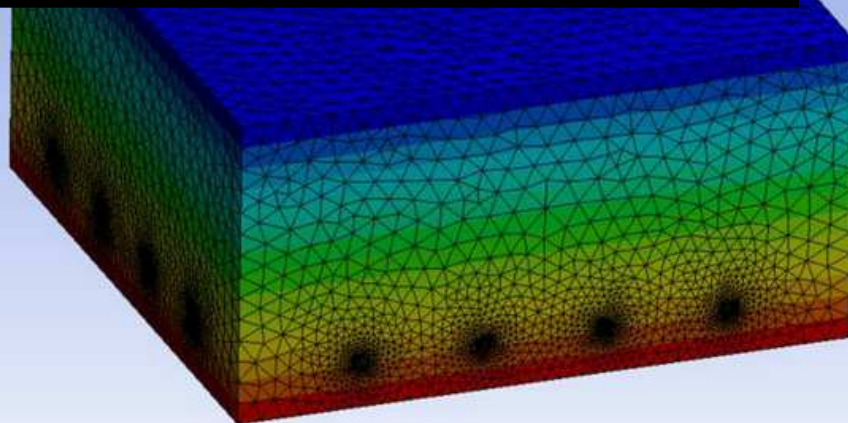




M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Vasbeton zárófödémek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságai és végelelemes modellezésük



Paulik Emese

Konzulensek:

Nagy Balázs, doktorandusz

Laczák Lili Eszter, doktorandusz

Dr. Nehme Salem Georges, egyetemi docens

Budapest, 2015.10.30.

TDK dolgozat

Tartalomjegyzék

Ábrajegyzék	2
Táblázatjegyzék	4
Jelölések jegyzéke	5
1. Absztrakt.....	7
2. Summary.....	8
3. Bevezetés.....	9
3.1 A végelelemes módszer	10
3.2 A stacioner hővezetés differenciálegyenlete	11
3.3 A vasbeton, beton és betonacél szabványkörnyezete	12
3.4 Hővezetési tényező mérés	13
3.5 Szakirodalmi áttekintés	15
4. Laborkísérletek	17
4.1 Valós modellek megalkotása (Betonozás).....	17
4.1 Hővezetési tényező mérés az épületfizikai laboratóriumban	20
5. Szimulációs modellkísérletek	22
5.1 Födémtervezés	22
5.2 Betonacélok szimulációs vizsgálata	31
5.3 Kicsinyített födémrészek számítógépes modellezése	39
5.4 A hővezetési tényező mérés szimulációja	43
5.5 Nagy födémek szimulációja	45
6. Összegzés és további vizsgálati lehetőségek.....	54
Köszönetnyilvánítás.....	56
Irodalomjegyzék	57
Mellékletek.....	60

Ábrajegyzék

1. ábra Segédfűtőlapos peremvédett hővezetési tényező mérési berendezés szerkezeti felépítése (1 mintát mérő berendezése) [11]	13
2. ábra A szimulációs vasbetonfödémek hőmérséklet eloszlás eredményei [16].....	16
3. ábra zsalu készítése 4. ábra Betonozott födémrészlet	18
5. ábra kizsaluzott födémrészletek 6. ábra Födémek felületének csiszolása	18
7. ábra lecsiszolt födémtestek 8. ábra Betonkockák törése	18
9. ábra A testek szárítása 10. ábra A testek tömegének megmérése 24 óránként	20
11. ábra a minták elhelyezése légzáró dobozban 12. ábra A minták kondicionálása	20
13. ábra A minták méreteinek feljegyzése 14. ábra A minták bevonása alufóliával.....	21
15. ábra Üveggyapot kalodába helyezésük 16. ábra A 22-26 órás mérés megkezdése.....	21
17. ábra Alul bordás zárófödém szerkezeti kialakítása	22
18. ábra A hasznos terhek három különböző saktábla leterhelése.....	26
19. ábra Magyarország külső méretezési hőmérsékletei a téli hónapokban területre vetítve [27]	27
20. ábra Járművek tengelyterhének elhelyezkedése [21].....	28
21. ábra Parkolóterítő járműterheinek meghatározása dinamikus mozgó teherrel, valamint felvétele a vizsgált pontokban okozott legnagyobb igénybevétel alapján	28
22. ábra Az extenzív zárófödém háromdimenziós vasalási terve 10mm-es betonacél átmérővel.....	30
23. ábra Nyolcszög alapú hasáb és henger geometriájú betonacél modellek	31
24. ábra Bordázott betonacél modell.....	32
25. ábra Hőáramsűrűség eloszlás a bordázott betonacél környezetében értékekkel fetűntetve	34
26. ábra Hőáramsűrűség eloszlás a bordázott betonacél környezetében	34
27. ábra A hővezetési tényezők összevetése a különböző geometriájú betonacéloknál	35
28. ábra A hőáramok összevetése a különböző geometriájú betonacéloknál.....	35
29. ábra 6,5x6,5x6,5 cm-es vasbeton próbatestek, ~2% vashányad Nyolcszög alapú hasáb betonacélokkal	36
30. ábra 9x9x9 cm-es vasbeton próbatestek, ~1% vashányad	37
31. ábra A nyolcszög alapú és bordázott betonacél hasábbal modellezett próbatestek háló futtatási beállításai.....	38
32. ábra Ansys programban futtatott kicsinyített födémek.....	39
33. ábra Kicsinyített födémek számítógépes szimulációs eredményei, lefele haladva: háló, hőmérséklet és hőáramsűrűség	39
34. ábra Deklarált hővezetési tényezőből számított beton hővezetési tényezők különböző körülmények között.....	41
35. ábra Ansys programba betáplált beton hővezetési tényezők és a födémtestek hőáramai.....	41
36. ábra A kicsinyített födémrészletek és az etalon beton hővezetési tényezői különböző körülmények között.....	42
37. ábra A hővezetési tényezőt mérő berendezés szimulációja: PE-4 (4mm) kicsinyített födém és PE-0 etalon betontest. 10,20 és 25 °C -ú minta átlaghőmérsékleteknél a hőmérséklet eloszlás	43
38. ábra Ansys szimulációs programba a megtervezett intenzív és extenzív 6x6 m-es 3 féle vasátmérővel bevasalt födémek	45
39. ábra Intenzív zárófödém 1 m ² -es szekciójának hálógenerálása a legjobb felbontásban.....	46
40. ábra PE-4 kicsinyített födém hőmérsékleteloszlás ábrája.....	46
41. ábra Az átlagos hőáramsűrűségek lekérdezése a 36 födém részre	46
42. ábra 8 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es extenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége.....	47

43. ábra 8 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es intenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége	47
44. ábra 10 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es extenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége.....	48
45. ábra 10 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es intenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége.....	48
46. ábra 12 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es extenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége.....	49
47. ábra 12 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es intenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége.....	49
48. ábra A különböző zárófödémek hőmérsékleteloszlás és hálózott ábrái (a 8mm-es betonacéllal bevasalttól a 12mm-esig bezárólag)	50
49. ábra A nagy födémek háló generálásának beállítása és a háló minősége	51
50. ábra A zárófödémek háló elemeinek kiértékelése grafikusán	52
51. ábra Az intenzív 12 mm-es betonacélokkal bevasalt zárófödém hálója	52
52. ábra A különböző zárófödémek számított hővezetés tényezői	53

Táblázatjegyzék

1. táblázat Szakirodalmakban fellelhető hővezetési tényezők	12
2. táblázat Különböző határkörmények között vizsgált testek felületi hőáramai [16]	16
3. táblázat C 30/37-es szilárdságú betonrecept	17
4. táblázat Elkészített betontestek és kockák az 1. és 2 keverés alkalmával	17
5. táblázat Az 1. keverés zsaluzási mérései	19
6. táblázat 28 napos korban az 1. keverés betonkockáinak törőerő mérése.....	19
7. táblázat A 2. keverés zsaluzási mérései.....	19
8. táblázat 28 napos korban a 2. keverés betonkockáinak törőerő mérése	19
9. táblázat Hővezetési tényező mérési eredményei az etalon beton (PE0), 6mm-es betonacélos (PE1), 5mm-es betonacélos (PE2) és 4mm-es betonacélos (PE4) vasbeton minták esetébe	21
10. táblázat Egyenes zárófödém rétegrend és mechanikai rögzítés hőátbocsátási korrekciójának számolása	24
11. táblázat Fordított zárófödém rétegrend és fordított rétegrendű tető hőátbocsátási korrekciójának számolása	25
12. táblázat Rétegrendek hasznos terheihez tartozó egyidejűségi tényezők	26
13. táblázat Hőmérsékleti teher meghatározása az intenzív födém külső felületén [29]	27
14. táblázat Mértékadó nyomatéki igénybevételek a vizsgált pontokban	29
15. táblázat Intenzív zárófödém vasalási paraméterei a vasmennyiségek alapján	29
16. táblázat Extenzív zárófödém vasalási paraméterei a vasmennyiségek alapján	29
17. táblázat A 9x9x9 cm-es próbakockák különböző betonacél modellezése lehetőségek hővezetési tényezőinek összehasonlítása	33
18. táblázat A 6,5x6,5x6,5 cm-es próbakockák különböző betonacél modellezése lehetőségek hővezetési tényezőinek összehasonlítása	33
19. táblázat Beton deklarált és ebből az értékből számított hővezetési tényezők [WmK]	40
20. táblázat Szimulációs mérési eredmények Q [W] hőáram és ebből számított hővezetési tényezők λ [W/mK]	42
21. táblázat A különböző hőmérsékleti beállítások hőáram lekérdezés eredményei, a mérés szimulációja esetében	44
22. táblázat Átlagos hőáramsűrűség a zárófödémeken	51
23. táblázat A zárófödémek háló elemeinek kiértékelése	52

Jelölések jegyzéke

ϕ	A fűtőegység mérési részének átlagos áramellátása	[W]
T_1	A minta átlagos meleg oldali hőmérséklete	[K]
T_2	A minta átlagos hideg oldali hőmérséklete	[K]
A	A mérési terület	[m ²]
d	A minta átlagos vastagsága	[m]
λ_t	Hőátadási tényező	[W/mK]
λ^*	Higrotermikus átadási tényező	[W/mK]
λ	Hővezetési tényező	[W/mK]
R	Hőátadási ellenállás	[Km ² /W]
ζ	Szállítási faktor	[W/mK]
$R_{s,i}$	A belső hőátadási ellenállás	[Km ² /W]
R_1, R_2, R_n	Az egyes rétegek tervezési hővezetési ellenállása	[Km ² /W]
$R_{s,e}$	A külső hőátadási ellenállás	[Km ² /W]
U_0	Rétegrend hőátbocsátási tényezője	[W/m ² K]
α	Tényező (rögzítőelem teljesen áthatol a szigetelésen)	
λ_f	A rögzítőelem hővezetési tényezője	[W/mK]
n_f	A rögzítőelemek száma négyzetméterenként	
A_f	A rögzítőelemek keresztmetszeti területe	[m ²]
d_0	A rögzítőelemet tartalmazó hőszigetelés vastagsága	[m]
R_1	Hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása	[m ² /KW]
$R_{T,h}$	A szerkezet eredő hővezetési ellenállása	[m ² /KW]
ΔU_f	Mechanikai elemek korrekciós tényezője	[W/m ² K]
p	A csapadék átlagos mennyisége a fűtési idény alatt	[mm/nap]
f	p-nek a vízszigetelésig eljutó hányadát megadó elszivárgási tényező	
x	A Többlet hőveszteséget jellemző tényező	[Wnap/ m ² Km]
ΔU_r	Fordított rétegrendű tetők korrekciós tényezője	[W/m ² K]
Q	Hőáram	[w]

Vasbeton zárófödémek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságai és végelelemes modellezésük

q	Felületi hőáramsűrűség	[W/m ²]
A	Hőáramlás irányára merőleges felület	[m ²]
$(T_2 - T_1)$	Felületek hőmérséklet különbsége	[K]
h_{si}	Belső hőátadási tényező	[W/m ² K]
h_{se}	Külső hőátadási tényező	[W/m ² K]
d	Az anyag vastagsága	[mm]
λ	Hővezetési tényező	[W/mK]
U	Hőátbocsátási tényező	[W/m ² K]
ψ_1	Deklarációs nedvességtartalom	
T_1	Deklarációs hőmérséklet	[°C]
f_T	Hőmérsékleti korrekció	
f_ψ	Nedvességtartalom korrekció	
λ_1	Deklarált hővezetési tényező	[W/mK]
T_2	Az anyag beépített állapotában vett átlagos hőmérséklete	[°C]
ψ_2	Az anyag beépített állapotában vett átlagos nedvességtartalma	
F_T	Hőmérsékleti faktor	
F_m	Nedvességtartalom faktor	
λ_2	Tervezési hővezetési tényező	[W/mK]

1. Absztrakt

Vasbeton zárófödémek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságai és végeselemes modellezésük

Paulik Emese, X1THOQ

Konzulensek: Nagy Balázs BME Építőanyagok és Magasépítési Tanszék

Laczák Lili Eszter BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

Dr. Nehme Salem Georges BME Építőanyagok és Magasépítési Tanszék

A vasbeton szerkezetű épületek esetében a gyakorlati tervezés során energiahatékonysági szempontok ritkán kerülnek előtérbe. Az épületenergetikusok a vasbeton szerkezetek elemzésekor az MSZ EN ISO 10456 és az MSZ 24140 szabványokban megtalálható hővezetési tényezőkre hagyatkozhatnak, mely értékek testsűrűség alapú bontásban vonatkoznak betonokra és vasbetonokra (utóbbi esetben csupán 1 illetve 2%-os vashányadra térnek ki), egyéb tulajdonságokat (pl. vasalás iránya, összetétele, stb.) nem említenek. Dolgozatomban zárófödémek modellezésével a vasalási paraméterek és hőtechnikai tulajdonságok közötti lehetséges összefüggéseket szeretném feltárni.

Kutatásom során egy vasbeton szerkezetű irodaház zárófödémének vasalását 6 különböző terhelési esetre (egyenes rétegrend mechanikai rögzítéssel, illetve leterheléssel, fordított rétegrend, extenzív és intenzív zöld tető, valamint parkolótető) terveztem meg. Az alkalmazott tető rétegrendek megfeleltek a 7/2006.TNM rendelet költségoptimalizált, illetve közel nulla követelmény értékeinek, az épületfizikai számításokat az MSZ EN ISO 6946 szabvány alapján korrekciókkal kiegészítve készítettem el. A megtervezett födémek közül két mértékadó teheresetet kiválasztva, modellenként 3 különböző vasátmérő felhasználásával létrehoztam a közepső 6x6 méteres szekciók háromdimenziós vasalási terveit. Ezután ANSYS szoftverkörnyezetben háromdimenziós, állandósult állapotbeli hőtechnikai szimulációkkal vizsgáltam a kiválasztott lemezmodellek 1 m²-es elemekre bontott részegységeit. A szimulációk segítségével a felületi hőáramokból számítottam a vonatkozó hőátbocsátási- és egyenértékű hővezetési tényezőket. A modellezett födémekre kapott négyzetméterenkénti eredményeket kiértékeltem és összehasonlítottam. Ezen felül vizsgáltam a bordázott betonacélok hőtechnikai helyettesíthetőségének lehetőségeit is.

A szimulációkat a közbelső födémrész 1:2 méretarányú modelljein végzett mérések segítségével validáltam, melyeket a kutatásban vizsgált három különböző vasátmérővel készítettem el. A laboratóriumi mérésekhez használt 1:2 méretarányú próbatestek 20x20x10 cm méretben, 4, 5 és 6 mm vasátmérővel bevasalt kialakítással, C 30/37-es szilárdsági osztályúnak tervezett betonnal készültek el, melyből vasalásmentes etalon próbatestet is gyártottam. A hővezetési tényezőket kiszáritott állapotban, peremvédett segédfűtőlapos berendezéssel mértem. Szimuláció készült a mérési módszer alkalmazhatóságának szemléltetésére is.

A valós kísérletek és numerikus szimulációk elemzése alapján következtetéseket vontam le a vasbeton födém szerkezetek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságaival kapcsolatban. A dolgozatomban a szerkezettervezés kihívásain túl a hőtechnikai szempontok figyelembevételével és a vasbetonszerkezetek vasalásának energiatudatos tervezésével foglalkoztam, mely tapasztalatok és eredmények a későbbi szerkezettervezési praktikumban hasznosíthatóak lehetnek.

2. Summary

Reinforcement depending thermal properties and finite element modelling of reinforced concrete roof slabs

Paulik Emese, X1THOQ

Konzulensek: Nagy Balázs BME Department of Construction Materials and Technologies

Laczák Lili Eszter BME Department of Structural Engineering

Dr. Nehme Salem Georges BME Department of Construction Materials and Technologies

Energy efficiency aspects are rarely considered during practical structural design. In building energetic calculations, thermal conductivity values from MSZ EN ISO 10456 and MSZ 24140 standards are mainly used, although these standards define these values only by taking into account the density of the concrete and approximate amount of reinforcement. Details of the reinforcement and other properties (e.g. reinforcement direction, concrete composition, etc.) are not mentioned. In this research, I would like to uncover possible relations between the steel content parameters and thermal properties by modelling and examining roof slabs.

In my research I designed the reinforced concrete roof slab of an office building with six different order of layers (straight layer with mechanical fastening and ballast, inverted layer order, extensive and intensive green roof, parking roof). The applied orders of layers passed 7 / 2006.TNM cost-optimal and near-zero values. During the physics calculations corrections were made based on the ISO 6946 standard. The slabs were designed for two selected order of layers with three different steel bar diameters. 3D reinforcement plans were created for the 6x6 m size middle section of the slabs. In ANSYS software environment, three-dimensional, steady state thermal simulations with 1 m² separated components of the selected models were examined. The equivalent thermal conductivity and heat transfer coefficient were calculated from the surface heat flux. The results corresponding to 1 m² components of the floor slabs were evaluated and compared. In addition, I studied the possibilities of modelling ribbed steel bars in thermal simulations.

The simulations of the middle part of the slabs were validated by measurements performed on 1:2 scale models made with three different steel bar diameters. In the laboratory 20x20x10 cm concrete blocks and 4, 5 and 6 mm bar diameter were used. Designed strength class was C 30/37 and specimens without reinforcement were also tested. I measured the thermal conductivity factors of dried specimens by using a hot plate boundary protected device. Simulations were made to illustrate the applicability of the testing method as well.

By numerical simulations and experiments I examined the reinforcement dependence of thermal properties of RC slabs and drew the conclusions. My research focused on the thermal considerations and energy conscious design of reinforced concrete structures. Results and experiences of this research possibly can be used in structural design practice.

3. Bevezetés

Az épülethatároló szerkezetek hőveszteségeinek ismerete elengedhetetlenül fontos az épületek tartószerkezeti tervezésénél, épületgépészeti méretezésénél valamint az épületenergetikai tanúsítások készítésénél. A hőtechnikai modellezés alapja a végeselem-módszer, amely egy 1960 óta rohamos iramban fejlődő tudományterület. A módszer egyszerűsítéseket alkalmaz a bonyolult geometriák, szimulációk futtatására. Ez teszi lehetővé, hogy a dolgozatomban bemutatott zárófödémek futtatása nem vesz heteket igénybe, mint ahogy 10 évvel ezelőtti számítási kapacitáson történt volna. A technológiai fejlettség alapvetően meghatározza, hogy mennyire kell leegyszerűsíteni a körülöttünk lévő valóságot. Tehát a fejlődés ma ott tart, hogy egy ilyen nagy modellnél még kell egyszerűsítéseket alkalmazni, de pár év múlva ezeknek a szimulációknak a futtatása is rövid ideig fog tartani.

Az Európai Parlament és Tanács 210/31/EU irányelve rögzíti, hogy az épületek befolyásolják a hosszú távú energiafogyasztást. Az új és a jelentős felújítás alatt álló épületeknek eleget kell tenniük az európai irányelveknek, vagyis a helyi éghajlathoz viszonyított energiahatékonysági követelményértékeknek. A vasbetonszerkezetek tervezése során a statikus tervezők nem fordítanak elég figyelmet az épületenergetikai szempontokra az MSZ EN ISO 10456 és az MSZ 24140 szabványokban fellelhető kevés információból kifolyólag. Viszont a 7/2006-os Kormányrendelet értelmében költségoptimalizált, közel nulla követelményértékű épületeket kell tervezni. 2015-től pedig érvénybe lép a Kormány 1246/2013. (IV.30.) Kormány határozata középületek esetén. Más épületeknél 2018-ig használhatjuk a már említett 7/2006 (V.24.) TNM Rendeletben közölt követelményértékeket. A szabványok 1 illetve 2%-os vashányadokra adnak meg hővezetési tényezőket, de a vasalás típusára, elhelyezkedésére nem. A vasbetonszerkezetek hőtechnikai modellezését eddig nem támasztották alá átfogó, részletes kutatásokkal, így feltérképezetlen területnek számít.

Dolgozatom célja, hogy az épülethatároló szerkezetek (ezen belül első sorban a zárófödémek) hőtechnikai végeselemes modellezési lehetőségeinek feltárásával, valamint a szimulációk futtatásával összehasonlítsam a szabványokban megtalálható, vonatkozó hővezetési tényező adatokat. Céloom továbbá lehetséges összefüggések megállapítása a vasalás típusa, az alkalmazott vasátmérő, a vaskiosztás és a födém különböző pontjainak hővezetése között. A bordázott betonacél különböző szintű modellezésével vizsgálni szeretném, hogy a bordák elhelyezkedése mennyiben befolyásolja a hőáramlást. A számítógépes szimulációk futtatási eredményeit valós modellek készítésével és laboratóriumi körülmények között a hővezetési tényezőjük mérésével szeretném validálni.

A vasbetonszerkezetek kísérletekkel és szimulációkkal alátámasztott hővezetési tényezői valós betekintést nyújthatnak a költségoptimalizált és energiatudatos épületek tervezésébe. Egyes esetekben a hővezetési tényezők nem megfelelő használatával a statikusok túltervezhetik az épületszerkezeteket. A szimulációs módszer kidolgozásával és a kísérletek validálásával hozzá szeretnék járulni a szerkezetek pontosabb hővezetési tényezőjének meghatározásához, és ezáltal költséghatékonyabb épületek megvalósításához.

3.1 A végelelemes módszer

A végelelemes módszer numerikus eljárás, melynek során a fizikai problémákat matematikai modellekkel oldják meg. Gyökerei az ókorba nyúlnak vissza, amikor is bonyolult alakzatokat (kör) egyszerűbb, több alakzattal (háromszögek) helyettesítettek. Így egy bonyolult számítás helyett, több egyszerűbb feladatot kell megoldanunk. A modern végelelem-módszer kialakulását a sugárhajtású repülőgépek megjelenése ösztönözte az 1940-es években. A nagyobb sebesség iránti igény egyre bonyolultabb tervezést követelt. Így olyan számítási módszert fejlesztettek ki, amely bonyolult geometriákat is megfelelő pontossággal kezel. Így ezzel a módszerrel vizsgálhatunk akár statikai, dinamikai és hővezetési feladatokat is. [1]

A matematikai feladat felírásakor a potenciális energia stacionaritási tételét alkalmazzuk, mely kimondja, hogy egy rugalmas test geometriailag lehetséges elmozdulás-alakváltozás rendszerei közül az lesz a tényleges tehát statikailag is lehetséges, amelynél a potenciális energia állandó értékű (stacionárius).

A modell peremérték feladat, vagyis parciális differenciálegyenlet kiegészítve a szükséges peremfeltételekkel.

Ezek a peremfeltételek végelelemes modellenként változóak.

A vasbeton zárófödémeket lemezként modellezzük. Ha a peremen befogás van, akkor ott sem lehajlás sem perem körüli elfordulás nem keletkezhet. Ha szabad él vagy csuklós megtámasztás van, akkor nem keletkezik lehajlás és a peremre merőleges síkú hajlítónyomaték, mivel a perem körül a lemez szabadon elfordulhat. Ugyanakkor a lemez megtámasztásánál y irányú görbületet nem szenved. [2] [3]

Peremfeltételek:

Befogás esetén:

$$\begin{aligned}w &= 0 \\ \frac{\partial w}{\partial x} &= 0\end{aligned}$$

Szabad él, csuklós megtámasztás esetén:

$$\begin{aligned}w &= 0 \\ M_x &= 0 \\ \kappa = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} &= 0\end{aligned}$$

Geometriai egyenlet:

$$L_u = \varepsilon$$

Egyensúlyi egyenletek:

$$L^T \cdot \sigma - p = 0$$

Anyagmodell egyenletek:

$$c = D \cdot (\varepsilon - \varepsilon_0)$$

Potenciális energia:

$$\Pi = -f^T e - \int_{S_q} q^T u dS - \int_V g^T u dV + \frac{1}{2} \int_V \varepsilon^T D \varepsilon dV = \text{stacionárius!}$$

A vasbeton zárófödémeket lemezként modellezzük.

A lemezek anyaga homogén, izotróp, lineárisan rugalmas és vastagságuk állandó. A megtervezett födémeket vékony lemezként modellezhetők, mivel vastagságuk kisebb a feszítávolság tizedénél. A lemez minden pontja a középfelületre merőlegesen tolódik el és a normálisán lévő pontok az alakváltozások után is a normálison maradnak. A középfelületre merőleges feszültségeket elhanyagoljuk. A megtámasztási viszonyok olyanok, hogy csak a lemez síkjára merőlegesen keletkeznek reakcióerők. [4]

3.2 A stacioner hővezetés differenciálegyenlete

TDK dolgozatomban a hőtechnikai végelelemes szimulációkat számítógépes szoftver segítségével izotróp szilárd testekre oldottam meg adott csomópontokra felírva. Az épülethatároló szerkezetek hővesztéseinek meghatározására szolgáló számítási módszerek stacioner, vagyis állandósult állapotot feltételeznek.

$$\nabla(\lambda \cdot \nabla T) = 0$$

A következő formáját alkalmaztam az egyenletnek, mivel minden irányban azonos hővezetési tényezővel rendelkező anyagokkal futtattam le a szimulációkat:

$$\lambda \cdot \nabla^2 T = 0$$

Peremfeltételek:

A differenciálegyenlet megoldásához definiálnunk kell a peremfeltételeket, vagyis a modellezett szilárd testek határoló felületeinél fellépő külső hatásokat. Jelen esetben T hőmérsékletet alkalmazunk a peremen.

A felületen meghatározott peremre merőleges irányú hőáramokkal is megadhatjuk a peremfeltételt. Hővezetési feladat esetén ez befelé irányuló hőáramot jelent:

$$q_0 = n \cdot \lambda \cdot \nabla T$$

n a perem normálvektora.

A hőáramokat a határoló felületeken értelmezett hőátadási tényező h [W/m²K] (vagy az európai szabványnak megfelelően R_s [W/m²K] felületi ellenállásként) és a felülettel érintkező levegő hőmérsékletével definiáljuk.

$$q_0 = h \cdot (T - T_s) = \frac{1}{R_s} \cdot (T - T_s)$$

T- A környező levegő hőmérséklete

T_s- A felületen mérhető hőmérséklet

E két hőmérséklet között a hőátadási tényező teremt kapcsolatot. [5]

3.3 A vasbeton, beton és betonacél szabványkörnyezete

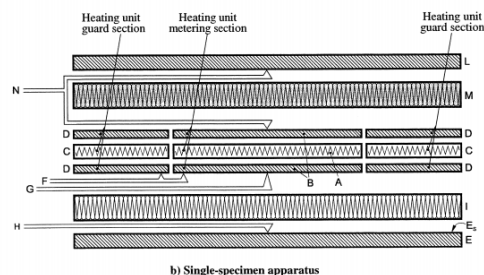
MSZ EN ISO 10456:2008 [6]			
Az anyag megnevezése	Típusa	Testsűrűség ρ [kg/m ³]	Hővezetési tényező λ [W/mK]
beton	közepes testsűrűségű	1800	1,15
		2000	1,35
		2200	1,65
	nagy testsűrűségű	2400	2
	~1%-os vashányad	2300	2,3
	~2%-os vashányad	2400	2,5
acél	acél	7800	50
	rozsdamentes - ausztenites vagy ausztenites ferrites	7900	17
	rozsdamentes - ferrites vagy martenzites	7900	30
MSZ 24140:2015 [7]			
beton	vasbeton	2400	2,5
	kavicsbeton	2200	2
Ansys Workbench 15.0			
beton	kavicsbeton	2300	0,72
acél	szerkezeti acél	7850	60,5
	rozsdamentes acél	7750	15,5
Hugo Hens: Applied Building Physics [8]			
NBN B 62-002:2001			
Az anyag megnevezése	Típus; sűrűség tartományonként ρ [kg/m ³]	Belső hővezetési tényező λ_{Ui} [W/mK]	Külső hővezetési tényező λ_{Ue} [W/mK]
beton	2000-2100	1,44	1,86
	2100-2200	1,57	2,04
	2200-2300	1,72	2,24
acél	7800	45	45
Kísérleti tapasztalatok			
Az anyag megnevezése	Típusa	Testsűrűség ρ [kg/m ³]	Hővezetési tényező λ [W/mK]
beton	relatív nedvesség tartalom függő	2176	2,74+0,0032w (nedvesség tartalom)
BME kutatás alapján: Szagri Dóra TDK dolgozat (2014-2015) [9]			
beton	28 napos korban	2400	2,5-3
	1 éves korban száraz állapotban	2300	1,5-2

1. táblázat Szakirodalmakban fellelhető hővezetési tényezők

Az MSZ EN ISO 10456:2008 és az MSZ 24140:2015 szabványok nem tárgyalják részletesen a vasbetonok hővezetését. Betonoknál testsűrűsége lebonthatóan található meg az értékek, vasbetonokra pedig csupán ~1-és ~2%-os vashányadokra. Külön betonacélra nem ad meg adatot. [6] [7] Az Ansys program 0,72 W/mK nagyságú alapbeállítással futtatja a szimulációt. Ezt az értéket kézzel átállítottam be, mivel így túl jó hőszigetelő képességűnek feltételezzük a betont. A magyar szabványokban fellelhető a beton 2 W/mK-es hővezetési tényezője, ezért alkalmaztam a szimulációs kísérletek során ezt az értéket. A szerkezeti acél 60,5 W/mK-es tényezőjét meghagytam, mivel ez egy felső határérték és az acélt túl hővezetőnek feltételezi. Hugo Hens Alkalmazott épületfizika című könyvében összefoglalja a különböző szabványokban megtalálható és kutatásokon alapuló adatokat. Legrészletesebben a Holland NBN B 62-002:2001 szabvány tárgyalja az anyagjellemzőket. Testsűrűség csoportokba sorolva különbséget tesz a külső és belső hővezetésben: belső oldalon 23°C és 50 %-os relatív páratartalommal, míg a külső oldalon 10 °C és 80%-os relatív páratartalommal számol. Ezért vizsgáltam én is a 80%-os relatív páratartalmat a födémrészek szimulációja során. Kísérleti tapasztalatokat is feltár a könyv, miszerint a beton nedvességtartalmától függővé teszi a hővezetést. [8] További kutatások igazolják, hogy a beton hőtechnikai paraméterei függenek a nedvességtartalmától. Az idő függvényében csökkenő tendenciát mutat. (a száraz állapot felé haladva) [9] [10]

3.4 Hővezetési tényező mérés

A hővezetési tényező mérése a kísérletekben peremvédett segédűtőlapos berendezéssel történik. Az épületfizikai laboratóriumban a Taurus TLP 300 DTX nevű berendezés áll rendelkezésre. Hőszigetelő anyag minták hővezetési tulajdonságait vizsgálhatjuk vele. A mérési tartománya 0,01-1,0 W/mK között van. Azonban, bizonyos átalakításokkal (melyet később fogok majd kifejteni) más típusú anyag is vizsgálható a berendezésben. Két állítható hőmérsékletű lap segítségével végzi a tesztelést. Teljesen szigetelt, léghűtéses, és elektronikus lifttel felszerelt. A berendezés megfelel az ISO 8302, DIN EN 1946-2, EN 12664, EN 12667 és EN 12939 szabványoknak. A műszer szerkezeti rajzán az I jelű test a mérni kívánt mintát jelöli. A felső lap két részre osztható, középen található a fűtőlap mérési része (heating unit metering section), melyet körbe vesz a a fűtőlap peremvédelemért felelős része (heating unit guard section). A mérési rész 20x20 cm-es felületű, a peremvédelemmel kiegészülve 30x30 cm-es. Tehát felülől a mintát melegíti alulról pedig hűti (hideg-meleg oldal).



1. ábra Segédűtőlapos peremvédett hővezetési tényező mérési berendezés szerkezeti felépítése (1 mintát mérő berendezése) [11]

A – fűtőlap mérési része	G – fűtőegység felületi hőelem
B – mérési szakasz felületi lemeze	H – hűtőegység felületi hőelem
C – fűtőlap peremvédett része	I – vizsgálati minta
D – peremvédett szakasz felületi lemeze	L – peremvédő lemez
E – hűtőegység	M – peremvédő lemez szigetelés
Es – hűtőegység felületi lemeze	N – peremvédő lemez különböző hőelem
F – differenciált hőelemek	

Általános hőátadási tulajdonságok

A számításokhoz a megfigyelt állandósult állapotbeli adatokat átlagos értékeit kell használni.

A peremvédett segéd fűtőlapos berendezés mérési adatai:

Hőellenállás: (a kísérletemben ezt az összefüggést alkalmaztam) [Km²/W]

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\Phi_1} \cdot A$$

Szállítási faktor [W/mK]:

$$\zeta = \frac{\phi \cdot d}{A \cdot (T_1 - T_2)}$$

ϕ – a fűtőegység mérési részének átlagos áramellátása [W]

T_1 – a minta átlagos meleg oldali hőmérséklete [K]

T_2 – a minta átlagos hideg oldali hőmérséklete [K]

A – a mérési terület [m²]

d – a minta átlagos vastagsága [m]

Akár a következőképp is számolható [W/mK]:

$$\lambda_t, \lambda^*, \lambda = \frac{\phi \cdot d}{A \cdot (T_1 - T_2)}$$

λ_t – hőátadási tényező [W/mK]

λ^* - higrotermikus átadási tényező [W/mK]

λ – hővezetési tényező [W/mK] [11]

3.5 Szakirodalmi áttekintés

Habár a beton többféle komponensből tevődik össze (mint a cement, adalékanyag, víz és egyéb adalékszerek) ezáltal nyomásra ellenálló, viszont húzó igénybevételekre nagyon gyengén viselkedik. A beton megerősítése céljából acélokat helyeztek el benne. A legelső vasbeton szerkezetet Lambot építette 1848-ban egy csónak formájában. Egy év múlva Joseph Monier francia kertész vasbeton virágládákat készített. A vasbeton végleges, ma is alkalmazott formája 1854-ben alakult ki, amikor William Wilkinson a húzott oldalra helyezte az acélokat. [12]

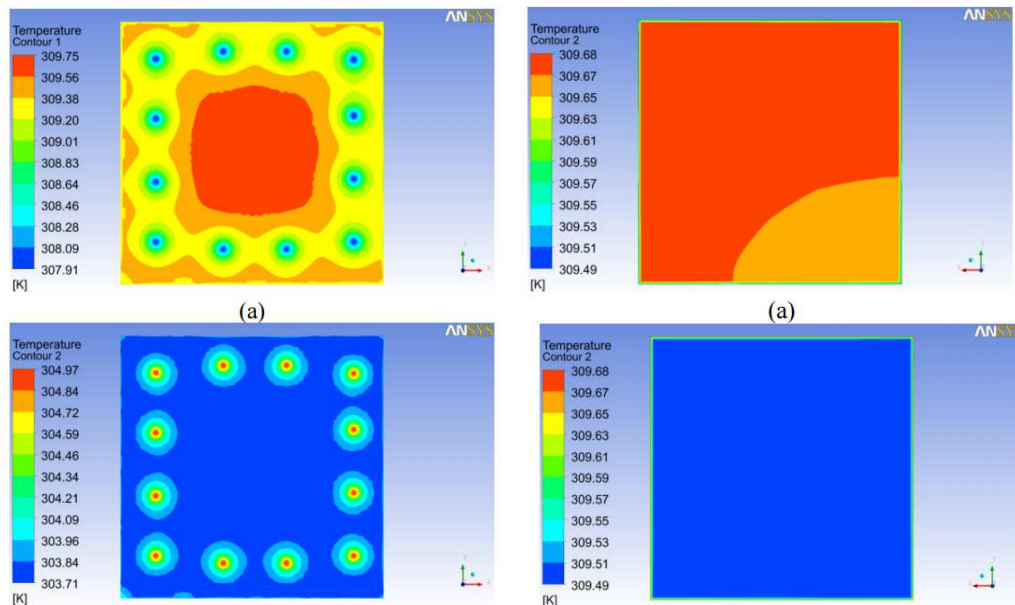
Általánosságban a beton mechanikai tulajdonságai nagyon fontosak (szilárdság, tartósság, teherviselő képesség), de egyre inkább előtérbe kerülnek a szerkezetek energiatakarékos tulajdonságaiban rejlő lehetőségek. Így a vasbetonszerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak kutatása egyre fontosabb lesz.

