



**Zehnder ComfoTube 75 és 90 rugalmas szellőző csőrendszer
monolit vasbeton síklemez födémbe történő beépíthetőségének
tartószerkezeti vizsgálata**

Budapest, 2023. július 18.

A dokumentum szerzői jogi védelem alatt áll, összhangban a szellemi tulajdon védelmére vonatkozó egyéb rendelkezésekkel. Ennek megfelelően a törvény tiltja a tartalom bármilyen jellegű felhasználását, hacsak a Zehnder Group GmbH. nem adta ehhez előzetes írásbeli hozzájárulását.

Dr. Hortobágyi Zsolt SZÉSI 01-10497
PhD, okl. építőmérnök, egyetemi docens
igazságügyi tartószerkezeti szakértő
M.hely: BME Tartószerkezetek Mechanikája TSZ

1. A RENDSZER ISMERTETÉSE

A Zehnder ComfoTube 75 és 90 egy könnyen szerelhető nagy molekulásűrűségű polietilén HDPE anyagú körkeresztmetszetű műanyag légtechnikai cső speciális szellőztetési célokra lett kifejlesztve. A 75 mm külső és 63 mm belső átmérőjű, illetve 90 mm külső és 74 mm belső átmérőjű nagysűrűségű polietilén (PE-HD) csöveket (1. ábra) a monolit vasbeton lemezbe kell elhelyezni a betonozás előtt. Az elszívást és befűvást egyaránt biztosító csövek szintenként a födémen kívül elhelyezett elosztó dobozokhoz csatlakoznak.



1. ábra Légtechnikai cső

A födémbe elhelyezett légtechnikai csövek szükséges betontakarása és a minimális födémvastagságok:

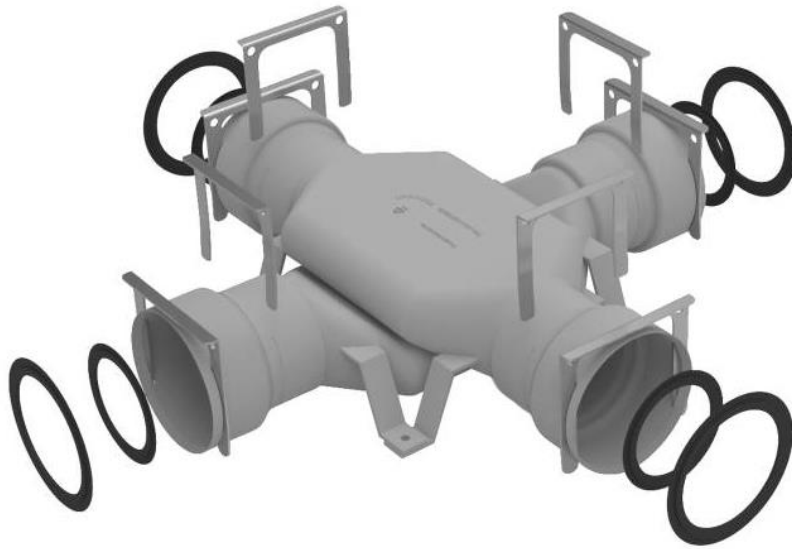
Tűzállósági követelmény:	0	30 perc	60 perc	90 perc
Alsó betontakarás:	50 mm	50 mm	80 mm	100 mm
Felső betontakarás:	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Födém minimális összvastagsága keresztező légtechnikai vezetékek nélkül:	180 mm	200 mm	220 mm	240 mm
Födém minimális összvastagsága keresztező légtechnikai vezetékek esetén:	200 mm	220 mm	240 mm	260 mm

1. táblázat Zehnder ConfoTube 75 légtechnikai csőrendszer

Tűzállósági követelmény:	0	30 perc	60 perc	90 perc
Alsó betontakarás:	50 mm	50 mm	80 mm	100 mm
Felső betontakarás:	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Födém minimális összvastagsága keresztező légtechnikai vezetékek nélkül:	200 mm	210 mm	230 mm	250 mm
Födém minimális összvastagsága keresztező légtechnikai vezetékek esetén:	220 mm	230 mm	250 mm	270 mm

2. táblázat Zehnder ConfoTube 90 légtechnikai csőrendszer

A légtechnikai csövek keresztezése a födémben csak speciális szűkítő (2. ábra) alkalmazásával megengedett.



2. ábra Keresztezéshez szükséges átalakító

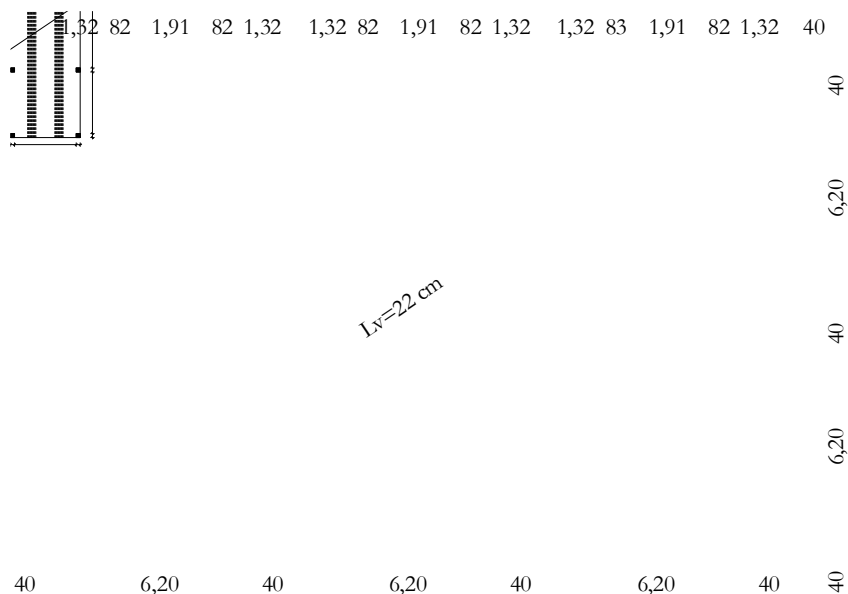
A csövek között minimum a csövek külső átmérőjének megfelelő távolságot, azaz 75, illetve 90 mm távolságot kell biztosítani. Az elosztó dobozból induló/érkező légtechnikai csövek a doboz közelében ennek a feltételnek nem tudnak megfelelni, de törekedni kell arra, hogy az elosztó doboztól távolodva minél hamarabb meglegyen a csövek közötti 75, illetve 90 mm-es távolság. A csövek közötti távolság alatt nem tengelytávot, hanem a csövek szomszédos szélei közötti távolságot kell érteni. A légtechnikai csöveket gondosan rögzíteni kell, hogy betonozás közben ne tudjanak elmozdulni, illetve felúszni. Praktikusan az alsó vasaláshoz kell kötnöni őket. A légtechnikai csövek minimális hajlítási sugara $1xD$, azaz 75, illetve 90 mm (hajlítási átmérő min. $2xD$ (150 illetve 180 mm)).

Az oszlopok, falvégek közelében az átszűrődési vasalással ellátott födémzónákat el kell kerülni a gégecsövek fektetésénél. Tanácsos minimum 6 szoros lemezvastagságnyi távolságot tartani az oszlopok, falvégek szélétől.

A födém statikai számítása során el lehet tekinteni a gégecsövek födémben történő elhelyezkedésétől, mivel azok a födémlemez nyomott betonövét nem csökkentik. Amennyiben a nyírásra kihasznált zónáktól távol vezetjük a csöveket, úgy a lecsökkent betonkeresztmetszet nyírási ellenállása nagyobb, mint a kialakult nyírási hatások értéke. A födém lehajlásának mértékét sem befolyásolják a födémben elhelyezett csövek. Az elvégzett numerikus vizsgálat lehajlás eredménye azt mutatja, hogy a kikönnyítésnek köszönhetően a födém lehajlása még csökkent is, mintha nem lettek volna légtechnikai csövek a födémben. (A födém merevsége kisebb mértékben csökkent, mint a födém önsúlyának csökkenése.)

2. MINTASZÁMÍTÁS 3D (SOLID) ELEMekkel

A példaszámításban összehasonlítottunk egy csövek nélküli tömör födém eredményeit (lehajlásokat, főfeszültségeket) egy gégecsövekkel ellátott födém eredményeivel. Mivel a gégecsövek gyengítő hatását a megszokott felületi lemezmodellt alkalmazó építőmérnöki végelem programokkal már nem lehet figyelembe venni, ezért egy 3D-s test (solid) végelemek alkalmazó általános célú végelem programmal végeztük el az összehasonlító számítást.



