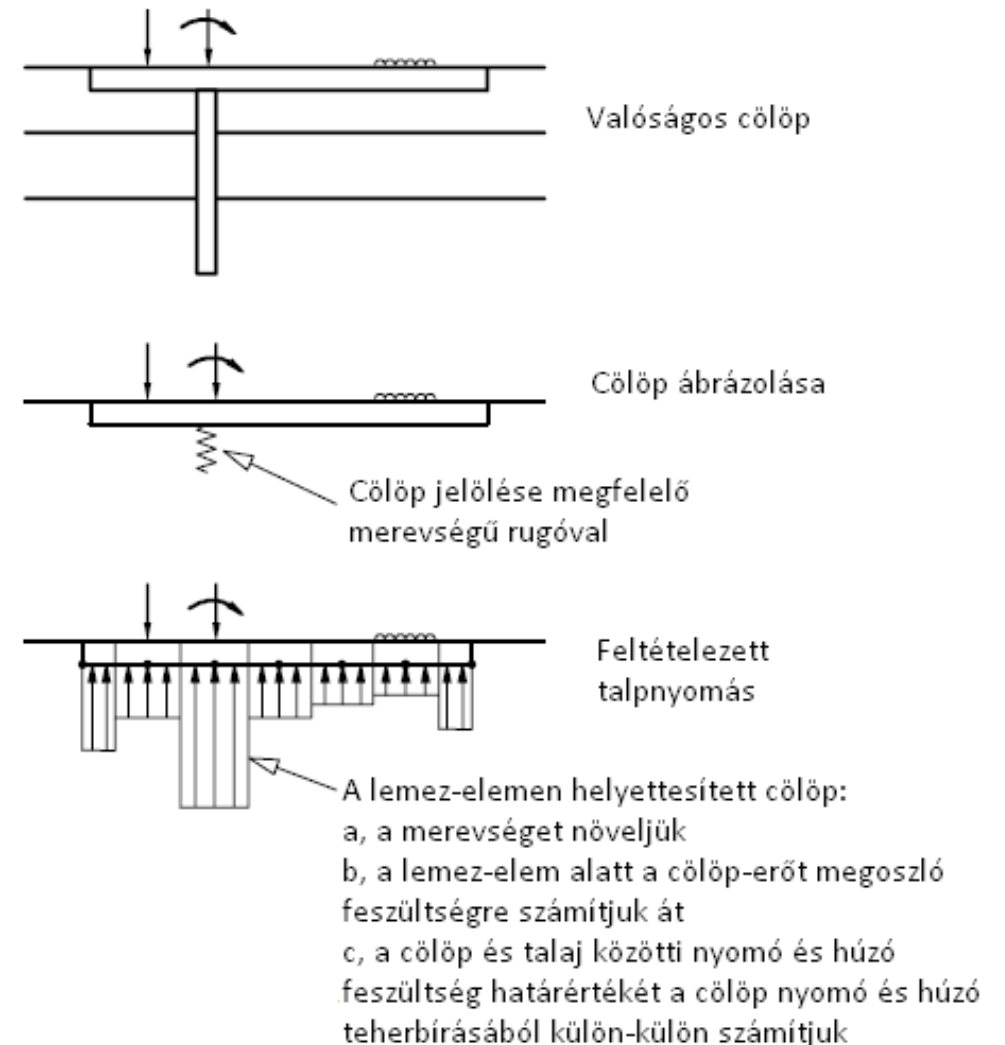
Korlátok: gerendák kompatibilitása, csavaró nyomaték hatását nem veszi figyelembe

### „Rugókkal alátámasztott lemez” modell:

A „gerenda” modellhez hasonló, teljes lemez figyelembe vételével.

A lemez és a cölöpök / cölöp csoportok alátámasztó hatását egymástól független, különböző merevségű rugókkal modellezhetjük.

Korlátok: nem lehet közvetlenül figyelembe venni a cölöpök, a lemez és a talaj kölcsönhatásait, a modell nagyon érzékeny az alkalmazott ágyazási tényezőkre (rugó állandókra)



## Közelítő számítógép-alapú módszerek

- Meghatározzuk a cölöpök nélküli lemez süllyedését és ágyazási együtthatóját.
- A cölöpöket csomóponti támaszként lehet modellezni és egy rugóállandóval, valamint egy határerővel lehet jellemezni.
- Általában próbaterhelési tapasztalatokra támaszkodva, a DIN 1054 által ajánlatott mobilizálódási görbéket figyelembe véve kerülnek megállapításra:
  - megállapítjuk a cölöp palástellenállásának végértékét – ennek teljes mobilizálódásához az átmérő 2 %-ával azonos süllyedés szükséges
  - megállapítjuk a cölöp talpellenállásának végértékét – ennek teljes mobilizálódásához az átmérő 10 %-ával azonos süllyedés szükséges
  - A talpellenállás 50 %-os értékéhez pedig az átmérő 3 %-ának megfelelő süllyedés kell

## Közelítő számítógép-alapú módszerek

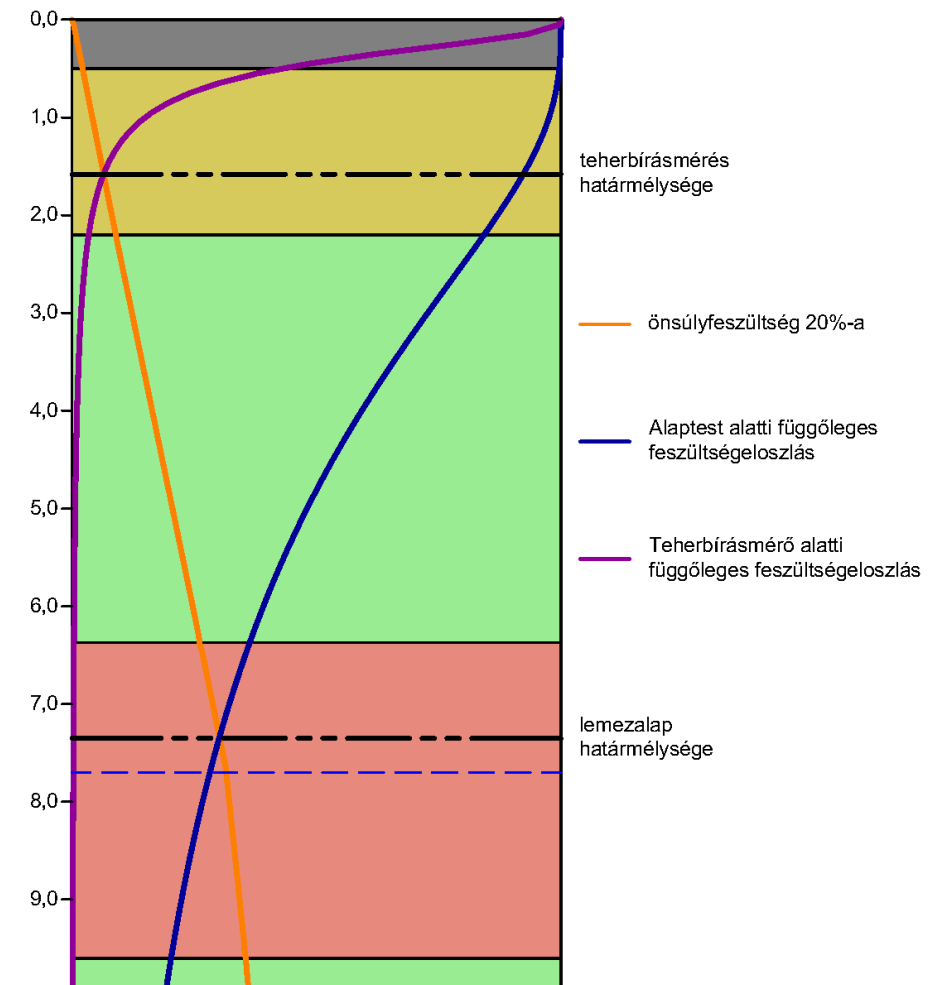
### Ágyazási tényező szórása:

- Különböző elméletekkel meghatározott ágyazási tényezők (közelítő, becsült, pontos)
- A tervezett szerkezetek lehetséges alakváltozás tartományának megfelelés

### Ágyazási tényező módosításának hatása:

- $C_{\dot{a}} < 5000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$  nagyon érzékeny
- $5000 \text{ kN/m}^2/\text{m} < C_{\dot{a}} < 10000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$  érzékeny
- $10000 \text{ kN/m}^2/\text{m} < C_{\dot{a}}$  kevésbé érzékeny

- Az ágyazó réteg nagy kiterjedésű lemezalapotok esetén, kis rétegvastagsága miatt nem befolyásolja nagy mértékben a lemezalap ágyazási tényezőjét.
- Elengedhetetlenül szükséges a teljes talajrétegződés figyelembe vétele a süllyedések meghatározása esetén.
- Az ágyazó rétegen mérhető teherbírasi értékek sekély határmélységük következtében nem reprezentálják a teljes rétegsor viselkedését.

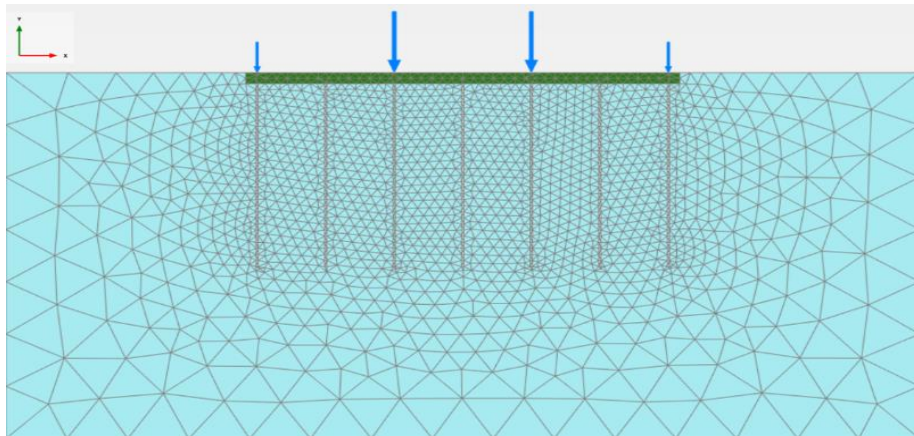


## Pontosított számítógép-alapú módszerek

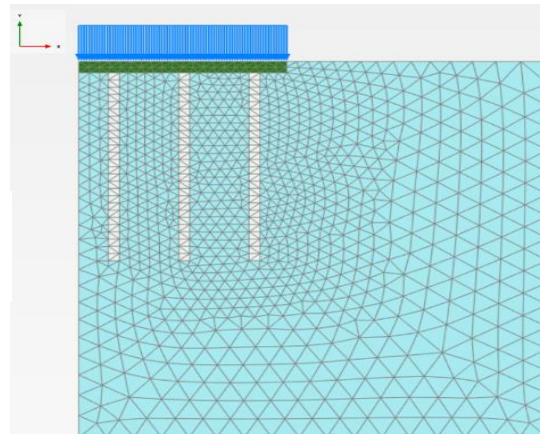
- **Speciálisan geotechnikai tervezéshez készített szoftverek alkalmazása (PLAXIS 3D, MIDAS GTS, FLAC):**
  - 2D és 3D modellezési lehetőségek
  - talajrétegződés pontos figyelembe vétele
  - hidrológiai, hidraulikai adottságok modellezése
  - talajfizikai paraméterek közvetlen alkalmazása
  - korszerű, nemlineáris talajmodellek (HS, HSS, SSC, ...)
  - drénezett és drénezetlen viselkedés figyelembe vétele
  - szerkezetek és talaj kölcsönhatásai
  - építési ütemek modellezése
  - felszerkezet és talaj együttes modellezése