Rengeteg tanulmány és kutatás foglalkozik a beton hővezetési tulajdonságainak kutatásával. Tasdemir [13] tanulmányozta a könnyűbetonok hővezetési tulajdonságait. Yun et al. [14] a hőszigetelt betonok adalékanyag függő hőtechnikai tulajdonságaival kapcsolatban folytatott vizsgálatokat. Mindketten lineáris összefüggést állapítottak meg a tulajdonságok változtatásával kapcsolatban. Toman and Cerny [15] a nagy szilárdságú betonok hővezetési tulajdonságát vizsgálták 200 °C és 1000 °C között. Bebizonyították, hogy a minimális hővezetési tényezője a nagy szilárdságú betonnak megközelítőleg 400 °C-on van.

A Szakirodalomban számos cikk, tanulmány, kutatás foglalkozik a különböző betonok hőmérséklet- és minőségfüggő hővezetési tulajdonságával. Azonban, csupán egyetlen török kutató csoport vizsgálta a vasbetonok e tulajdonságait.

A török csapat különböző szakterületekről tevődött össze. Kanbur, Atayilmaz, Demir, Koca és Gemici egy vasbeton lemez kis részletét vizsgálta számítógépes szoftverkörnyezetben és valós modellként. Három különböző próbatestet készítettek, egy etalont (vasalás nélkülit), egy 10 mm vasátmérővel és egy 12 mm-es betonacéllal tervezettet. A valós testek elkészítése után a számítógépes modelleket szimulációs ANSYS CFD programban futatták le ugyanazokkal a peremfeltételekkel, mint amilyenekkel a hővezetési tényezőt mérték labor körülmények között. C30/37-es szilárdságú betont alkalmaztak és a kísérleti körülményeket valamint a modelleket az ISO 8302 Szabvány szerint biztosították. A vasbeton testek mérete 50x50x10 cm, a betonacéloké pedig 9 cm volt. A modelleknek két 50x50cm-es érintkező felülete volt a fűtő lappal, amelyen egyenletesen voltak elhelyezve a hőelemek. Ahhoz, hogy a bevitt hő ne áramoljon ki a test oldalain, szigetelő anyaggal körbevették és szintén elhelyeztek 4 hőelemet azon a részen is, habár ezek a légköri hőmérsékletre voltak beállítva. A test hőmérséklete pedig a két különböző felületi hőmérséklet átlaga lett. Az ANSYS CFD hőtechnikai szimulációs programban ugyanezeket a körülményeket állították be. A hálógenerálást az assembly meshing beállítással futatták. A számítógépes szimulációkat a labor mérési eredményekkel validálták. Az eredmények egyértelművé teszik, hogy a vasbeton lemezben a hőáramlás lényegesen nagyobb, mint a sima etalon beton modellben. A kutatók a betonacélokat a felületekre merőlegesen helyezték el, erre nem adtak magyarázatot, hogy pontosan miért. A

programban 2 különböző körülményel is vizsgálták a vasbetonokat. Az én kísérleti modelljeiben élethű megtervezett vasaláson fogom tesztelni az eredményeket és futtatni a szimulációkat. Így pontosabb, megbízhatóbb értékeket fogok kapni. Az eredmény fájlokból is látszik, hogy a mérési körülményeik bizonytalanok, gondolok itt az etalon betonon megjelenő anyagátmenetre, amely hőmérsékletben mutatkozik meg. [16]



2. ábra A szimulációs vasbetonfödémek hőmérséklet eloszlás eredményei [16]

Table 1. The heat inputs for each model

Model Name	Case 1	Case 2
CW	31.54 W	54.00 W
CW10	30.75 W	52.00 W
CW12	30.22 W	54.40 W

2. táblázat Különböző határkörmények között vizsgált testek felületi hőáramai [16]

4. Laborkísérletek

4.1 Valós modellek megalkotása (Betonozás)

A szimulációs mérések validálásához elkészítettem egy közbenső födémrész 1:2 méretarányú kicsinyített mását a három különböző betonacél átmérővel. A laboratóriumi mérésekhez használt 1:2 méretarányú próbatestek 20x20x10 cm méretben, 4, 5 és 6 mm átmérőjű betonacélokkal, C 30/37-es szilárdsági osztályúnak tervezett betonnal készültek el, melyből vasalásmentes etalon próbatestet is gyártottam.

C30/37-es szilárdságú KK betonrecept 60 l betonhoz, d _{max} =8mm					
C 30/37-es szilárdságú betonrecept	Adalékanyag frakciók cement minősége folyósító típusa	Mennyiség		Térfogat	Tömeg [60 l]
		[%]	[kg/m ³]	[l]	[kg]
Adalékanyag	0/4	40	781,12	294,76	46,867
	4/8	60	1171,68	442,14	70,301
			1952,8	736,91	
Cement	CEM II/A-S		340	111	20,4
Víz	v/c=	0,44	150	150	9
Adalékszer	SR3	0,5	1,7	1,6	0,102
Összesen			2444	1000	

3. táblázat C 30/37-es szilárdságú betonrecept

A kicsinyítés arányának megfelelően a maximális adalékanyag szemmagyságot is a felére csökkentettem (d_{max}, eredeti=16 mm, d_{max}, kicsinyített=8 mm). A betonacél átmérők így 4, 5, és 6 mm-esek lettek.

A födémrészek és a próbakockák elkészítéséhez kétszer kellett betont kevernünk, mivel a betonkeverőben egyszerre csak 60 l beton keverhető. Az 1. keverésnél elkészítettük az 5- és 6 mm-es betonacélokkal bevasalt födémrészletet és etalon beton födémeket, valamint a beton nyomószilárdság vizsgálatához a 15x15x15 cm-es próbakockákat. A 2. keverés alkalmával pedig a maradék 4 mm födémeket, etalon testeket, valamint szintén öntöttünk próbakockákat.

Elkészített betontestek, kockák	1. keverés [db]	2. keverés [db]
20x20x10 cm / Φ4 födémrész	-	4
20x20x10 cm / Φ5 födémrész	4	-
20x20x10 cm / Φ6 födémrész	4	-
20x20x10 cm /etalon betontest	3	3
15x15x15 cm próbakocka	5	5

4. táblázat Elkészített betontestek és kockák az 1. és 2 keverés alkalmával

Vasbeton zárófödémek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságai és vége-selemes modellezésük

A födémrészek zsaluját (20x20x10 cm) kiszorításos módszerrel oldottuk meg. A vasakat így a kiszorítóban tudtam rögzíteni. Ahhoz, hogy ez a bevasalt szerkezet ne mozduljon el a beton bevibrálása közben, vibráló asztal helyett tű vibrátort alkalmaztam.

1 napos korban kiszaluzás után, a födémrészek 20x20 cm-es alsó és felső felületét lecsiszoltam, hogy a peremvédett segédfűtőlapos hővezetési tényező mérő berendezés szenzorjai tökéletesen illeszkedjenek a mérendő felületekre, valamint a felesleges kiálló betonacélokat levágtam a modellről. Ezután a próbakockákat 28 napos korukig vízben tároltam. Végül a 2 keverésből 3-3 betonkocka nyomószilárdságát néztem meg. [17]

A födémrészeket vegyesen tároltam 1 hónapig. 7 nap után kivettem a vízből és laborlevegőn tároltam 21 napig.



3. ábra zsalu készítése



4. ábra Betonozott födémrészlet



5. ábra kiszaluzott födémrészletek



6. ábra Födémek felületének csiszolása



7. ábra lecsiszolt födémtestek



8. ábra Betonkockák törése

1. keverés terülés: 60-62 cm			
próbatest jele [15x15x15 cm]	zsalu tömege [kg]	zsalu+ beton tömege [kg]	friss beton tömege [kg]
77	12,476	20,640	8,164
62	12,479	20,680	8,201
X	9,815	17,922	8,107
D17	9,619	17,776	8,157
921	12,332	20,458	8,126

5. táblázat Az 1. keverés zsaluzási mérései

Beton nyomószilárdság Mérési eredmények 28 napos korban					Tömeg [g]	Törőerő [kN]
Sorszám	Próbatest jele	Próbatest mérete				
		a	b	c		
					[mm]	
1	D17	149,60	151,50	149,80	8145	1431
2	62	150,20	151,00	149,90	8189	1497
3	921	150,00	150,70	149,60	8118	1464

6. táblázat 28 napos korban az 1. keverés betonkockáinak törőerő mérése

2. keverés terülés: 50-52 cm			
próbatest jele [15x15x15 cm]	zsalu tömege [kg]	zsalu+ beton tömege [kg]	friss beton tömege [kg]
938	12,232	20,434	8,202
946	12,329	20,563	8,234
561	12,319	20,517	8,198
444	12,368	20,560	8,192
577	12,372	20,440	8,068

7. táblázat A 2. keverés zsaluzási mérései

Beton nyomószilárdság mérési eredmények 28 napos korban					Tömeg [g]	Törőerő [kN]
Sorszám	Próbatest jele	Próbatest mérete				
		a	b	c		
					[mm]	
1	946	149,97	149,80	151,00	8215	1845
2	561	149,90	149,86	150,53	8174	1833
3	444	149,87	150,50	149,60	8172	1809

8. táblázat 28 napos korban a 2. keverés betonkockáinak törőerő mérése

4.1 Hővezetési tényező mérés az épületfizikai laboratóriumban

A szimulációs kísérletek validálásához elvégeztem a kicsinyített födémrészecskék és etalon betontestek hővezetési tényező mérését. Az MSZ EN 12664:2001 [11] szabványban fellelhető leírást felhasználva, kisebb átalakításokkal végeztem a kísérleteket. A testeket 1 hét vízben tárolás után felszállítottuk az épületfizikai laboratóriumba, ahol 3 hétig laborlevegőn tároltam. Ezután az MSZ EN 12390-7:2009-es szabványban megtalálható leírás alapján $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű légkeveréses szárítószekrényben szárítottam a próbatesteket (tömegállandóságig) amíg tömegük 24 órán belül kevesebb, mint 0,2 %-al változott meg. A tömegüket mindig feljegyeztük.



9. ábra A testek szárítása



10. ábra A testek tömegének megmérése 24 óránként

Minden hővezetési tényező mérés előtt a testeket szobahőmérsékletűre kellett hűteni. Ezért a mintákat egy száraz légzáró dobozban kondicionáltuk laborhőmérsékletűre. Az edény alján kék színű szilikagél található, amely 0 %-hoz közeli relatív légnedvességű környezetet biztosít. Ez alatt az idő alatt a minta tömege 1-2 g-ot növekszik, amely a mérés szempontjából elhanyagolható tömegnövekedés. [18]



11. ábra a minták elhelyezése légzáró dobozban



12. ábra A minták kondicionálása

A laborhőmérsékletűre ($23 \text{ }^\circ\text{C}$) hűtött testeket ezután előkészítettem a hővezetési tényező mérésre. A tömegüket és geometriai méretüket feljegyeztem és betápláltam a berendezéshez kötött számítógépbe. Az adatokból száraz testsűrűséget számoltam. Mivel a berendezés csak a test alsó és felső felületével érintkezik az oldalát páramentesen lezártam alufóliával, melyet gondosan leragasztottam. Majd ezt az egész oldalt üvegszál szigetelés (Knauf Ekoboard) kalodával körbefogtam, 10 cm-es szélességben. Így helyeztem be a testet a berendezésbe. Az alsó és felső felületén 5 cm EPS200 szigetelés van az összeállított szerkezet teljes felületén.

Vasbeton zárófödémek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságai és végeleselemes modellezésük

Ezeket helyezve a szenzorok a már említett mérési részen. A felső oldalon a fűtőlap az alsó oldalon pedig a hűtőlap helyezkedik el. A mérés során két állapotot vizsgáltam a 20 °C és 25 °C-os mintaátlaghőmérsékletet. A mintára 300N erőt fejtettem ki a berendezéssel elhanyagolható mértékűre csökkentve a kontaktellenállást. A berendezés megmérte a minta összenyomott méretét is. Ebből számoltam az összenyomott EPS200 szigetelés vastagságát. 20 °C-os átlaghőmérsékletnél az alsó oldalt 15 °C -ra hűtötte a felső oldalt 25 °C-ra fűtötte. 25°C-os minta átlaghőmérsékletnél az alsó oldal 20 °C-ra hűlt le a felső pedig 30 °C-osra melegedett fel. Állapotonként a mérés 22-26 óráig tartott, amit egy 12 óra temperálás előzött meg. Összességében egy minta teljes vizsgálata 2,5-3 napot vett igénybe.



13. ábra A minták méreteinek feljegyzése



14. ábra A minták bevonása alufóliával



15. ábra Üvegyapot kalodába helyezésük



16. ábra A 22-26 órás mérés megkezdése

A szenzorok segítségével a számítógépben fellelhetőek a mért átlagos korrigálatlan hővezetési tényező adatok a különböző hőmérsékleteken, amelyeket a program a beállított 0,74-es szórással számolt ki. A szórás értékét MSZ EN ISO 10456:2008-as szabványból [19] kerestem ki. Ezekből interpolálással számítottam a korrigált átlagos hővezetési tényezőket 23 °C-ra, végül a szimulációk validálásához a deklarált hővezetési tényezőket. Az etalon betontest $\lambda_{23,dry}=1,46$ W/mK értékét fogom a későbbi számításokban alkalmazni.

Próbatest	Próbatestek átlagos paraméterei						Hővezetési tényezők					
	Beton próbatest méretei [mm]			Tömeg [g]		Száras testsűrűség [kg/m ³]	Teljes vtg. [300 N mellett] [mm]	EPS200 vtg. [300 N mellett] [mm]	Mért átl. korrigálatlan hővezetési tényező [W/mK]		Számított átl. korrigált hővezetési tényező [W/mK]	Deklarált hővezetési tényező, $\lambda_{23,dry}$ [W/mK]
	x	y	z	mérés előtt	mérés után				20	25		
PE0	200,66	200,76	100,77	9254,6	9255,8	2279,8	118,65	17,88	1,0692	1,6737	1,4319	1,46
PE1	201,10	201,31	99,29	9288,2	9291,6	2310,7	117,27	17,98	1,1494	1,6737	1,4640	1,47
PE2	200,76	201,36	98,80	9246,1	9248,1	2315,0	116,54	17,74	1,2231	1,6395	1,4729	1,48
PE4	200,51	200,41	99,75	9244,8	9246,9	2306,4	117,67	17,92	1,2731	1,6156	1,4786	1,48

9. táblázat Hővezetési tényező mérési eredményei az etalon beton (PE0), 6mm-es betonacélos (PE1), 5mm-es betonacélos (PE2) és 4mm-es betonacélos (PE4) vasbeton minták esetébe

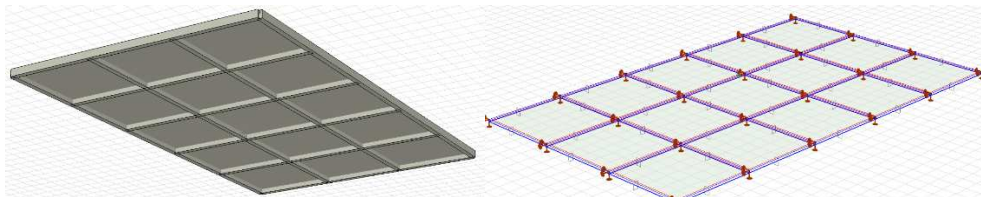
5. Szimulációs modellkísérletek

5.1 Födémtervezés

Kutatásom során egy vasbeton szerkezetű irodaház zárófödémének vasalását hat különböző terhelési esetre terveztem meg: egyenes rétegrend mechanikai rögzítéssel, egyenes rétegrend leterheléssel, fordított rétegrend, extenzív és intenzív zöldtető, valamint parkoló tető. A hat különböző rétegrendhez elkészítettem külön-külön a modelleket AxisVM 12 szoftverkörnyezetben. A terhek felvételét és a gerendák méretezését a MathCAD 14 program segítségével a Vasbeton szerkezetek [20] és a Terhek és hatások című segédletek [21] alapján hajtottam végre. A hat különböző rétegrendhez elkészítettem külön-külön a modelleket (A részletes számítást lásd a Mellékletben).

Geometriai kialakítás:

A vizsgált zárófödém 6x6 m-es lemezekből tevődik össze. Az alul bordás rendszerű, 18 m széles és 30 m hosszú, a lemez vastagsága 20 cm. A raszter vonalában elhelyezkedő gerendák 50x35 cm-es nagyságúak. Az oszlopokat csuklós pontszerű megtámasztásként modelleztem.



17. ábra Alul bordás zárófödém szerkezeti kialakítása

Terhek felvétele:

Az összes modellnél megegyeznek a következő terhek:

- Önsúly: $4,91 \frac{kN}{m^2}$
- Szélnyomás: $0,45 \frac{kN}{m^2}$
- Szélszívás: $0,15 \frac{kN}{m^2}$
- Hóteher: $1 \frac{kN}{m^2}$

A különböző leterhelésből adódóan külön számoltam ki a következő terheket:

- Rétegrendi leterhelésből származó állandó terhek,
- Hasznos terhek,
- Hőmérséklet különbség hatása,
- Parkolótető esetében a dinamikus járműteher.

A következőkben bemutatom az egyes terhek számításának menetét.

Rétegrendi leterhelésből származó állandó terhek

Az alkalmazott tető rétegrendek megfeleltek a 7/2006.TNM rendelet költségoptimalizált, illetve közel nulla követelmény értékeinek, az épületfizikai számításokat az MSZ EN ISO 9646 szabvány alapján korrekciókkal kiegészítve készítettem el.

A 7/2006. TNM kormányrendelet 2. § 6. a bekezdése alapján a közel nulla energiaigényű épület meghatározása:

„Az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról szóló kormányrendelet szerinti költségoptimalizált szinten megvalósult vagy annál energiahatékonyabb épület, amelyben a primerenergiában kifejezett éves energiaigény legalább 25%-át olyan megújuló energiaforrásból biztosítják, amely az épületben keletkezik, az ingatlanról származik vagy a közelben előállított.” [22]

A költségoptimalizált követelményérték a rétegtervi hőátbocsátási tényezőre lapostető esetén $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. A szigetelés vastagságát a hat különböző rétegrendnél úgy választottam meg, hogy a korrigált rétegrendi hőátbocsátási tényezőjük ennek az értéknek megfeleljen.

A rétegrendek hőátbocsátási tényezőit a szerkezet hőhidhatás nélkül számított eredő hővezetési ellenállás reciprokjaként kaptam meg: [23]

$$U_o = \frac{1}{R_{T,h}}$$

Homogén rétegekből álló épületszerkezetek eredő hővezetési ellenállása az alábbi módon számítható:

A hőáram irányára merőlegesen hőtechnikailag homogén rétegekből álló sík szerkezetek $R_{T,h}$ eredő hővezetési ellenállása:

$$R_{T,h} = R_{s,i} + R_1 + R_2 + \dots R_n + R_{s,e}$$

$R_{s,i}$ – a belső hőátadási ellenállás

R_1, R_2, R_n – az egyes rétegek tervezési hővezetési ellenállása

$R_{s,e}$ – a külső hőátadási ellenállás

Az egyenes és fordított rétegrendeknél számolni kell a mechanikus rögzítőelemekre és fordított rétegrendű tetőkre vonatkozó korrekciós tényezőkkel is, az MSZ EN ISO 9646 szabvány alapján. Ezekben az esetekben a hőátbocsátási- és a korrekciós tényező összegeként kapjuk meg a figyelembe veendő tényezőket. (Ha azonban a teljes korrekció kisebb lenne, mint az U érték 3%-a, akkor a korrekciót nem kell alkalmazni.) [24] [25] [26]

Mechanikai elemek korrekciós tényezőjének meghatározása (közelítő eljárás):

A közelítő eljárást alkalmaztam a számításnál, mivel a lapostető hőszigetelő rétegét mechanikai rögzítőelemek szúrják át.

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_0} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

α – tényező, amely figyelembe veszi, hogy a rögzítőelem teljesen áthatol a szigetelésen

λ_f – a rögzítőelem hővezetési tényezője [W/mK]

n_f – a rögzítőelemek száma négyzetméterenként

A_f – a rögzítőelemek keresztmetszeti területe [m²]

d_0 – a rögzítőelemet tartalmazó hőszigetelés vastagsága [m]

R_1 – a rögzítőelemek által átszűrt hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása [m²/KW]

$R_{T,h}$ - a szerkezet hőhídhatás nélkül számított eredő hővezetési ellenállása [m²/KW]

Egyenes zárófödém rétegrend	Rétegek vastagsága d	hővezetési tényező λ	hővezetési ellenállás R=d/ λ	Fajsúly	Súly
	[mm]	[W/mK]	[m ² K/W]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Külső felületi ellenállás			0,04000		
pvc tetőszigetelés mechanikai rögzítéssel	8	0,17	0,04706	12,0	0,096
EPS70 lépésálló hőszigetelés	240	0,04	6,00000	1,60	0,384
párazáró fólia (PE)	2	0,33	0,00606	9,20	0,018
lejtésképző aljzatbeton	60	1,65	0,03636	22,0	1,320
monolit vb. Lemez	200	2,50	0,08000	25,0	5,000
vakolat	15	0,80	0,01875	20,0	0,300
Belső felületi ellenállás			0,10000		
		RT,h	6,32823	g _{zf}	2,12
		U0+ ΔU_f	0,17		

α	0,8		
λ_f	60		
d _f	6	A _f	2,82743E-05
n _f	2		
d ₀	0,25		
R ₁	6,25		
RT,h	6,32823		
ΔU_f	0,01059		

10. táblázat Egyenes zárófödém rétegrend és mechanikai rögzítés hőátbocsátási korrekciójának számolása

Fordított rétegrendű tetőkre vonatkozó korrekciós eljárás:

Ez az eljárás a hőszigetelő réteg és a vízszigetelés között áramló esővíz figyelembevételére alkalmazható. (XPS hőszigetelés esetén). Az esővíz által okozott többlet hőveszteséget veszi figyelembe.

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

p - a csapadék átlagos mennyisége a fűtési idény alatt (Országos Meteorológiai Szolgálat adatai alapján) [mm/nap] [28]

f – p-nek a vízszigetelésig eljutó hányadát megadó elszivárgási tényező

x – a vízszigetelésen áramló esővíz által okozott többlet hőveszteséget jellemző tényező [Wnap/ m²Km]

R₁ – a vízszigetelés fölött elhelyezkedő hőszigetelés hővezetési ellenállása [m²/KW]

R_{T,h} – a szerkezet eredő hővezetési ellenállása a korrekció előtt [m²/KW]

Fordított zárófödém rétegrend	Rétegek vastagsága d	hővezetési tényező λ	hővezetési ellenállás R=d/λ	Fajsúly	Súly
	[mm]	[W/mK]	[m ² K/W]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Külső felületi ellenállás			0,04000		
leterhelés	50	2,00	0,02500	17,0	0,850
geotextil	2	0,05	0,04000	1,20	0,002
XPS70	300	0,04	7,89474	1,60	0,480
bitumen	8	0,23	0,03478	11,0	0,088
párazáró fólia	2	0,33	0,00606	9,20	0,018
lejtésképző aljzatbeton	60	1,65	0,03636	22,0	1,320
monolit vb. Lemez	200	2,50	0,08000	25,0	5,000
vakolat	15	0,80	0,01875	20,0	0,300
Belső felületi ellenállás			0,10000		
		RT,h	8,27569	g _{zf}	3,06
		U0+ ΔUr	0,17		

p	1,43
f*x	0,04
R1	7,5
RT,h	8,27569
ΔUr	0,04698

11. táblázat Fordított zárófödém rétegrend és fordított rétegrendű tető hőátbocsátási korrekciójának számolása

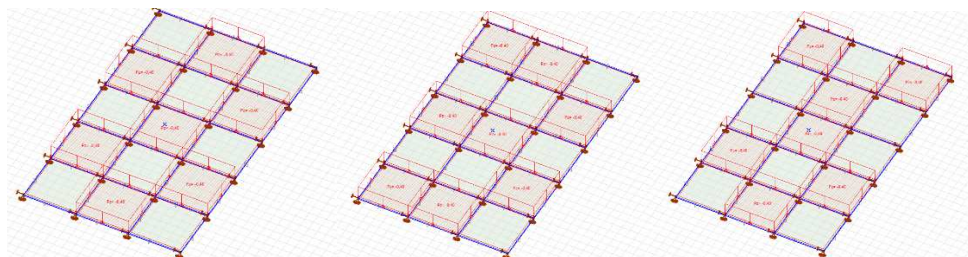
Hasznos terhek:

A födémeként változó funkció miatt a lapostetők hasznos terheinek nagysága és egyidejűségi tényezőjük különböző. A tényezők értékeit a Terhek és hatások című segédletből vettem.

Zárófödém típusa	Rétegrendek hasznos terheihez tartozó egyidejűségi tényezők				
	Rétegrendek	Teherintenzitás q [kN/m ²]	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nem járható tetők	Egyenes	0,40	0	0	0
	Egyenes leterhelt				
	Fordított				
	Extenzív				
Nehéz járművekkel járható tető	Parkolótető	0,25	0,7	0,7	0,6
Járható tető	Intenzív	3,00	0,7	0,5	0,3

12. táblázat Rétegrendek hasznos terheihez tartozó egyidejűségi tényezők

Ahhoz, hogy a vizsgált pontokban (födém mező közepén, gerenda felett közepén, x és y irányban) a mértékadó igénybevételeket kapjuk három féle hasznos leterhelést alkalmaztam.

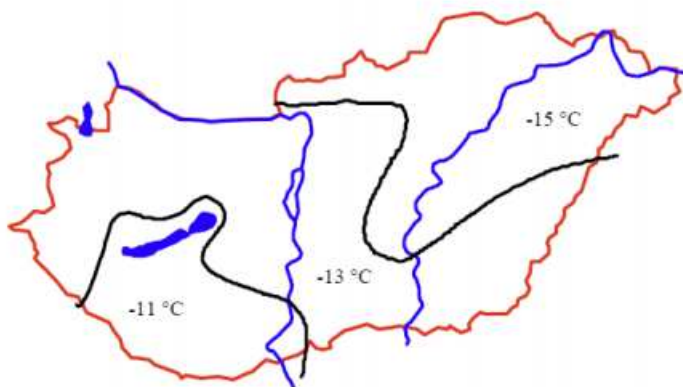


18. ábra A hasznos terhek három különböző sakktábla leterhelése

- *Hőmérsékleti teher*

A hőmérsékleti teher mind a hat födémnél különbözik a rétegrendi felépítés miatt. A teher számításánál a legkedvezőtlenebb esettel kalkuláltam, ez pedig télen van. Az MSZ 24140:2015 szabványban megtalálható értékek alapján a belső hőmérsékletet 20 °C-ra, a külső légköri hőmérsékletet [Ősz J., Bihari P. 1998 [27]] alapján -15°C-ra vettem fel, mint magyarországi szélsőértéket. Ez az érték a Ez 35 °C-os hőmérsékletkülönbséget eredményez. A hőfokesést kiszámolva, a réteghatárokon a végeselemes szimulációban be a födém közvetlen felületén és a bordák vonalában mérhető hőmérsékleti terheket. A hőfokesés számítását az intenzív rétegrend esetében mutatom be. [29]

A Bihari könyv értékei a 2012-ben visszavont MSZ EN 04-140-3:1987 szabvány [28] alapján lettek meghatározva, melyet azonban a gyakorlatban a mai napig használnak. [30]



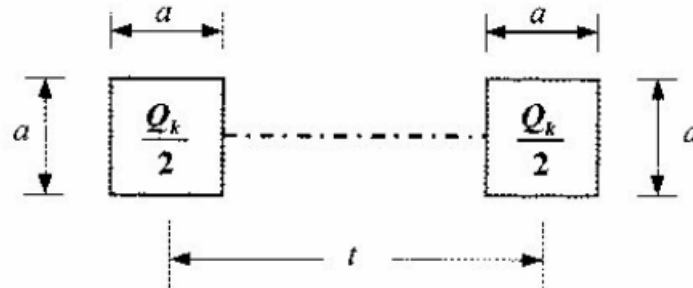
19. ábra Magyarország külső méretezési hőmérsékletei a téli hónapokban területre vetítve [27]

intenzív zárófödém rétegrend hőfokelés számítása	Hőátadási tényező [W/m ² K]	Vastagság [mm]	Hővezetési tényező [W/mK]	Hővezetési ellenállás [m ² K/W]	Hőmérséklet Különbség [°C]	Hőmérséklet [°C]
Megnevezés	h_i	d	λ	$R=d/\lambda$	$\Delta t=((t_b-t_k)/RT,h)*R_i$	t
						20
Belső felületi ellenállás	10			0,1	0,608489	19,392
Belső vakolat		15	0,80	0,01875	0,114092	19,277
Monolit vasbeton lemez		200	2,50	0,08000	0,486791	18,791
Lejtést adó réteg		60	1,65	0,03636	0,221269	18,569
Párazáró réteg		2	0,33	0,00606	0,036878	18,532
Hőszigetelés EPS200		200	0,04	5,00000	30,424429	-11,892
Gyökérálló vízszigetelés		8	0,23	0,03478	0,211648	-12,104
Védő geotextília		4	0,05	0,08000	0,486791	-12,590
Felületszivargó		13	0,50	0,02600	0,158207	-12,749
Szűrő geotextília		4	0,05	0,08000	0,486791	-13,235
Termőföld réteg		500	2,00	0,25000	1,521221	-14,757
Külső felületi ellenállás	25			0,040	0,243395	-15
			RT,h	5,75196		

13. táblázat Hőmérsékleti teher meghatározása az intenzív födém külső felületén [29]

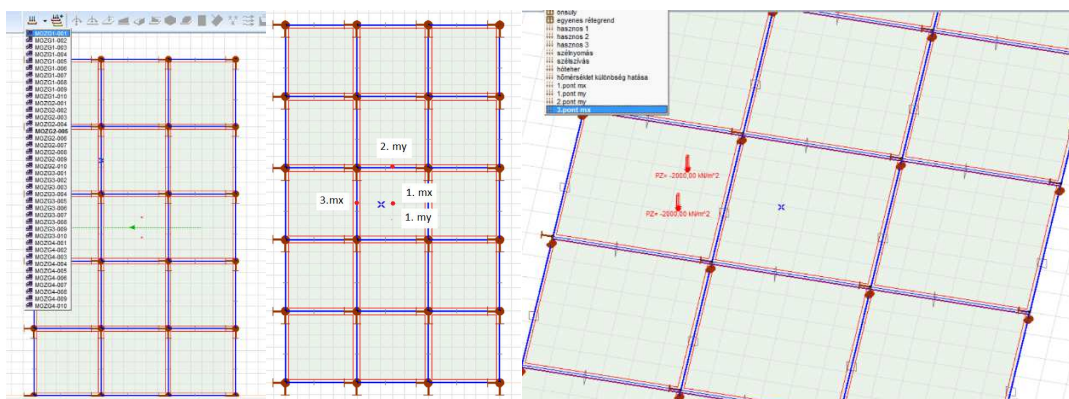
- Dinamikus járműteher parkolótető esetében

A járműterhek tengelyterheinek számítását a Terhek és Hatások című segédlet erre vonatkozó része alapján számítottam.



20. ábra Járművek tengelyterhének elhelyezkedése [21]

A parkolótetőn kisebb, mint 30 kN összsúlyú gépjárművek parkolnak, így az F használati osztályba sorolás után megkaptam a tengelyterhelés nagyságát. A tengelyteher $Q=20$ kN, a terhelte felület $a=100$ mm szélességű és hosszúságú, a tengelytávolság 1,80 m. Felületi teherre átszámítva, megkaptam az Axisba is bevitt 2000 kN/m²-es értékét. Ahhoz, hogy a vizsgált pontokban megkapjam a mértékadó igénybevételeket, külön modellfájlban vizsgáltam a járműterhek hatását. Megnéztem, hogy a vizsgált pontokban melyik teherállásból keletkezik a legnagyobb igénybevétel. A négy mértékadó teherállást vettem fel a parkolótető esetleges terhei közé 1, 0,9 és 0 egyidejűségi tényezőket alkalmazva.



21. ábra Parkolótető járműterheinek meghatározása dinamikus mozgó teherrel, valamint felvétele a vizsgált pontokban okozott legnagyobb igénybevétel alapján

A födém végeleemes háló generálása után a lineáris statikai számítást teherbírési határállapotban futtattam le (ULS). Az Axis program a mértékadó igénybevételek meghatározását követően a szükséges vasalást is meghatározza, figyelembe véve a teherbírési és használhatósági követelményeket is.

Vasbeton zárófödémek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságai és végeelemes modellezésük

A mértékadó igénybevételeket kigyűjtve a vizsgált pontokban és a szükséges vashányadokat figyelembe véve az extenzív és intenzív teheresetek bizonyultak mértékadónak.

