

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem**

**Építőmérnöki Kar**

**Építőanyagok és Magasépítés szekció**

**Tudományos Diákköri Konferencia  
2015**

**Hagyományos kerámia béléstestek  
födém szerkezetek vége-selemes  
tűzszimulációs vizsgálata**

**Szerző: Kiss Dániel Zoltán (BE70XR)**

**Konzulensek:** Nagy Balázs  
doktorandusz

BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Dr. Tóth Elek DLA

c. egyetemi tanár

BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék



## Előszó

Hazánkban az építőipar államosítása előtt a hazai viszonylatú kivitelező cégek és szerkezettervezők számos födémszerkezetet alakítottak ki és alkalmaztak. Úgy Budapesten, mint vidéken is sokszor fordul elő, hogy az épületek felújítása, korszerűsítése miatt szükségesség válik, a meglévő födémszerkezetek megerősítése, felújítása, javítása. Ezen okból kifolyólag szükséges a mai szakemberek számára egy összefogó szakirodalom, amely tartalmazza e födémekre vonatkozó hatósági előírásokat, szerkesztési szabályokat, méretezési elveket. A Magyar szakirodalomban kis mennyiség forrás áll rendelkezésünkre a régi hagyományos födémek tűzterhelésével kapcsolatban. A jelen kor követelményeinek megfelelően a fennálló szabványok és jogszabályok előírják, hogy a korábbi időszakokban épített épületeknek is meg kell felelni a mai modern követelmények előírásainak.

## Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulenseimnek, Nagy Balázs doktorandusznak és Dr. Tóth Elek DLA c. egyetemi tanárnak a dolgozatom elkészítéséhez szükséges szakmai tanácsaikat és fáradtságos segítségüket.

Továbbá szeretném megköszönni a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszéknek, hogy eszközeiket használhattam a kutatásom során.



## TARTALOM

Ábrajegyzék.....	5
Táblázatjegyzék.....	7
Jelölések jegyzéke .....	8
Absztrakt .....	9
1. Bevezetés.....	11
1.1 Szimuláció.....	11
1.2 Alkalmazott szabványok és jogszabályok.....	13
1.3 Célkitűzések .....	15
2. Alapismeretek, szakirodalom.....	16
2.1 Számítógépes szimuláció, CFD szimuláció .....	16
2.2 Tűzhatás modellezése.....	18
2.3 VEM alapjai.....	20
3. Fűdém szerkezetek.....	22
3.1 Vasgerendás fűdémek.....	23
3.1.1 Balás és Réti fűdém .....	23
3.1.2 Újlaki fűdém .....	24
3.1.3 Gyenes fűdém .....	24
3.1.4 Horcsik fűdém .....	25
3.1.5 Contrason fűdém.....	26
3.2 Sűrűbordás és idomtestes vasbeton fűdémek.....	26
3.2.1 Pfeifer fűdém .....	26
3.2.2 Nova fűdém.....	27
3.3 Gerenda + béléstartes fűdémek.....	28
3.3.1 Bakonytherm H fűdémrendszer .....	28
3.3.2 Porotherm fűdémrendszer .....	29
4. VEM szimuláció .....	30
4.1 Geometria modell, Végelelem Háló.....	31
4.1.1 Balás fűdém, hossz, -keresztmetszet .....	31
4.1.2 Réti fűdém, hossz, -keresztmetszet .....	32
4.1.3 Újlaki fűdém, hossz, -keresztmetszet.....	32
4.1.4 Gyenes fűdém, hossz, -keresztmetszet.....	33
4.1.5 Horcsik fűdém, hossz, -keresztmetszet.....	33
4.1.6 Nova fűdém, hossz, -keresztmetszet.....	34
4.1.7 Contrason fűdém, keresztmetszet .....	34
4.1.8 Pfeifer fűdém, keresztmetszet .....	35
4.1.9 Bakonytherm fűdémrendszer, keresztmetszet.....	35
4.1.10 Wienerberger Porotherm fűdémrendszer, keresztmetszet.....	35



4.2	Anyagjellemzők .....	36
4.2.1	Acél.....	36
4.2.2	Beton .....	37
4.2.3	Fa .....	37
4.2.4	Homok .....	38
4.2.5	Kerámia.....	38
4.3	Áramlás .....	39
4.3.1	Differenciálegyenlet-rendszer .....	40
4.3.2	Peremfeltételek.....	41
4.3.3	Gravitációs térerősség .....	41
4.4	Hőátbocsátás .....	41
4.4.1	Differenciálegyenlet.....	42
4.4.2	Hőtranszport szilárd testekben .....	42
4.4.3	Hőtranszport folyadékokban .....	43
4.4.4	Peremfeltételek.....	43
4.4.5	Felületek diffúz sugárzása.....	45
4.4.6	Peremfeltételek tranziens szimulációban .....	46
4.4.6.1	Tűzgörbe konvekció .....	46
4.4.6.2	Szabad perem .....	47
4.4.6.3	Tűzgörbe előírt sugárzása .....	47
5.	Eredmények.....	48
5.1	Stacioner szimulációk eredményei .....	48
5.1.1	Balás födém .....	48
5.1.2	Réti födém.....	49
5.1.3	Újlaki födém .....	50
5.1.4	Gyenes födém .....	51
5.1.5	Horcsik födém .....	52
5.1.6	Nova födém.....	53
5.1.7	Contrason födém.....	53
5.1.8	Pfeifer födém .....	54
5.1.9	Bakonytherm födémrendszer.....	54
5.1.10	Porotherm födémrendszer .....	55
5.2	Tranziens szimulációk eredményei .....	56
6.	Összefoglalás .....	63
7.	Irodalomjegyzék .....	64



## ÁBRAJEGYZÉK

1. ÁBRA: Modellalkotás folyamata (Paláncz 2007).....	12
2. ÁBRA: Szabványos tűzgörbe (ISO 834 szabvány).....	14
3. ÁBRA: Szabványos ét természetes tűzgörbe összehasonlítása.....	18
4. ÁBRA: VEM tartomány, határfeület, csomópont .....	20
5. ÁBRA: Tipikus végelem alakok és csomópontok elhelyezkedése .....	21
6. ÁBRA: Balás és Réti fűdém hossz, kereszt irányú metszet (Barcsay 1994).....	23
7. ÁBRA: Balás és Réti fűdém téglá (Barcsay 1994).....	23
8. ÁBRA: Újlaki fűdém téglá (Barcsay 1994).....	24
9. ÁBRA: Újlaki fűdém keresztmetszet (Barcsay 1994) .....	24
10. ÁBRA: Gyenes fűdém keresztmetszet (Barcsay 1994) .....	24
11. ÁBRA: Gyenes fűdém hosszmetszet (Barcsay 1994) .....	25
12. ÁBRA: Horcsik fűdém hosszmetszet (Barcsay 1994) .....	25
13. ÁBRA: Horcsik fűdém keresztmetszet (Barcsay 1994) .....	25
14. ÁBRA: Contrason fűdém keresztmetszet (Barcsay 1994) .....	26
15. ÁBRA: Contrason fűdém téglá (Barcsay 1994).....	26
16. ÁBRA: Pfeifer fűdém keresztmetszet (Barcsay 1994).....	26
17. ÁBRA: Pfeifer fűdém téglá (Barcsay 1994) .....	27
18. ÁBRA: Nova fűdém téglá (Barcsay 1994) .....	27
19. ÁBRA: Nova fűdém keresztmetszet.....	28
20. ÁBRA: Bakonytherm fűdémrendszer keresztmetszet (www.bakonytherm-teglá.hu) .....	28
21. ÁBRA: Bakonytherm béléstest (www.bakonytherm-teglá.hu) .....	29
22. ÁBRA: Wienerberger Porotherm béléstest (www.wienerberger.hu).....	29
23. ÁBRA: Wienerberger Phorootherm fűdémrendszer keresztmetszet (www.wienerberger.hu).....	29
24. ábra Comsol Multiphysics.....	30
25. ÁBRA: Balás fűdém Geometria, hosszmetszet .....	31
26. ÁBRA: Balás fűdém Végelemháló, hosszmetszet.....	31
27. ÁBRA: Balás fűdém Geometria, keresztmetszet.....	31
28. ÁBRA: Balás fűdém Végelemháló, keresztmetszet .....	31
29. ÁBRA: Réti fűdém Geometria, hosszmetszet.....	32
30. ÁBRA: Réti fűdém Végelemháló, hosszmetszet .....	32
31. ÁBRA: Réti fűdém Geometria, keresztmetszet .....	32
32. ÁBRA: Réti fűdém Végelemháló, keresztmetszet.....	32
33. ÁBRA: Újlaki fűdém Geometria, hosszmetszet .....	32
34. ÁBRA: Újlaki fűdém Végelemháló, hosszmetszet.....	32
35. ÁBRA: Újlaki fűdém Geometria, keresztmetszet.....	32
36. ÁBRA: Újlaki fűdém Végelemháló, keresztmetszet .....	32
37. ÁBRA: Gyenes fűdém Geometria, hosszmetszet .....	33
38. ÁBRA: Gyenes fűdém Végelemháló, hosszmetszet.....	33
39. ÁBRA: Gyenes fűdém Geometria, keresztmetszet.....	33
40. ÁBRA: Gyenes fűdém Végelemháló, keresztmetszet .....	33
41. ÁBRA: Horcsik fűdém Geometria, hosszmetszet .....	33
42. ÁBRA: Horcsik fűdém Végelemháló, hosszmetszet.....	33
43. ÁBRA: Horcsik fűdém Geometria, keresztmetszet.....	33
44. ÁBRA: Horcsik fűdém Végelemháló, keresztmetszet .....	33
45. ÁBRA: Nova fűdém Geometria, hosszmetszet.....	34
46. ÁBRA: Nova fűdém Végelemháló, hosszmetszet .....	34



47. ÁBRA: Nova födém Geometria, keresztmetszet .....	34
48. ÁBRA: Nova födém Végelelemháló, keresztmetszet.....	34
49. ÁBRA: Contrason födém Geometria, keresztmetszet .....	34
50. ÁBRA: Contrason födém Végelelemháló, keresztmetszet.....	34
51. ÁBRA: Pfeifer födém Geometria, keresztmetszet .....	35
52. ÁBRA: Pfeifer födém Végelelemháló, keresztmetszet .....	35
53. ÁBRA: Bakonytherm födémrendszer Geometria, keresztmetszet.....	35
54. ÁBRA: Bakonytherm födémrendszer Végelelemháló, keresztmetszet .....	35
55. ÁBRA: Porotherm födémrendszer Geometria, keresztmetszet.....	35
56. ÁBRA: Porotherm födémrendszer Végelelemháló, keresztmetszet.....	35
57. ÁBRA: Szénacél hővezetési tényezője a hőmérséklet függvényében [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ].....	36
58. ÁBRA: Szénacél fajlagos hőkapacitása a hőmérséklet függvényében [ $Jkg^{-1}K^{-1}$ ].....	36
59. ÁBRA: Beton hővezetési tényezője a hőmérséklet függvényében [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ] .....	37
60. ÁBRA: Beton fajlagos hőkapacitása a hőmérséklet függvényében [ $Jkg^{-1}K^{-1}$ ] .....	37
61. ÁBRA: Beton testsűrűségének változása a hőmérséklet függvényében [ $kgm^{-3}$ ] .....	37
62. ÁBRA: Fa hővezetési tényezője a hőmérséklet függvényében [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ].....	37
63. ÁBRA: Fa fajlagos hőkapacitása a hőmérséklet függvényében [ $Jkg^{-1}K^{-1}$ ].....	37
64. ÁBRA: Fa testsűrűségének változása a hőmérséklet függvényében [ $kgm^{-3}$ ].....	38
65. ÁBRA: Homok hővezetési tényezője a hőmérséklet függvényében [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ] .....	38
66. ÁBRA: Homok testsűrűségének változása a hőmérséklet függvényében [ $kgm^{-3}$ ].....	38
67. ÁBRA: Kerámia hővezetési tényezője a hőmérséklet függvényében [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ] .....	38
68. ÁBRA: Kerámia fajlagos hőkapacitása a hőmérséklet függvényében [ $Jkg^{-1}K^{-1}$ ] .....	38
69. ÁBRA: Lamináris és turbulens áramlás .....	39
70. ÁBRA: Balás födém hosszmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ] .....	48
71. ÁBRA: Balás födém keresztmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ].....	49
72. ÁBRA: Balás födém keresztmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ] .....	49
73. ÁBRA: Réti födém hosszmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ] .....	49
74. ÁBRA: Réti födém hosszmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ] .....	49
75. ÁBRA: Réti födém keresztmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ].....	49
76. ÁBRA: Réti födém keresztmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ] .....	49
77. ÁBRA: Újlaki födém hosszmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ] .....	50
78. ÁBRA: Újlaki födém hosszmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ] .....	50
79. ÁBRA: Újlaki födém keresztmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ].....	51
80. ÁBRA: Újlaki födém keresztmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ] .....	51
81. ÁBRA: Gyenes födém hosszmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ].....	51
82. ÁBRA: Gyenes födém hosszmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ] .....	51
83. ÁBRA: Gyenes födém keresztmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ].....	51
84. ÁBRA: Gyenes födém keresztmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ] .....	51
85. ÁBRA: Horcsik födém hosszmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ] .....	52
86. ÁBRA: Horcsik födém keresztmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ].....	52
87. ÁBRA: Nova födém hosszmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ].....	53
88. ÁBRA: Nova födém hosszmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ].....	53
89. ÁBRA: Nova födém keresztmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ] .....	53
90. ÁBRA: Contrason födém keresztmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ] .....	53
91. ÁBRA: Contrason födém keresztmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ].....	53
92. ÁBRA: Pfeifer födém keresztmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ].....	54
93. ÁBRA: Pfeifer födém keresztmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ].....	54
94. ÁBRA: Bakonytherm födémrendszer keresztmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ].....	54
95. ÁBRA: Bakonytherm födémrendszer keresztmetset, sebesség tér [ $ms^{-1}$ ] .....	54
96. ÁBRA: Porotherm födémrendszer keresztmetset, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}C$ ].....	55



97. ÁBRA: Porothem födémrendszer keresztmetszet, sebesség tér [ $\text{ms}^{-1}$ ] .....	55
98. ábra: : Balás födém keresztmetszet, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}\text{C}$ ] .....	56
99. ábra: Réti födém keresztmetszet, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}\text{C}$ ] .....	56
100. ábra: Újlaki födém keresztmetszet, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}\text{C}$ ] .....	56
101. ábra: Gyenes födém keresztmetszet, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}\text{C}$ ] .....	56
102. ábra: Horcsik födém keresztmetszet, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}\text{C}$ ] .....	56
103. ábra: Nova födém keresztmetszet, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}\text{C}$ ] .....	56
104. ábra: : Contrason födém keresztmetszet, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}\text{C}$ ] .....	57
105. ábra: Pfeifer födém keresztmetszet, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}\text{C}$ ] .....	57
106. ábra: Bakonytherm födémrendszer keresztmetszet, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}\text{C}$ ] .....	57
107. ábra: Porothem födémrendszer keresztmetszet, hőmérséklet eloszlás [ $^{\circ}\text{C}$ ] .....	57
108. ábra: Balás födém , tranziens szimuláció eredményeinek ábrázolása hőmérséklet-idő diagramon .....	58
109. ábra: Réti födém , tranziens szimuláció eredményeinek ábrázolása hőmérséklet-idő diagramon .....	58
110. ábra: Újlaki födém , tranziens szimuláció eredményeinek ábrázolása hőmérséklet-idő diagramon .....	59
111. ábra: Gyenes födém , tranziens szimuláció eredményeinek ábrázolása hőmérséklet-idő diagramon .....	59
112. ábra: Horcsik födém , tranziens szimuláció eredményeinek ábrázolása hőmérséklet-idő diagramon .....	60
113. ábra: Nova födém , tranziens szimuláció eredményeinek ábrázolása hőmérséklet-idő diagramon .....	60
114. ábra: Contrason födém , tranziens szimuláció eredményeinek ábrázolása hőmérséklet-idő diagramon .....	61
115. ábra: Pfeifer födém , tranziens szimuláció eredményeinek ábrázolása hőmérséklet-idő diagramon .....	61
116. ábra: Bakonytherm födémrendszer , tranziens szimuláció eredményeinek ábrázolása hőmérséklet-idő diagramon .....	62
117. ábra: Porothem födémrendszer , tranziens szimuláció eredményeinek ábrázolása hőmérséklet-idő diagramon .....	62
118. ábra: Átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező U [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ] .....	63

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: Födém típusok végelemháló számaianak mennyisége és az egyenletrendszer megoldásához szükséges szabadságfok száma .....	21
2. táblázat: Balás födém, hosszirányú szimulációkból számított hővezetési tényezők.....	48
3. táblázat: Réti födém, hosszirányú szimulációkból számított hővezetési tényezők .....	50
4. táblázat: Újlaki födém, hosszirányú szimulációkból számított hővezetési tényezők....	50
5. Táblázat: Gyenes födém, hosszirányú szimulációkból számított hővezetési tényezők	51
6. táblázat: Horcsik födém, hosszirányú szimulációkból számított hővezetési tényezők	52
7. Táblázat: Nova födém, hosszirányú szimulációkból számított hővezetési tényezők....	53



## JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

### Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
A	Terület	$m^2$
c	Hangsebesség (331,5)	$ms^{-1}$
$c_p$	Fajlagos hőkapacitás, állandó nyomáson	$Jkg^{-1}K^{-1}$
d	Rétegvastagság	m
F	Térfogat erő	$Nm^{-3}$
l	Hossz	m
Q	Hőmennyiség, hőveszteség	W
R	Hővezetési ellenállás	$m^2KW^{-1}$
$R_{se}$	Külső felületi (hőátadási) ellenállás	$m^2KW^{-1}$
$R_{si}$	Belső felületi (hőátadási) ellenállás	$m^2KW^{-1}$
t	Idő	s
T	Abszolút hőmérséklet	K
$T_{ext}$	Külső hőmérséklet	K
$T_{int}$	Belső hőmérséklet	K
U	Hőátbocsátási tényező	$Wm^{-1}K^{-1}$

### Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
$\epsilon$	Emissziós tényező	1
$\lambda$	Hővezetési tényező	$Wm^{-1}K^{-1}$
$\rho$	Sűrűség	$kgm^{-3}$
$\sigma$	Stefan-Boltzmann állandó ( $5,67 \times 10^{-8}$ )	$Wm^{-2}K^{-4}$





## ABSZTRAKT

### Magyar

A kutatás témája hagyományos kerámia béléstartes fődémszerkezetek hő- és áramlástanai vizsgálata, tűzszimulációs modellezése és összehasonlító elemzése. A TDK tanulmány alapját az elérhető magyar és külföldi szakirodalom felkutatása és feldolgozása képezte, melynek eredményeképpen a kerámia béléstartes fődémszerkezetek és tűzterheléssel foglalkozó szimulációk szakirodalmának bemutatására is kitérek. A kutatás során több típusú fődémszerkezet került modellezésre, amelyek többségében régi hagyományos födémek. A dolgozatban néhány mai korszerű födémet is vizsgáltam, hogy legyen összehasonlíthatósági alapja az építéstechnológia fejlődésének.

Dolgozatomban modelleztem a kiválasztott fődémszerkezeteket számítógépes numerikus hő- és áramlástanai szimulációk alkalmazásával stacioner állapotban. A modellezés során a kombinált hővezetési problémák megoldását két dimenziós, hossz- és keresztirányú kiterjedésben elkészített modelleken végeztem, a vonatkozó szabványok figyelembevételével. A kapott eredményekből meghatároztam a fődémszerkezetekre jellemző egyenértékű hővezetési tényezőket. Az előzőekben elkészített hő- és áramlástanai modellek peremfeltételeinek kiegészítésével vizsgáltam a fődémszerkezetek átmelegedését tűzterhelésre tranziens állapotban. A kapott vizsgálatok eredményei alapján összehasonlítottam az egyes födémrendszereket hőtechnikai, tűzállósági szempontokból. Továbbá a TDK dolgozat a szakirodalomokban található, és a kutatás során kapott eredmények eltéréseinek összehasonlítására is kiterjed.

A kutatás keretében vizsgált, hagyományos fődémszerkezetekre kapott hővezetési tényezők hasznosíthatóak az épületenergetikai számítások során, valamint a tűzállósági vizsgálatok eredményei hozzájárulnak a hagyományos fődémszerkezetek tűzbiztonságát is figyelembe vevő felújítások tervezéséhez.



## Angol

The research topic is traditional ceramic slab structures and these conjugated thermal and CFD modelling investigation, fire simulation modelling and comparative analysis. The basis of the scientific research was exploring and processing of the available Hungarian and foreign specialized literature, as a result, this also presentation of the ceramic slab structures and fire load simulations. The research was modeled different type of slab structures, which are mostly old traditional slabs. I have examined some of today's modern slabs also in my thesis, it to be the basis of comparability in development of building technology.

I modeled in my paper the selected slab structures basis of the following, using a computer numerical thermal and fluid dynamic simulations in stationary state. The combined modelling solution of the problems of thermal conductivity was performed two-dimensional, longitudinal and transverse extent made models, taking into account the relevant standards. I determined the equivalent thermal conductivities from the results of the modelled slab structures. I examined the temperature distribution of the slabs under transient conditions against standard fire loads, the test happened the previously conjugated thermal and CFD modelling complementing their boundary conditions I compared the various slab structures the results of the tests based on in the following aspects, thermal and fire resistance. Additionally includes the research topic a comparison, the differences against of the literature and research results.

The part of my TDK research of thermal conductivity factors can be utilized in building energy calculations by traditional slab structures and the results of fire resistance tests contribute to the traditional slab structures which take into account renovations fire safety planning.



# 1. BEVEZETÉS

## 1.1 SZIMULÁCIÓ

A mai korszerűsödött világban a számítógépes szimulációk alkalmazása fontos szerepet játszik a mindennapi mérnöki gyakorlatban. Lehetőségünk adódik különböző mérnöki feladatok megoldására a szimulációs technikák alkalmazásával. A számítógépes szimulációs programok és ezeket a számításokat elvégző eszközök fejlődése megfelelő támogatást nyújt. A mai modern számítógépek nagy számítási kapacitásra képesek, melyet a többmagos processzorok párhuzamos szálon való futtatása eredményez. A TDK munkám során elvégzett mérnöki számítások számítógépes szimulációra épültek.

Numerikus módszerek és szimulációk, a korábban alkalmazott közelítő módszereknél sokkal pontosabban kiszámíthatóvá teszik a tervezett szerkezet vagy folyamat leendő viselkedését. Számítógéppel segített tervezés (CAD = Computer Aided Design) szoftver használatával a mérnökök pontosabb rajzot és modellt készíthetnek a tervezés során, amely felhasználása biztosítja a szimulációk alapját is. A szimuláció alatt az analízis egy bonyolultabb formáját érthetjük, amely a mérnöki feladatok megoldásánál alapvető szerepet játszik. A szimulációhoz készített modell vagy modellrendszer a legtöbb esetben bonyolult így vizsgálata általában csak számítógéppel lehetséges. A szimulációk alkalmazásának szükségességét az alábbi tényezők indokolhatják:

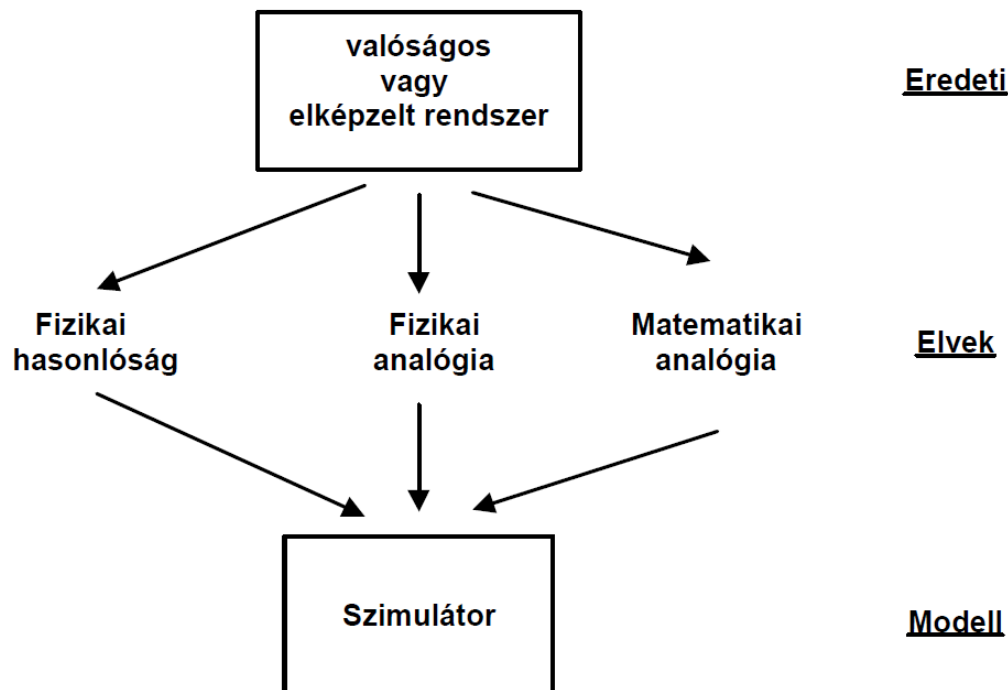
- bizonyos rendszerek, jelenségek biztonságos tanulmányozása (pl. atomreaktorok)
- kísérlethez szükséges anyagi eszközök ára
- változások sebessége
- véletlenszerű lefutás
- túlságosan összetett a valós rendszer
- túl sokszor kell elvégezni
- csak egyetlen példányban létezik

A modell alatt olyan helyettesítő eljárást értünk, amely valamely műszaki, gazdasági, biológia, stb. rendszer viselkedését leíró matematika összefüggéseket ad meg. A modellalkotás során egyszerűsítést alkalmazunk, amivel a valós rendszert csak bizonyos szempontok alapján megfelelően közelíthetjük. A modellt szokás szimulátornak is nevezni, melyet az objektumok és az ezeket leíró törvények alkotnak.