## 2D modellezési lehetőségek

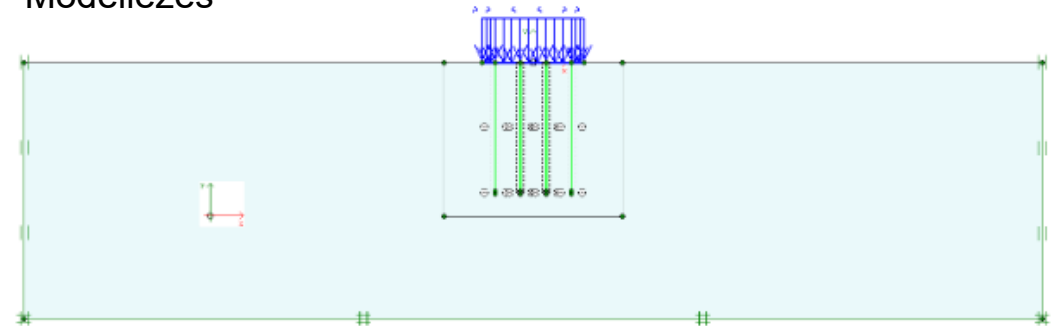
síkbeli vizsgálat



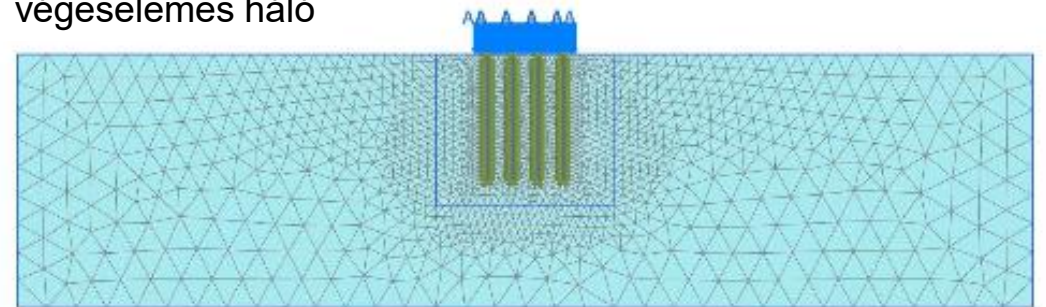
tengelyszimmetrikus vizsgálat



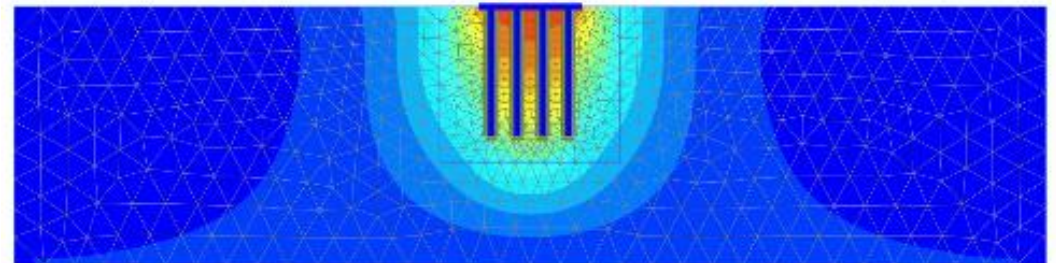
Modellezés



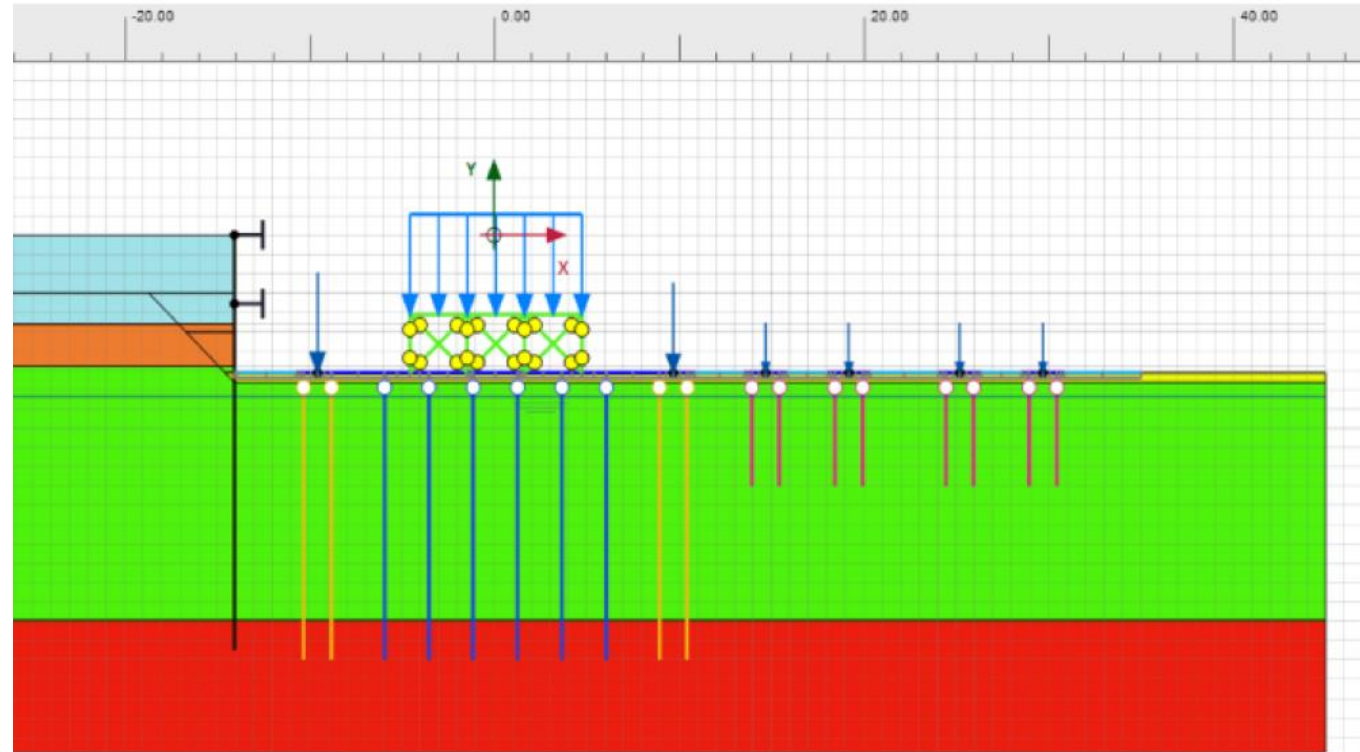
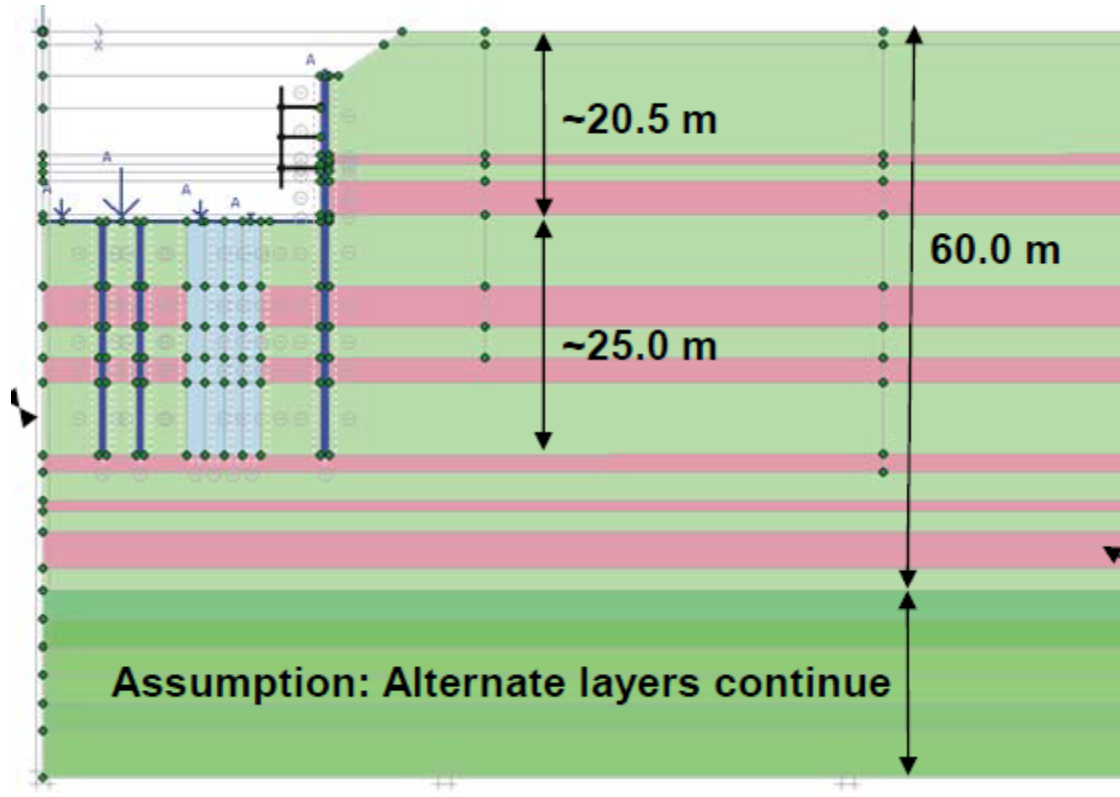
végeselemes háló