Mértékadó igénybevételek a vizsgált pontokban födémenként				
	1. mx	1. my	2. my	3. mx
egyenes	-6,77	-9,49	16,13	17,97
egyenes leterhelt	-7,48	-10,45	17,73	19,74
fordított	-7,59	-10,60	17,74	19,75
extenzív	-8,61	-11,99	20,37	22,64
parkoló	-19,45	-24,55	29,80	32,68
intenzív	-19,17	-25,41	39,79	44,08

14. táblázat Mértékadó nyomatéki igénybevételek a vizsgált pontokban

Intenzív zárófödém vasalási paramétere a vasmennyiségek alapján							
6x6 m-es intenzív vasbeton födém (betonfedés: 2,5 cm)		Alsó hálózott vasalás (6 m-es betonacélok), Felső mezőközépi vasalás (5,2 m-es betonacélok)			felső bordák vonalában lévő vasalás (0,5 m-es betonacélok)		
Betonacél átmérő	vasalás iránya és helyzete	szükséges vasmennyiség a.szűk [mm ² /m]	betonacélok távolsága s [mm]	alkalmazott vasmennyiség a.alk [mm ² /m]	szükséges vasmennyiség a.szűk [mm ² /m]	betonacélok távolsága s [mm]	alkalmazott vasmennyiség a.alk [mm ² /m]
Φ 8	x irányú alsó vasalás	264	180	279			
	y irányú alsó vasalás	368	120	419			
	x irányú felső vasalás	273	180	279	273	60	838
	y irányú felső vasalás	256	180	279	256	60	838
Φ 10	x irányú alsó vasalás	265	280	280			
	y irányú alsó vasalás	376	200	393			
	x irányú felső vasalás	275	280	280	642	120	654
	y irányú felső vasalás	261	280	280	609	120	654
Φ 12	x irányú alsó vasalás	267	420	269			
	y irányú alsó vasalás	383	280	404			
	x irányú felső vasalás	296	380	298	690	160	707
	y irányú felső vasalás	286	380	298	668	160	707

15. táblázat Intenzív zárófödém vasalási paramétere a vasmennyiségek alapján

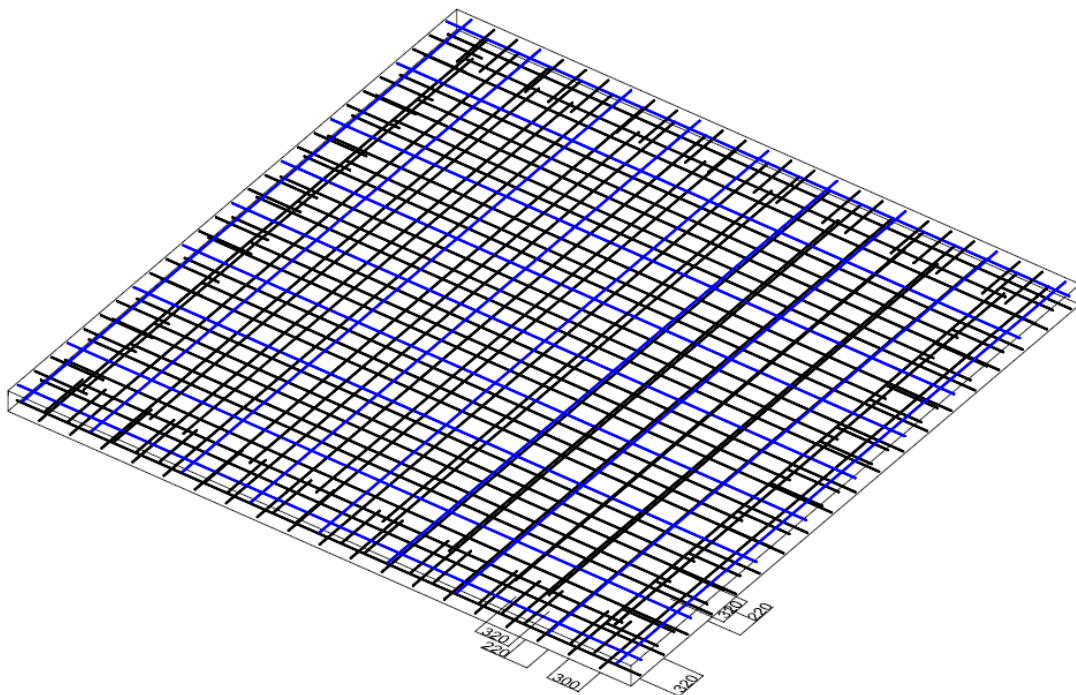
Extenzív zárófödém vasalási paramétere a vasmennyiségek alapján							
6x6 m-es extenzív vasbeton födém (betonfedés: 2,5 cm)		Alsó hálózott vasalás (6 m-es betonacélok), Felső mezőközépi vasalás (5,2 m-es betonacélok)			felső bordák vonalában lévő vasalás (0,5 m-es betonacélok)		
Betonacél átmérő	vasalás iránya és helyzete	szükséges vasmennyiség a.szűk [mm ² /m]	betonacélok távolsága s [mm]	alkalmazott vasmennyiség a.alk [mm ² /m]	szükséges vasmennyiség a.szűk [mm ² /m]	betonacélok távolsága s [mm]	alkalmazott vasmennyiség a.alk [mm ² /m]
Φ 8	x irányú alsó vasalás	257	180	279			
	y irányú alsó vasalás	245	200	251			
	x irányú felső vasalás	242	200	251	339	140	359
	y irányú felső vasalás	226	200	251	316	140	359
Φ 10	x irányú alsó vasalás	256	300	262			
	y irányú alsó vasalás	241	320	245			
	x irányú felső vasalás	243	320	245	341	220	357
	y irányú felső vasalás	230	320	245	323	220	357
Φ 12	x irányú alsó vasalás	254	400	278			
	y irányú alsó vasalás	236	400	278			
	x irányú felső vasalás	245	400	278	343	320	353
	y irányú felső vasalás	235	400	278	329	320	353

16. táblázat Extenzív zárófödém vasalási paramétere a vasmennyiségek alapján

A megtervezett födécek közül két mértékadó teheresetet kiválasztva, modellenként három különböző vasátmérő (8, 10 és 12 mm-es betonacél átmérők) felhasználásával létrehoztam a középső 6x6 méteres szekciók háromdimenziós vasalási terveit. A fenti vasalási paramétereket az Axis programból kaptam, az alsó és felső betonfedés 2,5 cm. A zárófödém alsó vasalásának vaskiosztása a födém teljes területén megegyezik. A felső vasalásnál mezőközépen ritkább kiosztást alkalmaztam, míg a gerendák felett sűrűbb vaskiosztást (0,5 m hosszú betonacélok) a födém közepe felé haladva ezt felváltja a ritkított vasalás (5,2 m hosszú betonacélok).

A hőtechnikai szimulációs program szempontjából külön figyelmet kellett fordítani a felső vasalás változásánál a lehorgonyzásokra. A hálógenerálás hibákba ütközött a túl közel lévő betonacélok esetében. Ezért a 0,5 m-es szélső betonacélokat ezekben az esetekben összevontam a mezőközépi betonacélokkal (kék színnel ábrázoltam az alábbi ábrán).

A részletes Axis dokumentáció megtalálható a Mellékletben. Dokumentációt az extenzív, intenzív födécek 1-1 modelljeiről készítettem, mivel ezek voltak a mértékadóak.



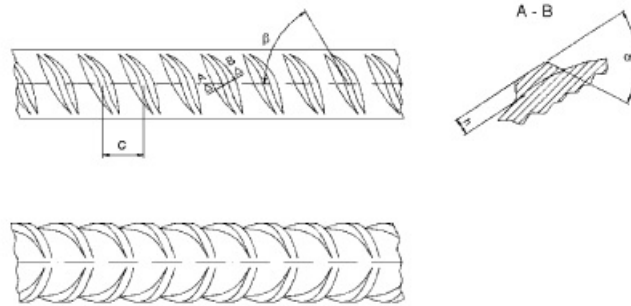
22. ábra Az extenzív zárófödém háromdimenziós vasalási terve 10mm-es betonacél átmérővel

5.2 Betonacélok szimulációs vizsgálata

A hőtechnikai szimulációkat az Ansys Workbench 15.0 program segítségével végeztem.

A program véges lehetőségei miatt nem tud bonyolult kis kiterjedésű geometriákat kezelni a megtervezett 6x6 m-es zárófödémben. Ezért meg kellett vizsgálni milyen geometriákkal lehet helyettesíteni a valós betonacélt.

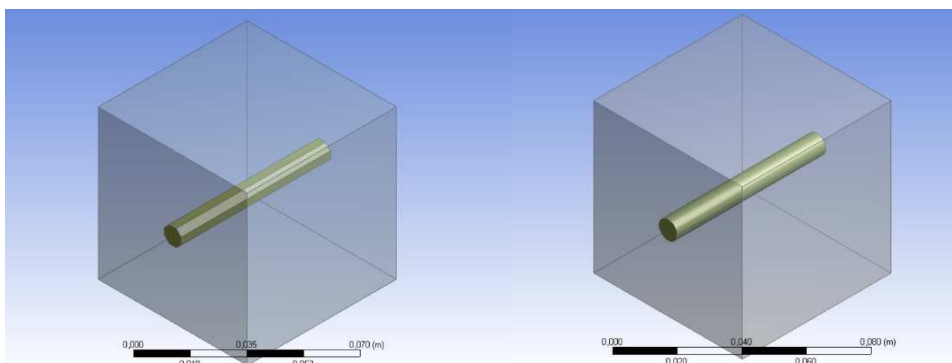
Az MSZ EN 10080 szabványban fellelhető előírásoknak megfelelően modelleztem a 3 különböző átmérőjű betonacélt az AutoCAD program segítségével.



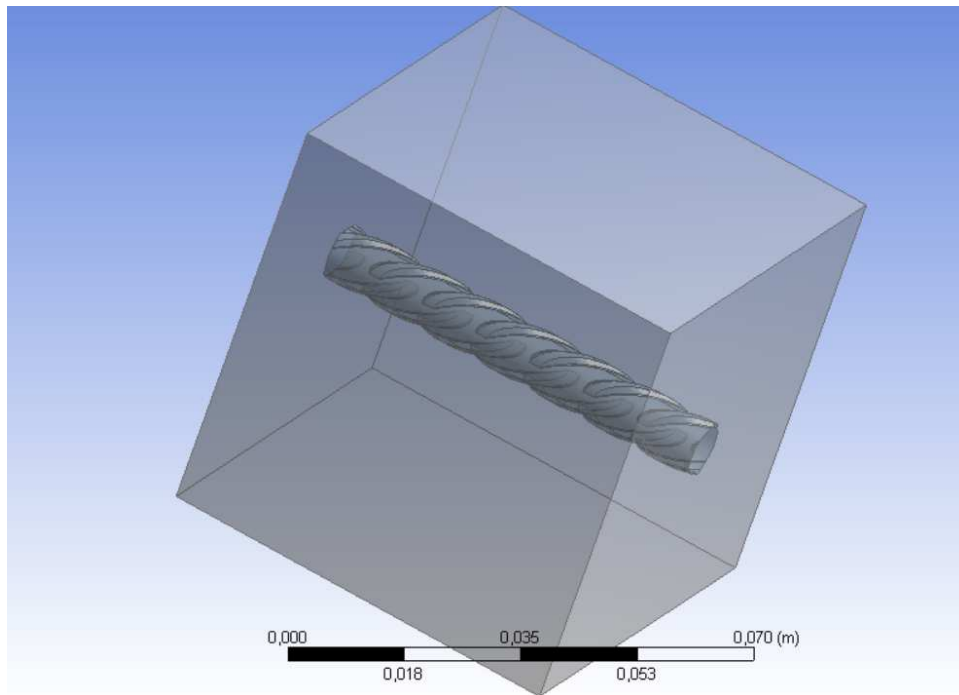
12. ábra Bordázott acél felületi kialakítása a az MSZ EN 10080 szabványban [31]

Három különböző acélbetét modellt vizsgáltam; a már említett bordázott, hengeres valamint nyolcszög alapú hasáb geometriák formájában. A szabványban fellelhető ~1- és ~2%-os vashányadoknak megfelelően itt is ilyen vashányadú próbatesteket modelleztem a szoftverben, hogy összehasonlítsam a hővezetési tényezőiket. Az ~1%-os vashányadú próbakockák mérete 6,5x6,5x6,5 cm, a ~2%-osaké pedig 9x9x9 cm. Mindkét testben középen helyeztem el az acélokat.

A relatív hiba mértéke mindenhol 5% alatt van, így hengeres vagy nyolcszög alapú hasábbal is helyettesíthetjük a bordázott acélokat. A szimulációs futtatásokból kiderült, hogy ugyan a próba födémek szimulációja lefut hengeres acéllal, a 6x6 m-es bevasalt födém hálózása nehézséget okoz a programnak. A háromdimenziós rajzban a henger felületét más felbontásban illeszti be a program, mint amilyen felbontásban megrajzoltam.



23. ábra Nyolcszög alapú hasáb és henger geometriájú betonacél modellek



24. ábra Bordázott betonacél modell

A szimulációban a felületi hőmérsékleteket 20 °C és 4°C-ra állítottam be. A beton hővezetési tényezőjét a magyar szabványok alapján 2 W/mK-re vettem fel, valamint a betonacél tényezőjét a megadott értéken 60,5 W/mK-en hagytam. [32] [33]

A felületi hőáramokból Q [W] számítottam a vonatkozó hőátbocsátási- U [W/m²K] és egyenértékű hővezetési tényezőket λ [W/mK]. Ezeket táblázatos formában összefoglaltam.

$$\frac{Q}{A \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{1}{\frac{1}{h_{si}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{se}}}$$

Q [w]	– hőáram
A [m ²]	– hőáramlás irányára merőleges felület
$(T_2 - T_1)$ [K]	– A külső és belső oldal közötti felületek hőmérséklet különbsége
h_{si} [W/m ² K]	– belső hőátadási tényező (10 W/m ² K)
h_{se} [W/m ² K]	– külső hőátadási tényező (25 W/m ² K)
d	– az anyag vastagsága
λ [W/mK]	– hővezetési tényező

$$Q = q \cdot A \cdot \frac{1}{R_{si,e} + R} (T_2 - T_1)$$

$R_{si,e}$ [m ² K/W]	– Külső és belső oldali hőátadási ellenállás ($R_{si} = 0,1$ m ² K/W, $R_{se} = 0,04$ m ² K/W)
---------------------------------	--

R [m²K/W] – Réteg hővezetési ellenállása

$$U = \frac{1}{R_{si,e} + R}$$

U [W/m²K] – hőátbocsátási tényező

próbatetek mérete		9x9x9 cm-es vasbeton próbatetek, ~1% vashányad				
betonacél átmérők φ [mm]	Eredmények	bordázott betonacél modell	nyolcszög alapú hasáb betonacél modell	relatív hiba bordázott-nyolcszög e [%]	hengeres betonacél modell	relatív hiba bordázott-hengeres e [%]
8	Q [W]	0,6042	0,6040	0,026%	0,6041	0,005%
	λ [W/mK]	0,2580	0,2579	0,026%	0,2580	0,000%
10	Q [W]	0,6050	0,6048	0,040%	0,6050	0,005%
	λ [W/mK]	0,2583	0,2582	0,040%	0,2583	0,005%
12	Q [W]	0,6061	0,6057	0,068%	0,6060	0,020%
	λ [W/mK]	0,2588	0,2586	0,068%	0,2587	0,020%

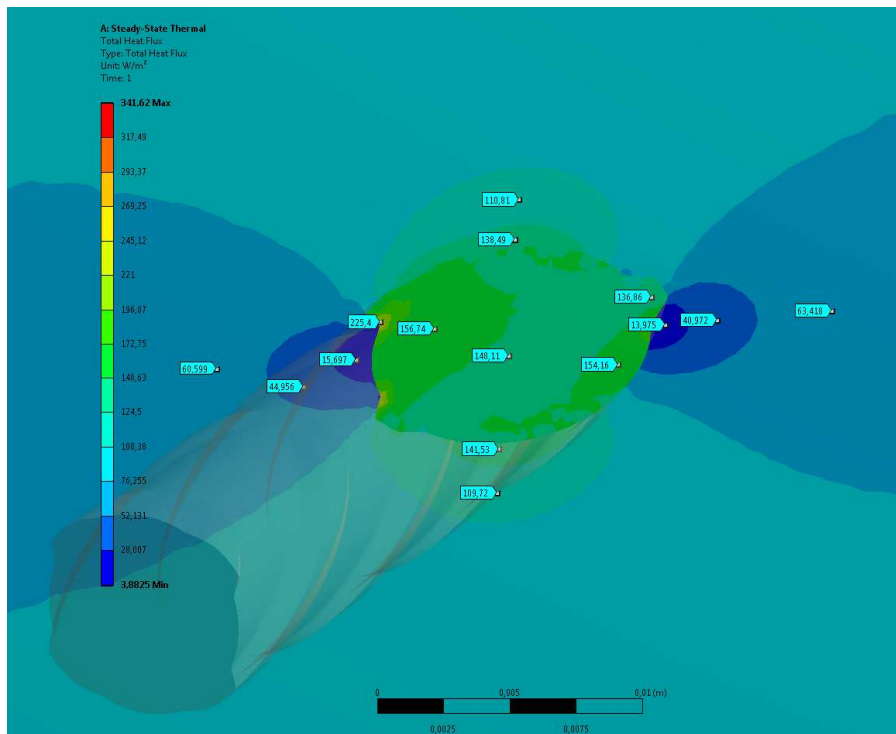
17. táblázat A 9x9x9 cm-es próbakockák különböző betonacél modellezése lehetőségek hővezetési tényezőinek összehasonlítása

próbatetek mérete		6,5x6,5x6,5 cm-es vasbeton próbatetek, ~2% vashányad				
betonacél átmérők φ [mm]	Eredmények	bordázott betonacél modell	nyolcszög alapú hasáb betonacél modell	relatív hiba bordázott-nyolcszög e [%]	hengeres betonacél modell	relatív hiba bordázott-hengeres e [%]
8	Q [W]	0,3350	0,3348	0,036%	0,3350	0,036%
	λ [W/mK]	0,2742	0,2741	0,036%	0,2742	0,036%
10	Q [W]	0,3356	0,3354	0,057%	0,3356	0,057%
	λ [W/mK]	0,2747	0,2746	0,057%	0,2747	0,057%
12	Q [W]	0,3365	0,3362	0,095%	0,3364	0,095%
	λ [W/mK]	0,2754	0,2752	0,095%	0,2754	0,095%

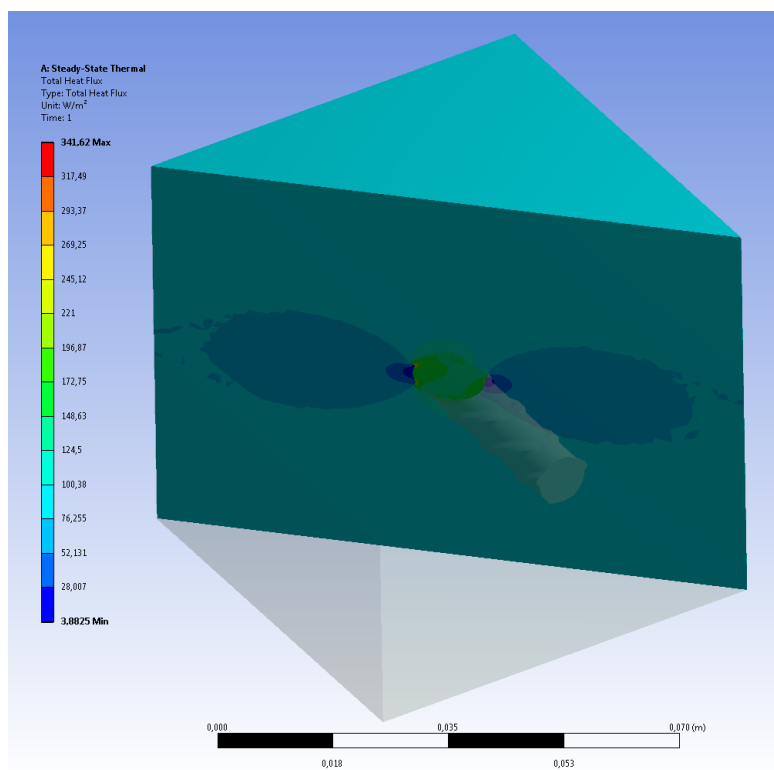
18. táblázat A 6,5x6,5x6,5 cm-es próbakockák különböző betonacél modellezése lehetőségek hővezetési tényezőinek összehasonlítása

A szimulációs eredményekből látszik, hogy az acél hővezetése hogyan alakul a betonban. Az ábrák jól szemléltetik, hogy függőleges irányban megy végbe a hőáramlás. Míg az acél környezetében vízszintes irányban elvonja, úgy függőleges irányban tovább vezeti. (23. ábra) A bordázott betonacél környezetében a program igen részletes átmenetes hálót készített, ez a bordák mélységéből adódik. Ezért nem alkalmas ez a bordázott betonacél a nagy födémek szimulációjához, a program nem tudja reprodukálni a hálót. Valamint a hengeres megoldás sem helytálló, mivel az acélok egyetlen pontjukban érintkeznek az x és y irányú vasalások találkozásánál. Ebben az egy pontban úgy besűrűsíti a hálógenerálást, hogy az egész födém felbontásban akarja behálózni milliányi végelelem csomópontot létrehozva. Ezért a betonacélok szimulálására a nyolcszög alapú hasáb maradt, melyet két féle módon lehet

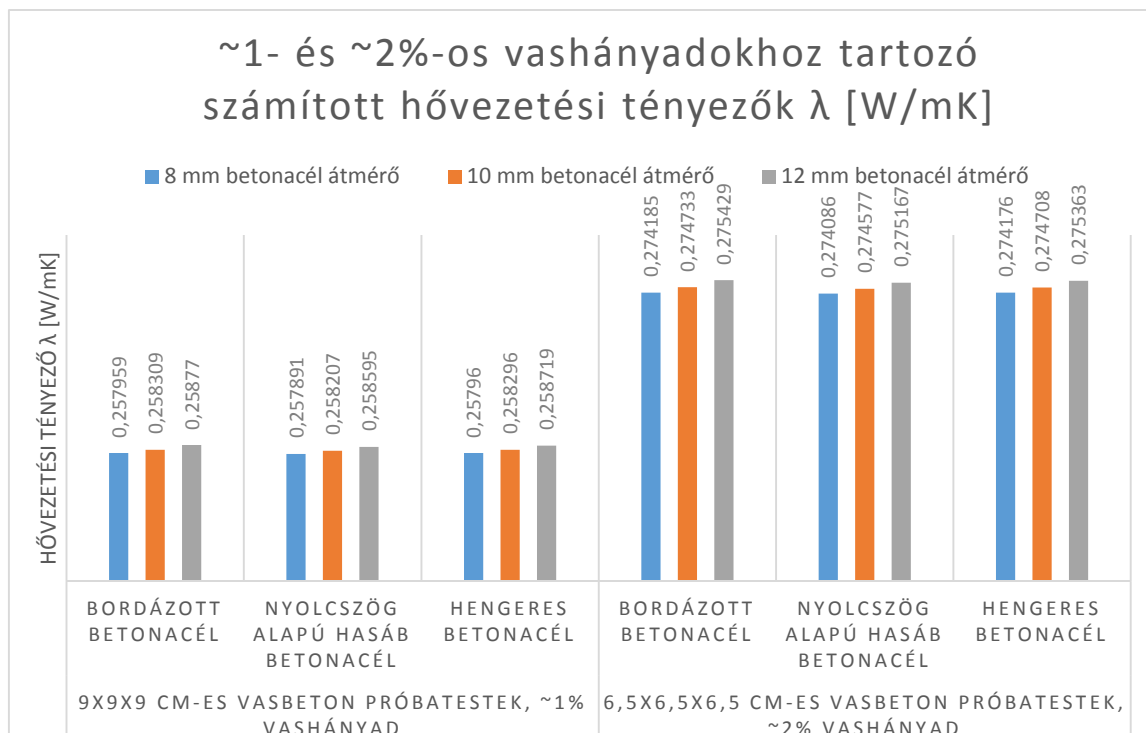
elhelyezni a födémszerkezetben. Az első változat, miszerint csúcsával egy pontjukban találkoztak az x, y irányú betonacélok, nem bizonyult jónak a hengeres mintából is kiindulva. Az utolsónak kipróbált változat, amelyben a nyolcszögek lapjukkal találkoztak tökéletesen lefutott, így az összes födémeket ezzel a megoldással készítettem el.



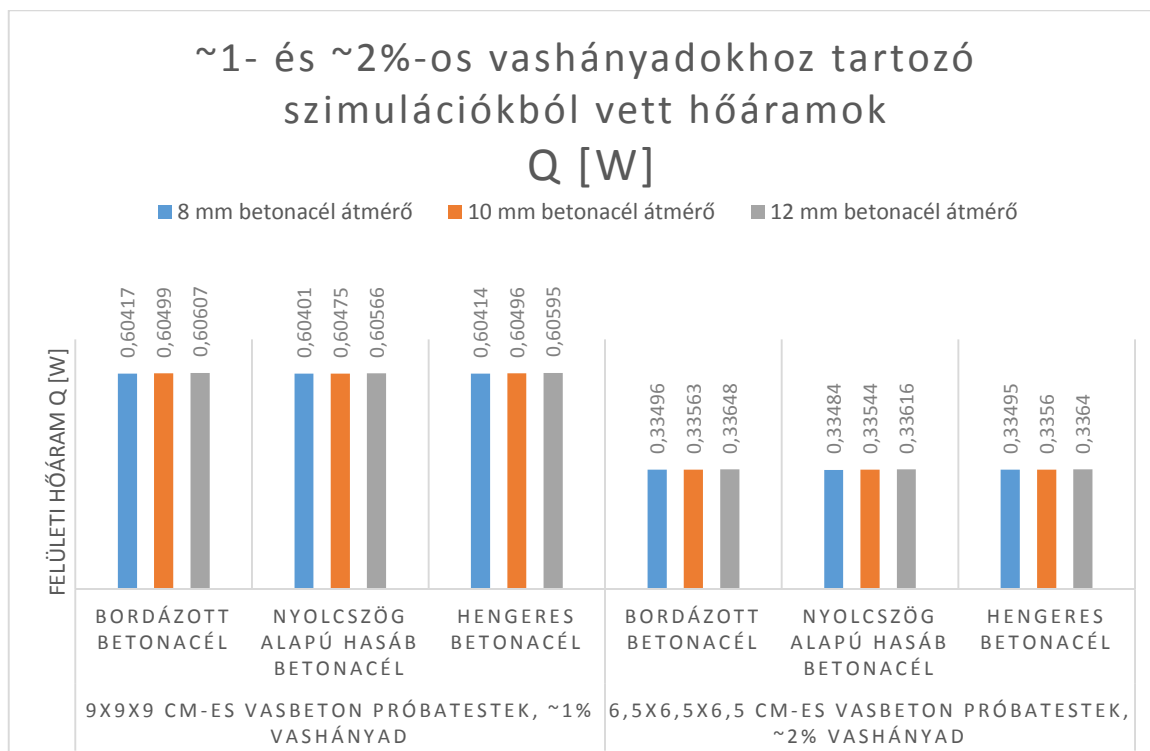
25. ábra Hőáramsűrűség eloszlás a bordázott betonacél környezetében értékekkel fetűntetve



26. ábra Hőáramsűrűség eloszlás a bordázott betonacél környezetében



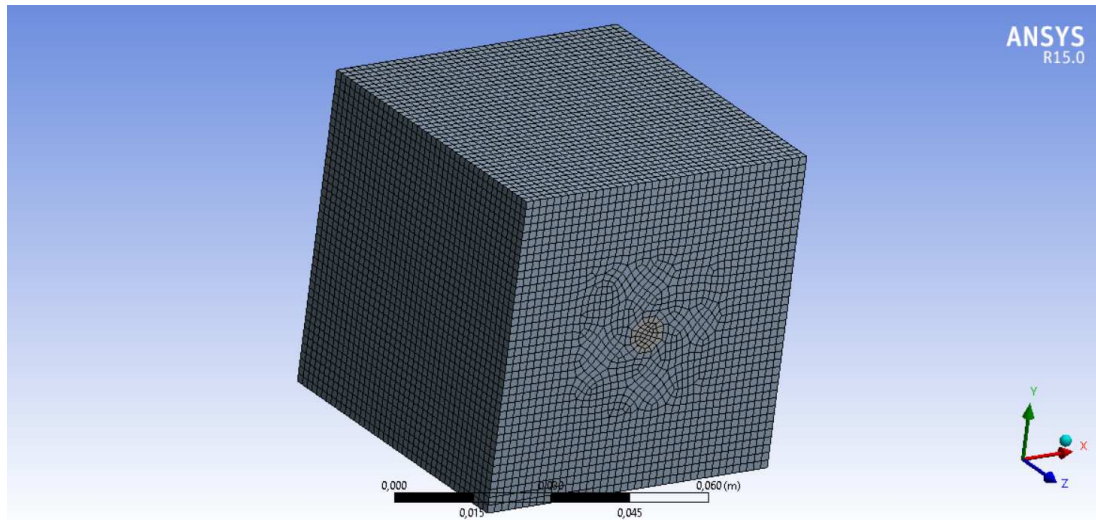
27. ábra A hővezetési tényezők összevetése a különböző geometriájú betonacéloknál



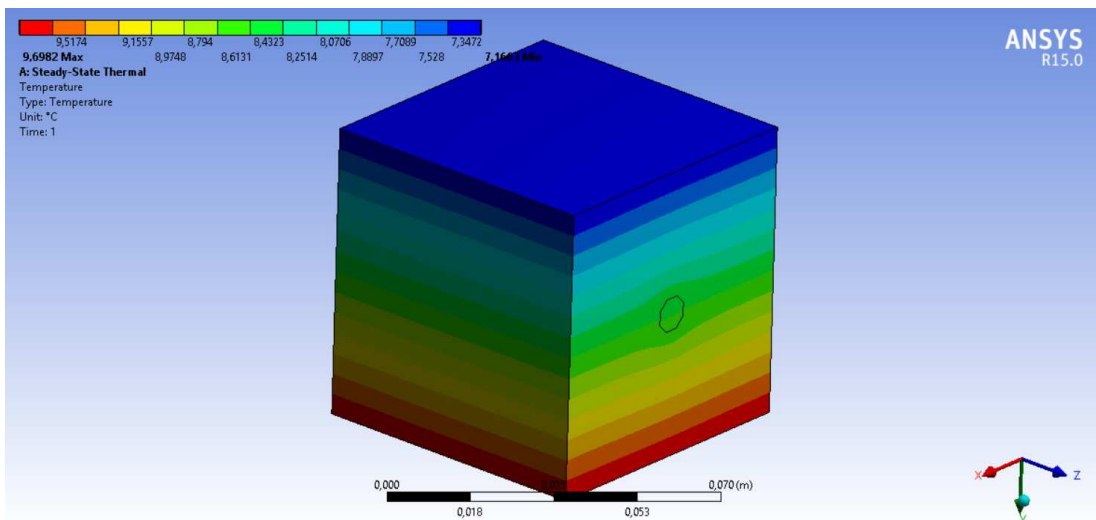
28. ábra A hőáramok összevetése a különböző geometriájú betonacéloknál

A szimulációs szoftverkörnyezetben a nyolcszög alapú hasáb geometriával modelleztem a betonacélokat.

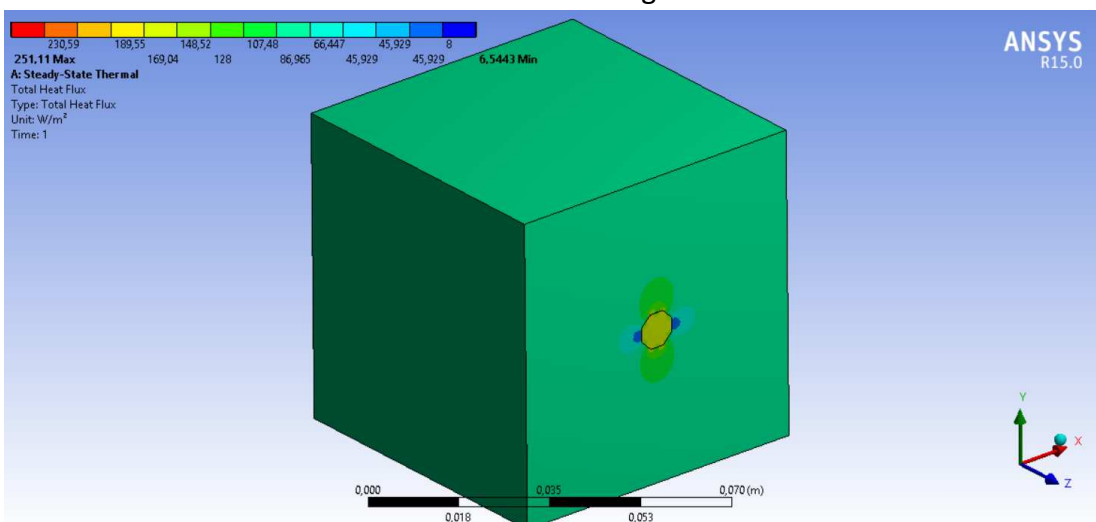
Végelemes háló



Hőmérsékleteloszlás

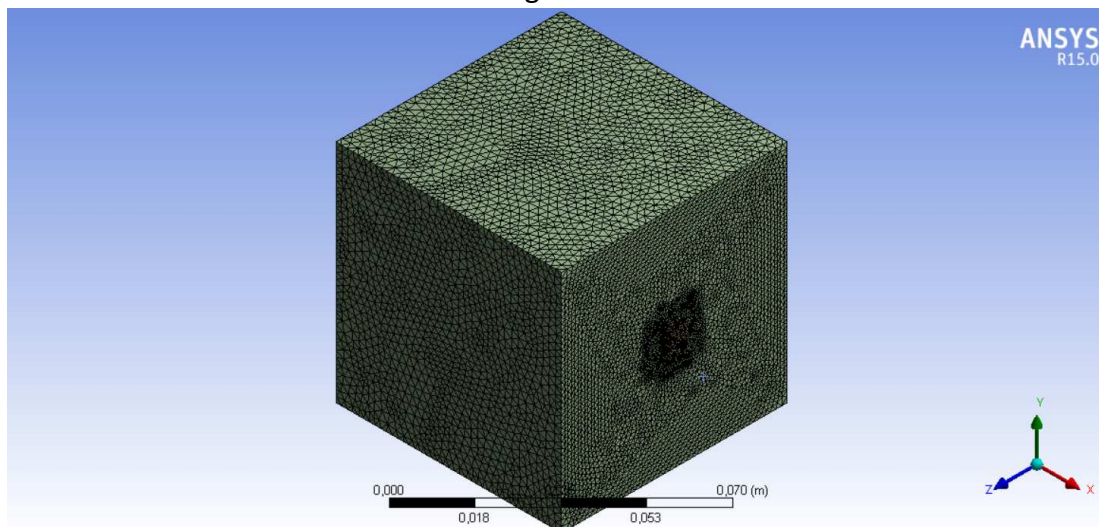


Hőáramsűrűség

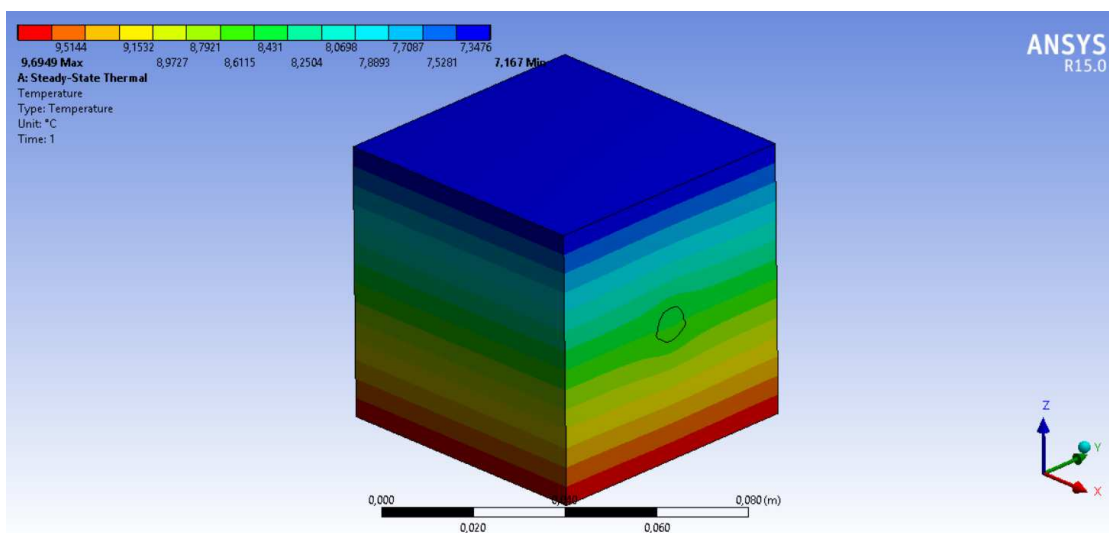


29. ábra 6,5x6,5x6,5 cm-es vasbeton próbatetek, ~2% vashányad Nyolcszög alapú hasáb betonacélokkal

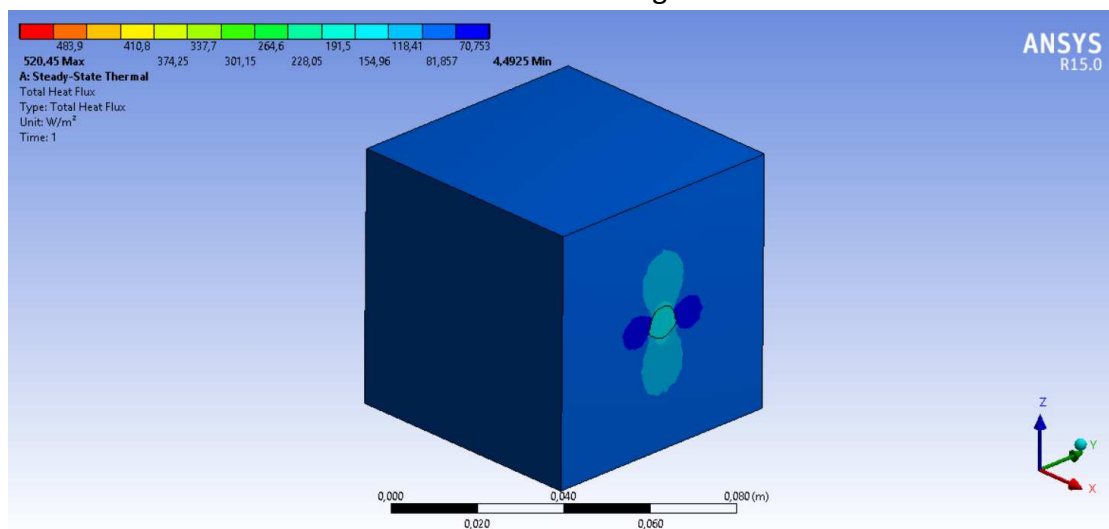
Végeleemes háló



Hőmérsékleteloszlás



Hőáramsűrűség



30. ábra 9x9x9 cm-es vasbeton próbatestek, ~1% vashányad

Bordázott betonacélokkal

A különbség a nyolcszög alapú hasábbal és bordázott acéllal modellezett próbatetek között a végeselemes hálóban és a hőáramsűrűség ábrában mutatkozik meg szembetűnően.