A szimuláció alatt olyan kísérleti eljárást értünk, amellyel az elkészített modell felhasználható a valós rendszer olyan tulajdonságainak következtetéseire is, amelyeket a valóságban nem tudnánk megfigyelni.

Az 1. ábra szemlélteti egy műszaki rendszerrel kapcsolatos modellalkotás folyamatát a szimuláció elvégzéséhez.



1. ÁBRA: MODELLALKOTÁS FOLYAMATA (PALÁNCZ 2007)

Az alkalmazott modelltől és eljárástól függően sokfél szimulációs eljárás létezik. A modelleket tudjuk osztályozni használati cél, modell jelleg, modellezési szempont, eredmény és modellváltozók, illetve idő szerinti lefolyás alapján. A modell lehet az eredeti vizsgált műtárgytól eltérő léptékű, de egyébként azonos jelhordozó közegre felépített kísérleti berendezés (például híd műtárgyak szélteherre való hatásának vizsgálata). A szimuláció megvalósításának típusai a következők lehetnek:

- eseményleíró szimuláció
- folyamatleíró szimuláció
- problémamegoldó szimuláció



## 1.2 ALKALMAZOTT SZABVÁNYOK ÉS JOGSZABÁLYOK

A kutatás során a következő szabványokat és jogszabályokat alkalmaztam a szimulációk elvégzéséhez és az eredmények kiértékeléshez. A magyar szabványokat az 1995. évi XXVIII. törvény szabályozza és a hierarchia tetején a Nemzetközi Szabványügyi szervezet áll.

### Szabványok:

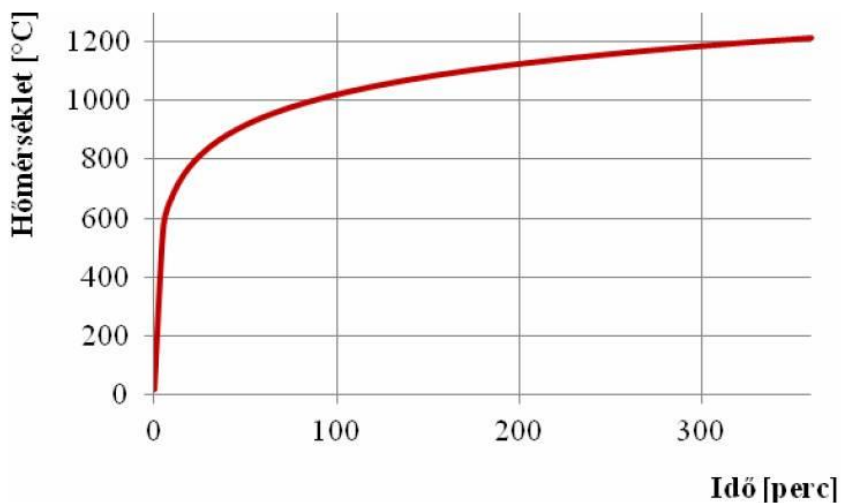
- MSZ EN 1990 „A tartószerkezetek tervezésének alapjai”
- MSZ EN 1991-1-2 Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások  
„Általános hatások. A tűznek kitett szerkezeteket érő hatások”
- MSZ EN 1992-1-2 Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése  
„Általános szabályok. Szerkezetek tervezés tűzhatásra”
- MSZ EN 1993-1-2 Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése  
„Általános szabályok. Szerkezetek tervezés tűzhatásra”
- MSZ EN 1995-1-2 Eurocode 5: Faszzerkezetek tervezése  
„Általános szabályok. Szerkezetek tervezés tűzhatásra”
- MSZ EN 1996-1-2 Eurocode 6: Falazott szerkezetek tervezése  
„Általános szabályok. Szerkezetek tervezés tűzhatásra”
- MSZ EN 1745:2012 "Falazatok és falazati termékek. A hőtechnikai tulajdonságok meghatározásának módszerei"
- MSZ EN ISO 10211 „Hőhidak az épületszerkezetekben, Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások”
- MSZ EN ISO 10456 „Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok. Táblázatos tervezési értékek, eljárások a minősítési és a tervezési hőtechnikai értékek meghatározására”
- MSZ EN ISO 13370 „Épületek hőtechnikai viselkedése. Hőátvitel a talajban. Számítási módszerek”
- MSZ EN ISO 6946 „Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszer”
- ISO 834 „szabványos tűzgörbe” : Nemzetközi megegyezés alapján az adott szabvány szerinti „szabványos hőmérséklet – idő görbe” használatos a teljesen kifejlődött tűz modelljeként. A görbét az alábbi egyenlet írja le:

$$T = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8t + 1) \quad (1)$$



ahol:  $T$  tűzszakaszra érvényes gázhőmérséklet [°C]  
 $t$  a tűz belobbanásától eltelt idő [min]

logszabályok:



: ISO 834 tűzgörbe

**2. ÁBRA: SZABVÁNYOS TŰZGÖRBE (ISO 834 SZBAVÁNY)**

- Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) 5. rész: „54/2014. (XII. 5.) BM rendelet”:
  1. § (1) E rendeletben előírt tűzvédelmi követelményeket be kell tartani:
    - a) a létesítmény, építmény, építményrész tervezése, építése, átalakítása, bővítése, korszerűsítése, helyreállítása, felújítása, használata, a rendeltetés módosítása során.
  4. § (2) E rendelet alkalmazásában be kell tartani:
    148. tűzállósági határérték: a vonatkozó műszaki követelménynek megfelelő tűzállósági vizsgálat kezdésétől számított, a vizsgált építményszerkezet valamely tűzállósági határállapotba kerülésének eléréséig eltelt időórában vagy percben,
    180. tűzvédelmi osztály: az építőanyagok és építményszerkezetek tűzzel szembeni viselkedésére jellemző kategória, amit a vonatkozó műszaki követelmények szerinti vizsgálat alapján állapítanak meg,



### 1.3 CÉLKITŰZÉSEK

A kutatás keretében vizsgált, hagyományos födém szerkezetekre kapott hővezetési tényezők hasznosíthatóak az épületenergetikai számítások során, valamint a tűzállósági vizsgálatok eredményei hozzájárulnak a hagyományos födém szerkezetek tűzbiztonságát is figyelembe vevő felújítások tervezéséhez. Magyarországon kevés adat áll rendelkezésre a födémek tűzálló képességére vonatkozóan. Amikor a 19-20. században, a dolgozatomban is vizsgált födémek épültek, még nem volt lehetőség olyan pontos vizsgálatokra, szimulációkra mint manapság, éppen ezért is volt jellemző az épületek túlméretezése. Mivel a mai korszerű számítástechnikai lehetővé teszi, hogy már személyi számítógépeken is tudunk futtatni áramlástanal kapcsolatos szimulációkat, így ezt tűztem ki célul, hogy néhány ismertebb hagyományos födém típust fogok vizsgálni tűzterhelésre. A dolgozatomban nem a szerkezetek állékonyság vizsgálatát tűztem ki, célul hanem a födémek termikus tulajdonságainak meghatározását. Mivel valós élethű modellel költséges lenne a vizsgálatokat elvégezni (Magyarországon az ÉMI csinál ilyen vizsgálatokat) ezért a CFD szimulációt választottam a feladat elvégzésére. A CFD modellezéshez rendelkezésre állnak a szabványok által megadott termikus anyagtulajdonságok, amelyek szükségesek a modell egészítéséhez. A szimulációk eredményeként kapott értékek segítséget nyújthatnak a szakemberek munkájában.



## 2. ALAPISMERETEK, SZAKIRODALOM

### 2.1 SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓ, CFD SZIMULÁCIÓ

Az információs technológiai eszközök fejlődése révén a számítógép processzorok egyre nagyobb számítási kapacitás elvégzésére képesek (magyarországi viszonylatban 230 teraflop/secundum) egyre olcsóbban és ez teszi lehetővé, hogy matematikai modelleket leíró egyenleteket, egyenletrendszereket számítógépes szimulációval oldjunk meg. A számítógépes szimuláció a világot leíró jelenségek számítógépen való, valósághű ábrázolása.

A dolgozatomban is tárgyalt és alkalmazott numerikus áramlástan (CFD – Computational Fluid Dynamics) az információs technológiával együtt fejlődött, fejlődik. Ezáltal és a gyors számítógépek hétköznapi felhasználása által lehetővé vált, hogy asztali számítógépeken is tudunk CFD szimulációkat futtatni. Problémamegoldására használjuk a CFD szimulációt. Előkészítjük a bemenő adatokat (előfeldolgozás), ez alatt azt értjük, hogy felállítjuk a problémát leíró egyenleteket, egyenlet-rendszereket aztán meghatározzuk az áramlási paramétereket és anyatulajdonságokat és hálót generálunk. Az eredmények elemzéseként (utófeldolgozás) ábrázoljuk az adatokat és megbecsüljük a pontosságukat. A CFD több tudományt, szakterületet magába foglaló téma:

- numerikus analízis
- áramlástan
- informatikai tudományok

A legtöbb szimulációs szoftverben három részre tudjuk bontani a problémamegoldás menetét, melyek a következők:

- a) Modellalkotás: Az egyes jelenségek leírása alkalmas előredefiniált matematikai összefüggések megadásából vagy a felhasználó által definiált összefüggésekből épül fel. A geometria modell elkészítése meg kell, hogy előzze a matematikai modellalkotást. A modellalkotás folyamata során szükséges megadni a modellegyenletekben, modell egyenlet-rendszerekben szereplő paramétereket és a megoldáshoz szükség van a peremfeltételek megadására is.





- b) Modell megoldás: A matematikai és geometria modellek elkészítése után a szimuláció lefutásához véges számú elemre (végelelemháló) kell felosztani a geometriát, azaz diszkretizálást kell végezni. Vizsgálat során a megoldás megbízhatóságának fokozására, a vizsgált geometria kritikus pontjain javasolt kisebb részekre felbontani a végelelemhálót, azaz hálósűrítést végezni. Ezután definiálnunk kell, hogy milyen szimulációt vizsgálatokat kívánunk elvégezni.
- c) Kiértékelés: Minden szimulációs szoftverben nagy hangsúlyt fektetnek az eredmények produktív kiértékelésére. Különböző ábrákat készíthetünk 2 és 3 dimenzióban a geometria modellből származtatva, ezen kívül lehetséges animáció készítése is, ami a szemléletesebb megjelenítést segíti. Táblázatosan megjelenített eredmények exportálása lehetséges a további feldolgozás és eredményközlés esetére.

CFD szoftverek (a teljesség igénye nélkül):

- Ansys FLUENT
- Ansys CFX
- Autodesk Simulation CFD
- Solidworks Simulation
- Comsol Multiphysics
- OpenFOAM
- Symscape

Az előzőekben felsorolt szoftverek közül a TDK dolgozatban elvégzett szimulációkhoz Comsol Multiphysics 5.0 szoftvert alkalmaztam, melyben a kapcsolt hő- és áramlástan modellezés a multiphysics modul segítségével zavartalanul megvalósítható.

## 2.2 TŰZHATÁS MODELLEZÉSE

A tűz ISO szerinti definíciójának a meghatározása:

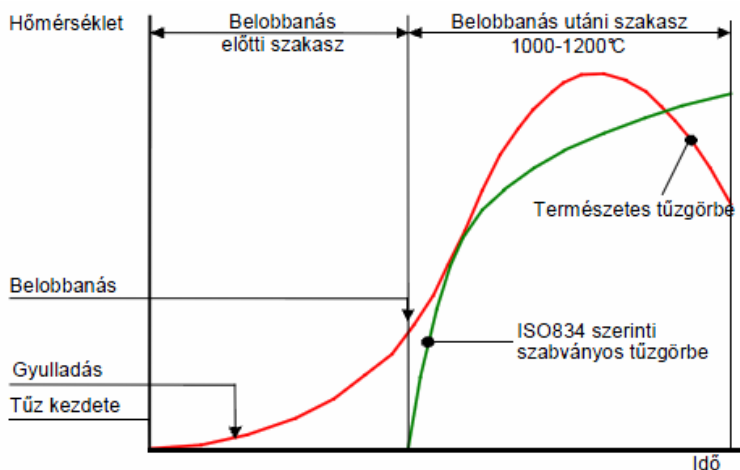
1. égési folyamat, amelyet füst és/vagy láng által kísért hő kibocsátás jellemez és
2. gyors égés, amely időben és térben szabályozatlanul terjed

A tűzre jellemzőek a pozitív visszacsatolások, emiatt képes éghető gázokat létrehozni szilárd anyagokból vagy folyadékokból és képes magát ellátni a szükséges levegővel.

A tűz kialakulásához három összetevő szükséges:

- éghető anyag
- oxidáló közeg
- gyulladási hőmérséklet

A tűzhatás modellezését két nap csoportra oszthatjuk az EN 1991-1-2 szabvány szerint, a névleges hőmérséklet-idő görbékre és a természetes tűzmodellekre. A tranziens szimulációkban felhasznált „szabványos hőmérséklet-idő görbe” a névleges hőmérséklet-idő görbék csoportjába tartozik. A (1) képlet szerinti ISO 834 tűzgörbe nem veszi figyelembe a belobbanás előtti szakaszt, azt követően a logaritmus függvény szigorúan



növekvő, így nincs lehülési szakasz. A görbe adott időtartamához tartozó hőmérséklet értékek nem függenek a helyiség nagyságától vagy szellőzőttségétől, azoktól független.

3. ÁBRA: SZABVÁNYOS ÉT TERMÉSZETES TŰZGÖRBE ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Az építményszerkezetek tűzvédelmi osztályára és tűzállósági teljesítményére vonatkozó követelményeket az OTSZ 5. rész: „54/2014. (XII. 5.) BM rendelethez” 2. melléklet 1. táblázat tartalmazza, mely az alábbi legmagasabb követelményeket adja meg födémekre:



Teherhordó építményszerkezetek

Pinceszint feletti födém	A1	REI 90
Emeletközi és padlásfödém	A1	REI 90

Tűzgátló alapszerkezet

Tűzgátló födém	A1	REI 120
----------------	----	---------

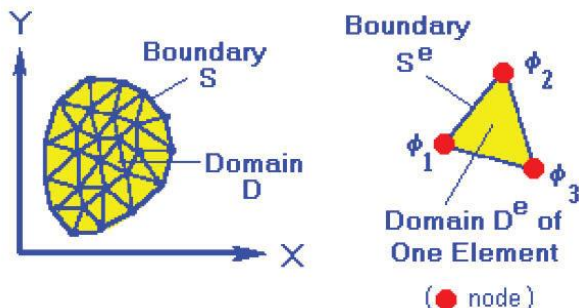
ahol:	R	teherhordó képesség	
	E	integritás	
	I	szigetelés	
	$T_H$	tűzállósági határérték	[min]

Az egyes jellemzőkre külön-külön tűzállósági határértéket is megadhatunk percben kifejezve. A teherhordó szerkezeteknél általában csak az R kritériumot szokták előírni, vázkitöltő elemek esetén az E, I kritériumot.



## 2.3 VEM ALAPJAI

Egy lehetséges definíció szerint a végeleemes-módszer a testben kialakuló elmozdulás mezőt kicsiny altartományok felett oly módon közelíti, hogy a véges elemek között az permanens és az ismeretlen paramétereknek véges számú ponthoz rendelt



elmozdulások feleltethetőek meg. Ezeknek a csomópontoknak az elmozdulását a potenciális energia minimumából határozzuk meg, algebrai egyenletrendszer megoldásának segítségével.

4. ÁBRA: VEM TARTOMÁNY, HATÁRFEÜLET, CSOMÓPONT

A végelelem-módszernél is használt kifejezés a DOF (degrees of freedom) magyarul szabadsági fok, a szerkezet mechanikájából származik. Amennyiben a szabadsági fokok száma véges, a rendszert diszkrétnek nevezzük, ellenkező esetben folytonosnak. A VEM eljárásnál szükséges feltétel, hogy a szabadsági fokok száma véges legyen. A szabadsági fokokat leíró adatokat tartalmazó oszlopvektor jele:  $\bar{u}$ , amit szabadsági fok vektornak vagy állapotvektornak neveznek. Matematikai kapcsolat a merevségi egyenlettel írható le:

$$\underline{K} \cdot \bar{u} = \bar{f} \quad (2)$$

ahol:

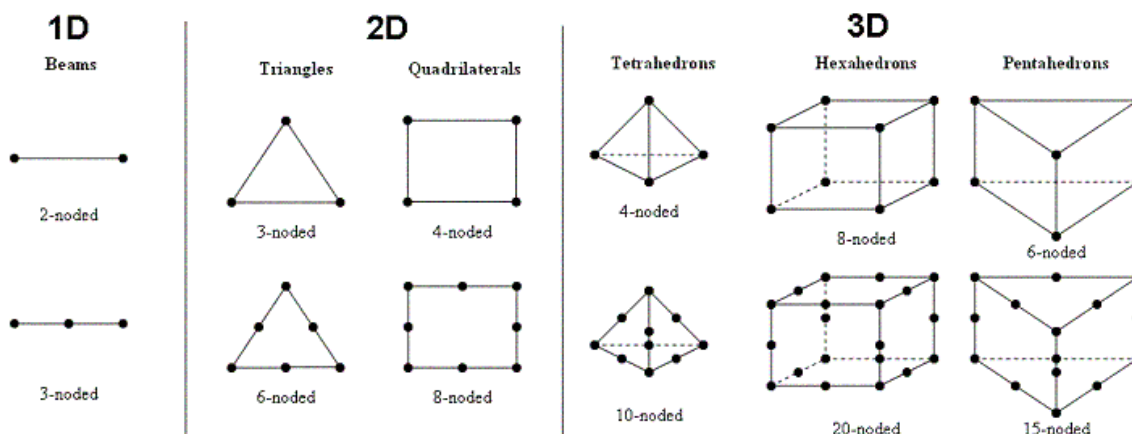
$K$	Merevségi mátrix
$\bar{u}$	Szabadsági fok (vektor)
$\bar{f}$	Erő (vektor)

Az  $\bar{u}$  és  $\bar{f}$  vektorok fizikai jelentése attól függ, hogy milyen feladatot oldunk meg. A dolgozat keretében végrehajtott szimulációknál, ha az alkalmazási terület:

- Hővezetés, akkor  $\bar{u}$  vektor fizikai jelentése hőmérséklet,  $\bar{f}$  vektor pedig hőáram sűrűség
- Általános áramlások, akkor  $\bar{u}$  vektor fizikai jelentése sebesség,  $\bar{f}$  vektor pedig áramsűrűség



A 5. ábra bemutatja a tipikus végeelem alakok és csomópontok lehetséges elhelyezkedését különböző dimenziókban.



5. ÁBRA: TÍPIKUS VÉGESELEM ALAKOK ÉS CSOMÓPONTOK ELHELYEZKEDÉSE

Az 1. táblázat tartalmazza a vizsgált fődémtípusok, hossz és keresztirányú stacioner szimulációja során a végeelemháló felbontását és a megoldásokhoz tartozó szabadsági fokok számát.

Födém típus	Metszet	Végelem tartományok elemek száma	Végelem határfelület elemek száma	Szabadság-fokok száma	Belső szabadságfokok száma
<b>Balás</b>	<i>hossz</i>	21403	1961	27069	6133
<b>Balás</b>	<i>kereszt</i>	13738	1103	13999	2170
<b>Réti</b>	<i>hossz</i>	11993	918	13082	1885
<b>Réti</b>	<i>kereszt</i>	13795	1096	15038	2185
<b>Újlaki</b>	<i>hossz</i>	14217	2044	25470	5382
<b>Újlaki</b>	<i>kereszt</i>	7032	819	6500	1732
<b>Gyenes</b>	<i>hossz</i>	4971	570	16708	2183
<b>Gyenes</b>	<i>kereszt</i>	16099	1249	15025	2547
<b>Nova</b>	<i>hossz</i>	13328	1301	16822	3240
<b>Nova</b>	<i>kereszt</i>	2709	443	1422	845
<b>Horcsik</b>	<i>hossz</i>	3247	640	1756	1191
<b>Horcsik</b>	<i>kereszt</i>	1992	420	1073	776
<b>Bakonytherm</b>	<i>kereszt</i>	34789	2250	53331	4651
<b>Contrason</b>	<i>kereszt</i>	13124	1307	17504	2708
<b>Pfeifer</b>	<i>kereszt</i>	10169	893	14829	1791
<b>Porotherm</b>	<i>kereszt</i>	19626	1718	24684	3963

1. TÁBLÁZAT: FÖDÉMTÍPUSOK VÉGESELEMHÁLÓ SZÁMAIANAK MENNYISÉGE ÉS AZ EGYENLETRENDSZER MEGOLDÁSÁHOZ SZÜKSÉGES SZABADSÁGFOK SZÁMA



### 3. FÖDÉMSZERKEZETEK

A födéme az épületek és építmények függőleges teherhordó szerkezeteire támaszkodó, vízszintes térelválasztó, teherhordó szerkezetei. A saját súlyukon kívül, viselniük kell a használatból eredő terheket, amelyek lehetnek állandó vagy időszakos jellegűek. Mindezek mellett az alábbi épületszerkezeti követelményeknek is meg kell felelniük:

- épületszerkezeti követelmények
- tartószerkezeti követelmények
- tűzvédelmi követelmények
- hőtechnikai, energetikai követelmények
- akusztikai követelmények
- technológiai követelmények
- esztétikai követelmények

Tűzvédelmi követelményeket az aktuálisan hatályos „Országos Tűzvédelmi Szabályzat” határozza meg egyes épületekre, tűzveszélyességi osztályba sorolással. A tűzveszélyességi osztályok jelölik ki az épületek tűzveszélyességi fokozatát, esetenként az épület rendeltetése és szintszáma ezt szigoríthatja. A fokozatok meghatározzák az épületszerkezetek éghetőségének és tűzállósági határértékének követelményeit. A vízszintes teherhordó szerkezeteknek az „54/2014. (XII. 5.) BM rendelet” szabályzatban rögzített éghetőségi és tűzállósági határérték követelményeinek kell megfelelnie.