elmozdulások

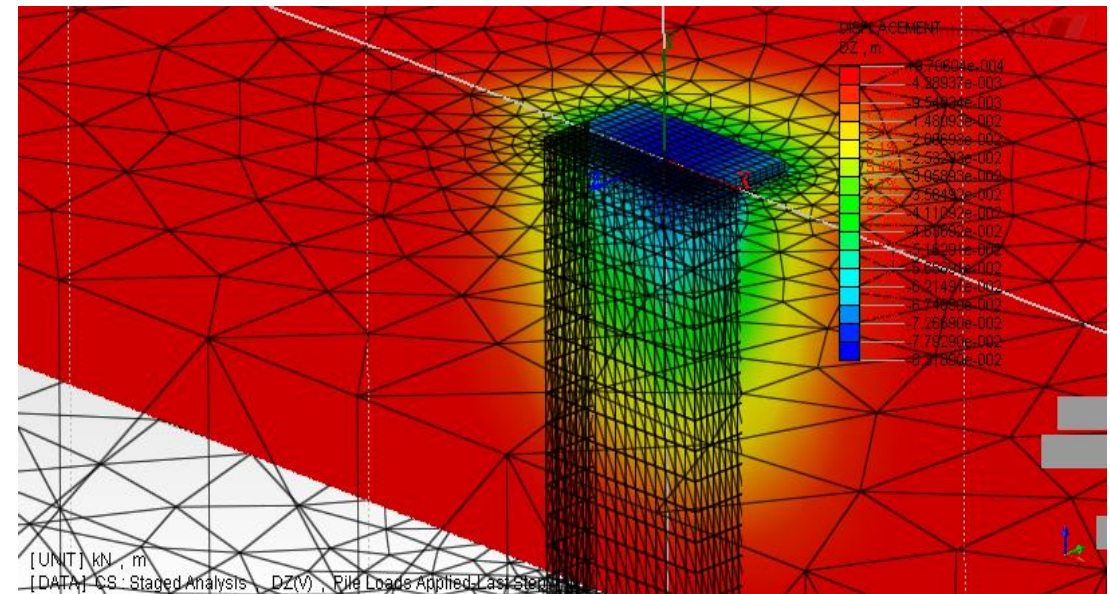
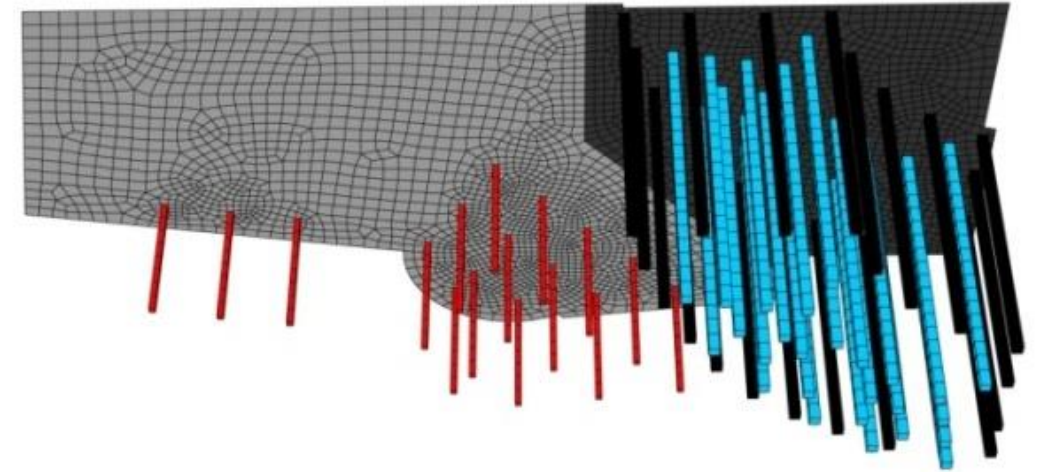
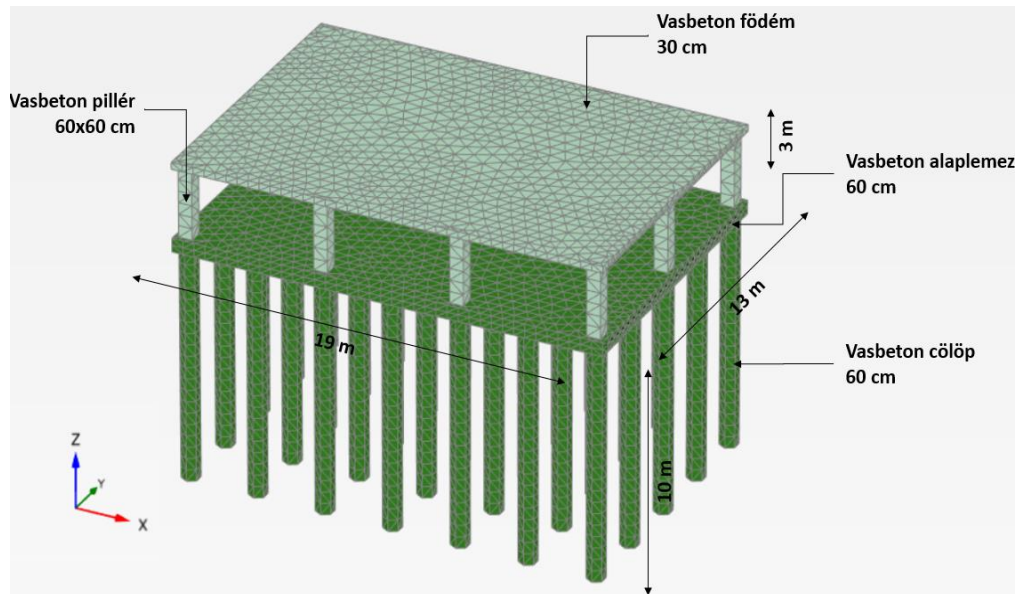


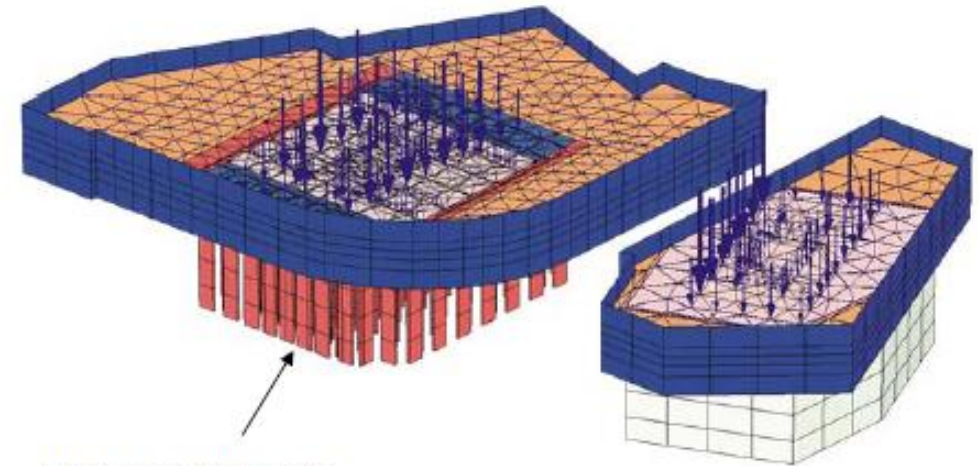
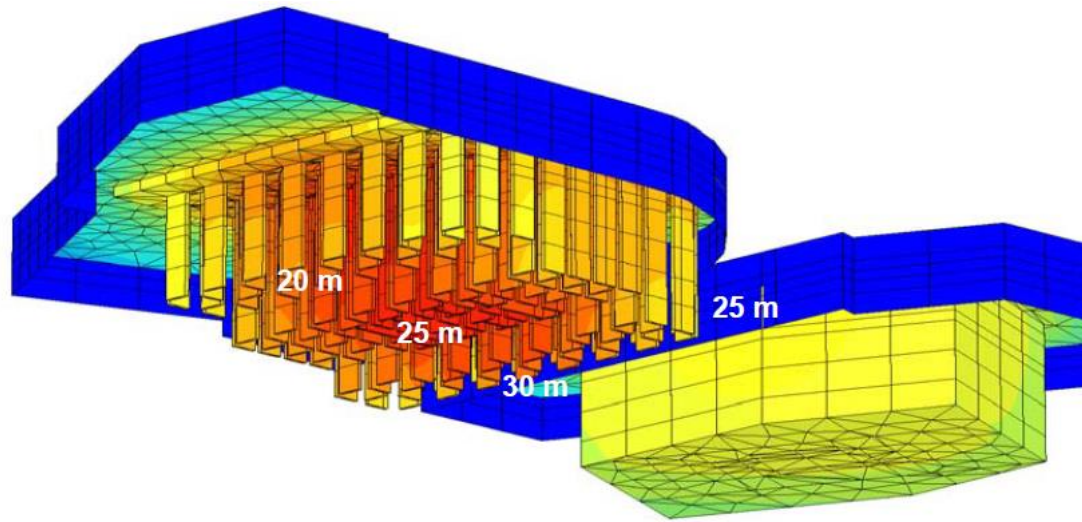




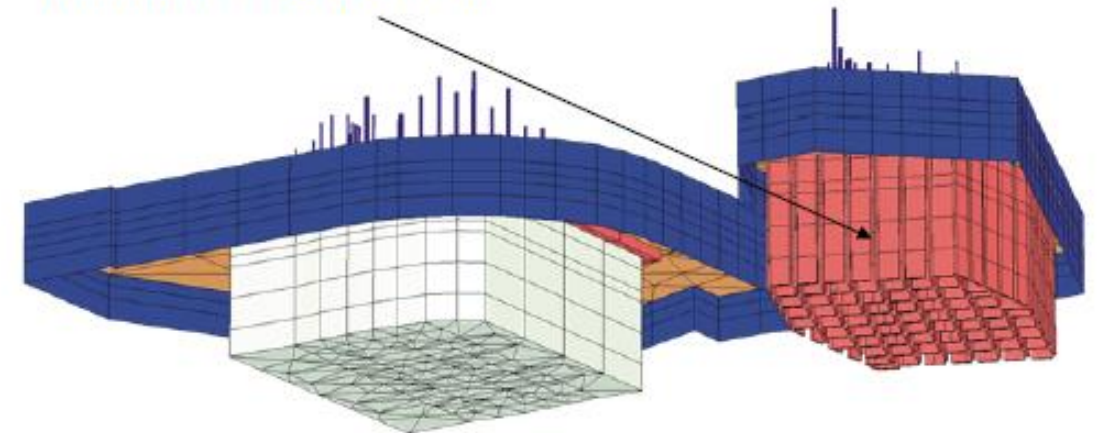
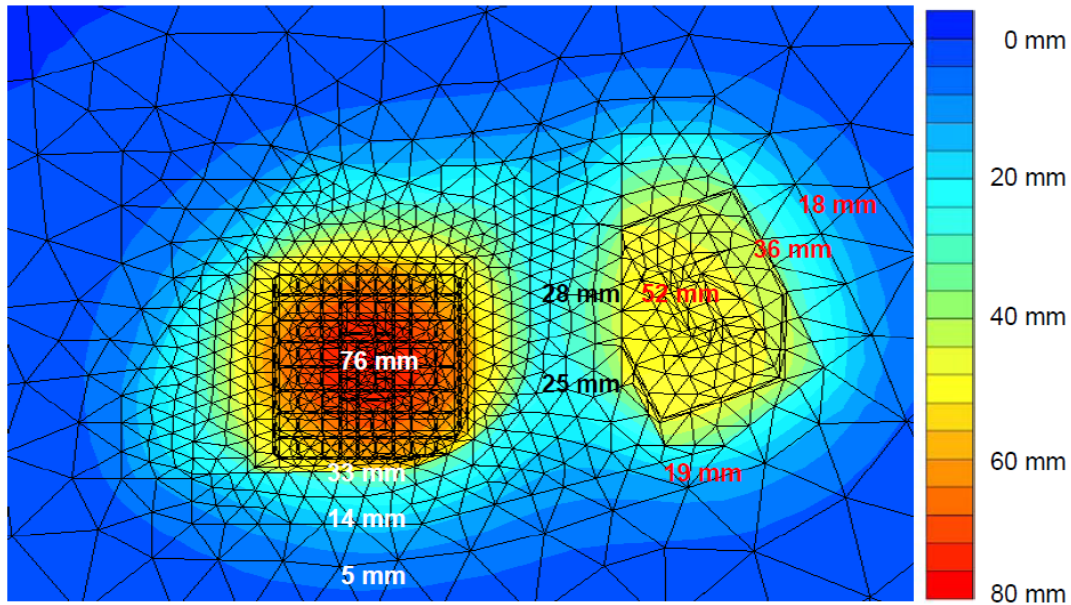
## 3D modellezési lehetőségek

- Bonyolult geometria modellezése
- A modell felbontásának csak a számítási kapacitás és a modellezésre álló idő szab határt