A háló sűrűsége sokkal nagyobb a bordázott esetben, mivel a bordák mélyedése sokkal kisebb a beton területéhez képest. Így a program elkezd besűríteni a végeselemes hálót azon a részen majd fokozatosan halad az acéltól távolodva egy csillag alakot formázva, a bordák görbületéhez igazodva. A felbontást követve a beton hálózása is sűrűbb lesz, mint a nyolcszöges esetben. A modellek hálójának futtatását több féle beállítással is kipróbáltam és arra a következtetésre jutottam, hogy nem függ számottevően, hogy milyen felbontásban futtatom a számítást a vizsgált felbontások esetén, végül ugyanazt az eredményt fogom kapni a Hőáramra Q [W].

A nyolcszöges és a bordázott betonacélos testek hálóbeállításai a következő ábrán láthatóak.

Details of "Mesh"		Details of "Mesh"	
Sizing		Sizing	
Use Advanced Size Fun...	On: Curvature	Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine	Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly	<input type="checkbox"/> Element Size	Default
Smoothing	High	Initial Size Seed	Active Assembly
Transition	Slow	Smoothing	High
Span Angle Center	Fine	Transition	Slow
<input type="checkbox"/> Curvature Normal A...	Default (18,0 °)	Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (1,6436e-005 m)	Minimum Edge Length	6,8235e-006 m
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (1,6436e-003 m)		
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (3,2871e-003 m)		
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)		
Minimum Edge Length	3,0615e-003 m		

31. ábra A nyolcszög alapú és bordázott betonacél hasábbal modellezett próbatetek háló futtatási beállításai

A futtatás után, látszik, hogy a bordázott próbatestet sokkal több végeselem csomópontra bontja a program, mint a nyolcszögest.

A program geometriai alapú hálósűrítést végez így végeselemekre számítja a hőáramokat és abból számol a területekre átlagokat. Ezért a mértékegysége W/m^2 .

A hőáramsűrűség ábrák különbsége a skála színpalettájának korlátozottsága miatt alakult ki. Kvázi ugyanolyanok az acélbetétek körüli hőáramsűrűség geometriai eloszlása.

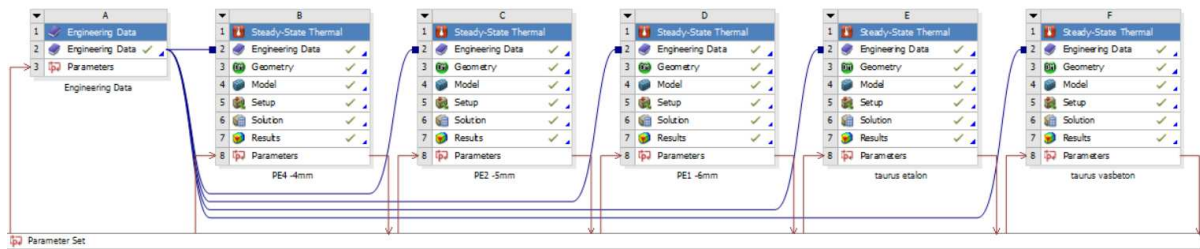
A geometriai változás hőáramcsúcsot eredményez a bordázott esetben, ezért más a színskálája az ábráknak.

Bordázott esetben a világos kék szín $80-150 W/m^2$ -es tartományú értékeket mutatja, $70 W/m^2$ alatt a sötét kék tartományba megy át, valamint a maximális érték $480 W/m^2$.

Nyolcszöges esetben $100-150 W/m^2$ -es tartományba esik a zöld szín a világos kék $70 W/m^2$ alatti, továbbá a maximális érték $230 W/m^2$.

5.3 Kicsinyített födémrészecskék számítógépes modellezése

A PE-1 (6mm), PE-2 (5mm), és PE-4 (4mm) kicsinyített födémrészecskék megrajzolása után az Ansys hőtechnikai szimulációs programba importálva őket, megnéztem a hővezetésüket a mérés validálásához. A hővezetési tényezőket paraméteresen tápláltam be, így különböző lekérdezéseket tudtam végrehajtani a szimulációk lefuttatása után egy felületen.



32. ábra Ansys programban futtatott kicsinyített födémek

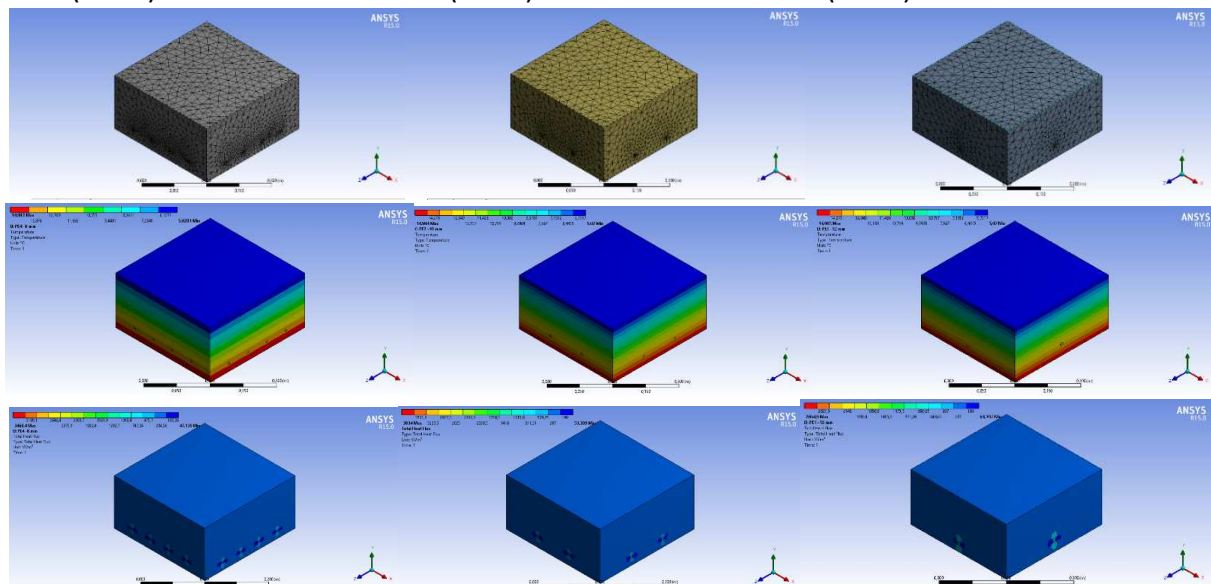
A beállításoknál (Engineering data) szintén 2 és 60,5 W/mK-es értéket adtam meg a betonnak és szerkezeti acélnak.

A peremfeltételeket a belső oldalon (meleg oldal- a kicsinyített födémeken ezen az oldalon vannak az acélbetétek) 15 °C-osra állítottam 10000 W/m² belső hőátadási tényező mellett, valamint a külső oldalon (hideg oldal) 5 °C-ra szintén 10000 W/m²-es külső hőátadási tényezővel. A hőátadási tényezőt 10000 W/m²K-es értékre vettem fel. A közel tökéletesnek tekinthető kontakt miatt kell ilyen nagyra felvenni, ami egy rendkívül kicsi kontaktellenállást (a reciprokát) eredményez, mivel a mintát 300 N-al nyomtuk össze a gépben.

PE-4 (4mm)

PE-2 (5mm)

PE-1 (6mm)



33. ábra Kicsinyített födémek számítógépes szimulációs eredményei, lefele haladva: háló, hőmérséklet és hőáramsűrűség

A már részletezett hővezetési tényező mérés alapján a 20 °C és 25 °C átlaghőmérsékletű minták hővezetését interpolálva 23 °C-ra (korrigált érték) majd deklarálva az eredményt megkapjuk az etalon betontest 1,46 W/mK-es hővezetési tényező értékét. Ez az érték tehát 23 °C-os hőmérsékleten 0%-os relatív nedvességtartalmú betonra vonatkozik.

Ezekből az eredményből számoltam ki a különböző körülményekre vetítve a beton hővezetési tényezőket az MSZ EN ISO 10456:2008-as szabvány alapján. 80% -os relatív nedvességtartalomra az NBN B 62-002:2001 holland szabvány miatt számoltam, ahol a belső oldalon 23 °C, 50% rH valamint a külső oldalon 10 °C, 80%rH-val számolnak. [34]

Deklarált hővezetési tényezőből számított hővezetési tényezők különböző körülményekre átszámítva:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= 0 && \text{– Deklarációs nedvességtartalom} \\ T_1 &= 23^\circ\text{C} && \text{– Deklarációs hőmérséklet} \\ f_T &= 0,001 && \text{– Hőmérsékleti korrekció} \\ f_\psi &= 4 && \text{– Nedvességtartalom korrekció} \\ \lambda_1 &= 1,46 \frac{\text{W}}{\text{mK}} && \text{– Deklarált hővezetési tényező} \\ &&& \text{23}^\circ\text{C, 0\%-rH mérési eredmény alapján} \\ F_a &= 1 \end{aligned}$$

Változó bemenő értékek:

$$\begin{aligned} T_2 &= 23^\circ\text{C} && \text{– Vizsgált hőmérséklet} \\ \psi_2 &= 0,025 && \text{– Vizsgált nedvességtartalom (50\%rH)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_T &= e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)} = 1,105 && \text{– Hőmérsékleti faktor} \\ F_m &= e^{f_T(T_2 - T_1)} = 1 && \text{– Nedvességtartalom faktor} \end{aligned}$$

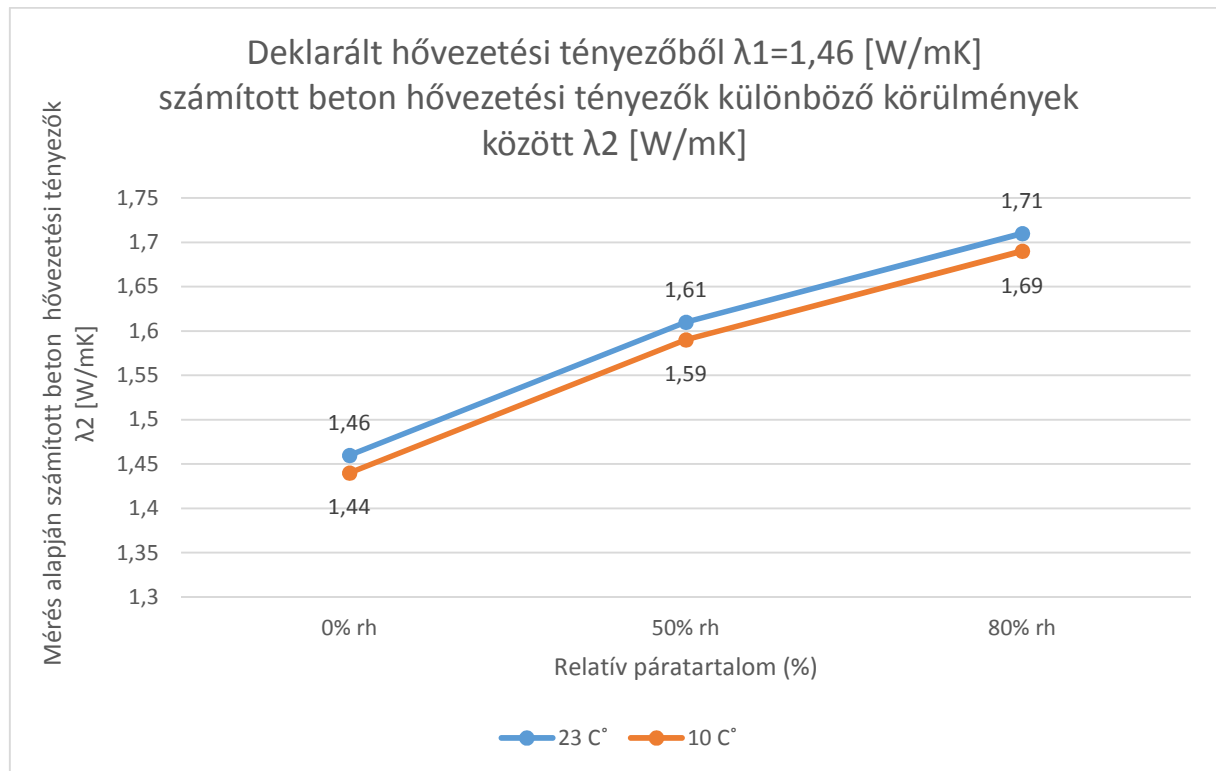
$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a = 1,614$$

A számítás össze van foglalva az alábbi táblázatban.

Körülmények	PE-0	
	23 °C	10 °C
0% rh	1,46	1,44
50% rh	1,61	1,59
80% rh	1,71	1,69

19. táblázat Beton deklarált és ebből az értékből számított hővezetési tényezők $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$

A betonok nedvességtartalmának növekedésével a hővezetési tényező is növekszik.



34. ábra Deklarált hővezetési tényezőből számított beton hővezetési tényezők különböző körülmények között

A deklarált és számított beton hővezetési tényezőket az Ansys programba paraméteresen betáplálva a program kiszámolta a vasbeton födémrészek hőáramait. Ebből az alatta található táblázatban kiszámoltam a födémrészek valamint az etalon betontest hővezetési tényezőit. A kiindulási 2 W/mK-es szabványból vett kiértékelt hőáramból is számoltam hővezetési tényezőket a födémtestekre és ezeket százalékos eltéréssel összehasonlítottam a peremvédett segédfűtőlapos hővezetési tényező mérő berendezés korrigált értékeivel. A relatív hiba elhanyagolható nagyságú.

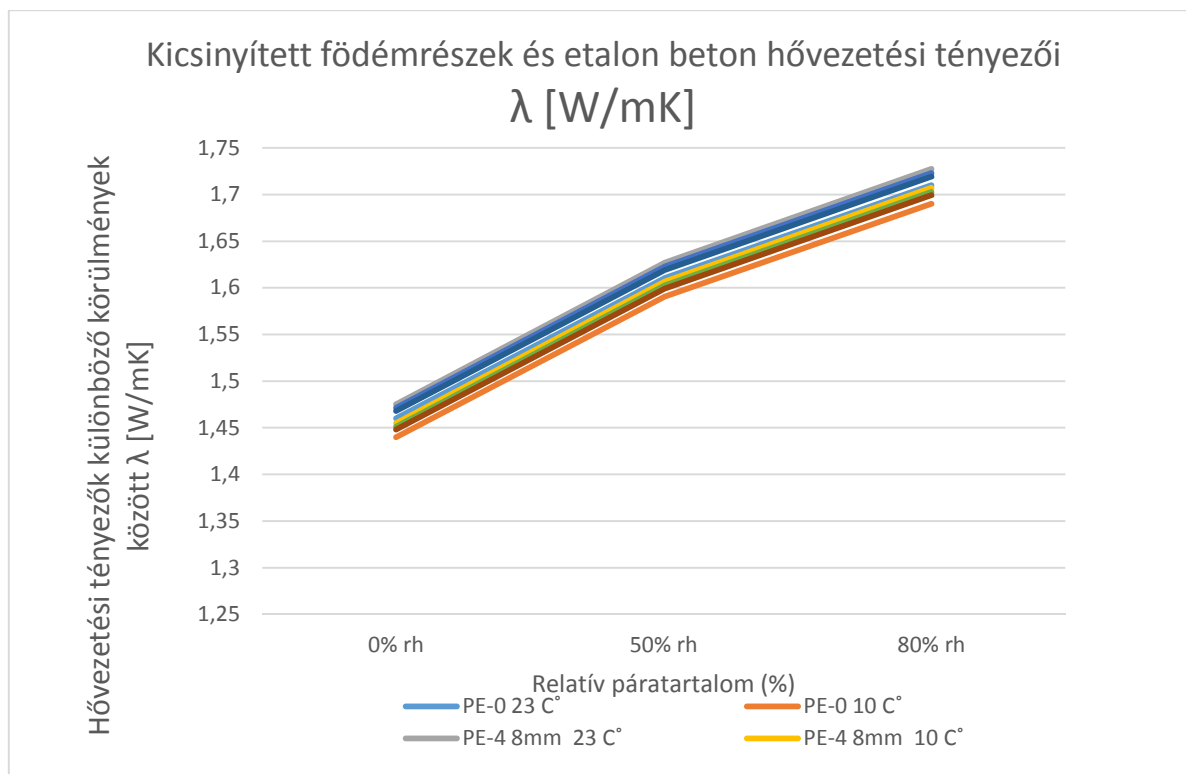
	A	B	C	D	E	F
1	Name	P1...	P7 - acél	P2 - PE4	P4 - PE2	P6 - PE1
2	Units	W m...	W m ⁻¹ C ⁻¹	W	W	W
3	Current	2	60,5	8,0476	8,0272	8,0105
4	DP 1	1,46	60,5	5,8838	5,8678	5,855
5	DP 2	1,61	60,5	6,4855	6,4682	6,4543
6	DP 3	1,71	60,5	6,8863	6,8682	6,8536
7	DP 4	1,44	60,5	5,8036	5,7877	5,7751
8	DP 5	1,59	60,5	6,4053	6,3882	6,3744
9	DP 6	1,69	60,5	6,8061	6,7882	6,7737
*						

35. ábra Ansys programba betáplált beton hővezetési tényezők és a födémtestek hőáramai

Vasbeton zárófödémek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságai és végeleemes modellezésük

Körülmények	Beton hővezetési tényezője (MSZ EN ISO 10456:2008) λ [W/mK]	Szimulációs mérési eredmények Q [W] hőáram és számított hővezetési tényezők λ [W/mK]					
		PE-4 4mm		PE-2 5mm		PE-1 6mm	
		Q [W]	λ [W/mK]	Q [W]	λ [W/mK]	Q [W]	λ [W/mK]
2		8,047585	2,020	8,027150	2,015	8,010538	2,011
	Beton deklarált hővezetési tényezője Taurus λ_1 [W/mK]						
23 C°, 0 % relatív páratartalom	1,46	5,883816	1,475	5,867817	1,471	5,855010	1,468
Számított átl. korrigált hővezetési tényező [W/mK] (Hővezetési tényező mérési berendezés eredményei alapján)			1,479		1,473		1,464
Relatív hiba e [%]			0,0022		0,0011		0,0028
	Mérés alapján számított beton hővezetési tényezők λ_2 [W/mK]						
23 C°, 50 % relatív páratartalom	1,61	6,485451	1,627	6,468174	1,622	6,454285	1,619
23 C°, 80 % relatív páratartalom	1,71	6,886287	1,728	6,868180	1,723	6,853580	1,719
10 C°, 0 % relatív páratartalom	1,44	5,803563	1,455	5,787737	1,451	5,775076	1,448
10 C°, 50 % relatív páratartalom	1,59	6,405259	1,606	6,388151	1,602	6,374405	1,599
10 C°, 80 % relatív páratartalom	1,69	6,806136	1,707	6,788194	1,703	6,773735	1,699

20. táblázat Szimulációs mérési eredmények Q [W] hőáram és ebből számított hővezetési tényezők λ [W/mK]



36. ábra A kicsinyített födémrészek és az etalon beton hővezetési tényezői különböző körülmények között

A kicsinyített födémrészek esetében is világosan látszik, hogy a relatív nedvesség növekedését a hővezetési tényező követi.

5.4 A hővezetési tényező mérés szimulációja

A peremvédett segédfűtőlapos hővezetési tényező mérő berendezés működését Ansysban is szimuláltam. Megrajzoltam az etalon betontestet valamint a kicsinyített 4mm-es betonacélokkal bevasalt födémrészt, valamint az ezeket borító szigeteléseket a már leírt módon (üvegszálás, EPS200).

A rajzot a hőtechnikai szimulációs programba importálva a két hőszigetelőanyagnak megadtam a hővezetési tényezőjüket:

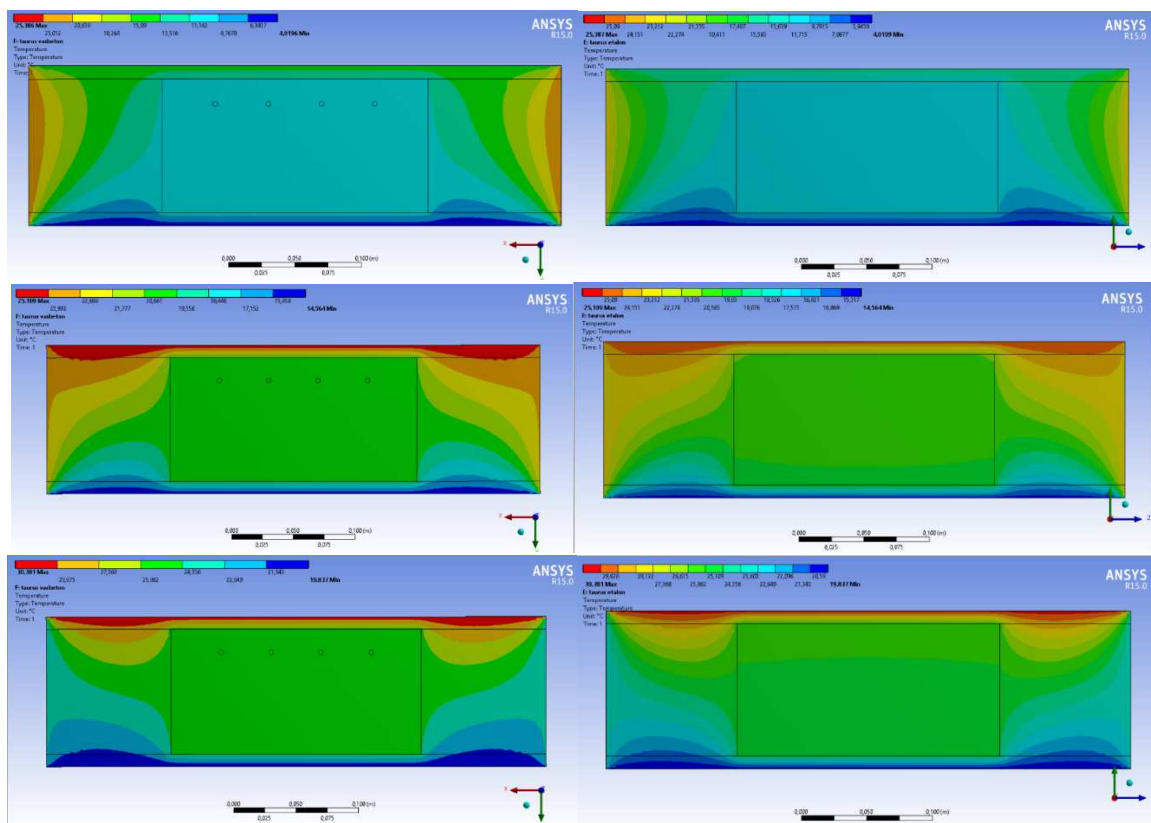
Knauf Ekoboard – üvegszálás szigetelés	0,040 W/mK
Austrotherm-EPS200	0,032 W/mK

Három átlaghőmérsékletnél vizsgáltam az eredményeket.

A peremfeltételeknél a védett oldalra, vagyis a szigeteléssel körbefogott oldalakra, mind a három esetben 23 °C-ot állítottam be. A különbség a fűtött és hűtött oldalak hőmérsékletében rejlik. Minden beállításnál lekértem a különböző felületekre (oldalakra) vonatkozó hőáramot. Az eredményeket a táblázat foglalja össze.

PE-4 (4mm) kicsinyített födém

PE-0 etalon betontest



37. ábra A hővezetési tényezőt mérő berendezés szimulációja: PE-4 (4mm) kicsinyített födém és PE-0 etalon betontest. 10,20 és 25 °C -ú minta átlaghőmérsékleteknél a hőmérséklet eloszlás

A mért zónában a képek valamint a táblázat számításai alapján egydimenziós hőáramlás alakul ki. Vagyis a hőmérsékletek a mért zónán vízszintes vonalakként (zászlószerűen) helyezkednek el.

Felületi hőmérsékletek helyzete	Felületi hőmérsékletek [°C]	minta átlag hőmérséklete [°C]	Hőáram Q [W]	
			20x20x10 cm etalon beton test	20x20x10 cm 8mm vasátmérőjű födémrészlet
felül (meleg oldal)	15 °C	10 °C	-47,487	-47,488
alul (hideg oldal)	5 °C		-109,56	-109,56
oldal (védett oldal)	23 °C		157,04	157,05
felül (meleg oldal)	25 °C	20 °C	12,914	12,916
alul (hideg oldal)	15 °C		-49,155	-49,158
oldal (védett oldal)	23 °C		36,261	36,242
felül (meleg oldal)	30 °C	25 °C	43,115	43,117
alul (hideg oldal)	20 °C		-18,955	-18,956
oldal (védett oldal)	23 °C		-24,161	-24,161

21. táblázat A különböző hőmérsékleti beállítások hőáram lekérdezés eredményei, a mérés szimulációja esetében

A következő a magyarázat, hogy mért 20 és 25 °C-on mértünk a peremvédett segédűtőlapos hővezetési tényező mérő berendezésben, a hőáramok értékei alapján megítélve:

10 °C minta átlaghőmérséklet esetében ahhoz, hogy zavartalan, egydimenziós hőáramlást tudjunk mérni a fűtőlap (meleg oldal) és a hűtőlap (hideg oldal) között, a meleg oldalon pozitív, míg a hideg oldalon negatív irányú hőáramot szükséges előállítanunk.

20 °C és 25 °C minta átlaghőmérséklet esetében ahhoz, hogy a meleg oldalon pozitív, míg a hideg oldalon negatív hőáramot kapjunk, melyek egymáshoz képest nem jelentősen eltérő mértékűek, a minta oldalának peremvédelme szükséges, hogy megakadályozzuk, hogy a rendszerbe a külső térből többlet energia jusson be, vagy szivároгjon el.

10 °C átlaghőmérséklet esetében

- 15 °C a felületen túl sok hőenergia távozik, miközben pozitív hőáramlásnak kellene kialakulnia, hogy a szenzorok jól mérjenek.
- 5 °C csak kismértékű negatív hőáramlásnak kellene kialakulnia.
- 23 °C a védett oldalról túl sok többlet hőenergia jut be a rendszerbe, így a védelem nem tökéletes ezen a hőmérsékleten.

20 °C átlaghőmérséklet esetében

- 25 °C megfelelő hőáram érték
- 15 °C megfelelő hőáram érték

Vasbeton zárófödémek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságai és végeleemes modellezésük

- 23 °C kevés többlet hő jut a rendszerbe, de ez már nem befolyásolja a mérést, mert a szimuláció alapján ez eloszlik a peremvédett zónában.

25 °C átlaghőmérséklet esetében

- 30 °C megfelelő hőáram érték
- 20 °C megfelelő hőáram érték
- 23 °C nem alakul ki elég negatív hőáramlás, de alkalmazható, mert a betonban továbbra is a mért zónában egydimenziósnak tekinthető hőáramlás alakul ki.

Azért nem mérünk magasabb hőmérsékleten, mert már túl sok hőenergia jutna ki a védett oldalon, ezért nem lenne pontos a mérés.

5.5 Nagy födémek szimulációja



38. ábra Ansys szimulációs programba a megtervezett intenzív és extenzív 6x6 m-es 3 féle vasátmérővel bevasalt födémek

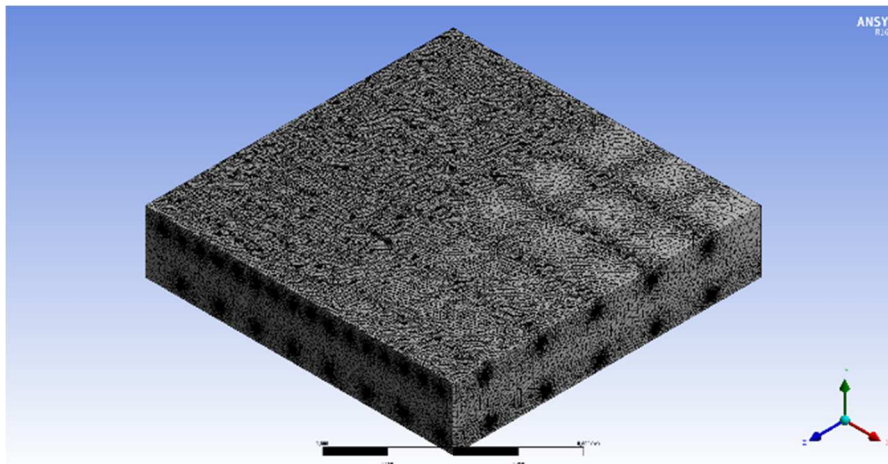
ANSYS szoftverkörnyezetben háromdimenziós, állandósult állapotbeli hőtechnikai szimulációkkal vizsgáltam a kiválasztott lemezmodellek 1 m²-es elemekre bontott részegységeit.

Összesen hat födém szimulációját futtattam le a nyolcszög alapú hasáb betonacélos megoldással. Már korábban részleteztem, hogy a henger alakú betonacélos megoldást a szimulációs program nem tudta kezelni. A geometriai egyszerűsítéseket azért kellett vizsgálni és alkalmazni, mert a jelen pillanatban rendelkezésre álló számítógépeken az eredeti geometriák (bordázott betonacéllal bevasalt zárófödém) futtatása heteket vett volna igénybe. A zárófödémek szimulációjának futtatásához Intel Xeon munkaállomást vettem igénybe. A

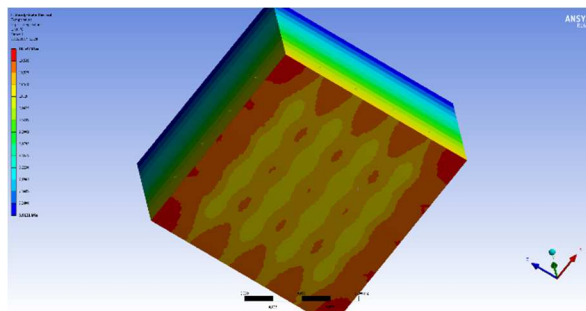
Vasbeton zárófödémek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságai és végeleemes modellezésük

munkaállomás 32 logikai processzorra, 64 GB rammal és SSD-vel valamint NVIDIA Quadro grafikus és számításgyorsító kártyával rendelkezik.

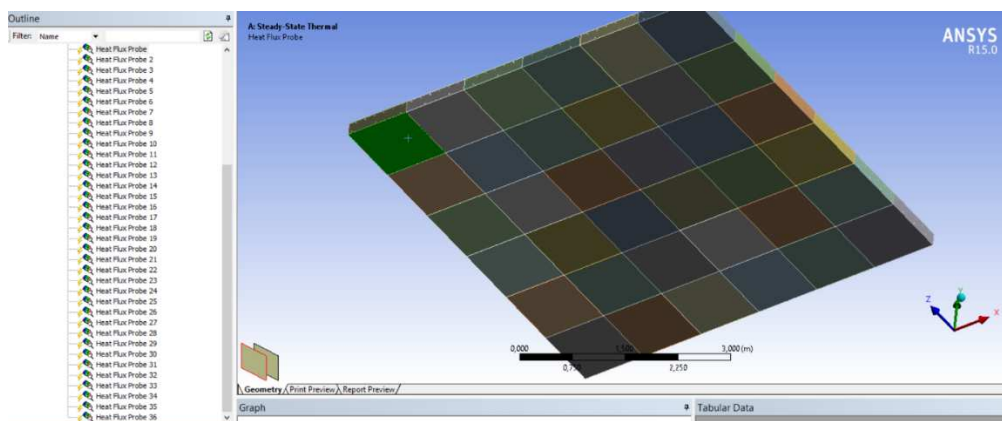
A födémet az AutoCAD programban felszeleteltem, így fájl formátumban importáltam be az Ansysba. A peremfeltételeket a meleg oldalon 20 °C a hideg oldalon pedig 4 °C -ra állítottam be. Az átlagos hőáramsűrűségeket a négyzetméteres darabokra kérdeztem le, majd az értékeket három dimenziós diagramban ábrázoltam. Továbbá vizsgáltam a 6 födém hálófelbontását, a generált testek, csomópontok és végelemek számát a vasalási paraméterek függvényében.