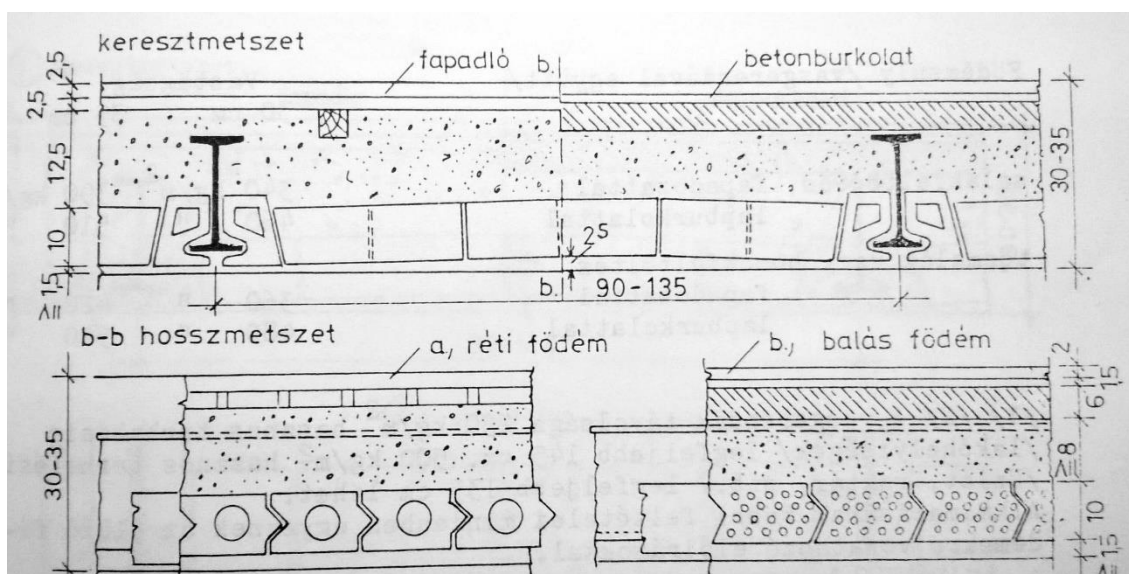
A teherhordó szerkezet alakja szerint megkülönböztetünk síkfödémeket és boltozatot, e két típus ötvözéseként alakult ki a poroszsüveg födém. A poroszsüveg födéme 1850 körül jelentek meg, amelyek hajlított acél gerendákkal támaszkodtak a falakra, közük pedig jellemzően kerámia anyagú boltozattal hidalták át. Jelen dolgozatban 3 különböző típusú födémrendszert vizsgáltam, amelyek a következők:

- vasgerendás födéme
- sűrűbordás és idomtestes vasbeton födéme
- gerenda + béléstartes födéme

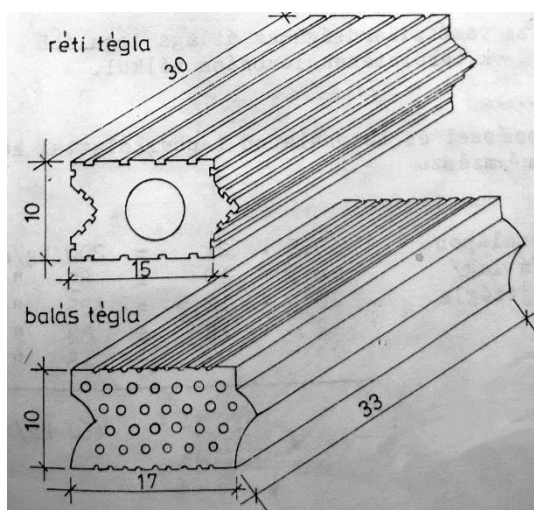
### 3.1 VASGERENDÁS FÖDÉMEK

A vasgerendás födémek vastagsága 30 cm-nél kevesebb nem lehet és legalább 11 cm-rel magasabbnak kell lennie a vasgerenda magasságánál. A vasgerendákat rozsdavédő bevonattal ellátva szabad csak elhelyezni, azonban betonnal burkolt vasgerendákat rozsdavédő mázzal bevonni nem szabad. A vasgerendák között elhelyezett kerámia téglatestek húzószilárdsága nem számottevő, ezáltal a terheket csak úgy tudják felvenni, hogy csak nyomófeszültség alakulhat ki az anyagban, ezt hívjuk boltozatnak.

#### 3.1.1 BALÁS ÉS RÉTI FÖDÉM



6. ÁBRA: BALÁS ÉS RÉTI FÖDÉM HOSSZ, KERESZT IRÁNYÚ METSZET (BARCSAY 1994)



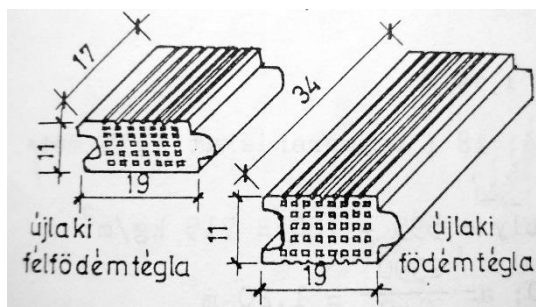
7. ÁBRA: BALÁS ÉS RÉTI FÖDÉMTÉGLA (BARCSAY 1994)

Ezen két födém szerkezetileg megegyezik, csak az üregfelület nagyságában van eltérés. A balás téglánál 11 % az üregfelület a teljes téglák keresztmetszetre viszonyítva, míg a réti téglánál 17 %.

A födém téglák nyomószilárdságának átlaga (12 db) mindkét típusnál legalább 30 N/mm<sup>2</sup> kell, hogy legyen. A balás födém súlya (vasgerendával együtt) homokfeltöltéssel, lapburkolattal 485-545 kg/m<sup>2</sup>. A réti födém súlya (vasgerendával együtt)

homokfeltöltéssel, fapadozattal 385-445 kg/m<sup>2</sup>. A vasgerendák távolsága 135 cm-nél több nem lehet. A boltozat ívmagassága legalább 2,5 cm.

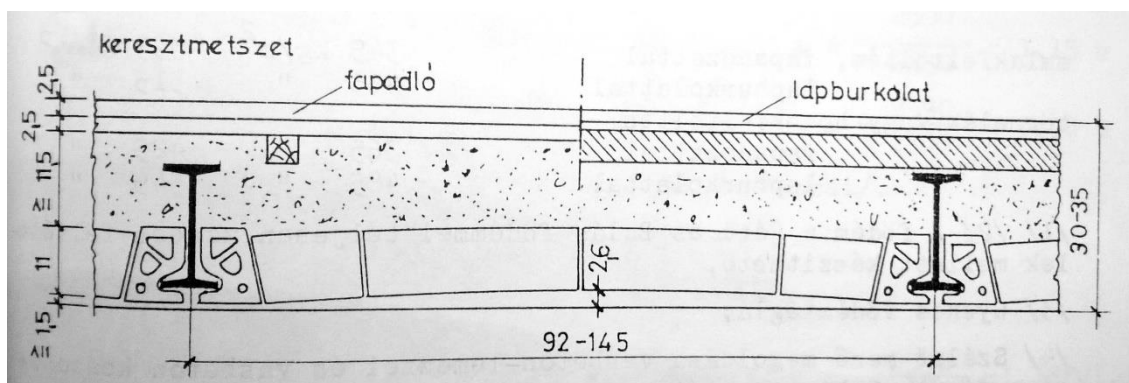
### 3.1.2 ÚJLAKI FÖDÉM



8. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉMTÉGLA (BARCSAY 1994)

Az újlaki téglánál 23 % az üregfelület a teljes téglák keresztmetszetére viszonyítva. A vasgerendák távolsága lakóhelyiségek esetén maximum 145 cm, üzletek/raktárak esetén maximum 135 cm lehet.

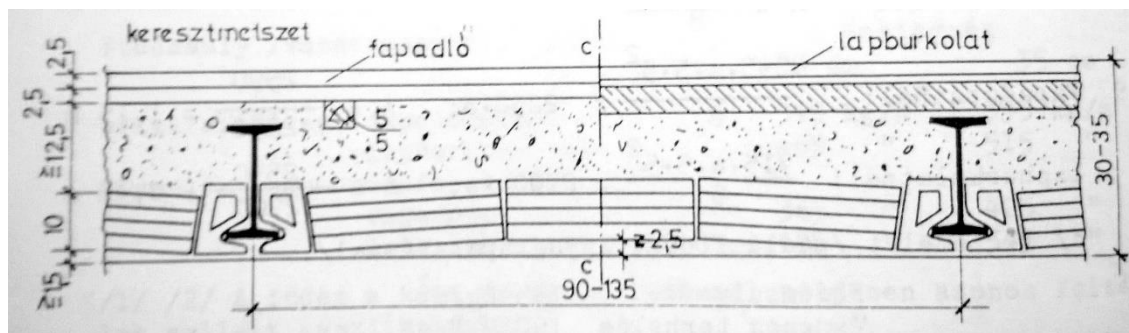
A födém téglák nyomószilárdságának átlaga legalább 25 N/mm<sup>2</sup> kell, hogy legyen az üregek területének levonása nélkül. Az újlaki födém súlya (vasgerendával együtt) homokfeltöltéssel, lapburkolattal 480-540 kg/m<sup>2</sup>.



9. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM KERESZTMETSZET (BARCSAY 1994)

### 3.1.3 GYENES FÖDÉM

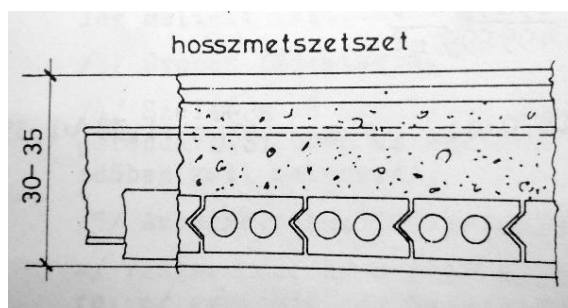
A gyenes födém téglánál 17 % az üregfelület a teljes téglák keresztmetszetére viszonyítva



10. ÁBRA: GYENES FÖDÉM KERESZTMETSZET (BARCSAY 1994)

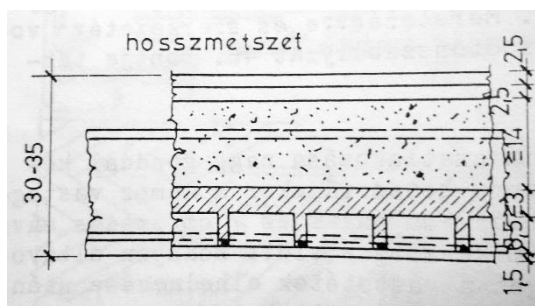


. A vasgerendák távolsága a réti és balás födémeikkel megegyezően 90 és 135 cm közötti. A gyenes födém súlya (vasgerendával együtt) homokfeltöltéssel, fapadozattal 365-425 kg/m<sup>2</sup>.



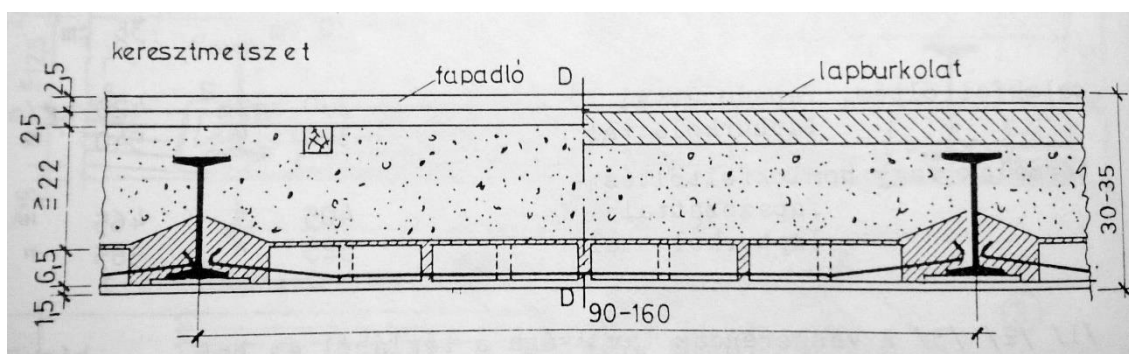
11. ÁBRA: GYENES FÖDÉM HOSSZMETSZET (BARCSAY 1994)

### 3.1.4 HORCSIK FÖDÉM



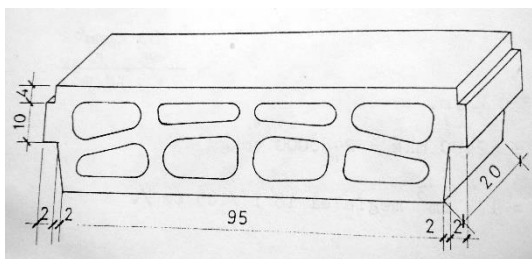
12. ÁBRA: HORCSIK FÖDÉM HOSSZMETSZET (BARCSAY 1994)

Ez a födém típus megjelenése után hamar kiszorította a boltozatos téglafödémeket. A betonból és téglából készült födémlemez teherbírása függ a vasgerendák távolságától, ami általában 160 cm-nél nem lehet több. A födém alul teljesen síkfelületet képez, az egyes téglasorok fél téglával eltolva kötésben készülnek. A födémlemez vasalását a gerendákra merőleges irányba a 2,5 cm-es téglaközökbe helyezik, a gerendával párhuzamos téglaközök pedig 2 cm szélesek. A közök beton kitöltésére a vasbetétek elhelyezése után kerülhet sor, minimum 270 kg/m<sup>3</sup> portlandcement tartalmú betonnal. A téglák fölé rábetonozás készül, amely csak akkor számítható a födémlemez szerkezeti magasságához, ha vastagság 3-5 cm között van. A födém súlya (vasgerendával együtt) homokfeltöltéssel, lapburkolattal 525-585 kg/m<sup>2</sup>.



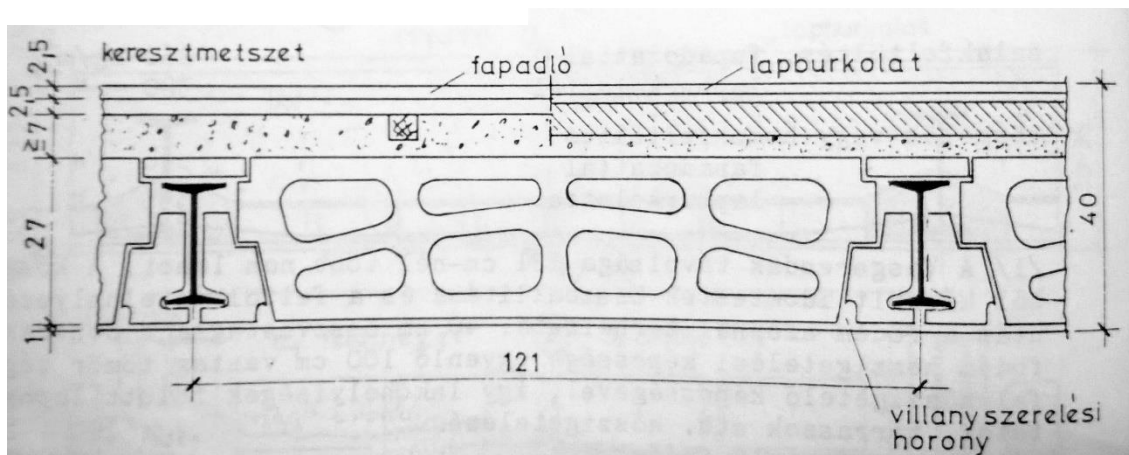
13. ÁBRA: HORCSIK FÖDÉM KERESZTMETSZET (BARCSAY 1994)

### 3.1.5 CONTRASON FÖDÉM



15. ÁBRA: CONTRASON FÖDÉMTÉGLA (BARCSAY 1994)

A vasgerendák távolsága legfeljebb 121 cm lehet. Az idomtestek elhelyezése és a hátfeltöltés elkészítése után a földém azonnal terhelhető. A földém súlya (vasgerendával együtt) homokfeltöltéssel, fapadozattal 275 kg/m<sup>2</sup>.

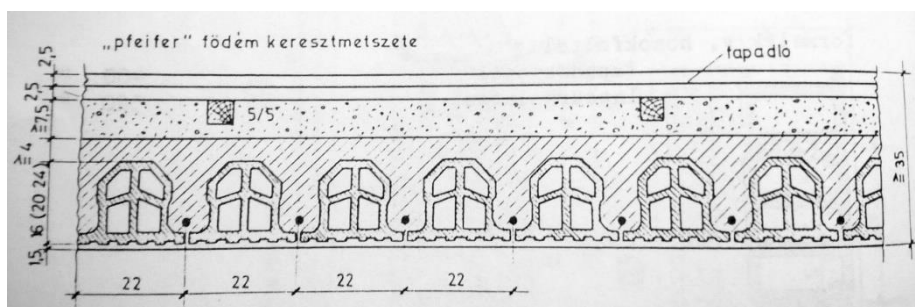


14. ÁBRA: CONTRASON FÖDÉM KERESZTMETSZET (BARCSAY 1994)

## 3.2 SŰRŰBORDÁS ÉS IDOMTESTES VASBETON FÖDÉMEK

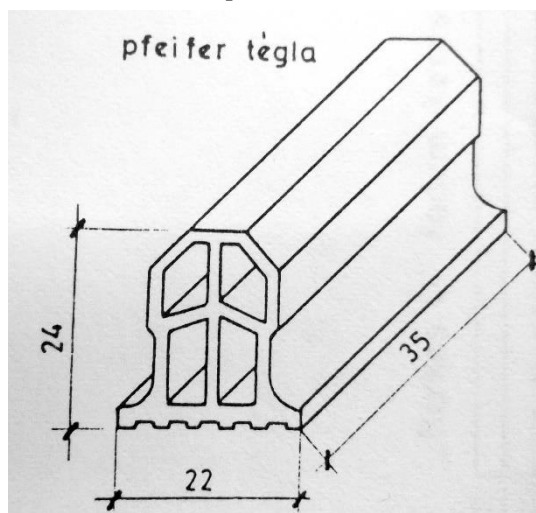
A lent megnevezett földémek szerkezeti kialakításuk alapján egy irányban teherhordó, alul felül sík szerkezetek. Működésük a nagyszilárdságú idomtestek, beton és betonacél együttműködésén alapszik. Előnyük a síklemezekhez képest a kisebb önsúlyuk és a kedvezőbb erőjátékuk, viszont nagyon szerkezeti magassággal jellemezhetőek. Fel beton nélkül készíthetőek, tűzállóságuk jónak mondható. A negatív nyomatékok felvételére a támaszoknál az oldalüreg kitörésével megnövelt beton keresztmetszetet alkalmaznak.

### 3.2.1 PFEIFER FÖDÉM



16. ÁBRA: PFEIFER FÖDÉM KERESZTMETSZET (BARCSAY 1994)

Ez a födém típus betételemmel könnyített vasbeton födém, hosszú kerámia

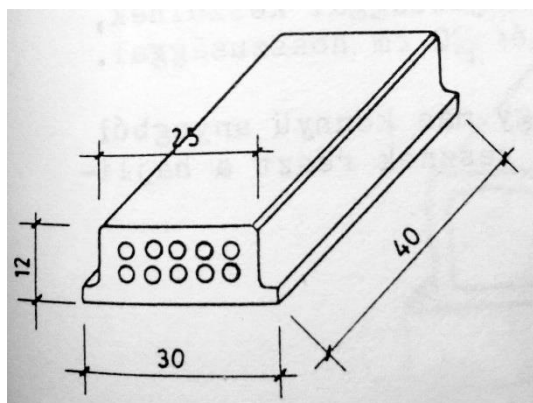


17. ÁBRA: PFEIFER FÖDÉMTÉGLA (BARCSAY 1994)

betételekkel. A 22 cm széles béléstestek háromféle típusban, 16, 20 és 24 cm magassággal készülnek és alkalmazásuk a födém szerkezeti magasságának követelményétől függ. A dolgozatban a szimulációk során 24 cm magas béléstestet alkalmaztam. A béléstesteket nem szabad a lemez nyomott övébe beleszámítani, a béléstest felső síkja feletti betonfedés minimum 4 cm kell, hogy legyen. A födém téglá rovátkolt oldalfelülete segíti a betontapadást, lesarkítása elősegíti a nyomófeszültségek átadását. A

pfeifer födém súlya homokfeltöltéssel, fapadozattal 445 kg/m<sup>2</sup>.

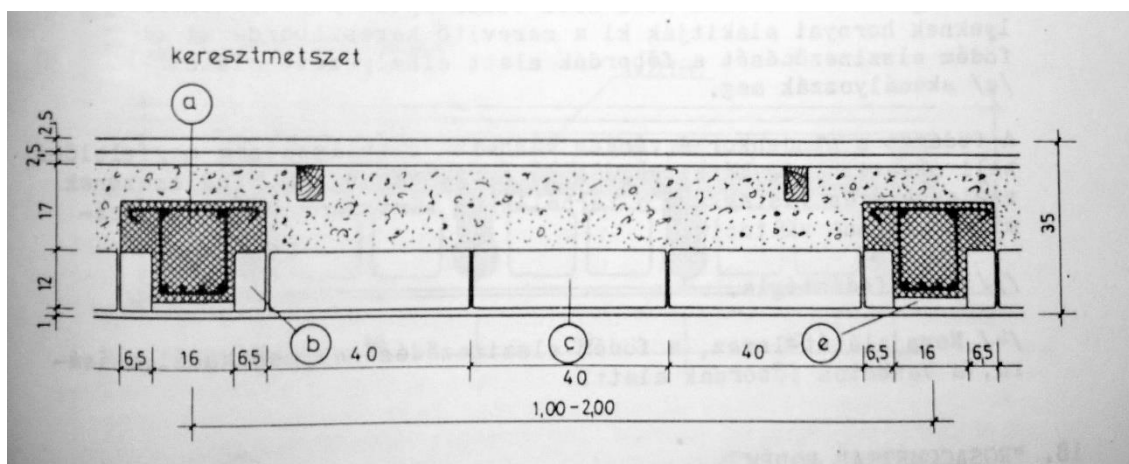
### 3.2.2 NOVA FÖDÉM



18. ÁBRA: NOVA FÖDÉMTÉGLA (BARCSAY 1994)

A vasbeton főbordák kiosztása 100-200 cm között vehető fel. A főbordák oldalának kizsaluzását hagyományos kisméretű téglákkal oldják meg. A főbordákra merőlegesen kerülnek elhelyezésre a nova födém téglák, melyeknek a hornyai betonnal kiöntve alakítják ki a merevítésért felelős keresztbordákat. Nova alátét-lemezt alkalmaznak a vasbeton főbordák alatt a födém

elszíneződésének elkerülésére. Az nova födém téglánál 21 % az üregfelület a teljes téglá keresztmetszetére viszonyítva. A nova födém súlya homokfeltöltéssel, fapadozattal 530 kg/m<sup>2</sup>.

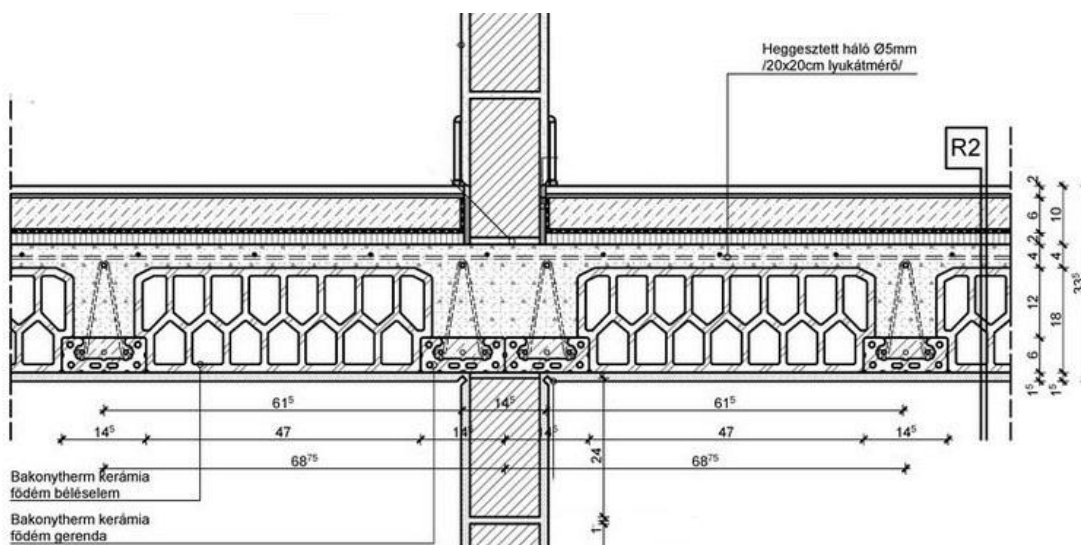


19. ÁBRA: NOVA FÖDÉM KERESZTMETSZET

### 3.3 GERENDA + BÉLÉSTESTES FÖDÉMEK

Ezen födémeket részlegesen előre gyártottnak nevezzük, mivel az előregyártás technológiai és a monolitikus építés statikai előnyeit egyesítik. A vázkerámias födémelek előre gyártott, kerámia burkolatú vasbeton gerendái közé vékonyfalú, üreges kerámia béléstartes kerülnek. A túlemelt alátámasztásokon, szárazon összerakott födém elemei helyszíni kibetonozással nyerik el a végleges formájukat, így biztosítva az anyagok együttdolgozását. A födémrendszerek szigorúan csak fel betonnal együtt építhetők meg, amelyek minden esetben együtt betonozandóak egymással és a monolit vasbeton koszorúval.