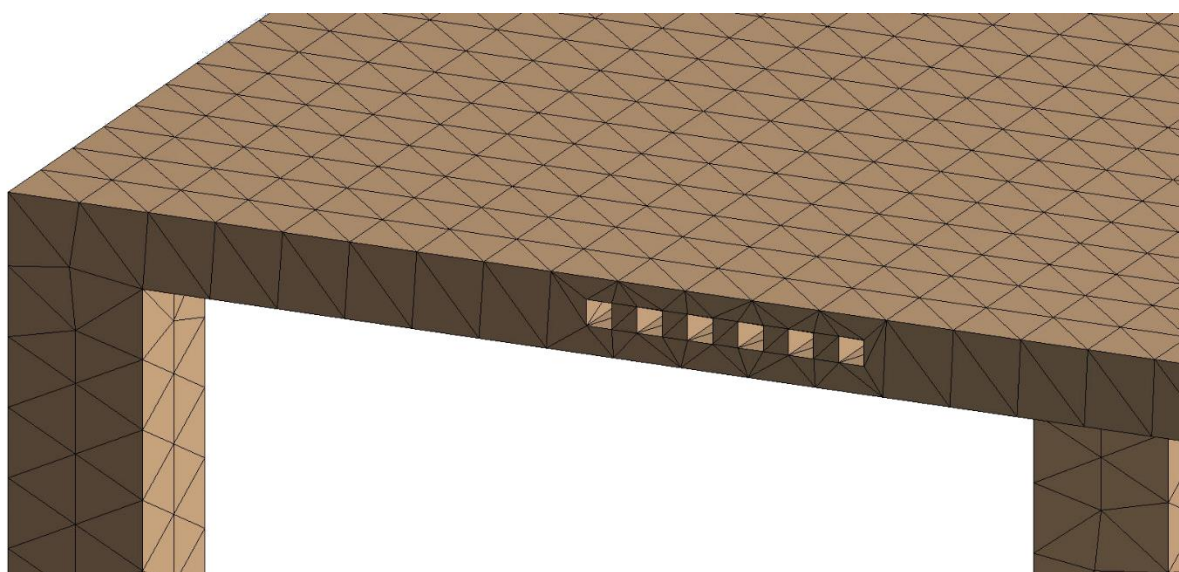
Lemezvastagság: 22 cm

Beton: C25/30

Terhelés: födém önsúly + 8 kN/m²

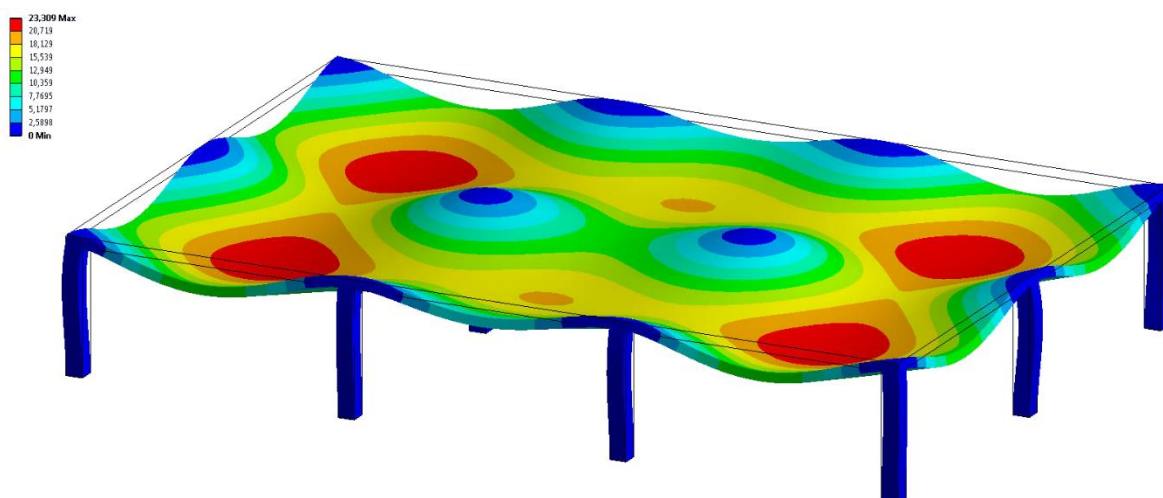


A tömör födém végelemháló kiosztása

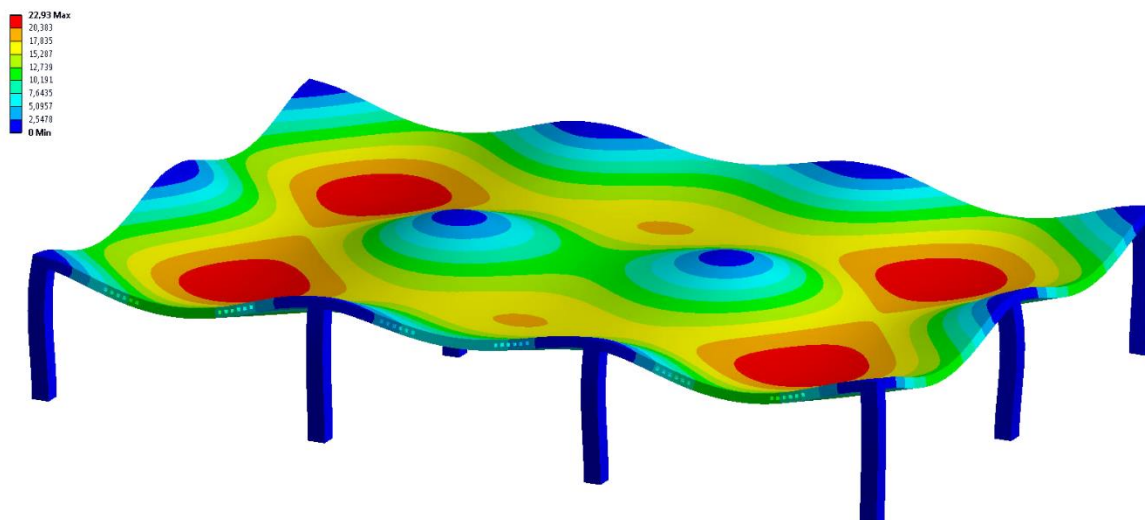


A becsővezett földem végelelemháló kiosztása

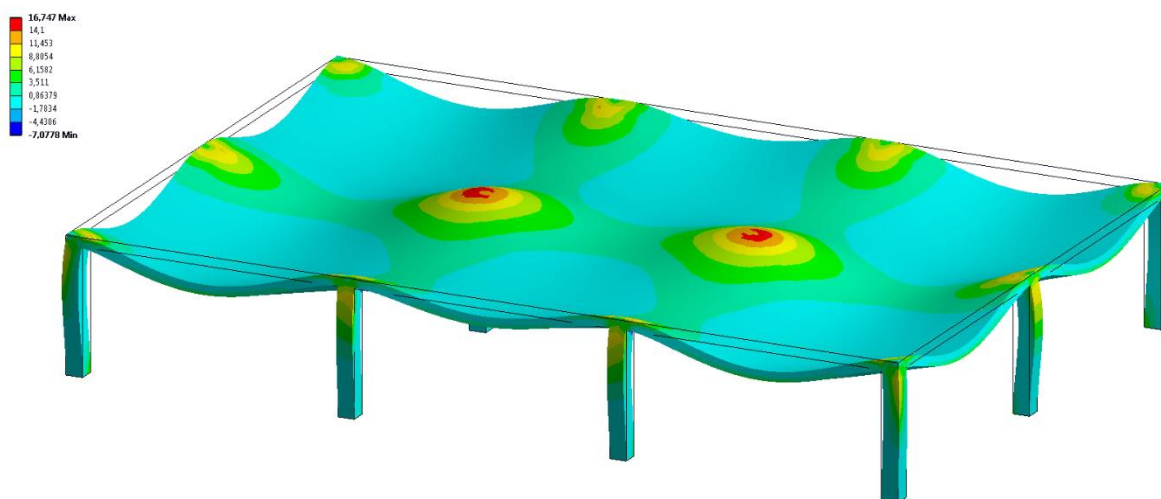
Az alkalmazott végelelemek az oldalfelelő pontokon is tartalmazznak csomópontokat.