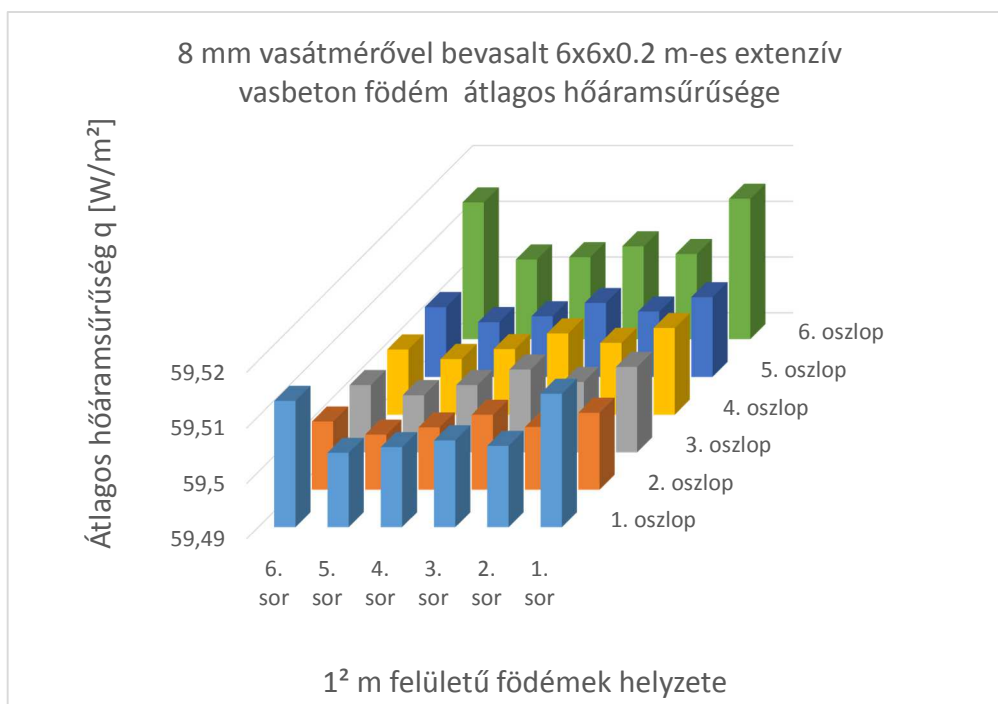
39. ábra Intenzív zárófödém 1 m²-es szekciójának hálógenerálása a legjobb felbontásban



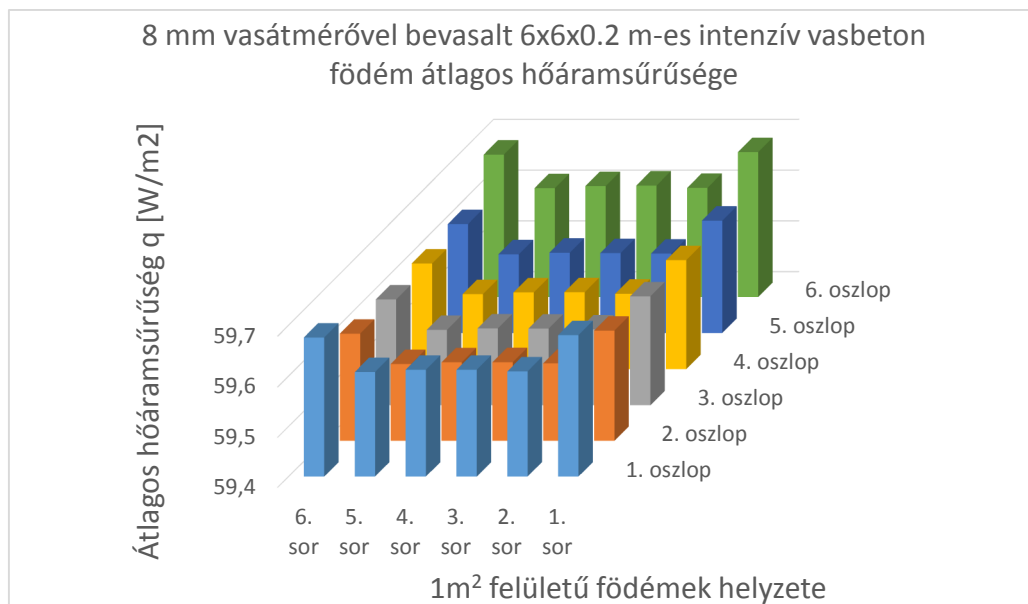
40. ábra PE-4 kicsinyített födém hőmérsékleteloszlás ábrája



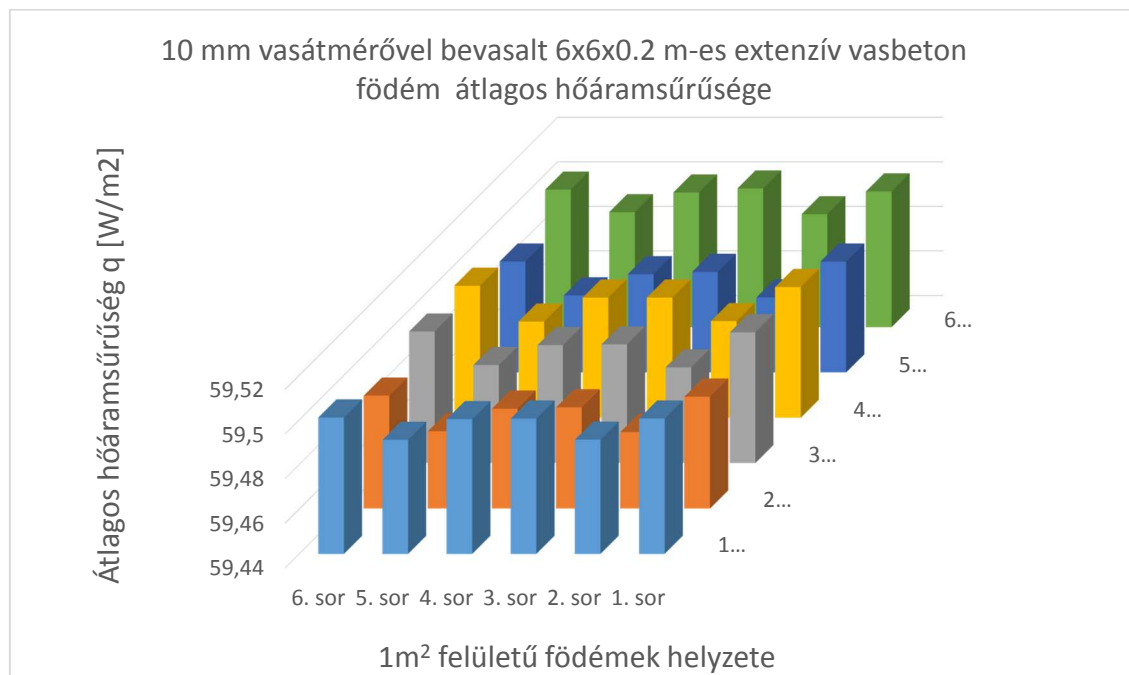
41. ábra Az átlagos hőáramsűrűségek lekérdezése a 36 födém részre



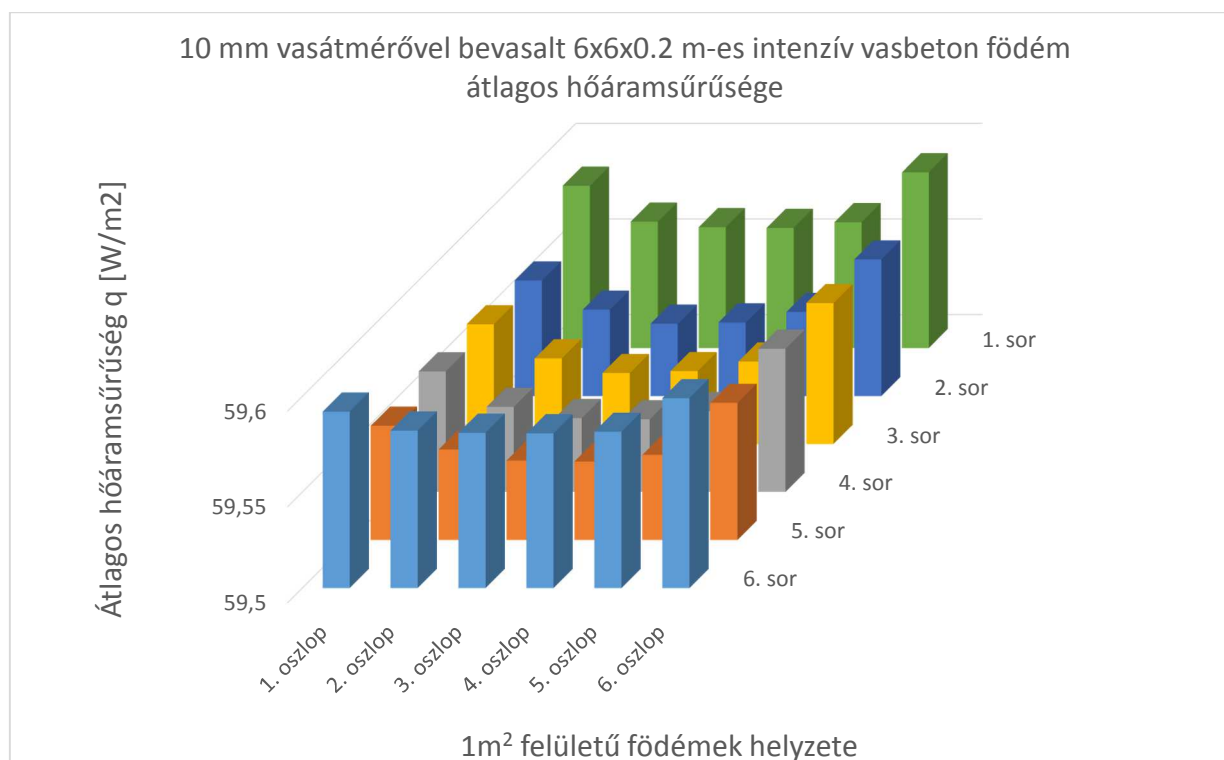
42. ábra 8 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es extenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége



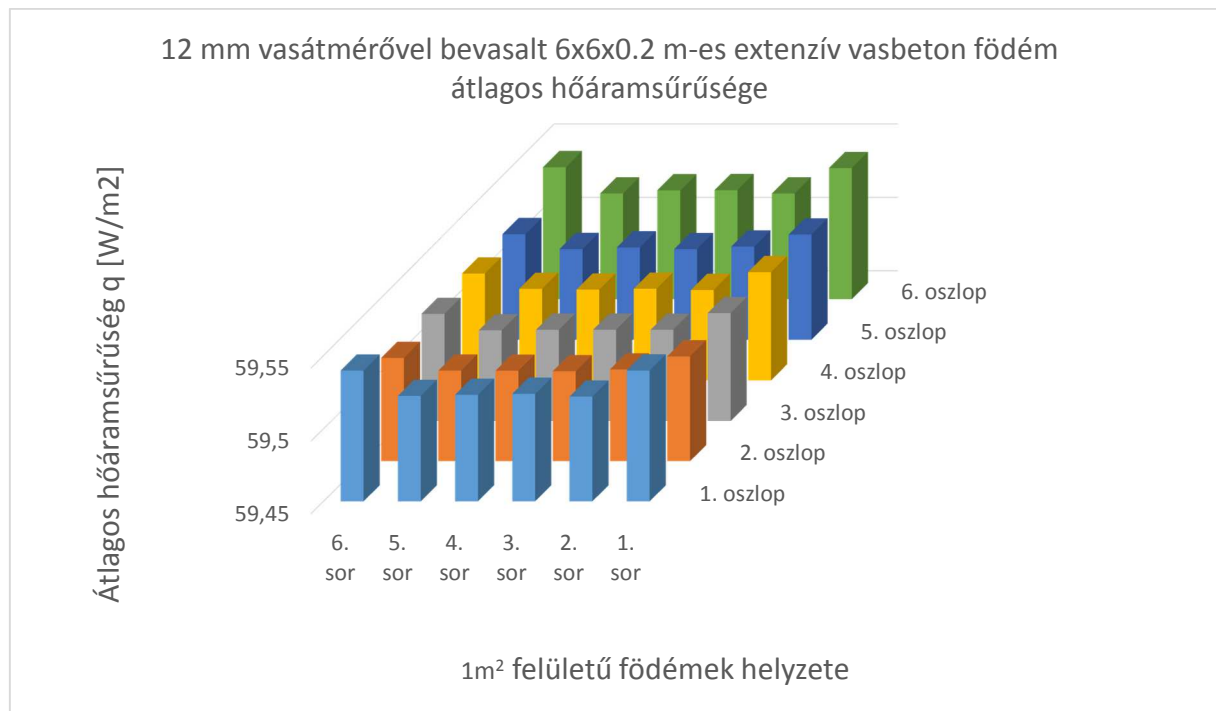
43. ábra 8 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es intenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége



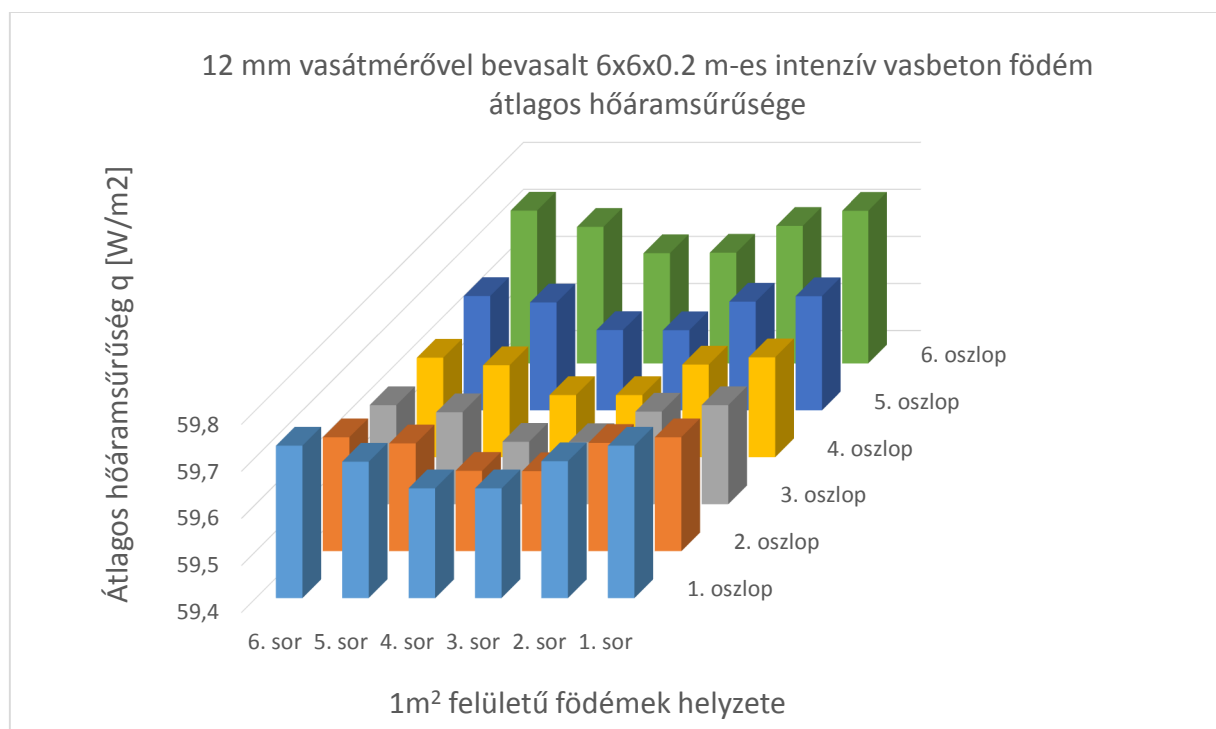
44. ábra 10 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es extenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége



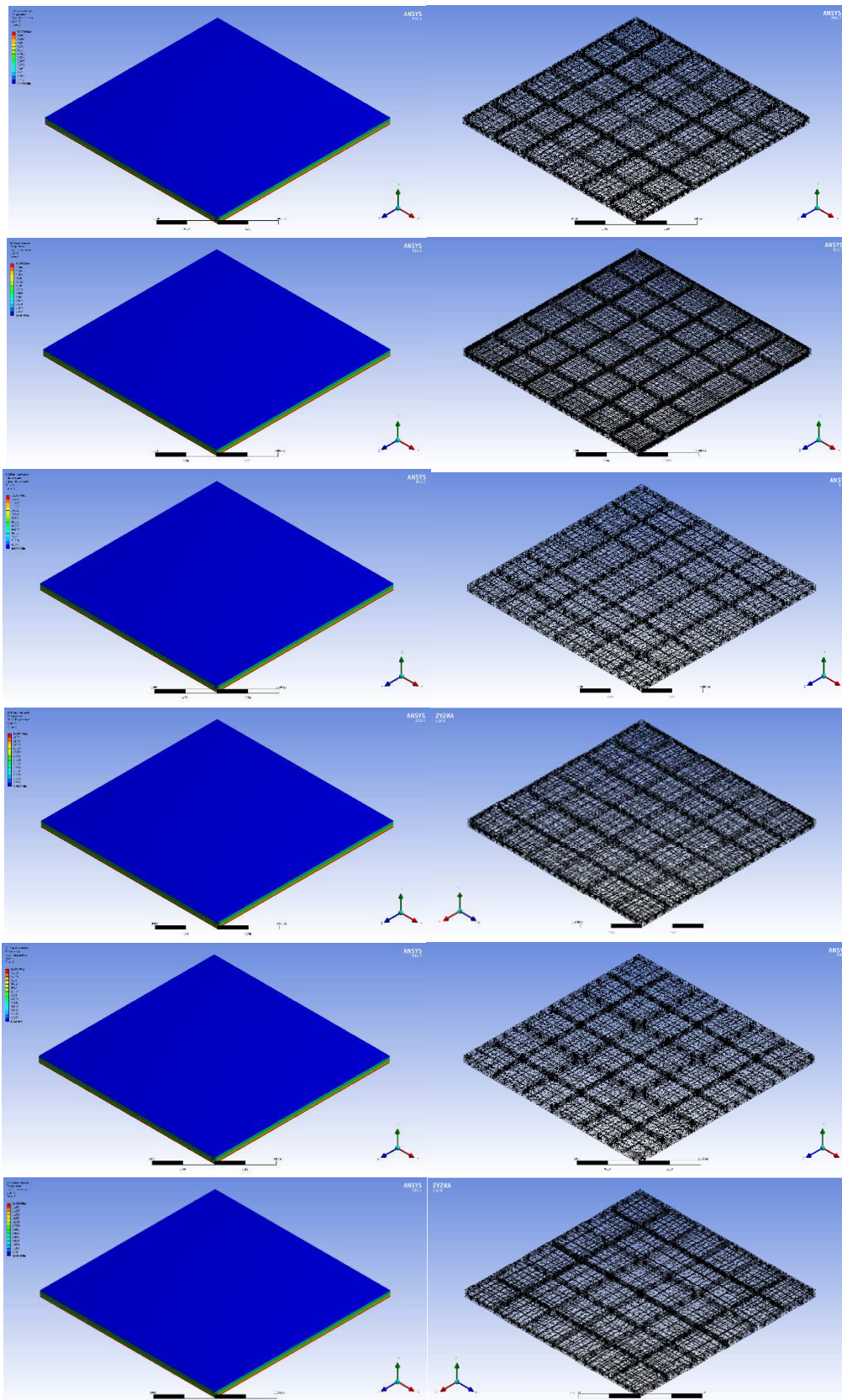
45. ábra 10 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es intenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége



46. ábra 12 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es extenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége



47. ábra 12 mm vasátmérővel bevasalt 6x6x0.2 m-es intenzív vasbeton födém átlagos hőáramsűrűsége



48. ábra A különböző zárófödémek hőmérsékleteloszlás és hálózott ábrái (a 8mm-es betonacéllal bevasalttól a 12mm-esig bezárólag)

Betonacélátmérő	min/max helye	Intenzív	Extenzív
		Hőáramsűrűség q [W/m ²]	Hőáramsűrűség q [W/m ²]
Φ8	Födém sarkaiban max.	59,68	59,51
	Mezőközépen min.	59,54	59,49
Φ10	Födém sarkaiban max.	59,59	59,5
	Mezőközépen min.	59,53	59,48
Φ12	Födém sarkaiban max.	59,72	59,53
	Mezőközépen min.	59,53	59,51

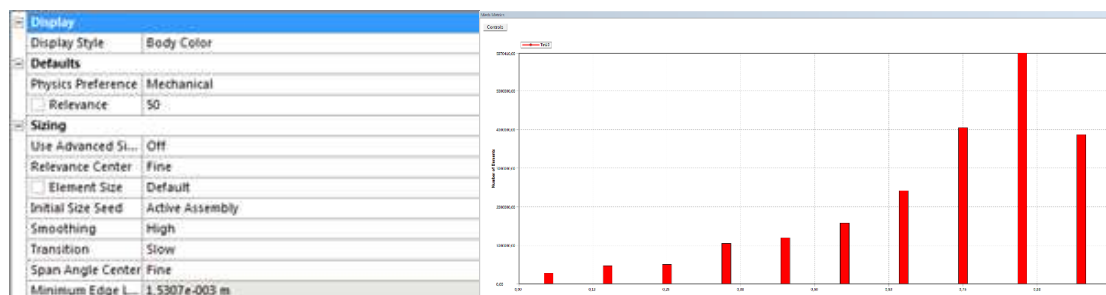
22. táblázat Átlagos hőáramsűrűség a zárófödémeken

Átlagos hőáramsűrűségek értékelése a vasalási paraméterek függvényében:

A szimulációk célja az volt, hogy a különböző betonacélátmérőkkel bevasalt födémek részegységekre bontásával, kimutatható legyen, hogy a vaskiosztás hogyan befolyásolja a hővezetést.

Az összefoglaló táblázatban gyűjtöttem az átlagos hőáramsűrűségek szélsőértékeit födémenként. A legnagyobb hőáram mindig a födémek sarkaiban, a legkisebb hőáram pedig mezőközépen keletkezett az elhelyezett vasalás mennyiségéből kifolyólag. A nagyobb vasmennyiséggel rendelkező, vagyis az intenzív födémek láthatóan jobban vezetik a hőt. Vaskiosztás szempontjából nincs sok különbség a csoportosított értékek között. Meglepő eredmény viszont, hogy a 10mm-es betonacéllal bevasalt zárófödém hővezetés szempontjából a 8mm-es alatt van kicsivel, habár sorrendben a 8 és 12 mm-esek közé vártam volna az eredményt.

Összességében a nagy födémek szimulációjából arra a következtetésre jutottam, hogy a vízszintesen elhelyezett vasalás (hálós vasalás) kiosztása és az alkalmazott betonacélátmérő nem befolyásolja számottevően a hővezetést.



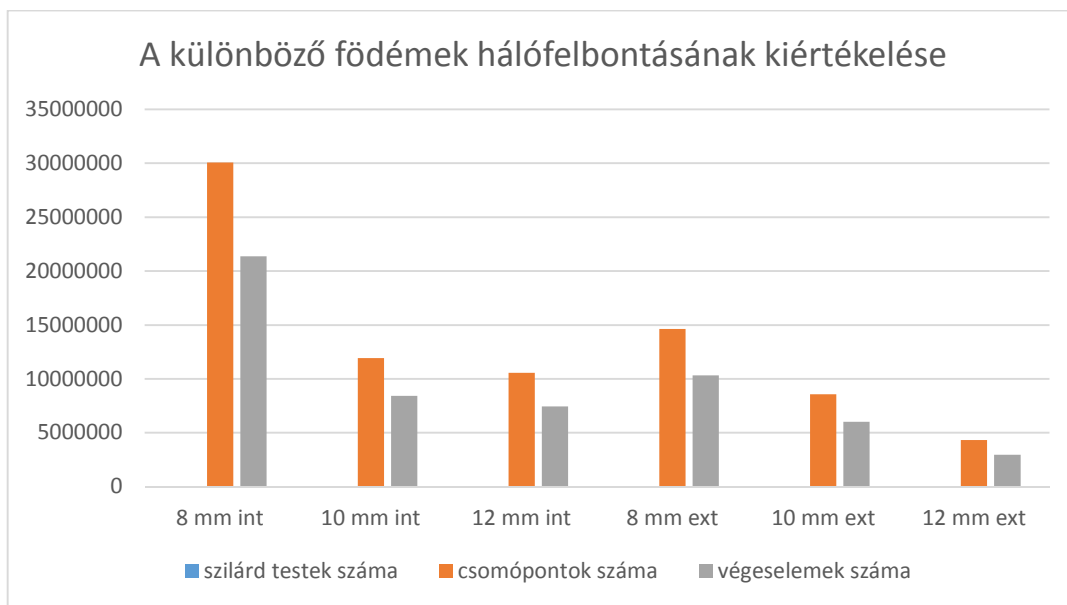
49. ábra A nagy födémek háló generálásának beállítása és a háló minősége

A végeleemes háló felbontása mindegyik födém esetében igen jónak mondható. A fent látható hálómétriika szemlélteti a felbontás minőségét. A végeleemes háló beállításait a lehető legjobbra állítottam a minél pontosabb eredmény elérése érdekében. Ugyanezzel a beállítással futattam le az összes födémeket. A hálógenerálás eredményeit összefoglaltam az alábbi táblázatban. A kis betonacélátmérővel bevasalt födémek hálógenerálása tartott a

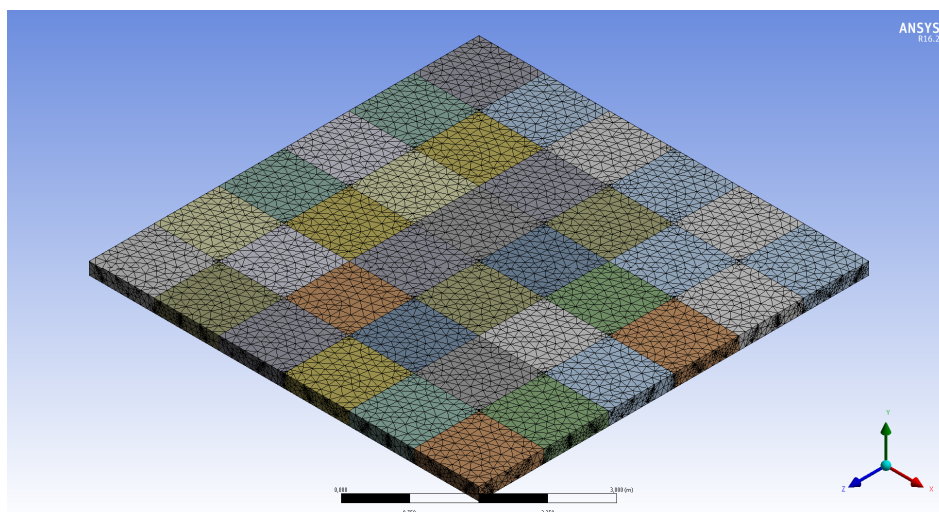
legtöbb ideig, mivel a betonacélok méretének aránya elenyészően kicsi a körülötte lévő beton arányához képest. Kétszer annyi szilárd testet tartalmaz, mint a másik két átmérővel bevasalt födéme. A végeelemek és csomópontok száma közel háromszor annyi a legkisebb átmérőt alkalmazva.

Lekérdezések típusa	8 mm int	10 mm int	12 mm int	8 mm ext	10 mm ext	12 mm ext
szilárd testek száma	1337	796	680	1002	587	532
csomópontok száma	30070659	11933992	10561768	14645534	8576153	4334950
végeelemek száma	21372878	8420066	7433108	10332264	6029271	2946256

23. táblázat A zárófödémek háló elemeinek kiértékelése



50. ábra A zárófödémek háló elemeinek kiértékelése grafikusán



51. ábra Az intenzív 12 mm-es betonacélokkal bevasalt zárófödém hálójá

Betonacélátmérő	Tető rétegre	Átlagos felületi hőáram a födémén Q [W]	A zárófödém hővezetési tényezője λ [W/mK]
$\Phi 8$	Extenzív	59,55986	2,02843
	Intenzív	59,59412	2,03161
$\Phi 10$	Extenzív	59,5043	2,02329
	Intenzív	59,62573	2,03456
$\Phi 12$	Extenzív	59,49091	2,02205
	Intenzív	59,51995	2,02472

52. ábra A különböző zárófödémek számított hővezetés tényezői

Az 52. táblázatban összefoglaltam a zárófödémek átlagos felületi hőáramait, valamint kiszámoltam a hővezetési tényezőjüket. A kapott eredmények igazolják, hogy a magyar szabványokban fellelhető 2,5 és 2,3 W/mK-es hővezetési tényező értékeket használva a statikus tervezők túlméretezik a szerkezeteket. A szimulációs programba a beton hővezetési tényezőjét 2,00 W/mK-es értékre állítottam, a teljes vasbeton zárófödémre átlagosan 2,025 W/mK-es értékeket kaptam. Tehát a vasbetonfödémek szempontjából elenyésző a különbség a beton és vasbeton hővezetése között.

6. Összegzés és további vizsgálati lehetőségek

A TDK dolgozatomban elvégzett vizsgálatok alapján az alábbi eredmények, következtetések fogalmazhatóak meg:

- A szimulációs modellkísérletek validálásához a kicsinyített födémrészek, valamint etalon betontestek hővezetési tényezőjét mértem meg az MSZ EN 12664:2001 szabványban megtalálható leírást alapul véve erősített peremvédelemmel. 20 és 25 °C-os mintaátlag hőmérsékleteket alkalmazva kiszámítottam a deklarált hővezetési tényezőt 23 °C-os átlaghőmérsékletre.
- A 6x6 m-es zárófödémek pontos modellezésének érdekében vizsgáltam a bordázott betonacél helyettesíthetőségének lehetőségeit. Három különböző modellel (bordás, nyolcszög alapú hasáb és henger) futattam le a közel 1 illetve 2% vashányaddal rendelkező próbakockákat. Az eredményeket összevetve kiderült, hogy a betonacél geometriája a zárófödém modellezése szempontjából elhanyagolható mértékben befolyásolja a hővezetést, így a szimulációs programmal kompatibilis geometriát, a nyolcszög alapú hasábot alkalmaztam a modellezéshez.
- Az Ansys programban elvégeztem a peremvédett segédfűtőlapos hővezetési tényezőt mérő berendezés mérésének szimulációját is. A mérésekkel alá szerettem volna támasztani, hogy miért 20 és 25 °C-os minta átlaghőmérsékleteket mértem. Az eredmények kiértékeléséből nyilvánvalóvá válik, hogy ezek a hőmérsékletek a legoptimálisabbak, amelyekből később tovább számoltam a 23 °C-os állapotot az MSZ EN 10456:2008 szabványra hivatkozva. Abban az esetben, amikor 20 °C-nál alacsonyabb hőmérsékleten mértem, akkor túl sok hőenergia jutott be a rendszerbe, ami a mérést lehetetlenné tette. Emiatt a szimulációs eredményeket látva azt is tudjuk, hogy 25 °C felett viszont túl sok hőenergia távozna a peremen, így szintén pontatlan lenne a mérés. A berendezésben kiszárított mintákat vizsgáltam, de a szabványokban fellelhető adatok összehasonlításához további számításokat végeztem az 50 illetve 80% relatív nedvességtartalmú minták hővezetésére is. Ezekből arra a következtetésre jutottam, hogy a nedvességtartalom növekedésével a hővezetési tényező is növekszik.
- Az elővizsgálatok elvégzésével megvalósult a zárófödémek hőtechnikai szimulációjának futtatása. Nyolcszög alapú hasáb betonacél geometriát alkalmazva, amellyel a biztonság javára közelítettem, 1 m²-es szekciókra bontva kértem le az adatokat. A szimulációk célja az volt, hogy a különböző betonacél átmérőkkel vasalt födémek részegységekre bontásával, kimutatható legyen, hogy a vaskiosztás hogyan befolyásolja a hővezetést. A nagyobb vasmennyiséggel rendelkező (intenzív rétegtendű) födémek viszonylag jobban vezették a hőt. Összességében a nagy födémek szimulációjából arra a következtetésre jutottam, hogy a vízszintesen

elhelyezett vasalás (hálós vasalás) kiosztása és az alkalmazott betonacélátmérő nem befolyásolja számottevően a hővezetést. Továbbá a magyar szabványokban fellelhető 2,5 és 2,3 W/mK-es vonatkozó hővezetési tényezők vasbetonszerkezetekre magasabb értékeket adnak meg. A szimulációkkal kimutattam, hogy ez az érték valójában igen közel áll a beton hővezetési tényezőjéhez, amely 2 W/mK. Így a statikus tervezők valóban túlméretezik a zárófödémeket (nagyobb hőteherrel számolnak, valamint esetleg több hőszigetelést tesznek a födémre, ami a hasznos terhet növeli), ha a szabványban található értékeket használják.

További vizsgálati lehetőségek:

- A TDK dolgozat keretein belül a zárófödémeket vizsgáltam, amelynek vasalása nem befolyásolja jelentősen a hővezetést. Ezzel szemben a függőleges szerkezetek (oszlopok) vasalása tartalmaz vízszintes kengyeleket is, amelyek összeköttetést biztosítanak a hideg és meleg oldal között, így ebben az esetben jelentősebb hatásuk lehet a hőtechnikai tulajdonságokra.
- Továbbá a szabványban található hővezetési tényezők és az általam kiszámolt és kísérletekkel alátámasztott hővezetési tényezőket alkalmazva vizsgálnám a megtervezett zárófödémek költség hatásait.
- A megtervezett vasbeton zárófödémeket (vagy egyéb vasbetonszerkezeteket) vizsgálnám tűzterhelés esetén, vagyis a födém vasalásának függvényében a szerkezet átmelegedését.
- Valamint időfüggő tranziens vizsgálatokat is el tudok képzelni a födémeken a vasalás hőátviteli képesség-változásával együttesen vizsgálva.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulenseimnek, Nagy Balázs doktorandusznak, Laczák Lili Eszter doktorandusznak és Dr. Nehme Salem Georges egyetemi docensnek a dolgozat elkészítéséhez elengedhetetlen szakmai tanácsaikat és segítségüket.

Szeretném továbbá megköszönni Eipl Andrásnak, Takács Krisztiánnak és Vági Istvánnak az Anyagvizsgáló Labor munkatársainak, Vincze Bencének az Épületfizikai Labor munkatársának, Nagy Rékának a szakmai tanácsaiért valamint Homor Péternek a betonacél modellezésében nyújtott segítségéért.

Nem utolsó sorban pedig szeretném megköszönni a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékének, hogy az eszközeiket használhattam a kutatásaim során.

Irodalomjegyzék

1. Dr. Páczelt István, Dr. Szabó Tamás, Dr. Baksa Attila (2007): *Végeselemes-módszer alapjai*, HEFOP 3.3.1-P.-2004-09-0102/1.0 pályázat támogatásával
<http://www.mech.uni-miskolc.hu/~paczelt/notes/VEM-ME-ijegyzet.pdf>
Letöltés ideje: 2015.09.15.
2. Moharas István, Oldal István, Szekrényes András (2011): *Végeselem-módszer egyetemi tananyag*, Typotex kiadó, Budapest
3. Vékony lemezek számítása (2007)
<https://www.me.bme.hu/sites/default/files/courses/ts-bsc2007-14.pdf>
Letöltés ideje: 2015.09.15.
4. Dr. Lógó János, Dr. Nédli Péter, Dr. Hortobágyi Zsolt, Dr. Rechterisz Ákos (2004): *Végeselemes modellezés óravázlat*, HEFOP/2004/3.3.1/0001.01
https://www.me.bme.hu/sites/default/files/courses/oravazlat_vegeselemes_modellezes.pdf
Letöltés ideje: 2015.09.15.
5. Nagy Balázs (2013): *Talajjal érintkező szerkezetek tranziens numerikus hőtechnikai modellezése*, MSc diploma
6. MSZ EN ISO 10456:2008 *Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok*. Magyar Szabványi Testület, Budapest
7. MSZ 24140:2015 *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai*. Magyar Szabványi Testület, Budapest
8. Hugo Hens (2011): *Applied Building Physics, Boundary Conditions, Building Performance and Material Properties*, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
9. Szagri Dóra (2014): *Szálerősített betonok hővezetési tényezőinek vizsgálata*, BSc TDK dolgozat
10. Balázs Nagy, Salem Georges Nehme, Dóra Szagri (2015): *Thermal properties and modeling of fiber reinforced concretes*, 6th International Building Physics Conference, Science Direct
11. MSZ EN 12664:2001 *Thermal performance of building materials and products*. European Committee for standardization, Brussels

12. Kubinszky Mihály (2013): *A vasbeton egy évszázada*

http://www.magyar szemle.hu/cikk/20100624_a_vasbeton_evszazada

Új folyam XIX. 3.-4.szám

Letöltés ideje: 2015.08.30.