#### 3.3.1 BAKONYTHERM H FÖDÉMRENDSZER



20. ÁBRA: BAKONYTHERM FÖDÉMRENDSZER KERESZTMETSZET (WWW.BAKONYTHERM-TEGLA.HU)

A födém szerkezet terheit a födémgerendák hordják, ezek képezik a hajlított vasbeton szerkezet alsó húzott övét. A felső nyomott övet a helyszíni hálós vasalással elkészített fel beton képzik, a nyírási vasalást pedig a FERT gyártmányú „E” típusú térbeli betonacél-merevítő rácsbordák biztosítják. A födém megnevezésében található H betű a helyszíni hosszirányú pótvasak elhelyezésére utal. A födémgerendák megengedett



**21. ÁBRA: BAKONYTHERM BÉLÉSTEST**  
(WWW.BAKONYTHERM-TEGLA.HU)

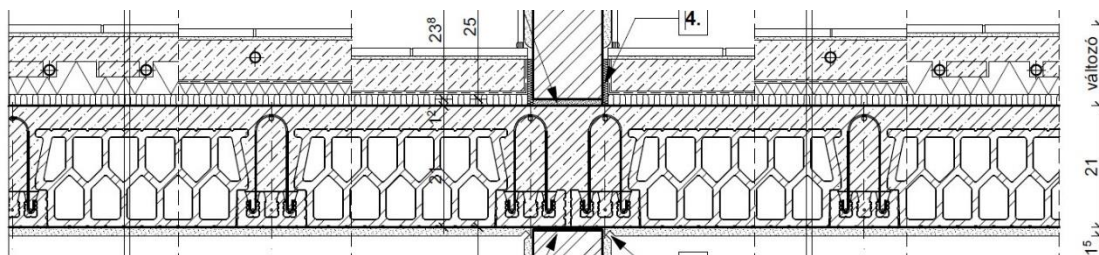
tengelytávolsága 61,5 cm de 5,0 m-es falköz felett javasolt gerendakettőzést alkalmazni, mely esetben 76,0 cm-re adódik a kettőzve beépített gerendák távolsága. A gyártott födémgerenda méretek alapján 2,25-6,50 m-es nyílásáthidalás építhető meg és 12,5 cm-es felfekvés szükséges a gerendavégeken. A födém béléstestek bent maradónak szolgálnak. Ezen béléstestek névleges válszélessége 20 mm de a felfekvésnek minden esetben meg kell lennie 15 mm-nek.

### 3.3.2 POROTHERM FÖDÉMRENDSZER



**22. ÁBRA: WIENERBERGER POROTHERM BÉLÉSTEST**  
(WWW.WIENERBERGER.HU)

A kerámia burkolatú födémgerendák hosszúpados gyártással, nagyszilárdságú feszített huzalokkal vasalva készülnek. A gerendák felfekvésének előírás szerinti mérete 12 cm és a monolit vasbeton koszorúval való kapcsolatot az elhelyezés utána felhajlított kengyelekbe fűzött pótvasak erősítik meg. A gerendák áthidalási képessége 2,25-7,00 m között 25 cm-es méretlépcsőkkel változik, de lehetőség van a gerendák kővágó koronggal való vágására is. A gerendákat kéttámaszú tartóként alkalmazzák. A béléstestek 10 , 17 cm-es magasságban készülnek és kiosztásuk 45, illetve 60 cm-es tengelytávra alkalmazható. A helyszínen elkészített fel betont kétirányú vasalással kell bevasalni.



**23. ÁBRA: WIENERBERGER PHOROTHERM FÖDÉMRENDSZER KERESZTMETSZET**  
(WWW.WIENERBERGER.HU)



## 4. VEM SZIMULÁCIÓ

Hőtechnikai szimulációkat időbeliség alapján stacioner és tranziens állapotban végeztem Comsol Mutliphysics szoftveres környezetben. Stacioner, azaz időben állandósult állapotban meghatároztam a keresztirányú modelleken az egyes fűdém szerkezetekre vonatkozó egyenértékű hővezetési tényezőket. Tranziens, azaz időben változó állapotban a hőmérséklet függvényében meghatároztam szabvány szerinti ISO 834-es tűzgörbével terhelt fűdémek átmelegedéséhez tartozó időtartamokat. A szimulációs program hőátbocsátás moduljával a hővezetési, konvekciós és sugárzási mechanizmusokat vizsgáltam. A CFD modul segítségével az áramlást szimuláltam a levegővel telített üregekben. Hosszirányú modelleknél hat különböző átlaghőmérsékleten (285, 373, 473, 673, 873 és 1473 K) futattam le stacioner szimulációt minden egyes fűdém típusra és a védett oldalra (fűdém felső felülete) megkaptam a hőáramsűrűségeket. A kapott eredmények felhasználásával az (3) képlettel kiszámítható a fűdém rétegrend ismeretlen, jelen esetben az idomtest hővezetési tényezője:



24. ÁBRA COMSOL MULTIPHYSICS

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_{si}} \quad (3)$$

ahol:	$U$	Hőátbocsátási tényező	$[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$
	$R_{se}$	Külső felületi (hőátadási) ellenállás	$[\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$
	$R_{si}$	Belső felületi (hőátadási) ellenállás	$[\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$
	$d$	Rétegvastagság	$[\text{m}]$
	$\lambda$	Hővezetési tényező	$[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$

A felületi hőátadási ellenállások értékét a (20) és (21) képlet reciprokjaként kapjuk meg.

A fent említett átlaghőmérsékleteken meghatározott hővezetési tényezőket felhasználtam a keresztirányú stacioner és tranziens szimulációknál, amelyeknél így, az adott típusú fűdémtestre vonatkozó hővezetési tényezőt a hőmérséklet függvényében adtam meg. Az egyes átlaghőmérsékleteken kapott hővezetési tényezőket függvényként vettem fel lineáris interpolációval.

## 4.1 GEOMETRIA MODELL, VÉGESELEM HÁLÓ

Hőtechnikai szimulációkat két dimenziós, hossz- és keresztirányú kiterjedésben elkészített modelleken végeztem. Azon fűdémeknél volt szükséges hosszirányú modell készítése, amelyeknél a béléstestek a főtartó gerendákra merőlegesen futnak és ez irányú metszetükben jelenik meg a béléstest üregszerkezete.

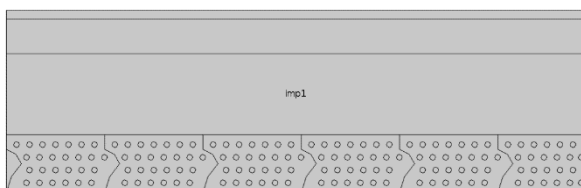
### Hossz- és keresztirányú modellalkotás:

- Balás fűdém
- Újlaki fűdém
- Horcsik fűdém
- Réti fűdém
- Gyenes fűdém
- Nova fűdém

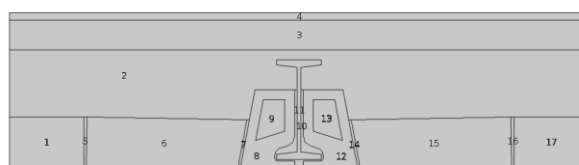
### Csak keresztirányú modellalkotás:

- Bakonytherm fűdémrendszer
- Pfeifer fűdém
- Contrason fűdém
- Porotherm fűdémrendszer

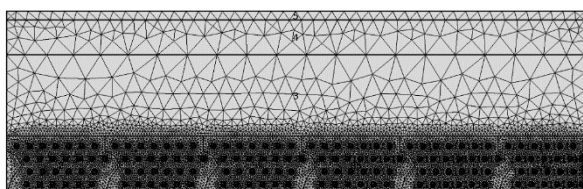
### 4.1.1 BALÁS FŰDÉM, HOSSZ- ,KERESZTMETSZET



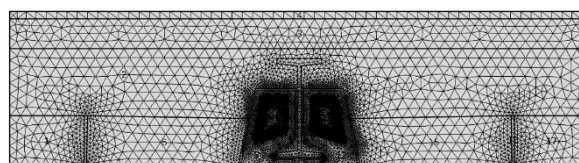
**25. ÁBRA: BALÁS FŰDÉM GEOMETRIA, HOSSZMETSZET**



**27. ÁBRA: BALÁS FŰDÉM GEOMETRIA, KERESZTMETSZET**



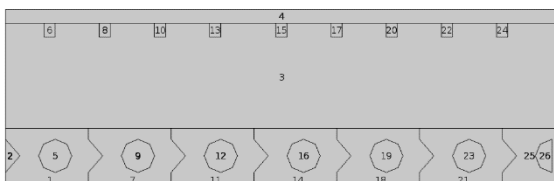
**26. ÁBRA: BALÁS FŰDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, HOSSZMETSZET**



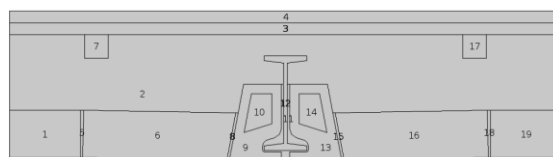
**28. ÁBRA: BALÁS FŰDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, KERESZTMETSZET**

A szimulációhoz szükséges modelleket CAD program segítségével készítettem el a (Barcsay 1994) Hagyományos fűdémszerkezetek című könyv felhasználásával. A modell jobb közelítésének és a kisebb végelelemháló generálás miatt egyszerűsítéseket végeztem. A balás fűdémtegla alsó és felső síkján futó bemélyedéseket elhagytam és síkfelületként modelleztem. A hátfeltöltésként alkalmazott homokfeltöltés felett lapburkolat található beton alapon.

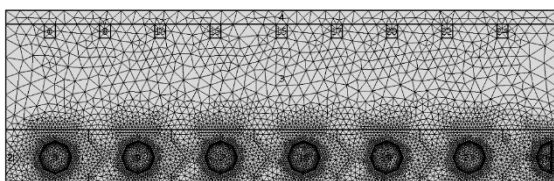
### 4.1.2 RÉTI FÖDÉM, HOSSZ, -KERESZTMETSZET



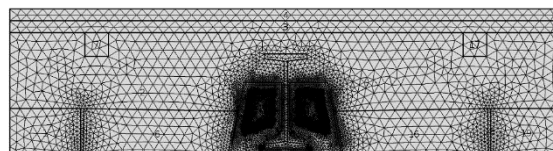
29. ÁBRA: RÉTI FÖDÉM GEOMETRIA, HOSSZMETSZET



31. ÁBRA: RÉTI FÖDÉM GEOMETRIA, KERESZTMETSZET



30. ÁBRA: RÉTI FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, HOSSZMETSZET

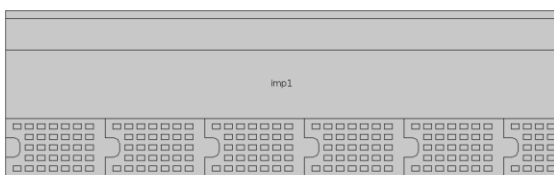


32. ÁBRA: RÉTI FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, KERESZTMETSZET

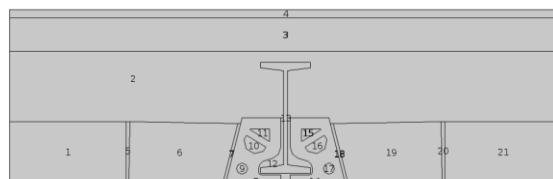
Réti födém téglánál is egyszerűsítettem a modellen és a téglák területén folyamatos sík felületet feltételeztem. A téglák keresztmetszet egy nagyobb kör üreget tartalmaz, amelyet 8 szög alakzatként közelítettem a körhöz és ezt a közelítést alkalmazta minden kör alakzatnál a modellalkotás során. A háttöltésben jelen rétegrendben fapadozattal számoltam, ami 5 cm parkettát és vakpadlót foglal magába.

### 4.1.3 ÚJLAKI FÖDÉM, HOSSZ, -KERESZTMETSZET

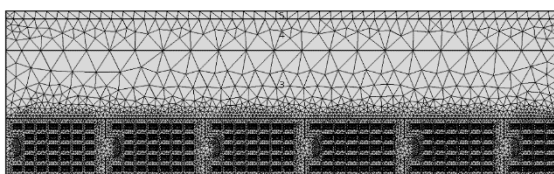
A födém téglák nagymennyiségű üregtér fogatából kifolyólag a végelem tartományok száma a hosszmetsetnél magas, 14217 db míg keresztmetsetnél 7032. db.



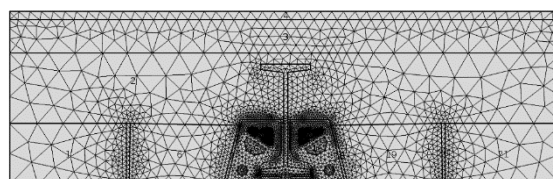
33. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM GEOMETRIA, HOSSZMETSZET



35. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM GEOMETRIA, KERESZTMETSZET



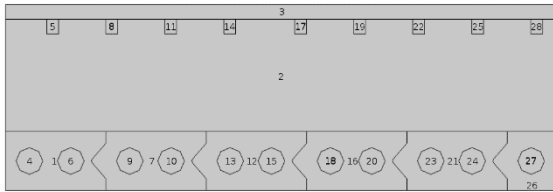
34. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, HOSSZMETSZET



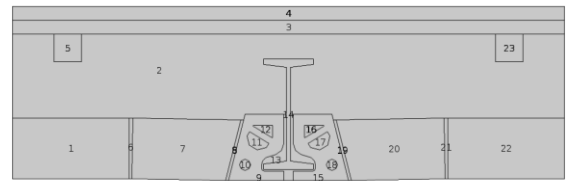
36. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, KERESZTMETSZET



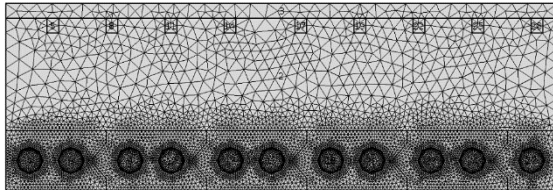
#### 4.1.4 GYENES FÖDÉM, HOSSZ, -KERESZTMETSZET



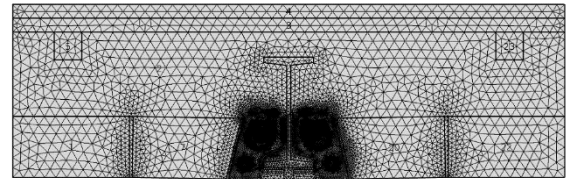
37. ÁBRA: GYENES FÖDÉM GEOMETRIA, HOSSZMETSZET



39. ÁBRA: GYENES FÖDÉM GEOMETRIA, KERESZTMETSZET



38. ÁBRA: GYENES FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, HOSSZMETSZET



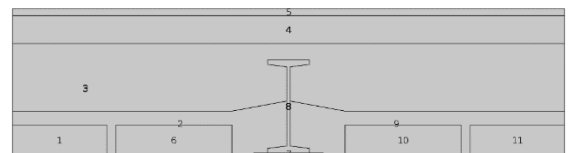
40. ÁBRA: GYENES FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, KERESZTMETSZET

A gyenes födémnél és előzőleg tárgyalt három födémtípusnál is a főtartó vasgerendát két oldalról orrtéglák határolják, és ezekre merőlegesen futnak a födémteglák. A hosszmetset esetén csak az orrtéglák tartalmaznak levegő tartalmazó üregeket, tehát csak itt kell a levegő áramlásával számolnunk.

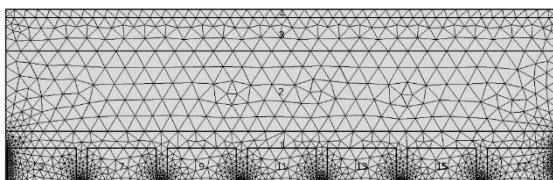
#### 4.1.5 HORCSIK FÖDÉM, HOSSZ, -KERESZTMETSZET



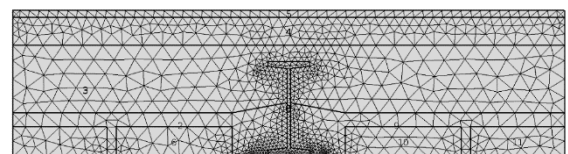
41. ÁBRA: HORCSIK FÖDÉM GEOMETRIA, HOSSZMETSZET



43. ÁBRA: HORCSIK FÖDÉM GEOMETRIA, KERESZTMETSZET



42. ÁBRA: HORCSIK FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, HOSSZMETSZET

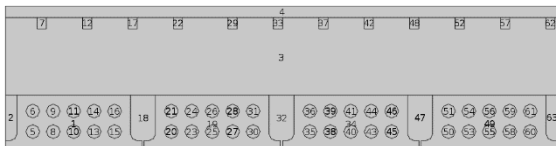


44. ÁBRA: HORCSIK FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, KERESZTMETSZET

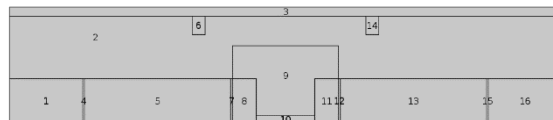
A horcsik födém az egyetlen födémtípus, amely nem tartalmaz sem hossz sem keresztirányú metszetében üregeket így a végeelem háló relatív kevés elemre 3247 db

és 1992 db elemre lett felbontva. A vasgerendával párhuzamosan és arra merőlegesen futó hézagok tartalmazzák a födém szükséges vasalását.

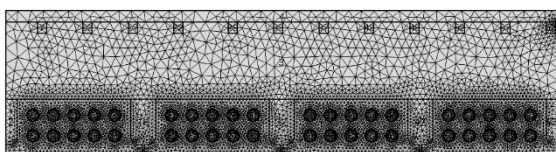
#### 4.1.6 NOVA FÖDÉM, HOSSZ- ,KERESZTMETSZET



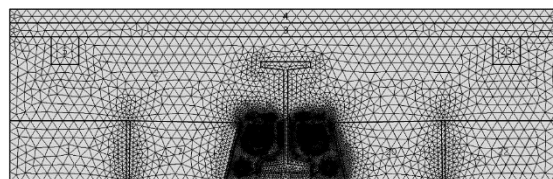
45. ÁBRA: NOVA FÖDÉM GEOMETRIA, HOSSZMETSZET



47. ÁBRA: NOVA FÖDÉM GEOMETRIA, KERESZTMETSZET



46. ÁBRA: NOVA FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, HOSSZMETSZET

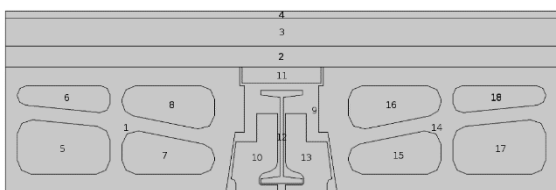


48. ÁBRA: NOVA FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, KERESZTMETSZET

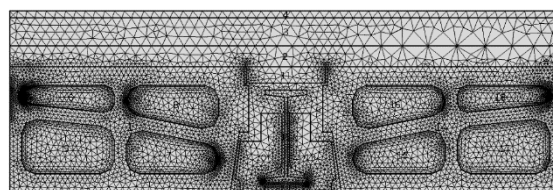
A födémteglák között betonnal kitöltött vályú képezi a födém keresztbordáit, ami emiatt valószínűleg sokat ront hőtechnikailag a rétegrenden, mivel alul csak egy vékony sávon két födémteglá találkozásánál található kerámia, ami jobb hővezetési tényezővel rendelkezik, mint a beton.

#### 4.1.7 CONTRASON FÖDÉM, KERESZTMETSZET

A contrason födém hőszigetelő képessége a 40 cm-es magasságával a régi szakirodalmak szerint 1 méteres tömör téglafal hőszigetelő képességével felel meg. A contrason és a további három födém típusnál nem volt szükséges hosszirányú modellezés, mivel ezeknek az üregek hossz tengelye nem a vasgerendákra merőlegesen fut, mint az előzőekben tárgyalt födém típusoknál.

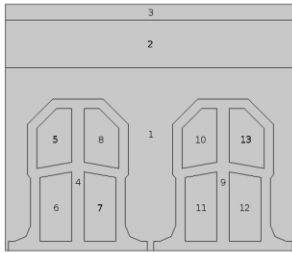


49. ÁBRA: CONTRASON FÖDÉM GEOMETRIA, KERESZTMETSZET

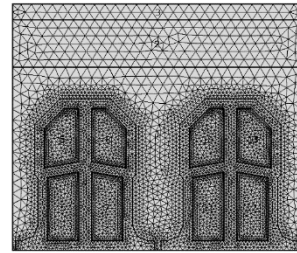


50. ÁBRA: CONTRASON FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, KERESZTMETSZET

#### 4.1.8 PFEIFER FÖDÉM, KERESZTMETSZET



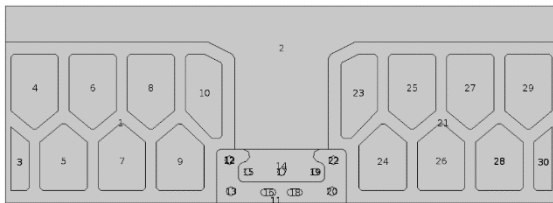
51. ÁBRA: PFEIFER FÖDÉM GEOMETRIA, KERESZTMETSZET



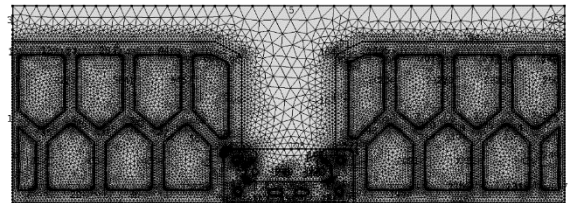
52. ÁBRA: PFEIFER FÖDÉM VÉGESELEMHÁLÓ, KERESZTMETSZET

A teherbordákban szükséges alkalmazandó 1,5-1,5 cm<sup>2</sup> keresztmetszetű vasbetéteket a modell nem tartalmazza.

#### 4.1.9 BAKONYTHERM FÖDÉMREDSZER, KERESZTMETSZET

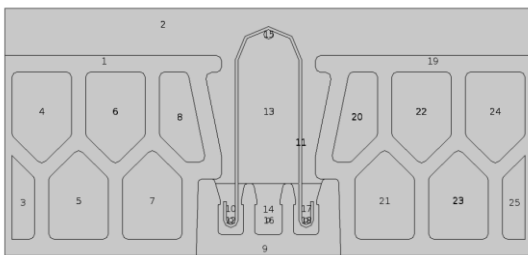


53. ÁBRA: BAKONYTHERM FÖDÉMREDSZER GEOMETRIA, KERESZTMETSZET

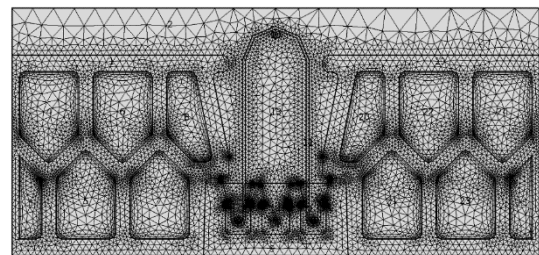


54. ÁBRA: BAKONYTHERM FÖDÉMREDSZER VÉGESELEMHÁLÓ, KERESZTMETSZET

#### 4.1.10 WIENERBERGER POROTHERM FÖDÉMREDSZER, KERESZTMETSZET



55. ÁBRA: POROTHERM FÖDÉMREDSZER GEOMETRIA, KERESZTMETSZET



56. ÁBRA: POROTHERM FÖDÉMREDSZER VÉGESELEMHÁLÓ, KERESZTMETSZET

A bakonytherm és a wienerberger födémrendszer felépítésükben hasonlóak, ezáltal a két modell is csak az üregek számában és geometria kialakításukban tér el csekély mértékben. A porotherm födémnél modelleztem a felhajlított kengyelt is. Ennél a két födém típusnál volt a legnagyobb a végelem tartományok száma és az egyenetrendszerhez tartozó szabadságfokok száma.



## 4.2 ANYAGJELLEMZŐK

A szimulációkhoz összesen 5 féle szilárd anyagot definiáltam és ezeknek 3 fajta termikus anyagtulajdonságát, amelyeket felhasználtam mind a stacioner mind a tranziens szimulációkban. A levegő tulajdonságaival kapcsolatos jellemző értékeket a program adta.