Barrettes with unit dimensions of 3.6 m x 0.6 m



**AxisVM szoftver:**

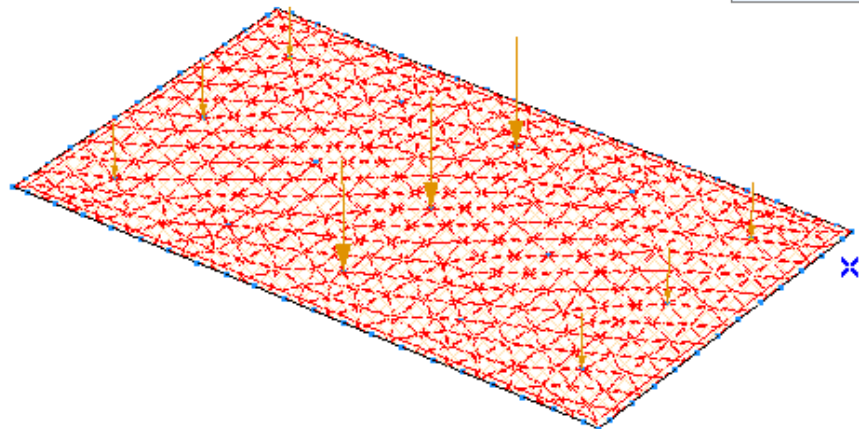
Fejtömb, lemezalap:

- Felületi támasz:



Cölöpök:

- Csomóponti támasz

**PLAXIS szoftver:**

Fejtömb, lemezalap:

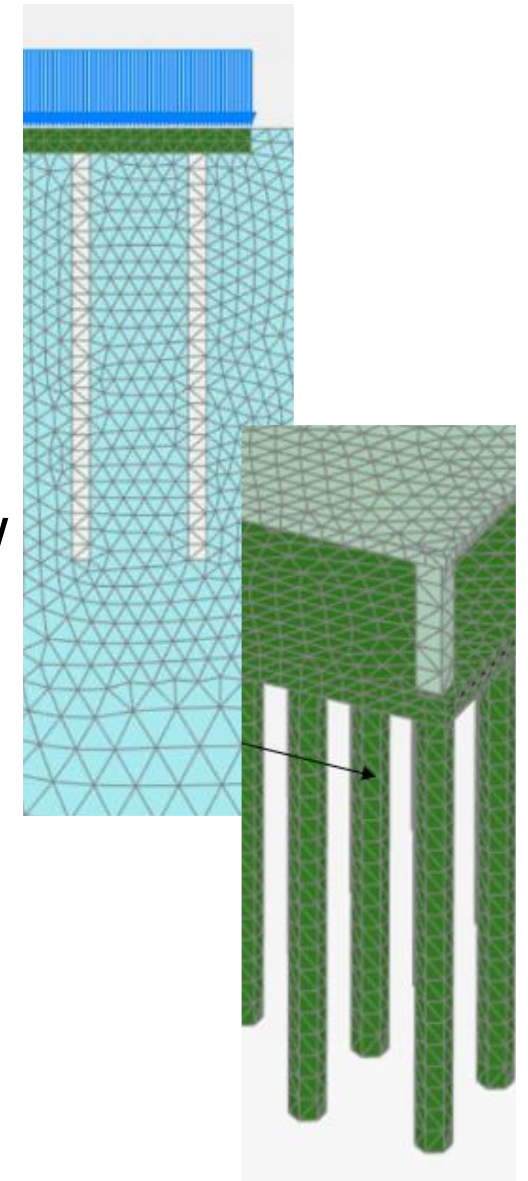
- Plate

**PLAXIS 2D:**

- Embedded beam (pile) row
- Plate

**PLAXIS 3D:**

- Embedded beam (pile)
- Volume pile



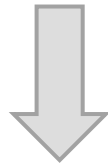
### Volume pile

- térfogati elem → valós geometria
- lineárisan rugalmas anyagmodell
- palástellenállás → határfelületi (interface) elem
- nagy elemszám
- feszültségek közvetlenül kinyerhetők
- igénybevételek – „weak beam”
- cölöp-lemez kapcsolat csak térfogati elemmel merev

### Embedded beam

- Plaxis 3D speciális elem
- palástellenállás – input paraméter/layer dependent
- talpellenállás – határerő
- kisebb elemszám
- igénybevétel közvetlen kinyerhető
- cölöp-lemez kapcsolat – EB-plate elem

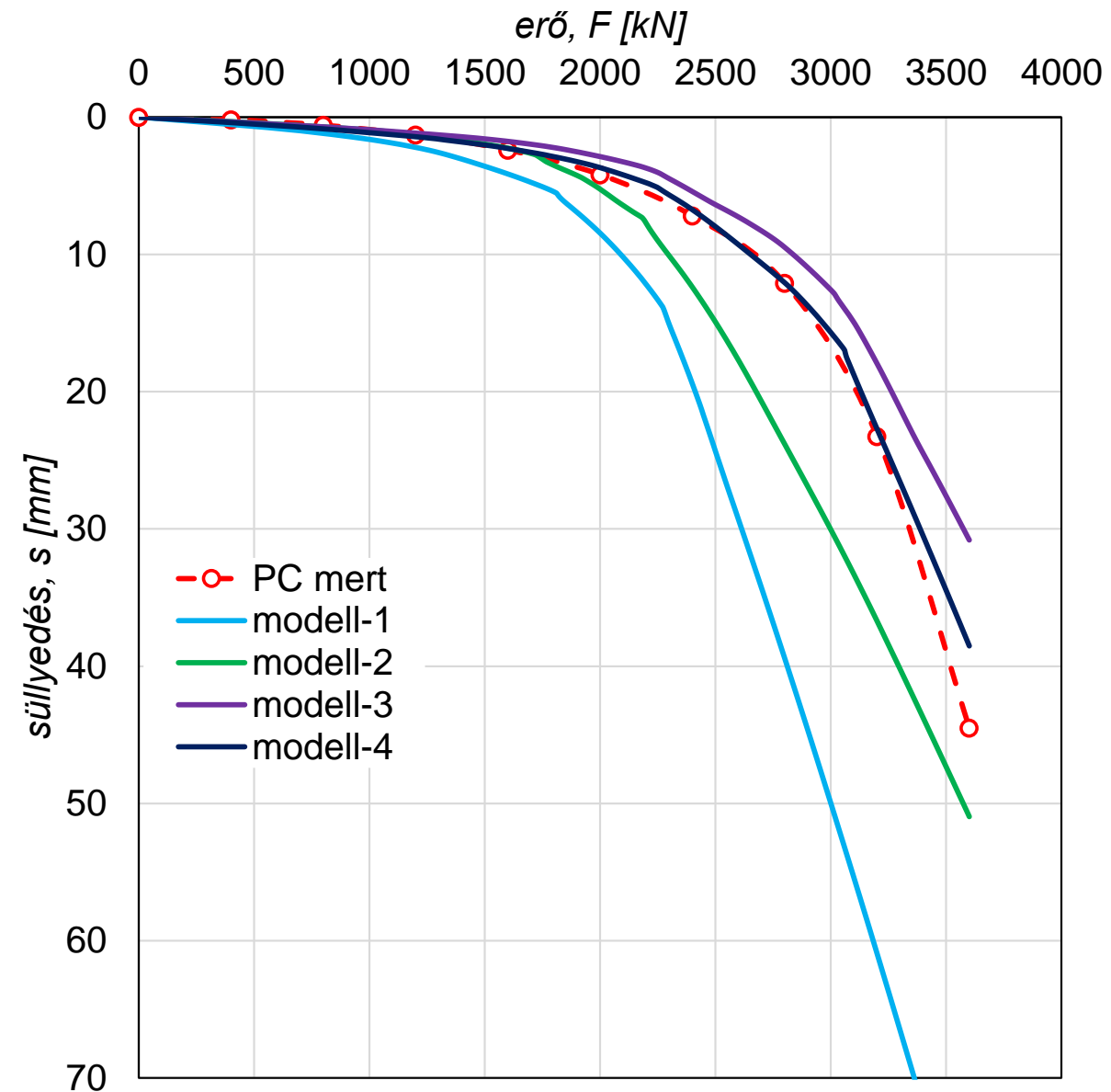
## Egyedi cölöp valós viselkedése



## Komplex viselkedés

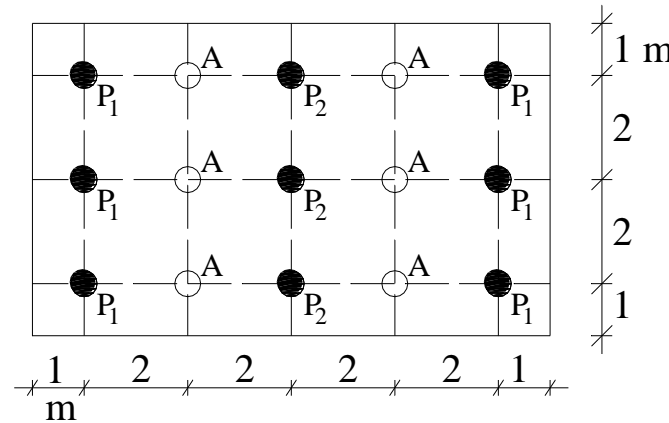
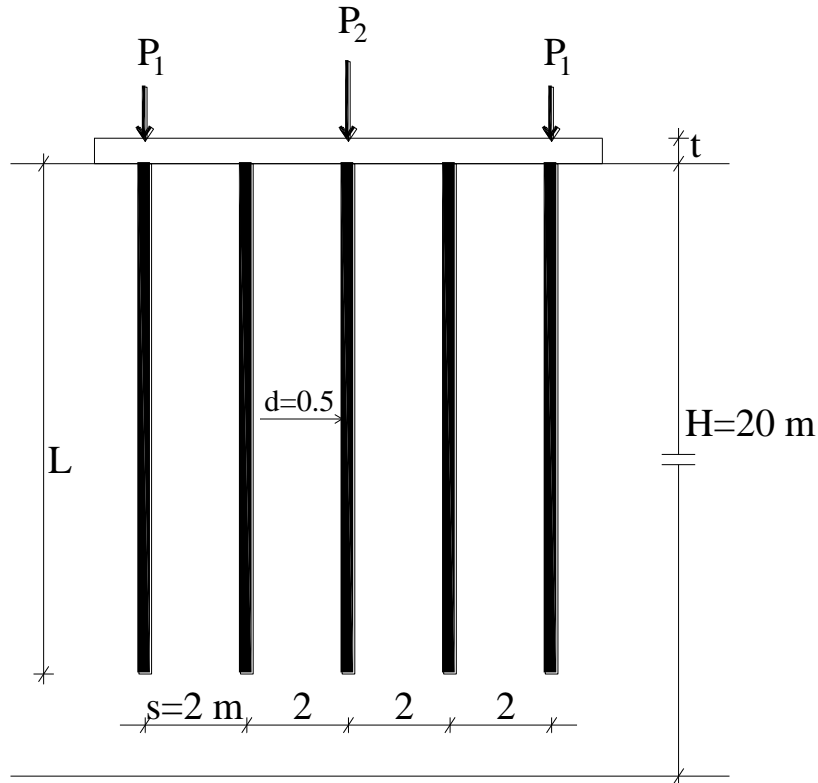
### Példa:

- ❑ embedded beam modell
- ❑ változatok:
  - ❑  $R_{inter}$
  - ❑  $G_0$
  - ❑  $R_{b,max}$
- ❑ egyéb befolyásoló tényezők
  - ❑ talaj nyírószilárdság
  - ❑ alakváltozási modulusok ( $E_{50}$ ,  $E_{oed}$ )
  - ❑ végeelem háló sűrűség





## Modellezés



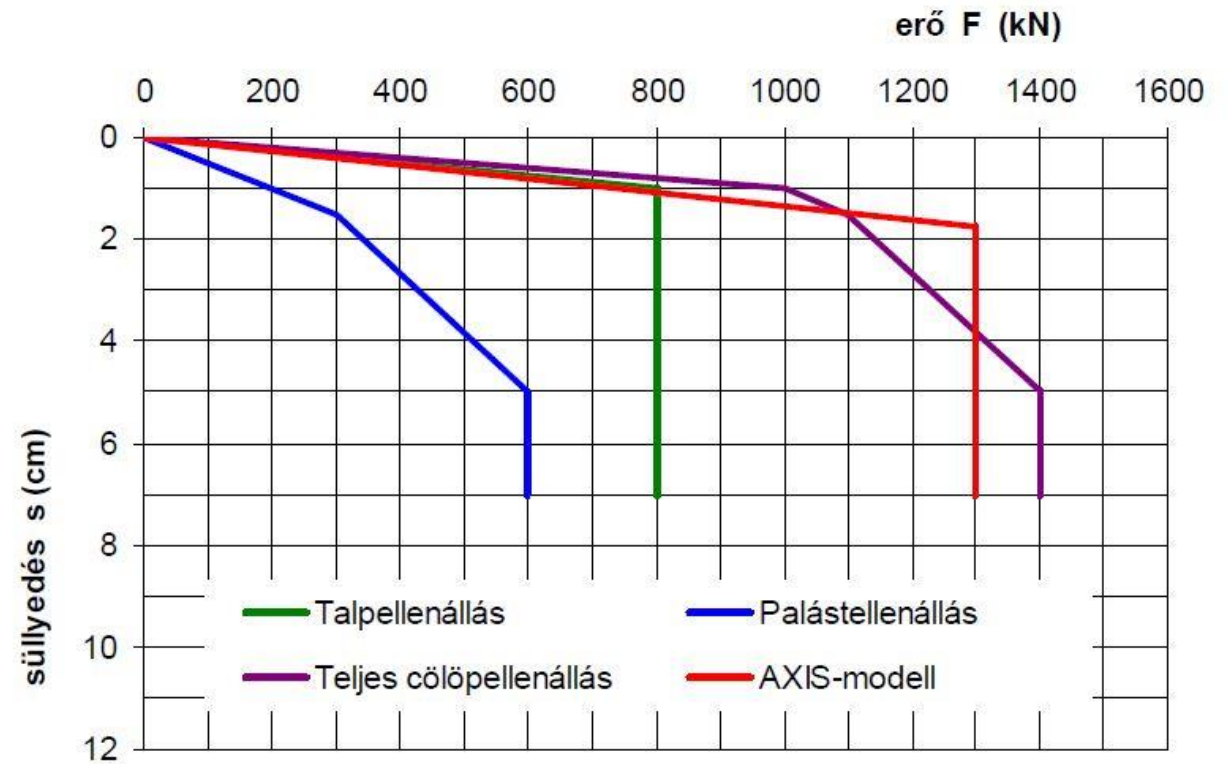
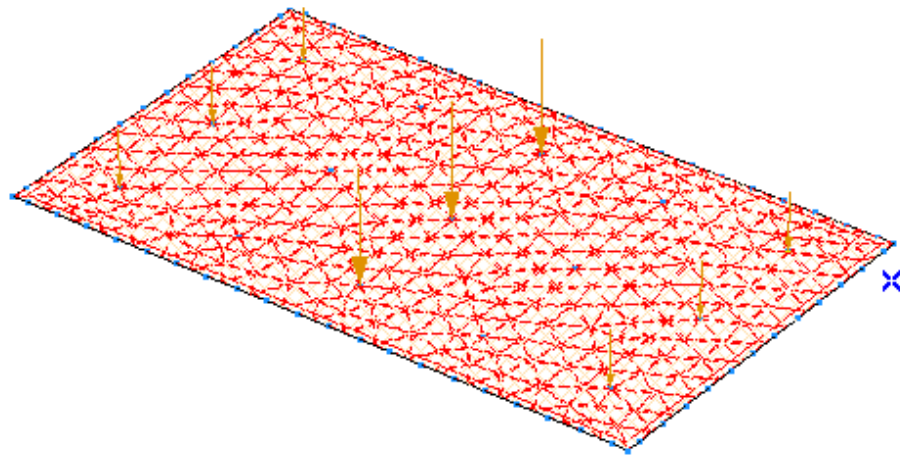
			talaj	lemez
rugalmassági modulus	E	kN/m <sup>2</sup>	20000	20000000
Poisson tényező	$\nu$	-	0,3	0,18
száraz térfogatsúly	$\gamma_d$	kN/m <sup>3</sup>	20	24
telített térfogatsúly	$\gamma_t$	kN/m <sup>3</sup>	20	-
kohézió	c	kN/m <sup>2</sup>	75	
belső súrlódási szög	$\varphi$	°	0	

A vizsgált modell geometriai kialakítása és jellemzői



## AXIS VM modell

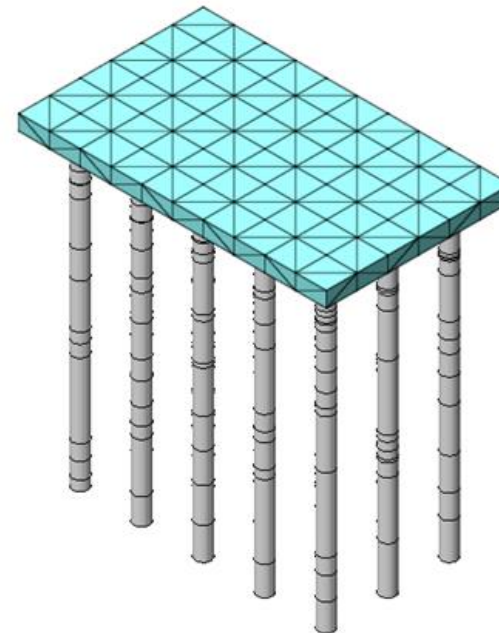
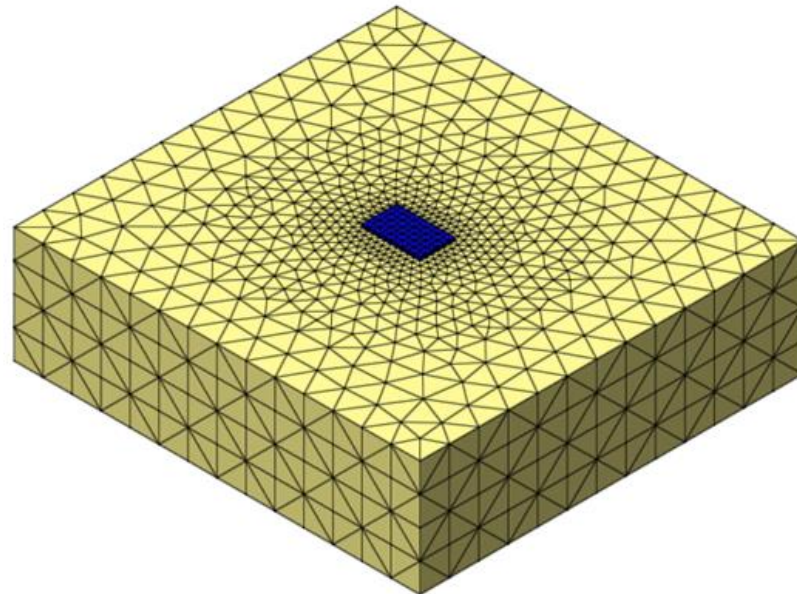
- Ágyazási tényező meghatározása
- Csomóponti támaszok definiálása
  - Rugóállandó
  - Határerő



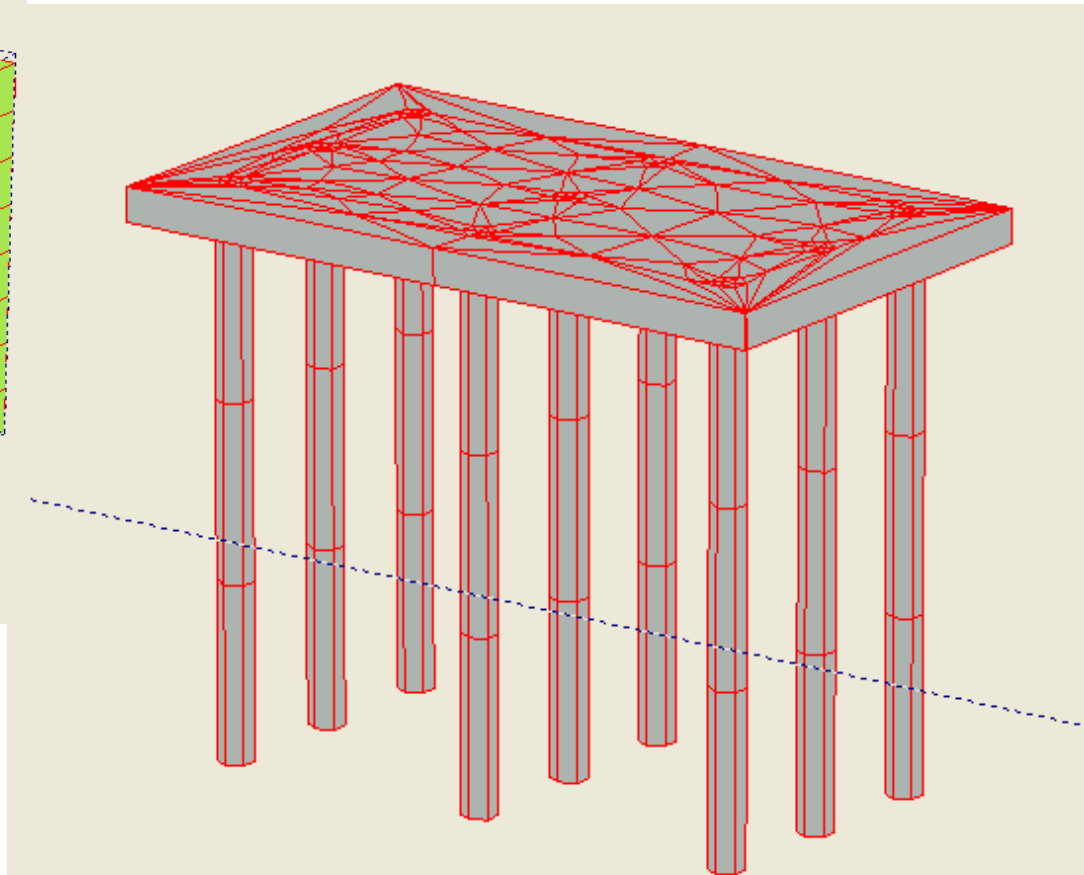
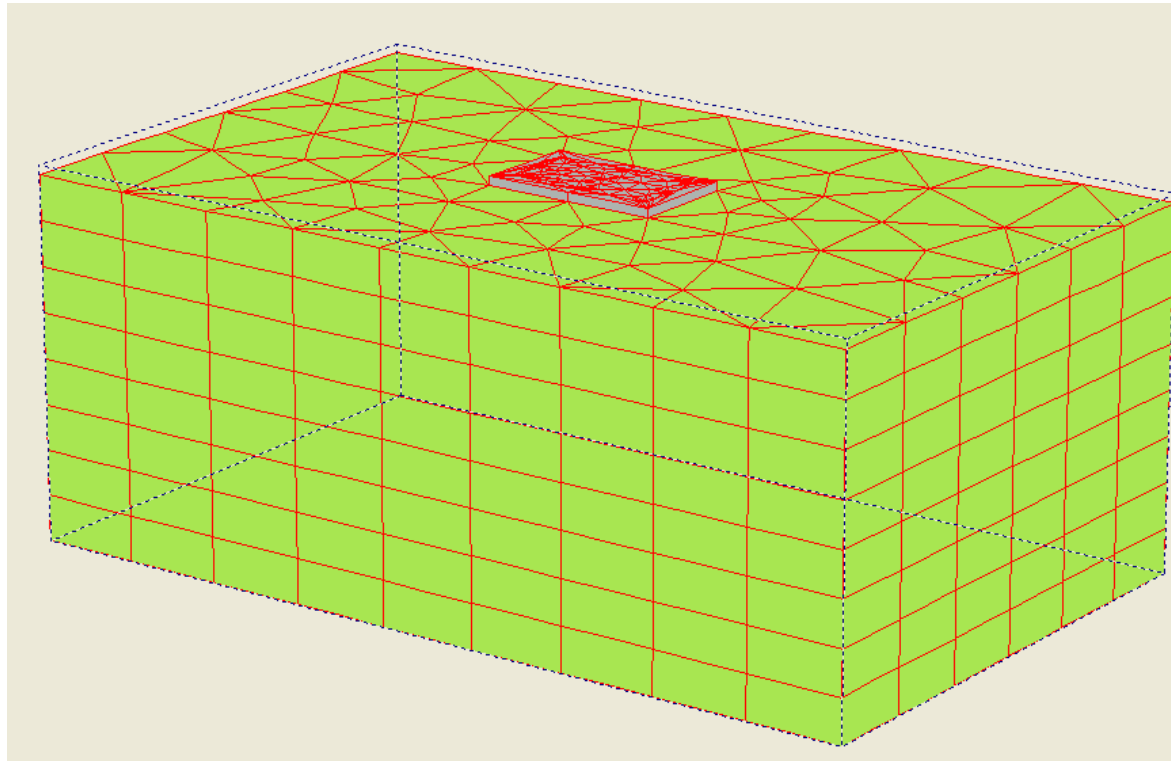
## MIDAS GTS modell

A cölöpök és a talaj közötti kapcsolat paraméterei a MIDAS GTS programban

ultimate shear force	nyírási ellenállás határértéke folyóméterenként	kN/m	80
shear stiffness modulus	fajlagos nyírási ellenállás mobilizálódását kifejező modulus	kN/m <sup>2</sup> /m	1E+06
normal stiffness modulus	az interfész elem összenyomhatóságát kifejező modulus	kN/m <sup>2</sup> /m	1E+08
tip bearing capacity	a talpellenállás határértéke	kN	700
tip spring stiffness	a talpellenállás rugóállandója	kN/m	1E+06



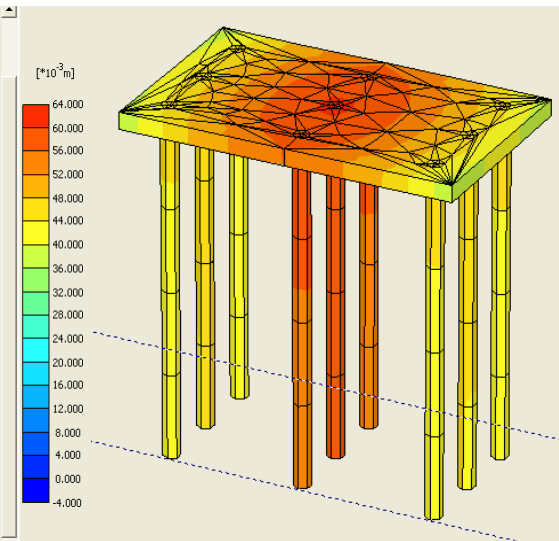
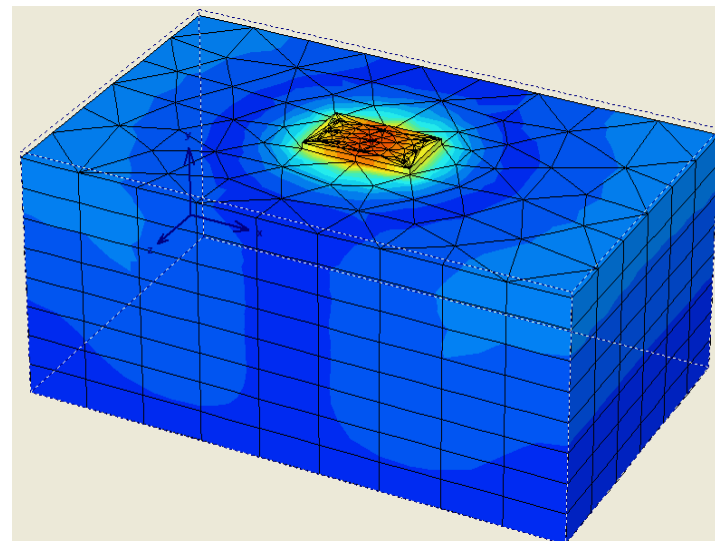
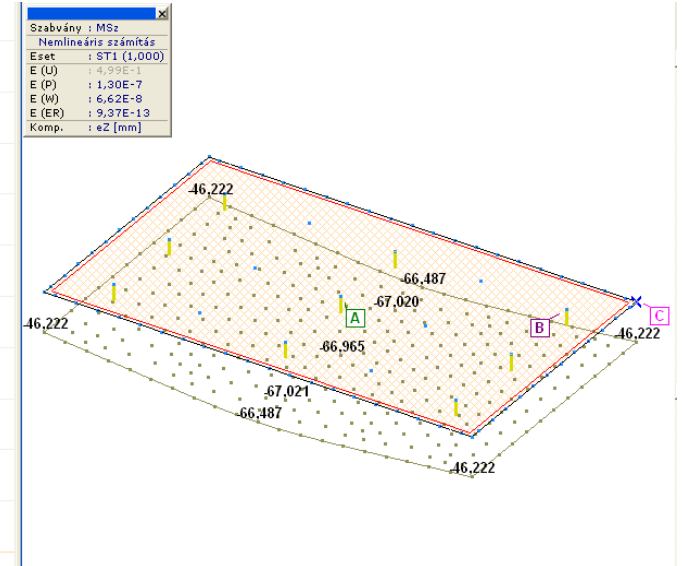
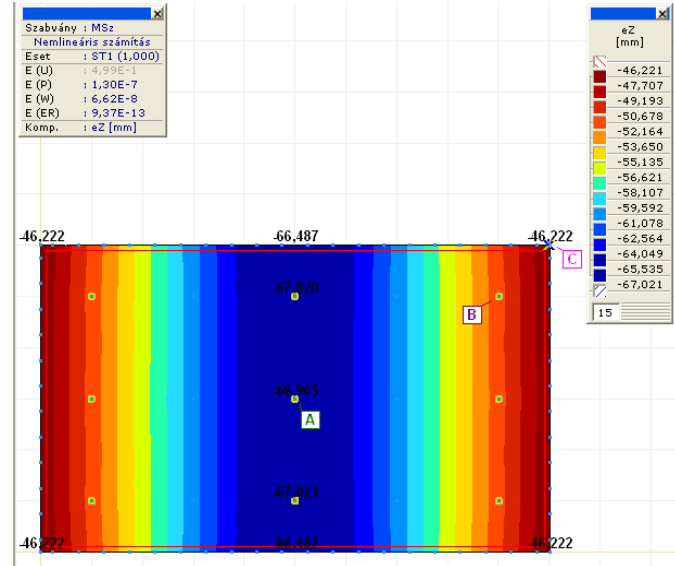
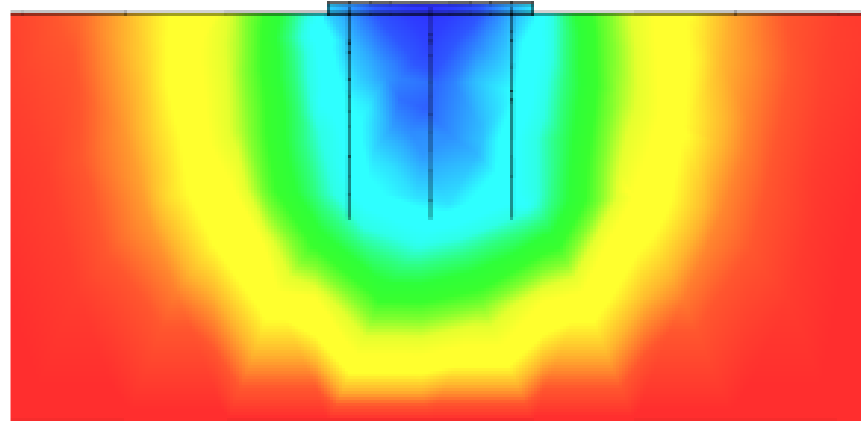
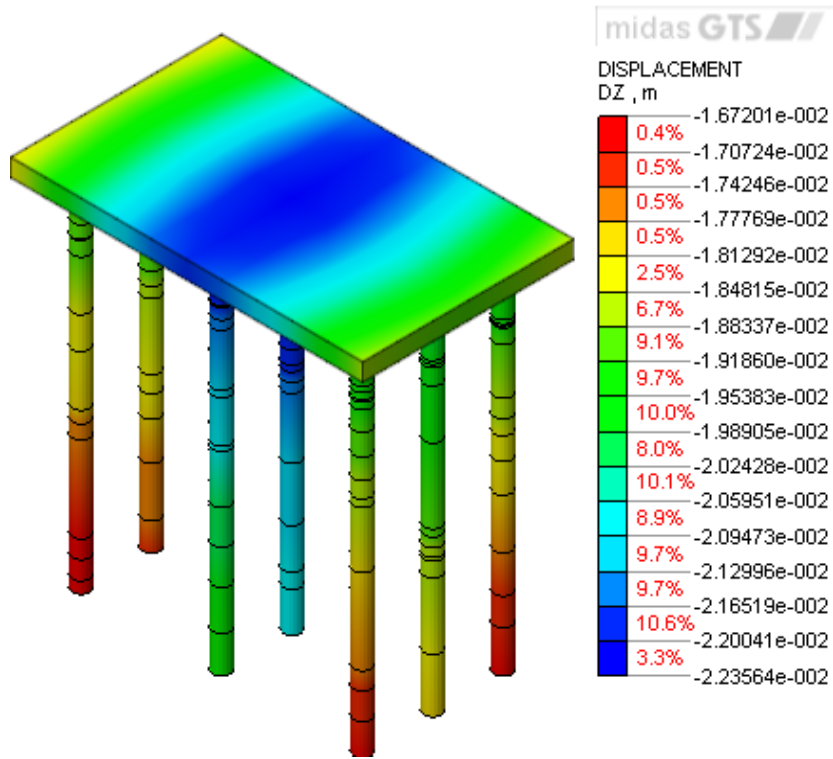
## PLAXIS 3D Foundation modell



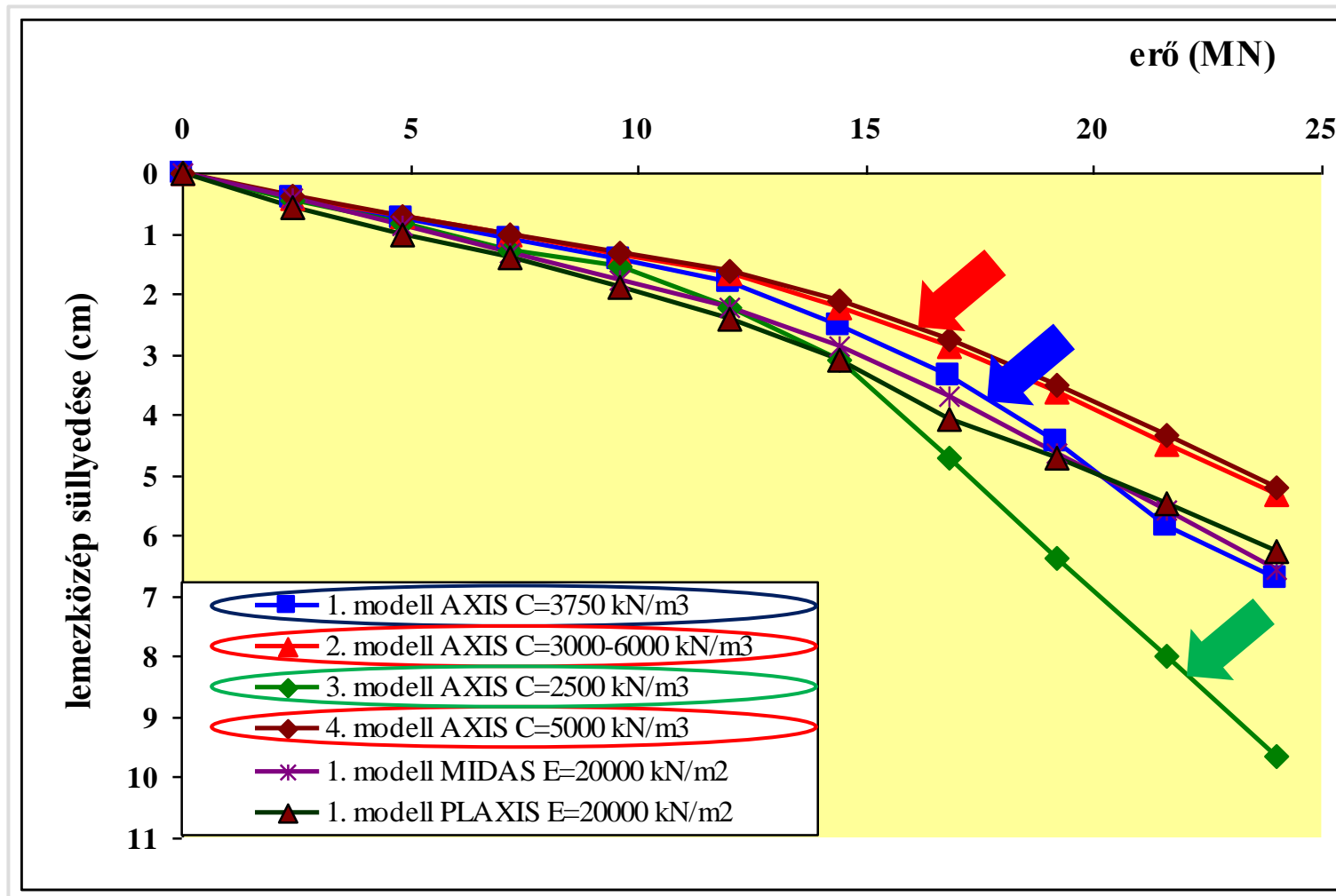
Változtatott modellparaméterek:

**Ágyazási tényező; Cölöpök mennyisége; Cölöpök hossza; Lemez vastagsága**

Ssz.	Lemez- vastagság v (cm)	Cölöp szám N (db)	Cölöp hossz l (m)	Cölöp rugóállandó K (kN/m)	Cölöp hataérfő F <sub>H</sub> (kN)	Lemez ágyazási tényező C (kN/m <sup>3</sup> )	Program		
1	50	9	10	75 000	1300	3750	AXIS		
2	50	9	10	75 000	1300	3000- 6000	AXIS	MIDAS	PLAXIS
3	50	9	10	75 000	1300	2500	AXIS		
4	50	9	10	75 000	1300	5000	AXIS		
5	50	9	7,5	60 000	1100	3750	AXIS		
6	50	9	12,5	100 000	1500	3750	AXIS	MIDAS	PLAXIS
7	50	3	10	75 000	1300	3750	AXIS	MIDAS	PLAXIS
8	50	15	10	75 000	1300	3750	AXIS	MIDAS	PLAXIS
9	30	9	10	75 000	1300	3750	AXIS	MIDAS	PLAXIS
10	70	9	10	75 000	1300	3750	AXIS	MIDAS	PLAXIS
11	50	0	0	0	0	3750	AXIS	MIDAS	PLAXIS
12	50	0	0	0	0	3000- 6000	AXIS		
13	50	0	0	0	0	2500	AXIS		
14	50	0	0	0	0	5000	AXIS		

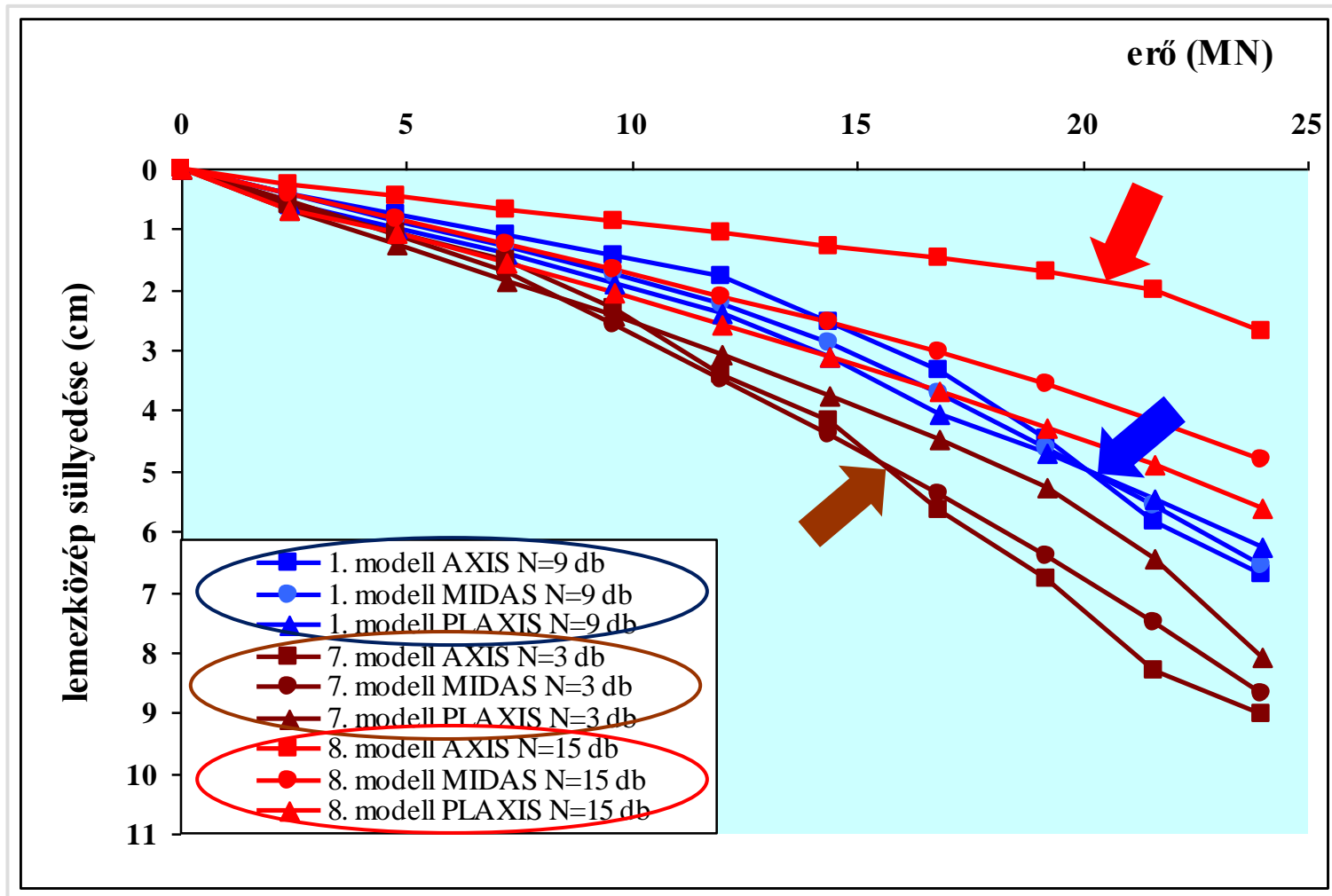


## Terhelés - süllyedés vizsgálata különböző számítási módszerek alapján



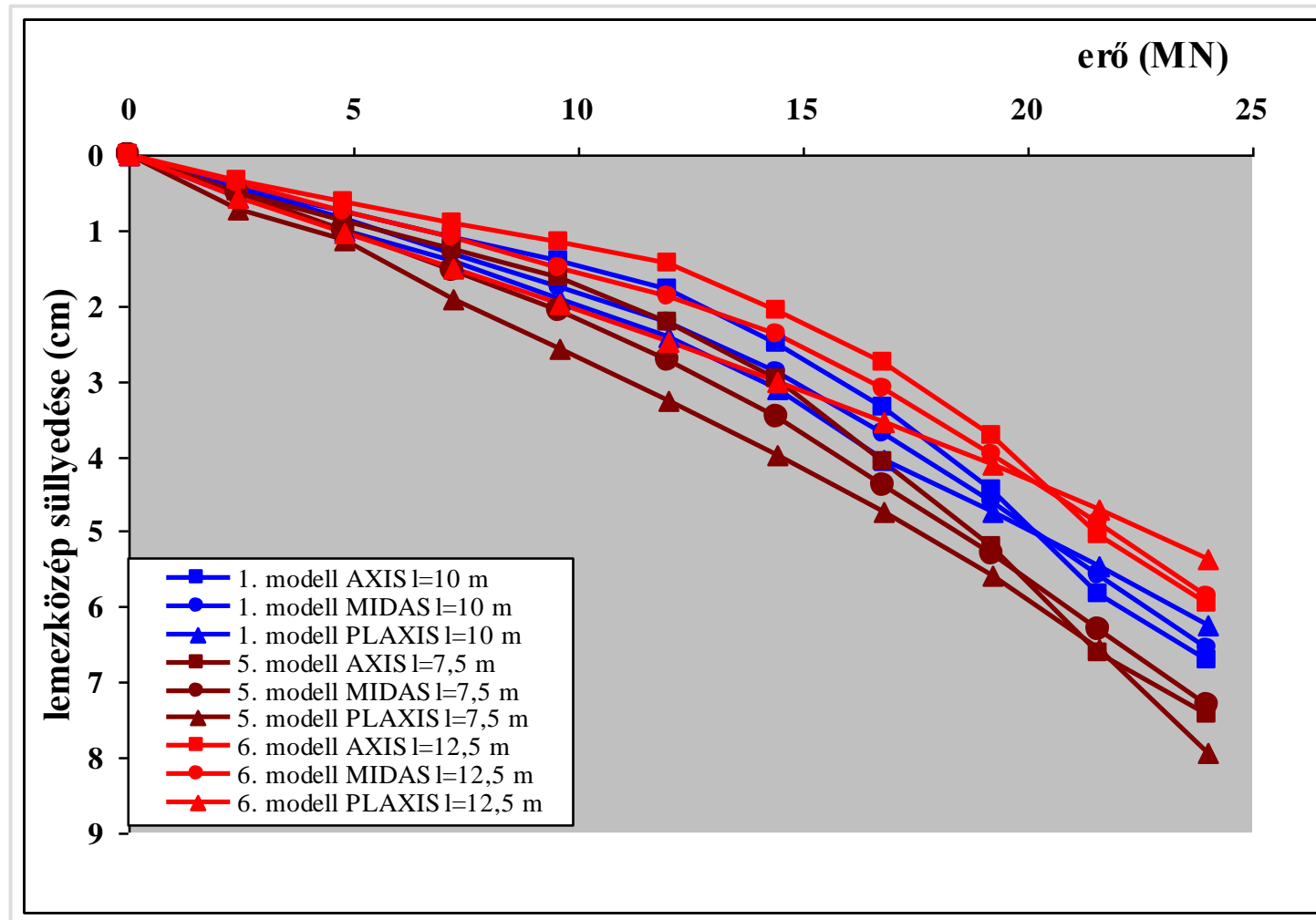
N=9 db;  
 D=50 cm;  
 l=10 m;  
 v= 50 cm

## Terhelés - süllyedés vizsgálata különböző számítási módszerek alapján



N=változó;  
 D=50 cm;  
 l=10 m;  
 v= 50 cm

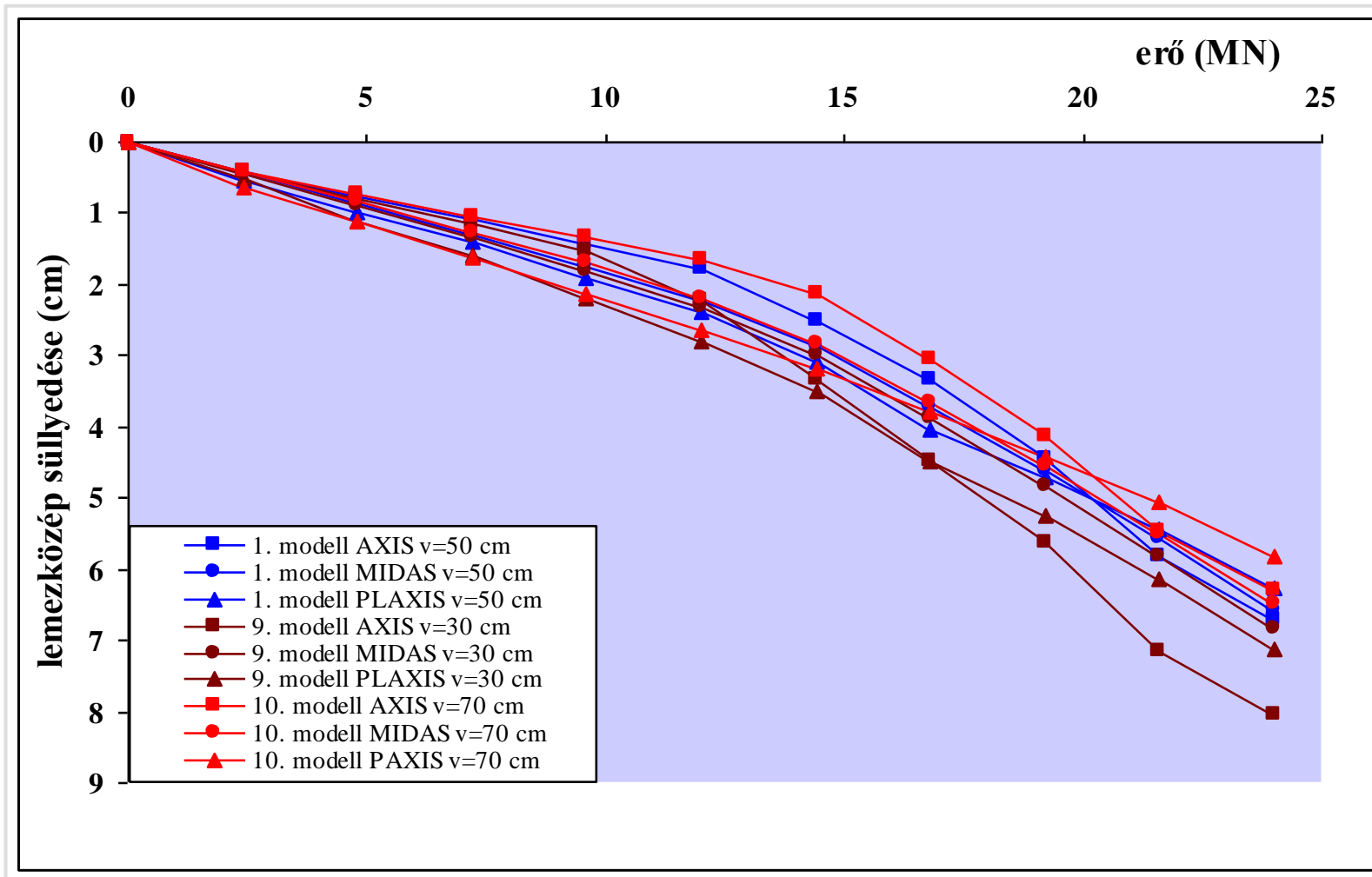
## Terhelés - süllyedés vizsgálata különböző számítási módszerek alapján



N=9 db;  
D=50 cm;  
l=változó;  
v= 50 cm



## Terhelés - süllyedés vizsgálata különböző számítási módszerek alapján

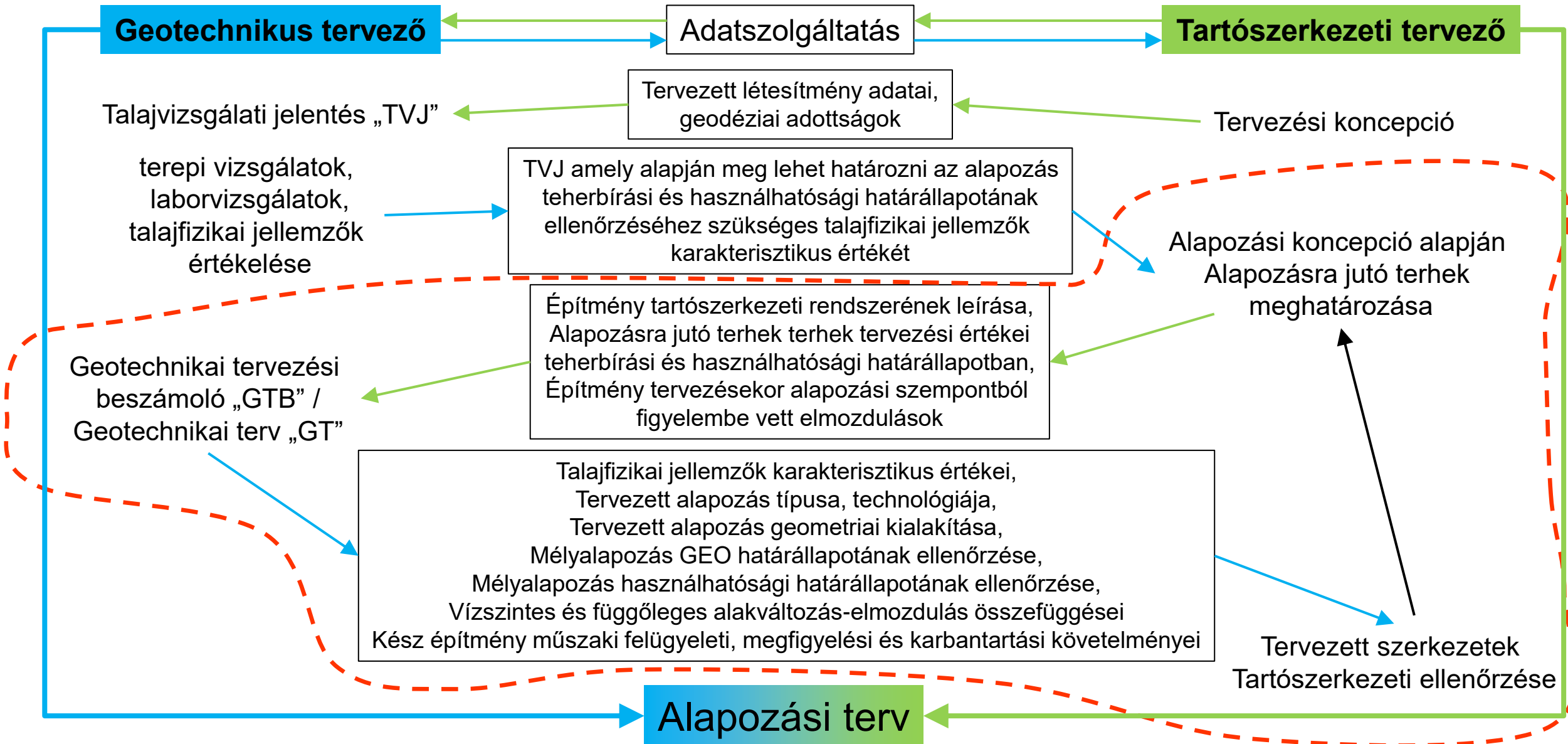


N=9 db;  
 D=50 cm;  
 l=10 m;  
 V=változó

## Különböző szoftverek összehasonlítása:

- **Az összes futtatás tanulságai:**
  - a cölöpök a maximális süllyedéseket csökkentik
  - a cölöpök a lemezközép nyomatékait csökkentik
  - a középső cölöpök hamar elérik a határerejüket
  - a szélső cölöpök kihasználtsága kisebb, de aztán 100 %-os lesz
- **A MIDAS-PLAXIS futtatások tanulságai:**
  - a középső cölöpre jutó erők egy bizonyos terhelésig kisebbek, mint a külső cölöpöké, kihasználtságuk nagyban függ a szerkezet jellemzőitől, a teher növekedésével aztán mindegyik cölöp kihasználtsága itt is 100 % lesz.
    - **Az Eredmények értékelése:**
      - alkalmazott számítások mellett az egyezés jó a 3 vizsgált programmal
      - kisebb különbségek esetén a MIDAS-PLAXIS futtatás jobb eredményt ad
      - nagyobb különbség a nagyszámú cölöp és vékony lemez esetén van



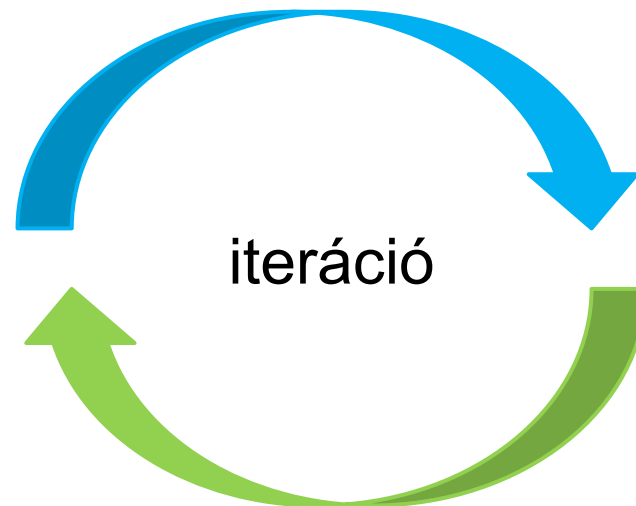


## Geotechnikai vizsgálat

- PLAXIS 2D
- sík alakváltó és tengelyszimmetrikus modell
- felszerkezet merevsége
- ágyazási tényezők, rugómerevségek

## Szerkezeti méretezés

- AXIS VM szoftver
- lemez – elemek alkalmazása
- rugalmas felületi ágyazás
- cölöpök pontszerű rugalmas támaszok





# KÖSZÖNÖM A FIGYELMET