13. Tasdemir, C., *The Thermal Insulation and Strength Properties of Light Concretes*, The Journal of Turkey Engineering News, Vol.5, No.427, 2003, 57-61. oldal

14. Yun, T.S., Jeong, Y.J., Han, T.S., Youm, K.S., *Evaluation of Thermal Conductivity for Thermally Insulated Concretes, Energy and Buildings*, Vol.61, No.1, 2013, 125-132. oldal

15. Toman, J., Cerny, R., *Thermal Conductivity of High Performance Concrete in Wide Temperature and Moisture Ranges*, Acta Polytechnica, Vol.41, No.1, 2001, 8-10. oldal

16. B. Burak Kanbur, S. Ozgur Atayilmaz, Hakan Demir, Aliihsan Koca, Zafer Gemici, *Investigating the Thermal Conductivity of Different Concrete and Reinforced Concrete Models with Numerical and Experimental Methods*, Paris conferences, 2013, 95-100. oldal

17. MSZ EN 12390-3:2009 A megszilárdult beton vizsgálata 3. rész: *A próbatestek nyomószilárdsága*. Magyar Szabványi Testület, Budapest

18. MSZ EN 1239-7:2009 *A megszilárdult beton vizsgálata*

7. rész: *A megszilárdult beton testsűrűsége*. Magyar Szabványi Testület, Budapest

19. MSZ EN ISO 10456:2008 *Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok*. Magyar Szabványi Testület, Budapest

20. Deák György, Draskóczy András, Dulácska Endre, Kollár László, Visnovitz György (2014): *Vasbeton szerkezetek Tervezés az Eurocode alapján*, Artifex kiadó, Budapest

21. Deák György, Erdélyi Tamás, Fernezelyi Sándor, Kollár László, Visnovitz György (2006): *Terhek és hatások Tervezés az Eurocode alapján*, Business Media Magyarország Kft. kiadó, Budapest

22. Ursa nem járható lapostető szigetelések

<http://www.ursa.hu/hu-hu/ursa->

[megoldasok/teto_szigetelesek/Documents/Nem_jarhato_laposteto_web.pdf](http://www.ursa.hu/hu-hu/ursa-megoldasok/teto_szigetelesek/Documents/Nem_jarhato_laposteto_web.pdf)

Letöltés ideje: 2015.07.02.

22. 7/2006 (V.24) Rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról

http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0600007.TNM

Letöltés ideje: 2015.09.10.

23. MSZ EN ISO 6946:2008 *Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszer (ISO 6946:2007)*. Magyar Szabványi Testület, Budapest

24. Zöldtető szigetelések, járható lapostető

http://www.ursa.hu/hu-hu/ursa-megoldasok/teto_szigetelesek/Documents/Zoldteto_web.pdf

Letöltés ideje: 2015.07.02.

25. Ursa terasztető szigetelések, járható tetők

http://www.ursa.hu/hu-hu/ursa-megoldasok/teto_szigetelesek/Documents/Teraszteto_web.pdf

Letöltés ideje: 2015.07.02.

26. Ursa parkolótető szigetelések, járható tetők

http://www.ursa.hu/hu-hu/ursa-megoldasok/teto_szigetelesek/Documents/Parkoloteto_web.pdf

Letöltés ideje: 2015.07.02.

27. Ősz János, Bihari Péter (1998): *Hőellátás*, Phare Program HU-94.05, Budapest

28. Dr. Tóth Elek, Nagy Balázs, Szende Árpád (2014): *Kötelező Energetikai Tanúsítvány*, Fórum média kiadó, Budapest

29. MSZ 24140:2015 *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számítása*. Magyar Szabványi Testület, Budapest

30. MSZ 04-140-3:1987 *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Fűtési hőszükségletszámítás*. Magyar Szabványi Testület, Budapest

31. MSZ EN 10008:2007 *Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények*. Magyar Szabványi Testület, Budapest

32. MSZ EN ISO 6946:2008 *Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszer (ISO 6946:2007)*. Magyar Szabványi Testület, Budapest

33. MSZ 24140:2015 *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számítása*. Magyar Szabványi Testület, Budapest

34. MSZ EN ISO 10456:2008 *Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok*. Magyar Szabványi Testület, Budapest

Mellékletek

A zárófödémek hőmérsékleti terhei

Egyenes zárófödém rétegrend hőfokelési göbéjének számítása	Vastagság [cm]	Vastagság [mm]	Hővezetési tényező [W/mK]	Ellenállás [m ² K/W]	Hőmérséklet Különbség [K]	Hőmérséklet [°C]
Megnevezés	h_i	d	λ	$R=d/\lambda$	Δt	t
Belső felületi ellenállás	10			0,1	0,553077	20
Belső vakolat		15	0,8	0,01875	0,103702	19,896
Monolit vb. Lemez		200	2,5	0,08000	0,442462	19,454
Lejtésképző aljzatbeton		60	1,65	0,03636	0,201119	19,253
Párazáró fólia (PE)		2	0,33	0,00606	0,033520	19,219
EPS70 lépésálló hőszigetelés		240	0,04	6,00000	33,184618	-13,965
Pvc tetőszigetelés mechanikai rögzítéssel		8	0,17	0,04706	0,260272	-14,226
Külső felületi ellenállás	25			0,04000	0,221231	-14,447
			R=	6,32823		-15,000

Egyenes zárófödém rétegrend hőfokelési göbéjének számítása

Egyenes leterhelt rétegrend hőfokelési göbéjének számítása	Vastagság [cm]	Vastagság [mm]	Hővezetési tényező [W/mK]	Ellenállás [m ² K/W]	Hőmérséklet Különbség [K]	Hőmérséklet [°C]
Megnevezés	h_i	d	λ	$R=d/\lambda$	Δt	t
Belső felületi ellenállás	10			0,1	0,551967	20
Belső vakolat		15	0,8	0,01875	0,103494	19,897
Monolit vb. Lemez		200	2,5	0,08000	0,441574	19,455
Lejtésképző aljzatbeton		60	1,65	0,03636	0,200715	19,254
Párazáró fólia (PE)		2	0,33	0,00606	0,033453	19,221
EPS70 lépésálló hőszigetelés		240	0,04	6,00000	33,118030	-13,897
Mod. Bitumenes vastaglemez vízszigetelés		8	0,23	0,03478	0,191989	-14,089
Kavicsos leterhelés (16/32 osztályozott mosottkavics)		50	2	0,02500	0,137992	-14,227
Külső felületi ellenállás	25			0,04000	0,220787	-14,448
			R=	6,34096		-15,000

Egyenes leterhelt rétegrend hőfokelési göbéjének számítása

Fordított zárófödém rétegrend hőfokelési göbéjének számítása	Vastagság [cm]	Vastagság [mm]	Hővezetési tényező [W/mK]	Ellenállás [m ² K/W]	Hőmérséklet Különbség [K]	Hőmérséklet [°C]
Megnevezés	h_i	d	λ	$R=d/\lambda$	Δt	t
Belső felületi ellenállás	10			0,1	0,422925	20
Belső vakolat		15	0,8	0,01875	0,079298	19,921
Monolit vb. Lemez		200	2,5	0,08000	0,338340	19,582
Lejtésképző aljzatbeton		60	1,65	0,03636	0,153791	19,429
Párazáró fólia (PE)		2	0,33	0,00606	0,025632	19,403
Bitumen		8	0,23	0,03478	0,147104	19,256
XPS70		300	0,038	7,89474	33,388837	-14,133
Geotextil		2	0,05	0,04000	0,169170	-14,302
Leterhelés		50	2	0,02500	0,105731	-14,408
Külső felületi ellenállás	25			0,04000	0,169170	-14,577
				8,276		-15,000

Fordított zárófödém rétegrend hőfokelési göbéjének számítása

Extenzív zárófödém rétegrend hőfokelési göbéjének számítása	Vastagság [cm]	Vastagság [mm]	Hővezetési tényező [W/mK]	Ellenállás [m ² K/W]	Hőmérséklet Különbség [K]	Hőmérséklet [°C]
Megnevezés	h_i	d	λ	$R=d/\lambda$	Δt	t
Belső felületi ellenállás	10			0,1	0,578325	20
Belső vakolat		15	0,8	0,01875	0,108436	19,892
Vb födém		200	2,5	0,08000	0,462660	19,429
Lejtéstadó		60	1,65	0,03636	0,210300	19,219
Párazáró réteg		2	0,33	0,00606	0,035050	19,184
Hőszig.		220	0,04	5,50000	31,807894	-12,624
Gyökérálló vízszig.		8	0,23	0,03478	0,201157	-12,825
Védő geotextília		4	0,05	0,08000	0,462660	-13,288
Felületszivárgó (drénlemez)		13	0,5	0,02600	0,150365	-13,439
Szűrő geotextília		4	0,05	0,08000	0,462660	-13,901
Extenzív talajkeverék		100	2	0,05000	0,289163	-14,190
Külső felületi ellenállás	25			0,040	0,231330	-14,422
			$\Sigma R=$	6,05196		-15,000

Extenzív zárófödém rétegrend hőfokelési göbéjének számítása

Parkoló zárófödém rétegrend hőfokelési göbéjének számítása	Vastagság [cm]	Vastagság [mm]	Hővezetési tényező [W/mK]	Ellenállás [m ² K/W]	Hőmérséklet Különbség [K]	Hőmérséklet [°C]
Megnevezés	h_i	d	λ	$R=d/\lambda$	Δt	t
Belső felületi ellenállás	8			0,1	0,584883	20
Belső vakolat		15	2	0,00750	0,043866	19,956
Vb födém		200	2,3	0,08696	0,508594	19,448
Lejtéstadó		60	0,5	0,12000	0,701860	18,746
Párafékező		2	0,33	0,00606	0,035447	18,710
Eps200 hőszigetelés		220	0,04	5,50000	32,168583	-13,458
Vízszigetelés		8	0,23	0,03478	0,203438	-13,662
Szig védő és elválasztó		2	0,33	0,00606	0,035447	-13,697
Kompozit drénréteg		13	0,5	0,02600	0,152070	-13,849
Teherelosztó réteg (1%-os vashányad, vasalt beton)		50	2,3	0,02174	0,127149	-13,976
Autóval járható betonburkolat		70	2	0,03500	0,204709	-14,181
Külső felületi ellenállás	24			0,040	0,233953	-14,415
			$\Sigma R=$	5,98410		-15,000
					$U=$	0,167

Parkoló zárófödém rétegrend hőfokelési göbéjének számítása

MSZ EN 206:2014 Beton. Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés szabvány alapján a betonkockák nyomószilárdságának számolása

Próbatest jele	Próbatest kora (nap)	Méretek			Tömeg (g)	Törőerő (kN)	Test-sűrűség (kg/m ³)	Nyomószilárdság (MPa)		
		a	b	c						
D17	28	149,6	151,5	149,8	8145	1431	2399	63,14	átlag:	64,64
62	28	150,2	151	149,9	8189	1497	2409	66,00	szórás:	1,44
921	28	150	150,7	149,6	8118	1464	2401	64,76		

Próbatest jele	Próbatest kora (nap)	Méretek			Tömeg (g)	Törőerő (kN)	Test-sűrűség (kg/m ³)	Nyomószilárdság (MPa)		
		a	b	c						
946	28	149,97	149,86	151	8215	1845	2421	82,09	átlag:	81,35
561	28	149,9	149,86	150,53	8174	1833	2417	81,60	szórás:	0,90
444	28	150,5	149,6	149,6	8172	1809	2426	80,35		

A vasbeton zárófödém teherszámításai és a gerendák méretfelvétele

1. Kiindulási adatok

1.1 Geometriai adatok

$$l := 6\text{m}$$

$$a := 6\text{m}$$

$$b := 6\text{m}$$

$$n := 5$$

$$h_1 := 3.2\text{m}$$

$$h_2 := 3.2\text{m}$$

$$H := 320\text{m}$$

1.2 Anyagok

Beton : C30/37

$$\gamma_c := 1.5$$

$$f_{ck} := 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 20 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ctm} := 2.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ctd} := 1.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{bd} := 3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{cm} := 33000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rho_{rc} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Betonacél : B500B

$$\gamma_s := 1.15$$

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

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_s := 200 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon_{su} := 18\%$$

$$\xi_{co} := \frac{560}{f_{yd} + 700} = 0.493$$

$$\xi_{co'} := \frac{560}{700 - f_{yd}} = 2.111$$

1.3 Terhek

Önsúly és állandó terhek

$$l_{röv} := b = 6\text{m}$$

$$v_{lem} := \frac{l_{röv}}{35} = 17.143 \cdot \text{cm}$$

$$v_{lem} := 20\text{cm}$$

zárófödém rétegrend

Egyenes

Egyenes zárófödém rétegrend	Rétegek vastagsága d	hővezetési tényező λ	hővezetési ellenállás $R=d/\lambda$	Fajsúly	Súly
	[mm]	[W/mK]	[m ² K/W]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Külső felületi ellenállás			0,04000		
pvc tetőszigetelés mechanikai rögzítéssel	8	0,17	0,04706	12,0	0,096
EPS70 lépésálló hőszigetelés	240	0,04	6,00000	1,60	0,384
párazáró fólia (PE)	2	0,33	0,00606	9,20	0,018
lejtésképző aljzatbeton	60	1,65	0,03636	22,0	1,320
monolit vb. Lemez	200	2,50	0,08000	25,0	5,000
vakolat	15	0,80	0,01875	20,0	0,300
Belső felületi ellenállás			0,10000		
		RT,h	6,32823	g_{zf}	7,12

$$g_{zf,e} := 7.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Egyenes leterhelt

Egyenes leterhelt zárófödém rétegrend	Rétegek vastagsága d	hővezetési tényező λ	hővezetési ellenállás $R=d/\lambda$	Fajsúly	Súly
	[mm]	[W/mK]	[m ² K/W]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Külső felületi ellenállás			0,04		
kavicsos leterhelés (16/32 osztályozott mosottkavics)	50	2	0,025	17	0,85
mod. Bitumenes vastaglemez vízszigetelés	8	0,23	0,0347826	11	0,088
EPS70	220	0,04	5,5	1,6	0,352
párazáró fólia	2	0,33	0,0060606	9,2	0,0184
lejtésképző aljzatbeton	60	1,65	0,0363636	22	1,32
monolit vb. Lemez	200	2,5	0,08	25	5
vakolat	15	0,8	0,01875	20	0,3
Belső felületi ellenállás			0,1		
		RT,h	5,8409569	g_{zf}	7,93

$$g_{zf,el} := 7.93 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Fordított

Fordított zárófödém rétegrend	Rétegek vastagsága d	hővezetési tényező λ	hővezetési ellenállás $R=d/\lambda$	Fajsúly	Súly
	[mm]	[W/mK]	[m ² K/W]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Külső felületi ellenállás			0,04000		
leterhelés	50	2,00	0,02500	17,0	0,850
geotextil	2	0,05	0,04000	1,20	0,002
XPS70	300	0,04	7,89474	1,60	0,480
bitumen	8	0,23	0,03478	11,0	0,088
párazáró fólia	2	0,33	0,00606	9,20	0,018
lejtésképző aljzatbeton	60	1,65	0,03636	22,0	1,320
monolit vb. Lemez	200	2,50	0,08000	25,0	5,000
vakolat	15	0,80	0,01875	20,0	0,300
Belső felületi ellenállás			0,10000		
		RT,h	8,27569	g_{zf}	8,06

$$g_{zf.f} := 8.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Extenzív

Extenzív zárófödém rétegrend	Rétegek vastagsága d	hővezetési tényező λ	hővezetési ellenállás $R=d/\lambda$	Fajsúly	Súly
	[mm]	[W/mK]	[m ² K/W]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Külső felületi ellenállás			0,04		
Extenzív talajkeverék	100	2	0,05	20	2
Szűrő geotextília	4	0,05	0,08	1,2	0,0048
Felületszivargó (drénlemez)	13	0,5	0,026	10	0,13
Védő geotextília	4	0,05	0,08	1,2	0,0048
Gyökérálló vízszigetelés	8	0,23	0,0347826	12	0,096
Hőszigetelés	220	0,04	5,5	1,6	0,352
Párazáró réteg	2	0,33	0,0060606	9,2	0,0184
Lejtés	60	1,65	0,0363636	22	1,32
Monolit vasbeton lemez	200	2,5	0,08	25	5
Vakolat	15	0,8	0,01875	20	0,3
Belső felületi ellenállás			0,1		
		RT,h	6,0519569	g_{zf}	9,23

$$g_{zf.ex} := 9.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Parkoló

Parkoló zárófödém rétegrend	Rétegek vastagsága d	hővezetési tényező λ	hővezetési ellenállás $R=d/\lambda$	Fajsúly	Súly
	[mm]	[W/mK]	[m ² K/W]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Külső felületi ellenállás			0,04		
autóval járható betonburkolat	70	2	0,035	25	1,75
teherelosztó réteg (1%-os vashányad, vasalt beton)	50	2,3	0,0217391	24	1,2
kompozit drénréteg	13	0,5	0,026	1,7	0,0221
szig védő és elválasztó	2	0,33	0,0060606	1,2	0,0024
vízszigetelés	8	0,23	0,0347826	12	0,096
eps200 hőszigetelés	220	0,04	5,5	1,6	0,352
párafékező	2	0,33	0,0060606	9,2	0,0184
lejtéstadó	60	1,65	0,0363636	22	1,32
vb födém	200	2,5	0,08	25	5
belső vakolat	15	0,8	0,01875	20	0,3
Belső felületi ellenállás			0,1		
		RT,h	5,9047566	g_{zf}	10,06

$$g_{zf,p} := 10.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Intenzív

Intenzív zárófödém rétegrend	Rétegek vastagsága d	hővezetési tényező λ	hővezetési ellenállás $R=d/\lambda$	Fajsúly	Súly
	[mm]	[W/mK]	[m ² K/W]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Külső felületi ellenállás			0,04		
Termőföld réteg	500	2	0,25	20	10
Szűrő geotextília	4	0,05	0,08	1,2	0,0048
Felületszivárgó	13	0,5	0,026	10	0,13
Védő geotextília	4	0,05	0,08	1,2	0,0048
Gyökérálló vízszigetelés	8	0,23	0,03478261	12	0,096
Hőszigetelés EPS200	200	0,04	5	1,6	0,32
Párazáró réteg	2	0,33	0,00606061	9,2	0,0184
Lejtést adó réteg	60	1,65	0,03636364	22	1,32
Monolit vasbeton lemez	200	2,5	0,08	25	5
Vakolat	15	0,8	0,01875	20	0,3
Belső felületi ellenállás			0,1		
		RT,h	5,75195685	g_{zf}	17,19

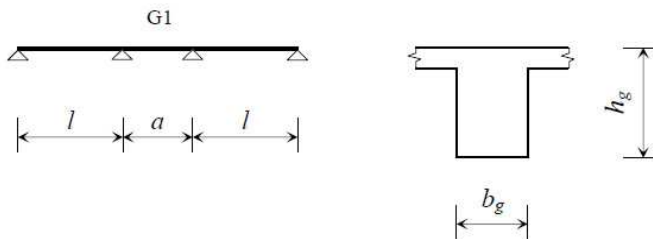
$$g_{zf,in} := 17.19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

A G1 födémgerenda a keresztmetszeti méretek becslése után számítható

magasság : $h_g := \frac{1}{12} = 0.5 \text{ m}$ $h_{g,v} := 500 \text{ mm}$

szélesség : $b_g := \frac{h_g}{1.4} = 0.357 \text{ m}$ $b_{g,v} := 350 \text{ mm}$

A gerenda súlyának alapértéke : $g_{ger} := (h_g - v_{lem}) b_g \cdot \rho_{rc} = 2.625 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$



Az önsúly és állandó terhek biztonsági tényezője : $\gamma_G := 1.5$

b. Meteorológiai terhek

Hóteher

$A := 320 \text{ m}$ tengerszint feletti magasság, az épület városi övezetben áll

$s_k := 0.25 \left(1 + \frac{A}{100 \text{ m}} \right) = 1.05$ de $s_k > 1.25 \text{ kN/m}^2$ $s_{k,v} := 1.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$c_e := 1$ $c_t := 1$

$\mu_i := 0.8$ $\alpha = 0^\circ$ tetőhajlás szög esetén

$s_w := s_k \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu_i = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

A tető hóterhének tervezési értéke:

A hóteher biztonsági tényezője: $\gamma_{w,v} := 1.5$

A hóteher kombinációs tényezője: $\psi_{0s} := 0.6$

$s_d := \gamma_s \cdot s = 1.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Szélteher

A levegő sűrűsége: $\rho := 1.25 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

A szélesebbesség referenciaértéke: $v_{\text{ref}} := 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Az átlagos tolónyomás, szélteher karakterisztikus értéke:

$$q_{\text{ref}} := \frac{\rho \cdot v_{\text{ref}}^2}{2} = 250 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Az épület az IV. Beépítettségi kategóriába tartozik és ez alapján a referenciamagasság értéke az épület magasságával vehető egyenlőnek

$H := h_1 + 3 \cdot h_2 = 12.8 \text{ m}$ az épület magassága

$c_e := 1.55$

A külső nyomási tényező, a támadott felület függvényében:

$A_f := n \cdot b \cdot H = 384 \text{ m}^2 > 10 \cdot \text{m}^2$ Ezért a 10 m^2 referenciaterületre vonatkozó külső nyomási tényezőt használom

$c_{pe} = c_{pe,10}$

$B := a + 2 \cdot l = 18 \text{ m}$
 $H = 12.8 \text{ m}$ $\frac{B}{H} = 1.406$

A B/H arány közbenső értékeinél lineáris interpoláció alkalmazandó
szélnyomás

$c_{pe,10,D} := 0.8 - \frac{(0.8 - 0.6) \cdot \left(\frac{B}{H} - 1\right)}{4 - 1} = 0.773$ $c_{pe,D} := c_{pe,10,D}$

$c_{pe,10,E} := -0.3$ szélszívás $c_{pe,E} := c_{pe,10,E}$

$w_{e,D} := q_{\text{ref}} \cdot c_e \cdot c_{pe,D} = 0.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$w_{e,E} := q_{\text{ref}} \cdot c_e \cdot c_{pe,E} = -0.116 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

A szélhatás biztonsági tényezője: $\gamma_w := 1.5$

A szélteher kombinációs tényezője: $\psi_{0,sz} := 0.6$

Az épület x irányú külső felületére működő szélnyomás tervezési értéke:

$$w_{d,D} := \gamma_w \cdot w_{e,D} = 0.449 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Az épület x irányú külső felületére működő szélszívás tervezési értéke:

$$w_{d,E} := \gamma_w \cdot w_{e,E} = -0.174 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2. Közelítő méretfelvétel

A G1 gerenda igénybevételei

Igénybevételek a függőleges terhekből

A mértékadó teher tervezési értéke a zárófödémén:

$$p_d := b \cdot (\gamma_G \cdot g_{zf,ex} + s_d) + \gamma_G \cdot g_{ger} = 96.007 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

A mértékadó teherből származó maximális nyomaték értéke a G1 gerendán közelítőleg:

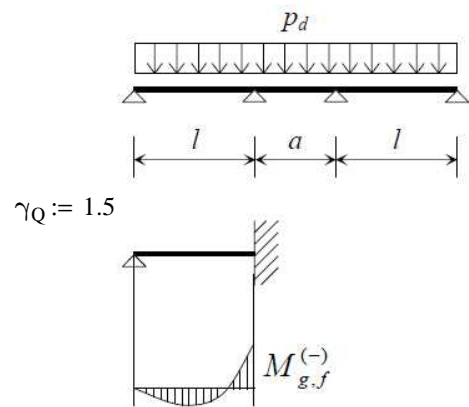
$$M_{g,f,negativ} := p_d \cdot \frac{l^2}{10.5} = 329.169 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

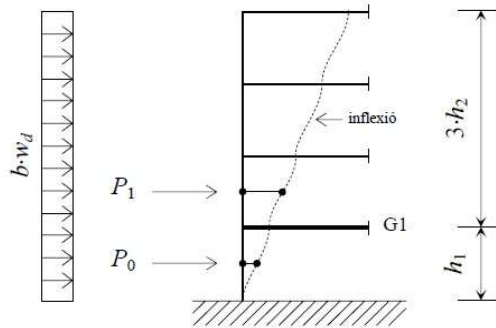
Igénybevételek a vízszintes terhekből

Feltételezzük, hogy a gerendék merevebbek mint az oszlopok. A szélteher hatására kialakuló oszlop eltolódási ábra:

Az épületre $h_1 + 2.5h_2$ magasságban ható szélteher összesen:

$$p_1 := 0.5 \cdot h_2 \cdot b \cdot w_{d,D} = 4.313 \cdot \text{kN}$$





A P_1 helyettesítő vízszintes terhekből származó igénybevételek az oszlopon, figyelembe véve, hogy az oszlopok merevsége egyforma, valamint az oszlop inflexiós pontjaiban a nyomaték értéke nulla:

$$M_1 := \left(\frac{p_1}{4} \right) \cdot \frac{h_2}{2} = 1.725 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

A szélteherből származó nyomaték a G1 gerendán a belső támasz fölött közelítően:

$$M_{g.v.negativ} := M_1 = 1.725 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

A G1 gerenda keresztmetszeri méreteinek ellenőrzése:

A felvett gerenda méreteket a külsőtámasznál ellenőrizzük.

$$M_{Ed} := M_{g.f.negativ} + M_{g.v.negativ} = 330.894 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

A gerenda keresztmetszet határnyomatéka:

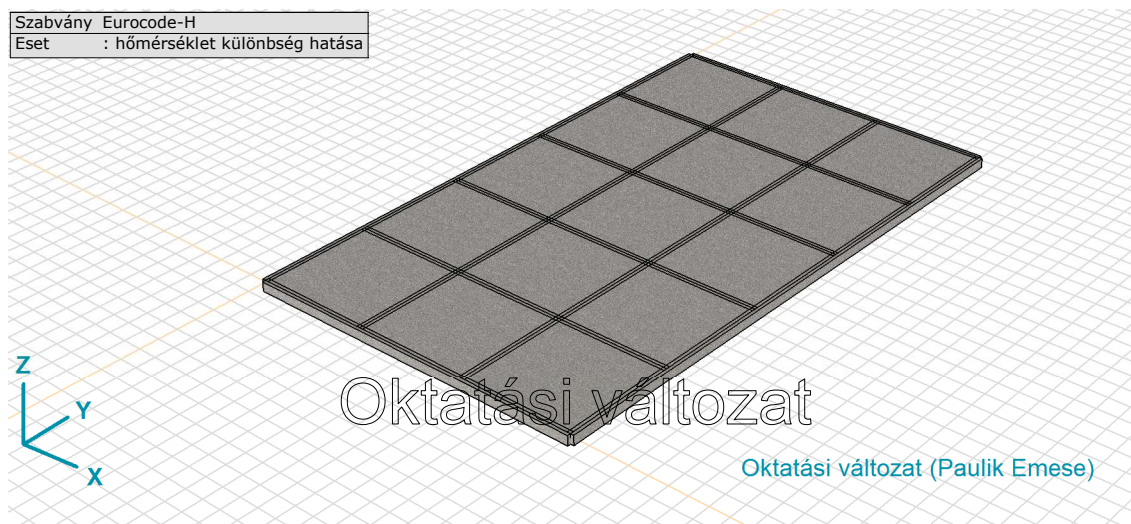
jelen esetben: $\xi_c := \xi_{co} = 0.493$ értékre vehető fel

$$\alpha_c := 1.0$$

$$d := h_g - \frac{v_{lem}}{2} = 400 \cdot \text{mm}$$


$$M_{Rd} := b_g \cdot \xi_c \cdot d \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{\xi_c \cdot d}{2} \right) = 416.329 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{Ed} = 330.894 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

8mm-es betonacélokkal bevasalt intenzív vasbeton zárófödém geometriája, teheresetei, nyomatéki igénybevételei valamint alkalmazott vasalása



Látványterv

Szelvények

	Név	Rajz	Gyártás	Alak	h [cm]	b [cm]	tw [cm]	tf [cm]	Ax [cm ²]	Ay [cm ²]	Az [cm ²]
1	35x50		Más	Tgl.	50,0	35,0	0	0	1750,00	1458,33	1458,33

	Név	I _x [cm ⁴]	I _y [cm ⁴]	I _z [cm ⁴]	I _{yz} [cm ⁴]	I ₁ [cm ⁴]	I ₂ [cm ⁴]	α	I _ω [cm ⁶]	W _{1,el,t} [cm ³]	W _{1,el,b} [cm ³]
1	35x50	406304,4	364583,3	178645,8	0	364583,3	178645,8	0	4914933	14583,3	14583,3

	Név	W _{2,el,t} [cm ³]	W _{2,el,b} [cm ³]	W _{1,pl} [cm ³]	W _{2,pl} [cm ³]	i _y [cm]	i _z [cm]	Hy [cm]	H _z [cm]	y _G [cm]	z _G [cm]	y _s [cm]	z _s [cm]
1	35x50	10208,3	10208,3	21875,0	15312,5	14,4	10,1	35,0	50,0	17,5	25,0	0	0

	Név	F.p.
1	35x50	5

Név: Szelvénynév; **Gyártás:** Gyártási eljárás; **Alak:** Szelvényalak; **h:** Szelvénymagasság; **b:** Szelvény szélesség; **tw:** Gerincvastagság; **tf:** Örvastagság; **Ax:** Keresztmetszeti terület; **Ay, Az:** Nyírási keresztmetszet; **I_x:** Csavaró inercia; **I_{y, I_z:}** Hajlító inercia; **I_{yz}:** Centrifugális inercia; **I_{1, I₂:}** Hajlító főinercia; **α:** Főirány; **I_ω:** Torzulási inercia; **W_{1,el,t}, W_{1,el,b}, W_{2,el,t}, W_{2,el,b}:** Rugalmas keresztmetszeti modulus; **W_{1,pl}, W_{2,pl}:** Képlékeny keresztmetszeti modulus; **i_y, i_z:** Inerciasugár; **Hy:** Keresztmetszet befoglaló mérete y irányban; **H_z:** Keresztmetszet befoglaló mérete z irányban; **y_G:** Súlypont y koordinátája; **z_G:** Súlypont z koordinátája; **y_s:** Nyírási (csavarási) középpont y koordinátája a súlyponthoz képest; **z_s:** Nyírási (csavarási) középpont z koordinátája a súlyponthoz képest; **F.p.:** Feszültségpontok száma;

Betonacélok

	Név	E _s [kN/cm ²]	f _{yd} [kN/cm ²]	ε _{s1} [‰]	ε _{su} [‰]
1	B500B	20000	43,50	2,175	50,000

Név: Betonacél neve; **E_s:** Rugalmassági modulus; **f_{yd}:** Határfeszültség; **ε_{s1}:** Rugalmas nyúlási határérték; **ε_{su}:** Képlékeny nyúlási határérték;

Anyagok

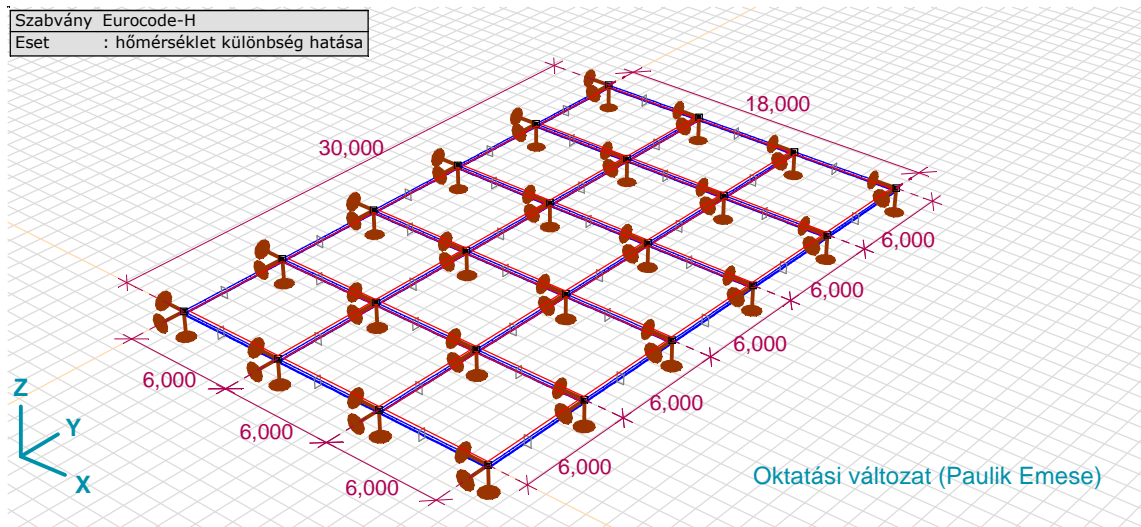
	Név	Típus	Modell	E_x [kN/cm ²]	E_y [kN/cm ²]	ν	α_T [1/°C]	ρ [kg/m ³]	Anyag szín	Kontúr szín
1	C30/37	Beton	Lineáris	3280	3280	0,20	1E-5	2500		

	Név	Textúra	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
1	C30/37	Concrete A	f_{ck} [kN/cm ²] = 3,00	$\gamma_c = 1,500$	$\alpha_{cc} = 1,00$	$\phi_t = 2,00$						

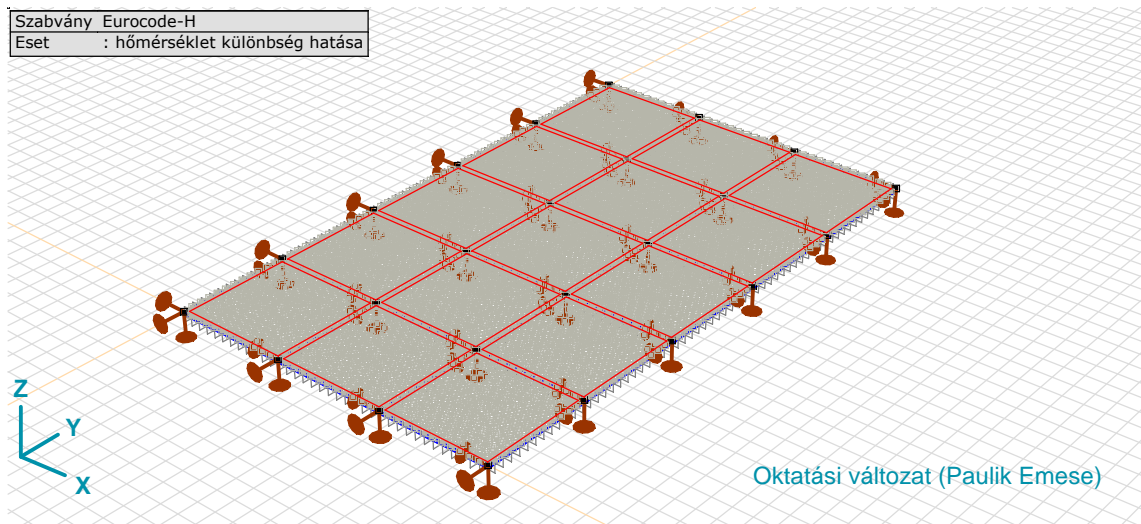
	Név	P_{11}	P_{12}
1	C30/37		

Oktatási változat

Név: Anyag neve; Típus: Anyag típusa; Modell: Anyagmodell; E_x : Rugalmassági modulus lokális x irányban; E_y : Rugalmassági modulus lokális y irányban; ν : Poisson tényező; α_T : Hőtágulási együttható; ρ : Sűrűség; Anyag szín: Anyag színe; Kontúr szín: Anyag kontúr színe; $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}$: Tervezési paraméter;