Anyagok:

- Acél
- Fa
- Kerámia
- Beton
- Homok

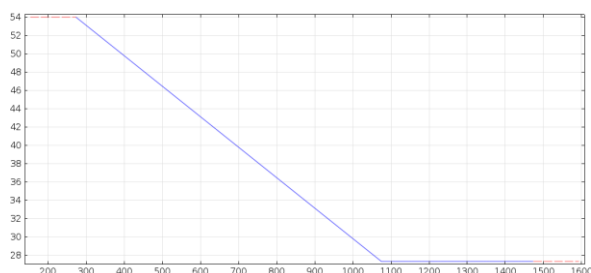
Anyagtulajdonságok:

- hővezetési tényező
- fajlagos hőkapacitás
- testsűrűség

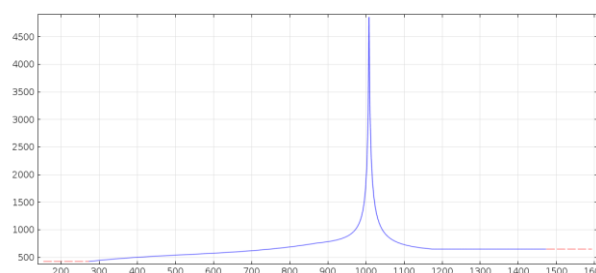
Az egyes elemek anyagtulajdonságait a hőmérséklet változó függvényében adtam meg, mivel így van csak lehetőség tranziens szimulációt végrehajtani. Az ott alkalmazott ISO 834-es tűzgörbe maximuma közelítőleg 1200 °C, így a hőmérsékleti határokat 20 °C és 1200 °C között helyeztem el. Nem csak tranziens szimulációnál volt szükség az alábbi függvényekre, hanem stacioner szimulációnál is, ahol a modell tartalmazott hosszmetsetet is.

### 4.2.1 ACÉL

Az acélra vonatkozó anyagtulajdonságokat az MSZ EN 1993-1-2 részéből kaptam meg. Ahol függvény írja le a hővezetési tényező és a hőkapacitás változását. Az acél testsűrűsége nem változik a hőmérséklet függvényében, így azt konstans 7850 kgm<sup>-3</sup> értékre vehetjük fel.



**57. ÁBRA: SZÉNACÉL HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJE A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>]**



**58. ÁBRA: SZÉNACÉL FAJLAGOS HŐKAPACITÁSA A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>]**

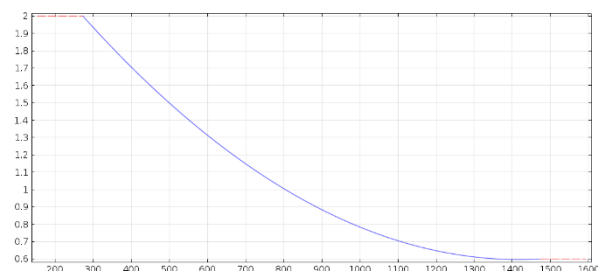
Az alábbi függvényeket a szimuláció során használt Comsol Multiphysics programból mentettem ki és a program a mértékegységeket csak később rendeli hozzá az eredményekhez, így nem volt lehetséges a diagramokon feltüntetni a tengelyek nevét.



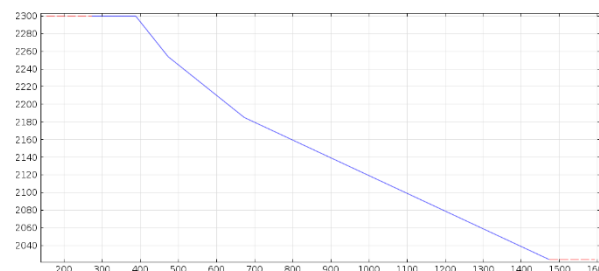
A két függvény x tengelye az abszolút hőmérsékletet adja meg a kelvinben a hővezetési tényező függvényénél [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ] az y tengely mértékegysége, a fajlagos hőkapacitásánál pedig [ $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ].

#### 4.2.2 BETON

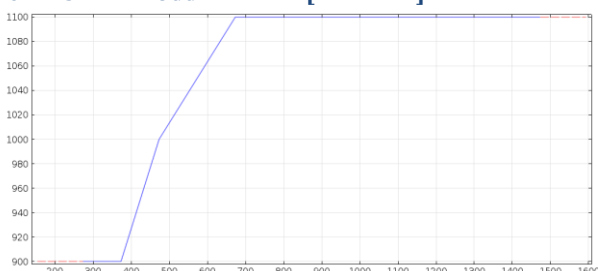
A betonra vonatkozó termikus anyagjellemzőket az MSZ EN 1992-1-2 szabvány adja meg, amely tartalmazza a szerkezetek tűzhatásra való tervezésének általános szabályait.



**59. ÁBRA: BETON HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJE A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]**



**61. ÁBRA: BETON TESTSÚRÓSÁGÉNAK VÁLTOZÁSA A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [ $\text{kgm}^{-3}$ ]**

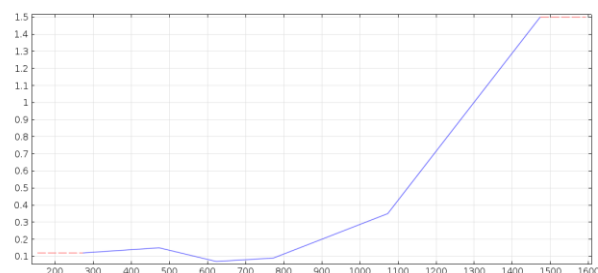


**60. ÁBRA: BETON FAJLAGOS HŐKAPACITÁSA A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [ $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]**

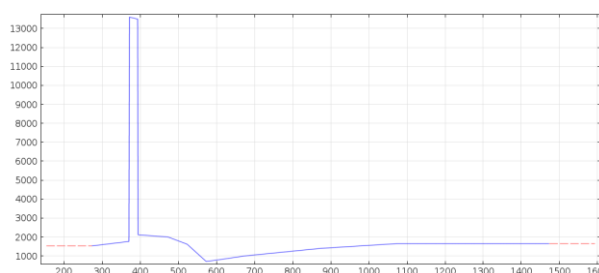
Mindhárom függvény x tengelye az abszolút hőmérsékletet adja meg a kelvinben [K], az adott függvény y tengelyének mértékegységét az ábra neve tartalmazza. Ezek a megfontolások a következők ábráknál is helytállóak.

#### 4.2.3 FA

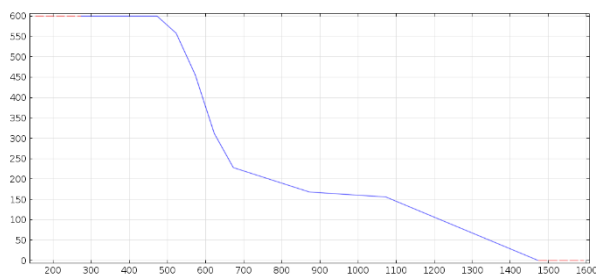
A fára vonatkozó termikus anyagjellemzőket az MSZ EN 1995-1-2 szabványa adja meg.



**62. ÁBRA: FA HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJE A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]**



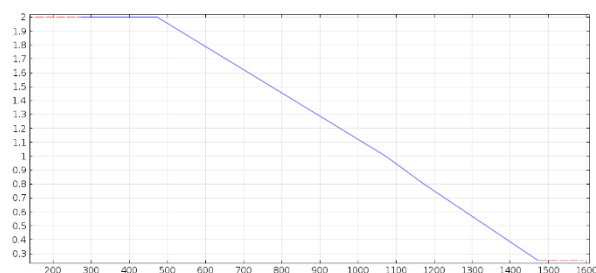
**63. ÁBRA: FA FAJLAGOS HŐKAPACITÁSA A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [ $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]**



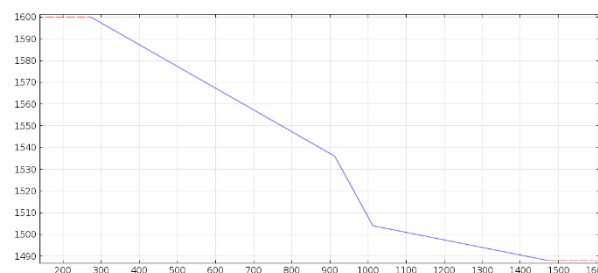
**64. ÁBRA: FA TESTSŰRŰSÉGÉNEK VÁLTOZÁSA A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [kgm<sup>-3</sup>]**

#### 4.2.4 HOMOK

A homokra vonatkozó termikus anyagi jellemzőket az MSZ EN ISO 13370:2008 szabvány írja le.



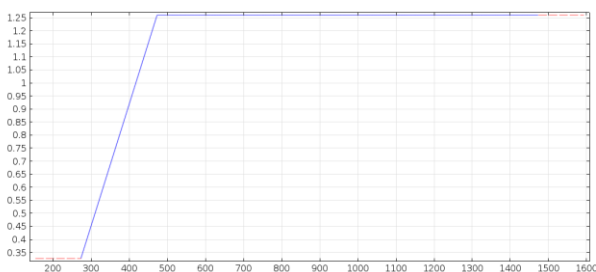
**65. ÁBRA: HOMOK HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJE A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]**



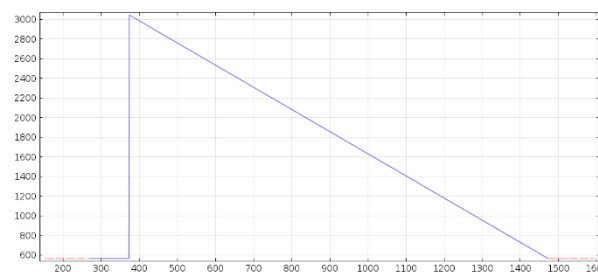
**66. ÁBRA: HOMOK TESTSŰRŰSÉGÉNEK VÁLTOZÁSA A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [kgm<sup>-3</sup>]**

#### 4.2.5 KERÁMIA

A kerámiára vonatkozó termikus anyagi jellemzőket az MSZ EN 1996-1-2 szabványa adja meg. A testsűrűséget konstans 1600 kgm<sup>-3</sup> értékre vettem fel. Ahol szükséges volt, nevezetesen a hosszirányú szimulációkból kinyert hővezetési tényezőkkel a keresztmetszetenél már nem a kerámia hővezetési tényezőjével számoltam, hanem a hosszmetsetből földémtéglára kapott hővezetési tényezővel.

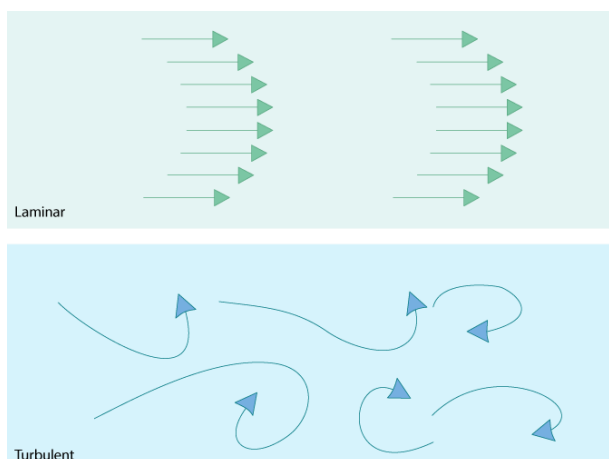


**67. ÁBRA: KERÁMIA HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJE A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]**



**68. ÁBRA: KERÁMIA FAJLAGOS HŐKAPACITÁSA A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN [Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]**

### 4.3 ÁRAMLÁS



Áramlás során lamináris, egyfázisú áramlást feltételezünk. Egy áramlás addig marad lamináris, amíg a Reynolds- szám el nem ér egy bizonyos kritikus értéket, ezen érték fölött már turbulens áramlás jön létre. Tapasztalok szerint a csövekben (átmérővel számolva) lamináris áramlás alakul ki ha a  $Re < 2320$ .

69. ÁBRA: LAMINÁRIS ÉS TURBULENS ÁRAMLÁS

A Reynolds-szám egy dimenziómentes mennyiség, mely a tehetetlenségi erők és viszkozus erők, vagyis a közeg belső súrlódása közötti viszonyszám és a következő képlettel számítható:

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad (4)$$

ahol:	$v$	Áramlási sebesség	$[ms^{-1}]$
	$l$	Jellemző hossz méret, jelen esetben átmérő	$[m]$
	$\nu$	Kinematikai viszkozitás	$[m^2s^{-1}]$

A fizika közeg (levegő) jelen esetben összenyomható így a Mach számot 0,3-nál kisebbnek feltételezzük a Navier-Stokes egyenlet alapján. A Mach szám egy dimenzió nélküli érték, amely jelentős befolyásoló tényező az áramlás dinamikájában amennyiben összenyomható folyadékról van szó. Stacioner állapotban az áramlásban jellemző tagok ( $u, p, \rho, T$ ) nem függenek az időtől, a tér bármely pontjában értékük időben állandó, tranziens állapotban az idő függvényében folyamatosan változnak. A Mach számot leíró képlet az alábbi két változó hányadosaként adja meg az eredményt:

$$Ma = \frac{u}{c} \quad (5)$$

ahol:	$u$	Sebesség vektor	$[ms^{-1}]$
	$c$	Hangsebesség (331,5)	$[ms^{-1}]$



### 4.3.1 DIFFERENCIÁLEGYENLET-RENDSZER

A lamináris áramlás differenciálegyenlet-rendszerének felírásához a Navier-Stokes egyenleteket alkalmazzuk, amellyel a szerzőpáros Newton második törvényének, az áramló folyékony anyagokra való alkalmazását vette célkitűzésként, azt alapfeltételül véve, hogy a fellépő feszültség egy diffúziós kifejezés összetevőből és egy nyomás összetevőből áll. A differenciálegyenlet rövidítése képen alkalmazzuk az  $\nabla$  operátort<sup>1</sup>.

Momentum egyenlet, amely reprezentálja a lendület megmaradást:

*Tranziens:*

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \nabla \cdot \left[ -p\mathbf{I} + \mu(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot \mathbf{u})\mathbf{I} \right] - 12 \frac{\mu\mathbf{u}}{d_z^2} + \mathbf{F} \quad (6)$$

*Stacioner:*

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \nabla \cdot \left[ -p\mathbf{I} + \mu(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot \mathbf{u})\mathbf{I} \right] - 12 \frac{\mu\mathbf{u}}{d_z^2} + \mathbf{F} \quad (7)$$

Kontinuitási egyenlet, amely reprezentálja a tömegmegmaradást:

*Tranziens:*

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\mathbf{u}) = 0 \quad (8)$$

*Stacioner:*

$$\nabla \cdot (\rho\mathbf{u}) = 0 \quad (9)$$

ahol:	$\mathbf{u}$	Sebesség vektor	[ms <sup>-1</sup> ]
	$\rho$	Sűrűség	[kgm <sup>-3</sup> ]
	$\mu$	Dinamikus viszkozitás	[Pas]
	$\mathbf{I}$	Egység tenzor	[ - ]
	$T$	Abszolút hőmérséklet	[K]
	$p$	Nyomás	[Pa]
	$d_z$	Áramló csatorna hossza	[m]
	$\mathbf{F}$	Gravitációs térerősség	[Nm <sup>-3</sup> ]

<sup>1</sup> Nabla elsőrendű vektoriális differenciáloperátor,  $\nabla =$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{bmatrix}$$





### 4.3.2 PEREMFELTÉTELEK

Az áramlás differenciálegyenlet-rendszerének megoldásához definiálnunk kell az elkészített modellek határfelületeinél megengedett hatásokat, kezdeti értékeket. Különböző peremfeltételt adunk meg a sebességkomponensnek és más a nyomás esetén, három különböző részre bontjuk a peremfeltételeket: beáramlási perem, kiáramlási perem, szilárd perem (fal).

Beáramlási peremnél a sebességvektor mindhárom komponensét meg kell adni ( $u$ ,  $v$ ,  $w$ ). Szilárd perem feltételeként a normális irányú sebességkomponens minden esetben zérus, mivel a falon keresztül nincs áramlás. A tangenciális irányú komponensre pedig „tapadó” peremet feltételezünk, amely szerint a tangenciális irányú sebességkomponensek zérussal egyenlők. Kiáramlási perem feltételeként a nyomásértéket adjuk meg.

$$\mathbf{u} = 0 \quad (10)$$

A következő kezdeti értékeket alkalmazzuk:

$\mathbf{u}$ :	0 ms <sup>-1</sup>	Sebesség vektor
$p$ :	1 atm	Légnyomás
$d_z$ :	1 m	Áramló csatorna hossza

### 4.3.3 GRAVITÁCIÓS TÉRERŐSSÉG

A differenciálegyenlet-rendszerben található  $\mathbf{F}$  gravitációs térerősség egy vektormennyiség, amely meghatározza a gravitáció által keltett hatásokat a modellben, amit a két dimenziós modellterben  $-y$  irányban működtetünk.

$$\mathbf{F} = \rho_l \cdot g \quad [\text{Nm}^{-3}] \quad (11)$$

ahol:	$\rho_l$	Levegő sűrűség	[kgm <sup>-3</sup> ]
	$g$	Nehézségi gyorsulás	[ms <sup>-2</sup> ]

A gravitációs térerősséget a momentum egyenlet jobb oldalából tudjuk kifejezni.

### 4.4 HŐÁTBOCSÁTÁS

A szilárd testekben való hőátbocsátást modellezzük hővezetéssel, konvekcióval és sugárzással. A hőátbocsátás szilárd test modellekben alapértelmezésként aktív minden területen, beleértve a folyékony közegeket is. A modellben felületről felülre való sugárzást feltételezünk.



#### 4.4.1 DIFFERENCIÁLEGYENLET

A hőátbocsátás differenciálegyenletének felírásához a termodinamika első főtételének elvét alkalmazzuk. A belső energiára  $U(x, y, z, t)$  való felírás helyett a  $T(x, y, z, t)$  hőmérsékletre való egyszerűbb felírást alkalmazzuk a szimulációk során. A differenciálegyenlet rövidítése képen alkalmazzuk az  $\nabla$  operátort<sup>2</sup>:

*Tranziens:*

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + Q \quad (12)$$

*Stacioner:*

$$\rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + Q \quad (13)$$

ahol:	$\mathbf{u}$	Sebesség vektor	$[\text{ms}^{-1}]$
	$\rho$	Sűrűség	$[\text{kgm}^{-3}]$
	$c_p$	Fajlagos hőkapacitás	$[\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}]$
	$\lambda$	Hővezetési tényező	$[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$
	$T$	Abszolút hőmérséklet	$[\text{K}]$
	$Q$	Hőforrások, eltérő viszkozitású disszipációja	$[\text{Wm}^{-3}]$

#### 4.4.2 HŐTRANSPORT SZILÁRD TESTEK BEN

Állandósult állapotban a hőmérséklet nem idő függvényében nem változik, tehát az első tag  $(\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t})$  kiesik, így az egyenlet bal oldala nullával egyenlő. Továbbiakban az egyenlet tartalmazza a következő anyagtulajdonságokat, sűrűség ( $\rho$ ), fajlagos hőkapacitás ( $c_p$ ), hővezetési tényező ( $\lambda$ ) amelyeket az anyagoknál definiáltunk függvénnyel vagy konstans értékekkel.

<sup>2</sup> Nabla elsőrendű vektoriális differenciáloperátor,  $\nabla =$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{bmatrix}$$



#### 4.4.3 HŐTRANSPORT FOLYADÉKOKBAN

Állandósult állapotban a hőmérséklet nem változik az idő függvényében tehát az első tag  $(\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t})$  kiesik, az egyenlet a következő anyagtulajdonságokat, mezőket és forrásokat tartalmazza:

*Tranziens:*

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + Q + Q_{vd} + Q_p \quad (14)$$

*Stacioner:*

$$\rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + Q + Q_{vd} + Q_p \quad (15)$$

ahol:	$\mathbf{u}$	Sebesség vektor	[ms <sup>-1</sup> ]
	$\rho$	Sűrűség	[kgm <sup>-3</sup> ]
	$c_p$	Fajlagos hőkapacitás	[Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	$\lambda$	Hővezetési tényező	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	$T$	Abszolút hőmérséklet	[K]
	$Q$	Hőforrások, eltérő viszkozitású disszipációja	[Wm <sup>-3</sup> ]
	$Q_{vd}$	Viszkózus disszipáció	[Wm <sup>-3</sup> ]
	$Q_p$	Fűtési hőforrás	[W]

Amikor ideális gáztörvényt használunk, ami leír egy folyadékot akkor a  $\gamma$  dimenzió nélküli mérőszám elégséges, hogy a fajlagos hőkapacitás arányát kifejezze. A  $\gamma$  értéke levegő esetén 1,4.

#### 4.4.4 PEREMFELTÉTELEK

A hőszigetelés alapértelmezett peremfeltétel minden hőátadási határfelületnél, ez a határ feltétel azt jelenti, hogy nincs hőáram az adott határfelületen:

$$-\mathbf{n} \cdot (-\lambda \nabla T) = 0 \quad (16)$$



Ennélfogva meghatározza, hogy egy tartomány hol jól szigetelt. Szemléletesen ez az egyenlet azt mondja, hogy a hőmérsékletesés a határok között nulla. Ahhoz, hogy ez igaz legyen, meg kell egyeznie a határ egyik oldalán lévő hőmérsékletnek a határ másik oldalán lévő hőmérséklettel. Mivel nincs hőmérséklet-különbség a határok között így a hő nem tud áramlani rajta.

Kezdeti hőmérsékletnek alapértékként szobahőmérsékleten 293,15 K-t (20°C) feltételezünk, amely alapul szolgál a tranziens szimulációknál, vagy mint elsődleges becslésként szolgál a nemlineáris megoldásoknál.

A másik alkalmazott peremfeltétel a hőátadás modellezésénél a konvektív hűtés és fűtés, amellyel a folyadék (levegő) hűti vagy fűti a felszínt természetes vagy mesterséges konvekció által. Alapvetően kétféle módon modellezhetjük ezt a folyamatot:

- hőátadási tényezőt használunk a felületeken, mely magában foglalja a konvektív és a sugárzásos hőátadást
- a modell kiterjesztésével leírható az áramlás és hőátadás a környező közegben

A második megközelítés a helyes, de amennyiben a geometria és a külső áramlás bonyolult, akkor egy ilyen szimulációban nagyon megnövekedhet a számítási idő. Az első módszer egyszerű és hatékony, a konvektív hőáram a határokon érintkezik a folyadékkal így modellezhető, mint arányos hőmérséklet különbség a fiktív termikus határrétegek között. Matematikailag a hőáram által leírt egyenlettel:

$$-\mathbf{n} \cdot (-\lambda \nabla T) = h \cdot (T_{inf} - T) \quad (17)$$

ahol:	$\mathbf{n}$	Perem normálvektora	
	$\lambda$	Hővezetési tényező	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	$T$	Abszolút hőmérséklet	[K]
	$h$	Felületi hőátadási tényezője	[Wm <sup>-2</sup> -K <sup>-1</sup> ]
	$T_{inf}$	Külső közeg hőmérséklete	[K]

A stacioner szimuláció során feltételezett befelé irányuló hőáram egyenlete a következő:

$$q_0 = h \cdot (T_{inf} - T) \quad (18)$$

ahol  $h$  és  $T_{inf}$  változók értékeit külön adjuk meg a „hideg” és „meleg” oldalon.