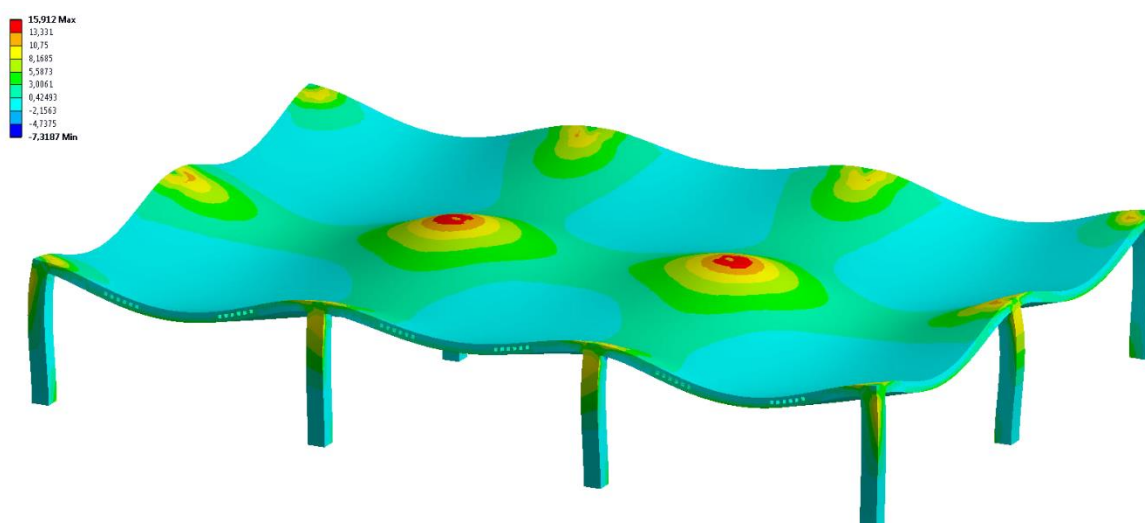
A tömör földem lehajlása [mm], maximum: 23,309 mm



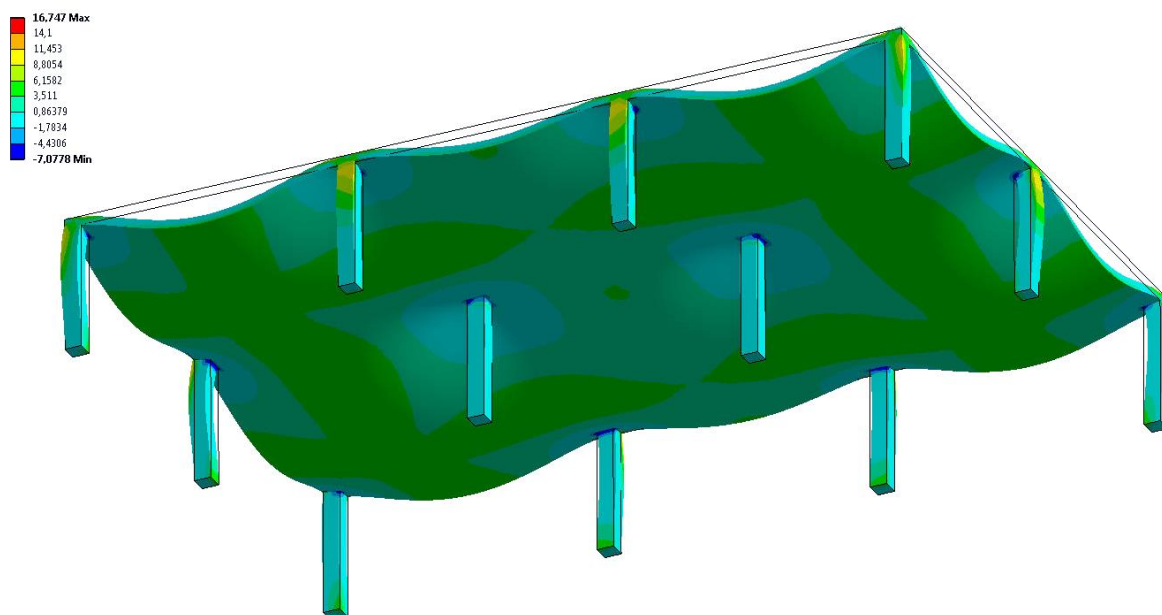
A becsővezett födém lehajlása [mm], maximum: 22,93 mm



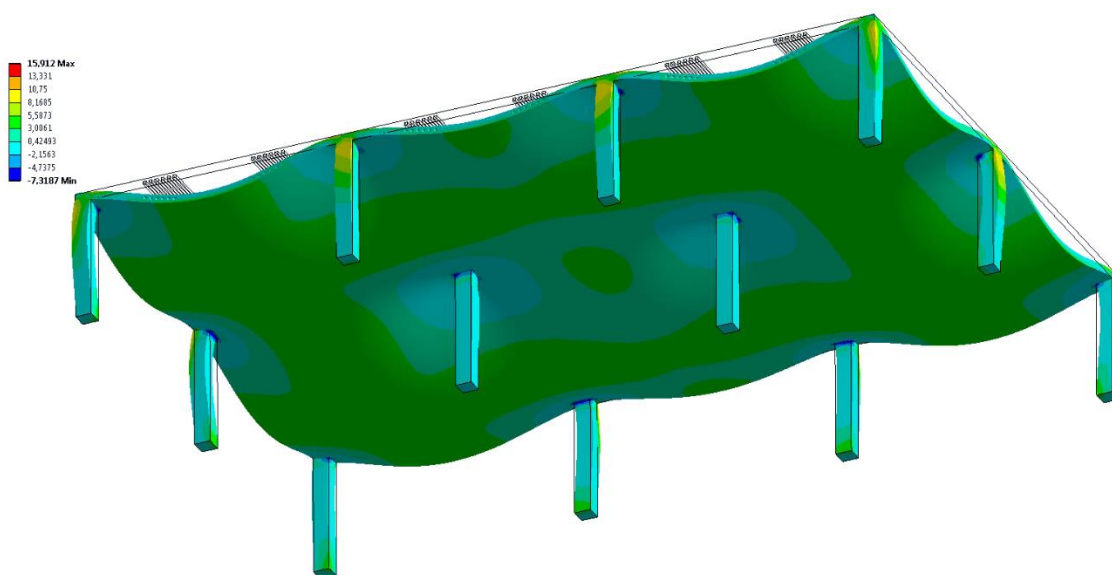
Húzó főfeszültség a tömör födémlemez felső felén [MPa], maximum: 16,747 MPa



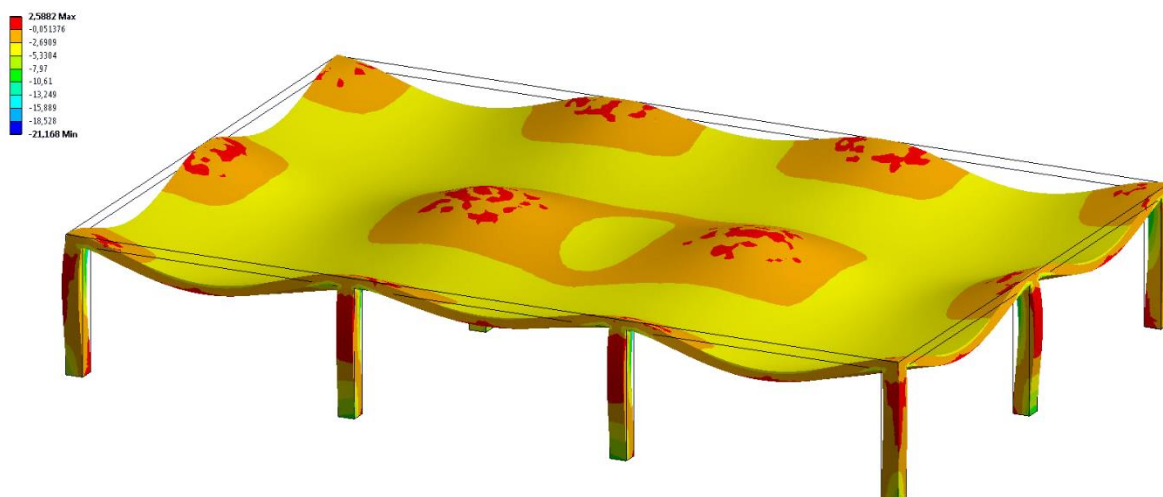
Húzó főfeszültség a becsővezett födémlemez felső felén [MPa], maximum: 15,912 MPa



Húzó főfeszültség a tömör födémlemez alsó felén [MPa], maximum: 16,747 MPa



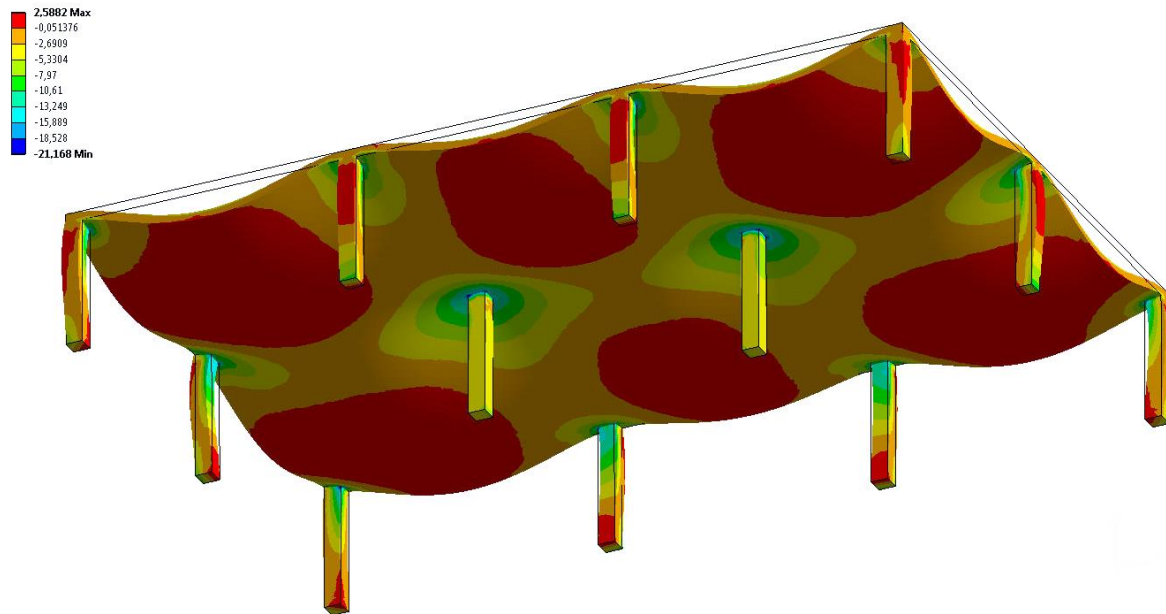
Húzó főfeszültség a becsővezett födémlemez alsó felén [MPa], maximum: 15,912 MPa



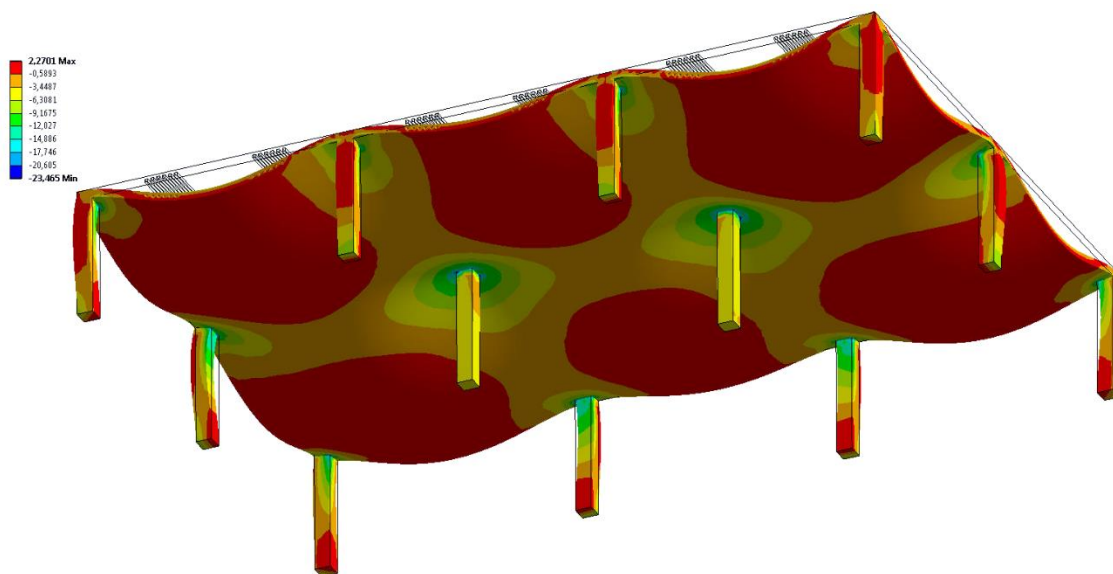
Nyomó főfeszültség a tömör födémlemez felső felén [MPa], maximum: -21,168 MPa



Nyomó főfeszültség a becsővezett födémlemez felső felén [MPa], maximum: -23,465 MPa



Nyomó főfeszültség a tömör födémlemez alsó felén [MPa], maximum: -21,168 MPa

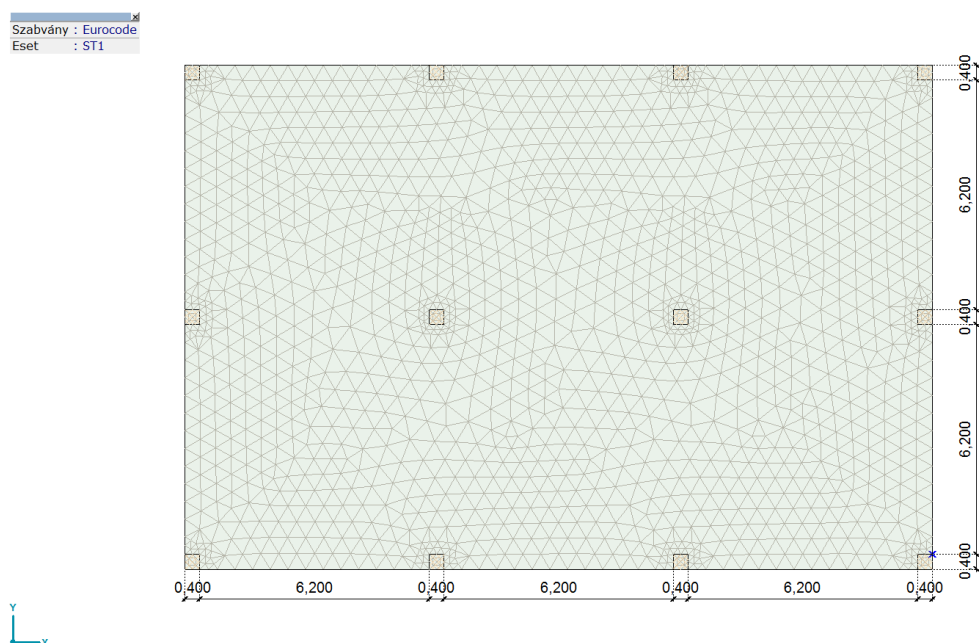


Nyomó főfeszültség a becsövezett födémlemez alsó felén [Mpa], maximum: -23,465 MPa

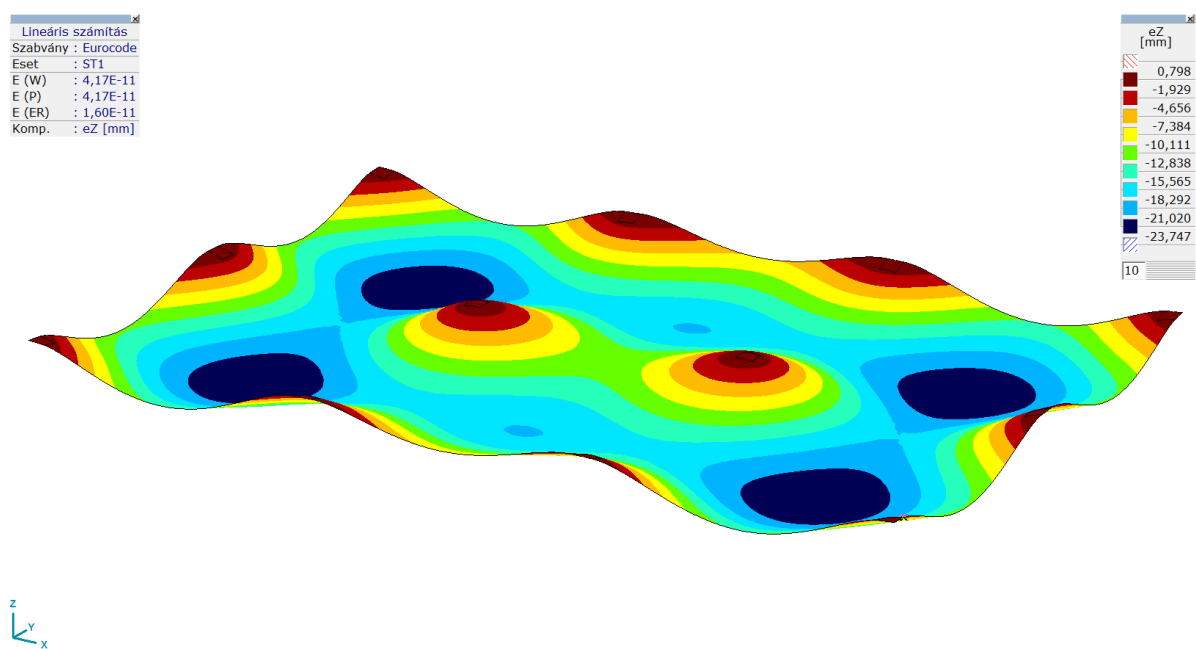
ÖSSZEFOGLALÁS:

Az összehasonlító számítás kétféle modelljére kapott eredmények jó egyezést mutatnak. Megállapítható, hogy a födémbe elhelyezett csövek nem okoznak érezhető merevségváltozást, sőt a födém önsúlyának csökkentése miatt a lehajlások szélsőértéke kis mértékben még csökkent is. Így megállapítható, hogy a statikai számításokban nyugodtan lehet lemezmodellen számítani az igénybevételeket, a csövek figyelmen kívül hagyása mellett.

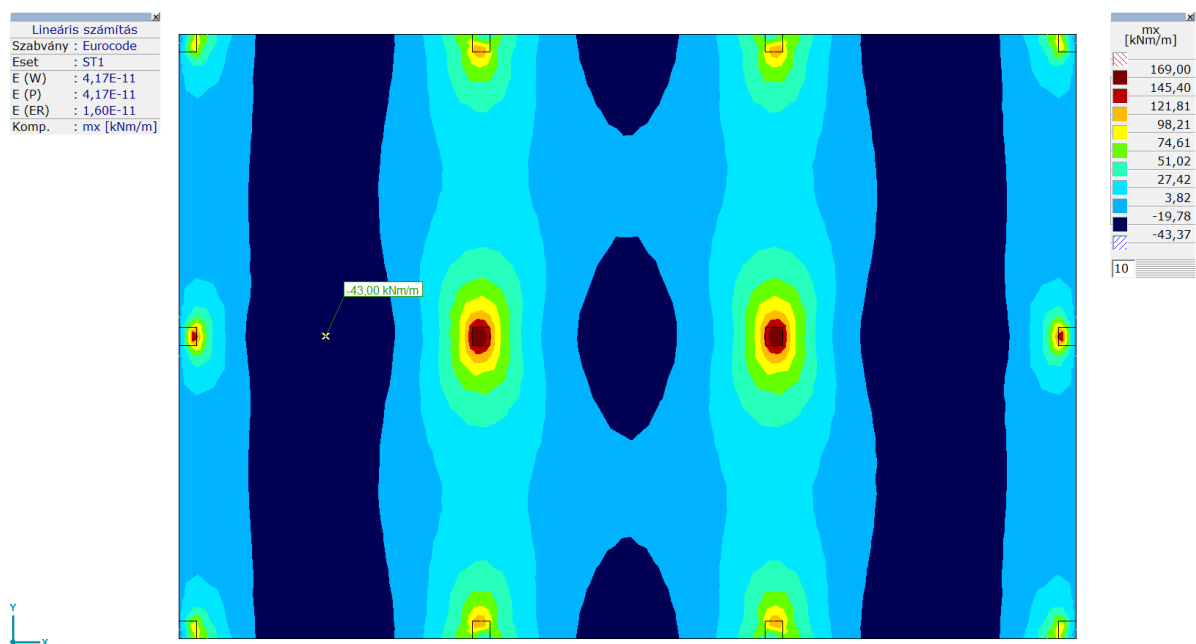
3. MINTASZÁMÍTÁS 2D TÖMÖR LEMEZ ELEMekkel



A példa adatai megegyeznek a solid elemekkel elvégzett számítás mintapélda adataival.



lehajlások [mm]

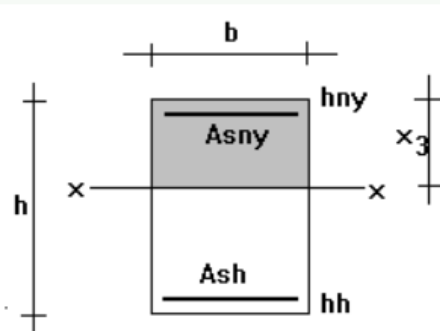


X irányú hajlítónyomaték

4. NYOMOTT BETONÖV MAGASSÁG MEGHATÁROZÁSA

A fenti számpéldán meghatározzuk a nyomott betonöv magasságát, hogy bemutassuk, hogy a födémbe elhelyezett csövek nem csökkentik a nyomott betonöv magasságát.

Hajlított km kötött tervezése III. fesz állapotban - EC2



$$b := 100 \cdot \text{cm}$$

$$h := 22 \cdot \text{cm}$$

$$h_h := 30 \cdot \text{mm}$$

$$h_{ny} := 30 \cdot \text{mm}$$

Nyomaték tervezési értéke:

$$M_{Ed} := 43 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

hasznos magasság:

$$d := h - h_h = 190 \text{ mm}$$

Beton anyagjellemzői:

$$\text{beton} := \text{"C25/30"}$$

Beton nyomószilárdságának karakterisztikus értéke:

$$f_{ck} = 25 \frac{N}{mm^2}$$

Beton parciális biztonsági tényezője:

$$\gamma_c := 1.5$$

Kedvezőtlen hatásokat figyelembe vevő tényező:

$$\alpha_{cc} := 1.0$$

Beton nyomószilárdságának tervezési értéke:

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 16.667 \frac{N}{mm^2}$$

Beton húzószilárdságának várható értéke:

$$f_{ctm} = 2.565 \frac{N}{mm^2}$$

Beton fajlagos törési összenyomódása:

$$\varepsilon_{cu3} = 0.0035$$

Nyomott zóna hatékony magasságának aránya:

$$\lambda = 0.8$$

Hatékony szilárdság szorzója:

$$\eta = 1$$

Betonacél anyagjellemzői:

$$betonacel := \text{"B550C"}$$

Folyáshatár karakterisztikus értéke:

$$f_{yk} = 500 \frac{N}{mm^2}$$

Betonacél parciális biztonsági tényezője:

$$\gamma_s := 1.15$$

Folyáshatár tervezési értéke:

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.8 \frac{N}{mm^2}$$

Fajlagos határnyúlás karakterisztikus értéke:

$$\varepsilon_{uk} = 0.075$$

Rugalmassági modulus:

$$E_s := 200 \cdot GPa$$

Relatív nyomott betonzóna magasság határhelyzete a húzott acélbetétekhez:

$$\xi_{c0} := \frac{\lambda \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot E_s}{f_{yd} + \varepsilon_{cu3} \cdot E_s} = 0.493$$

Nyomott betonzóna magasságának határértéke:

$$x_{c0} := \xi_{c0} \cdot d = 94 \text{ mm}$$

Semleges tengely határhelyzete:

$$x_0 := \frac{x_{c0}}{\lambda} = 117 \text{ mm}$$

Relatív nyomott betonzóna magasság határhelyzete a nyomott acélbetétekhez:

$$\xi_{c0.ny} := \frac{\lambda \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot E_s}{\varepsilon_{cu3} \cdot E_s - f_{yd}} = 2.111$$

Nyomott vasalás nélküli határnyomaték:

$$M_0 := b \cdot x_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{c0}}{2} \right)$$

$$M_0 = 223.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nyomott vasban a feszültség

$$\sigma_{sny} = 434.783 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nyomott vasszükséglet:

$$A_{sny} = 0 \text{ mm}^2$$

Görgetés

$$M_{Ed} = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) + A_{sny} \cdot \sigma_{sny} \cdot (d - h_{ny})$$

Semleges tengely:

Nyomott betonöv magassága:

$$x = 18 \text{ mm}$$

$$x_c := \lambda \cdot x = 14.1 \text{ mm}$$

Húzott vasszükséglet:

$$A_s := \frac{\lambda \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} + A_{sny} \cdot \sigma_{sny}}{f_{yd}}$$

$$A_s = 541 \text{ mm}^2$$

A számításból látszik, hogy a semleges tengely a betonlemez felső szélétől mért 18 mm-re helyezkedik el, így a felső 50 mm-es betontakarást betartva a betonba elhelyezett csövek nem csökkentik a nyomott betonöv magasságát.

5. NYÍRÁSI VASALÁS NÉLKÜLI FAJLAGOS NYÍRÓERŐ MEGHATÁROZÁSA

Határozzuk meg azokat a zónát, ahol szükséges átszűrődési vasakat alkalmazni, így ezeket a zónákat kerüljük el a légtechnikai csövek nyomvonalával.

Beton által felvett fajlagos nyíróerő meghatározása az EC2-1-1 szabvány szerint

A beton anyag parciális tényezője tartós tervezési teherbírasi határállapotban:

$$\gamma_c := 1.5$$

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

Hasznos lemezvastagság:

$$d := 220 \cdot \text{mm} - 30 \cdot \text{mm} = 190 \text{ mm}$$

$$k := \min \left(1 + \sqrt{\frac{200}{\frac{d}{\text{mm}}}}, 2 \right) = 2$$

Oszlopsávok fajlagos vashányada:

$$\rho_{ly} := \frac{528 \cdot \text{mm}^2}{220 \cdot \text{mm} \cdot 1000 \cdot \text{mm}} = 0.0024$$

$$\rho_{lz} := \frac{528 \cdot \text{mm}^2}{220 \cdot \text{mm} \cdot 1000 \cdot \text{mm}} = 0.0024$$

$$\rho_l := \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} = 0.0024$$

Beton nyomószilárdságának karakterisztikus értéke:

$$f_{ck} := 25 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

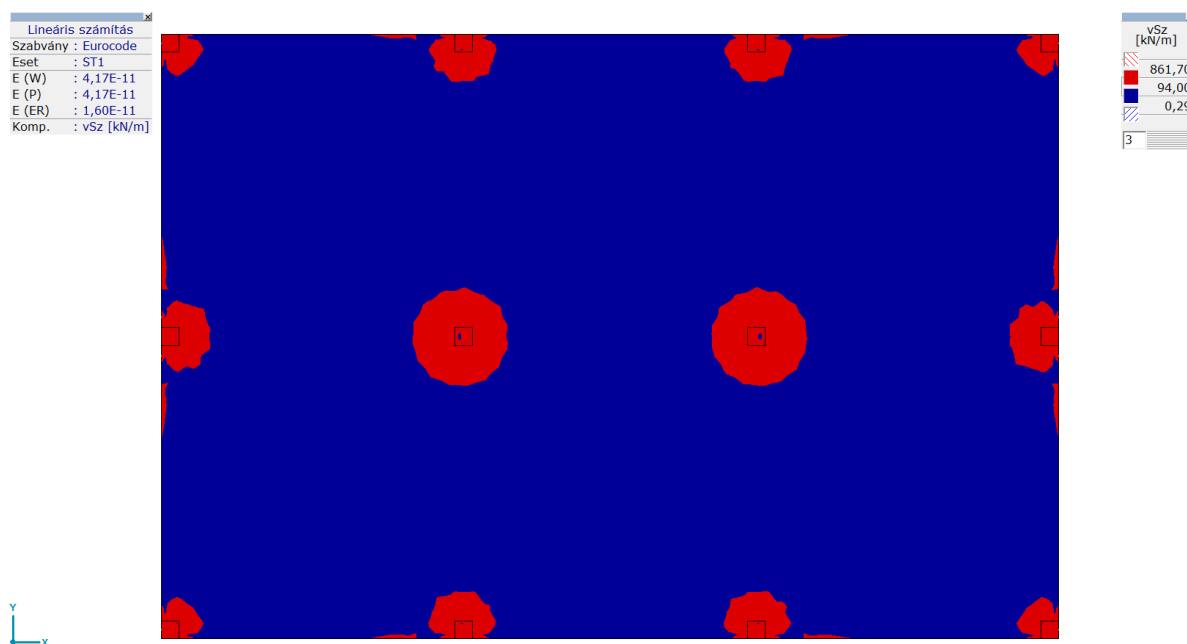
A fajlagos nyírási teherbírás minimális értéke:

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0.495 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nyírási vasalás nélküli teherbírás:

$$v_{Rd,c} := \max \left(C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, v_{min} \right) = 0.495 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

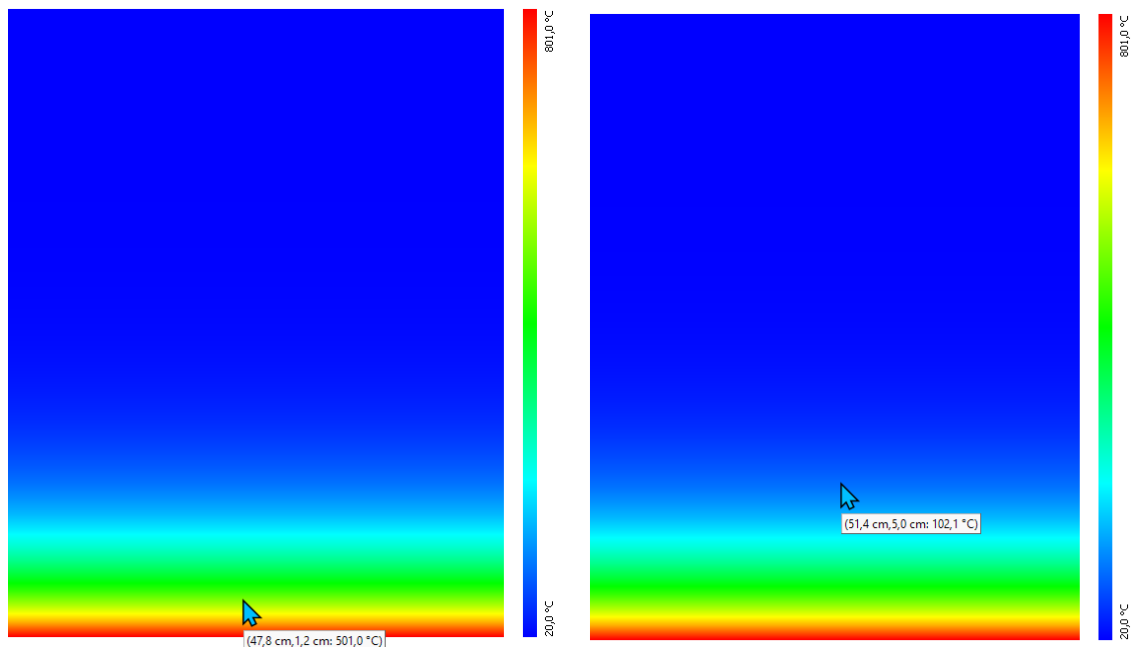
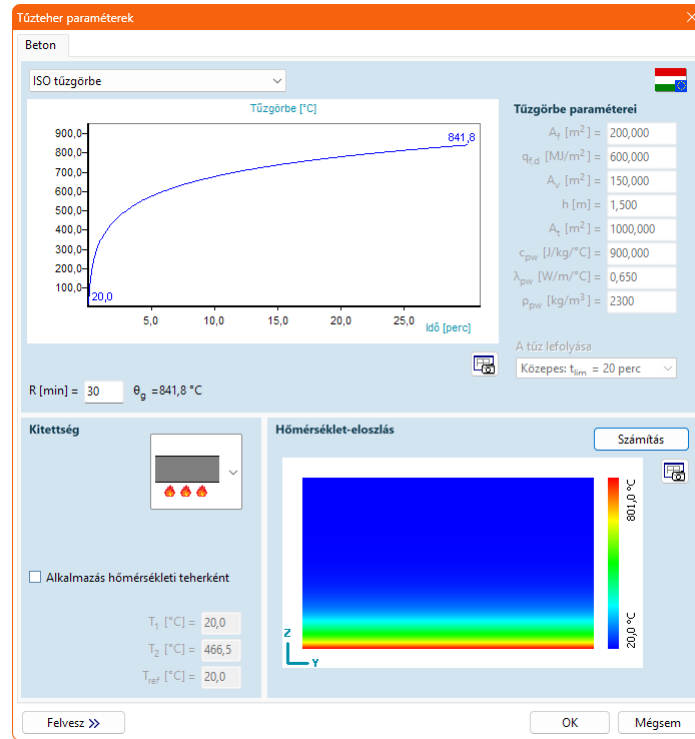
$$V_{Rd,c} := v_{Rd,c} \cdot d = 94 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



A piros területeken belül szükséges nyírási vasalást alkalmazni, így ezeket a területeket nem szabad a csövekkel metszeni. Ajánlatos az oszlopok, falvégek szélétől a lemezvastagság hatszorosának megfelelő távolságot tartani.

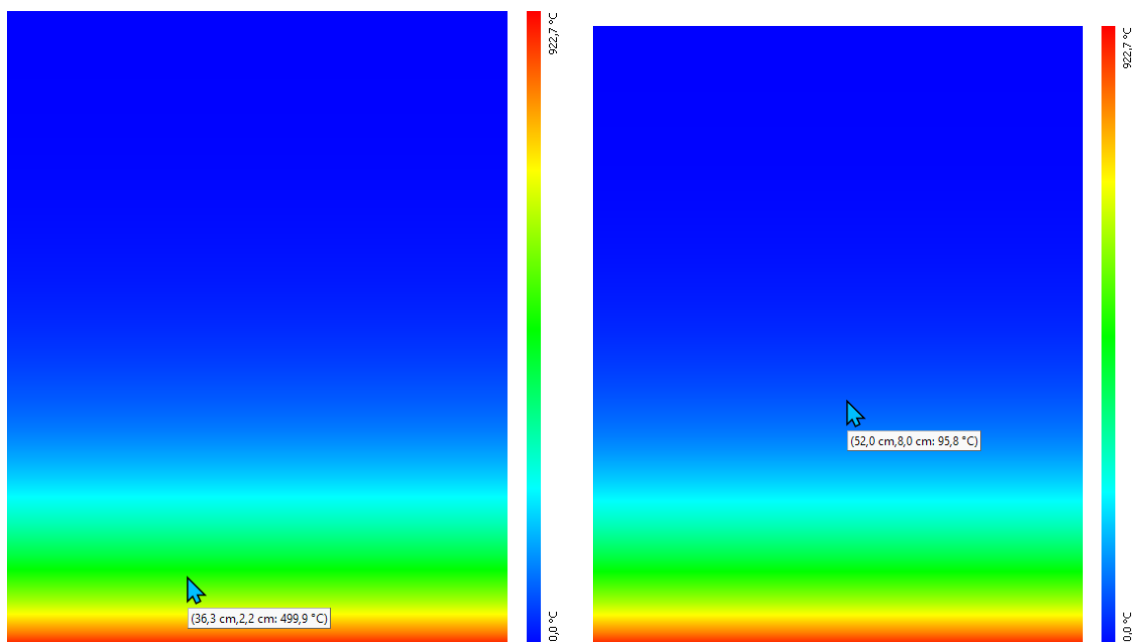
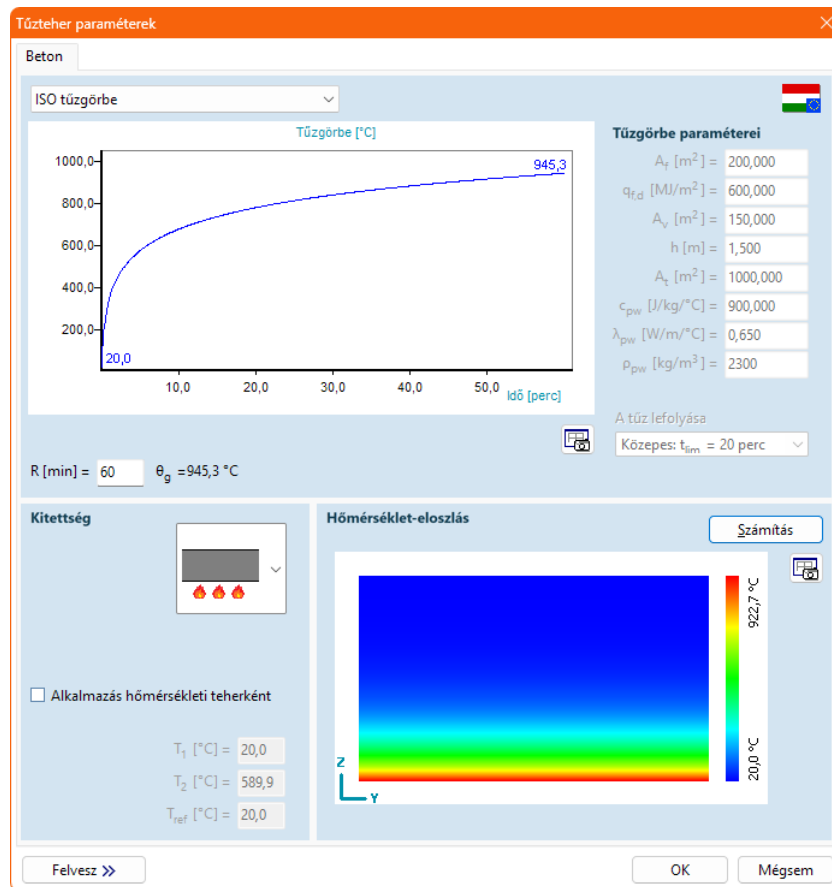
6. TŰZTERHELÉSRE TÖRTÉNŐ ELLENŐRZÉS

6.1. 30 PERCES TŰZTERHELÉS



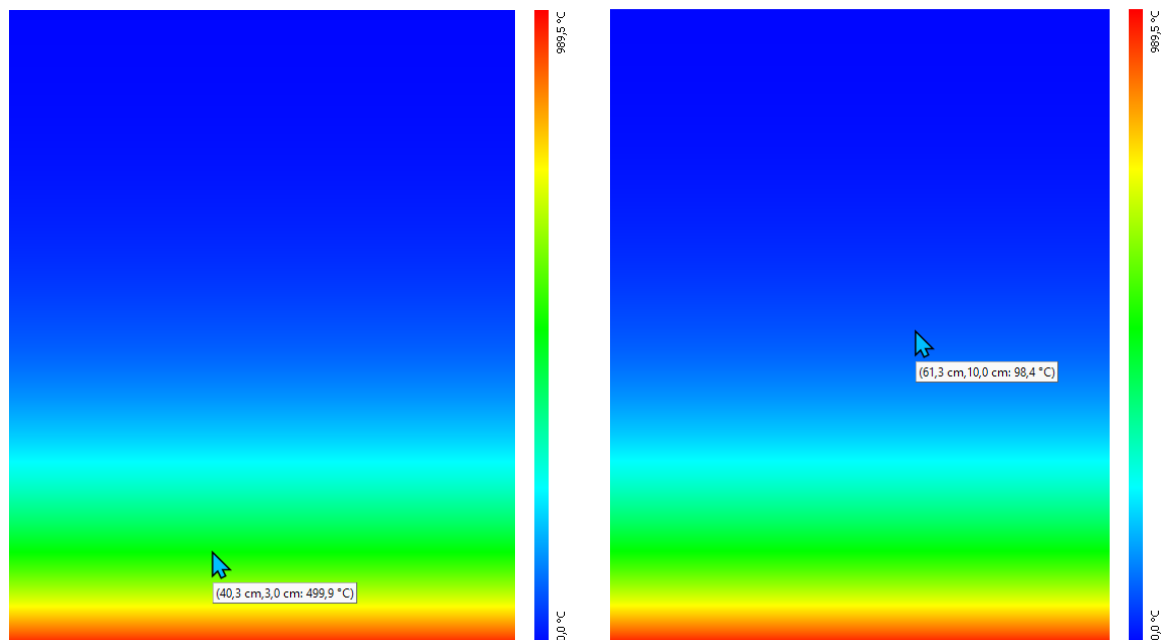
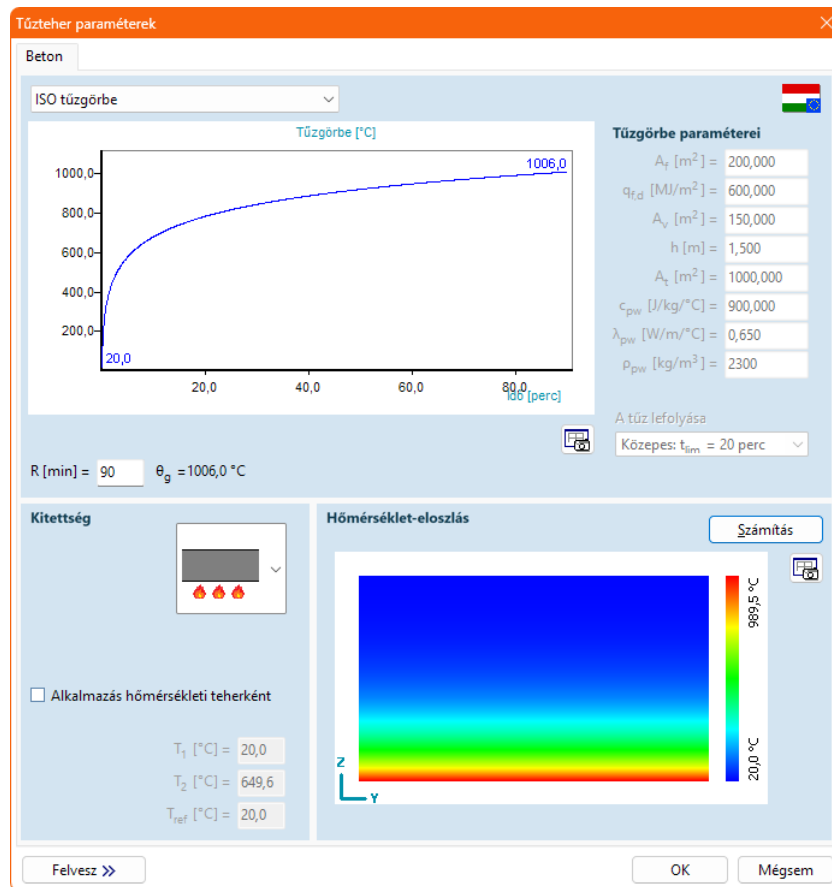
Az 500 °C-os izotermák módszere alapján az alsó 1,2 cm vastag betonréteg nem vesz részt a teherviselésben. Az 5 cm-es betontakarás esetén 102 °C a hőmérséklet értéke a légtechnikai cső szélén.

6.2. 60 PERCES TŰZTERHELÉS



Az 500 °C-os izotermák módszere alapján az alsó 2,2 cm vastag betonréteg nem vesz részt a teherviselésben. A 8 cm-es betontakarás esetén 96 °C a hőmérséklet értéke a légtechnikai cső szélén.

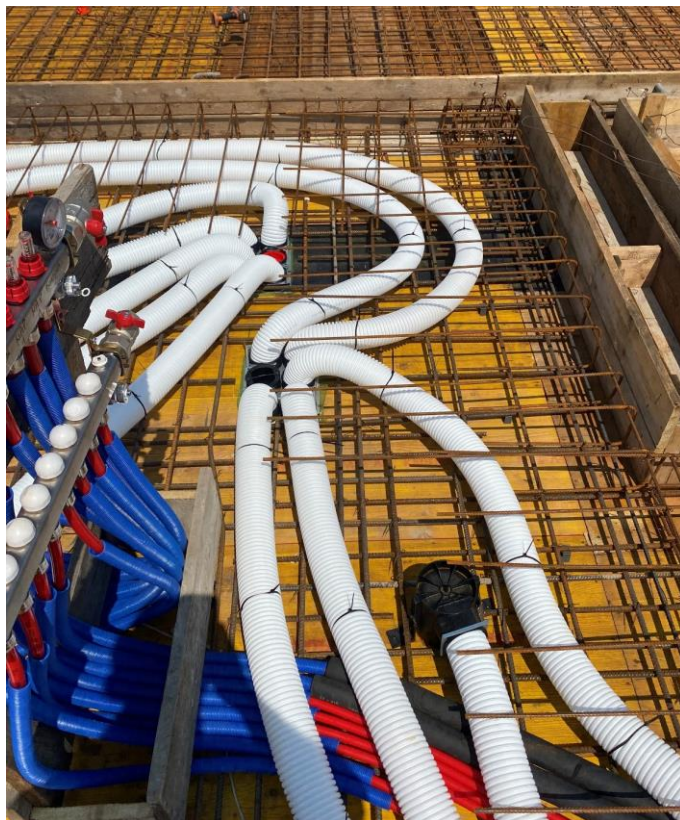
6.3. 90 PERCES TŰZTERHELÉS



Az 500 °C-os izotermák módszere alapján az alsó 3,0 cm vastag betonréteg nem vesz részt a teherviselésben. A 10 cm-es betontakarás esetén 98 °C a hőmérséklet értéke a légtechnikai cső szélén.

7. MEGVALÓSULT PÉLDÁK

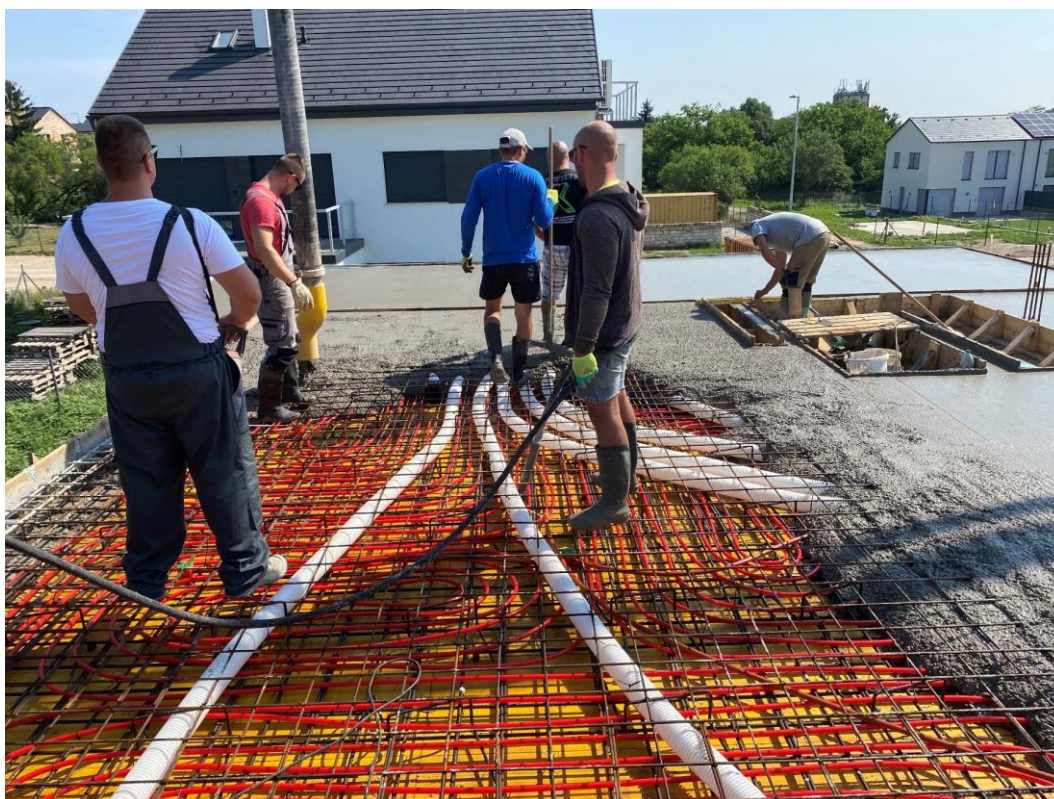




Zehnder ComfoWell 320 függőlegesen szerelve



Zehnder ComfoWell 420 mennyezetre szerelve



Betonozás közben

Budapest, 2023. július 18.

Hortobágyi Zsolt

Dr. Hortobágyi Zsolt SZÉSI 01-10497
PhD, okl. építőmérnök, egyetemi docens
igazságügyi tartószerkezeti szakértő
M.hely: BME Tartószerkezetek Mechanikája TSZ