A zárófödém méretei



Háló

Teheresetek

	Név	Csoport	Csoport típusa
1	önsúly	állandó	állandó
2	intenzív rétegrend	állandó	állandó
3	hasznos 1	esetleges 1	esetleges
4	hasznos 2	esetleges 1	esetleges

Teheresetek

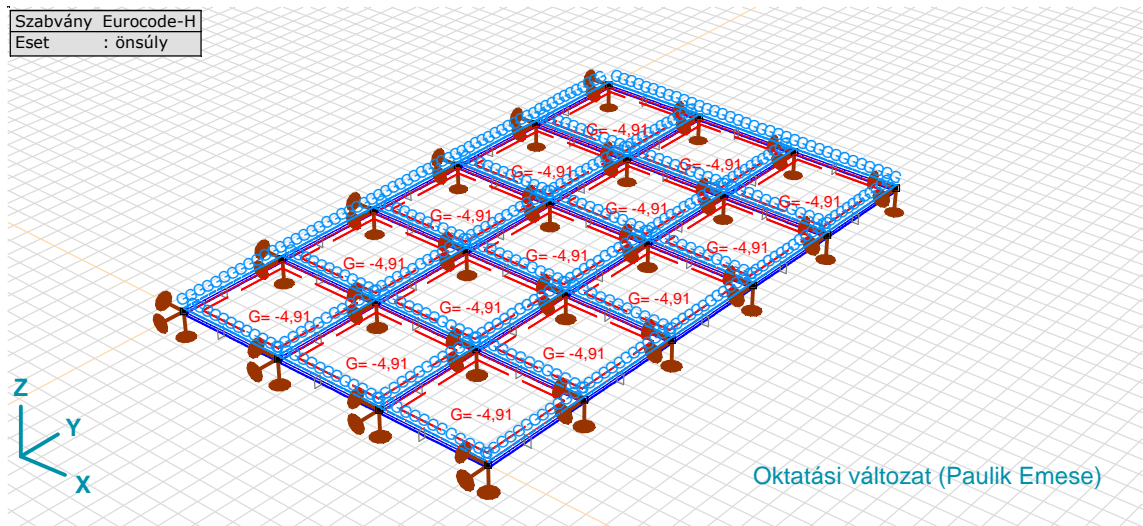
	<i>Név</i>	<i>Csoport</i>	<i>Csoport típusa</i>
5	hasznos 3	esetleges 1	esetleges
6	szélnyomás	esetleges 2	esetleges
7	szélszívás	esetleges 2	esetleges
8	hóteher	esetleges 3	esetleges
9	hőmérséklet különbség hatása	esetleges 4	esetleges

Név: Tehereset neve; **Csoport:** Tehercsoport; **Csoport típusa:** Tehercsoport típusa;

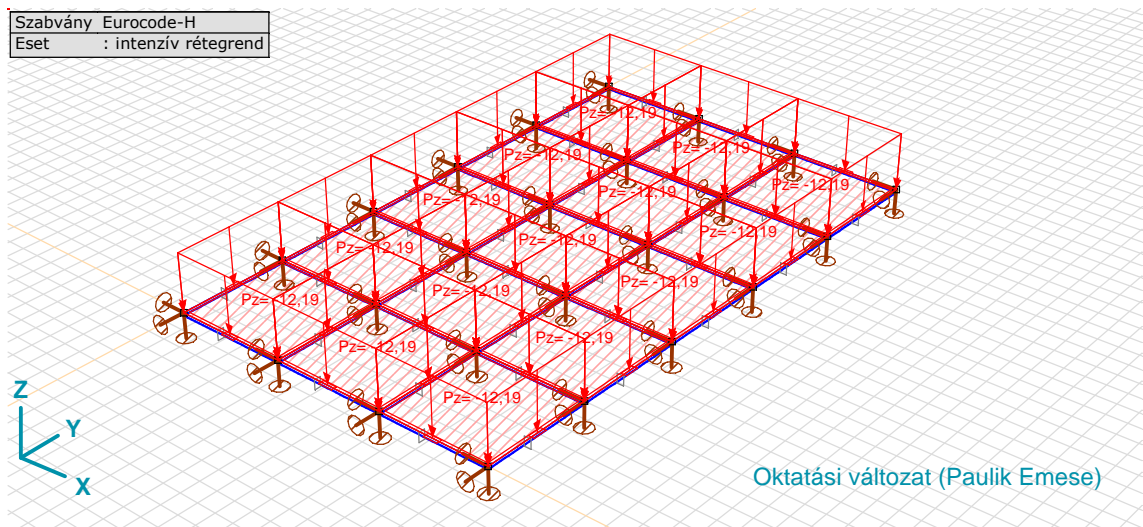
Tehercsoportok (Eurocode-H)

	<i>Csoport</i>	<i>Típus</i>	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,inf}$	ξ	γ	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	<i>Additív</i>
1	állandó	állandó	1,350	1,000	0,850					1
2	esetleges 1	esetleges				1,500	0,700	0,700	0,500	0
3	esetleges 2	esetleges				1,500	0,600	0,500	0	0
4	esetleges 3	esetleges				1,500	0,500	0,200	0	0
5	esetleges 4	esetleges				1,500	0,600	0,500	0	0

Csoport: Tehercsoport; $\gamma_{G,sup}$: Felső parciális tényező; $\gamma_{G,inf}$, ξ : Alsó parciális tényező; γ : Parciális tényező; Ψ_0 , Ψ_1 , Ψ_2 : Pszi tényező; **Additív:** Egyidejűleg is működő teheresetek;

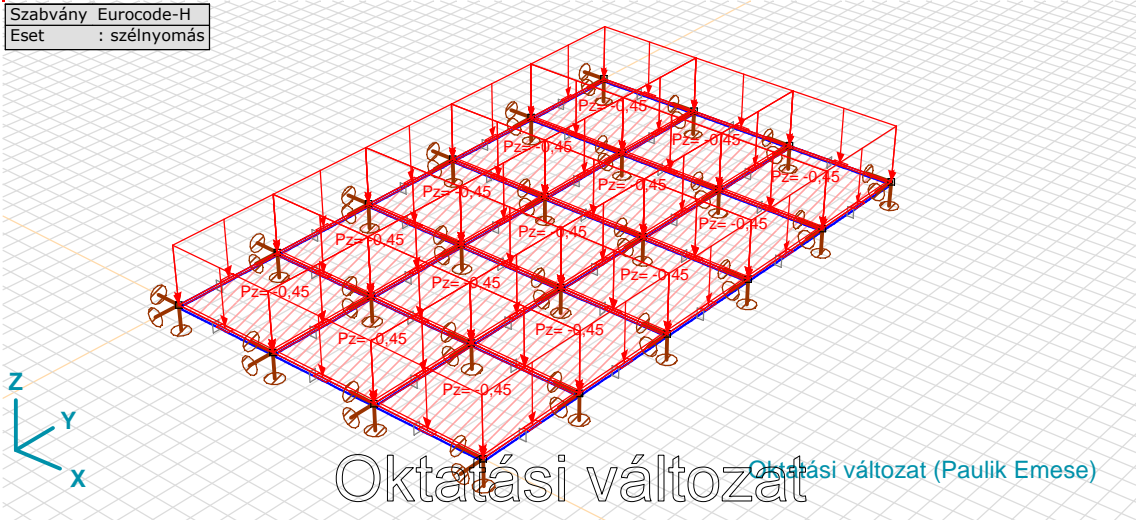


önsúly



intenzív rétegrend

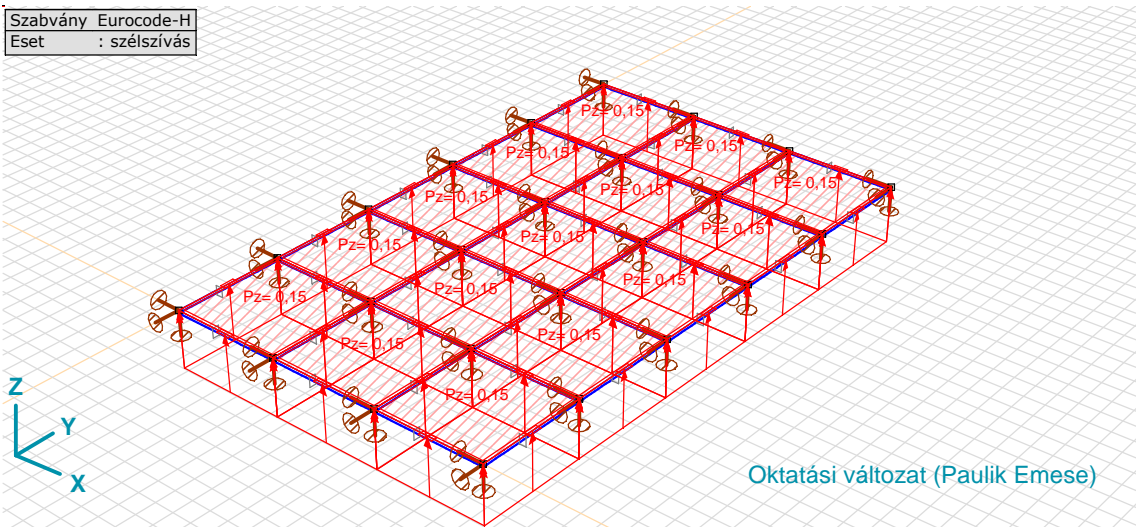
Szabvány Eurocode-H
Eset : szélnyomás



Oktatási változat (Paulik Emese)

szélnyomás

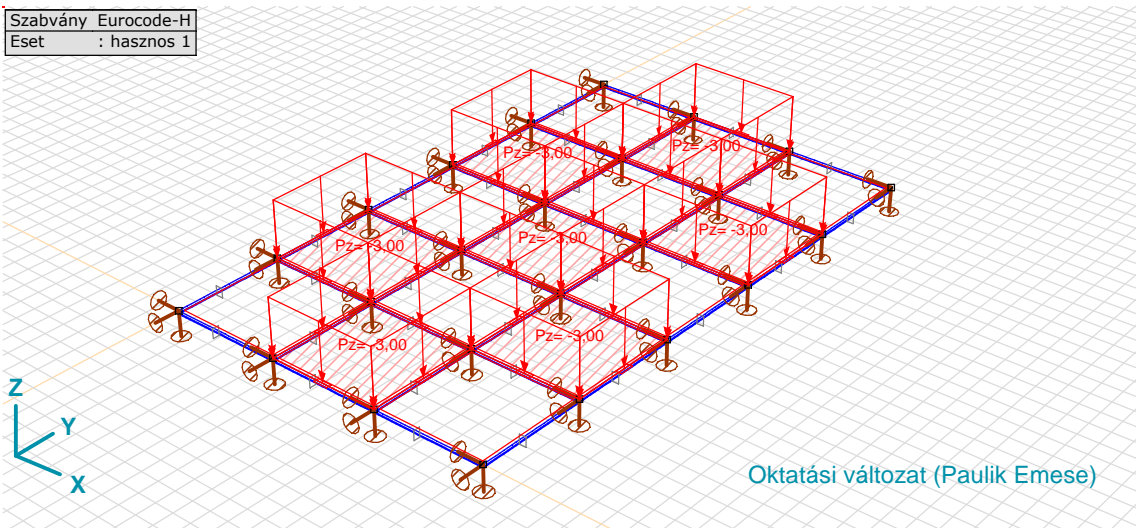
Szabvány Eurocode-H
Eset : szélszívás



Oktatási változat (Paulik Emese)

szélszívás

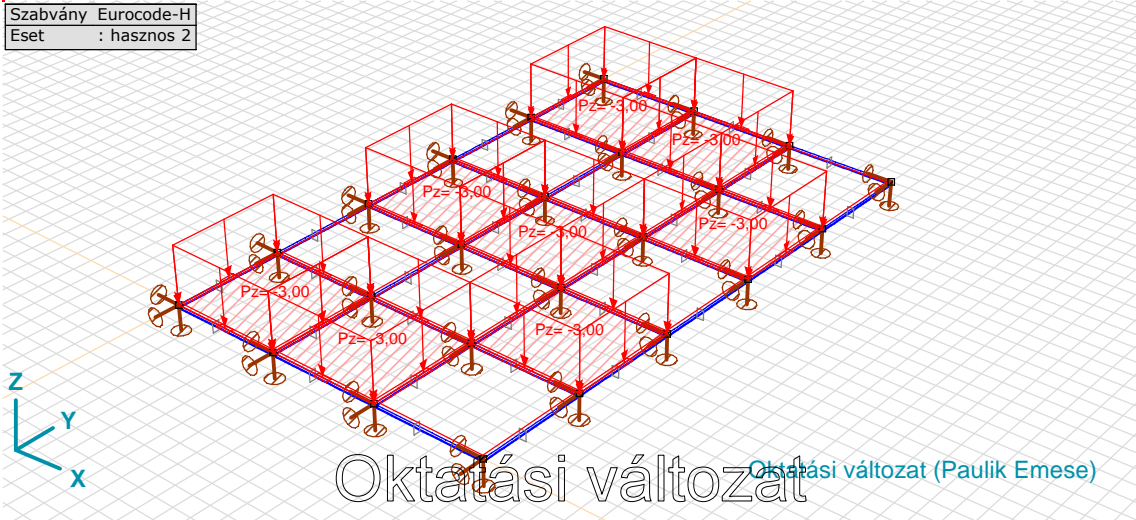
Szabvány Eurocode-H
Eset : hasznos 1



Oktatási változat (Paulik Emese)

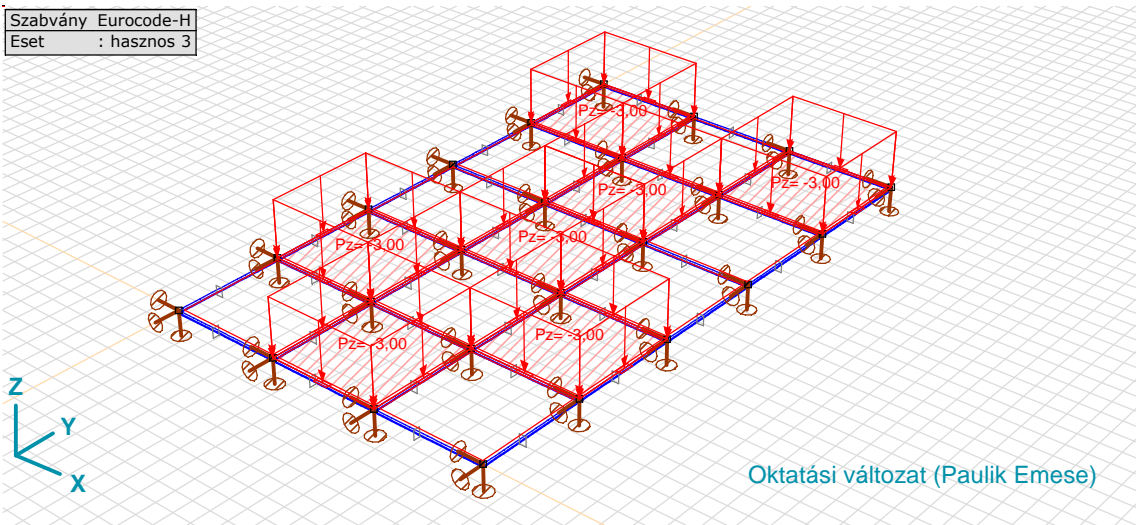
hasznos 1

Szabvány Eurocode-H
Eset : hasznos 2



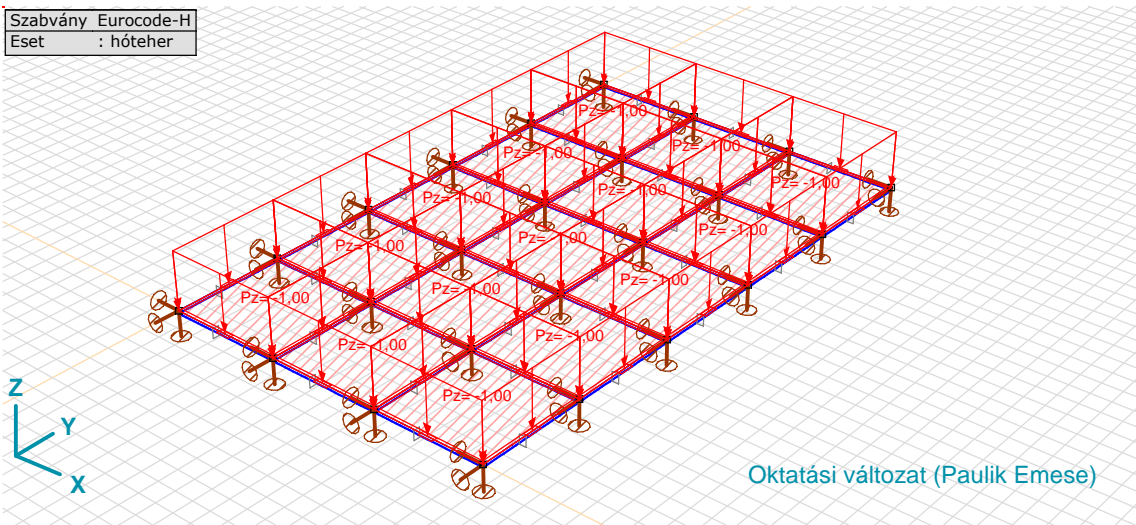
hasznos 2

Szabvány Eurocode-H
Eset : hasznos 3



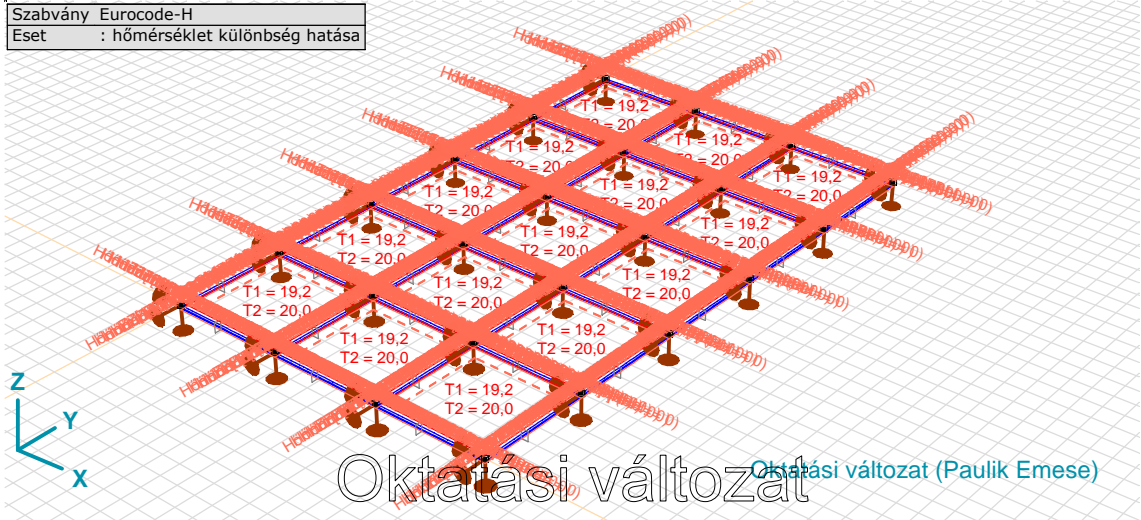
hasznos 3

Szabvány Eurocode-H
Eset : hőteher



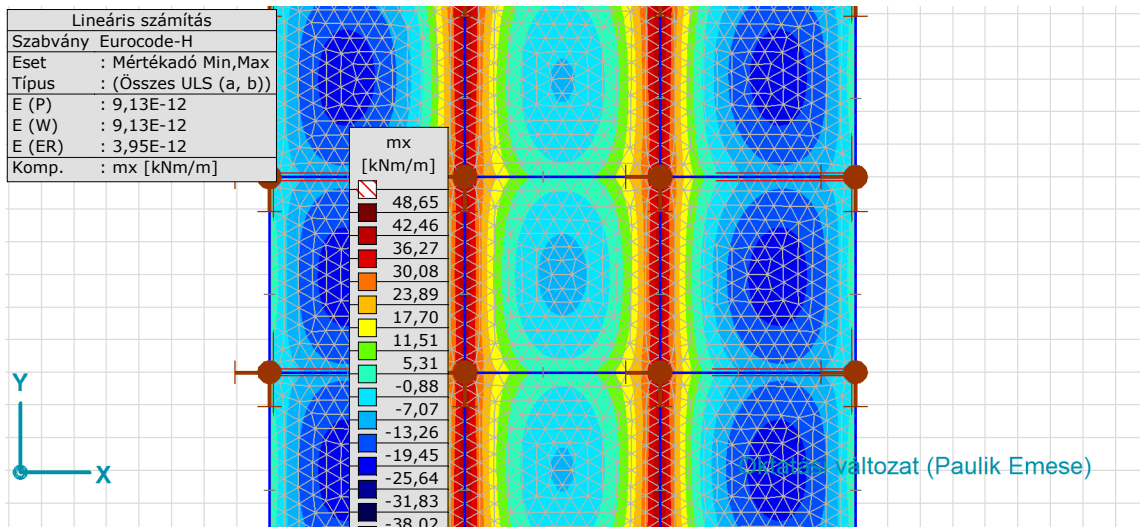
hőteher

Szabvány	Eurocode-H
Eset	: hőmérséklet különbség hatása



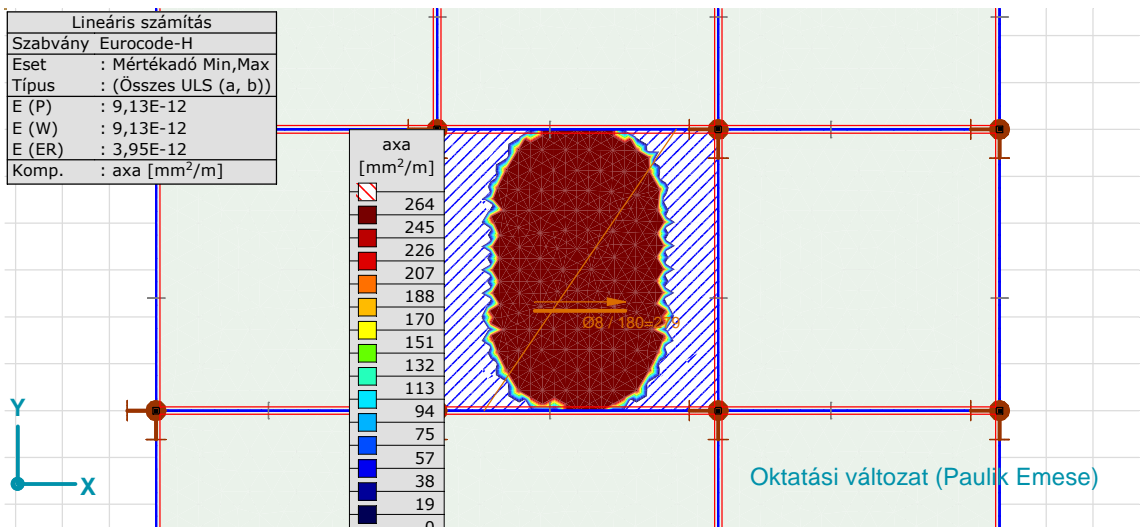
hőmérséklet különbség hatása

Lineáris számítás	
Szabvány	Eurocode-H
Eset	: Mértékadó Min,Max
Típus	: (Összes ULS (a, b))
E (P)	: 9,13E-12
E (W)	: 9,13E-12
E (ER)	: 3,95E-12
Komp.	: mx [kNm/m]

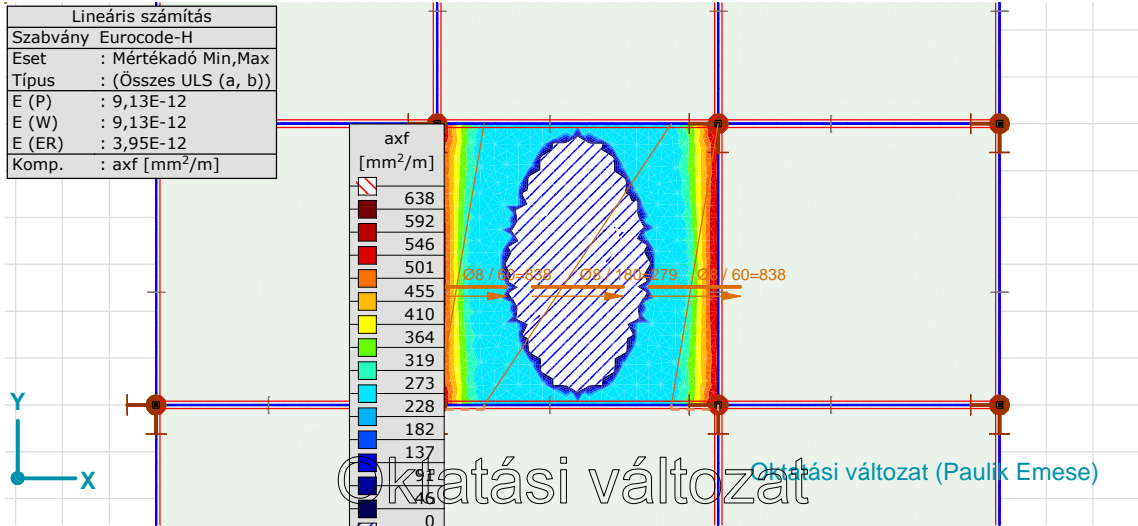


[I], lineáris,(Auto) Mértékadó, mx, Szintfelület 3D, Felülnézet

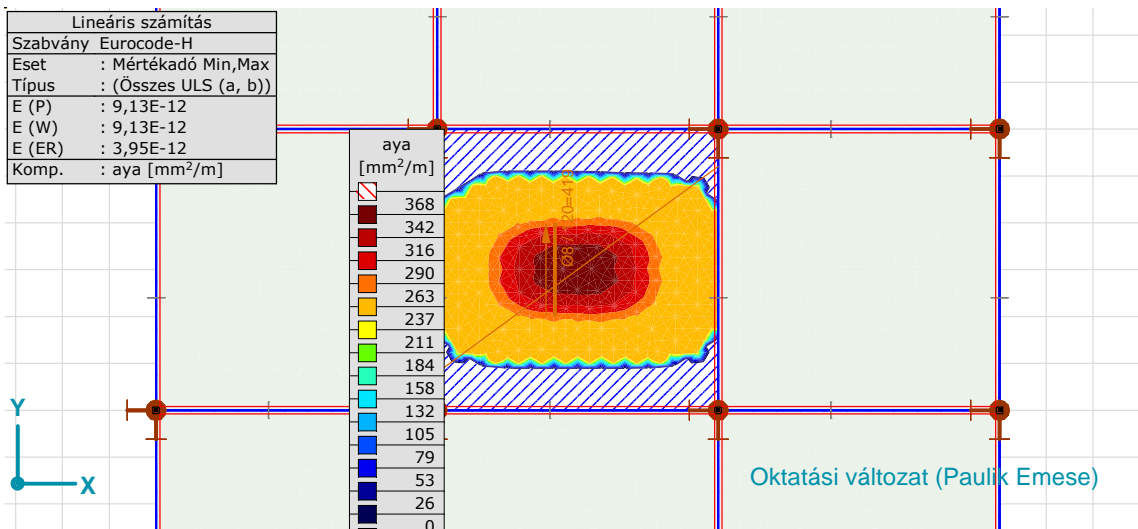
Lineáris számítás	
Szabvány	Eurocode-H
Eset	: Mértékadó Min,Max
Típus	: (Összes ULS (a, b))
E (P)	: 9,13E-12
E (W)	: 9,13E-12
E (ER)	: 3,95E-12
Komp.	: axa [mm ² /m]



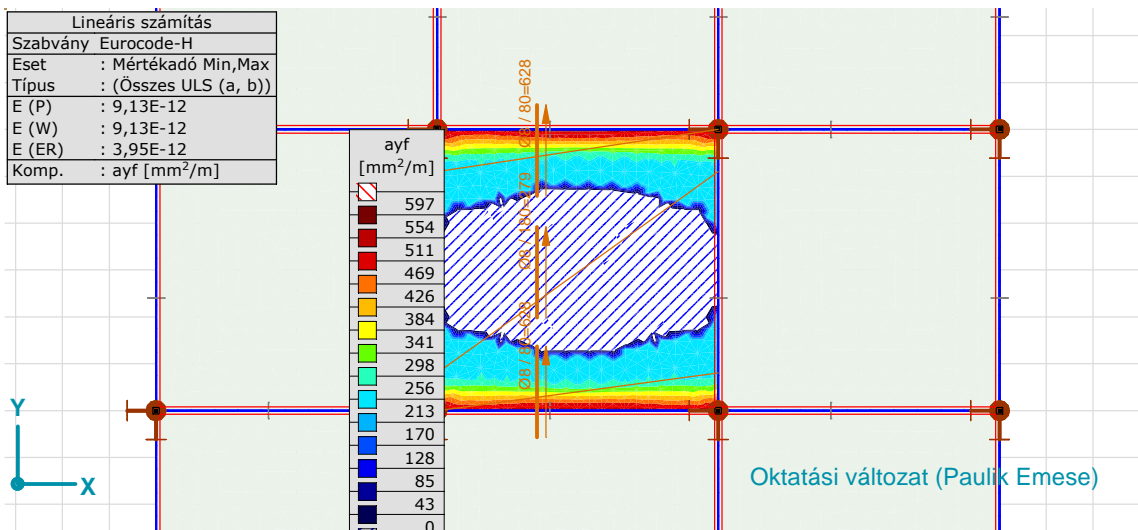
[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, axa, Szintfelület 2D, Felülnézet



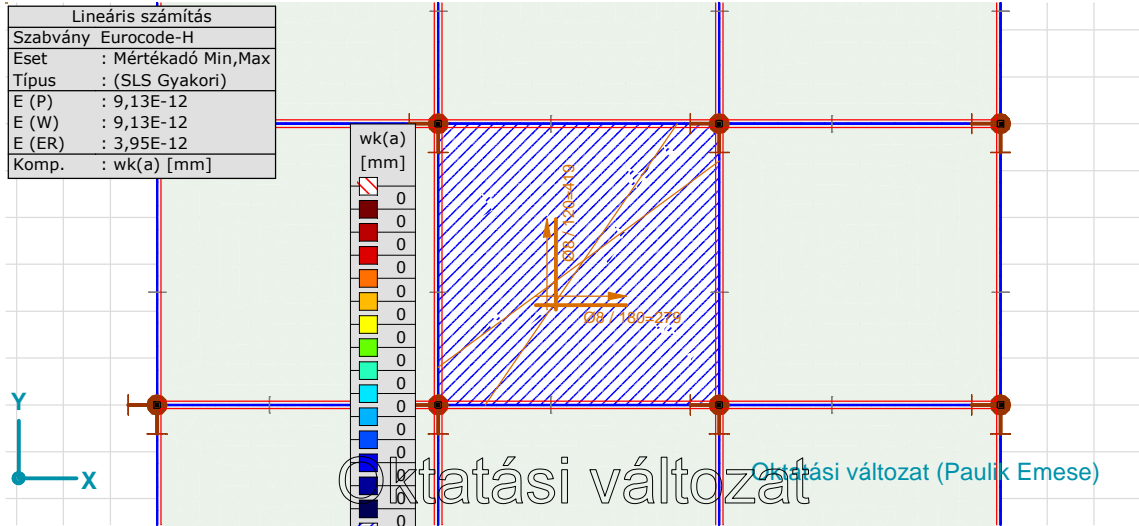
[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, axf, Szintfelület 2D, Felülnézet



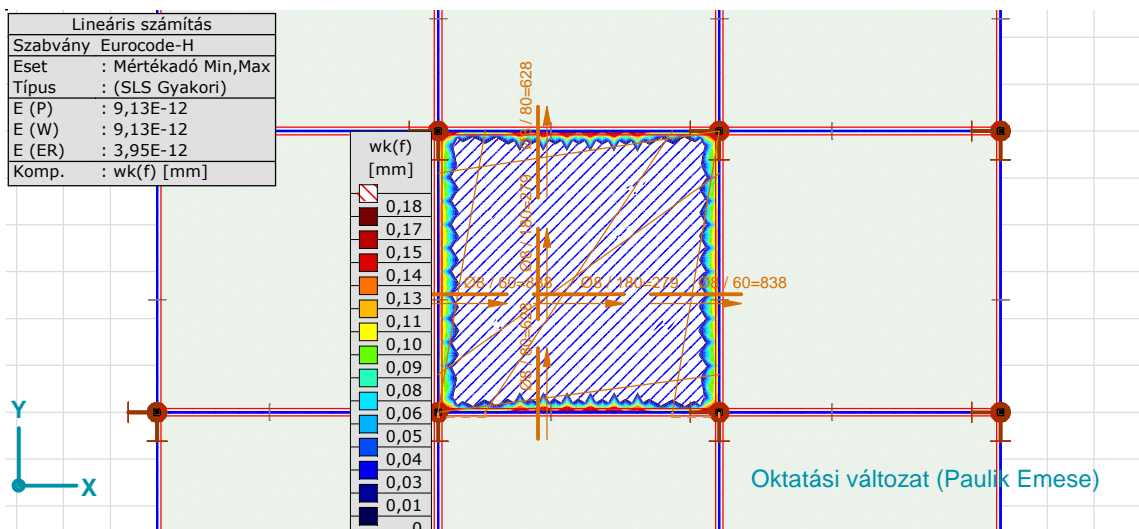
[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, aya, Szintfelület 2D, Felülnézet



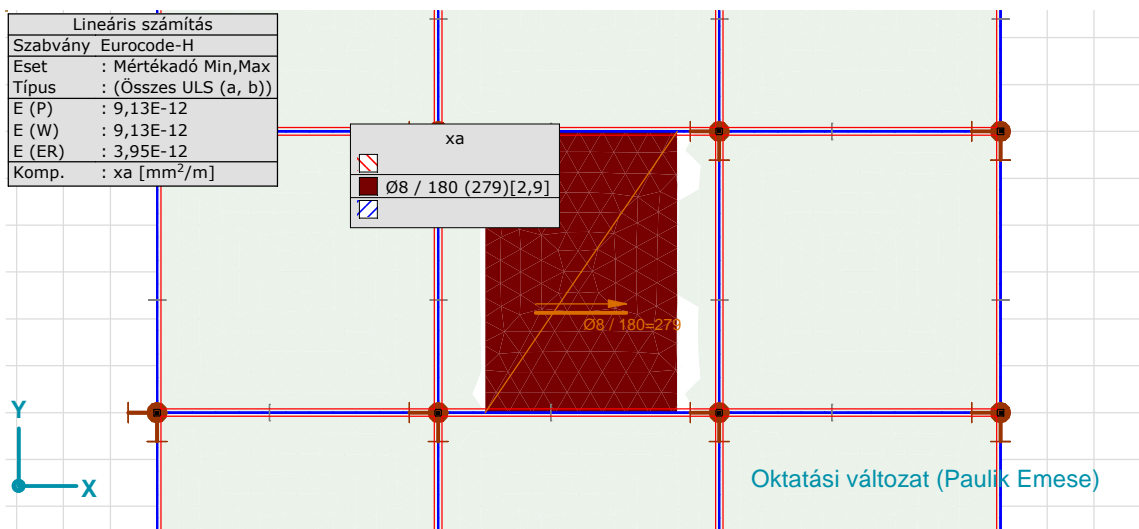
[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, ayf, Szintfelület 2D, Felülnézet



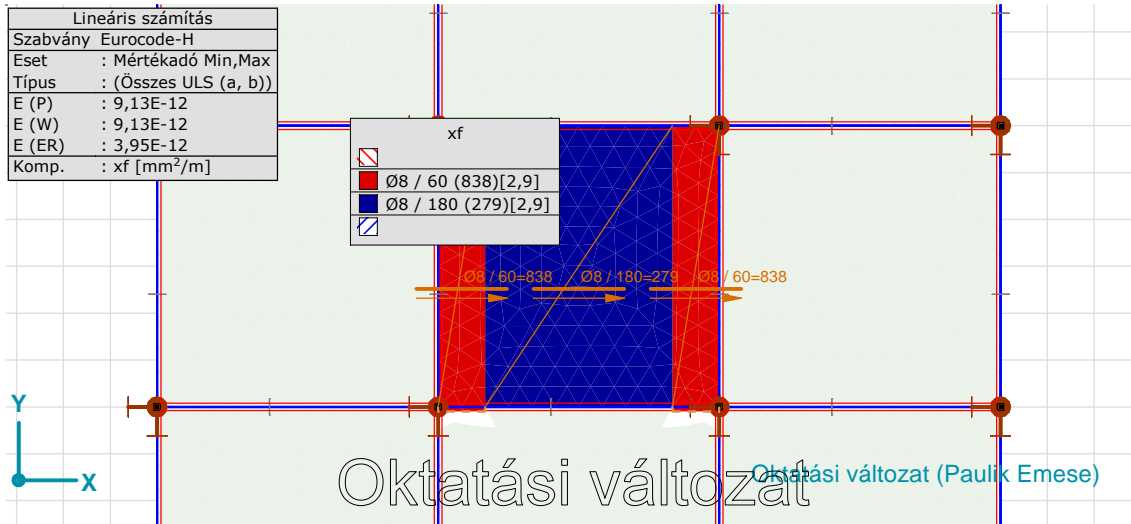
[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, wk(a), Szintfelület 2D, Felülnézet



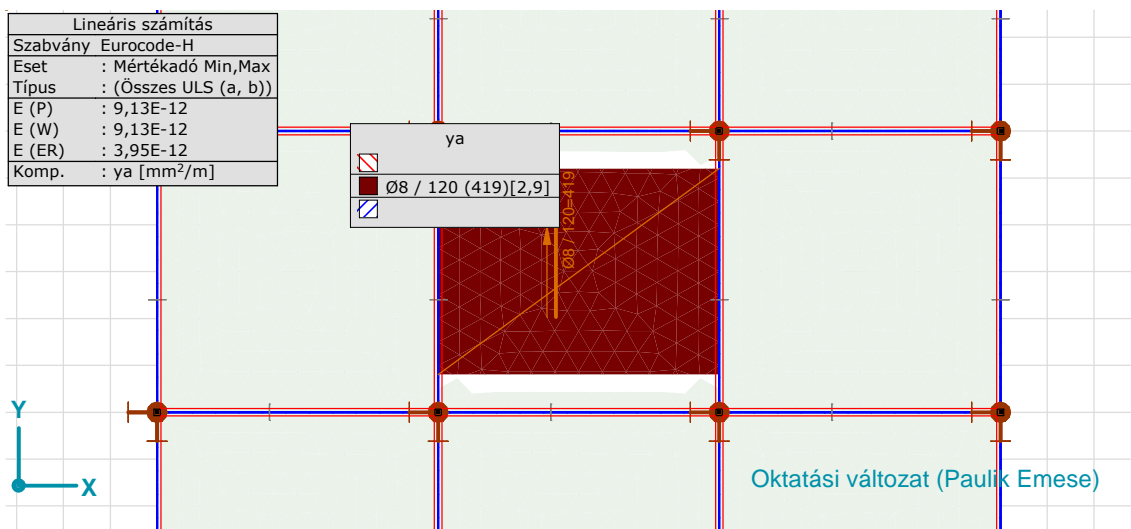
[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, wk(f), Szintfelület 2D, Felülnézet



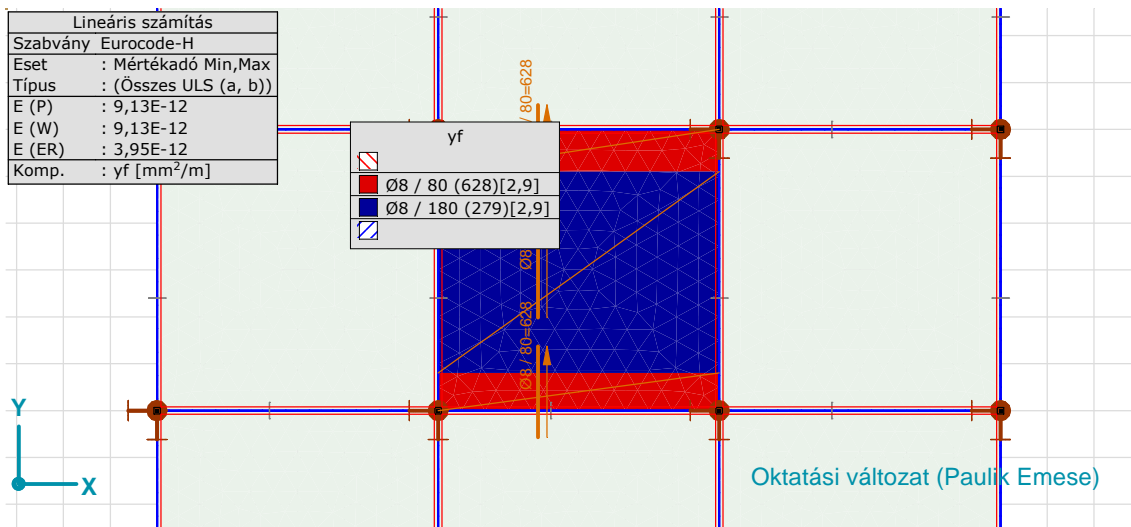
[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, xa, Szintfelület 2D, Felülnézet



[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, xf, Szintfelület 2D, Felülnézet



[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, ya, Szintfelület 2D, Felülnézet



[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, yf, Szintfelület 2D, Felülnézet

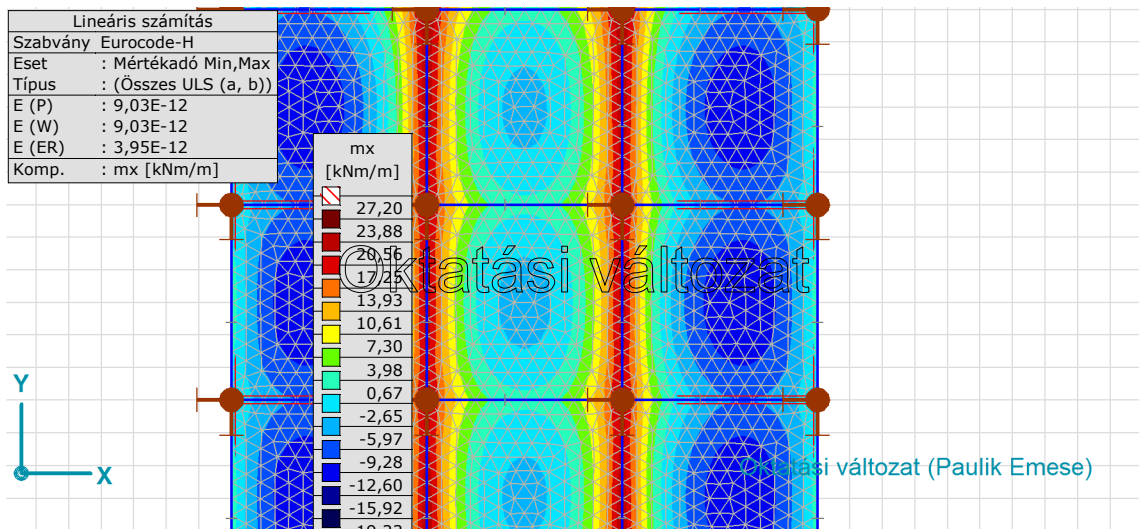
Munka:

Tervező:

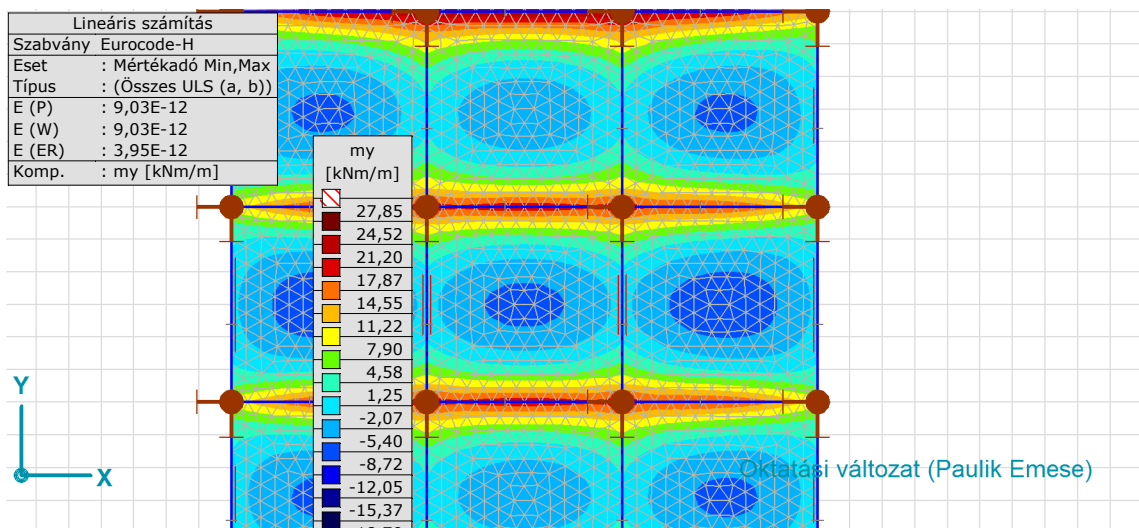
Modell: TDK extenzív 12mm.axs

2015.10.31.

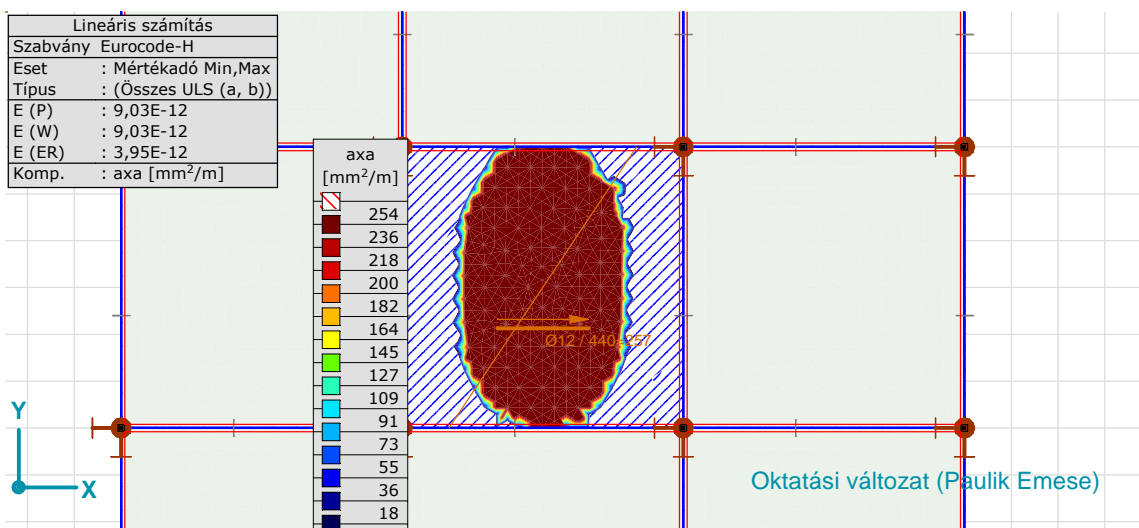
1. oldal

12mm-es betonacélokkal vasalt extenzív vasbeton zárófödém igénybevételei és alkalmazott vasalása

[I], lineáris, (Auto) Mértékadó, mx, Szintfelület 3D, Felülnézet



[I], lineáris, (Auto) Mértékadó, my, Szintfelület 3D, Felülnézet



[RI], lineáris, (Auto) Mértékadó, axa, Szintfelület 2D, Felülnézet

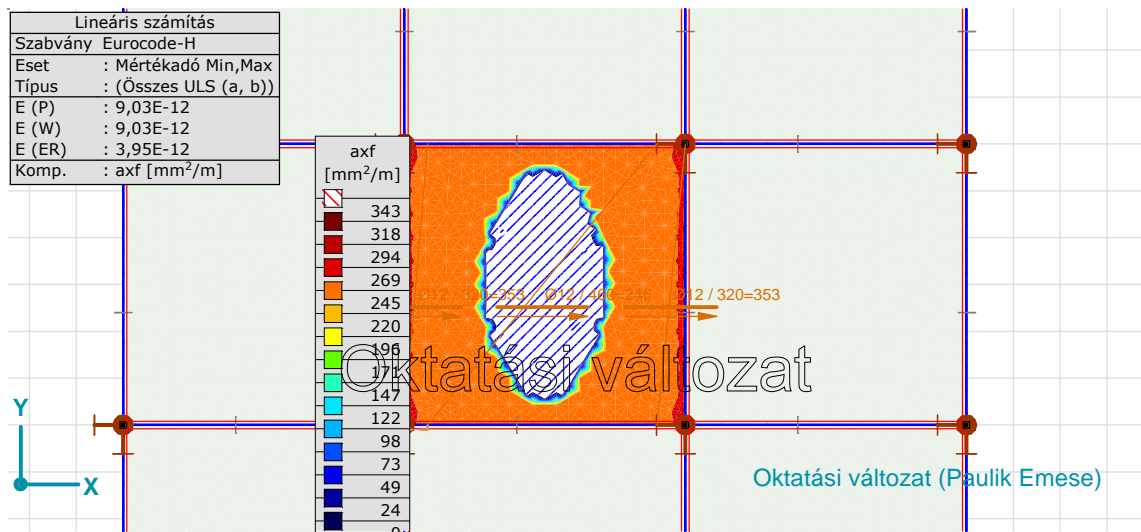
Munka:

Tervező:

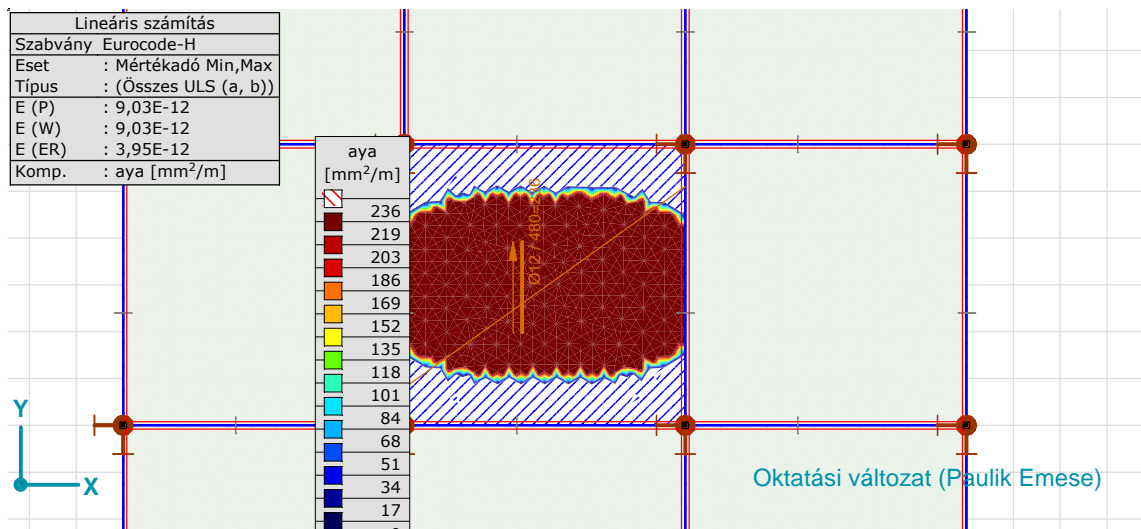
Modell: TDK extenzív 12mm.axs

2015.10.31.

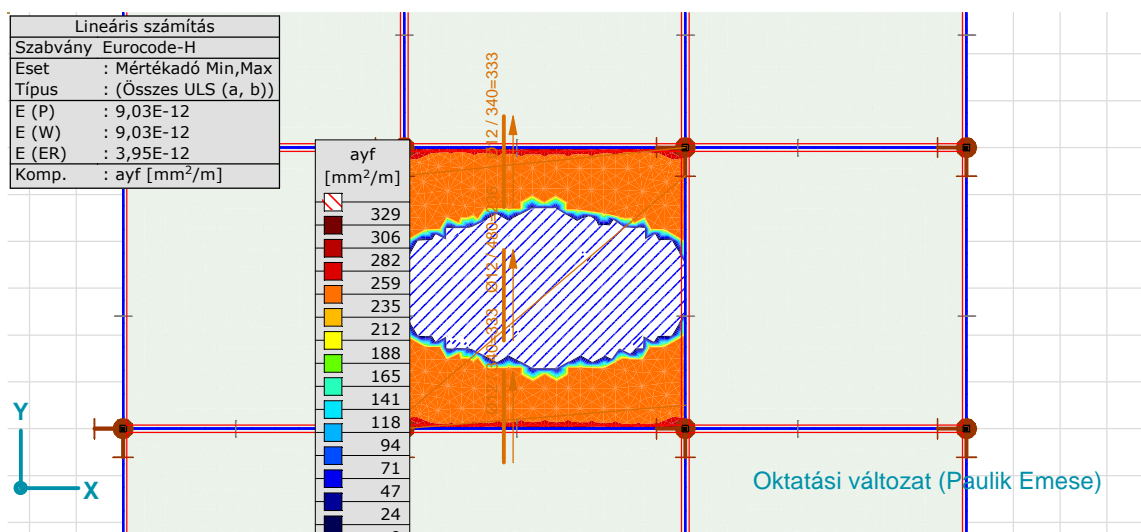
2. oldal



[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, axf, Szintfelület 2D, Felülnézet



[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, aya, Szintfelület 2D, Felülnézet



[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, ayf, Szintfelület 2D, Felülnézet

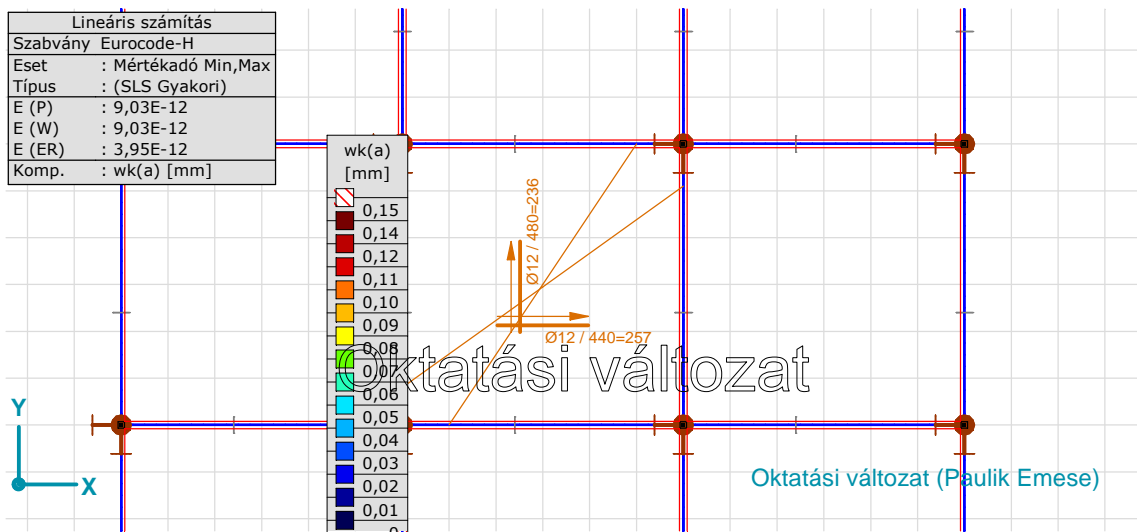
Munka:

Tervező:

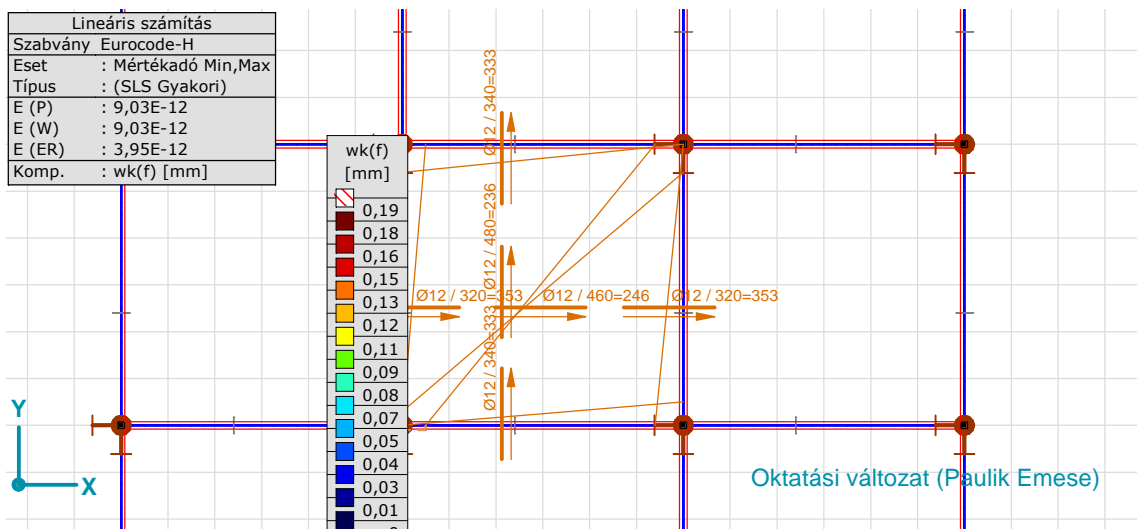
Modell: TDK extenzív 12mm.axs

2015.10.31.

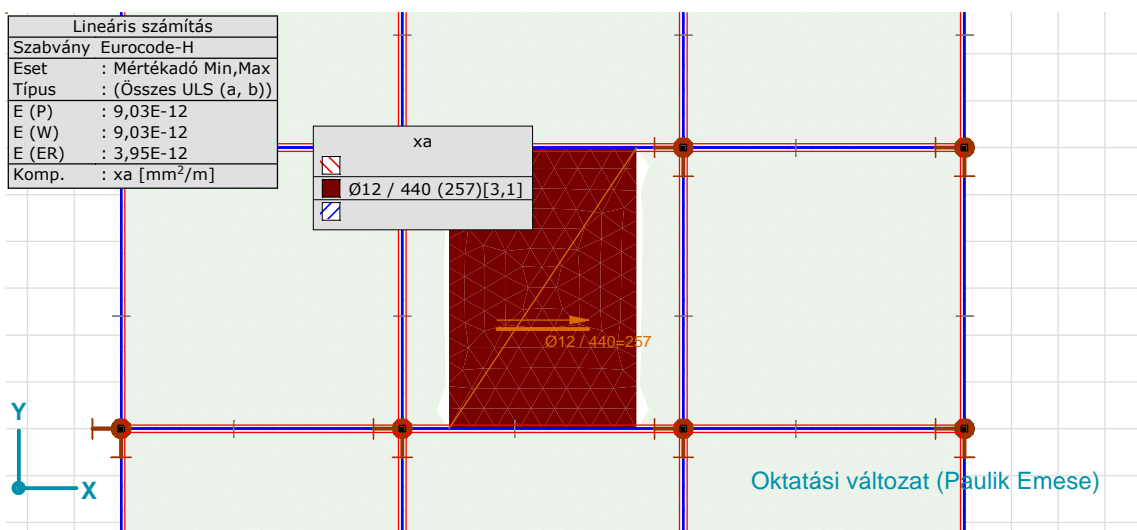
3. oldal



[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, wk(a), Diagram, Felülnézet



[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, wk(f), Diagram, Felülnézet



[RI], lineáris,(Auto) Mértékadó, xa, Szintfelület 2D, Felülnézet

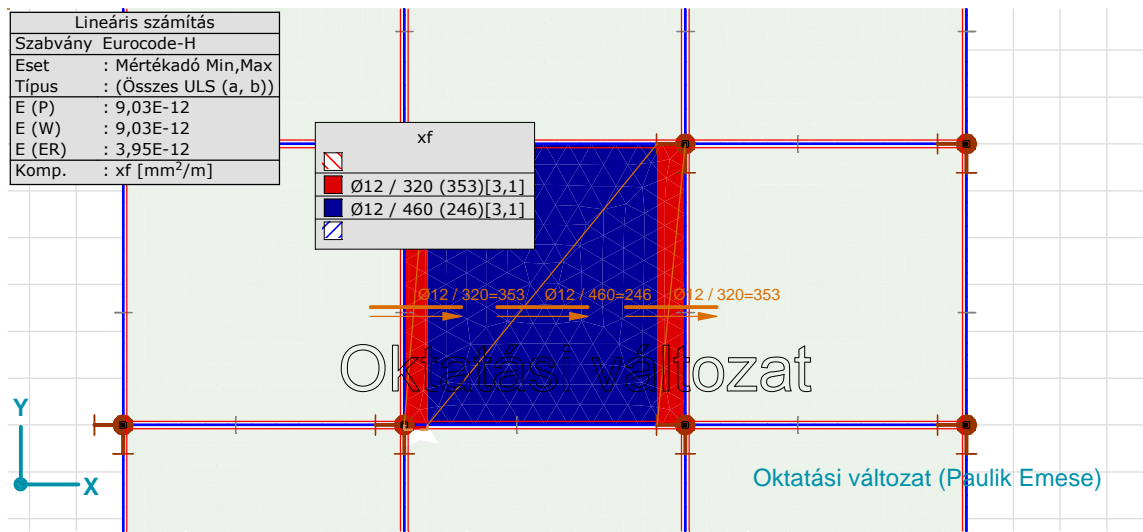
Munka:

Tervező:

Modell: TDK extenzív 12mm.axs

2015.10.31.

4. oldal



[R], lineáris,(Auto) Mértékadó, xf, Szintfelület 2D, Felülnézet

A parkolótető esetében a mértékadó járműterhek

Tehercsoportok (Eurocode-H)

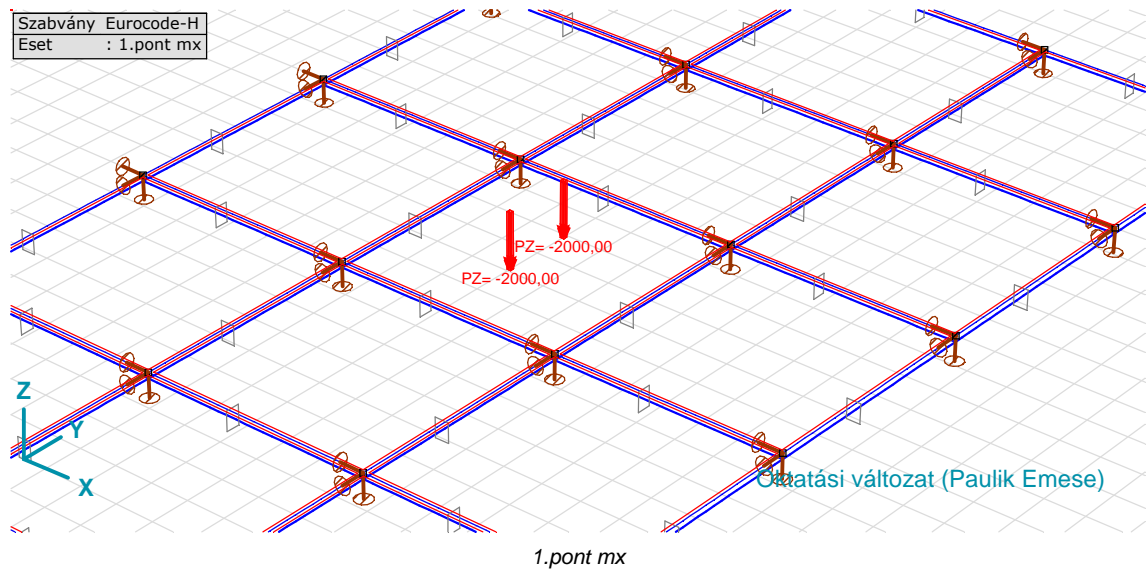
	Csoport	Típus	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,inf}$	ξ	γ	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	Additív
1	állandó	állandó	1,350	1,000	0,850					1
2	esetleges 1	esetleges				1,500	0,700	0,700	0,600	0
3	esetleges 2	esetleges				1,500	0,600	0,500	0	0
4	esetleges 3	esetleges				1,500	0,500	0,200	0	0
5	esetleges 4	esetleges				1,500	0,600	0,500	0	0
6	esetleges 5	esetleges				1,500	1,000	0,900	0	0

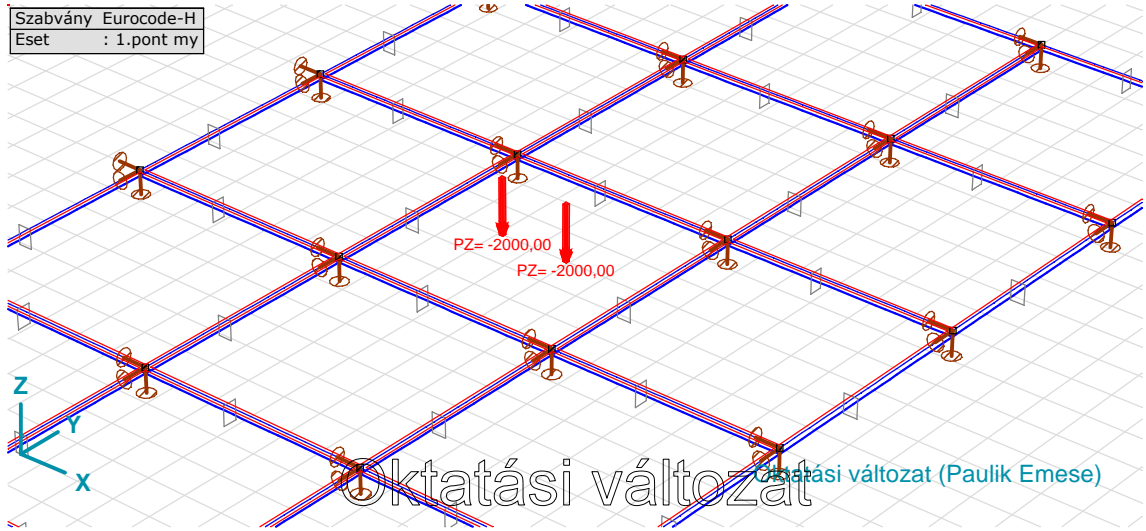
Csoport: Tehercsoport; $\gamma_{G,sup}$: Felső parciális tényező; $\gamma_{G,inf}$, ξ : Alsó parciális tényező; γ : Parciális tényező; Ψ_0 , Ψ_1 , Ψ_2 : Pszi tényező; **Additív:** Egyidejűleg is működő teheresetek;

Teheresetek

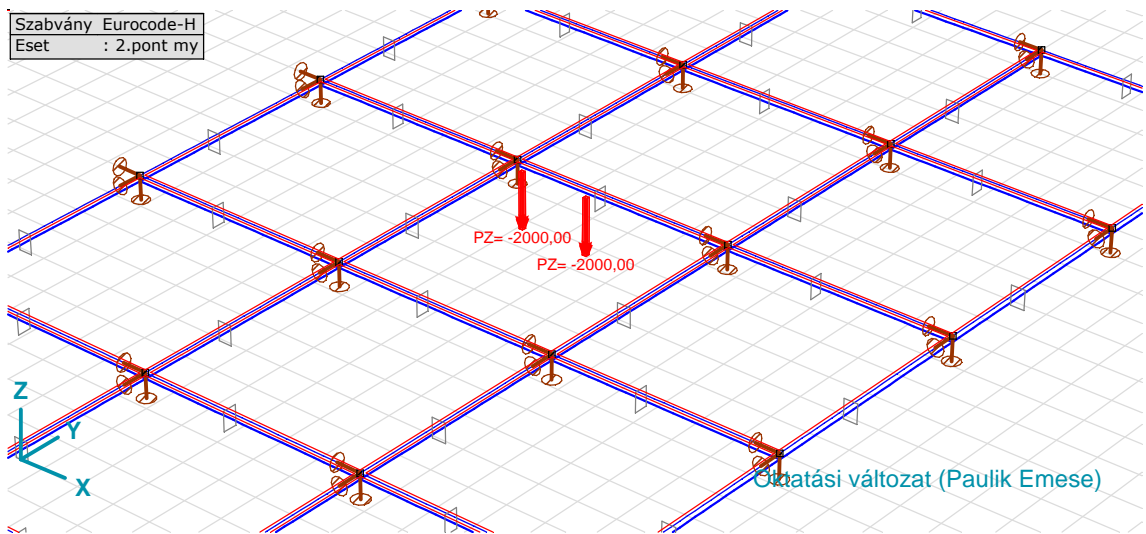
	Név	Csoport	Csoport típusa
1	önsúly	állandó	állandó
2	egyenes rétegrend	állandó	állandó
3	hasznos 1	esetleges 1	esetleges
4	hasznos 2	esetleges 1	esetleges
5	hasznos 3	esetleges 1	esetleges
6	szélnyomás	esetleges 2	esetleges
7	szélszívás	esetleges 2	esetleges
8	hóteher	esetleges 3	esetleges
9	hőmérséklet különbség hatása	esetleges 4	esetleges
10	1.pont mx	esetleges 5	esetleges
11	1.pont my	esetleges 5	esetleges
12	2.pont my	esetleges 5	esetleges
13	3.pont mx	esetleges 5	esetleges

Név: Tehereset neve; **Csoport:** Tehercsoport; **Csoport típusa:** Tehercsoport típusa;

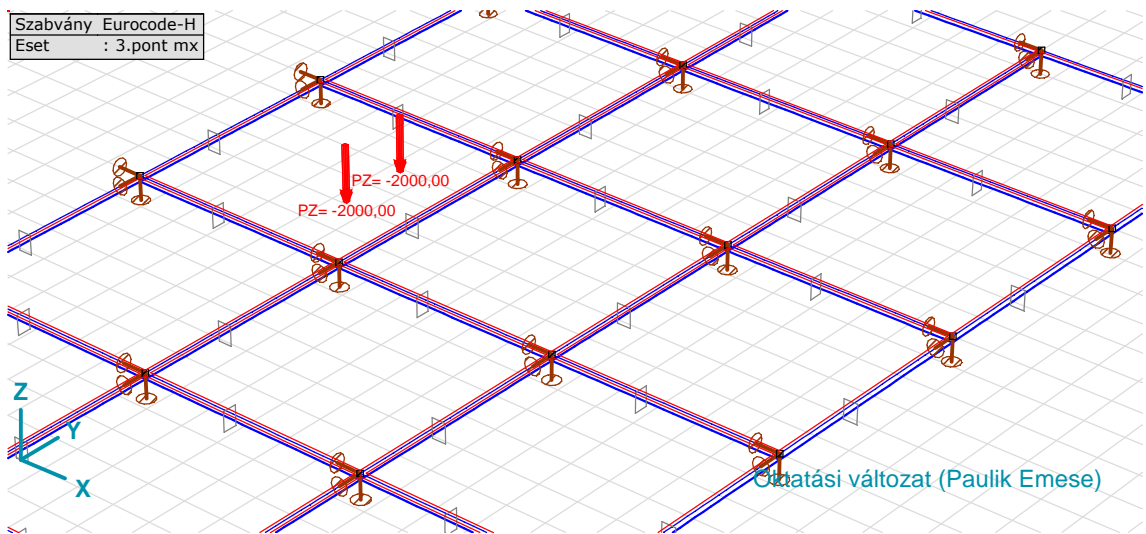




1.pont my



2.pont my



3.pont mx