- Hideg oldalon

$$T_{inf} = T_{m,e} \quad \begin{array}{l} \text{A külső felület és a környezet} \\ \text{átlagos termodinamikai} \\ \text{hőmérséklete} \end{array} \quad [\text{K}]$$

$$h = h_{se} \quad \begin{array}{l} \text{Külső felületi hőátadási} \\ \text{tényező} \end{array} \quad [\text{Wm}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$$

$$h_{se} = 20 + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{m,e})^3 \quad (19)$$

- Meleg oldalon

$$T_{inf} = T_{m,i} \quad \begin{array}{l} \text{A külső felület és a környezet} \\ \text{átlagos termodinamikai} \\ \text{hőmérséklete} \end{array} \quad [\text{K}]$$

$$h = h_{si} \quad \begin{array}{l} \text{Belső felületi hőátbocsátási} \\ \text{tényező} \end{array} \quad [\text{Wm}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$$

$$h_{si} = 5 + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{m,i})^3 \quad (20)$$

#### 4.4.5 FELÜLETEK DIFFÚZ SUGÁRZÁSA

A diffúz sugárzás kombinálja a felületről felületre sugárzás és a felületről környezetre való sugárzás jellemzőit. A sugárzás kölcsönhatásba lép a konvektív és konduktív hőátadással a források által amelyek tartalmazzák a hőáramlás és hőforrás határfelületének peremfeltételeit. A definíció szerint ez a forrás megegyezik a beeső sugárzás és a felületet elhagyó sugárzás különbségével. Az egyenlet szerint:

$$q = G - J \quad (21)$$

ahol:  $G$  Besugárzás  $[\text{Wm}^{-2}]$

$J$  Teljes kilépő sugárzás  $[\text{Wm}^{-2}]$

A  $G$  besugárzás a következő tagokból adódik össze:

$$G = G_m + G_{ext} + G_{amb} \quad (22)$$

ahol:  $G_m$  Kölcsönös besugárzás, ami a modellben lévő egyéb határokról jön  $[\text{Wm}^{-2}]$

$G_{ext}$  Besugárzás külső forrásokból  $[\text{Wm}^{-2}]$

$G_{amb}$  Környezeti besugárzás  $[\text{Wm}^{-2}]$



A  $J$  teljes kilépő sugárzás felírására a következő egyenlet szolgál:

$$J = (1 - \varepsilon)G + \varepsilon e_b(T) \quad (23)$$

ahol:	$\varepsilon$	Emissziós tényező	[ - ]
	$e_b(T)$	Feketetest félgömbösugárzás	[Wm <sup>-2</sup> ]

A feketetest félgömbösugárzást a következő egyenlet írja le:

$$e_b(T) = n^2 \sigma T^4 \quad (24)$$

ahol:	$n$	Átlátszó anyagok törésmutatója	[ - ]
	$\sigma$	Stefan-Boltzmann állandó (5,67x10 <sup>-8</sup> )	[Wm <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup> ]
	$T$	Felület termodinamikai hőmérséklete	[K]

#### 4.4.6 PEREMFELTÉTELEK TRANZIENS SZIMULÁCIÓBAN

Tranziens, időben változó szimulációt feltételezve a peremfeltételek 4.2.4 pontjában található befelé és kifelé irányuló hőáramok „meleg” és „hideg” oldalon való következtetéseit figyelmen kívül hagyjuk és helyette a következő pontokban meghatározott, kibővített peremfeltételeket alkalmazzuk.

##### 4.4.6.1 TŰZGÖRBE KONVEKCIÓ

A fődémszerkezetre ható tűzterhelés alkalmazásából kiindulva az alsó felületre konvektív hőáramot feltételezünk.

$$-\mathbf{n} \cdot (-\lambda \nabla T) = h_c \cdot (T_{ext} - T) \quad (25)$$

ahol:	$\mathbf{n}$	Perem normálvektora	
	$\lambda$	Hővezetési tényező	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	$T$	Abszolút hőmérséklet	[K]
	$h_c$	Felületi konvektív hőátadási tényezője	[Wm <sup>-2</sup> -K <sup>-1</sup> ]
	$T_{ext}$	Külső közeg hőmérséklete	[K]

A tranziens szimuláció során feltételezett befelé irányuló hőáram egyenlete a következő:

$$q_0 = h_c \cdot (T_{ext} - T) \quad (26)$$



A  $h_c$  értékét az MSZ EN 1993 szabvány alapján  $25 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  értékre vesszük fel, ami állandó és nem változik a hőmérséklet emelkedésével, mivel az ISO 834-es tűzgörbe által keltett hőáramlásra vonatkozik (szénhidrogén tűz esetén az érték  $50 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ -re emelkedik).  $T_{\text{ext}}$  értéke az ISO 834 szabványban található szabványos tűzgörbe alapján változik az idő függvényében.

#### 4.4.6.2 SZABAD PEREM

Ezzel a peremfeltétellel tudjuk modellezni a nyílt határok közötti hőáramlást, így biztosítva, hogy a födémszerkezet felső peremén tud kifelé áramolni a hő. Ezt a kiterjesztést használva korlátozni tudjuk a modellezési területet.

$$T = T_0, \text{ if } \mathbf{n} \cdot \mathbf{u} < 0 \quad (27)$$

ahol:  $T_0$  Kezdő hőmérséklet [K]

$T_0 = 293,15 \text{ K}$  értéket veszünk fel kezdő hőmérsékletnek, amely hőmérséklet az idő függvényében változik

$$-\nabla T \cdot \mathbf{n} = 0, \text{ if } \mathbf{n} \cdot \mathbf{u} \geq 0 \quad (28)$$

#### 4.4.6.3 TŰZGÖRBE ELŐÍRT SUGÁRZÁSA

A tűzgörbe előírt sugárzását a következő egyenlet írja le:

$$J = \varepsilon e_b(T) \quad (29)$$

$$e_b(T) = n^2 \sigma T^4 \quad (30)$$

ahol:  $n$  Átlátszó anyagok törésmutatója [-]  
 $\sigma$  Stefan-Boltzmann állandó  
 ( $5,67 \times 10^{-8}$ ) [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ]  
 $T$  Felület termodinamikai hőmérséklete [K]

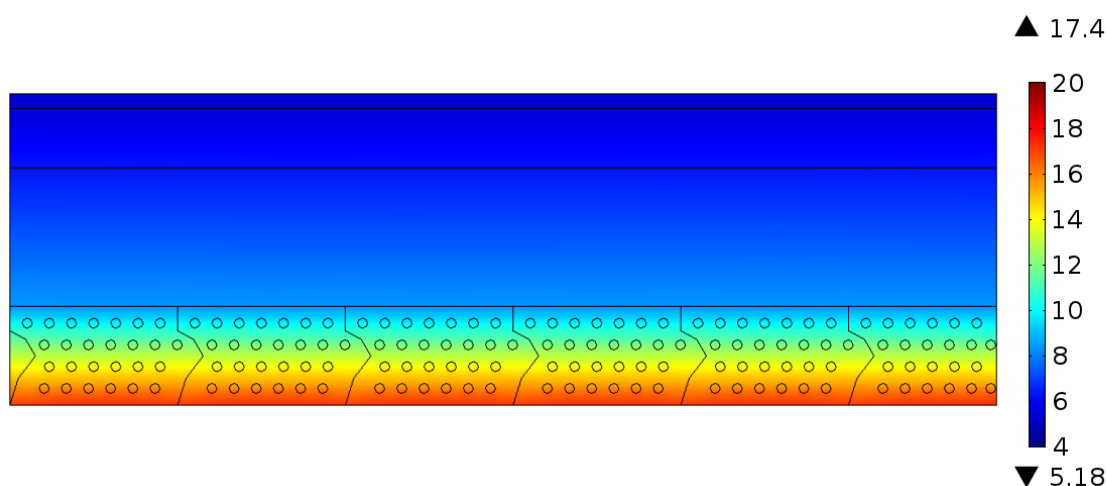
Ebben az esetben a  $T$  értéke az idő függvényében változik és az ISO 834-es szabványos tűzgörbe adja meg. A sugárzás negatív normális irányú, mivel a födémfelület alsó síkja befelé sugárzik a ráható tűzteher miatt. Szürketest sugárzást felételezünk, amelynél alapértelmezésben a felületi emissziós tényezőt az anyagtulajdonság határozza meg.

## 5. EREDMÉNYEK

### 5.1 STACIONER SZIMULÁCIÓK EREDMÉNYEI

Állandósult állapotban 20 °C-os belső és 4 °C-os külső hőmérséklettel, 16 K hőmérsékletkülönbséggel szimuláltam a lentől felfelé áramló hőt, hogy meghatározzam a fűdém felső élén a hőáramsűrűséget, melyből a (3) képlet segítségével megtudtam határozni fűdémlemezre az egyenértékű hővezetési tényezőket.

#### 5.1.1 BALÁS FÜDÉM



70. ÁBRA: BALÁS FÜDÉM HOSSZMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

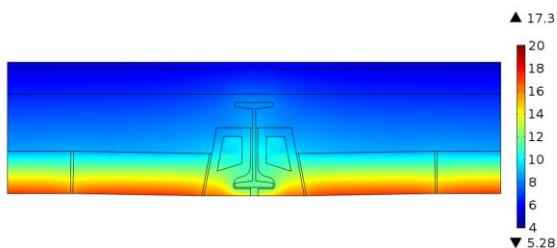
A kis átmérőjű, de relatív sűrűn elhelyezett üregeknek köszönhetően a rétegrend átmelegedése egyenletes.

Átlag hőmérséklet		[K]	285	373	473	673	873	1473
		[°C]	12	100	200	400	600	1200
Szerkezeti vastagság		[m]	Hőáramsűrűség védett oldalon [Wm <sup>-2</sup> ]					
			29,484	46,06	59,918	61,836	56,988	21,232
Típus	Balás Fűdém	0,315	Hővezetési tényező [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]					
Rétegrend	Felületi ellenállás felül	-	24,820	31,029	42,804	86,697	166,788	733,109
	Acél	0,000	53,600	50,670	47,340	40,680	34,020	27,300
	Beton	0,075	1,971	1,766	1,553	1,191	0,915	0,600
	Fa	0,000	0,122	0,135	0,150	0,077	0,177	1,500
	Homok	0,140	2,000	2,000	2,000	1,667	1,333	0,250
	Kerámia	0,000	0,383	0,793	1,260	1,260	1,260	1,260
	Idomtest	0,100	0,332	0,687	1,084	1,147	1,227	1,520
	Felületi ellenállás alul	-	10,705	17,543	30,239	76,628	160,085	741,730

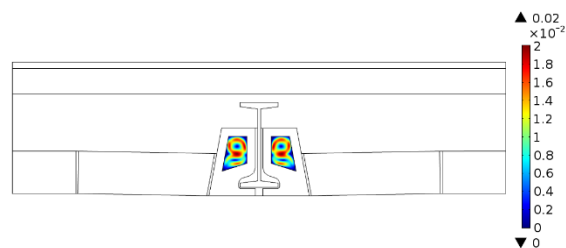
2. TÁBLÁZAT: BALÁS FÜDÉM, HOSSZIRÁNYÚ SZIMULÁCIÓKBÓL SZÁMÍTOTT HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐK



A 2. Táblázat-hoz szükséges bemenő adatok (piros kitöltés) megadása szükséges, hogy megkapjuk adott rétegre az ismeretlen, jelen esetben balás fűdémtegla hővezetési tényezőjét. Hat különböző átlaghőmérsékleten futattam szimulációt minden esetben 16 K hőmérsékletkülönbséget feltételezve. A hosszirányú szimulációknál így megkaptam a védett oldali hőáramsűrűséget. A felületi ellenállás számítás a (19) és (20) képlet segítségével lehetséges amelyek a hőmérséklet függvényében változóak. Az „idomtest” hővezetési tényezőjét megkaptam a (3) képletet átalakítva egy ismeretlenes egyenletté.



71. ÁBRA: BALÁS FÜDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

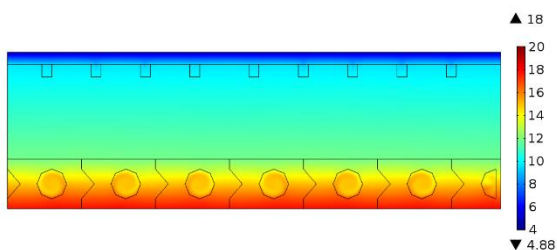


72. ÁBRA: BALÁS FÜDÉM KERESZTMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

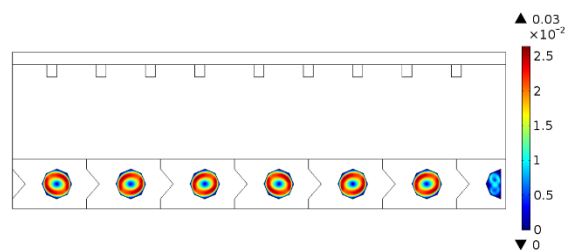
A keresztmetszeti szimulációból kapott hőáramsűrűségből számított átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező értéké homokfeltöltéssel, lap burkolattal beton alapon:

$$U = 2,189 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

### 5.1.2 RÉTI FÜDÉM

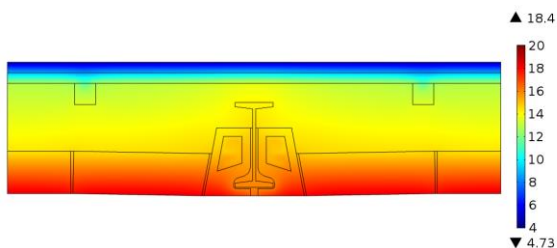


73. ÁBRA: RÉTI FÜDÉM HOSSZMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

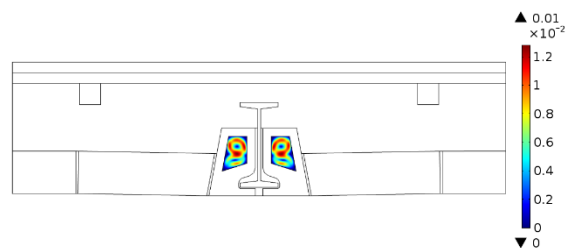


74. ÁBRA: RÉTI FÜDÉM HOSSZMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

A keresztmetszeti szimulációból kapott hőáramsűrűségből számított átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező homokfeltöltéssel, fa padozattal:  $U = 1,238 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$



75. ÁBRA: RÉTI FÜDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]



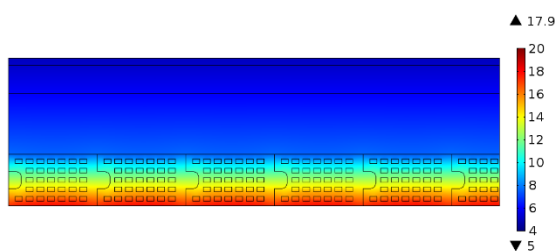
76. ÁBRA: RÉTI FÜDÉM KERESZTMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]



	Átlag hőmérséklet	[K]	285	373	473	673	873	1473
		[°C]	12	100	200	400	600	1200
		Hőáramsűrűség védett oldalon [Wm <sup>-2</sup> ]						
Szerkezeti vastagság		[m]	22,634	31,463	39,278	29,382	43,336	20,188
Típus	Réti Födém	0,315	Hővezetési tényező [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]					
Rétegrend	Felületi ellenállás felül	-	24,820	31,029	42,804	86,697	166,788	733,109
	Acél	0,000	53,600	50,670	47,340	40,680	34,020	27,300
	Beton	0,000	1,971	1,766	1,553	1,191	0,915	0,600
	Fa	0,030	0,122	0,135	0,150	0,077	0,177	1,500
	Homok	0,185	2,000	2,000	2,000	1,667	1,333	0,250
	Kerámia	0,000	0,383	0,793	1,260	1,260	1,260	1,260
	Idomtest	0,100	0,427	0,956	1,712	5,662	2,066	3,351
	Felületi ellenállás alul	-	10,705	17,543	30,239	76,628	160,085	741,730

3. TÁBLÁZAT: RÉTI FÖDÉM, HOSSZIRÁNYÚ SZIMULÁCIÓKBÓL SZÁMÍTOTT HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐK

## 5.1.3 ÚJLAKI FÖDÉM

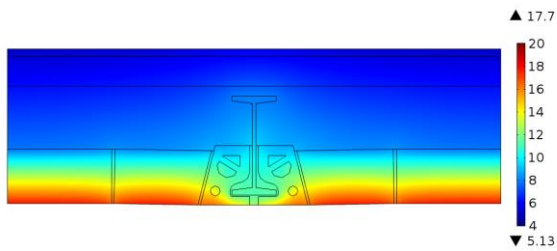


77. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM HOSSZMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

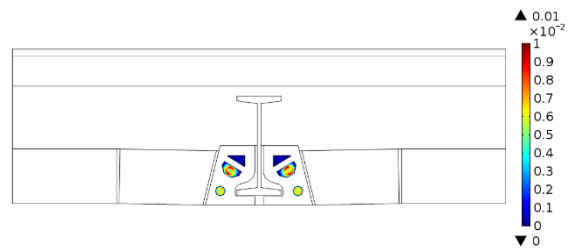

 78. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM HOSSZMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

	Átlag hőmérséklet	[K]	285	373	473	673	873	1473
		[°C]	12	100	200	400	600	1200
		Hőáramsűrűség védett oldalon [Wm <sup>-2</sup> ]						
Szerkezeti vastagság		[m]	24,805	40,368	54,362	59,147	57,079	22,544
Típus	Újlaki Födém	0,315	Hővezetési tényező [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]					
Rétegrend	Felületi ellenállás felül	-	24,820	31,029	42,804	86,697	166,788	733,109
	Acél	0,000	53,600	50,670	47,340	40,680	34,020	27,300
	Beton	0,075	1,971	1,766	1,553	1,191	0,915	0,600
	Fa	0,000	0,122	0,135	0,150	0,077	0,177	1,500
	Homok	0,130	2,000	2,000	2,000	1,667	1,333	0,250
	Kerámia	0,000	0,383	0,793	1,260	1,260	1,260	1,260
	Idomtest	0,110	0,269	0,551	0,883	1,048	1,242	1,776
	Felületi ellenállás alul	-	10,705	17,543	30,239	76,628	160,085	741,730

4. TÁBLÁZAT: ÚJLAKI FÖDÉM, HOSSZIRÁNYÚ SZIMULÁCIÓKBÓL SZÁMÍTOTT HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐK



79. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

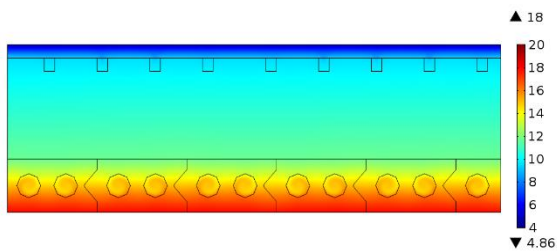


80. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM KERESZTMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

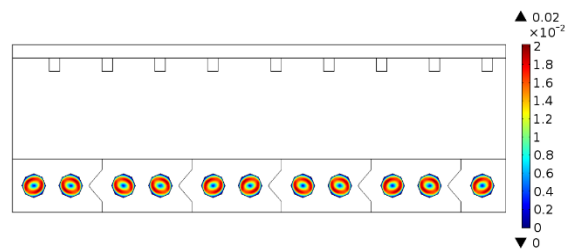
A keresztmetszeti szimulációból kapott hőáramsűrűségből számított átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező értéke homokfeltöltéssel, lap burkolattal beton alapon:

$$U = 2,036 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

### 5.1.4 GYENES FÖDÉM



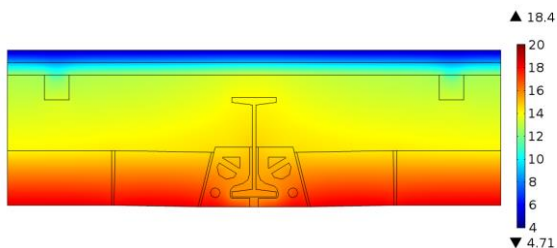
81. ÁBRA: GYENES FÖDÉM HOSSZMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]



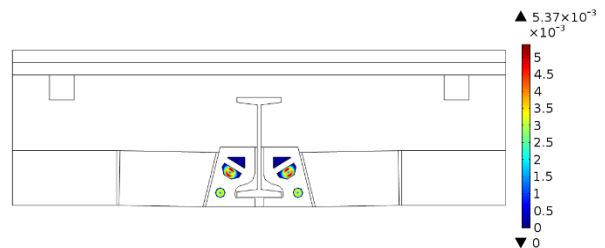
82. ÁBRA: GYENES FÖDÉM HOSSZMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

Átlag hőmérséklet		[K]	285	373	473	673	873	1473
		[°C]	12	100	200	400	600	1200
Szerkezeti vastagság		[m]	Hőáramsűrűség védett oldalon [Wm <sup>-2</sup> ]					
			22,252	31,059	38,857	29,207	42,984	20,184
Típus	Gyenes Födém	0,315	Hővezetési tényező [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]					
Rétegtrend	Felületi ellenállás felül	-	24,820	31,029	42,804	86,697	166,788	733,109
	Acél	0,000	53,600	50,670	47,340	40,680	34,020	27,300
	Beton	0,000	1,971	1,766	1,553	1,191	0,915	0,600
	Fa	0,030	0,122	0,135	0,150	0,077	0,177	1,500
	Homok	0,185	2,000	2,000	2,000	1,667	1,333	0,250
	Kerámia	0,000	0,383	0,793	1,260	1,260	1,260	1,260
	Idomtest	0,100	0,406	0,899	1,591	4,779	1,944	3,334
	Felületi ellenállás alul	-	10,705	17,543	30,239	76,628	160,085	741,730

5. TÁBLÁZAT: GYENES FÖDÉM, HOSSZIRÁNYÚ SZIMULÁCIÓKBÓL SZÁMÍTOTT HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐK



83. ÁBRA: GYENES FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

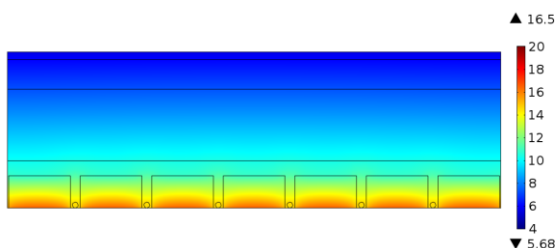


84. ÁBRA: GYENES FÖDÉM KERESZTMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

A keresztmetszeti szimulációból kapott hőáramsűrűségből számított átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező értéke homokfeltöltéssel, fa padozattal:

$$U = 1,222 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

### 5.1.5 HORCSIK FÖDÉM

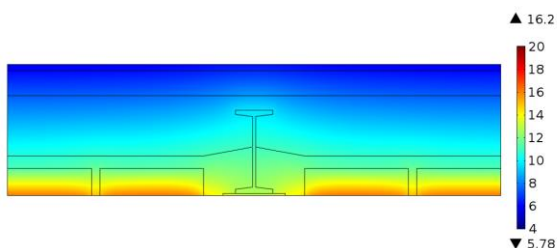


85. ÁBRA: HORCSIK FÖDÉM HOSSZMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

A horcsik földem hőszigetelési képessége relative kicsi, mivel a földemlemez kisméretű tömör téglából és betonból tevődik össze, így nincs légtömeg aminek szigetelőhatása volna.

	Átlag hőmérséklet	[K]	285	373	473	673	873	1473
		[°C]	12	100	200	400	600	1200
		Hőáramsűrűség védett oldalon [Wm <sup>-2</sup> ]						
Szerkezeti vastagság		[m]	42,084	54,898	65,073	63,848	55,537	19,794
Típus	<u>Horcsik Födém</u>	0,315	Hővezetési tényező [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]					
Rétegrend	Felületi ellenállás felül	-	24,820	31,029	42,804	86,697	166,788	733,109
	Acél	0,000	53,600	50,670	47,340	40,680	34,020	27,300
	Beton	0,105	1,971	1,766	1,553	1,191	0,915	0,600
	Fa	0,000	0,122	0,135	0,150	0,077	0,177	1,500
	Homok	0,145	2,000	2,000	2,000	1,667	1,333	0,250
	Kerámia	0,000	0,383	0,793	1,260	1,260	1,260	1,260
	Idomtest	0,065	<b>0,538</b>	<b>0,925</b>	<b>1,318</b>	<b>1,279</b>	<b>1,243</b>	<b>1,287</b>
	Felületi ellenállás alul	-	10,705	17,543	30,239	76,628	160,085	741,730

6. TÁBLÁZAT: HORCSIK FÖDÉM, HOSSZIRÁNYÚ SZIMULÁCIÓKBÓL SZÁMÍTOTT HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐK

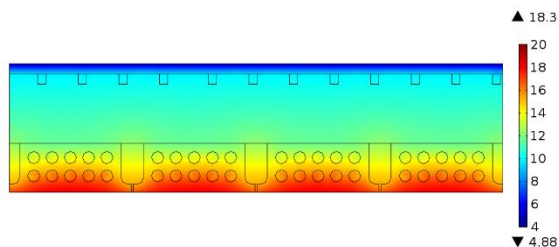


86. ÁBRA: HORCSIK FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

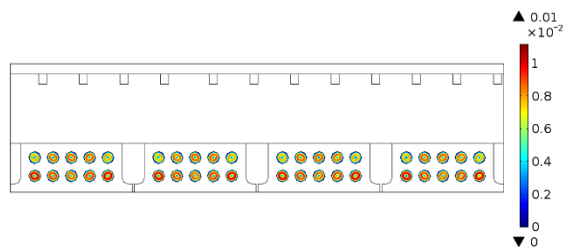
A keresztmetszeti szimulációból kapott hőáramsűrűségből számított átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező értéke homokfeltöltéssel, lap burkolattal beton alapon:

$$U = 2,980 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

### 5.1.6 NOVA FÖDÉM



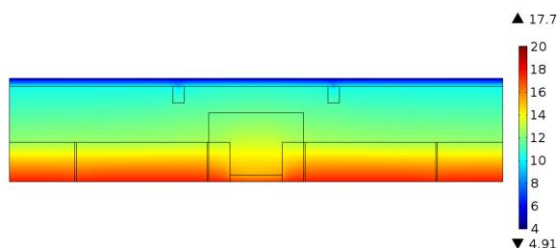
87. ÁBRA: NOVA FÖDÉM HOSSZMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]



88. ÁBRA: NOVA FÖDÉM HOSSZMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

Átlag hőmérséklet		[K]	285	373	473	673	873	1473
		[°C]	12	100	200	400	600	1200
Szerkezeti vastagság		[m]	Hőáramsűrűség védett oldalon [Wm <sup>-2</sup> ]					
			23,453	30,834	37,959	28,758	42,369	21,883
Típus	<u>Nova</u>	0,315	Hővezetési tényező [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]					
Rétegrend	Felületi ellenállás felül	-	24,820	31,029	42,804	86,697	166,788	733,109
	Acél	0,000	53,600	50,670	47,340	40,680	34,020	27,300
	Beton	0,000	1,971	1,766	1,553	1,191	0,915	0,600
	Fa	0,030	0,122	0,135	0,150	0,077	0,177	1,500
	Homok	0,165	2,000	2,000	2,000	1,667	1,333	0,250
	Kerámia	0,000	0,383	0,793	1,260	1,260	1,260	1,260
	Idomtest	0,120	0,546	0,960	1,453	2,893	1,671	2,477
	Felületi ellenállás alul	-	10,705	17,543	30,239	76,628	160,085	741,730

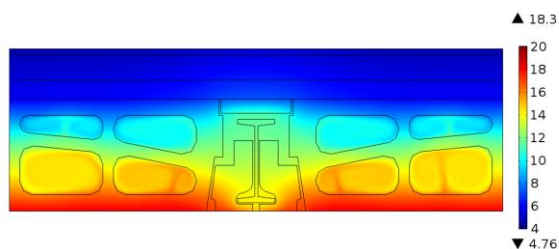
7. TÁBLÁZAT: NOVA FÖDÉM, HOSSZIRÁNYÚ SZIMULÁCIÓKBÓL SZÁMÍTOTT HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐK



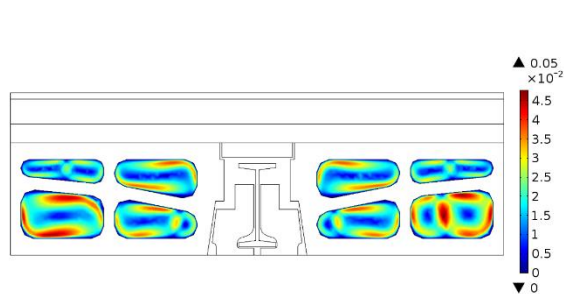
89. ÁBRA: NOVA FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

A keresztmetszeti szimulációból kapott hőáramsűrűségből számított átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező homokfeltöltéssel, fa padozattal:  $U = 1,611 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

### 5.1.7 CONTRASON FÖDÉM



90. ÁBRA: CONTRASON FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]



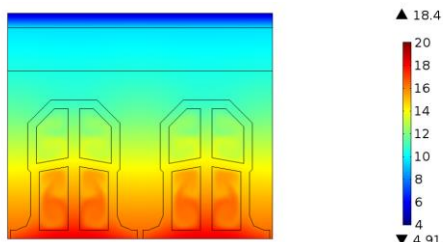
91. ÁBRA: CONTRASON FÖDÉM KERESZTMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

A 90. ábrán jól látható, hogy az üregekben örvények alakulnak ki, habár lamináris áramlással számoltunk de ilyen esetben is kialakulhatnak áramlási cellák. A sebességtér maximuma  $0,05 \text{ ms}^{-1}$ , így feltehetőleg lamináris az áramlás.

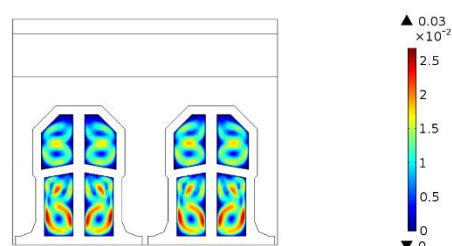
A keresztmetszeti szimulációból kapott hőáramsűrűségből számított átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező értéké homokfeltöltéssel, lap burkolattal beton alapon:

$$U = 1,442 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

### 5.1.8 PFEIFER FÖDÉM



92. ÁBRA: PFEIFER FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

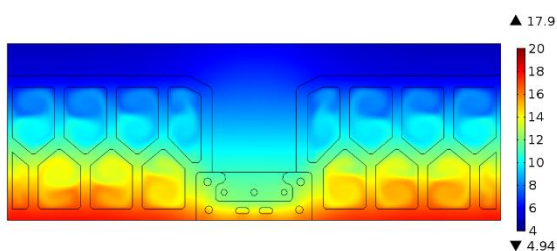


93. ÁBRA: PFEIFER FÖDÉM KERESZTMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

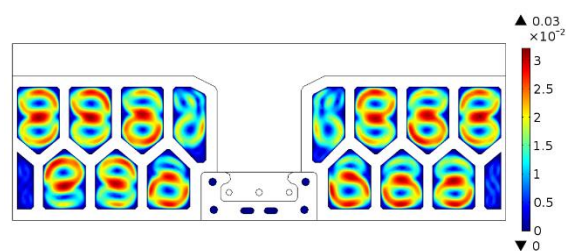
A keresztmetszeti szimulációból kapott hőáramsűrűségből számított átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező értéké homokfeltöltéssel, lap burkolattal beton alapon:

$$U = 1,414 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

### 5.1.9 BAKONYTHERM FÖDÉMRENDSZER



94. ÁBRA: BAKONYTHERM FÖDÉMRENDSZER KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

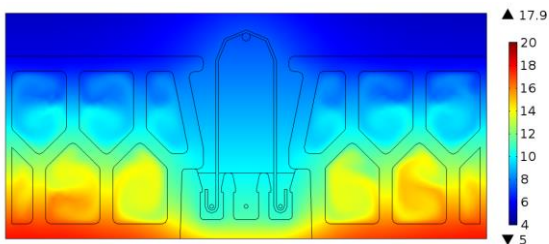


95. ÁBRA: BAKONYTHERM FÖDÉMRENDSZER KERESZTMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

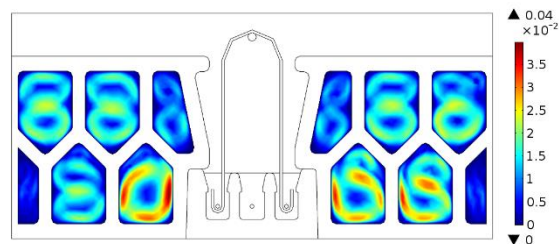
A keresztmetszeti szimulációból kapott hőáramsűrűségből számított átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező értéké a födémlemezre (béléstest+felbeton):

$$U = 1,870 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

### 5.1.10 POROTHERM FŐDÉMSZERKEZET



96. ÁBRA: POROTHERM FŐDÉMSZERKEZET  
KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]



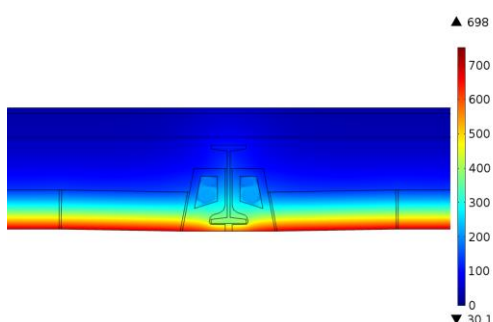
97. ÁBRA: POROTHERM FŐDÉMSZERKEZET  
KERESZTMETSZET, SEBESSÉG TÉR [ms<sup>-1</sup>]

A vizsgált keresztmetszet a leggyengébb keresztmetszet, mivel nincsen mindhol folytonosan jelen a felhajlított kengyel. A keresztmetszeti szimulációból kapott hőáramsűrűségből számított átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező értéke a fűtéslapra (béléstest+felbeton):

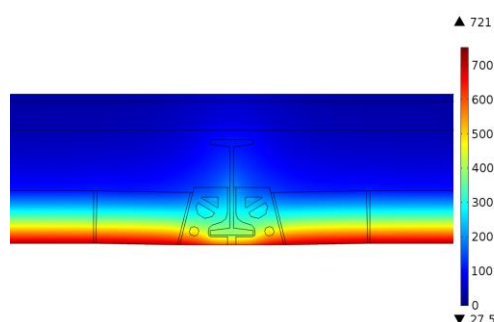
$$U = 2,133 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

## 5.2 TRANZIENS SZIMULÁCIÓK EREDMÉNYEI

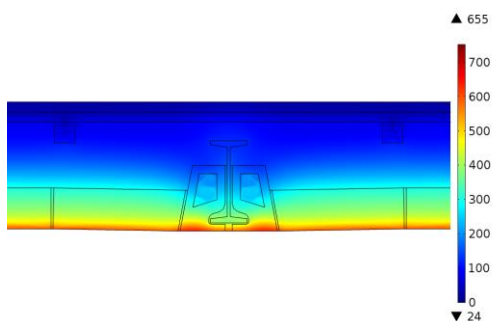
A tranziens szimulációkat 180 perces intervallummal futtattam minden egyes födém típus keresztmetszetére. Ennél az időpillanatnál az ISO 834 szerinti tűzgörbe 1110 °C-os. Ilyen hőmérsékleten az anyagok nagy része már tönkremegy, illetve a szerkezetek elvesztik állékonyságukat, de jelen feladatban hőtechnikai szempontból vizsgáltam a födémek átmelegedését és nem tartószerkezeti szempontból. A program minden 60 másodpercben letárolta az aktuális eredményeket. A 98-107 ábrákon ábrázoltam a 10800 másodpercnél a hőmérséklet eloszlás alakulását. A jobb összehasonlíthatóság alapjául mindegyik ábra 0-750 °C –os intervallumon lett ábrázolva.



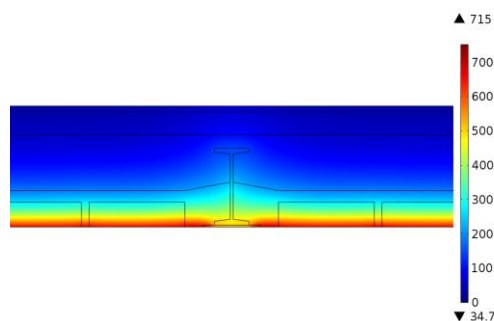
98. ÁBRA: BALÁS FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]



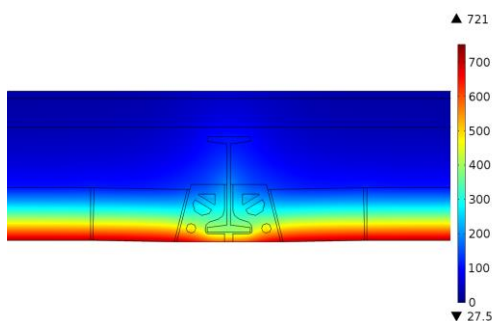
101. ÁBRA: GYENES FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]



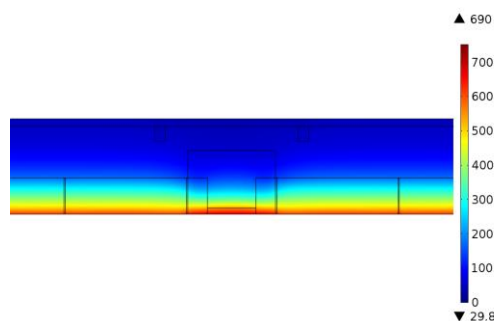
99. ÁBRA: RÉTI FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]



102. ÁBRA: HORCSIK FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

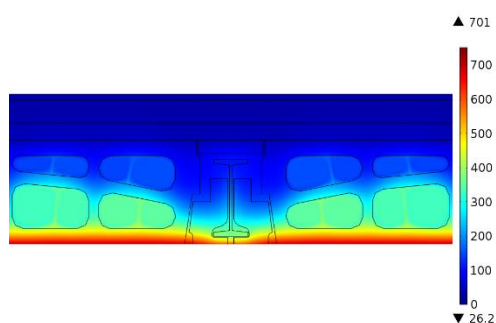


100. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

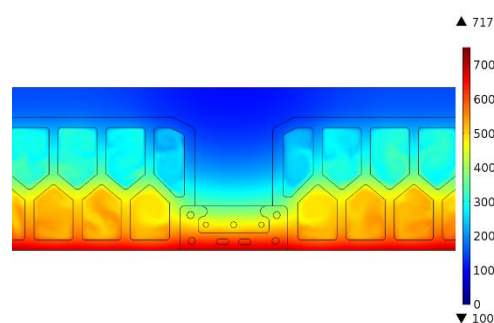


103. ÁBRA: NOVA FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

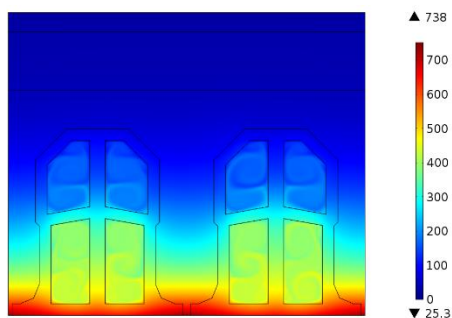




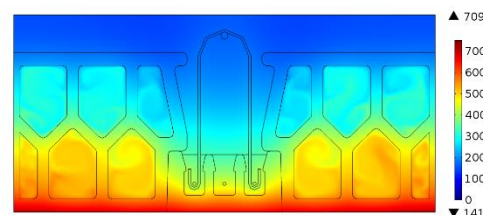
104. ÁBRA: : CONTRASON FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]



106. ÁBRA: BAKONYTHERM FÖDÉMRENDSZER KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]



105. ÁBRA: PFEIFER FÖDÉM KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

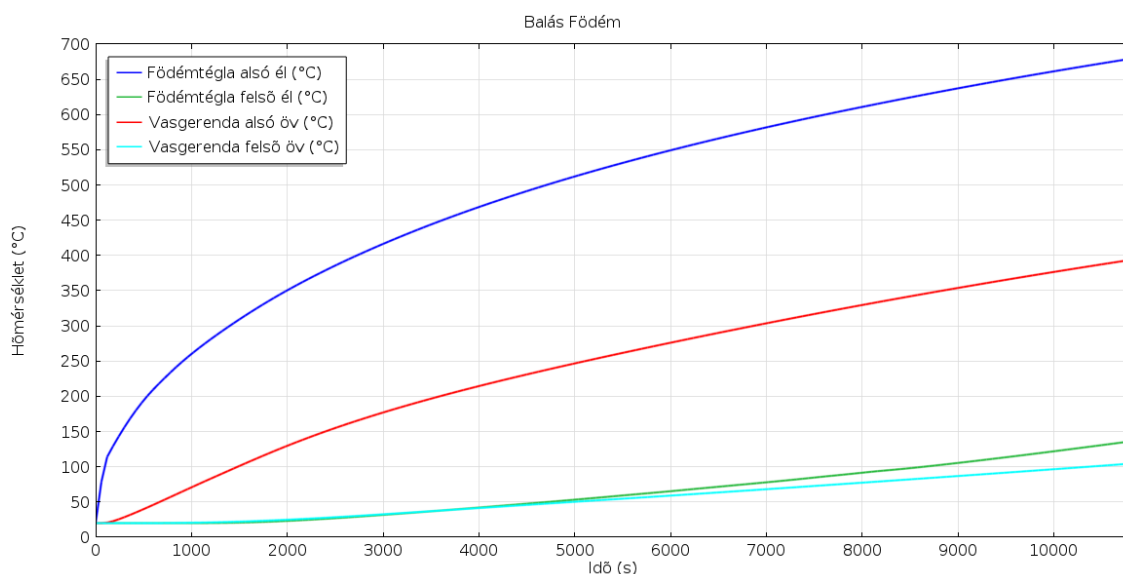


107. ÁBRA: POROTHERM FÖDÉMRENDSZER KERESZTMETSZET, HŐMÉRSÉKLET ELOSZLÁS [°C]

Az egyes fűdém típusok szimulációjaként kapott eredményeket hőmérséklet- idő diagramon ábrázoltam (108-117 ábrákon), ahol a szerkezet több jellegzetes „pontjának” hőmérséklete kirajzolódik az idő függvényében. Az említett jellegzetes „pontokon” a hőmérsékletet az adott vonalfelületen átlagolva kaptam meg. Ezek a jellegzetes pontok a következők:

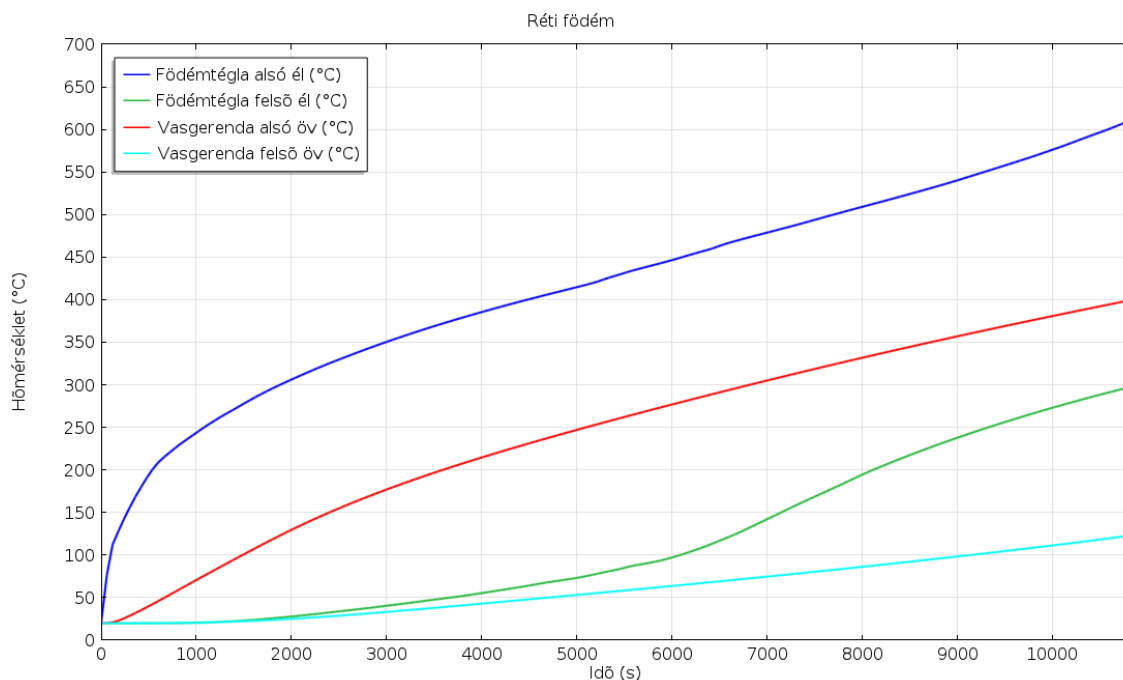
- fűdém téglák alsó él
- fűdém téglák felső él
- vasgerenda alsó öv
- vasgerenda felső öv
- fűdémtest alsó él
- fűdémtest felső él
- vasbeton gerenda vasbetét
- vasbeton gerenda felhajlított kengyel

Fűdémtest alatt értjük, hogy az adott rétegrend tovább már nem bontható roncsolás mentesen. A régebbi korból származó fűdémek nagy része háttöltéssel rendelkezik, amit esetleges felújítás, átalakítás során könnyen vissza tudunk bontani.



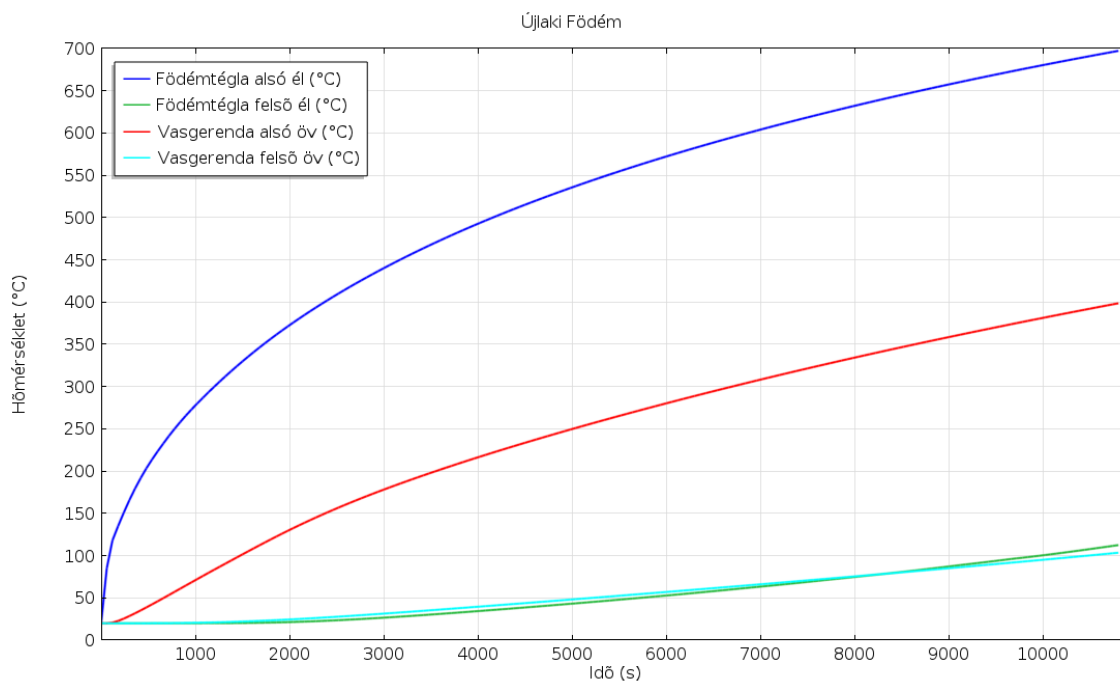
108. ÁBRA: BALÁS FÖDÉM , TRANZIENS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEINEK ÁBRÁZOLÁSA HŐMÉRSÉKLET-IDŐ DIAGRAMON

Legintenzívebb növekedést a födém alsó síkján tapasztalunk a tűzterhelés hatására, és a görbe felfutása ellaposodó. A vasgerenda alsó övének átmelegedése szinte egyenesen arányos az idő haladtával, hanyagabb közelítéssel egy egyenes is ráilleszthető lenne. A vasgerenda felső öve és a födémtegla felső éle a szabályzatban előírt (REI 90) tűz határték időpillanatában (5400 másodpercnél) 53 és 58 °C-osak.



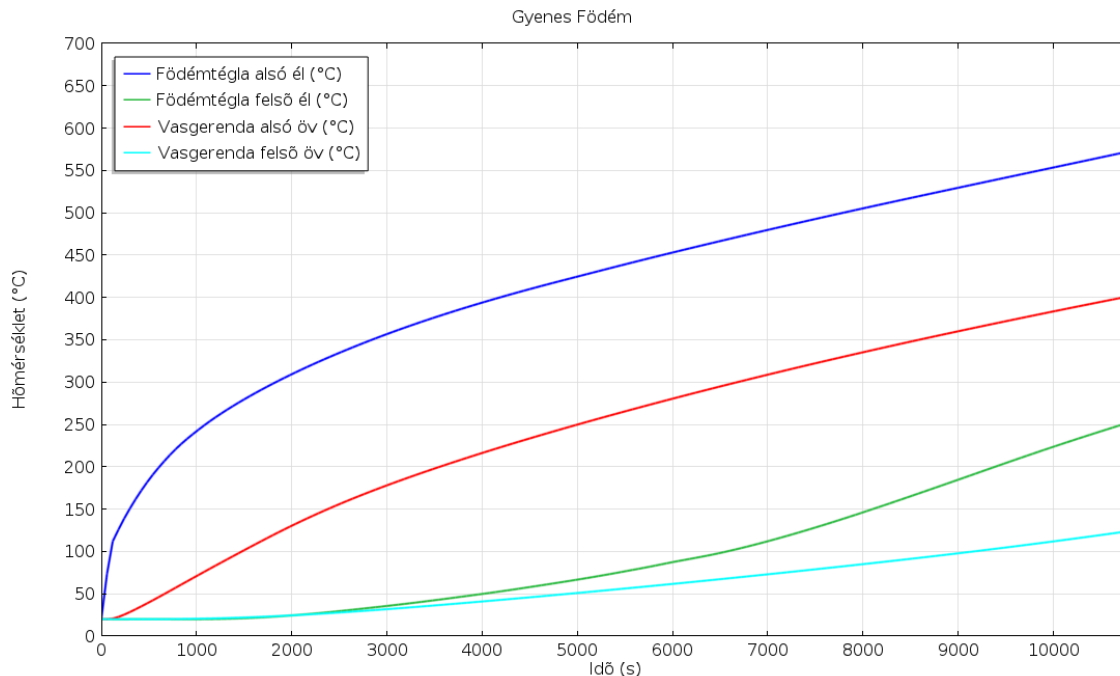
109. ÁBRA: RÉTI FÖDÉM , TRANZIENS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEINEK ÁBRÁZOLÁSA HŐMÉRSÉKLET-IDŐ DIAGRAMON

A réti födémnél a födémtegla alsó él 3000 másodperctől megközelítőleg lineáris. A födémtegla felső élén a 100. perctől intenzív emelkedés figyelhető meg. A vasgerenda hasonlóképpen melegszik mint a balás födémnél.

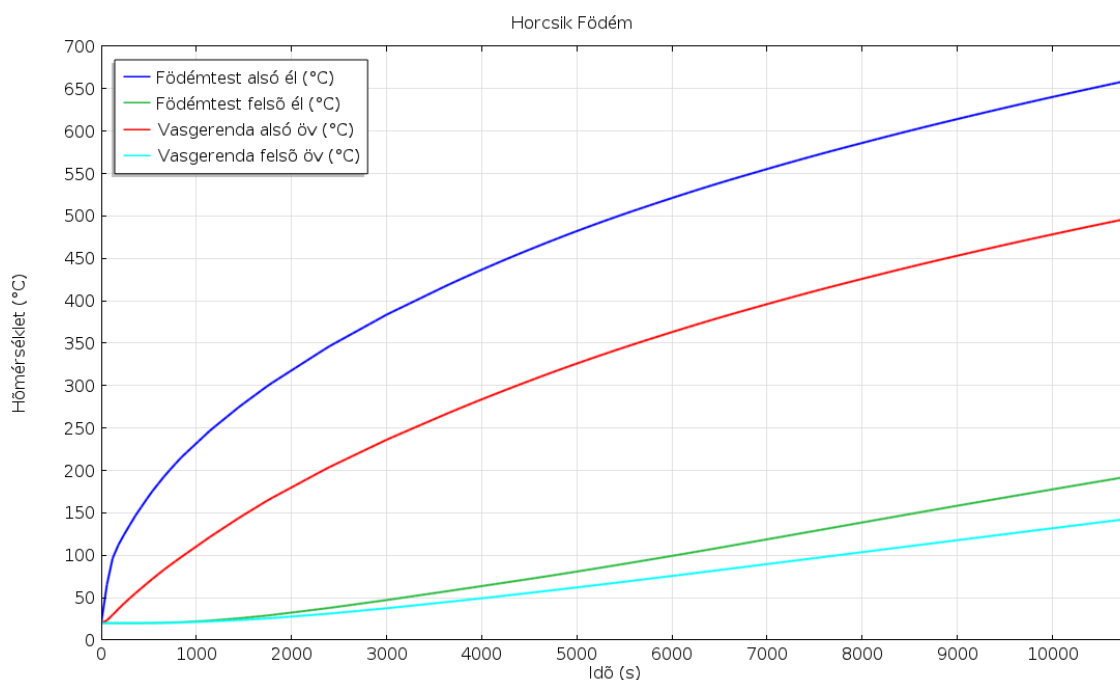


110. ÁBRA: ÚJLAKI FÖDÉM , TRANZIENS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEINEK ÁBRÁZOLÁSA HŐMÉRSÉKLET-IDŐ DIAGRAMON

A vasgerenda felső övének és a födémtégla felső övének a hőmérséklete megközelítőleg ugyanazon a függvényen változik, amely az előző két födémhez képest az orrtégla kialakításával magyarázható.

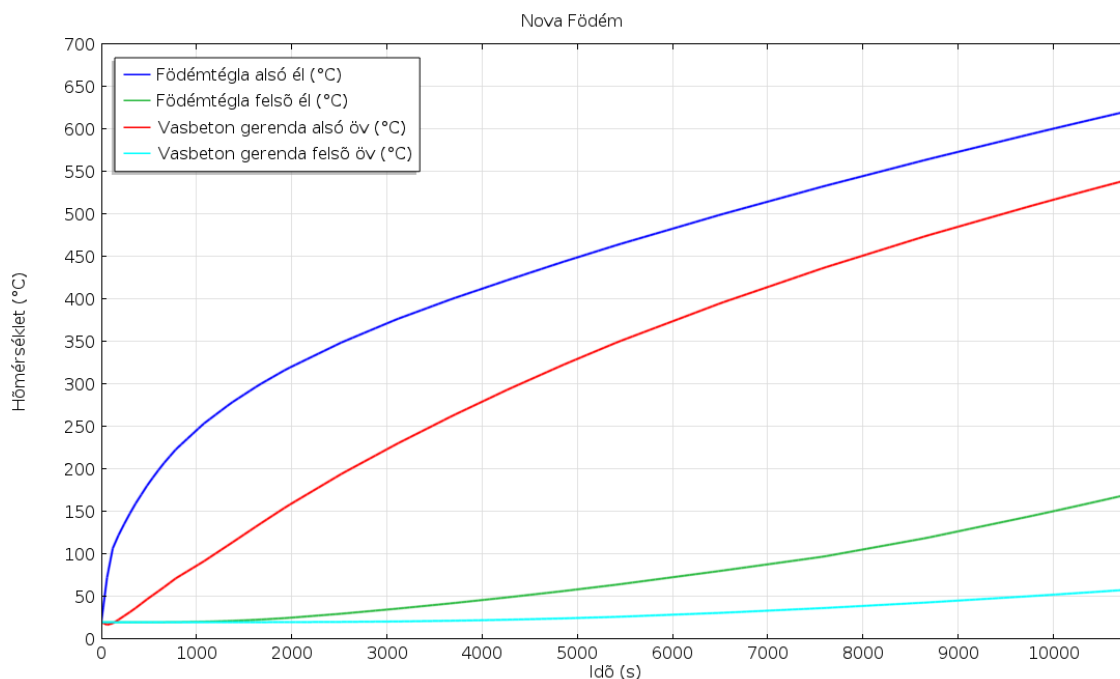


111. ÁBRA: GYENES FÖDÉM , TRANZIENS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEINEK ÁBRÁZOLÁSA HŐMÉRSÉKLET-IDŐ DIAGRAMON



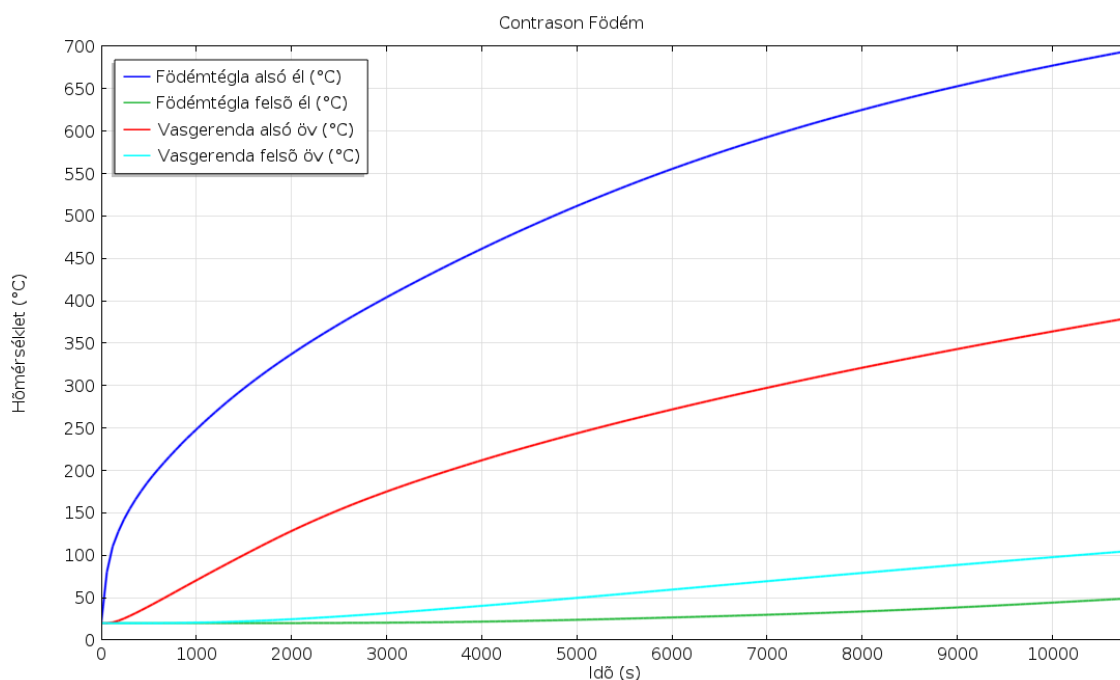
112. ÁBRA: HORCSIK FÖDÉM , TRANZIENS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEINEK ÁBRÁZOLÁSA HŐMÉRSÉKLET-IDŐ DIAGRAMON

A horcsik födémnél a födémtest alsó élének grafikonját és a vasgerenda alsó övének grafikonját érintő egyenes megközelítőleg azonos szöget zár be az x tengellyel. A vasgerenda alsó övének ilyen fokú melegedése magyarázható a csekély hőgátlásnak amit kerámia tetőcserép biztosít.



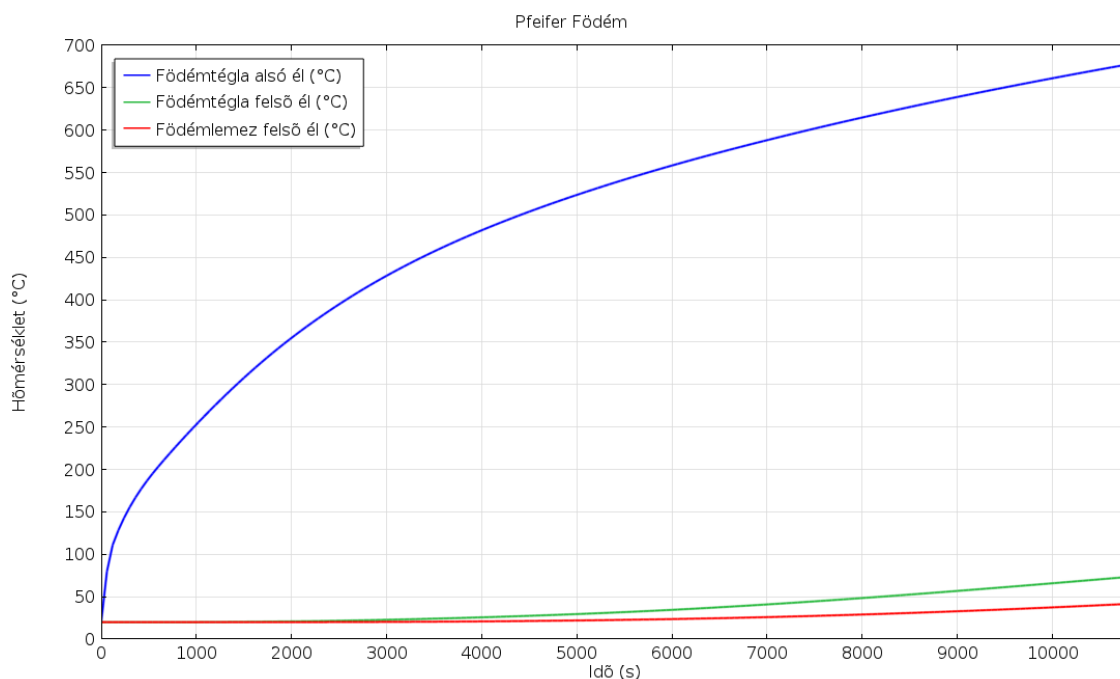
113. ÁBRA: NOVA FÖDÉM , TRANZIENS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEINEK ÁBRÁZOLÁSA HŐMÉRSÉKLET-IDŐ DIAGRAMON

Nova födémnél is megfigyelhető az alsó vasbeton gerenda hővédelmének hiánya, mivel itt is csak egy 2 cm vastag Nova kerámia alátétlemez található.

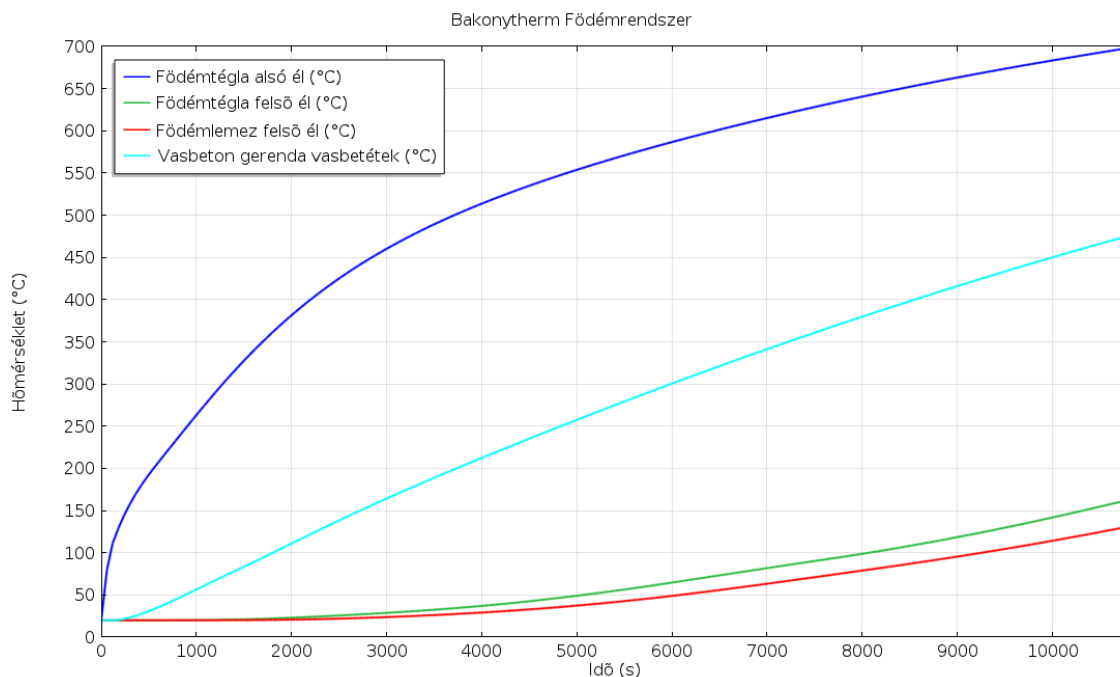


**114. ÁBRA: CONTRASON FÖDÉM , TRANZIENS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEINEK ÁBRÁZOLÁSA HŐMÉRSÉKLET-IDŐ DIAGRAMON**

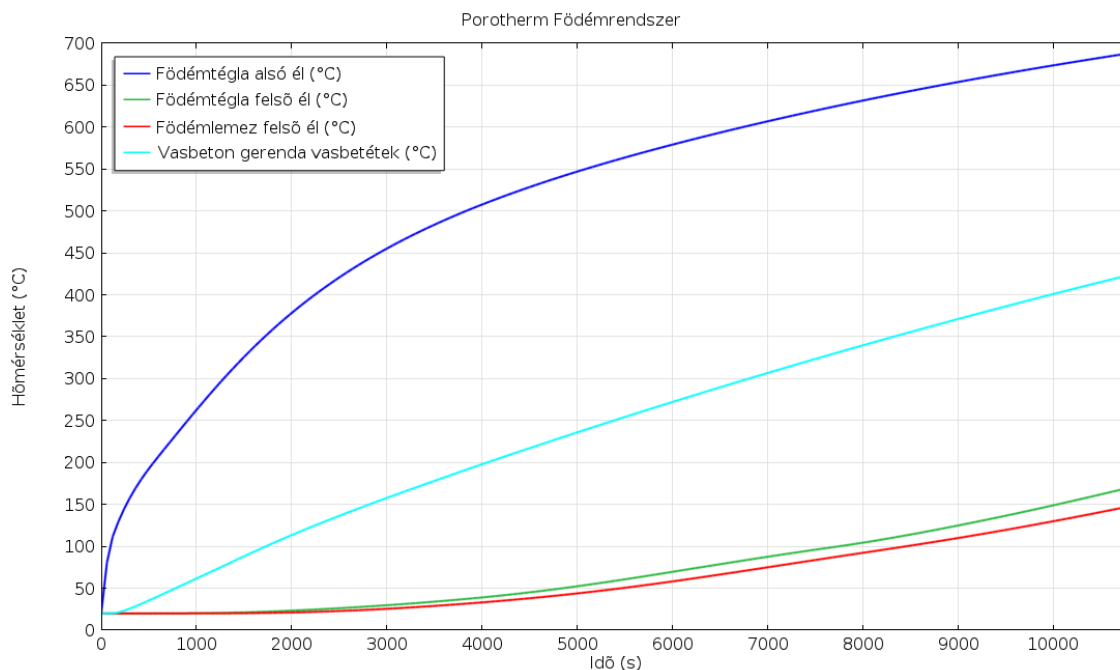
Contrason födémnél a vasgerenda felső övénél és a födémtégla felső élénél csak csekély melegedés tapasztalható a 5400 s tűzhatárérték elérésekor, viszont majdnem 500 °C a különbség a födémtégla alsó és felső éle között.



**115. ÁBRA: PFEIFER FÖDÉM , TRANZIENS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEINEK ÁBRÁZOLÁSA HŐMÉRSÉKLET-IDŐ DIAGRAMON**



**116. ÁBRA: BAKONYTHERM FŰDÉMRENDSZER , TRANZIENS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEINEK ÁBRÁZOLÁSA HŐMÉRSÉKLET-IDŐ DIAGRAMON**

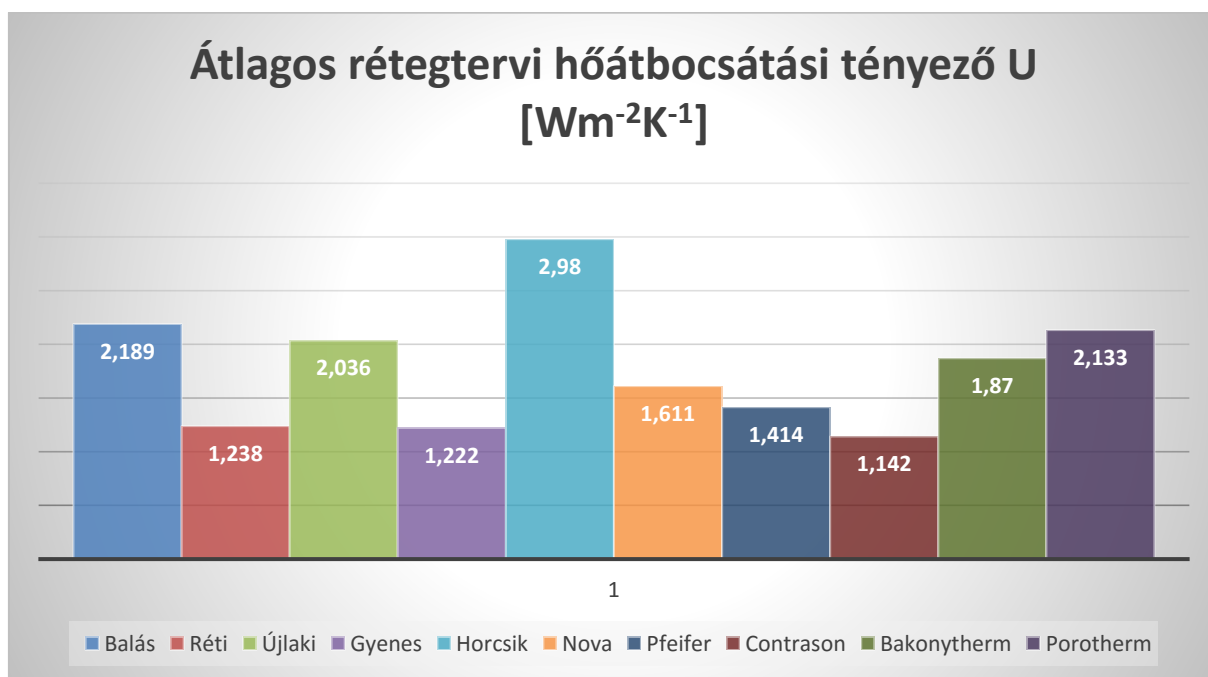


**117. ÁBRA: POROTHERM FŰDÉMRENDSZER , TRANZIENS SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEINEK ÁBRÁZOLÁSA HŐMÉRSÉKLET-IDŐ DIAGRAMON**

A két korszerű fűdémrendszernél az átmelegedés tendenciája hasonló, viszont a bakonytherm fűdémrendszerrel az acélbetét jobban felmelegszik.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

- Dolgozatomban kerámia béléstartes fűdémszerkezetek általános rétegtervi hőátbocsátási tényezőit végelelemes stacioner kapcsolt hő és áramlási szimulációk segítségével, nemlineáris, szabványos, hőmérsékletfüggő anyagmodellek alkalmazásával határoztam meg a vonatkozó Magyar és harmonizált Európai Uniói Szabványok alkalmazásával.
- Stacioner állapotban mind keresztirányú mind hosszirányú (amennyiben az az adott fűdémrendszerre elkülöníthető volt) vizsgáltam, melyek alapján a két dimenziós szimulációk eredményeiből a fűdémrendszerre jellemző rétegtervi hőátbocsátási tényezők összekomponálhatóvá váltak.
- A szimulációk eredményét dolgozatomban részletesen elemeztem, a rétegtervi hőátbocsátási tényezőket az alábbi ábrán foglalom össze:



118. ÁBRA: ÁTLAGOS RÉTEGTERVI HŐÁTBOCSÁTÁSI TÉNYEZŐ U [WM<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>]

- Végelelemes stacioner kapcsolt hő és áramlási szimulációk segítségével meghatároztam a vizsgált fűdémrendszerek béléstartes elemeinek hőmérsékletfüggő egyenértékű hővezető képességét emelt hőmérsékleti tartományokban.
- Tranziens állapotban vizsgáltam a bemutatott fűdémszerkezeti rendszereket időben változó nem lineáris peremfeltételekkel kiegészített kapcsolt hő- és áramlási modellek segítségével. A vizsgált fűdémrendszerek kitüntetett pontjainak hőmérséklet változását grafikonokon szemléltettem szabványos tűzterhelés esetén.
- A dolgozatomban végzett vizsgálatok hozzájárulnak a hagyományos épületszerkezetek tűzvédelmi besorolásához.



## 7. IRODALOMJEGYZÉK

- Bojtár, I., & Gáspár, Z. (2003). *Végelelem módszer éiptómérnököknek*. Budapest: TERC.
- Paláncz, B. (2007). *Éiptómérnöki Informatika*.
- Barcsay, J (1994) *Hagyományos födémszerkezetek*
- Nagy, B. ;Dr. Tóth E; Dr. Horváth L. (2015) *Csarnokok épület- és tűzvédő burkolatainak hatása a tartószerkezet felmelegedésére tűz esetén. Acélszerkezetek 2015/1.*
- Comsol Multiphysics Manual (2014)
- Lajos, T. (2015) *Az Áramlástan Alapjai. Budapest: Egyetemi tankönyv*
- Sterner,E., Wickström, U. (1990) TASEF - Temperature analysis of structures exposed to fire, Swedish National Testing Institute
- MSZ EN 1990 „A tartószerkezetek tervezésének alapjai”
- MSZ EN 1991-1-2 Eurocode 1: A tartószerkezetet érő hatások  
„Általános hatások. A tűznek kitett szerkezeteket érő hatások”
- MSZ EN 1992-1-2 Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése  
„Általános szabályok. Szerkezetek tervezés tűzhatásra”
- MSZ EN 1993-1-2 Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése  
„Általános szabályok. Szerkezetek tervezés tűzhatásra”
- MSZ EN 1995-1-2 Eurocode 5: Faszervezetek tervezése  
„Általános szabályok. Szerkezetek tervezés tűzhatásra”
- MSZ EN 1996-1-2 Eurocode 6: Falazott szerkezetek tervezése  
„Általános szabályok. Szerkezetek tervezés tűzhatásra”
- MSZ EN 1745:2012 "Falazatok és falazati termékek. A hőtechnikai tulajdonságok meghatározásának módszerei"
- MSZ EN ISO 10211 „Hőhidak az épületszerkezetekben, Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások”
- MSZ EN ISO 10456 „Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok. Táblázatos tervezési értékek, eljárások a minősítési és a tervezési hőtechnikai értékek meghatározására”
- MSZ EN ISO 13370 „Épületek hőtechnikai viselkedése. Hőátvitel a talajban. Számítási módszerek”
- MSZ EN ISO 6946 „Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszer”