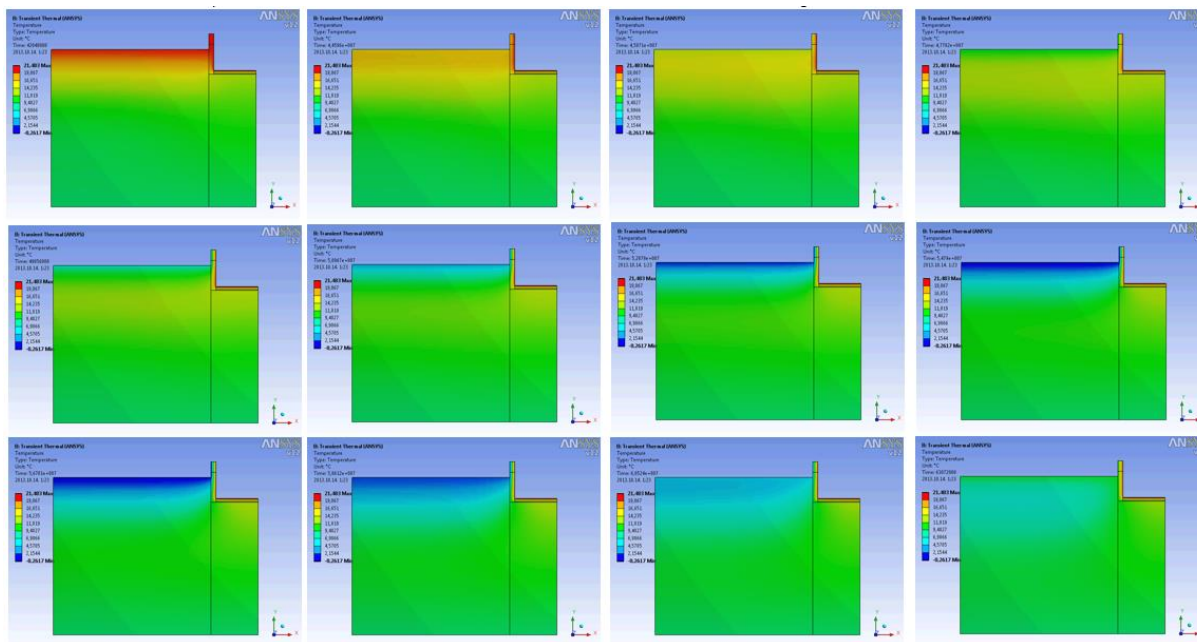




BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR  
MAGASÉPÍTÉSI TANSZÉK

# Talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai modellezésének lehetőségei



TDK Dolgozat

NAGY BALÁZS

Konzulens:

*Dr. Csanaky Judit Emília*, egyetemi adjunktus

*Dr. Tóth Elek DLA*, ny. egyetemi docens

Budapest, 2013.10.25.



## ELŐSZÓ

*Tisztelt Olvasó!*

*Legyen szó épületenergetikai tanúsításról, épületgépészeti méretezésről vagy az épületszerkezetek állagvédelméről, az egyes épülethatároló szerkezetek hőveszteségeinek ismerete elengedhetetlenül szükséges, és a további számítások alapját jelenti. Jelenleg azonban az egyszerű számítási módszerek állnak nyerésre a pontosabb, ám összetettebb épületfizikai ismereteket megkövetelő megoldásokkal szemben. A szerző reméli, hogy ez az állapot már nem tart sokáig, és e végett készült ez a kutatás is. Ugyanakkor nem várhatjuk el, hogy egy épületenergetikai tanúsítás akár hetekig tartson a bonyolult számítások és szimulációk miatt. Szükség van egy módszerre, mellyel a számítási eredmények még kellő pontosságúak maradnak, és a felhasználó sem tölt több időt az elvégzésükkel, mintha a jelenlegi egyszerű módszerekkel végezné azokat.*

*A megoldást véleményem szerint az jelentheti, hogy a kutatók a valóságos állapotokat minél inkább megközelítő modellek szimulációját a felhasználók helyett elvégzik, és olyan szintűre egyszerűsítik az eredményeket (azok pontosságának csökkenését minél jobban elkerülve), hogy az bárki számára emészthető és könnyedén felhasználható legyen. Az egyszerűsített számítás tehát a valóságos állapotok feldolgozása és leírása legyen egyszerűsített nyelvezeten, mintsem egy leegyszerűsített, emberek által meghatározott állapot valóságosnak nyilvánítása.*

*Hiszek abban, hogy az általunk önkényesen felvett értékek helyett a valóság modellezése és közelítése bár nehezebben járható út, de az eredmények pontosságának szempontjából megtérülő befektetés.*

\* \* \*

Szeretném megköszönni konzulenseimnek, Dr. Csanaky Judit Emília egyetemi adjunktusnak és Dr. Tóth Elek DLA ny. egyetemi docensnek a dolgozat elkészítéséhez elengedhetetlen szakmai tanácsait és segítségüket. Szeretném továbbá megköszönni Dr. Medgyasszay Péter egyetemi docensnek az általa nyújtott információkat, valamint Kotek Szabolcsnak, az Épületfizika Labor munkatársának a segítségét. Nem utolsósorban pedig szeretném megköszönni a BME Magasépítési Tanszékének és Épületfizika Laboratóriumának, hogy eszközeiket használhattam a kutatásom során.

*Budapest, 2013.10.25.*

*Nagy Balázs*

## TARTALOMJEGYZÉK

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Előszó .....                                                                 | 1  |
| Tartalomjegyzék .....                                                        | 2  |
| Ábrajegyzék.....                                                             | 5  |
| Jelölések jegyzéke .....                                                     | 7  |
| 1. Absztrakt .....                                                           | 10 |
| 2. Summary .....                                                             | 12 |
| 3. Bevezetés.....                                                            | 14 |
| 3.1. A hőtechnikai számításokról, modellezésről .....                        | 14 |
| 3.2. Iránymutatások .....                                                    | 15 |
| 3.3. Célkitűzések.....                                                       | 17 |
| 4. Szakirodalmi áttekintés, alapismeretek .....                              | 18 |
| 4.1. A talajjal érintkező szerkezetek számítási eljárásainak bemutatása..... | 18 |
| 4.1.1. Numerikus módszerek.....                                              | 18 |
| 4.1.2. Analitikus módszerek .....                                            | 19 |
| 4.1.3. Fél-analitikus módszerek.....                                         | 20 |
| 4.2. A hazánkban alkalmazott számítási módszerek bemutatása.....             | 20 |
| 4.2.1. Az MSZ-04-140 szabványok módszerei.....                               | 20 |
| 4.2.1.1. MSZ-04-140/3 – 1978.....                                            | 21 |
| 4.2.1.2. MSZ-04-140/3 – 1987 .....                                           | 21 |
| 4.2.1.3. MSZ-04-140/2 – 1991 .....                                           | 23 |
| 4.2.2. Az MSZ EN 832 számítási módszere .....                                | 24 |
| 4.2.3. A 7/2006. TNM rendelet táblázatos módszere.....                       | 25 |
| 4.2.3.1. A 40/2012. BM Rendelet a módosításról .....                         | 27 |
| 4.2.3.2. A 1246/2013. Korm. határozat a módosításról .....                   | 27 |
| 4.2.4. Az MSZ EN ISO 13370:2008 Szabvány számítási módszerei .....           | 28 |
| 4.2.4.1. Talajon fekvő földszinti padlók hővesztesége.....                   | 28 |
| 4.2.4.2. Fűtött pince hővesztesége.....                                      | 30 |
| 4.2.5. Szimulációs módszerek.....                                            | 32 |
| 4.2.5.1. Véges differenciámódszer .....                                      | 32 |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.5.2. Végeselem módszer .....                                             | 33 |
| 4.3. A jelenleg hazánkban elterjedt számítási módszerek hiányosságai .....   | 34 |
| 4.4. A modellezés és a valóság kapcsolata.....                               | 35 |
| 4.5. Magyarország éghajlata .....                                            | 35 |
| 4.5.1. Éves átlagos napi középhőmérséklet .....                              | 36 |
| 4.5.2. Szélsebesség .....                                                    | 37 |
| 4.6. Magyarország talaja.....                                                | 38 |
| 5. Új számítási lehetőség talajjal érintkező szerkezetek modellezésére ..... | 40 |
| 5.1. A számítási eljárás módszertana.....                                    | 40 |
| 5.1.1. Tranziens végeselem módszer alkalmazása .....                         | 41 |
| 5.1.2. Geometriai modell létrehozása .....                                   | 42 |
| 5.1.3. Anyagtulajdonságok kiválasztása .....                                 | 44 |
| 5.1.4. Külső hőmérsékletfüggvény megalkotása, peremfeltételek.....           | 46 |
| 5.1.4.1. Külső oldali peremfeltételek .....                                  | 46 |
| 5.1.4.2. Belső oldali peremfeltételek .....                                  | 47 |
| 5.1.4.3. Talajhőmérséklet .....                                              | 48 |
| 5.1.5. A végeselemes háló .....                                              | 48 |
| 5.1.6. A szimulációk futtatása és eredményei .....                           | 49 |
| 5.1.7. A vonalmenti hőátbocsátási tényezők számítása .....                   | 51 |
| 5.1.8. A vonalmenti hőátbocsátási tényezők összefüggése .....                | 53 |
| 5.1.9. Korrekciós tényezők szükségessége.....                                | 55 |
| 5.1.10. Korrekciós tényezők számítása.....                                   | 56 |
| 5.1.10.1. Külső hőmérsékleti korrekció .....                                 | 58 |
| 5.1.10.2. Talaj-összetételi korrekció .....                                  | 59 |
| 5.1.10.3. Külső hőmérséklet és talaj-összetételi korrekció.....              | 60 |
| 5.1.10.4. Padló szerkezet felépítése miatti korrekció.....                   | 60 |
| 5.1.10.5. Padlóhossz változás miatti korrekció .....                         | 61 |
| 5.1.10.6. További korrekciós tényezők lehetőségei.....                       | 62 |
| 5.1.11. Vonalmenti hőátbocsátási tényező korrigált értékének számítása...    | 63 |
| 5.1.12. Belső kerület hosszának korrekciója .....                            | 63 |
| 5.1.12.1. Pozitív sarok .....                                                | 64 |

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.12.2. Negatív sarok.....                                                                                                                                 | 66 |
| 5.2. A számítás menete .....                                                                                                                                 | 67 |
| 5.3. Eredmények összehasonlítása.....                                                                                                                        | 68 |
| 5.3.1. I. éghajlati zóna és homokos talaj, $z = 0,5$ m és $U_{\text{padló}} = 0,5$ W/m <sup>2</sup> K.....                                                   | 68 |
| 5.3.2. Agyagos, iszapos talaj, $z = 0$ m és $U_{\text{padló}} = 0,4$ W/m <sup>2</sup> K.....                                                                 | 69 |
| 5.3.3. II. éghajlati zónában fekvő épület, $z = -1,5$ m, $U_{\text{padló}} = 0,15$ W/m <sup>2</sup> K és $U_{\text{pincefal}} = 0,3$ W/m <sup>2</sup> K..... | 69 |
| 5.3.4. 32 m belső területű, négyzet alapú épület, $z = 0,25$ m és $U_{\text{padló}} = 0,3$ W/m <sup>2</sup> K.....                                           | 70 |
| 6. Talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeit számító szoftver bemutatása.....                                                                            | 71 |
| 6.1. A szoftver leírása.....                                                                                                                                 | 71 |
| 6.2. A kezelőfelület bemutatása .....                                                                                                                        | 72 |
| 6.2.1. Hőátbocsátási tényező számítása .....                                                                                                                 | 73 |
| 6.2.2. Adatok megadása és a követelmények kiválasztása .....                                                                                                 | 73 |
| 6.2.3. Korrekciós körülmények beállítása .....                                                                                                               | 74 |
| 6.2.4. A számítás elvégzése és eredmények .....                                                                                                              | 74 |
| 6.2.5. A szoftver ellenőrző funkciói .....                                                                                                                   | 75 |
| 6.3. A szoftver futása és eredményei .....                                                                                                                   | 75 |
| 7. Összegzés.....                                                                                                                                            | 76 |
| 7.1. Megállapítások, eredmények, javaslatok.....                                                                                                             | 76 |
| 8. Források .....                                                                                                                                            | 79 |
| 9. Mellékletek .....                                                                                                                                         | 83 |

## ÁBRAJEGYZÉK

|                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ábra: Hőáramok feltételezett útvonala [Latta és Boileau 1969] .....                                                                                                                                                                                         | 19 |
| 2. ábra: Az MSZ-04-140/3 – 1987 szabvány talajjal érintkező szerkezeteire vonatkozó táblázatok magyarázó ábrája.....                                                                                                                                           | 22 |
| 3. ábra: Az MSZ-04-140/2 – 1991 szabvány talajjal érintkező padlószerkezet magyarázó ábrája .....                                                                                                                                                              | 23 |
| 4. ábra: Szigetelősáv elhelyezés 1 m hosszon a padlószerkezet alatt vagy a lábazon. ....                                                                                                                                                                       | 23 |
| 5. ábra: Az MSZ EN ISO 13370 szerinti talajon fekvő padlószerkezet modellje .....                                                                                                                                                                              | 28 |
| 6. ábra: A talajon fekvő padlók és falszerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezői különféle szerkezeti kialakítások esetén az MSZ EN ISO 14683 alapján .....                                                                                                 | 30 |
| 7. ábra: Az MSZ EN ISO 13370 szerinti fűtött pince modellje .....                                                                                                                                                                                              | 30 |
| 8. ábra: Diszkertizált geometriai modell talajon fekvő padló és falsarok szimulációjakor, VDM alkalmazása esetén [Blomberg 1996] .....                                                                                                                         | 32 |
| 9. ábra: Végeselemes felbontás háromszögelemekkel 2D VEM alkalmazásakor, Psi-Therm szoftverrel [Nagy 2013] .....                                                                                                                                               | 33 |
| 10. ábra: Talajhőmérséklet éves vázlatos diagramja [foek.hu] .....                                                                                                                                                                                             | 34 |
| 11. ábra: Talajjal érintkező pincefal és padló nagymodell kísérleten mért felületi hőmérsékleteinek és kétdimenziós dinamikus hőtechnikai szimuláció útján számított eredmények összehasonlítása egy éves periódus figyelembevételével [Rees et al. 2007]..... | 35 |
| 12. ábra: Az évi átlagos középhőmérséklet Magyarországon az 1971-2000 közötti időszak alapján. [www.met.hu].....                                                                                                                                               | 36 |
| 13. ábra: Az évi átlagos szélsőségek (m/s) és az uralkodó szélirányok Magyarországon. [www.met.hu] .....                                                                                                                                                       | 37 |
| 14. ábra: Hazánk talajainak fizikai félesége [enfo.agt.bme.hu].....                                                                                                                                                                                            | 38 |
| 15. ábra: Tranziens szimuláció összeállítása ANSYS végeselemes szoftverben .....                                                                                                                                                                               | 41 |
| 16. ábra: Az egyik geometriai modell, a peremfeltételek jelölésével .....                                                                                                                                                                                      | 43 |
| 17. ábra: A padló U értékei és a hozzá tartozó hőszigetelő réteg vastagságok .....                                                                                                                                                                             | 44 |
| 18. ábra Anyagtulajdonságok .....                                                                                                                                                                                                                              | 45 |
| 19. ábra: Napi átlagos középhőmérsékletek 50 éves adatsorokból és függvényből, I. éghajlati zóna.....                                                                                                                                                          | 46 |
| 20. ábra: Geometriai modell végeselemes felbontása.....                                                                                                                                                                                                        | 48 |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 21. ábra: Tranziens szimuláció változói és beállításai .....                                                     | 49 |
| 22. ábra: Hőveszteségek egy modell esetében szerkezetenként .....                                                | 50 |
| 23. ábra: Hőmérséklet eloszlás a talajban és a kapcsolódó szerkezetekben a fűtési<br>idény alatt .....           | 51 |
| 24. ábra: Talajjal érintkező szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezői .....                                 | 52 |
| 25. ábra: Logaritmusos összefüggés a szimulált értékek között $z = -3$ m és $+0,25$ m<br>között. ....            | 53 |
| 26. ábra: A logaritmusos összefüggés együtthatóinak változása „ $z$ ” függvényében..                             | 54 |
| 27. ábra: Korrekciós vizsgálatok eredményeinek összehasonlítása $z = 0$ m esetén .....                           | 55 |
| 28. ábra: A vizsgálatok eredményei grafikusán ábrázolva .....                                                    | 56 |
| 29. ábra: Az éves átlagos középhőmérséklet $1$ K-el való csökkenése esetén az értékek<br>nagyobbak lesznek ..... | 57 |
| 30. ábra: Korrekciós tényező számításához szükséges vizsgálatok .....                                            | 57 |
| 31. ábra: II. éghajlati zóna és a hőmérsékletet jellemző „Függvény 9,5” .....                                    | 58 |
| 32. ábra: Talajok hőtechnikai tulajdonságai az MSZ EN ISO 13370 alapján.....                                     | 59 |
| 33. ábra: Alsó szigetelésű padló felépítésének modellje $z = -2$ m esetén.....                                   | 61 |
| 34. ábra: Talajjal érintkező szerkezetek transzmissziós hőveszteségei a geometria<br>függvényében.....           | 63 |
| 35. ábra: Transzmissziós hőveszteségek grafikusán ábrázolva .....                                                | 64 |
| 36. ábra: 8 m-es belső kerületű pozitív sarok geometriai modellje .....                                          | 64 |
| 37. ábra: Logaritmusos összefüggések hányadosainak változása.....                                                | 65 |
| 38. ábra: 8 m-es belső kerületű negatív sarok geometriai modellje .....                                          | 66 |
| 39. ábra: Negatív sarok hőveszteségeinek hibája.....                                                             | 67 |
| 40. ábra: Talajjal érintkező szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezőjét számító<br>szoftver .....           | 72 |
| 41. ábra: Hőátbocsátási tényező számítása .....                                                                  | 73 |
| 42. ábra: Adatok megadása és követelményértékek kiválasztása .....                                               | 73 |
| 43. ábra: Korrekciós tényezők beállítása .....                                                                   | 74 |
| 44. ábra: Eredmények.....                                                                                        | 74 |
| 45. ábra: Adatok ellenőrzése .....                                                                               | 75 |

## JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

Latin betűk

| Jelölés   | Megnevezés, megjegyzés, érték                                                          | Mértékegység |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| $A$       | Terület                                                                                | $m^2$        |
| $B'$      | Segédmennység, a padló területe és a kerület felének hányadosa                         | $m$          |
| $c_p$     | Fajlagos hőkapacitás, állandó nyomáson                                                 | $J/kgK$      |
| $d$       | Rétegvastagság                                                                         | $m$          |
| $d_t$     | Egyenértékű padlóvastagság                                                             | $m$          |
| $d_w$     | Egyenértékű falvastagság                                                               | $m$          |
| $H$       | Hővesztéstartényező                                                                    | $W/K$        |
| $h$       | Hőszigetelő anyag vastagsága                                                           | $m$          |
| $h_{ci}$  | Konvekciós hőátadási tényező                                                           | $W/m^2K$     |
| $H_g$     | Padló szerkezet transzmissziós hővesztése                                              | $W/K$        |
| $H_T$     | Transzmissziós hővesztéstartényező                                                     | $W/K$        |
| $H_V$     | Szellőzési hővesztéstartényező                                                         | $W/K$        |
| $k$       | Hőátbocsátási tényező (rég jelölés)                                                    | $W/m^2K$     |
| $K$       | Kerület                                                                                | $m$          |
| $k_l$     | Padló kerületére vonatkozó vonalmenti hőátbocsátási tényező                            | $W/mK$       |
| $l$       | Hossz                                                                                  | $m$          |
| $L_{3D}$  | Szimulációval számított hővesztés                                                      | $W$          |
| $P_t$     | Hőtárolóképességet figyelembe vevő helyesbítő tényező                                  | $1$          |
| $Q$       | Hőmennyiség, hővesztés                                                                 | $W$          |
| $Q_{sd}$  | Direkt sugárzási nyereség a standard fűtési idényben                                   | $kWh/m^2/a$  |
| $Q_{sid}$ | Indirekt sugárzási nyereség a standard fűtési idényben                                 | $kWh/m^2/a$  |
| $R$       | Hővezetési ellenállás                                                                  | $m^2K/W$     |
| $R_f$     | Padló szerkezet hővezetési ellenállása                                                 | $m^2K/W$     |
| $R_{se}$  | Külső felületi (hőátadási) ellenállás                                                  | $m^2K/W$     |
| $R_{si}$  | Belső felületi (hőátadási) ellenállás                                                  | $m^2K/W$     |
| $R_{sz}$  | Szabvány szerint szigetelt peremű padló szerkezet hővezetési ellenállása (rég jelölés) | $m^2K/W$     |

|               |                                                                           |                               |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| $R_w$         | Falszerkezet hővezetési ellenállása                                       | $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ |
| $t$           | Idő                                                                       | s                             |
| $T$           | Napi átlagos középhőmérséklet                                             | $^{\circ}\text{C}$            |
| $T_b$         | Belső hőmérséklet (régi jelölés)                                          | $^{\circ}\text{C}$            |
| $T_e$         | Külső hőmérséklet                                                         | $^{\circ}\text{C}$            |
| $T_i$         | Belső hőmérséklet                                                         | $^{\circ}\text{C}$            |
| $T_k$         | Külső hőmérséklet (régi jelölés)                                          | $^{\circ}\text{C}$            |
| $T_m$         | Éves átlagos középhőmérséklet                                             | $^{\circ}\text{C}$            |
| $T_r$         | Éves átlagos hőingás fele                                                 | $^{\circ}\text{C}$            |
| $U$           | Hőátbocsátási tényező                                                     | $\text{W}/\text{m}^2\text{k}$ |
| $U_{bf}$      | Pincepadló hőátbocsátási tényezője                                        | $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ |
| $U_{bw}$      | Pincefal hőátbocsátási tényezője                                          | $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ |
| $U_{fal}$     | Külső fal hőátbocsátási tényezője                                         | $\text{W}/\text{m}^2\text{k}$ |
| $U_{lábazat}$ | Lábazati fal (talajjal érintkező fal) hőátbocsátási tényezője             | $\text{W}/\text{m}^2\text{k}$ |
| $U_{padló}$   | Padló szerkezet hőátbocsátási tényezője                                   | $\text{W}/\text{m}^2\text{k}$ |
| $U_R$         | Rétegrendi hőátbocsátási tényező                                          | $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ |
| $v$           | Szélsébség                                                                | $\text{m}/\text{s}$           |
| $V$           | Fűtött épületterfogat                                                     | $\text{m}^3$                  |
| $w$           | Külső (lábazati) fal vagy talajjal érintkező fal vastagsága               | m                             |
| $X$           | Az év egy adott napjának a sorszáma                                       | 1                             |
| $z$           | A külső oldali talaj és a belső oldali padló felső síkja közötti távolság | m                             |

Görög betűk

| Jelölés        | Megnevezés, megjegyzés, érték                                                                               | Mértékegység                    |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| $\gamma_{c,p}$ | Kerületi hossz korrekciós szorzótényező pozitív sarok esetén                                                | 1                               |
| $\gamma_f$     | Padlószerkezet változás miatti korrekciós tényező                                                           | W/mK                            |
| $\gamma_{fw}$  | Padlóhossz változás miatti korrekciós tényező                                                               | W/mK                            |
| $\gamma_g$     | Talajösszetétel változás miatti korrekciós tényező                                                          | W/mK                            |
| $\gamma_{mt}$  | Éves átlagos középhőmérséklet változás miatti korrekciós tényező                                            | W/mK                            |
| $\varepsilon$  | Emissziós tényező                                                                                           | 1                               |
| $\theta_e$     | Külső hőmérséklet átlaga az adott időszakra                                                                 | °C                              |
| $\theta_i$     | Parancsolt (belső) hőmérséklet                                                                              | °C                              |
| $\lambda$      | Hővezetési tényező                                                                                          | W/mK                            |
| $\rho$         | Sűrűség                                                                                                     | kg/m <sup>3</sup>               |
| $\sigma$       | Stefan-Boltzmann állandó (5,67x10 <sup>-8</sup> )                                                           | W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> |
| $\chi$         | Pontszerű hőátbocsátási tényező                                                                             | W/K                             |
| $\psi$         | Vonalmenti hőátbocsátási tényező                                                                            | W/mK                            |
| $\psi_g$       | Padlószerkezet és falcsatlakozásnál kialakuló hőveszteség vonalmenti hőátbocsátási tényezője                | W/mK                            |
| $\psi_{padló}$ | Környezeti és helyi hatásokkal korrigált, talajjal érintkező szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezője | W/mK                            |
| $\psi_t$       | Vonalmenti hőátbocsátási tényező új módszer szerinti korrigálatlan (táblázatos) értéke                      | W/mK                            |

## **1. ABSZTRAKT**

### **Talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai modellezésének lehetőségei**

**Nagy Balázs, MSc II. évf.**

**Konzulens: Dr. Csanaky Judit Emília, Dr. Tóth Elek DLA, BME Magasépítési  
Tanszék**

Az elmúlt években a hazai épületenergetikai szabályozások és rendeletek követelményei folyamatosan szigorodtak, rákényszerítve a tervezőket az energiatudatos épületek tervezésére. Nem változtak azonban jelentősen az épületfizikai tervezés módszerei és számítási eljárásai, holott a jelenlegi technológiák lehetővé tennék a régebbi közelítő módszerek és táblázatok felülvizsgálatát, valamint új számítási eljárások és táblázatok kidolgozását.

Az épületek hőveszteség-számításakor jelenleg a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeinek figyelembevétele hordozza a legtöbb bizonytalanságot, mivel a talaj és szerkezetek anyagtulajdonságai és a folyamatosan változó külső környezeti tényezők miatt a szerkezetben többdimenziós, instacioner hőtechnikai állapotok uralkodnak.

A dolgozatban a jelenleg ismert és hazánkban általános számítási eljárások (pl. 7/2006. TNM, MSZ EN ISO 13370:2008, stacioner véges differenciámódszeres numerikus szimuláció, ...) vizsgálatát követően egy új, széles körben alkalmazható eljárást mutatok be, mely segítségével hazánkban az épületenergetikusok által jelenleg szinte kizárólagosan alkalmazott táblázatos módszerhez hasonlatosan egyszerűen, ám annál pontosabban kaphatjuk meg a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeit. Ennek formai alapja a jelenlegi 40/2012. BM rendelettel módosított 7/2006. TNM rendeletben szereplő táblázatos módszer, az értékek azonban a magyarországi éghajlati körülmények, geotermikus gradiens és a vonatkozó harmonizált európai uniós szabványok valamint a 1246/2013. Korm. határozat figyelembevételével tranziens végesesemes numerikus hőtechnikai szimulációval számítottak.

Továbbá a táblázatos értékekhez rendelhetünk éghajlati, talaj-összetételi, padló-szerkezet kialakításától függő korrekciós tényezőket, melyek hatásait a kutatás során vizsgáltam és a dolgozat tartalmaz. A tanulmány továbbá foglalkozik az épületek geometriai formájából eredő háromdimenziós hőtechnikai hatásokkal is, az alapvető épületformák talajjal érintkező szerkezetei esetében meghatározva alaki korrekciós szorzótényezőket. Az elért eredményeket egy számítógépes programban összegeztem, melynek alkalmazásával, a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségei egyszerűen számíthatóak.

A kutatás keretében létrehozott és bemutatott új táblázatos módszer alkalmas lehet, hogy az épületenergetikai rendeletben szereplő jelenlegi táblázatokat felváltsa, annál lényegesen pontosabb közelítést adva a talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai viselkedéséről. A kutatás eredményei segítséget nyújthatnak az energetikailag tudatos tervezésben mind építészek, építőmérnökök vagy gépészmérnökök számára.

## **2. SUMMARY**

### **Thermal modeling possibilities of ground contact structures**

**Balázs Nagy, MSc II. year**

**Consultant: Judit Emília Csanaky PhD, Elek Tóth Dr. DLA, BUTE**

**Department of Architectural Engineering**

In recent years, the requirements of the national building energy codes and regulations constantly tightened, forcing designers to design energy efficient buildings. However, there was no significant change in the building physics calculation methods and procedures, despite the fact that current technologies would allow the revision of the older approximate methods and tables, as well as the development of new computational methods and spreadsheets.

The buildings heat loss calculation is carried into account the heat loss of ground contact structures involves the most of uncertainties because due to the ground's and structure's material properties and the constantly changing external environmental factors there are multi-dimensional transient thermal conditions prevailing in the structure.

In this paper, after an examination of our domestic presently known and general calculation methods (e.g.: 7/2006. TNM , MSZ EN ISO 13370:2008 , stationary finite differential method numerical simulation, ... ), a new, widely applicable method are introduced, which is similarly easy to use like the tabular method used almost every building energetics specialist in our country, but we can more accurately obtain the heat losses of ground contact structures using this new method. The formal basis are the current 7/2006. TNM Regulation's method modified by the 40/2012. BM Regulation, however the values of the table calculated by transient finite element numerical simulation method and the calculations are taking account of the domestic climatic conditions, geothermal gradient and the relevant harmonized EU standards and 1246/2013. Government Regulation. In addition, there are correction factors to the tabulated values depending of the climatic conditions, soil composition and the floor structure, which are also examined and included in the research papers. The study also

deals with the three-dimensional thermal effects from the geometric shape of the building, stating shape correction multiplying factors to the basic building forms of ground contact structures. The achieved results are summarized in a computer program, and by using this program the ground contact structures heat losses can be calculated easily.

The presented new tabulated method established in the research may be applicable to replace the existing tables in the domestic building energy regulation, the approach is significantly more accurate on the ground contact structures thermal behavior. The research may help in energy conscious design to architects, civil engineers and mechanical engineers.

### 3. BEVEZETÉS

#### 3.1. A hőtechnikai számításokról, modellezésről

Az épületfizikai, hőtechnikai számítások során tulajdonképpen a termodinamika első főtétele, avagy az energiamegmaradás elvét alkalmazzuk a hő-transzportfolyamatok felírására azzal a különbséggel, hogy a jelenséget leíró parciális differenciálegyenlet rendszert a belső energia helyett az egyes pontok hőmérsékletére írjuk fel.

A modellezés során azonban nem minden esetben van szükségünk a teljes egyenletrendszer felírására és megoldására, mivel annak egyes komponensei egyszerűsíthetők a valóságos helyzet ismeretének függvényében, például közel azonos nyomáson működő rendszerek esetében a nyomásváltozásból eredő munkát leíró tag elhanyagolható, vagy szilárd testek hőtechnikai viselkedésének vizsgálatakor elhanyagolhatjuk a viszkózus alakváltozásból származó hatásokat, esetleg pedig a teljes folyamat időben változó természetét, azaz az instacioner állapot helyett stacioner állapotra felírva az egyenletrendszert. Természetesen az egyenletrendszert csak és kizárólag addig szabad egyszerűsíteni, míg annak megoldásával a valóság jól közelíthető marad.

A jelen kutatást egy ilyen, a hőtechnikai számítások és modellezések során gyakran elkövetett egyszerűsítés indukálta. Bizonyos helyzetekben ugyanis az épületszerkezetek esetében a rendszer állandósult állapotra történő felírása oly mértékben csorbítja az eredmények pontosságát, hogy az már megengedhetetlen a mérnöki számítások során. Ezek pedig a jelentős hőtároló kapacitással rendelkező anyagokkal érintkező struktúrák, melyek esetében a velük érintkező szilárd testek hőkapacitása és hővezetési ellenállástöbblete döntően befolyásolhatja azok hőtechnikai viselkedését, ezt a jelenséget pedig az állandósult állapotra felírt egyenletrendszer teljes mértékben elhanyagolja.

Azon épülethatároló szerkezetek esetében, ahol két oldalról csekély hőkapacitású gáz van jelen és maga a szerkezet sem bír jelentős hőtárolási képességekkel, a teljes fűtési szezonra felírt időben változó hővezetés differenciálegyenlete valóban közelíthető stacioner modellel is, az eredmények nem térnek el számottevően. Azonban könnyen belátható, hogy a talajjal érintkező szerkezeteknél, legyen az talajon fekvő padló vagy egy fűtött pince épülethatároló szerkezetei, a fűtési időnyben számottevő hatást fog gyakorolni a hőveszteségekre a nyáron a talajban eltárolt hőmennyiség, valamint a földünk geotermikus gradiensének hatása, azaz a föld saját hője is.

A külső hőmérséklettől függő hatások ez által egy mélyen fekvő pincealjzaton később fognak jelentkezni, mint egy talajon fekvő padló esetében, de egy talajszinttől lényegesen magasabban fekvő padlóval rendelkező épület viselkedése is el fog térni.

Az előbbieken említett jelenségek vizsgálhatóak és modellezhetőek, a számításokat pedig számítógépes szimulációk futtatásával, a bonyolult egyenletrendszereket numerikus közelítő módszerek segítségével megoldva lehetőségünk van a tranziens folyamatok elemzésére is. Jelenleg azonban az épületenergetikai tanúsítás vagy az épületszerkezeti tervezés során szinte elhanyagolhatóan csekély számú építész vagy mérnök dolgozik szimulációs szoftverekkel, és a szimulációt végző szakemberek is inkább választják az állandósult állapot feltételezését a tranziens elemzések helyett, melyek segítségével az épületek hőveszteségeinek meghatározása valóban pontosabbá tehető volna.

### *3.2. Iránymutatások*

Az Európai Parlament és Tanács 2010/31/EU irányelve rögzíti, hogy az épületek számottevő befolyást gyakorolnak a hosszú távú energiafogyasztásra és a meglévő épületek hosszú felújítási ciklusára tekintettel az új és a jelentős felújítás alatt álló épületeknek eleget kell tenniük a helyi éghajlathoz igazított, energiahatékonyságra vonatkozó követelményeknek. Ilyen követelményértékeket tartalmaz a Kormány 1246/2013. (IV.30.) Korm. határozata, mely az irányelveknek megfelelően meghatározza az energiahatékonyságra vonatkozó, költségoptimalizált követelményszinteket. Ez a határozat 2015-től lép érvénybe középületek esetében, míg más rendeltetésű épületeknél 2018-ig használhatjuk a 7/2006. (V.24.) TNM Rendeletben közölt követelményértékeket.

A követelményértékek első szintje az épülethatároló szerkezetek és nyílászáró szerkezetek hőátbocsátási tényezőjére irányul, melyek során a talajjal érintkező szerkezeteknek (Talajjal érintkező padló, Lábazati fal, talajjal érintkező fal...) meg kell felelniük a határozatban foglalt követelményértéknek. A szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezőire azonban nem állapítottak meg követelményértéket, annak hatása a második követelményszint esetében jelenik meg, a fajlagos hőveszteségtényező számításakor tulajdonképpen a transzmissziós hőveszteségek és a szoláris nyereségek összegének fűtött épületterfogatra vonatkoztatott értékét viszonyítjuk egy az épület geometriai adataiból (a lehűlő belső felületek és a fűtött térfogat

hányadosa) nyert követelményértékkel. A fajlagos hőveszteségtényező nem tartalmazza az épületekre szintén egyedien jellemző filtrációs hőveszteségeket, melyeket a Rendelet szerint az épületek rendeltetésének megfelelő konstansokkal kell figyelembe vennünk.

A talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeit a Rendelet azonban nem a padló-szerkezet és a talajjal érintkező fal átlagos hőátbocsátási tényezője szerint összegzi, külön figyelembe véve a szerkezetek csatlakozásánál kialakuló hőhídjelenségek miatti hőveszteség többleteket, hanem e struktúrák veszteségeit egy táblázatban vonalmenti hőátbocsátási tényezőkben összegzi, melyeket a padló szerkezet kerülete mentén vett hosszal szorozva megadják a padló és a csatlakozások miatt kialakuló hőveszteségeket. E táblázatos módszer, melyről bővebben is szó esik a kutatás későbbi részeiben, egyszerűsége és könnyű kezelhetősége révén iránymutatásul szolgál a vizsgálatok során, hogy hasonlóan jól kezelhető számítási módszer születhessen.

Azonban a 2010/31/EU irányelv kimondja, hogy az épületek energiahatékonyságát olyan módszer alapján kell kiszámítani, amelyet mind nemzeti, mind pedig regionális szinten differenciálni lehet, és az energiahatékonyság további javítására irányuló intézkedéseknek figyelembe kell venniük a klimatikus és helyi feltételeket. A jelenlegi Rendeletben leírt számítás viszont az ország klimatikus viszonyait teljesen egységesen kezeli, mely ez által az országunk egyes városaiban álló épületek hőveszteségeit egységesnek veszi. A konstans éghajlati adatok a hőveszteségek számításánál pontatlansághoz vezetnek, a valóságos állapotok leírásától mind távolabb kerülünk. Az épületek energetikai minőségének meghatározásánál akár 40%-al is eltérhetünk azoktól a számoktól, amiket a helyi klimatikus viszonyok és feltételek figyelembevételével számítottunk [Nagy 2011]. Lehetőséget kell találni a jelenlegi számítási módszer változtatása nélkül arra, hogy a helyi adottságokat a talajjal érintkező szerkezetek esetében figyelembe tudjuk venni.

Az iránymutatások között meg kell továbbá említeni az MSZ EN ISO 10211:2008 szabványt, mely az épületszerkezetekben előforduló hőhidak modellezésében nyújt elengedhetetlen segítséget és szabványos megoldásokat, valamint az MSZ EN ISO 13370:2008 szabványt, mely a talajjal érintkező szerkezetek hőátviteli folyamataira ad meg analitikus számítási eljárásokat, továbbá tartalmazza a különböző talajok szabványos anyagtulajdonságait. A harmonizált szabványok iránymutatásával és segítségével olyan modelleket hozhatunk létre, mely nem csupán hazai körülmények között, hanem bárhol megállja a helyét. A talajok szerkezetére és hőtechnikai tulajdonságaik

leírására vonatkozó fejezetek a szabványok értékes részei, noha a számítási eljárások többnyire a már említett állandósult állapotra vonatkoznak, az állandósult hőáramlás jelenségét pedig már az első hőtechnikával foglalkozó magyar nyelvű kiadvány, az Építési Zsebkönyv I. kötete is olyannak nyilvánította, mellyel „a valóságban aligha fogunk találkozni” [Möller 1934].

### 3.3. Célkitűzések

A kutatás egyik legfőbb kérdése az, hogy létre lehet-e hozni egy olyan egységes modellt, mely kellő pontossággal írja le a talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai viselkedését, majd ennek a modellnek a megoldását kellően egyszerűsített formában közre lehet-e adni, hogy azt bárki alkalmazni tudja a hőtechnikai számításainál.

A dolgozat célja tehát egy olyan számítási módszer kidolgozása, mely lehetőséget nyújt a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeinek egységes modellezésére, figyelembe tudja venni a klimatikus és helyi viszonyokat, ám használata nem igényel elmélyült szimulációs vagy épületfizikai ismereteket.

Elvárás továbbá a módszerrel szemben, hogy az eredményeket közvetlenül lehessen használni a magyarországi épületenergetikai tanúsítás során, tehát legyen beilleszthető a 7/2006. TNM Rendelet számítási eljárásába.

Ez azt jelenti, hogy a jelenlegi Épületenergetikai rendelet táblázatos módszeréhez hasonló módon is összegezzük az eredményeket, ezáltal annak alkalmazása a mostani számításokhoz szokott mérnökök számára nem fog nehézségeket okozni.

Mutasson továbbá előre azzal, hogy nem a jelenleg érvényben lévő követelményértékeket veszi alapul a modell megalkotásakor, hanem a jövőben hatályba lépő 1246/2013. Korm. határozatot.

## 4. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS, ALAPISMERETEK

### 4.1. A talajjal érintkező szerkezetek számítási eljárásainak bemutatása

Ahhoz, hogy összefüggésükben átláthassuk és megérthessük a talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó jelenlegi hőtechnikai számítási módszereket, melyeket az épületenergetikusok alkalmaznak ezeknek a szerkezeteknek a hőveszteségeinek meghatározásához, nem árt megismerni a nemzetközi szakirodalmakban publikált módszereket, azok változatosságát, ezáltal pedig megismerni a számítási eljárások fejlődését is.

#### 4.1.1. NUMERIKUS MÓDSZEREK

Hőtechnikai számítások során a numerikus módszerek alkalmazásához vezető utat általában a végeselemmódszer vagy a véges differencia módszer jelenti. Az egyik első, talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó szimuláció is az explicit véges differencia módszeren alapult, mely során kísérleti földalatti menedékhelyek hő- és nedvesség transzportfolyamatait vizsgálták [Kusuda és Achenbach 1963], majd évek múltán és egymásra is épülő publikációk sokaságával jutottak el a kutatók odáig, hogy többdimenziós számítógépes szimulációk eredményeit nagymodell kísérletekkel ellenőrizték és igazolják [Rees et al. 2007].

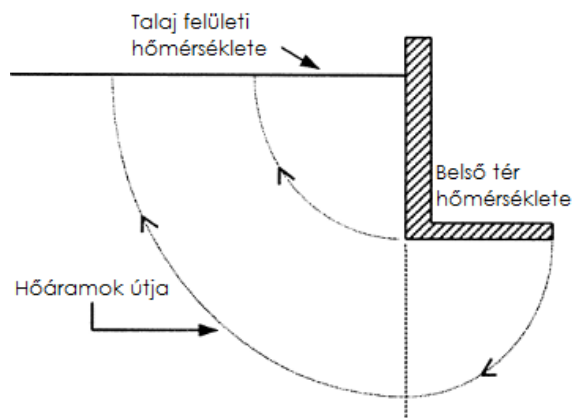
Az Európai Szabványügyi Testület már 1998-ban adott ki szabványt, melyben a hőáramok és felületi hőmérsékletét szabályozta, ennek a szabványnak a jelenleg érvényben lévő változata az MSZ EN ISO 10211:2008. A szabvány leírja a padlószervezetek és falszerkezetek csatlakozásánál kialakuló vonalmenti hőhidak jellemzésére szolgáló vonalmenti hőátbocsátási tényezők számítási eljárását mind kétdimenziós szimuláció mind pedig háromdimenziós szimuláció esetén. A számítás során két opciót ajánl, egyik esetben a padlószervezet hőveszteségeit is tartalmazza a vonalmenti hőátbocsátási tényező (ezt a szemléletet képviselik a hazai számítási eljárások is), míg másik esetben nem csak a csatlakozó falszerkezet hőveszteségeit kell kivonni, hanem a padlószervezetét is, melyet külön szimuláció útján határozhatunk meg. A szabvány rögzíti továbbá, hogy 8 m-es belső hossznál szélesebb épületek esetén a veszteségeket

elegendő a 8 m-es padló szerint meghatározni. Azonban a szabványban leírt módszerek egyike sem említi a geotermikus gradiens szerepét, azaz a földhőt teljesen elhanyagolja.

### 4.1.2. ANALITIKUS MÓDSZEREK

Az analitikus megoldások során a tranziens hővezetés differenciálegyenletét részletes vizsgálatok, elemzések után létrehozott, egyszerűsített egyenletek segítségével oldjuk meg. Az analitikus eljárások során általában a legelső egyszerűsítés a probléma dinamikus voltának elhanyagolása és az egyenletek stacioner állapotra történő felírása.

Az egyik ilyen megoldást már a hatvanas évek végén Kanadában [Latta és Boileau 1969] publikálták, mely a szerzők mérési eredményein alapulva, ahol egy fűtött pince körüli földtömeg hőmérséklet eloszlását vizsgálták jutottak arra a megállapításra, hogy a hőáram vonalak kör alakú útvonalat írnak le a pincefal és pincepadlótól a felszínig. A hőveszteségeket ezáltal a talaj felületi hőmérsékletének és a belső tér lég-hőmérsékletének különbségétől, a pincefal és pincepadló hővezetési ellenállásától és a talaj hővezetési tényezőjétől valamint a kör alakú útvonalaknak a hosszától függnek (tehát a pincepadló mélységétől) az egyenleteikben, ahogy az 1. ábrán is látható. Ez a számítási módszer azonban csak a felszín irányába tartó hőáramokkal foglalkozik, és amint az egyik épített szerkezet hőszigetelést is tartalmaz, a hőáramok útja megváltozik.



1. ábra: Hőáramok feltételezett útvonala [Latta és Boileau 1969]

Állandósult állapot feltételezése révén pedig a talaj hőtároló kapacitását szintén nem veszi számításba.

Az analitikus számítási eljárások a következő évek során folyamatosan fejlődtek és jutottak a nyolcvanas évekre odáig, hogy megoldást adtak periodikusan változó peremfeltételekkel rendelkező kétdimenziós esetekre, vagy akár háromdimenziós állandósult állapotú négyszögletes padlószerkezetű épületek hőveszteségeire is [Delsante 1983].

Ugyancsak analitikus számítási eljárásokat tartalmaz a jelenleg érvényben lévő, talajok hőátviteli folyamatainak egyszerűsített számítási módszereit tartalmazó MSZ EN ISO 13370:2008 szabvány is, mely gyakorlatilag svéd kutatók kilencvenes évekbeli publikációira épül [Claesson és Hagentoft 1991].

### 4.1.3. FÉL-ANALITIKUS MÓDSZEREK

A félig analitikus megoldások az előbbieken tárgyalt analitikus megoldási módokat a vegyítik a numerikus módszerekkel megkapott eredményekkel. Megfelelő példa lehet az efféle eljárások megismeréséhez az a módszer [Kusuda és Bean 1984], melyben a peremérték-problémát Green-függvény felhasználásával dinamikus háromdimenziós hővezetési egyenlet felírásából oldották meg. A kutatásban a hőszigetelt padlószerkezet hőveszteségeit a talaj hővezetési tényezője és vastagsága valamint a padlólemez átlagos hőmérsékletének és a padlószerkezet alatti aljzat, adott mélységben numerikus módszer segítségével meghatározott havi átlaghőmérsékletének függvényében számították.

### 4.2. *A hazánkban alkalmazott számítási módszerek bemutatása*

A nemzetközi publikációs adatbázisokban számos eljárás leírása található a talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai modellezésére, azonban a hazai gyakorlatban ezek az eljárások többnyire nem honosodtak meg. A továbbiakban a magyarországi mérnökök által használt módszerek előbbieknél részletesebb bemutatása következik.

#### 4.2.1. AZ MSZ-04-140 SZABVÁNYOK MÓDSZEREI

Az MSZ-04-140 jelzésű Magyar Népköztársaság Építésügyi Ágazati Szabványai 1978 és 1991 között 3 alkalommal jelentek meg, 1987-ig az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium majd 1991-ben a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium adta ki. A szabványok magyar nyelvűek.

A szabványok négy fejezetből állnak, melyek önálló egységeket képeznek, ezek pedig az MSZ-04-140/1, mely a meghatározásokat és jelöléseket tartalmazza, az MSZ-04-140/2 mely a hőtechnikai méretezés eljárását szabványosítva, az MSZ-04-140/3 a fűtési hőszükséglet-, míg az MSZ-04-140/4 a hűtési hőterhelés-számítását tartalmazza. A

kutatás szempontjából a 3-as, majd később a 2-es jelű szabványok tartalmaznak számítási módszereket a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeinek meghatározásához.

A szabványok 2012. január 15.-én visszavonásra kerültek, de azóta is számos épületenergetikus, energetikai tanúsító szoftver és a későbbiekben bemutatott jelenleg hatályos 7/2006. TNM Rendelet talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó részei alkalmazzák ezeket.

#### 4.2.1.1. MSZ-04-140/3 – 1978

Az épületek fűtési hőszükséglet-számítását a szabványok új verziói egyre komplexebb formában tartalmazták. Kezdetben a hőveszteségeket a következő egyenlettel írták le:

$$\dot{Q}_v = \sum A_1 \cdot k_1 \cdot (T_b - T_k) \quad (1)$$

ahol „A” az egyes határoló szerkezetek jellemző felülete, „k” a határolók hőátbocsátási tényezője, „T<sub>b</sub>” a helyiség jellemző hőmérséklete, míg „T<sub>k</sub>” a határolókon túli hőmérséklet. A talajon álló, vagy talajjal érintkező határoló szerkezeteknél ún. vonalmenti hőátbocsátással számolhatunk.

#### 4.2.1.2. MSZ-04-140/3 – 1987

A külső transzmissziós energiaáram számításának képlete egy átrendezésen és a hőmérsékletek b – belső és k – külső paramétere helyett i – interior és e – exterior jelölésű paraméterek alkalmazásán kívül változatlan maradt. A szabvány e változata tartalmazza a talajba irányuló energiaáramok meghatározására szolgáló képletet is, mely:

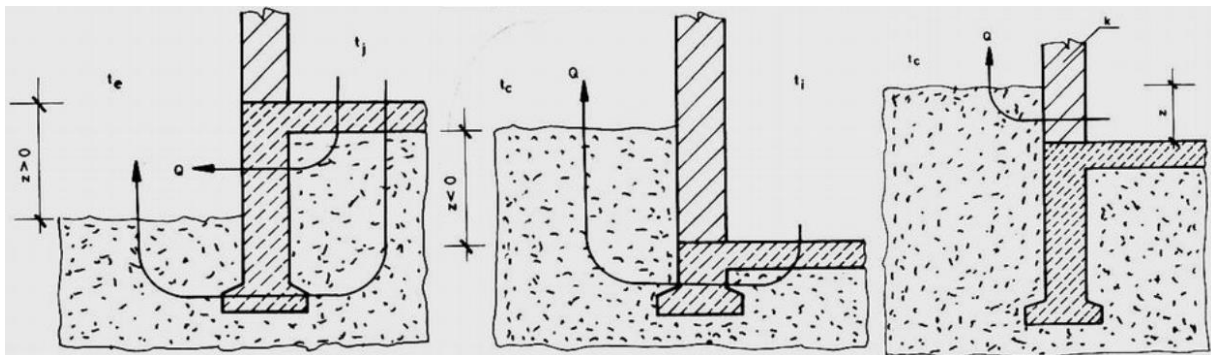
$$Q = l \cdot k_l \cdot (T_i - T_e) \quad (2)$$

összefüggés segítségével határozható meg, ahol „l” a padló kerületének a külső térelhatárolással érintkező része és „k<sub>l</sub>” a padló kerületére vonatkozó vonalmenti hőátbocsátási tényező. A vonalmenti hőátbocsátási tényező értékeit egy folyóméter hossza a szabvány 1. mellékletében szereplő két táblázat tartalmazza.

A szabványban szerepel egy helyesbítés is a külső transzmissziós energiaáramok egyes külső térelhatárolásokra vonatkozó hatásainak figyelembevételére, melynek

gondolata, hogy a helyiségek hőtároló képességének figyelembevételét egy „ $P_t$ ” helyesbítő tényező alkalmazásával, a transzmissziós energiaáramokat ezzel szorozva vehetjük figyelembe.

A kutatás szempontjából releváns talajon álló vagy talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeit az 1.1. és 1.2.-es táblázat tartalmazza, előbbi a padlón keresztüli hőveszteségeket adja meg a padlószint és a talajszint közötti magasságkülönbség és a padlószerkezet hővezetési tényezőjének függvényében, míg utóbbi a talajjal érintkező falon keresztüli hőveszteségeket tartalmazza, a földdel érintkező falszakasz magassága és a falszerkezet eredeti, stacioner állapotban kiszámított hőátbocsátási tényezőjének függvényében. Az egyes értékek nem konkrét számértékek függvényében, hanem bizonyos tartományok közötti értékekként kereshetők ki a táblázatból, melyek két tizedes jegy pontossággal szerepelnek a táblázatban. A szabványban szereplő magyarázó ábra az alábbi 2. ábrán látható.



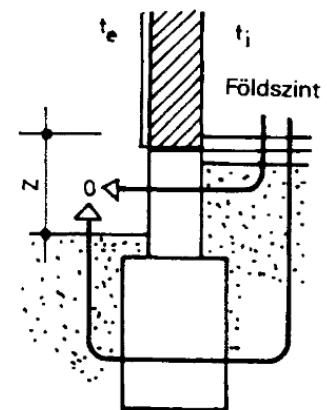
2. ábra: Az MSZ-04-140/3 – 1987 szabvány talajjal érintkező szerkezeteire vonatkozó táblázatok magyarázó ábrája.

A padló és falcsatlakozásnál kialakuló szerkezeti hőhíd miatti többlet-hőveszteségekkel a szabvány nem foglalkozik. Megfigyelhető továbbá a fenti ábrán, hogy a padlószerkezet és a falszerkezet is homogén réteggént van jelen, az alaptest ábrázolása pedig gyakorlatilag szimbolikus jelentőségű csupán. A táblázatos értékek az ábrák tekintetében tehát állandó vastagságú homogén rétegek változó hővezetési ellenállás melletti értékei, mely a valóságban egy bizonyos vastagság után kivitelezhetetlenek. A táblázatos értékek továbbá valószínűsíthetően állandósult állapot feltételezésével készülhettek, mivel a szabvány idején a tranziens egyenletek megoldásához szükséges számítási kapacitás nem állt még rendelkezésre és a hőtárolás hatásait is egy helyesbítő tényező segítségével vehettük figyelembe.

A szabványban szereplő számítási eljárás értelmezésében tehát egy fűtött pince hőveszteségeinek meghatározásához a pince falszerkezetének külső, talajjal érintkező kerülete mentén mind a padló szerkezet hőveszteségeit, mind pedig a talajjal érintkező falszerkezet hőveszteségeit összegeznünk kell.

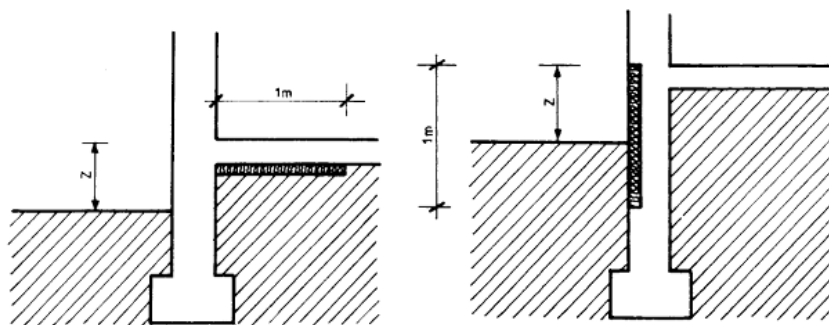
### 4.2.1.3. MSZ-04-140/2 – 1991

A szabvány rendelkezik arról, hogy a talajra fektetett padló szerkezet hőveszteségeit az MSZ-04-140/3 – 1987 szabványban is közölt, táblázatos módon számíthatjuk. A táblázat értékei, melyek azt M.5.6. mellékletben szerepelnek, nem változtak, csupán a szabványban szereplő magyarázó ábra vált kidolgozottabbá, ahogy az a 3. ábrán a dolgozatban is látható. Szerepel továbbá egy talajon fekvő padlók egyenértékű hőátbocsátási tényezőjének meghatározására vonatkozó diagram és képlet a szabványban, mely diagram a talajon fekvő padló területének és a padló területének hányadosának függvényében adja meg a szabvány szerint szigetelt peremű padló szerkezet egyenértékű hőátbocsátási tényezőjét.



3. ábra: Az MSZ-04-140/2 – 1991 szabvány talajjal érintkező padló szerkezet magyarázó ábrája

A szabvány tehát leírja, hogy a talajjal érintkező padló szerkezeteknek az épület külső kerülete mentén húzódó 1 m széles sávjában szükséges hőszigetelés a padló talajhoz viszonyított szintjéhez képest mekkora hővezetési ellenállással rendelkezzen, azonban a szövegezés ellentmondásba kerül a magyarázó ábrákkal, mivel a szöveg a padló alsó síkját említi viszonyítási pontként, míg a kótázás szerint a padló felső síkja számít. A szigetelősáv elhelyezésére vonatkozó magyarázó ábrákat alább láthatjuk.



4. ábra: Szigetelősáv elhelyezés 1 m hosszon a padló szerkezet alatt vagy a lábazon.

Visszatérve a padló egyenértékű hőátbocsátási tényezőjének számításához, a szabvány 50. oldalán lévő diagram egy összefüggést is tartalmaz, mely a következő:

$$k = \frac{K}{A} \cdot [1,55 - (\frac{R}{R_{sz}} - 1) \cdot 0,30] \quad (3)$$

ahol „R” a padló hővezetési ellenállása a padló alsó szintjéig, „R<sub>sz</sub>” a szabvány szerint szigetelt peremű padló szerkezet 1 m-es szigetelősávjában lévő hővezetési ellenállása, míg „K” a talajon fekvő padló kerülete, „A” pedig a padló területét jelöli.

A képlet szerint tehát a padló szerkezet egyenértékű hőátbocsátási tényezője nem függ a padló talajhoz viszonyított magasságkülönbségétől, sem pedig a talaj alatt lévő föld tulajdonságaitól.

#### 4.2.2. AZ MSZ EN 832 SZÁMÍTÁSI MÓDSZERE

Ez a nemzeti szabvány, s annak 2002-es változata (előtte megjelent egy 1999-es változat is, mely angol nyelvű szövegezést tartalmazott) teljesen megegyezik az EN 832:1998 európai szabvánnyal, és tartalmazza annak AC:2000 és AC:2002 jelű helyesbítéseit is.

A szabvány szerint a hőveszteségek számítását a következő összefüggés alapján számíthatjuk:

$$Q_l = H \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (4)$$

ahol „θ<sub>i</sub>” a parancsolt (belső) hőmérséklet, „θ<sub>e</sub>” a külső hőmérséklet átlaga az adott időszakra, „t” a számításba vett időtartam, „H” pedig az épület hőveszteségtényezője, mely két tag összegéből áll: „H<sub>T</sub>” az EN 13789:2000 szabvány szerint számított transzmissziós hőveszteség-tényező és „H<sub>V</sub>” a szellőzési hőveszteség-tényező.

A transzmissziós hőveszteségek az európai szabvány szerint a következőkből állnak a közölt összefüggés szerint:

$$H_T = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j \quad (5)$$

ahol „A” a felületek nagysága, „U” a hozzájuk tartozó hőátbocsátási tényezők, „l” a vonalmenti hőátbocsátási tényezők hossza, „ $\psi$ ” a vonalmenti hőátbocsátási tényezők, míg „ $\chi$ ”-vel a pontszerű hőátbocsátási tényezőket jelölhetjük.

A szabvány alapján tehát a hőveszteségeket az EN 13789 szabvány alapján kell számítanunk, tehát a talajjal érintkező szerkezetek esetében is ennek az angol nyelvű európai szabványnak az alkalmazása az elvárt.

Ezt a tényt bizonyítja a szabvány L mellékletében szereplő, tájékoztató mintapélda, mely során egy Lausanne-ban, Svájcban építendő épület előzetes energiafogyasztásának meghatározására irányult. A talaj felé irányuló hőveszteségeket a számítások során az EN ISO 13370-ben közölt legegyszerűbb módszerrel számították, mely során a hőátbocsátási tényező alapértéke került kiszámításra, a talaj hővezetési tényezőjének előírt értéke 2 W/mK volt. A geometriai méreteket az épület külső méretei alapján határozták meg és vették számításba.

Legegyszerűbb módszer alatt valószínűleg az állandósult állapotra vonatkozó, talajon fekvő homogén padlószerkezetre vonatkozó összefüggéssel számították a hőveszteségeket, azonban ez a szabvány hőátbocsátási tényezőt számol és nem vonalmenti hőátbocsátási tényezőt, melyet külön numerikus szimuláció vagy az EN ISO 14683 szabványban közölt értékek alapján vehetünk fel. A szabványok aktuális változatának bemutatásával a 4.2.4.-es pontban részletesebben is foglalkozom.

Az MSZ EN 832:2002 szabvány 2008. szeptember 1-jei dátummal került visszavonásra.

#### 4.2.3. A 7/2006. TNM RENDELET TÁBLÁZATOS MÓDSZERE

A hazánkban jelenleg is érvényben lévő (bár 2012-ben módosított változatú) rendelet az épületeket energetikai jellemzőinek meghatározására vonatkozik, mely alapja az épületek energetikai tanúsításának is.

A rendelet háromlépcsős követelményszinteket határozott meg, mely során a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségei az első és második lépcsőt érintik közvetlenül. Az első követelményszint a határoló- és nyílászáró szerkezetek hőátbocsátási tényezőire vonatkozó követelményeknek való megfelelést jelenti, mely során a talajjal érintkező fal 0 és 1 m között  $U = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$  míg a talajon fekvő padló a terület mentén 1,5 m széles sávban (mely a lábazaton elhelyezett azonos ellenállású hőszigeteléssel helyettesíthető)  $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  követelményérték alatt kell maradjon.

A második szint során a fajlagos hőveszteségtényezőre vonatkozó követelményértékeknek kell megfelelnie az épületnek, melyet az épület fűtött épületterfogatot határoló szerkezetek (belső) összfelülete és a fűtött épületterfogot (fűtött légtérfogot) hányadosa alapján a rendeletben szereplő összefüggés segítségével határozhatunk meg.

A fajlagos hőveszteségtényező számításához az épület esetében a következő összefüggést kell alkalmaznunk:

$$q = \frac{1}{V} \cdot \left( \sum A \cdot U_R + \sum l \cdot \psi - \frac{Q_{sd} + Q_{sid}}{72} \right) \quad (6)$$

ahol a „V” a fűtött épületterfogatot, „A” a belső lehűlő felületet, „U<sub>R</sub>” az egyszerűsített esetben a hőhidveszteségek figyelembevételével korrigált rétegrendi hőátbocsátási tényező, míg részletes módszer esetében megegyezik a rétegrendi hőátbocsátási tényezővel (ez esetben azonban a hőhidveszteségeket a második tag szerint és az MSZ EN ISO 10211 szabvány alkalmazásával kell figyelembe venni). A képlet jobboldalának második tagjában „l” a vonalmenti hőhidak hossza, „ψ” a hosszokhoz tartozó vonalmenti hőátbocsátási tényező, majd pedig „Q<sub>sd</sub>” a direkt sugárzási nyereségeket, „Q<sub>sid</sub>” pedig az indirekt sugárzási nyereségeket jelöli, melyeket egyszerűsített számítás esetén elhanyagolhatunk. A képletben szereplő 72 a standard magyarországi fűtési idényre meghatározott hőfokhid ezredrésze.

A rendelet meghatározása szerint a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeit részletes számítás esetében az MSZ EN ISO 13370 szabvány szerint, míg egyszerűsített számítás esetén a rendelet 3. mellékletében közölt vonalmenti hőátbocsátási tényezők alkalmazásával kell meghatározni.

Ez utóbbi eset azért érdekes, mert a rendeletben közölt táblázatok gyakorlatilag megegyeznek az előbbieken bemutatott MSZ-04-140 szabványokban szereplő táblázatokkal, így a padlószerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezőit a terület hosszegységére vonatkoztatva az MSZ-04-140/2 – 1991 alapján, míg a talajjal érintkező fal esetében (mivel az nem szerepelt az 1991-es szabványban) az MSZ-04-140/3 – 1987 szabványban megismert táblázat alapján számíthatjuk.

A Rendelet szerint tehát míg minden méretet belső méretek alapján kell figyelembe vennünk, a táblázatos értékek külső területre meghatározva szerepelnek, az értékek pedig a rendelet hatálybalépésekor mintegy 30 évesek. A hővezetési tényezők követelményértékeit felsoroló táblázatban a padlószerkezet esetében másfél méter szé-

lességben lévő hőátbocsátási tényezőt kell figyelembe vennünk, a régi MSZ szabványok 1 m szélességben írták elő a hőszigetelés szükségességét, bár a táblázatban szereplő értékek nyilvánvalóan a hőszigetelő réteg figyelembevétele nélkül, homogén padlószerkezetként kerültek a táblázatba és csak a már említett magyarázó ábraváltás történt meg.

Továbbá míg a rendelet első követelményszintje a talajjal érintkező szerkezetek esetében a hőátbocsátási tényezőre vonatkozik, a táblázatban továbbra is hővezetési ellenállás alapján kell kikeresnünk az értékeket, mely figyelmetlenség esetén könnyen hibához vezetheti az épületenergetikusokat.

### 4.2.3.1. A 40/2012. BM Rendelet a módosításról

2012-ben érkezett az első módosítás a 7/2006. TNM Rendelethez, melyben többek között a padlószerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezőit tartalmazó táblázat is módosult. Ez alatt pedig a táblázat bővülését érthetjük, mivel az addigi táblázat (lévén 30 éve változatlan volt már) nem tartalmazott olyan nagy, kvázi a kétezres években valójában megépítésre szánt padlószerkezeteknek megfelelő hővezetési ellenállású oszlopokat.

A rendelet táblázata így bővítésre került, azonban a régi értékek változatlanok maradtak és az új értékeket illesztették inkább a régiekhez, mintsem a teljes táblázatot újra elkészítsék. Az új értékek véges differenciámódszerrel készülhettek, a szimuláció során az MSZ EN ISO 10211 szabvány instrukcióit többé-kevésbé betartva, azonban mivel ebben a szabványban nem kerül elő említés szintjén sem a földhőmérséklet, mint alsó peremfeltétel, így ezek valószínűleg továbbra sem szerepelnek az új táblázatos értékekben sem. A szimuláció továbbá stacioner állapotban kellett történjen, és az illesztés miatt további egyszerűsítésekre és korrekciókra lehetett szükség, melyek a valóságos modellezés hátrányára közelítették a 30 éves értékek tendenciáit.

A táblázatos értékek tehát továbbra is nélkülözik a padló és falcsatlakozásnál kialakuló vonalmenti hőveszteség többleteket.

### 4.2.3.2. A 1246/2013. Korm. határozat a módosításról

Bár csak 2015-től lép legelőször hatályba középületek esetében és csak 2018-tól kell lakó- vagy irodaépületek tervezése és tanúsítása során figyelembe vennünk, a rendelet új „költségoptimalizált” követelményértékeket határoz meg, bevezetve a lábazati

falra vonatkozó követelményeket is, így a külső falra vonatkozó érték  $U_m = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  és a talajjal érintkező fal a terepszinttől 1 m mélységig valamint lábazati falra vonatkozó követelményérték  $U_m = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  lesz. A padlószerkezet követelményértéke új építésű épületek esetén szintén  $U_m = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . A hőátbocsátási tényezők követelményértékén túl a további követelmények is szigorodtak, így a fajlagos hőveszteségtényezőre vonatkozó követelmény is.

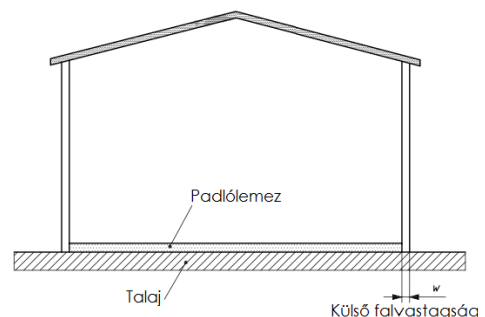
#### 4.2.4. AZ MSZ EN ISO 13370:2008 SZABVÁNY SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREI

Az előbbieken számos alkalommal esett utalás erre a 2008 óta hazánkban is érvényben lévő szabványra. A szabvány különféle talajjal érintkező szerkezetek esetére ad meg a talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó, egyszerűsített analitikus számítási eljárással számolható, állandósult állapotra vonatkozó hőátbocsátási tényezőket. A szabvány mellékletében szerepelnek képletek a szélei mentén hőszigetelt talajon fekvő padló vonalmenti hőátbocsátási számítására, illetve a függőlegesen a lábazaton elhelyezett hőszigetelés hatásának figyelembevételére.

A mellékletekben továbbá szerepel egy periodikus hőátbocsátási tényezők számítására vonatkozó eljárás, és a dinamikus szimulációs programok alkalmazásához történő virtuális réteg illesztése is. Azonban a vonalmenti hőátbocsátási tényezők esetén tovább hivatkozik az MSZ EN ISO 10211 szerinti numerikus szimulációs eljárás elvégzésére, vagy az MSZ EN ISO 14683 szabványban szereplő vonalmenti hőátbocsátási tényezők alkalmazására.

##### 4.2.4.1. Talajon fekvő földszinti padlók hővesztesége

A szabvány számítási eljárásának elvi elrendezési vázlata az 5. ábrán látható. A modell alapján homogén, egyetlen hővezetési ellenállással jellemzett padlólemez (melynek vastagsága a modell szempontjából lényegtelen, csupán az ellenállás mértéke fog számítani) és az a mellett található „w” falvastagságú külső fal vastagsága alapján és a talaj hővezetési tényezőjének ismeretében, valamint természetesen a padlószerkezet geometriai



5. ábra: Az MSZ EN ISO 13370 szerinti talajon fekvő padlószerkezet modellje

méreteinek ismeretében számíthatjuk a padló hőátbocsátási tényezőjét. A számítás a következő képletek segítségével és sorrendben történhet:

Először meg kell határozni „ $d_t$ ” egyenértékű padlóvastagságot:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (7)$$

ahol „ $w$ ” a külső (lábazati) fal vastagsága, „ $\lambda$ ” a padlólemez alatti talaj hővezetési tényezője, melyekre ajánlott értékeket tartalmaz a szabvány, „ $R_f$ ” a padlórétegek hővezetési ellenállása, míg „ $R_{si}$ ” és „ $R_{se}$ ” a belső és külső felületi ellenállásokat jelöli.

Ki kell továbbá számítanunk „ $B'$ ” segédmenyiséget, melyet a talajon fekvő padló területe és a padló kerület hosszának ismeretében tehetünk meg:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad (8)$$

amely képletben „ $A$ ” jelöli a területet, míg „ $P$ ” a padló kerületét.

Ezután a szabvány az előbbieken számított két mennyiséghez összehasonlításával dönti el, hogy két képlet közül melyiket alkalmazzuk a padló hőátbocsátási tényezőjének kiszámítására.

Ha  $d_t < B'$ , akkor:

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1\right) \quad (9)$$

Ha  $d_t \geq B'$ , akkor:

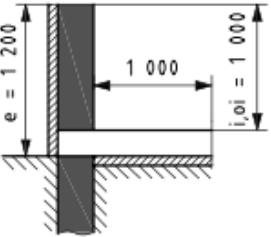
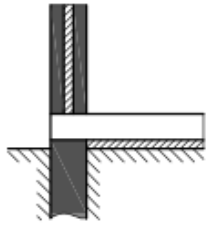
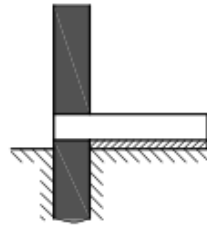
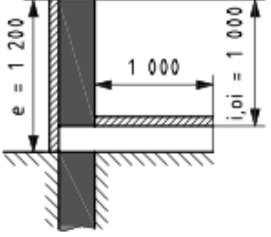
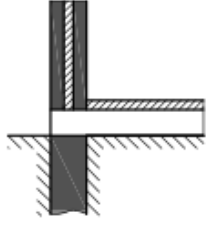
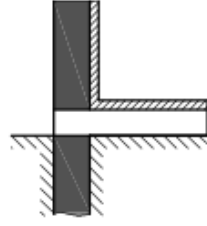
$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad (10)$$

képleteket kell alkalmaznunk. A hőátbocsátási tényező utána a padló transzmissziós hővesztesége is számítható a következő képlettel:

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \psi_g \quad (11)$$

ahol „ $\psi_g$ ” a padló szerkezet és falcsatlakozásnál kialakuló hőveszteséget számításba vevő vonalmenti hőátbocsátási tényező, melynek értékét MSZ EN ISO 10211 szerinti

numerikus szimuláció útján, vagy az MSZ EN ISO 14683 szabványban szereplő értékek alapján vehetőek fel. Ez utóbbi szabványban a vonalmenti hőátbocsátási tényezők  $U_{fal} = 0,375 \text{ W/m}^2\text{K}$  vagy szigetelt esetben  $U_{fal} = 0,343 \text{ W/m}^2\text{K}$  és  $R_{padló} = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  értékek mellett kerültek meghatározásra. A szabvány formáját a 6. ábra mutatja be.

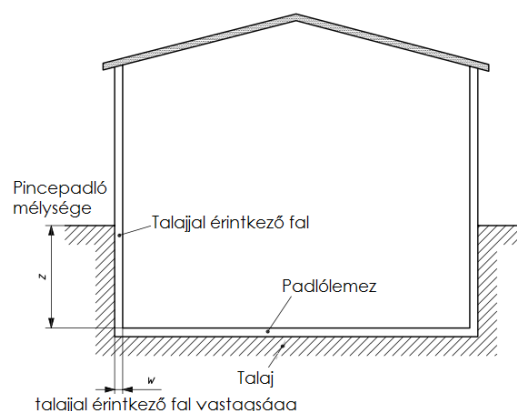
| Talajon fekvő padló szerkezetek                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>GF1</b></p> <p><math>\psi_e = 0,65</math><br/> <math>\psi_{oi} = 0,80</math><br/> <math>\psi_i = 0,80</math></p>  |  <p><b>GF2</b></p> <p><math>\psi_e = 0,60</math><br/> <math>\psi_{oi} = 0,75</math><br/> <math>\psi_i = 0,75</math></p>  |  <p><b>GF3</b></p> <p><math>\psi_e = 0,55</math><br/> <math>\psi_{oi} = 0,70</math><br/> <math>\psi_i = 0,70</math></p>   |
|  <p><b>GF5</b></p> <p><math>\psi_e = 0,60</math><br/> <math>\psi_{oi} = 0,75</math><br/> <math>\psi_i = 0,75</math></p> |  <p><b>GF6</b></p> <p><math>\psi_e = 0,45</math><br/> <math>\psi_{oi} = 0,60</math><br/> <math>\psi_i = 0,60</math></p> |  <p><b>GF7</b></p> <p><math>\psi_e = -0,05</math><br/> <math>\psi_{oi} = 0,10</math><br/> <math>\psi_i = 0,10</math></p> |

6. ábra: A talajon fekvő padlók és falszerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezői különféle szerkezeti kialakítások esetén az MSZ EN ISO 14683 alapján

#### 4.2.4.2. Fűtött pince hővesztése

Ebben az esetben a transzmissziós hővesztések számításához a pincefal egyenértékű hőátbocsátási tényezőjének számítására is szükség van.

A számítás során az előzőeken kívül a 7. ábrán látható módon a pincepadló „z” mélységének ismerete és a talajjal érintkező fal hővezetési ellenállása is szükséges lesz a transzmissziós hővesztések számításához.



7. ábra: Az MSZ EN ISO 13370 szerinti fűtött pince modellje

A számítás során az egyenértékű padlóvastagság számítását az előbbiekben ismertetett módon a (7) összefüggés, míg a  $B'$  segédmenyiséget a (8) összefüggés alapján számíthatjuk, azonban a padló hőátbocsátási tényezőjét az előbbiektől eltérően a következők szerint határozzuk meg:

Ha  $(d_t + 0,5 \cdot z) < B'$ , akkor:

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t + 0,5 \cdot z} + 1\right) \quad (12)$$

Ha  $(d_t + 0,5 \cdot z) \geq B'$ , akkor:

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \quad (13)$$

képleteket kell alkalmaznunk. Számolnunk kell továbbá a pincefal hőátbocsátási tényezőjét is, melyhez szükség van a „ $d_w$ ” egyenértékű pincefal vastagság meghatározására a következő összefüggéssel:

$$d_w = \lambda \cdot (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (14)$$

ahol „ $\lambda$ ” a falszerkezet melletti talaj hővezetési tényezője, melyekre ajánlott értékeket tartalmaz a szabvány, „ $R_w$ ” a talajjal érintkező falrétegek hővezetési ellenállása, míg „ $R_{si}$ ” és „ $R_{se}$ ” a belső és külső felületi ellenállásokat jelöli.

Az egyenértékű pincefal vastagság, a talaj hővezetési tényezőjének valamint a padló szerkezet egyenértékű vastagságának és a pincepadló mélységének ismeretében számíthatjuk a pincefal hőátbocsátási tényezőjét:

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_t}{d_t + z}\right) \cdot \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \quad (15)$$

Az összefüggés abban az esetben alkalmazható, ha  $d_w \geq d_t$ , amennyiben viszont ez nem teljesül, a (15)-ös összefüggésben  $d_t$  helyett  $d_w$  írandó.

A hőátbocsátási tényezők utána a pince teljes, állandósult állapotra vonatkozó transzmissziós hővesztesége is számítható a következő képlettel:

$$H_g = (A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) + (P \cdot \psi_g) \quad (16)$$

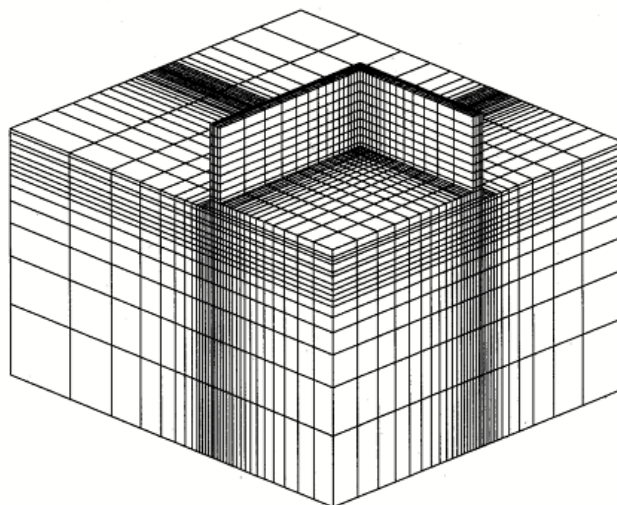
### 4.2.5. SZIMULÁCIÓS MÓDSZEREK

Az épületenergetikusok körében viszonylag ritkán jelenik meg a numerikus szimuláció, azonban az egyetemi oktatásban és kutatásban, speciális tervezési feladatok esetében már egyre inkább találkozhatunk ezekkel a módszerekkel is.

#### 4.2.5.1. Véges differenciámódszer

A parciális differenciálegyenletek egyik legrégebbi megoldási módszere az időben és térben folytonos függvényeket diszkrétizálja (véges sok pontra és meghatározott időpontokra írja le), a differenciálegyenletekből differenciaegyenleteket állít elő és a differenciahányadosokkal közelíti a differenciálegyenletben szereplő deriváltakat.

A megoldás pontossága nagyban függ a tartomány felosztásának minőségétől és a létrehozott pontok számától és az időlépéstől, melyek a felhasználó által szabadon megválaszthatóak, vagy az időlépést optimalizáló, szoftverbe beépített algoritmus által meghatározott módon függnek. A hálóméret hirtelen megváltozása, illetve torzulása szintén csökkenti a megoldás pontosságát, azonban megfelelően létrehozott modell esetében a felbontás finomításával, a pontok számának növelésével az eredmény egyre jobban fogja közelíteni a folytonos rendszert. A módszer hátránya, hogy bonyolult alakú tér esetén nehéz olyan transzformációs függvényt találni (ez ráadásul a kiindulási egyenleteket is átalakíthatják), mely egységes léptékű számítási térhez vezetne. A VDM gyakorlatában ezért a globális koordinátarendszerre merőleges, téglalap (2D) vagy téglatest (3D) alapú cellákra bontjuk a tartományt.

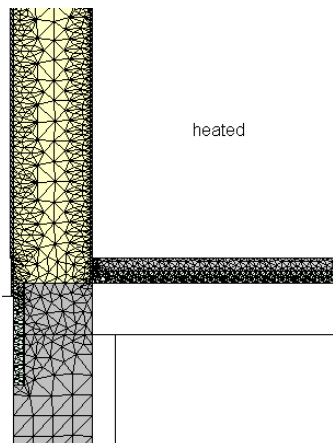


8. ábra: Diszkrétizált geometriai modell talajon fekvő padló és falsarok szimulációjakor, VDM alkalmazása esetén [Blomberg 1996]

A VDM-et alkalmazó szoftverekkel számított eredmények hibáiért a geometriai modell megalkotásának korlátozottsága felel leginkább, csak olyan esetben alkalmazható a módszer, mely során a geometria téglatestekre bontható [Nagy 2013]. A talajjal érintkező szerkezetek szimulációja során általában megfelelünk ennek a kritériumnak, azonban ahogy az a 8. ábrán is látható, gyakran felesleges cellasűrítésre kényszerülünk a diszkretizáció során, mely feleslegesen hosszabbítja meg a numerikus közelítő számításokat. Azonos teljesítményű számítógépen jelenleg a következő pontban bemutatott végelelemmódszert alkalmazó szoftverek jutnak gyorsabban azonos pontosságú numerikus megoldáshoz.

### 4.2.5.2. Végelelemmódszer

A módszert először a repülőszerkezetek komplex szilárdságtani vizsgálatához fejlesztették, mely segítségével a teljes vizsgált tartományt leíró parciális differenciálegyenletek megoldásait a tartomány részhalmazaira felírt egyszerűbb egyenletek megoldásával, majd ezen egyenletek megoldásainak összeillesztésével közelítik, ezáltal matematikai szempontból az alkalmazható numerikus közelítések legelegánsabb módszerét alkotva. A közelítés a függvényter bázisának kiválasztásával kezdődik, melyek



9. ábra: Végelelemes felbontás háromszögelemekkel 2D VEM alkalmazásakor, Psi-Therm szoftverrel [Nagy 2013]

a tartomány egy korlátos része felett lehetnek zérustól különbözőek. A tartományok meghatározása tehát maga a tér diszkretizálása, mely során létrehozuk a végelelemes hálót. A VEM módszerrel megoldott feladatok esetén két féle megoldási módszer létezik. Az egyik esetben a variációs módszert alkalmazzuk, melyben egy funkcionált írunk fel az egész számítási térre vonatkozóan, mely tartalmazza mind az ismeretlen függvényeket, mind pedig ezek deriváltjait. A megoldás során ennek a funkcionálnak a minimumát kielégítő függvényt keressük. A másik módszerbe differenciálegyenletek írhatóak fel egy elemi térrészre, melyek megfelelő peremfeltételekkel megadásával leírják a tartomány állapotát.

A hőtechnikai numerikus számítások során a második módszert alkalmazzuk, leggyakrabban a súlyozott hibák elvén alapuló Galjorkin-féle közelítéssel állítjuk elő az alacsonyabb rendű deriváltakat a magasabb rendűekből.

#### 4.3. A jelenleg hazánkban elterjed számítási módszerek hiányosságai

Összefoglalva az előzőekben ismertetett számítási módszerek hiányosságait, ezzel is indokolva egy új módszer létrehozásának szükségességét, kijelenthető, hogy a bemutatott módszerek állandósult állapotra vonatkoznak, mely a talajon fekvő szerkezetek esetében feltételezhetően nem ad megfelelő közelítést a talajok nagy hőtároló kapacitása és hőkésleltetése miatt.

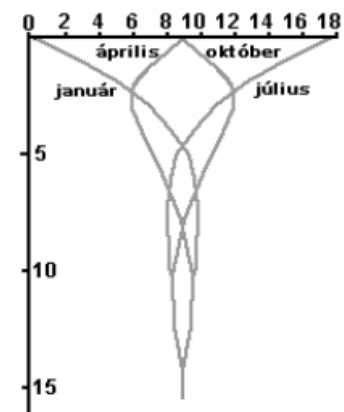
A táblázatos, jelenleg érvényben lévő 7/2006. TNM Rendelet bővített táblázata szerint a padló területénél az épület külső méreteit kellene alapul venni, míg a rendelet összes többi számításánál belső méretekkel kell dolgozni, ez következetlen megoldás. Ugyanígy következetlen, hogy a jelenlegi rendelet ragaszkodik a padló esetében a hővezetési ellenállás szerint megadott értékekhez, holott a követelményszinteknél a padló hőátbocsátási tényezőjét adják meg. Ennek az értéknek a reciprokának bevonása a számításba véleményem szerint egy felesleges lépés, a fizikai tartalom nem változik ettől, csak a forma.

A táblázat értékei esetében semmilyen információ nem áll rendelkezésünkre, hogy az adott épületet milyen talajra építettük, holott a talajoknak eltérő hővezetési tényezőjük és térfogati hőkapacitás értékük van.

Az eddigiekben ismertetett számítási módszerek esetében a padlószerkezet vastagsága sosem játszott szerepet, sem a padlószerkezet rétegeinek sorrendje, pedig a padlószerkezetek hővezetési ellenállása igen nehezen és csak egy bizonyos szintig növelhető a rétegvastagság növelése nélkül.

Továbbá egyik számítási módszer sem veszi figyelembe, illetve említi meg a talajhő hatását, mely a 10. ábrán látható módon hazánkban átlagosan 15 m mélységben állandó 9 °C hőmérsékletű, és hatása a talajjal érintkező szerkezetek hőtranszport folyamataiban is szerepet játszik.

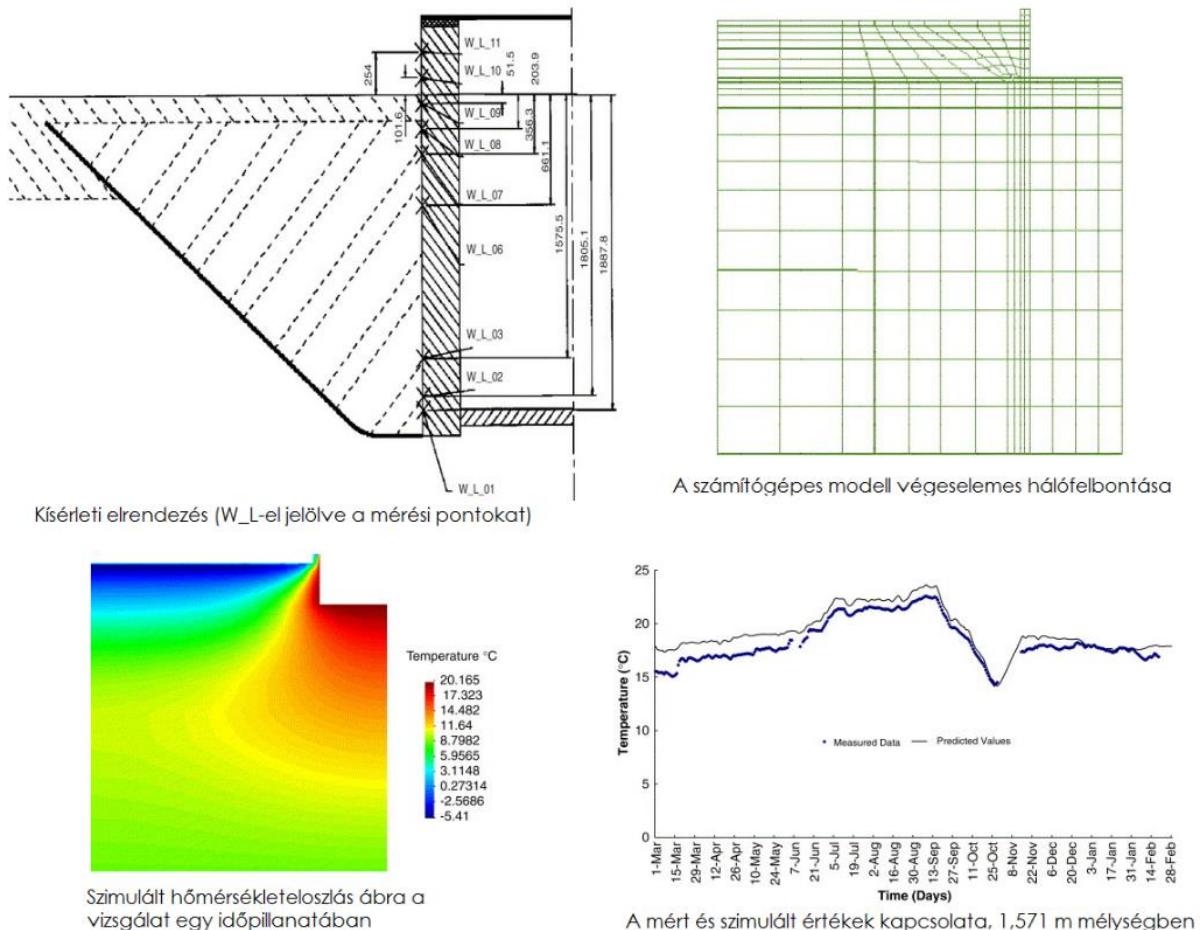
Az említett hiányosságok kiküszöbölhetőek lennének egy olyan számítási módszer segítségével, ami a jelenlegi eljárások pozitív tulajdonságainak megtartása és a jelenlegi technikai fejlettség mellett (pl. az utóbbi harminc év számítógépes fejlődése) megalkotható, értve ez alatt egy tranziens numerikus szimuláción alapuló módszer kifejlesztését, majd annak jelenlegi táblázatos formátumúvá való alakítását.



10. ábra: Talajhőmérséklet éves vázlatos diagramja [foek.hu]

#### 4.4. A modellezés és a valóság kapcsolata

Mint azt a 11. ábrán is láthatjuk, a többdimenziós hőtechnikai szimuláció megfelelően részletes modell esetén, az anyagjellemzők pontos ismeretével és jól megválasztott külső és belső hőmérsékletfüggvény (mint peremfeltételek) alkalmazásakor az eredmények korrelálnak a mérési eredményekkel és igen közel tudnak kerülni a mért értékekhez.



11. ábra: Talajjal érintkező pincefal és padló nagymodell kísérleten mért felületi hőmérsékleteinek és kétdimenziós dinamikus hőtechnikai szimuláció útján számított eredmények összehasonlítása egy éves periódus figyelembevételével [Rees et al. 2007]

#### 4.5. Magyarország éghajlata

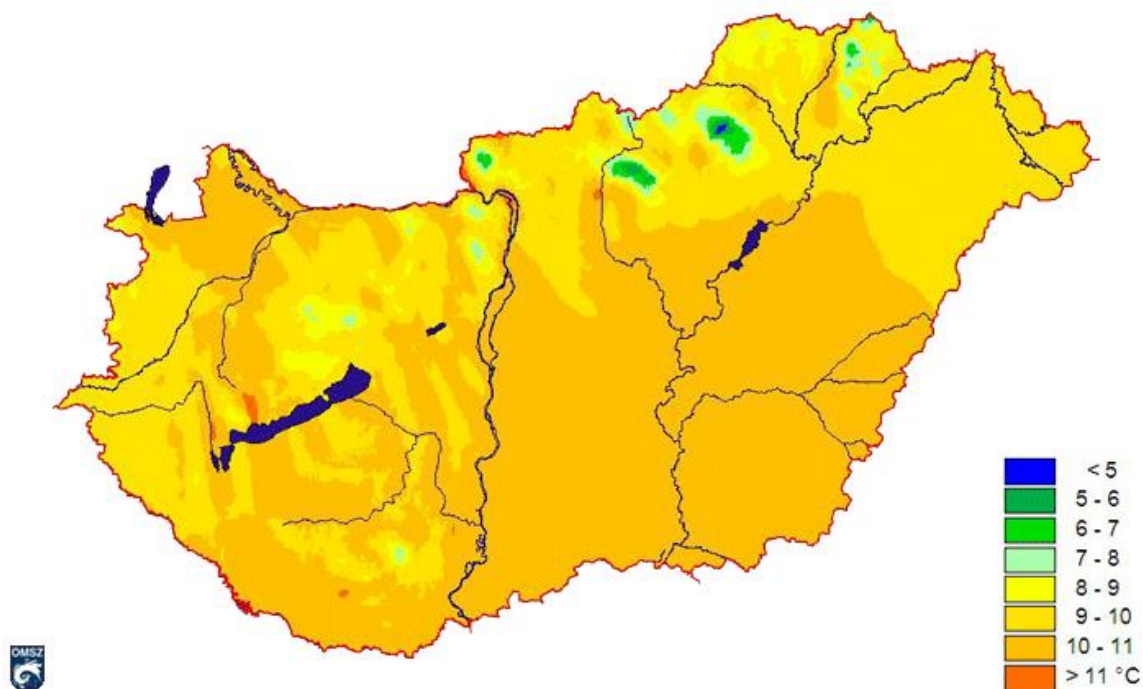
A tranziens hőtechnikai modellezéshez elengedhetetlen a vizsgált időszakra vonatkozó külső és belső hőmérséklet ismerete, változásának pontos leírása. A külső hőmérséklet regionális figyelembevétele, hazánk éghajlati zónákra való felosztása pedig összhangban van a 2010/31/EU irányelvvel.

### 4.5.1. ÉVES ÁTLAGOS NAPI KÖZÉPHŐMÉRSÉKLET

Az évi középhőmérséklet alapján az ország legnagyobb része a 10 °C – 11 °C-os tartományba esik, melyet a 12-es ábrán is láthatunk. A második legjelentősebb éghajlati zónát pedig a 9 °C – 10 °C-os éves középhőmérséklet jellemzi. Hazánk további pontjain ettől eltérő hőmérsékletek is megfigyelhetők, például a Kékestetőn az elmúlt 30 év mérései 5,8 °C-os évi középhőmérsékletet mutattak.

A kutatás szempontjából azonban nem csupán az évi, hanem a fűtési idény átlaghőmérséklete is jelentős szerepet játszik. A vonatkozó adatok szerint a fűtési idény hónapjainak átlaghőmérséklete az országunk területén -5 °C és 5 °C-os hőmérsékleti tartományban mozog [Nagy 2011]. A tranziens szimulációk futtatásához azonban a havi pontosságú adatok nem elegendőek, így a dolgozatban a későbbiekben hazánk éghajlatának napi középhőmérsékletének elemzésével is foglalkozunk, mely segítségével előállíthatjuk a két nagy hőmérsékleti zónára jellemző hőmérsékleti függvényeket.

A függvény előállításához viszont az éves hőingás mértékét is ismernünk kell, mely az Alföldön 24 °C – 25 °C –os, míg a magashegységeinkben 20 °C alatti, átlagosan pedig 22 °C körül mondható.



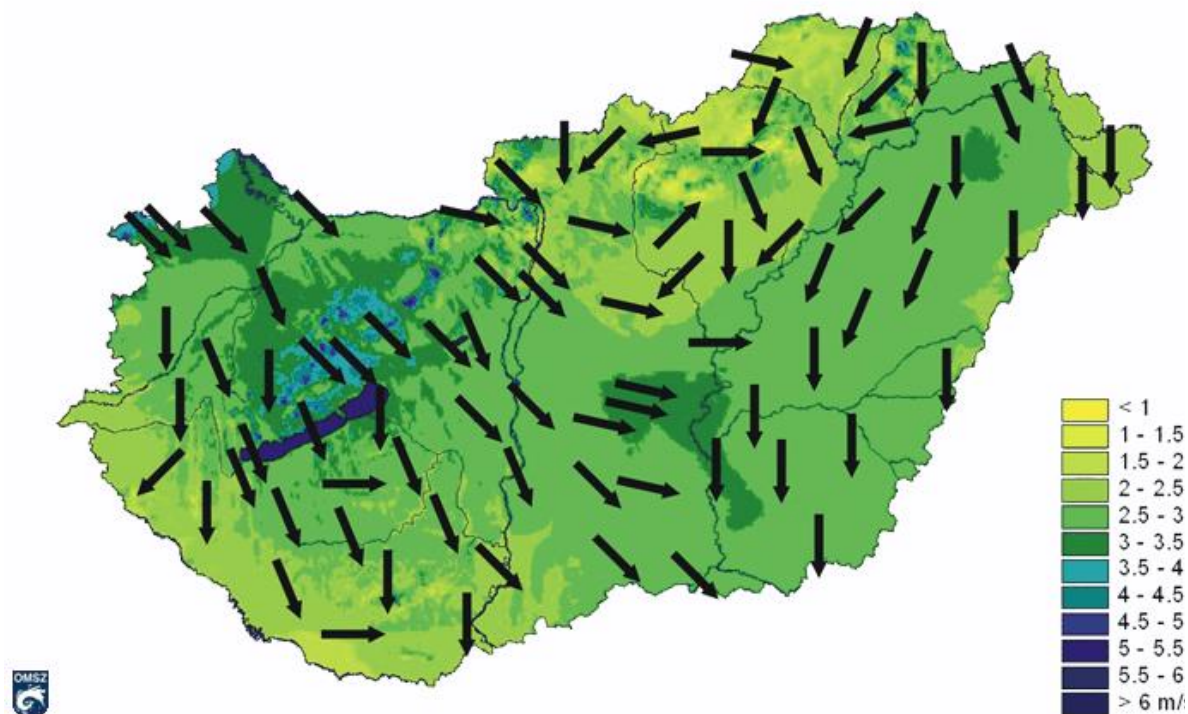
12. ábra: Az évi átlagos középhőmérséklet Magyarországon az 1971-2000 közötti időszak alapján.  
[www.met.hu]

#### 4.5.2. SZÉLSEBESSÉG

A hazánkra jellemző szélsébséget a kutatás új módszerének létrehozásához elvégzett tranziens végelelemes szimulációk során szintén dinamikusn változó felületi ellenállások meghatározása miatt kell ismernünk. A 13. ábrán láthatóak a hazai földfelszíni mérésekből meghatározott uralkodó szélirányok és a szélsébség nagysága, melyet m/s-ban ábrázoltak a térkép készítői.

Az ábrán látható, hogy hazánk legtöbb területén a szélsébség 2,5 m/s és 3,5 m/s közötti, ezért ennek jellemzésére a 3 m/s-os értéket tartom megfelelőnek a vizsgálat szempontjából. Ez eltér az MSZ EN ISO 6946:2008 szabványban szereplő 4 m/s-tól, mely azonban nem hazánkra, hanem Európára (azon belül is a már említett svéd kutatók munkájában) meghatározott érték.

A hazánkra jellemző szélsébség alkalmazása a felületi ellenállások számítása esetében szintén az Európai Unió Parlamentjének és Tanácsának irányelve szerint való.

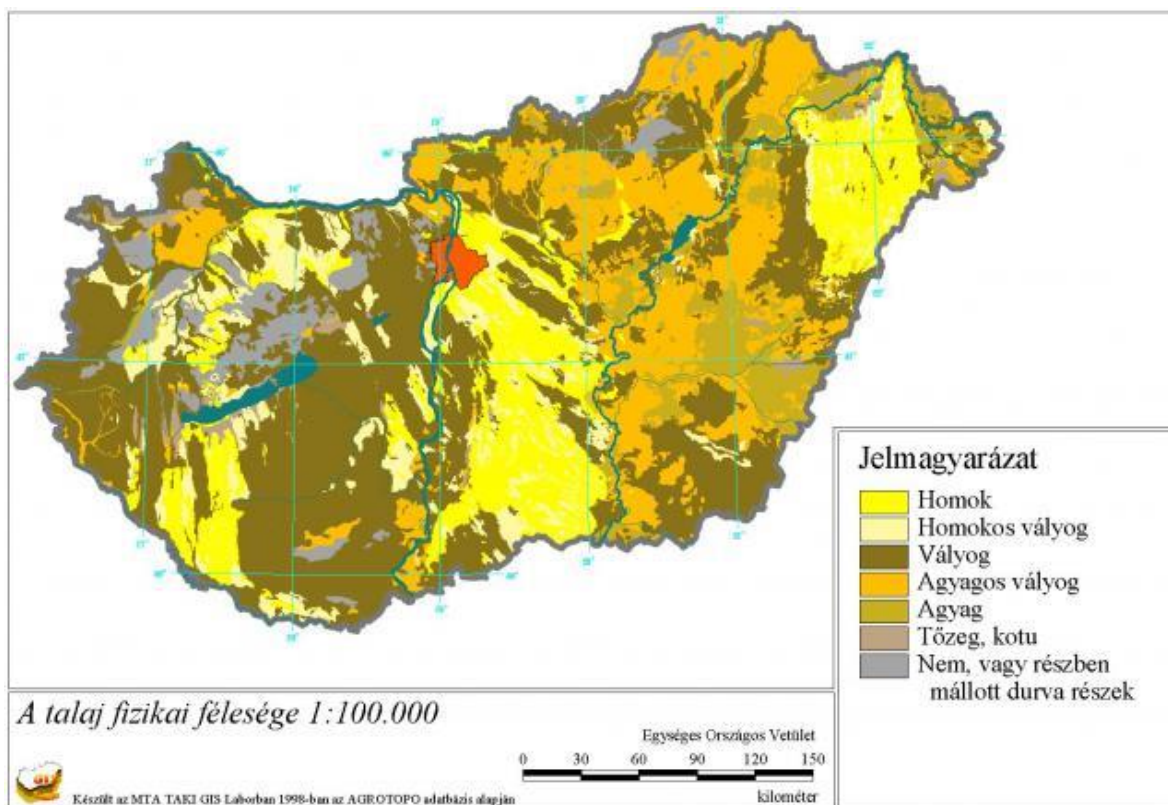


13. ábra: Az évi átlagos szélsébségek (m/s) és az uralkodó szélirányok Magyarországon. [www.met.hu]

### 4.6. Magyarország talaja

A kutatás szempontjából talán még az éghajlati jellemzők meghatározásánál is nagyobb jelentősége van azoknak a talajoknak a kiválasztása, melyek hazánkra jellemzőek és melyek hőtechnikai tulajdonságainak felhasználásával elkészíthetjük a hazai helyi adottságokra jellemző modelleket.

A 14. ábrán a hazánkban előforduló talaj fizikai féleségeit láthatjuk. A talaj textúrája vagy más néven fizikai félesége a talaj ásványi anyagainak szemcseméret-eloszlása határozza meg.



14. ábra: Hazánk talajainak fizikai félesége [enfo.agt.bme.hu]

A hazai elnevezés azonban nem illeszkedik a harmonizált MSZ EN ISO 13370:2008 szabvány szerint meghatározott három jellemzően alkalmazható talajféleséghez. A szabvány megkülönböztet agyag és iszapos talajokat, homok és kavicsos talajokat valamint homogén kőzeteket, melyekre reprezentatív hővezetési tényezőket és térfogatra vonatkoztatott hőkapacitás értékeket határoz meg.

Nem nehéz feladat azonban összefésülni a szabványt az alábbi térképen szereplő kategóriákkal, ha tudjuk, hogy a vályog általában 40% agyag, 40% iszap és 20% homok tartalmú hazánkban. E miatt a homok és homokos vályog talajoknak megadhatjuk a

homokos talajra jellemző hőtechnikai tulajdonságokat, míg a többi kategória esetében az agyag és iszapos talajokra jellemző értékeket használjuk. A két talajkategória közel az egész ország területét lefedi, így megfelelő lesz a vizsgálatok elvégzésére.

A szerző megjegyzése továbbá, hogy a dolgozat publikálásakor már folyamatban van egy vizsgálat a BME Magasépítési Tanszékének Épületfizika Laboratóriumában, mely során Magyarország különböző pontjain alapozási mélységből vett különböző hőtechnikai jellemzőjű talajminták anyagjellemzői és hőtechnikai paraméterei kerülnek mérésre, ezáltal a szabványban szereplő értékek hazánk adottságaihoz történő illesztése mérési eredmények alapján történhet meg.

## 5. ÚJ SZÁMÍTÁSI LEHETŐSÉG TALAJJAL ÉRINTKEZŐ SZERKEZETEK MODELLEZÉSÉRE

### 5.1. A számítási eljárás módszertana

Az előző fejezet alapján, melyben a jelenleg alkalmazott módszerekről és lehetőségekről esett szó, felmerül a kérdés, hogy miért nincs egy olyan számítási módszer sem jelenleg, mely egyszerűen használható, mégis kellőképpen közelít a valóságos állapotok leírásához. Az új módszer, melynek kidolgozásáról a kutatás további részében szó esik, ezt a kihívást próbálja meg teljesíteni, egyesíteni a jelenlegi módszerek előnyeit, az egyszerűségüket és persze az épületenergetikával foglalkozó szakemberek szokásainak figyelembevételével, ám mégis a jelenlegieknél a valóságot pontosabban leíró fizikai modellekkel és összetettebb számítási eljárással kidolgozott lehetőség biztosításával. A módszer legfőképpen a hazai viszonyokra koncentrál, azonban a módszertan gyakorlatilag a világ bármely pontján működőképes lehet.

Az eddigiekben elhangzottak alapján egyértelmű, hogy csak tranziens, azaz időben változó numerikus szimuláció jöhet szóba a jelenség leírására, ahol a vizsgált időtartam a hazai standard fűtési idény lehet. A tranziens számítás időlépése egy nap, így a fűtési idényben 183 nap napi átlagos hőveszteségei alapján határozhatjuk meg a talajjal érintkező szerkezetek átlagos, fűtési idényre vonatkozó vonalmenti hőátbocsátási tényezőit. Ez utóbbi, a vonalmenti hőátbocsátási tényező a jelenlegi 7/2006. TNM Rendelet számítási eljárásába történő implementálhatóságot hivatott biztosítani, és ezt elősegítendő a számítási eljárás ahol lehet, hasonlóan kerül kialakításra, mint az immáron 30 éves, jelenleg leggyakrabban alkalmazott táblázatos módszer. Azonban figyelemmel kell lennünk arra is, hogy az elmúlt három évtizedben változtak az épületfizikai követelmények, és azok megadási módja is, szemléletesebb lehet a táblázatokban is hőátbocsátási tényezők alapján keresni a megfelelő értéket, mint hővezetési ellenállások alapján, valamint a táblázat értékei a manapság alacsony energiaigényű épületek esetében előforduló, akár 40 cm vastag hőszigeteléssel készülő padlószerkezetek esetében is meg kell adniuk a vonalmenti hőátbocsátási tényezőket. Nem utolsósorban pedig a táblázatos értékeknek tartalmazniuk kell a padló és (pince)fal csatlakozásnál kialakuló hőhíd miatti többlethőveszteségeket is. A jelenlegi két táblázat helyett (melynek egyike a padló, a másik pedig a talajjal érintkező fal hőveszteségeit adja meg) egy

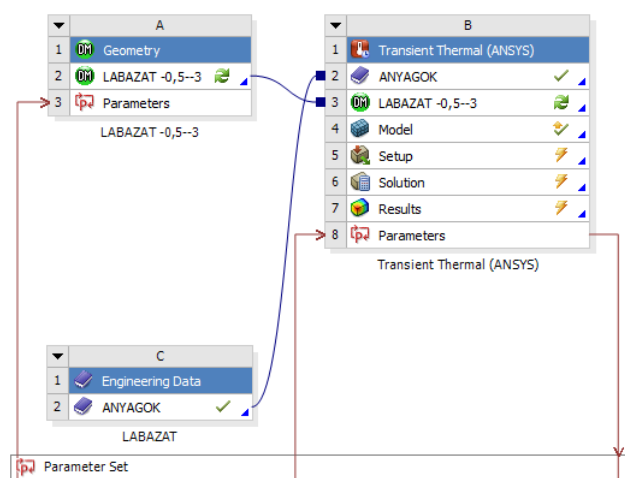
összesített táblázat létrehozása jelentené a legjobb megoldást, természetesen a jelenlegi számítási környezetbe való integrálhatóság megtartása mellett.

Elkerülhetetlen azonban a változás, mivel országunk klimatikus és helyi talajviszonyai nem állandóak, ezáltal a meghatározott táblázathoz képest korrekciós tényezők alkalmazása lesz szükségszerű az ország egyes pontjain, melyek segítségével pontosabbá válhat a számítás. Az eddigi módszerek továbbá nem foglalkoztak a háromdimenziós hőhidak hatásaival, azaz a vonalmenti hőátbocsátási tényező értékeit csupán egy kerületi hosszal szorozva kaphattuk meg a talajjal érintkező szerkezet hőveszteség-tényezőjét, azonban belátható, hogy azonos kerületi hosszhoz többféle geometria társulhat, és már a legalapvetőbb épületgeometriák esetén is eltérések jelentkezhetnek a hőveszteségek mennyiségében. E miatt vizsgálnunk kell az épületsarok hőveszteségnövelő vagy –csökkentő hatásait is, melyet a kerületi hossz korrekciós tényezőjével veszünk majd figyelembe.

### 5.1.1. TRANZIENS VÉGESELEMMÓDSZER ALKALMAZÁSA

Az időben változó hőtechnikai jelenségek modellezésére tranziens szimulációt kell végeznünk. Ez a tény azonban még nem dönti el, hogy a szimuláció végeselemmódszer vagy véges differenciámódszer alkalmazásával történjen. A döntést a módszereket alkalmazó szoftverek tanulmányozásával hozhatjuk meg, lévén nincs jelenleg olyan véges differenciámódszert alkalmazó szoftver a piacon, mely képes lenne kezelni több száz vagy akár több ezer szimuláció lefuttatását, mindezt pedig úgy, hogy a geometriai modellt és a peremfeltételeket képes legyen függvény alapján vagy paraméteresen változtatni a tranziens szimuláció időtartama alatt.

Végeselemmódszert alkalmazó szoftverekből azonban a nem kifejezetten épületek és épületenergetikai felhasználásra készített programokban megtalálhatóak ezek a funkciók, melyek segítségével a táblázatos értékek előállításához szükséges szimulációkat le tudjuk futtatni.



15. ábra: Tranziens szimuláció összeállítása ANSYS végeselemes szoftverben

A szimulációk lefuttatására az ANSYS nevű szoftvert választottam, melyben a teljes folyamatot el lehet végezni a modell megalkotásától és paraméterezésétől kezdve a peremfeltételek függvény- vagy adott időpillanatokra vonatkozó táblázatos értékein át a modellt felépítő anyagok definiálásával, az automatizált futtatásig és a tetszőleges időpillanatok közötti és tetszőleges helyen lekérdezett, időintegrált eredményekig.

A tranziens szimuláció összeállítását a 15. ábrán láthatjuk, mely képen látható a geometriai modell és az eredmények lekérdezésének paraméterezettsége is.

### 5.1.2. GEOMETRIAI MODELL LÉTREHOZÁSA

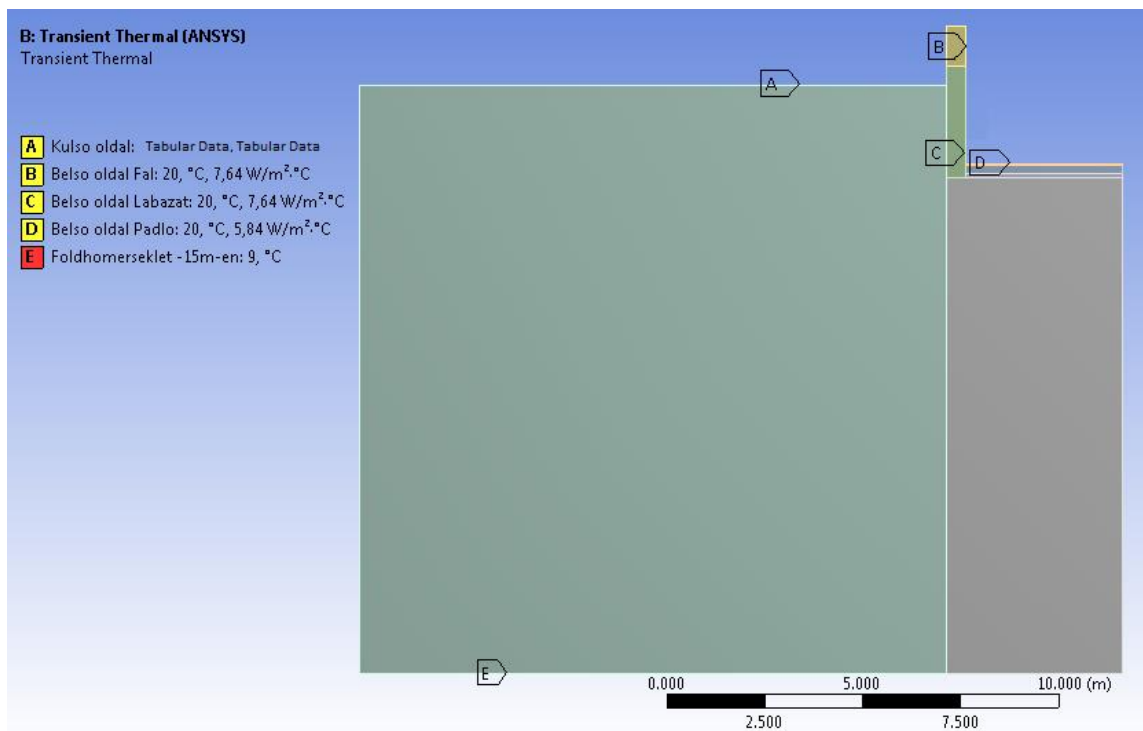
A modell létrehozásánál a 1246/2013. Korm. határozat szerinti módosított épület-határoló szerkezetekre való követelmények figyelembevétele és értelmezése szerint jártam el. E szerint a lábazati falra is létezni fog követelményérték, nem csupán a talajjal érintkező falszerkezetekre. E változás miatt tehát a külső fal és a talajjal érintkező fal mellett a lábazati fal kialakítását is meg kellett határoznom.

A modell felépítés szempontjából a valóságos, építésben előforduló tényezőket is figyelembe vettem. A lábazatot a talaj szintjétől minden esetben fél méteres magasságig modelleztem, a fölött pedig külső falat építettem. A talajjal érintkező falat nem csupán a követelmények között említett talajszinttől egy méteres mélységig készítettem el, hanem adott esetben a pincepadló szintjéig.

Az alaptesteket azonban minden esetben elhanyagoltam a hőtechnikai szimuláció során, mivel geometriai értelemben azok kialakítása a lokális jellemzőktől, például a talaj teherbírásától is függ, a táblázatot pedig nem csupán sávalappal rendelkező épületek esetén alkalmazzák majd az épületenergetikusok (mint ahogy a jelenlegi Rendeletben szereplő táblázatot is minden épület és alapozási típus esetén alkalmazzák), hanem pontalap, lemezalap vagy akár cölöpalap megléte esetén is. Figyelembe vehetjük továbbá az MSZ EN ISO 13370 vonatkozó számítási modelljeit, ahol az alaptest és a padló szerkezet alatti fal szintén elhanyagolásra került. További indok az alaptest elhanyagolására, hogy ahogy azt majd a 17. ábrán is láthatjuk, az egyszázalékosan vasalt beton hővezetési tényezője minden esetben közel azonos, vagy nagyobb, mint a hazánkban előforduló talajoké, így gyakorlatilag ennek elhanyagolásával a „biztonság javára” téved a modell. (Amennyiben azonban az alaptest szigetelten kerül a valóságban kialakításra, lehetőség van az MSZ EN ISO 13370 melléklete szerinti függőlegesen

elhelyezett hőszigetelés vonalmenti hőátbocsátási tényezőss korrekcióját figyelembe venni a hővesztés-tényező számításakor.)

A geometriai modell újdonsága azonban a modell paraméterezésében és a padló szerkezet kezelésében rejlik. Nyilvánvaló ugyanis, hogy a padló szerkezet hővezetési ellenállásának növeléséhez növelnünk kell a padló szerkezetbe beépítésre kerülő hőszigetelő réteg vastagságát is (mivel annak hővezetési ellenállása csak egy bizonyos végletig növelhető). Ez azt jelenti, hogy az egyes padló szerkezetek különböző hőátbocsátási tényezőihez természetesen különböző vastagságú padló szerkezet rendelhető hozzá, mely kihatással lesz a szimuláció eredményeire is. Egy geometriai modellt az alábbi, 16. ábrán láthatunk, mely  $z = -2$  m-ben került felvételre, a hőszigetelő réteg vastagsága pedig közel 20 cm-es.



16. ábra: Az egyik geometriai modell, a peremfeltételek jelölésével

A hőszigetelő rétegek „h” vastagságát a padlólemez rétegtervi hőátbocsátási tényezőjéből számíthatjuk vissza a következő egyenlettel:

$$h = \lambda_{\text{hőszig}} \cdot \left( \frac{1}{U} - R_{si} - \frac{d_{\text{felbeton}}}{\lambda_{\text{felbeton}}} - \frac{d_{\text{alaplemez}}}{\lambda_{\text{alaplemez}}} \right) \quad (17)$$

ahol a kutatás során „h” vastagság és „U” hőátbocsátási tényezőn kívül, melyeket a 17. ábrán láthatunk, a többi tag konstans értékkel került meghatározásra, amelyek láthatóak a 18. ábrán.

A hőszigetelőréteg vastagságának változtatása nem csupán a padlószerkezet vastagságának változását befolyásolja, hanem közvetetten a tranziens szimuláció során a talajba jutó hőmennyiséget is, melyet a talaj adott esetben tárolni tudna, illetve a hőszigetelő réteg vastagsága döntően befolyásolja a hőáramok irányát is a padlószerkezettel és a hozzá csatlakozó falszerkezettel érintkező földben is.

A jobb oldalon található táblázatból látható, hogy a modellek padlószerkezete 0,1 W/m<sup>2</sup>K-ig került meghatározásra, ez közel 40 cm-es hőszigetelőréteg vastagsággal érhető el, ha a hőszigetelő anyag hővezetési tényezője 0,04 W/mK.

A falszerkezetek geometriai méretei a 1246/2013. Korm. határozatban foglalt követelményértékek miatt 46 cm-es szélességben kerültek modellezésre, mivel ilyen vastagságú, hazai piacon kapható kvázi homogén falazatból lehet teljesíteni a határozatban foglalt követelményeket. A falazatok magassága szintén paraméterezett, azonban minden esetben vagy a külső talajszinthez képest 1,5 m-el magasabban végződik, vagy a belső padlószinthez képest magasabb 1,5 m-el. A 16. ábrán az előbbi helyzet adódott.

A talaj a 0 szinttől -15 méteres mélységig és a falazat külső síkjától szintén 15 méter hosszon került modellezésre.

| U [W/m <sup>2</sup> K] | h [cm] |
|------------------------|--------|
| nincs                  | -      |
| 2                      | 1,25   |
| 1                      | 3,25   |
| 0,75                   | 4,58   |
| 0,5                    | 7,25   |
| 0,4                    | 9,25   |
| 0,3                    | 12,58  |
| 0,25                   | 15,25  |
| 0,2                    | 19,25  |
| 0,15                   | 25,91  |
| 0,1                    | 39,25  |

17. ábra: A padló U értékei és a hozzá tartozó hőszigetelő réteg vastagságok

### 5.1.3. ANYAGTULAJDONSÁGOK KIVÁLASZTÁSA

A modellgeometria megalkotása után az egyes szilárd testekhez anyagtulajdonságokat kell rendelnünk. Míg a stacioner hővezetési feladat megoldásához elegendő egy anyag geometriai formájának és hővezetési tényezőjének ismerete, addig a tranziens vizsgálatokhoz az egyes anyagok sűrűsége és fajhője (mely jelen vizsgálaton állandó nyomáson értelmezett) is szükséges. Az anyagtulajdonságokat az MSZ EN ISO 13370:2008 valamint az MSZ EN ISO 10456:2008 szabványok alapján határoztam meg, melyek minden esetben általános felhasználású tervezési értékek. Abban az esetben, ha egy anyagnak a szabványokban csak a térfogatra vonatkoztatott hőkapacitása

(térfogatkapacitása) volt megadott, úgy ebből az értékből 1000 J/kgK-es fajhő feltételezése mellett határoztam meg a sűrűségét. Az egyszerűsítés azonban nem befolyásolja a szimulációt, mivel az egyenletek összeállítása során gyakorlatilag ez a két érték mindig szorzatösszegként szerepel.

A szimuláció futtatásához alkalmazott ANSYS szoftver a hőmérsékletfüggő anyagmodelleket képes kezelni, azonban a nedvességváltozás miatti anyagtulajdon-ság változást már nem, ezért az anyagi jellemzőket konstansnak tekintettem a vizsgálat hőmérsékleti tartományában.

| Anyagtulajdonságok                                      |                  |                                        |                                        |                        |                                                             |
|---------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Réteg megnevezése                                       | Vastagság<br>[m] | Hővezetési tényező<br>$\lambda$ [W/mK] | Sűrűség<br>$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Fajhő<br>$c_p$ [J/kgK] | Térfogatkapacitás<br>$\rho \cdot c_p$ [MJ/m <sup>3</sup> K] |
| Talaj (Homokos, kavicsos talaj) - MSZ EN ISO 13370:2008 | 15               | 2,00                                   | 2000,00                                | 1000,00                | 2,00                                                        |
| Padló felbeton - MSZ EN ISO 10456:2008                  | 0,06             | 1,35                                   | 2000,00                                | 1000,00                | 2,00                                                        |
| Padló aljzatbeton (vasalt, 1%) - MSZ EN ISO 10456:2008  | 0,10             | 2,30                                   | 2300,00                                | 1000,00                | 2,30                                                        |
| Padló hőszigetelés, EPS - MSZ EN ISO 10456:2008         | Paraméterfüggő   | 0,04                                   | 20,00                                  | 1460,00                | 0,03                                                        |
| Falazat (PTH 44 K + 2 cm mészvakolat)                   | 0,46             | 0,11                                   | 779,57                                 | 881,74                 | 0,69                                                        |
| Lábazat (PTH 44 HS + 2 cm mészvakolat)                  | 0,46             | 0,14                                   | 693,48                                 | 881,74                 | 0,61                                                        |

18. ábra Anyagtulajdonságok

A 18. ábrán szereplő táblázat szerinti értékeket rendeltem a modell egyes rétegeihez. A talaj a standard vizsgálat során homokos, kavicsos talajként került meghatározásra. A felbeton közepes sűrűségű vasalatlan beton, míg az aljzatbeton 1%-os vashá-nyaddal vasalt beton. A padló szerkezetben helyet kapó hőszigetelés hővezetési ténye-zője a szabványos EPS hab hővezetési tényezőjével egyenlő, melynél a valóságban akár 25%-al kisebb hővezetési tényezőjű anyagokat is beépíthetünk, azonban az épít-tetők választhatnak nagyobb hővezetési ellenállású hőszigetelő réteget is. Az általam választott érték standardnak mondható a hőszigetelő anyagok között, azonban a sű-rűsége megfelel a padló szerkezetekben elhelyezésre szánt EPS hab táblákéinak.

A falazatot és a lábazati falat PoroTherm falazóblokkból készítettem, mely során olyan falazóelemeket választottam, amelyek 1 – 1 cm vakolat felhordásával pontosan teljesítik a 1246/2013. Korm. határozatban előírt  $U_{fal} = 0,24$  W/m<sup>2</sup>K és  $U_{lábazat} = 0,3$  W/m<sup>2</sup>K követelményértékeket. A választásom azért esett a kvázi homogén falszerkezeti kiala-kításra, mert ennél kisebb hővezetési ellenállással rendelkező, ám külső oldalon szige-telt falazatok nagyobb hasznos hőtároló tömeggel rendelkeznek, így a jelen vizsgálat során kedvezőbb eredményeket kaphattunk volna. A kutatás során azonban már lát-hattuk, hogy mérlegelendő döntés esetén mindig a kedvezőtlenebb, úgymond bizton-ság javára tévedés megoldását választottam, ezáltal általánosabban és széleskörűbben és biztonságosan felhasználhatóvá téve a kapott eredményeket.

#### 5.1.4. KÜLSŐ HŐMÉRSÉKLETFÜGGVÉNY MEGALKOTÁSA, PEREMFELTÉTELEK

##### 5.1.4.1. Külső oldali peremfeltételek

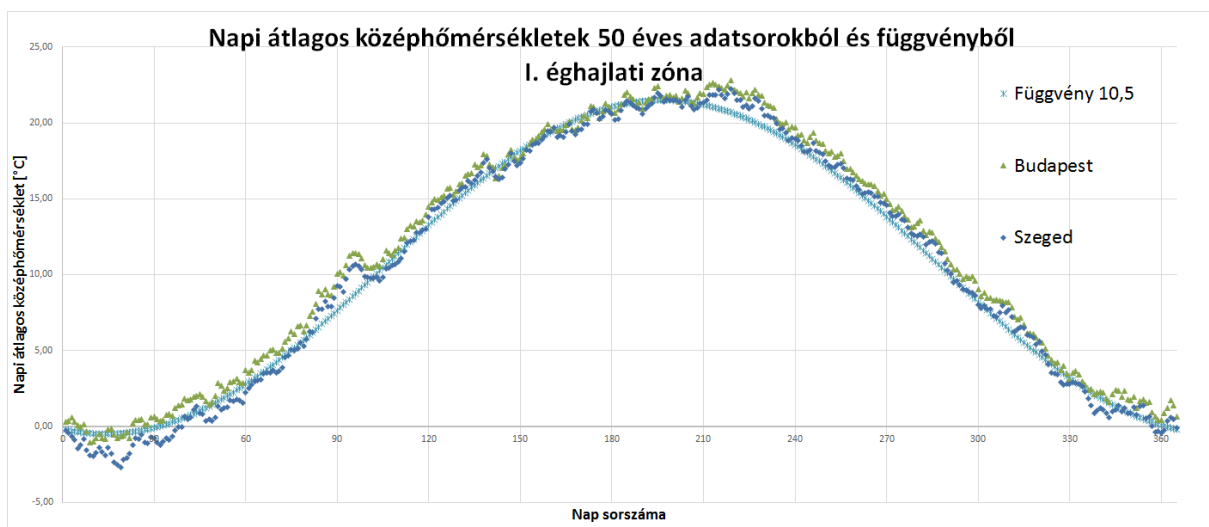
A geometriai modell külső oldalán a 16. ábrának megfelelően hőmérsékleti és felületi hőátadási tényezőre vonatkozó peremfeltételt helyeztem el, mely szintén függ a külső hőmérséklettől. A dolgozat 4.5.1.-es pontjában láthattuk, hogy hazánk túlnyomó részén két hőmérsékleti tartomány található, a nagyobb területen a 10 °C - 11 °C-ot míg kisebb részben pedig 9 °C – 10 °C közötti értékeket mérhetünk. E miatt két éghajlati zónát különböztetnek meg a kutatás során, melyek egyike 10,5 °C-os éves átlagos középhőmérséklet és 22 °C-os hőingás mellett, míg a II. zóna 9,5 °C-os éves átlagos középhőmérséklet és szintén 22 °C-os éves hőingás mellett meghatározásra.

A kutatás ebben a szakaszában az I. éghajlati zóna hőmérsékletével foglalkozunk tovább. A zóna hőmérsékletét leíró függvény, melyet Graph és Wolfram Alpha Pro használatával határoztam meg, a következő:

$$T = T_m + T_r \cdot \cos\left(2,9 + \frac{2 \cdot \pi \cdot X}{365}\right) [^{\circ}\text{C}] \quad (18)$$

ahol „ $T_m$ ” az éves átlagos középhőmérséklet, mely az I. éghajlati zónában 10,5 °C, „ $T_r$ ” az éves átlagos hőingás fele, azaz 11 °C, „ $X$ ” pedig az év adott napja, amelyen a napi középhőmérsékletet meg szeretnénk határozni.

A hőmérsékletfüggvény helyességét az alábbi ábra szemlélteti:



19. ábra: Napi átlagos középhőmérsékletek 50 éves adatsorokból és függvényből, I. éghajlati zóna

A 19. ábrán az adott hőmérsékleti zónára jellemző, két magyarországi város 50 éves napi középhőmérsékleteiből (1950-2000-ig) átlagolt napi átlagos középhőmérsékletek láthatóak, melyekhez adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat online adat-tárában találtam. Az ábrán látható továbbá a „Függvény 10,5” elnevezésű (18)-as egyenlettel meghatározott hőmérsékletfüggvény, mely igen jó egyezést mutat.

A kutatás szempontjából érdekes tartomány azonban a standard fűtési idény, avagy az Október 15. és Április 15.-e közötti időszak. A létrehozott „Függvény 10,5” hőmérsékleti függvény a 7/2006. TNM Rendelet szerinti fűtési idény átlaghőmérsékletét egy tizedes pontossággal megközelíti (3,52 °C-ra adódik a Rendelet éghajlati adataiból következő 3,6 °C helyett), így a további vizsgálatok során a függvények felhasználhatóak, az eredmények illeszthetők.

A hőmérsékletfüggvény alapján meghatározhatóak a napi átlagos középhőmérséklet alapján változó felületi ellenállások a következő képlet segítségével, mely az MSZ EN ISO 6946 szabvány alapján:

$$R_{se} = \frac{1}{4 + 4 \cdot v + \varepsilon \cdot 4 \cdot \sigma \cdot (T + 273,15)^3} \quad (19)$$

ahol „v” a szélsébséget jelöli m/s-ban, és hazánkban az 4.5.2.-es pont alapján 3 m/s-nak tekinthető, „ε” a felület emissziós tényezője, melyet az MSZ EN ISO 6946 alapján általánosan 0,9-nek vehetünk fel. Továbbá „σ” a Stefan-Boltzmann állandó, melynek értéke  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ , „T” pedig a (18)-as egyenlet szerint meghatározott napi átlagos középhőmérséklet.

#### 5.1.4.2. Belső oldali peremfeltételek

A belső oldalon a 7/2006. TNM Rendelet szerinti egyszerűsített számítás alapján konstans 20 °C-os hőmérsékletet határoztam meg. A belső oldali felületi ellenállás:

$$R_{si} = \frac{1}{h_{ci} + \varepsilon \cdot 4 \cdot \sigma \cdot (T + 273,15)^3} \quad (20)$$

ahol a (19)-es egyenlethez képest a változást „h<sub>ci</sub>” konvekciós hőátadási tényező értéke jelenti, amely vízszintes irányú hőáramlás esetén (függőleges falaknál) 5 W/m<sup>2</sup>K, míg lefelé irányuló hőáramlás esetén (padló felületén) 0,7 W/m<sup>2</sup>K.

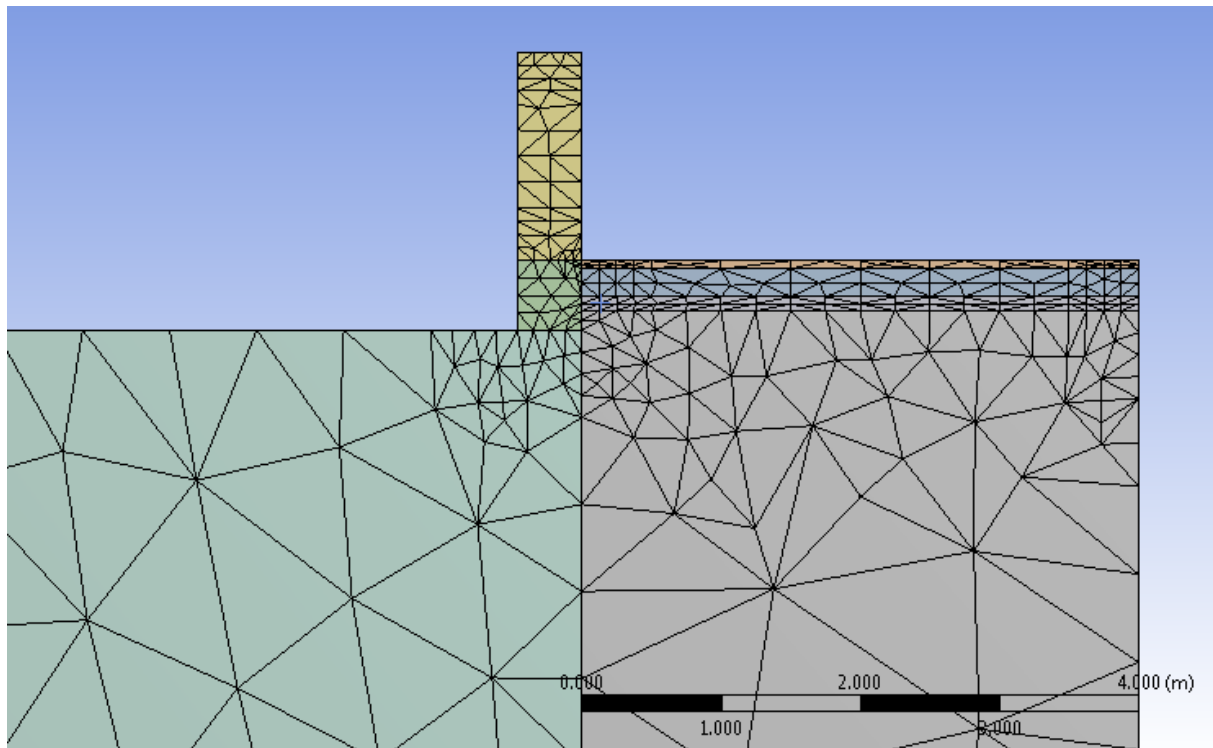
A (20)-as egyenlet felhasználásával számított belső, konstans hőátadási tényezők (melyek a felületi ellenállások reciprok értékei) a 16-os ábrán feltüntetésre kerültek.

### 5.1.4.3. Talajhőmérséklet

Mivel a talajt nem áll módunkban végtelen mélységig és kiterjedéssel modellezni, így azt egy hőmérsékleti peremfeltétel megadásával tudjuk helyettesíteni, mely során a korábban szereplő 10. ábra értelmében hazánkban átlagosan 15 m mélységben a talaj hőmérséklete állandó  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nak tekinthető. Természetesen ez az érték függ a talaj fizikai paramétereitől és a lokálisan eltérő geotermikus gradiens értékétől is, de a kutatás során ezek területi eloszlását nem vizsgáltam a továbbiakban, hanem az említett átlagértéket vettem figyelembe.

### 5.1.5. A VÉGESELEMES HÁLÓ

A geometriai modell végeselemes felbontását szintén az ANSYS szoftver segítségével végeztem el. A geometriai modell térbeli kiterjedéséről eddig nem esett szó, de az eredmények lekérése szempontjából szükséges, és a térbeli kiterjedés a hálófelbontást is befolyásolja. Míg 2D-s vizsgálat esetén a legegyszerűbb, úgynevezett szimplex elemnek a háromszög tekinthető, addig 3D-s esetben a szimplex a tetraédert jelenti.



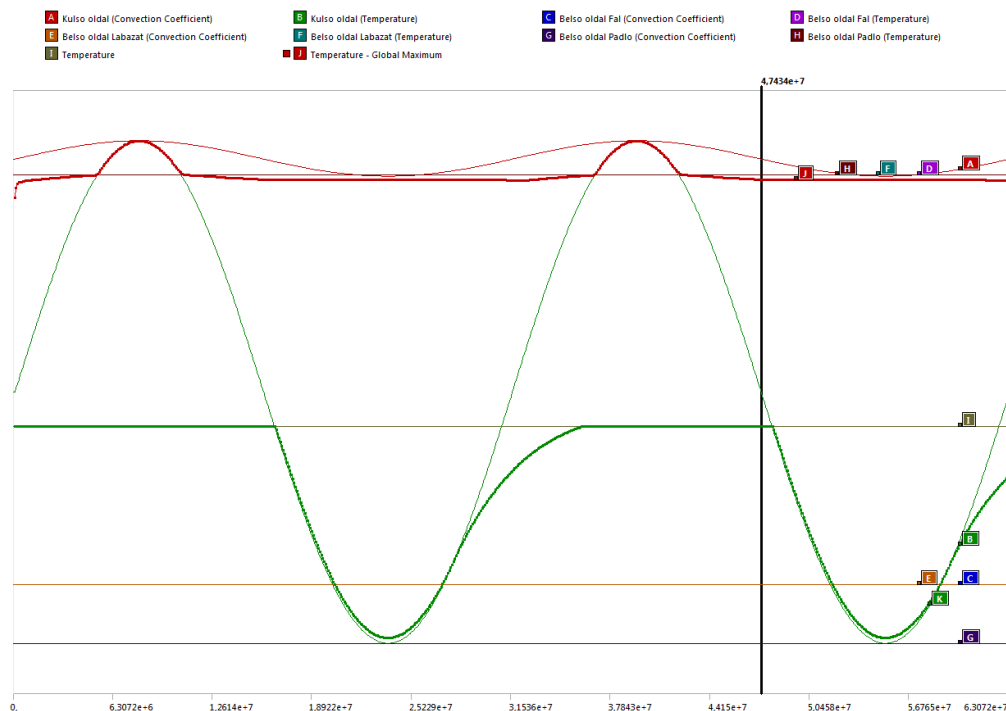
20. ábra: Geometriai modell végeselemes felbontása

A modell térbeli kiterjedése 10 cm vastagságú a z tengely mentén, mely vastagság miatt került kiválasztásra, hogy minél kisebb modellméret mellett (minél kisebb térbeli kiterjedés kevesebb csomópontot is jelent a hálón, ezáltal gyorsabb számíthatóságot), de még a háló torzulása nélküli felbontást tudjunk kialakítani tetraéderes elemek felvétele mellett.

A 20. ábrán látható, hogy a végeselemes felbontást a hőáramlás szempontjából legfontosabb sarokcsatlakozásnál és a padlószerkezet alatt, valamint az ábrán nem látható módon a padló és falszerkezetek felületén, a teljes modellen alkalmazott hálózathoz képest besűrítettem. Az egyes modellek esetében átlagosan 6000 elemmel kerültek kialakításra az egyes végeselemes hálók. A lekérdezések az egyes szerkezetek peremfeltétellel érintkező reakciói lesznek a későbbiekben.

### 5.1.6. A SZIMULÁCIÓK FUTTATÁSA ÉS EREDMÉNYEI

A szimuláció összeállítását az ANSYS Workbench programjában készítettem el, ezt a felületet a 15. ábra mutatta be. A tranziens szimuláció beállításait és paramétereit az alábbi ábra szemlélteti, melyen már a lefuttatott eredmények közül vastag piros vonallal a globális maximum-, vastag zöld vonallal pedig a globális minimum hőmérséklet látható.

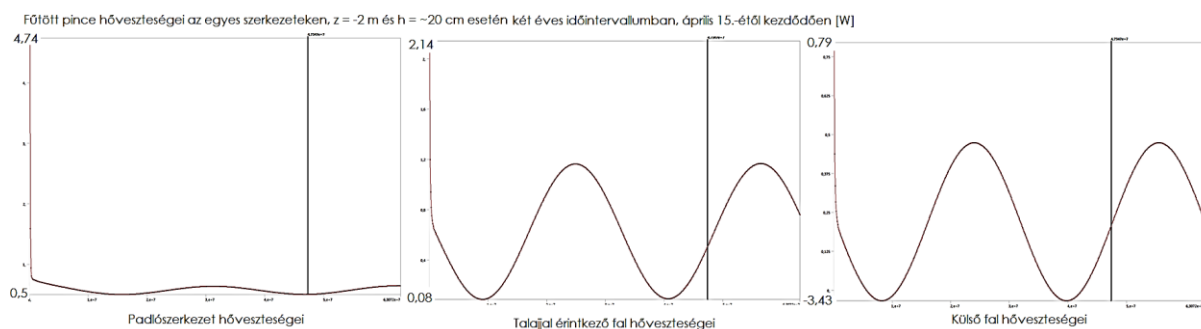


21. ábra: Tranziens szimuláció változói és beállításai

Az ábrán látható továbbá vékony zöld vonallal a külső hőmérsékletfüggvény változása, vékony piros vonallal pedig a külső oldali hőátadási tényező változása. A többi érték konstans és szintén feltüntetésre került az ábrán. Megfigyelhető, hogy a globális minimum és maximum hőmérséklet bizonyos helyeken eltér a külső hőmérséklettől, ez a tranziens vizsgálat során számításba vett anyagok hőtárolási képessége miatt van. Ez okozza azt is, hogy a függőleges fekete vonaltól jobbra lévő, vizsgált 183 napos időintervallumban valóban nem alkalmazhatunk állandósult állapotot, mivel a maximum és minimum hőmérséklet ebben az időtartamban sem korrelál a külső hőmérsékletváltozással, azaz az átlagértékei nem a hőmérsékletfüggvény átlagértékei szerint változnak.

A vizsgálatot tehát a 21.-es ábrán látható módon 730 nap hosszúságban, 1 napos (86400 s) időlépésként végeztem el minden egyes modell esetében, az eredmények lekérdezését pedig az utolsó 183 nap, azaz a standard fűtési idényre végeztem el. A lekérdezések időtartama előtti 547 nap az elemek hőmérsékletének és az eltárolt hőmennyiségeknek a beállása miatt szükséges, mivel a modellt 10,5 °C-os kezdő hőmérsékletről indítottam. A hőmérséklet beállítását a hőveszteségek is jelzik az alábbi, 22.-ábrán a kezdeti szakaszon.

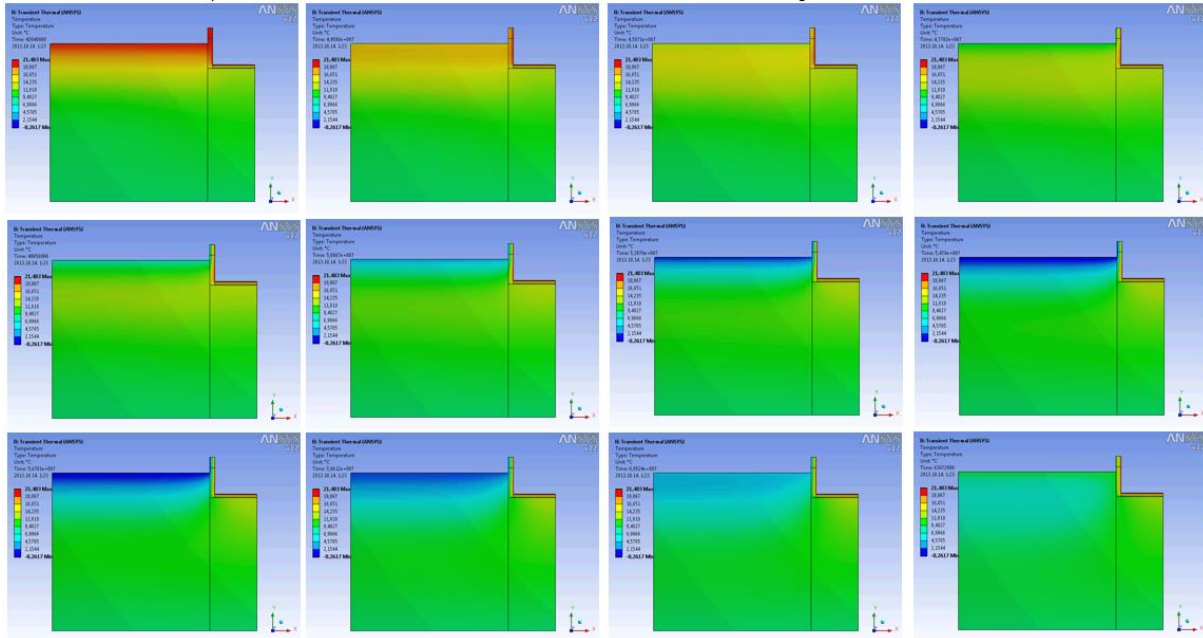
A szimuláció során egy modell eredményeit az alábbi ábra szemlélteti, melyen külön került ábrázolásra a padlószerkezet, a lábazati (és talajjal érintkező) fal valamint a külső fal hőveszteségei.



22. ábra: Hőveszteségek egy modell esetében szerkezetenként

A fenti ábrán látható, hogy az egyes szerkezetek hőtárolási képességük, illetve talajjal való érintkezésük jelentőségének függvényében eltérő nagyságú hőveszteségeket szenvednek el a vizsgált időtartamban, alapvetően azonban a hőveszteségek követik a peremfeltételek cosinusosan változó tendenciáit.

A 183 napos fűtési idényre meghatározott hőmérséklet eloszlásokat 12 különböző időpillanat segítségével, a 16. ábrán bemutatott modell alkalmazása esetén az alábbi ábrán tekinthetjük meg.



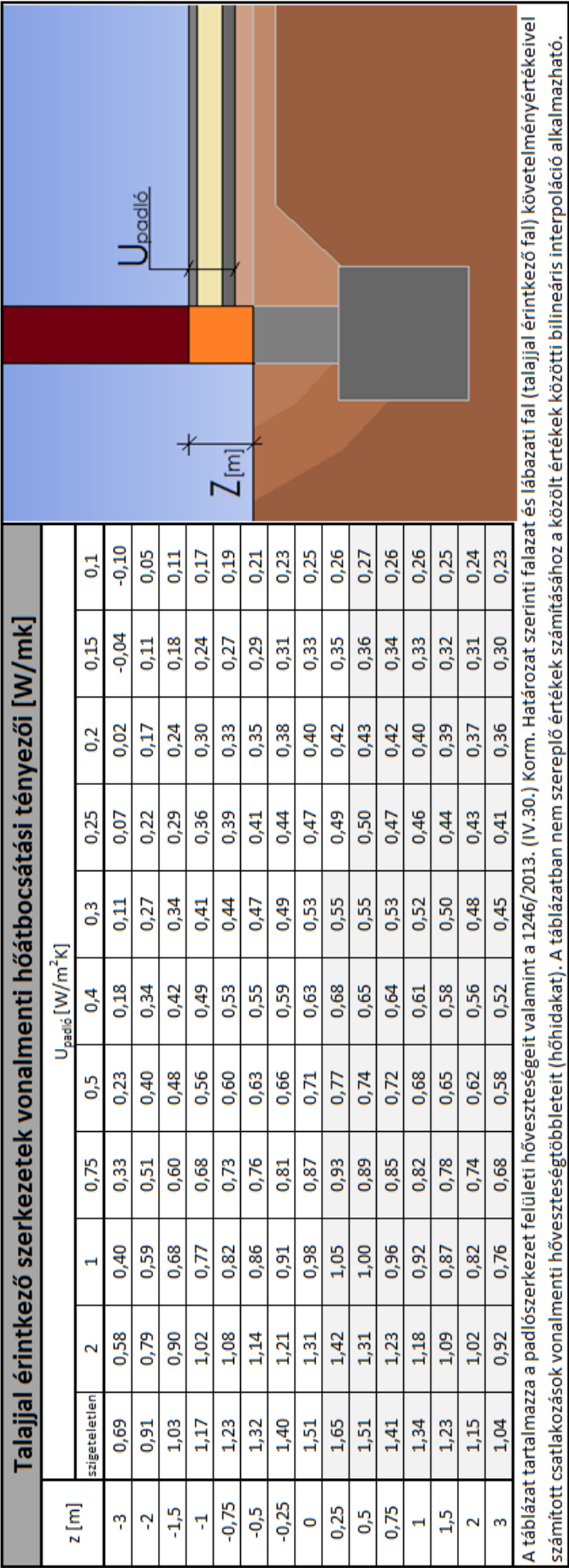
23. ábra: Hőmérséklet eloszlás a talajban és a kapcsolódó szerkezetekben a fűtési idény alatt

### 5.1.7. A VONALMENTI HŐÁTBocsÁTÁSI TÉNYEZŐK SZÁMÍTÁSA

Az egyes modellek szerkezeteinek fűtési idény időtartamában, naponta lekérdezett átlagos hőveszteségeit a 183 napos időtartamra átlagolva kapjuk meg „ $L_{3D}$ ” szimulált szerkezeti hőveszteségeket, melyek segítségével a vonalmenti hőátbocsátási tényezők számíthatóak az alábbi összefüggéssel:

$$\psi_t = \frac{\sum(L_{3D,i} [W] \cdot 10)}{1 m \cdot 16,48 K} - A \cdot U_{R,fal} - A \cdot U_{R,lábazat} \quad (21)$$

ahol a 10-es szorzó az egy folyóméterre való felszorzás miatt, a 16,48 K pedig az 1 K egyensúlyi hőmérsékletre történő osztás miatt szerepel. Továbbá a külső fal és a lábazat (talajjal érintkező fal) felületi hőveszteségei is levonásra kerülnek, tehát a vonalmenti hőátbocsátási tényező csak a padló felületi hőveszteségeit, a szerkezetek csatlakozásainál kialakuló többlet hőveszteségeket, valamint a talaj hatásait fogja tartalmazni a talajjal érintkező fal és a padló szerkezet esetében is.

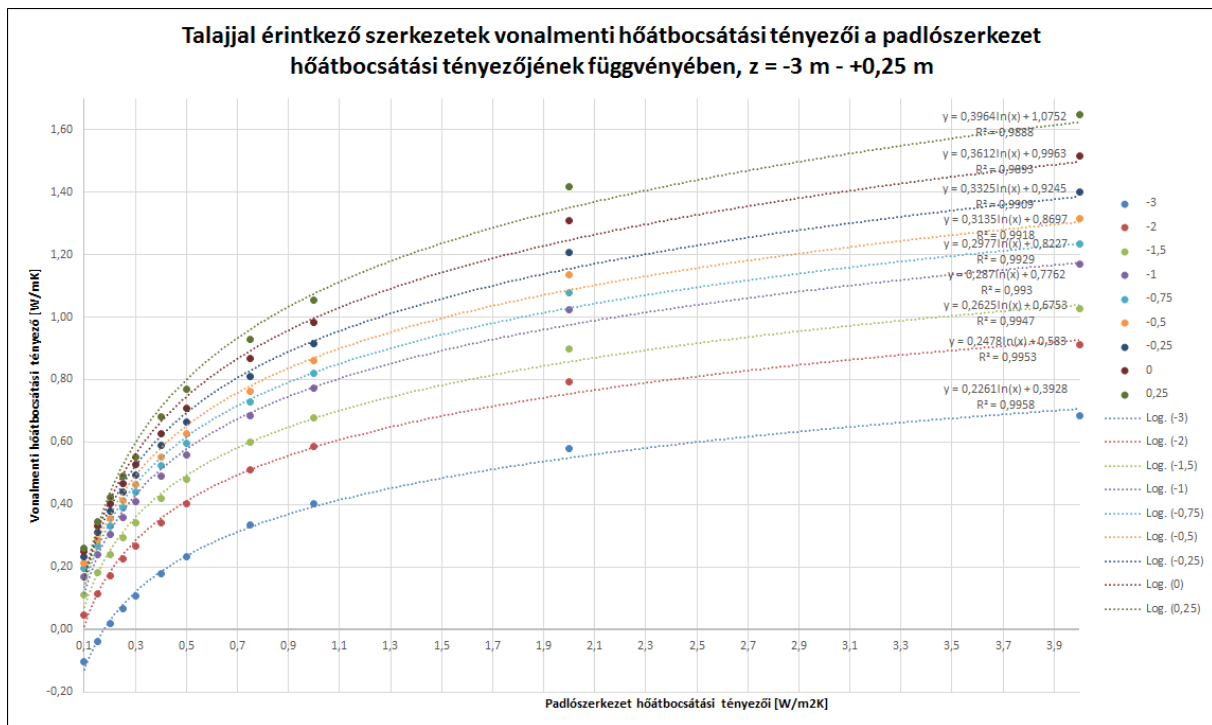


24. ábra: Talajjal érintkező szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezői

Az előző oldalon a számított vonalmenti hőátbocsátási tényezők összefoglaló táblázatát találhatjuk. A táblázat értékei a (21)-es összefüggés segítségével kerültek kiszámításra, és 165 db különböző modellen végzett tranziens vége-selemes szimuláció fűtési időnyre történt három épülethatároló szerkezetének 90 585 hőveszteség adatának feldolgozásából álltak össze.

#### 5.1.8. A VONALMENTI HŐÁTBOCSÁTÁSI TÉNYEZŐK ÖSSZEFÜGGÉSE

Az előző oldalon található, táblázatba szedett eredmények között azokat grafikusán ábrázolva összefüggés figyelhető meg. Az egyes padló hőátbocsátási tényezői esetén a pontokat ábrázolva azokra igen jó illeszkedéssel illeszthető logaritmikus egyenlet. A pontokat a  $z = -3$  m és  $z = 0,25$  m tartományban ábrázolva az alábbi, 25. ábrán találhatjuk.

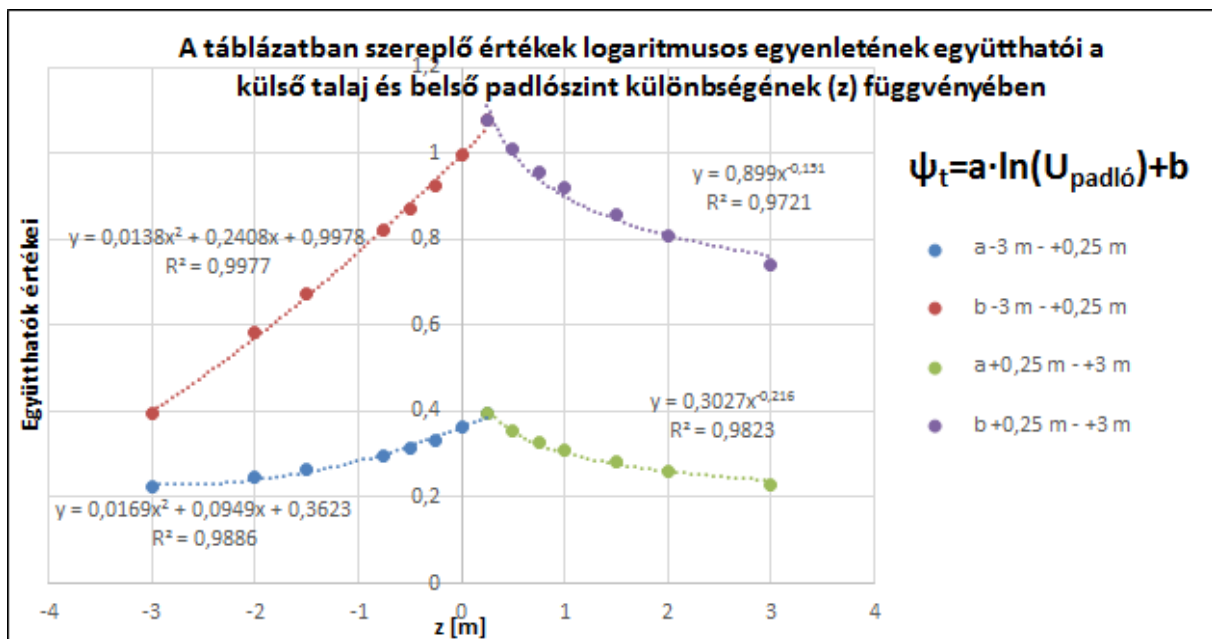


25. ábra: Logaritmikus összefüggés a szimulált értékek között  $z = -3$  m és  $+0,25$  m között.

A táblázatos értékek alapján is megfigyelhető, azonban a logaritmikus egyenletek együtthatóinak vizsgálatakor is látszik, hogy a táblázatos értékek  $z = 0,25$  m és  $z = 0,5$  m talajszinthez viszonyított padlószint esetén csökkenni kezdenek. Ekkor ugyanis a belső oldalonról nézve a lábzatai fal nem szerepel a vonalmenti hőátbocsátási tényezőben, mivel a padlószint magasabban van, mint a külső talaj szintje és a lábzatot fél méteres magasságig, vagy a padlószintig modelleztük.

Ahhoz, hogy az egyes padlószervezetek hőátbocsátási tényezőinek függvényében meghatározhassunk egy egyenletet, mely leírja a táblázatban szereplő értékeket, meg kell vizsgálnunk, hogy a logaritmikus egyenletek „a” illetve „b” együtthatói hogyan változnak a z értékek függvényében.

A táblázatban szereplő értékek logaritmikus egyenletének együtthatóváltozását a 26. ábrán láthatjuk, mely pontokra illeszkedő függvények alapján felírhatjuk a táblázat értékeit visszaadó egyenleteket.



26. ábra: A logaritmikus összefüggés együtthatóinak változása „z” függvényében

A fenti ábrán látható, hogy két egyenlettel tudjuk visszaadni a táblázat értékeit, mivel nem illeszthető egyszerű egyenlet a teljes ponthalmazra, azonban két szakaszra bontva, az együtthatók  $z = 0,25$  m-ig illetve  $z = 0,25$  m-től vizsgálva megoldható a függvényillesztés. Az előbbi szakaszon másodfokú polinomot tudunk illeszteni a két együttható pontjaira, míg utóbbi szakaszon exponenciális összefüggés figyelhető meg.

Az együtthatók változását leíró függvényeket beillesztve a logaritmikus függvényekbe kaphatjuk meg a táblázatos értékeket visszaadó összefüggéseket:

Ha  $z < 0,25$  m, akkor:

$$\psi_t = (0,0169 \cdot z^2 + 0,0949 \cdot z + 0,3623) \cdot \ln(U_{padló}) + (0,0138 \cdot z^2 + 0,2408 \cdot z + 0,9978) \quad (22)$$

Ha  $z \geq 0,25 \text{ m}$ , akkor:

$$\psi_t = 0,3027 \cdot z^{-0,216} \cdot \ln(U_{padló}) + 0,899 \cdot z^{-0,151} \quad (23)$$

#### 5.1.9. KORREKCIÓS TÉNYEZŐK SZÜKSÉGESSÉGE

A 24-es ábra táblázatos értékei, valamint az 5.1.8-as pontban közölt egyenletek azt az esetet írják le, amikor az épület az I. éghajlati régióban, homokos és/vagy kavicsos talajon fekszik, a felbeton alatt, de a padlólemez felett elhelyezett hőszigetelő réteggel rendelkezik és a padló belső hossza 4 m. Az értékek e kondíciók mellett egy folyóméterre vonatkoznak, melyet a belső padlóélnél számíthatunk.

Azonban felmerülhet a kérdés, hogyan alakulnak a vonalmenti hőátbocsátási tényezői a talajjal érintkező szerkezeteknek, ha más a külső hőmérséklet, a talaj-összetétel, a padló szerkezeti kialakítás vagy a padlóhossz kevesebb, mint 4 m.

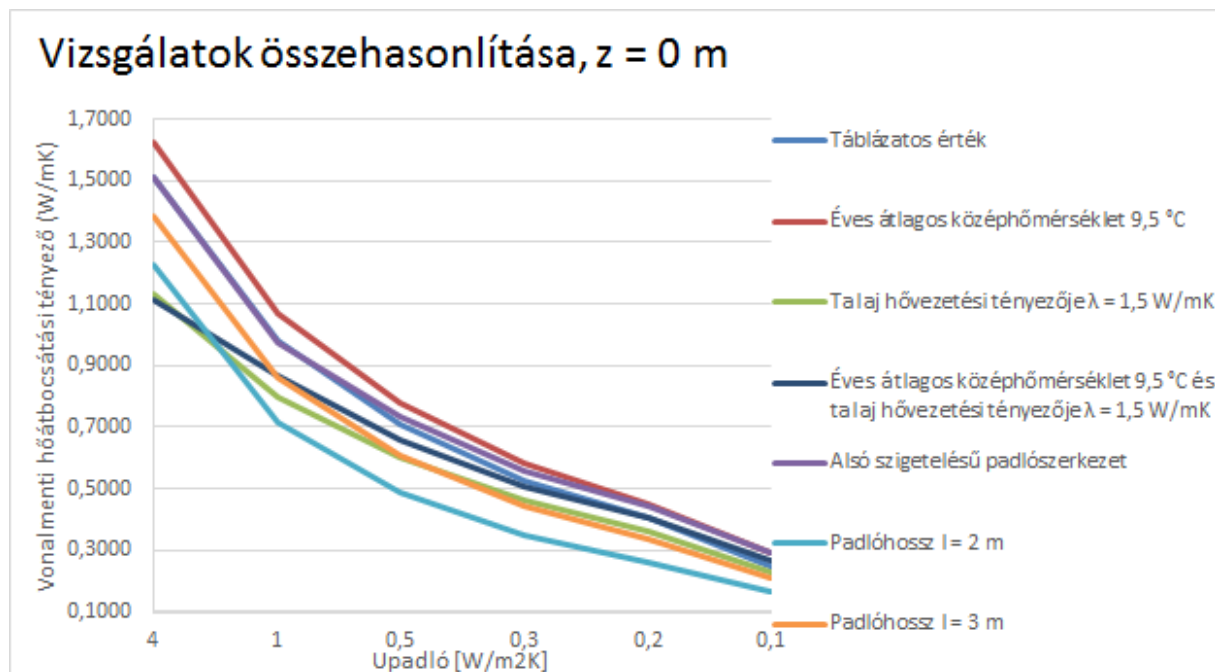
Ahelyett viszont, hogy minden változó kondíció esetén újabb táblázatot kelljen alkalmazni, az előbbieken bemutatott táblázatban szereplő értékekhez rendelünk korrekciós tényezőket. A korrekciós tényezők azonban nem szorzótényezők lesznek, hanem az egyes kondícióváltozás hatásait az eredeti értékekhez hozzá fogjuk adni (vagy negatív, tehát csökkenő vonalmenti hőátbocsátási tényező esetén levonni).

A korrekciós tényezők meghatározásához végzett szimulációs vizsgálatokról  $z = 0 \text{ m}$  szintkülönbség esetén az alábbi táblázatban találhatunk információt:

| Vizsgálat megnevezése                                                                           | z [m] | Talajjal érintkező szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezői, $\psi_t$ [W/mK] |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                                                                                 |       | $U_{padló}$ [W/m <sup>2</sup> K]                                                  |        |        |        |        |        |
|                                                                                                 |       | 4                                                                                 | 1      | 0,5    | 0,3    | 0,2    | 0,1    |
| Táblázatos érték                                                                                | 0     | 1,5143                                                                            | 0,9828 | 0,7093 | 0,5267 | 0,4033 | 0,2501 |
| Éves átlagos középhőmérséklet 9,5 °C                                                            | 0     | 1,6280                                                                            | 1,0669 | 0,7771 | 0,5832 | 0,4520 | 0,2890 |
| Talaj hővezetési tényezője $\lambda = 1,5 \text{ W/mK}$                                         | 0     | 1,1343                                                                            | 0,7989 | 0,6000 | 0,4595 | 0,3599 | 0,2309 |
| Éves átlagos középhőmérséklet 9,5 °C és talaj hővezetési tényezője $\lambda = 1,5 \text{ W/mK}$ | 0     | 1,1098                                                                            | 0,8672 | 0,6570 | 0,5083 | 0,4030 | 0,2666 |
| Alsó szigetelésű padló szerkezet                                                                | 0     | 1,5143                                                                            | 0,9767 | 0,7317 | 0,5595 | 0,4426 | 0,2940 |
| Padlóhossz $l = 2 \text{ m}$                                                                    | 0     | 1,2283                                                                            | 0,7122 | 0,4857 | 0,3464 | 0,2604 | 0,1622 |
| Padlóhossz $l = 3 \text{ m}$                                                                    | 0     | 1,3838                                                                            | 0,8598 | 0,6044 | 0,4406 | 0,3341 | 0,2068 |

27. ábra: Korrekciós vizsgálatok eredményeinek összehasonlítása  $z = 0 \text{ m}$  esetén

A fenti táblázatban az eredeti, 24-es ábrán szereplő táblázatos értékekhez viszonyított, megváltozott feltételekkel és jellemzőkkel szimulált értékek találhatók meg. A táblázat értékeinek egymáshoz képesti viszonyát grafikusán a 28-as ábra szemlélteti.



28. ábra: A vizsgálatok eredményei grafikusán ábrázolva

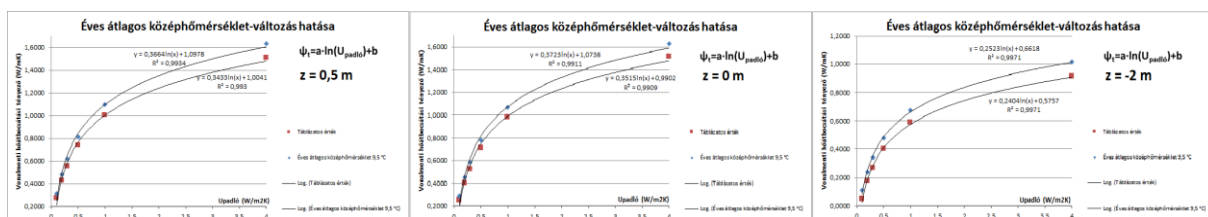
Az összeadás jelen esetben azért célszerűbb a szorzótényezők helyett, mivel a hőhidas részekben a hőhídhatás nem szuperponálható. Két tulajdonság megváltozásával a jelenség nem lesz azonos a két tulajdonság hatásának sem szorzatával, sem pedig összegével. A hatás ráadásul a  $z$  és a padló hőátbocsátási tényezőjének függvényében változik, ezért az egyes korrekciós tényezők meghatározásához a táblázatos értékhez képesti különbséget leíró egyenletekre lesz szükségünk.

#### 5.1.10. KORREKCIÓS TÉNYEZŐK SZÁMÍTÁSA

A korrekciós tényezők meghatározását, mivel azt a kutatás keretén belül hat vizsgálatnál is elkészítettem, a felesleges módszertani ismétlések helyett egyszer és általánosságban mutatom be. Mivel a korrekciós tényezők tulajdonképpen szabadon meghatározhatóak bármilyen a táblázatos értékek szimulációjától eltérő, de hasonló jellegű szimuláció esetén és az eredeti táblázatos értékeket korrigálhatjuk velük, így tulajdon-

képpen a jelen kutatásban szereplő tényezők csupán annak lehetőségét hivatottak bemutatni, hogy a táblázatos értékek megfelelő korrekció esetén bárhol és bármilyen kondícióváltozás esetén.

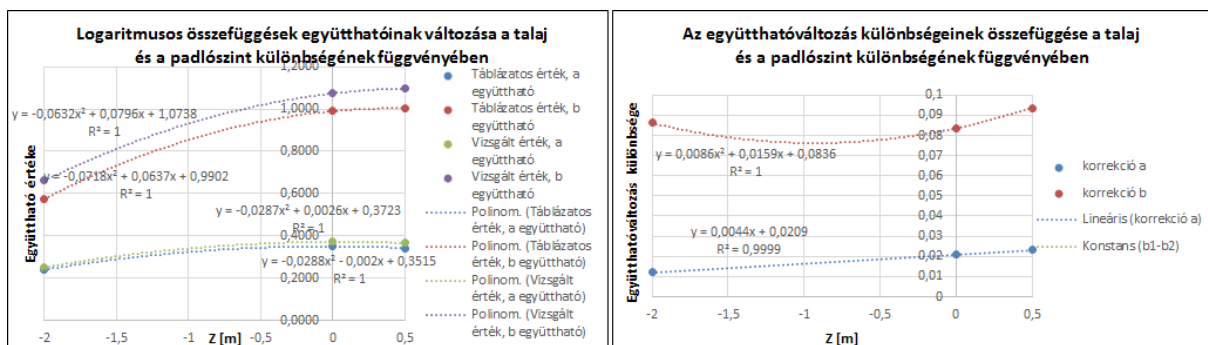
A korrekciós tényezőket leíró egyenletek meghatározásához a padlószerkezet hőátbocsátási tényezőjének függvényében ábrázolhatjuk az értékeket, mely így az előbbieken is látott logaritmikus tendenciát fogja követni. A kérdéses korrekciós tényező tehát a táblázatban szereplő logaritmikus egyenlet és az adott eltérő tulajdonságokkal vizsgált talajjal érintkező szerkezet vonalmenti hőátbocsátási tényezőjének különbségét kell előjelhelyesen visszaadnia a táblázatos értékhez képest.



29. ábra: Az éves átlagos középhőmérséklet 1 K-el való csökkenése esetén az értékek nagyobbak lesznek

A fenti ábrán a külső hőmérsékleti korrekció segítségével szemléltetve a vizsgálatok eltéréseit a táblázatos értékektől megfigyelhető, hogy ha a külső hőmérséklet átlagos 1 K-el kevesebb az év folyamát, a vonalmenti hőátbocsátási tényezők is magasabbak lesznek, de a különbség természetesen mind a padlószerkezet hőátbocsátási tényezőjétől, mind pedig a talaj és a padlószint helyzetének különbségétől függ.

A logaritmikus egyenletek együtthatóit ábrázolva azok különbözetének összefüggése adja meg azon „a” illetve „b” együttható értékét, melyeket alkalmazva a különbséget leíró függvényt kapjuk meg előjelhelyesen.



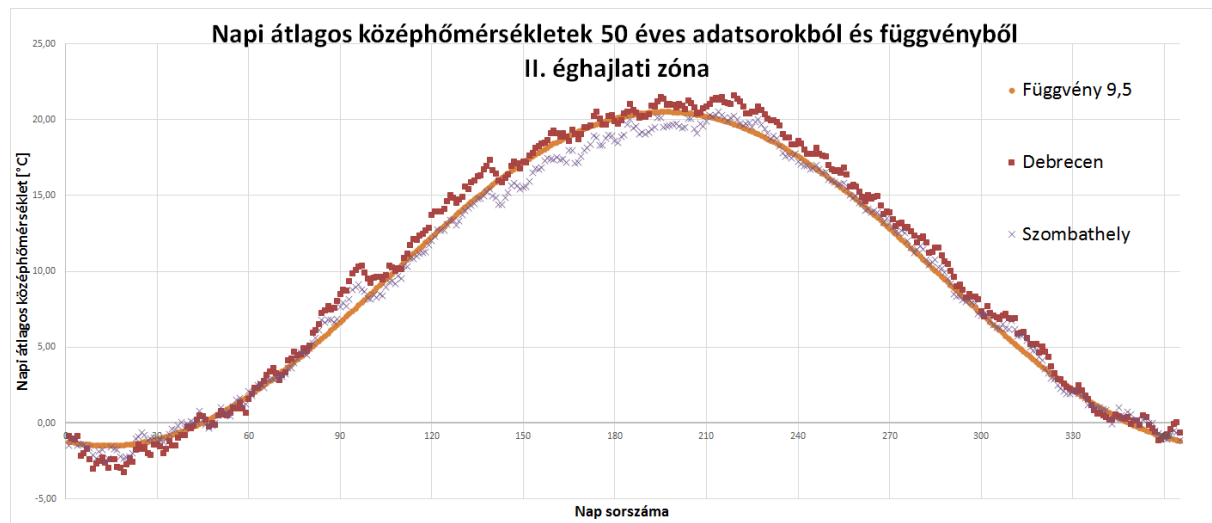
30. ábra: Korrekciós tényező számításához szükséges vizsgálatok

A korrekciós tényezőket az épületek esetében leggyakoribban előforduló z tartományban,  $z = 0,5$  m és  $z = -2$  m között vizsgáltam, és e tartományban határoztam meg a korrekciós tényezőket megadó egyenleteket is. A további tartományok esetében is lehetőség van a korrekciós tényezők meghatározására, azonban ez további szimulációk futtatása szükséges, azaz tulajdonképpen külön táblázatot is készíthetnénk.

### 5.1.10.1. Külső hőmérsékleti korrekció

A dolgozat 4.5.1-es pontjában bemutatásra került Magyarország területén megfigyelhető éves átlagos hőmérsékletek eloszlása. Ez alapján az 5.1.4.1-es részben két éghajlati zónára osztottam fel hazánk területét, mely során az I. éghajlati zónára jellemző hőmérsékletfüggvényt alkalmaztam a táblázatos értékek szimulációja során.

Azonban ha az épület a II. éghajlati zónában található, az éves átlagos középhőmérséklet és (a hőmérsékletfüggvény jellege miatt) a fűtési idény átlagos középhőmérséklete is  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal kevesebb lesz. A hőveszteség-tényező elviekben  $1\text{ K}$  hőmérsékletkülönbségre adja meg a hőveszteségek értékét, azonban ez a szemlélet akkor alkalmazható csupán, ha a számítások során szereplő hőfokhíd érték változik az éghajlati zónáknak megfelelően.



31. ábra: II. éghajlati zóna és a hőmérsékletet jellemző „Függvény 9,5”

Mivel a 7/2006. TNM Rendelet hazánkat éghajlati szempontból (is) egységesen kezeli, ezért az előírt számítási módszer alkalmazásával a hőveszteségek pontos meghatározását csak úgy tehetjük meg, ha a ténylegesen kialakuló belső és külső hőmérséklet különbsége helyett (mely  $2,52\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os külső hőmérséklet esetén és  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os belső hőmérséklet esetén a fűtési idényben  $17,48\text{ K}$  lenne) az előbbieken is alkalmazott  $16,48\text{ K}$ -

el osztjuk a szimulált hőveszteségeket. Ez által az éghajlati zónaváltozás hatása a vonalmenti hőátbocsátási tényezőkben fog megjelenni.

A II. éghajlati zónára meghatározott függvény megegyezik az I. éghajlati zónáéval, azaz a (18)-as összefüggésben közölttel, a különbség „T<sub>m</sub>” éves átlagos középhőmérséklet értékében határozható meg, mely a II. éghajlati zónában 9,5 °C. A függvény és az éghajlati zónában található két város 50 éves napi középhőmérsékleteinek átlaga az alábbi, 31-es ábrán látható.

Az 5.1.10-es pontban ismertetett lépések segítségével a vizsgálat során a „Függvény 9,5” szerinti külső hőmérsékleteket felhasználva a korrekció értékeit az alábbi összefüggés segítségével írhatjuk fel a  $z = 0,5 \text{ m} - z = -2 \text{ m}$  tartományban:

$$\gamma_{mt} = (0,0044 \cdot z + 0,0209) \cdot \ln(U_{padló}) + 0,0086 \cdot z^2 + 0,0159 \cdot z + 0,0836 \quad (24)$$

#### 5.1.10.2. Talaj-összetételi korrekció

Magyarország területén nem csak az éghajlati zónák között lehet eltérés, de a vonalmenti hőátbocsátási tényezők értékét jelentősen befolyásoló, a talajon fekvő padló szerkezetek alatt vagy a talajjal érintkező pincefal mellett található talajok hőtechnikai tulajdonságai között is.

Az MSZ EN ISO 13370:2008 szabvány három különböző kategóriát ad meg a talajok hővezetési tényezőjére és térfogati hőkapacitására. Magyarország területén ebből a három kategóriából kettő valóban gyakran elő is fordul és ezen két kategória segítségével az országunk talaj-összetételét a 4.6-os fejezetben szereplő ábra alapján szinte teljes egészében le is fedhetjük.

| Talajok hőtechnikai tulajdonságai               |                                        |                                                             |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Réteg megnevezése                               | Hővezetési tényező<br>$\lambda$ [W/mK] | Térfogatkapacitás<br>$\rho \cdot c_p$ [MJ/m <sup>3</sup> K] |
| Agyagos, iszapos talaj - MSZ EN ISO 13370:2008  | 1,50                                   | 3,00                                                        |
| Homokos, kavicsos talaj - MSZ EN ISO 13370:2008 | 2,00                                   | 2,00                                                        |
| Homogén kőzet - MSZ EN ISO 13370:2008           | 3,50                                   | 2,00                                                        |

32. ábra: Talajok hőtechnikai tulajdonságai az MSZ EN ISO 13370 alapján

A 24-es ábrán szereplő táblázatos értékek a homokos, kavicsos talajokra jellemző hőtechnikai tulajdonságok alapján kerültek modellezésre, a talaj-összetételi korrekció tehát az agyagos, iszapos talajok esetén fogja megadni a különbséget.

A 27-es ábrán láthattuk, hogy agyagos talaj esetén kedvezőbben alakulnak a vonalmenti hőátbocsátási tényezők értékei, mivel e talajok hővezetési tényezője kisebb, azonban a térfogategységre vonatkoztatott hőkapacitásuk nagyobb, mint a homokos, kavicsos talajoké. Ez által gyakorlatilag jobban szigetelnek és több energiát is képesek eltárolni a nyári időszakról.

A talaj-összetételi korrekció értékeit, melyek jelen esetben negatív értékek lesznek, az alábbi összefüggés segítségével írhatjuk fel a  $z = 0,5 \text{ m} - z = -2 \text{ m}$  tartományban:

$$\gamma_g = (0,0078 \cdot z^2 + 0,0013 \cdot z - 0,1) \cdot \ln(U_{padló}) + 0,006 \cdot z^2 + 0,0008 \cdot z - 0,2075 \quad (25)$$

#### 5.1.10.3. Külső hőmérséklet és talaj-összetételi korrekció

Abban az esetben, ha az épület egyidejűleg esik a II. éghajlati zónába és agyagos, iszapos talajon áll, az alkalmazandó korrekciós tényezőt  $z = 0,5 \text{ m} - z = -2 \text{ m}$  tartományban a következő összefüggéssel jellemezhetjük:

$$\gamma_{mt,g} = (0,0313 \cdot z^2 + 0,0454 \cdot z - 0,1136) \cdot \ln(U_{padló}) + 0,0429 \cdot z^2 + 0,064 \cdot z - 0,1795 \quad (26)$$

A korrekció alkalmazása gyakorlatilag elhanyagolható, ha  $U_{padló} < 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , mivel az egyenlőtlenség teljesülése esetén a két összeadódó változtatás hatása szinte kiegyenlíti egymást. E jelenséget a 28. ábrán is láthattuk.

#### 5.1.10.4. Padló szerkezet felépítése miatti korrekció

Az eddigi értékek minden esetben olyan padló szerkezeti modellre lettek meghatározva, ahol a hőszigetelőanyag a padlólemez és a felbeton között helyezkedett el. Azonban a padló hőszigetelését helyezhetjük a padlólemez alá is. Ez esetben azonban vastagabb padlólemez kialakítása is szükséges.

A korrekciós tényező meghatározásakor tehát a padlószerkezet legalsó rétege lesz a hőszigetelés, felette helyezkedik el az immáron 20 cm vastagságú vasalt beton padlólemez, majd erre 6 cm felbeton kerül. Az anyagtulajdonságok a vizsgálat során nem módosultak, továbbra is az MSZ EN ISO 10456:2008 szabványban szereplő, tervezési értékeket alkalmaztam.

A hőszigetelő anyag azonban a valóságban ilyen kialakítás esetén természetesen valamilyen zártcellás gyártmány, de ezek tervezési hővezetési tényezője közel azonos az általam alkalmazott  $\lambda_{\text{hőszig}} = 0,04 \text{ W/mK}$ -hez. Ennél kisebb hővezetési tényezőjű szigetelést alkalmazva a vonalmenti hőátbocsátási tényezők kis mértékben a „biztonság javára” tévednek.

Az alsó szigetelésű padlószerkezetek esetében alkalmazandó korrekciós tényezőt  $z = 0,5 \text{ m} - z = -2 \text{ m}$  tartományban a következő összefüggéssel írhatjuk fel:

$$\gamma_f = (-0,0029 \cdot z - 0,0143) \cdot \ln(U_{\text{padló}}) + 0,0129 \cdot z^2 + 0,0262 \cdot z + 0,0114 \quad (27)$$

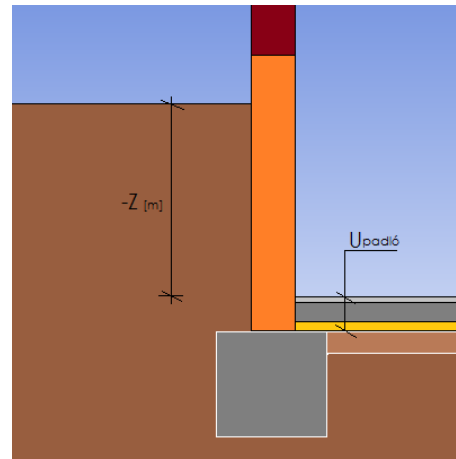
A korrekciós tényező értéke szigetelt padlószerkezetek esetében pozitív érték, a vizsgálat alapján tehát kedvezőbb közbenső szigetelésű padlószerkezetet kialakítani.

#### 5.1.10.5. Padlóhossz változás miatti korrekció

Az alapértékek 4 m padlóhosszúsággal kerültek modellezésre az MSZ EN ISO 10211:2008 erre vonatkozó 10.4-es pontja szerint. A szabvány leírja továbbá, hogy a 4 m-nél hosszabb (vagy más geometriai értelmezés szerint szélesebb) belső padlók esetén, mely a 8 m-nél hosszabb belső padlóhosszal rendelkező épületek esetén lehetséges, a 4 m-hez tartozó értékek alkalmazhatóak.

Azonban abban az esetben, ha az épület belső értelemben véve keskenyebb, mint 8 m széles, a tényleges belső hossz felével kell elvégezni a szimulációt, hogy megkapassuk a vonalmenti hőátbocsátási tényezőt.

E miatt a kutatás során két padlóhosszúságot is megvizsgáltam, egyik esetben  $l = 3 \text{ m}$ , míg másik esetben  $l = 2 \text{ m}$  belső padlóhosszal végeztem el a szimulációkat. Ennél kisebb méretek esetében már az épület jellege valószínűleg nem indokolja az



33. ábra: Alsó szigetelésű padló felépítésének modellje  $z = -2 \text{ m}$  esetén

épületenergetikai számítást, mivel egy 4 méter átlagos belső hosszal rendelkező épület is csupán 16 m<sup>2</sup>-es. Azonban az eredmények szempontjából érdekes, hogyan változik a vonalmenti hőátbocsátási tényező abban az esetben, ha az épület méretei kisebbek lesznek. A változás nemlineáris voltát a fal (külső fal vagy lábazati fal) és a padló csatlakozásánál kialakuló szerkezeti hőhíd jelensége okozza.

A padlóhossz  $l = 4$  m helyett  $l = 2$  m-es kialakítása esetében alkalmazandó korrekciós tényezőt  $z = 0,5$  m –  $z = -2$  m tartományban a következő összefüggéssel írhatjuk fel:

$$\gamma_{fw,2} = (-0,0053 \cdot z^2 - 0,0123 \cdot z - 0,0554) \cdot \ln(U_{padló}) - 0,0093 \cdot z^2 - 0,0235 \cdot z - 0,2394 \quad (28)$$

míg  $l = 3$  m esetében hasonló tartományban az alábbi egyenletet alkalmazhatjuk:

$$\gamma_{fw,3} = (-0,002 \cdot z - 0,0242) \cdot \ln(U_{padló}) - 0,0033 \cdot z - 0,1108 \quad (29)$$

Megfigyelhető, hogy a két eltérő padlóhossz esetében az együtthatókra illeszthető függvények is eltérnek. Ez alapján kijelenthető, hogy míg  $l = 2$  m esetében még dominánsan jelen van a padló és falcsatlakozás miatti hőhíd többlet hővesztesége, s emiatt az összefüggés együtthatói nemlineárisan alakulnak, addig ez  $l = 3$  m estében már kevésbé játszik szerepet, az összefüggés együtthatói pedig lineárisan közelíthetők.

#### 5.1.10.6. További korrekciós tényezők lehetőségei

Az előbbieken bemutatott korrekciók és korrekciós tényezőkön kívül természetesen adódhatnak további hatások is, melyeket lehetőségünk van korrekciós tényezővel figyelembe venni.

Ezek vizsgálatát azonban jelen kutatás már nem tartalmazza. Azonban példaként és említés szintjén alkalmazhatnánk akár eltérő szélesség miatti korrekciós tényezőt (melynek hatása valószínűleg nem lenne túl jelentős), figyelembe vehetnénk a külső peremfeltétel esetében a nap sugárzását a talaj felszínén, vagy akár a belső peremfeltételek esetében is elképzelhető lenne változás, melyek hatásait korrekciós tényezőkkel le tudnánk írni a táblázatos érték különbözetében.

#### 5.1.11. VONALMENTI HŐÁTBOCSÁTÁSI TÉNYEZŐ KORRIGÁLT ÉRTÉKÉNEK SZÁMÍTÁSA

Az adott vizsgált épületek esetében tehát a helyi környezetnek és lokális tényezőknek megfelelő vonalmenti hőátbocsátási tényezőket a táblázatos érték (vagy az értékeket leíró egyenletek alkalmazása) és a lokálisan eltérő hatást leíró korrekciós tényező összege jelenti:

$$\psi_{padló} = \psi_t + \gamma_i \quad (30)$$

#### 5.1.12. BELSŐ KERÜLET HOSSZÁNAK KORREKCIÓJA

A talajjal érintkező szerkezetek transzmissziós hőveszteség-tényezőjét úgy kapjuk meg a korrigált vonalmenti hőátbocsátási tényező felhasználásával, hogy azt megszorozzuk a szerkezet kerületével. A kerület értelmezését az új módszer esetében a belső, padló és falcsatlakozás élénél értelmezzük, ezáltal a számítás itt sem válik el attól a logikától, mely a hazai épületenergetikai rendeletet jellemzi.

A kerület számítás során azonban a pozitív sarkoknál gyakorlatilag kétszer számítunk hőveszteségeket, míg a negatív sarkok esetében egy zónát kihagyunk a számításból. Könnyen belátható például, hogy egy 32 m belső kerületi hosszal rendelkező, négyzet alapú épület esetében a hőveszteségeket a pozitív sarkoknál egymásra lapolódás miatt kétszer vesszük számításba.

E jelenség kiküszöbölésére, de a sarkokon kialakuló, a sarok háromdimenziós geometriai hőhídjának többlet hőveszteségét figyelembe veendően megállapíthatunk egy olyan korrigált belső élhosszúságot az egyes sarkok esetében, mely alkalmazásával nem becsüljük sem jelentősen túl, sem pedig alul az épület hőveszteségeit.

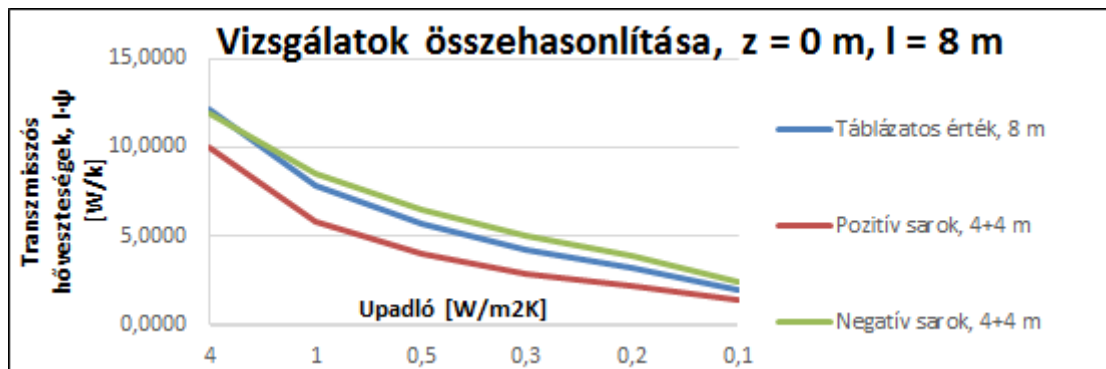
Az alábbi 34-es ábrán látható, hogy minként alakulnak a talajjal érintkező szerkezetek transzmissziós hőveszteségei  $z = 0$  m esetén, ha egy azonos hosszúságú padlóél egyenes szakaszon vett 8 m, pozitív sarokban vett 8 m valamint negatív sarokban vett 8 m szerint szimuláltuk.

| Vizsgálat megnevezése | l [m] | z [m] | Talajjal érintkező szerkezetek transzmissziós hőveszteségei, $\psi$ [W/K] |        |        |        |        |        |
|-----------------------|-------|-------|---------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                       |       |       | $U_{padló}$ [W/m <sup>2</sup> K]                                          |        |        |        |        |        |
|                       |       |       | 4                                                                         | 1      | 0,5    | 0,3    | 0,2    | 0,1    |
| Táblázatos érték, 8 m | 8     | 0     | 12,1141                                                                   | 7,8626 | 5,6748 | 4,2136 | 3,2262 | 2,0008 |
| Pozitív sarok, 4+4 m  | 8     | 0     | 10,0378                                                                   | 5,8083 | 3,9793 | 2,8831 | 2,2009 | 1,4243 |
| Negatív sarok, 4+4 m  | 8     | 0     | 11,8493                                                                   | 8,4809 | 6,4745 | 4,9822 | 3,8773 | 2,3806 |

34. ábra: Talajjal érintkező szerkezetek transzmissziós hőveszteségei a geometria függvényében

A táblázatos értékek között leginkább a pozitív sarokra és a táblázatos érték közötti különbségre figyeljünk. Abban az esetben, ha a táblázatos értéket szorozzuk meg 8 m hosszal egy pozitív sarok belső padlóélhossza szerint,  $z = 0$  m esetén a padlószervezet hőátbocsátási tényezőjének függvényében 20 % - 40 %-al becsüljük túl az ott ténylegesen kialakuló hőveszteséget. Negatív sarok esetén pedig akár 20%-al számíthatunk kevesebbet, mint kellett volna.

A 34. ábra táblázatában szereplő értékeket grafikusán ábrázolva szemléletesebben láthatjuk a sarkok geometriai kialakításától függően kialakuló transzmissziós hőveszteségeket.

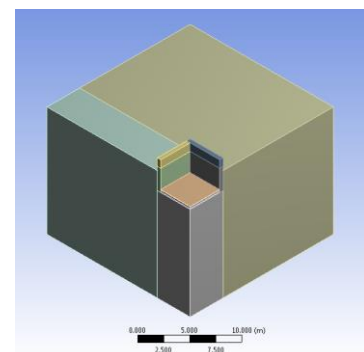


35. ábra: Transzmissziós hőveszteségek grafikusán ábrázolva

Ahhoz, hogy mindig a lehető legpontosabb eredményt kaphassuk, a legkézenfekvőbb megoldás az, hogy létrehozunk egy padlóélhossz korrekciós szorzótényezőt, mellyel a belső kerület számítása esetén az egymásra lapoló részeken (tehát alapesetben 8 m-es hosszúságon) a kerület hosszát megszorozva egy olyan csökkentett vagy negatív sarok esetén megnövelt hosszúságot fogunk kapni, mellyel figyelembe vehetjük a pozitív vagy negatív sarkok hőtechnikai hatását is.

#### 5.1.12.1. Pozitív sarok

A korrekciós tényező előállítása az 5.1.10-es részben közöltekhez hasonló, azonban mivel ebben az esetben szorzótényező előállítását tűztük ki célul, ezért a transzmissziós hőveszteségek logaritmikus összefüggésében (a vonalmenti hőátbocsátási tényezők logaritmikus tendenciája természetesen megmarad, mivel csak egy „konstanssal” szorozzuk őket) a táblázatos érték segítségével



36. ábra: 8 m-es belső kerületű pozitív sarok geometriai modellje

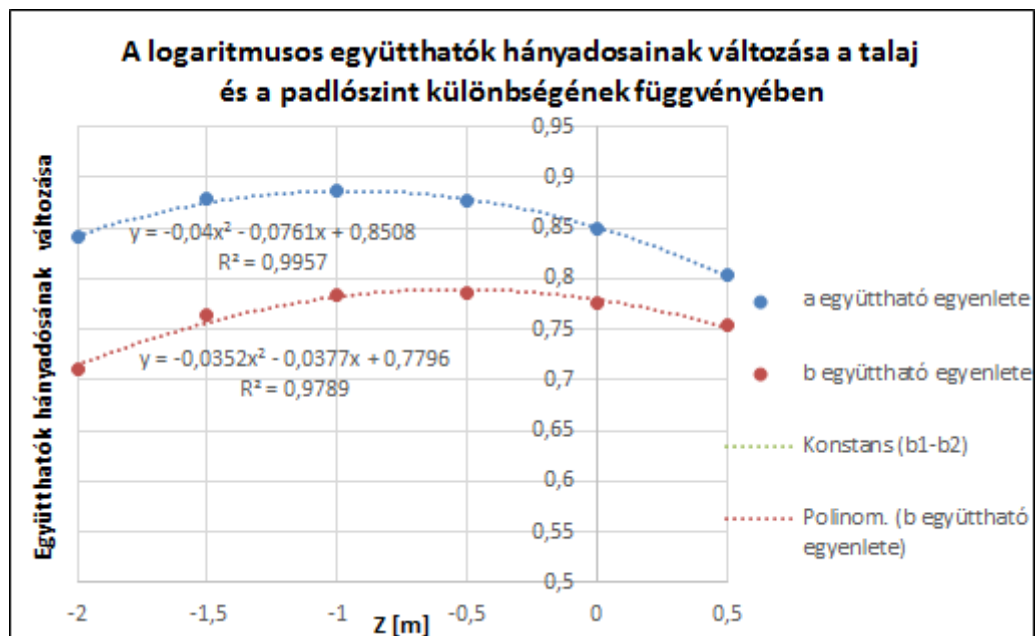
számolt és az új, háromdimenziós geometriai modell felhasználásával számított értékek együtthatóinak hányadosát leíró egyenletet keressük. Ezt legegyszerűbben úgy kaphatjuk meg, ha a két logaritmikus egyenlet együtthatói esetében keressük az azok egyenlőségéhez szükséges harmadik egyenletet.

Például a pozitív sarok transzmissziós hőveszteségeit leíró egyenlet „a” együtthatójának és a táblázatos érték „a” együtthatójának a hányadosa:

$$y = \frac{-0,3004 \cdot z^2 - 0,2144 \cdot z + 2,39}{-0,2299 \cdot z^2 - 0,0155 \cdot z + 2,8119} \quad (31)$$

mely „y” tehát megadja az adott z esetében azt a számot, mellyel szorozva a táblázatos értékkel számított transzmissziós hőveszteség logaritmikus egyenletének a együtthatóját megkapjuk azt az egyenletet (természetesen b együtthatót is hasonlóan a vonatkozó szorzótényezővel beszorozva), mellyel a pozitív sarok hőveszteségei írhatóak le.

Az egyes z értékek függvényében ábrázolva az együtthatók hányadosait (37. ábra) a pontokra illeszthetünk egyszerűbb, másodfokú egyenlettel leírható görbét, mely még jól közelíti az együtthatók szorzótényezőjének egyenletét.



37. ábra: Logaritmikus összefüggések hányadosainak változása

Ahhoz azonban, hogy a táblázatos értékeket leíró logaritmikus összefüggésekhez alkalmazható szorzótényezőket kapjunk, a pozitív sarok hőveszteségeit leíró

egyenletet el kell osztanunk a táblázatos értékeket leíró egyenletekkel. E lépések miatt egy igen hosszú képlettel tudjuk majd csak felírni a korrekciós szorzótényezőt és mivel a táblázatos érték esetében két egyenletet kell alkalmaznunk a  $z$  értékétől függően, ez a korrekciós szorzótényező esetében is hasonlóan fog alakulni.

Az összefüggés, amellyel megkapjuk „ $\gamma_{c,p}$ ” kerületi hossz korrekciós szorzótényezőt pozitív, 8 m-es belső élhosszúságú sarok esetében a következő:

Ha  $z < 0,25 \text{ m}$ , akkor:

$$\gamma_{c,p} = [(-0,04 \cdot z^2 - 0,0761 + 0,8508) \cdot (0,0169 \cdot z^2 + 0,0949 \cdot z + 0,3623) \cdot \ln(U_{padló}) + (-0,0352 \cdot z^2 - 0,0377 \cdot z + 0,7796) \cdot (0,0138 \cdot z^2 + 0,2408 \cdot z + 0,9978)] / [(0,0169 \cdot z^2 + 0,0949 \cdot z + 0,3623) \cdot \ln(U_{padló}) + (0,0138 \cdot z^2 + 0,2408 \cdot z + 0,9978)] \quad (32)$$

Ha  $z \geq 0,25 \text{ m}$ , akkor:

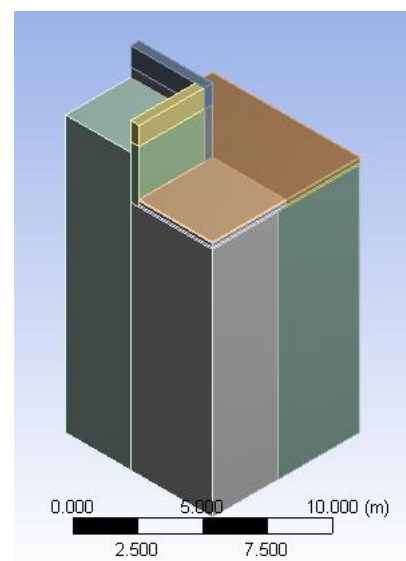
$$\gamma_{c,p} = [(-0,04 \cdot z^2 - 0,0761 + 0,8508) \cdot (0,3027 \cdot z^{-0,216}) \cdot \ln(U_{padló}) + (-0,0352 \cdot z^2 - 0,0377 \cdot z + 0,7796) \cdot (0,899 \cdot z^{-0,151})] / [0,3027 \cdot z^{-0,216} \cdot \ln(U_{padló}) + 0,899 \cdot z^{-0,151}] \quad (33)$$

#### 5.1.12.2. Negatív sarok

Az általános és egyszerűbb épületformák a pozitív sarok korrekciós tényezőjének ismeretében már számíthatóak, azonban az összetettebb formákhoz, legyen az L vagy akár U alakú, a negatív sarok okozta többlethővesztések ismerete szükséges.

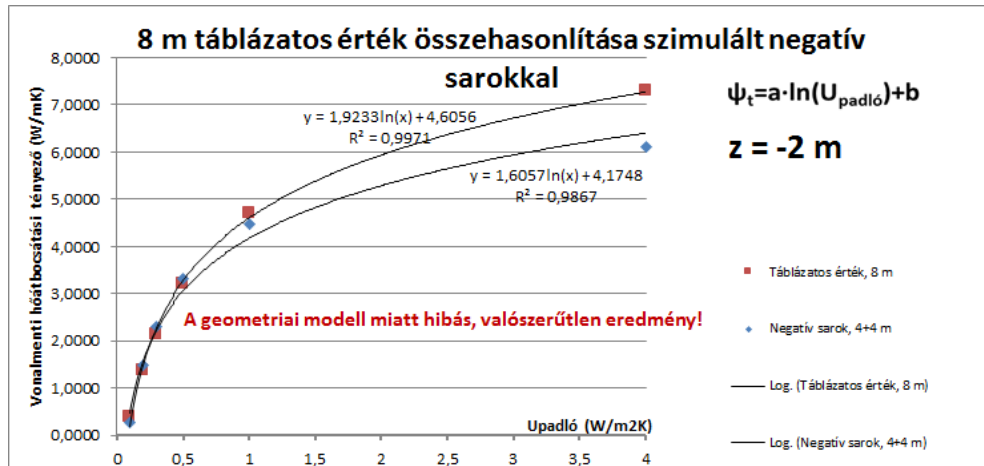
Míg a pozitív sarkok esetében ha a belső padlóél hosszával számoltunk, úgy több hővesztést számítottunk az átlapolás miatt, addig a negatív sarok esetében a padlófelület kétharmadát vesszük csak figyelembe, s kevesebb hővesztést számítunk.

Azonban a negatív sarok modellezése a 36-os ábrán látható módon nem alkalmas arra, hogy a korrekciós szorzót létrehozzuk, mivel a külső oldalon



38. ábra: 8 m-es belső kerületű negatív sarok geometriai modellje

lévő talajból túl kis részt tudunk a modellen figyelembe venni. Ez a modell pedig fűtött pince esetén már olyan anomáliához vezet, hogy a negatív sarok hővesztesége a korrigálatlan táblázatos érték alatt marad (39. ábra), amely pedig nem lehet valóságos eredmény.



39. ábra: Negatív sarok hőveszteségeinek hibája

Ahhoz, hogy a negatív sarkok hatását szimulálni tudjuk, vagy rendkívül, ezzel együtt irreális modellt kellene építeni, ahol a belső padlóél mindkét irányban legalább 15-20 méter hosszú, vagy az épületet teljes egészében lenne szükséges felépíteni. Ezeknek a modelleknek a megoldásárára azonban a kutatásban már nem kerül sor.

## 5.2. A számítás menete

A vonalmenti transzmissziós hőveszteségeket a következő képlet segítségével számíthatjuk:

$$q_{\text{vonalmenti}} = \sum \psi_{\text{padló}} \cdot \gamma_{c,i} \cdot l_i \quad (34)$$

ahol „ $\psi_{\text{padló}}$ ” meghatározható a 24-es ábrán szereplő táblázat vagy a (22) és (23)-as egyenlet alkalmazásával, a megfelelő lokális környezetre jellemző korrekciós tényező hozzáadásával. Geometriai változás esetén, például az épület sarkainak környezetében a belső padló „ $l_i$ ” élhosszúságát korrigálni kell „ $\gamma_{c,i}$ ” korrekciós szorzótényezővel. Zavartalan egyenes szakaszon  $\gamma_{c,i} = 1,0$ . A talajjal érintkező szerkezetek esetében a függőleges felületek hőveszteségeit külön is számítanunk kell a felületük nagysága és tényleges hőátbocsátási tényezőjük szerint, azonban a padlószerkezet felületi

hővesztéseit a vonalmenti hővesztesség-értéke tartalmazza. A táblázat alkalmazása esetén a padló és falcsatlakozásnál kialakuló hőhíd okozta többlet hővesztéseket a vonalmenti hőátbocsátási tényezőkben már figyelembe vettük.

### *5.3. Eredmények összehasonlítása*

Az új módszer eredményeit a következőekben a 7/2006. TNM rendeletben szereplő számítási módszerrel hasonlítom össze különböző eltérő padló szerkezet, lokális jellemző vagy épületforma esetében. Az összehasonlítás során a talajjal érintkező szerkezetek transzmissziós hővesztéseinek nagyságát vizsgáljuk a két eltérő módszer alapján.

#### 5.3.1. I. ÉGHAJLATI ZÓNA ÉS HOMOKOS TALAJ, $z = 0,5$ M ÉS $U_{\text{PADLÓ}} = 0,5$ W/M<sup>2</sup>K

Az első számítási példában fél méterrel a külső talaj szintje feletti padlósíkkal rendelkező, a 2013-ban érvényben lévő követelményszintnek éppen megfelelő padló szerkezet vonalmenti hőátbocsátási tényezőjét keressük a 40/2012. Korm. Rendelettel módosított 7/2006. TNM Rendelet és az új módszer táblázatos értékeinek segítségével.

Mivel a jelenlegi rendelet táblázata hővezetési ellenállás alapján tartalmazza az értékeket, így  $R_{\text{padló}} = 2$  m<sup>2</sup>K/W-nél kell keresnünk a megfelelő  $z$  értékhez tartozó eredményt. A táblázat alapján a  $z = 0,45 \dots 1,00$  sorban és az  $R = 1,55 - 2,00$  oszlopban találhatjuk a vonalmenti hőátbocsátási tényező értékét, mely 1,15 W/mK.

Az új módszer esetében nem tartományok, hanem konkrét értékek szerepelnek a táblázatban, az értékek között pedig bilineáris interpolációval teremthetünk kapcsolatot. Erre azonban most nincs szükség, mivel a  $z = 0,5$  m sorhoz és  $U = 0,5$  W/m<sup>2</sup>K értékhez közvetlenül is tartozik vonalmenti hőátbocsátási tényező, melynek értéke 0,74 W/mK. (Ha az összefüggésekkel, vagy a későbbiekben bemutatott szoftverrel számítottuk volna, az eredmény 0,75 W/mK-re adódna, mely 1%-os eltérést jelentene.)

Az új, tranziens hőtechnikai szimulációkon alapuló táblázatos érték a jelenlegi táblázatos érték csupán 64%-a, azonban az új táblázat értéke már tartalmazza a padló és falcsatlakozásnál kialakuló hőhíd veszteségeit is, míg a TNM Rendelet táblázata ezzel nem foglalkozik. Ez jelentős eltérés, ebben az esetben a valóságot nem közelíthetjük stationer folyamatként, mert a padló alatt található talaj hőtároló tömegének elhanyagolásával közel kétszeres hővesztéseget vennénk figyelembe.

**5.3.2. AGYAGOS, ISZAPOS TALAJ,  $Z = 0$  M ÉS  $U_{PADLÓ} = 0,4$  W/M<sup>2</sup>K**

A második példa során az épületet helyezzük át az új módszer szerinti alapállapotból (mely pl. környezetileg Kecskemétet is tükrözheti) egy olyan helyre, ahol az I. éghajlati zóna található, azonban a talaj-összetétel agyagos és iszapos. A 12-es és 14-es ábrák alapján ilyen település például Békéscsaba.

A TNM Rendelet táblázatos módszerét alkalmazva, a vonalmenti hőátbocsátási tényezőt 0,85 W/mK-nek vehetjük fel.

Az új módszer táblázata alapján a korrigálatlan vonalmenti hőátbocsátási tényező értéke 0,63 W/mK. Alkalmazzuk most az eltérő talaj-összetétel miatti korrekciót is. A dolgozatban szereplő (25)-ös egyenlettel számítva  $\nu_g = -0,1159$  W/mK korrekciós tényezőt kapunk, melyet hozzáadva a táblázatos értékhez a korrigált vonalmenti hőátbocsátási tényező 0,51 W/mK-re adódik.

A TNM Rendelet 67%-al ad meg nagyobb vonalmenti hőátbocsátási tényezőt, mint a tranziens végeselemes szimuláción alapuló új számítási módszer.

**5.3.3. II. ÉGHAJLATI ZÓNÁBAN FEKVŐ ÉPÜLET,  $Z = -1,5$  M,  $U_{PADLÓ} = 0,15$  W/M<sup>2</sup>K ÉS  $U_{PINCEFAL} = 0,3$  W/M<sup>2</sup>K**

Abban az esetben, ha az épület homokos talajon, de a II. éghajlati zónában fekszik (Ilyen település például a 12-es és 14-es ábra alapján Debrecen), és  $z = -1,5$  m valamint  $U_{padló}$  értéke 0,15 W/m<sup>2</sup>K, a jelenlegi TNM Rendelet 0 W/mK-t ad meg a padlószerkezet vonalmenti hőátbocsátási tényezőjének. Azonban mivel az épület alapja 1,5 méterrel a külső talaj szintje alatt helyezkedik el, ezért a talajjal érintkező fal hőveszteségeit is számítanunk kell. A TNM Rendelet erre is egy táblázatot tartalmaz, melyben a legkisebb hőátbocsátási tényező 0,3 W/m<sup>2</sup>K. Ez alapján ennél kisebb  $U$  értékkel rendelkező pincefal már nem számítható ezzel a táblázattal. A 1,5 m-nyi talajjal érintkező, 0,3 W/m<sup>2</sup>K hőátbocsátási tényezővel rendelkező falszakasz vonalmenti hőátbocsátási tényezője 0,45 W/mK. A két értéket összeadva tehát egy az folyóméterre eső hőveszteségtényező a TNM Rendelet szerint 0,45 W/K.

Az új módszer esetében alkalmazzuk a (22)-es összefüggést a korrigálatlan vonalmenti hőátbocsátási tényező számítására, majd a korrekciós tényező meghatározásához a (24)-es egyenletet. A padlószerkezet II. éghajlati zóna szerinti korrigált vonalmenti hőátbocsátási tényezője 0,23 W/mK-re adódik. Azonban ez az érték csak a

padlószerkezet, a padlószerkezet és falszerkezet csatlakozás hőveszteségeit, valamint a falszerkezet mögötti talaj többletellenállásából származó hatást tartalmazza. A pincefalat, ehhez még a felületének nagysága szerint hozzá kell adnunk. Ez egy folyóméteren  $1,5 \text{ m}^2$  pincefalat jelent, melynek a hőveszteségtényezője  $0,45 \text{ W/K}$ . A két érték összegzése adja az egy folyóméterre jutó, talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségtényezőjét, mely így  $0,68 \text{ W/K}$  lesz.

Az eredmény különbsége ismét szembeötlő, míg a jelenlegi módszer a veszteségeket ebben az esetben már elhanyagolja, addig az új módszer képes figyelembe venni őket. A pincefal hővesztesége a TNM Rendelet táblázatos módszere szerint megegyezik a talaj hatásának figyelembevétele nélkül, pusztán egydimenziós stacioner hőáramlás feltételezésével számított hőátbocsátási tényezőjével. A két módszer értéke bár összehasonlítható, de az azokban szereplő fizikai jelentéstartalom gyökeresen eltérő, így mégsem célszerű.

#### 5.3.4. 32 M BELSŐ KERÜLETŰ, NÉGYZET ALAPÚ ÉPÜLET, $Z = 0,25 \text{ M}$ ÉS $U_{\text{PADLÓ}} = 0,3 \text{ W/M}^2\text{K}$

Negyedik számítási példának vegyünk egy  $32 \text{ m}$  belső padlóélhosszúságú, négyzet alapú épületet, melynek padlósintje  $25 \text{ cm}$ -e van a külső talaj szintje felett és hőátbocsátási tényezője éppen megfelel a lakóépületek esetében 2018-tól előírt követelményszintnek.

A TNM Rendelet táblázatos módszere alapján belső kerülettel számolva (a belső falakat elhanyagolva) a vonalmenti hőátbocsátási tényező  $0,75 \text{ W/mK}$ , míg a vonalmenti transzmissziós hőveszteségtényező értéke  $24 \text{ W/K}$ -re adódik.

Ha betartjuk az MSZ-04-140-es szabványokban leírtakat, és a táblázatos módszert külső kerületi értékkel alkalmazzuk, akkor a kutatásban eddigiekben szereplő  $46 \text{ cm}$  vastagságú, a 1246/2013. Korm. Rendelet követelményeit teljesítő falszerkezetet számítva a külső kerület  $35,68 \text{ m}$ -re adódik, a hőveszteségtényező pedig  $26,76 \text{ W/k}$  lesz.

Az új módszer szerint a vonalmenti hőátbocsátási tényező a (23)-as egyenlet szerint számítva  $0,62 \text{ W/mK}$ . Az épületre vonatkozó vonalmenti hőveszteségtényező a sarkok hatásának korrekciója nélkül  $19,73 \text{ W/K}$ , míg a sarkok többdimenziós hőveszteségeit pontosan figyelembe véve (és jelen esetben kiküszöbölve a sarkoknál lévő terület kétszeresen történő figyelembevételét) az eredmény  $14,19 \text{ W/K}$ -re adódik.

A hőveszteségtényező az új módszerrel számítva a jelenlegi egyszerűsített módszer csupán  $53\%$ -a, azaz a TNM Rendelet közel kétszeresen becsüli túl a veszteséget.

## 6. TALAJJAL ÉRINTKEZŐ SZERKEZETEK HŐVESZTESÉGEIT SZÁMÍTÓ SZOFTVER BEMUTATÁSA

### 6.1. A szoftver leírása

Az előző fejezetben olvasható összefüggések létrehozásakor nyilvánvalóvá vált az a tény, hogy egy kerületi hossz korrekció kézi számítását a legkevésbé sem lehet elvárni a számítási eljárást alkalmazó épületenergetikusoktól. Szükség van egy olyan, egyszerűen kezelhető alkalmazásra, melyet a lehető legtöbben tudnak futtatni, és az egyenletek és a számítási módszer jó algoritmizálhatósága végett a szoftver számítja helyettük a pontosabb eredményeket.

A programot „Microsoft Excel 2013”-ban készítettem, a számításokat VBA makrók alkalmazásával oldottam meg. Az Excel alkalmazása azért célszerű, mert a potenciális felhasználó közönség nagy valószínűséggel alkalmaz valamilyen táblázatkezelő szoftvert a számítógépén. Azonban az Excel révén nem csupán a személyi számítógépeken futtathatjuk a számító programot, hanem akár okostelefonokon vagy táblaszámítógépeken is. Az eszközökön futó különböző operációs rendszerek sem jelentenek problémát, mivel gyakorlatilag az összes elterjedt platformra létezik már makrókat tartalmazó táblázatokat megnyitni képes táblázatkezelő szoftver.

Ez tehát egy „szoftver a szoftverben”, mely alapján azonban akár a meglévő épületenergetikai szoftverekbe, akár új számító szoftverekbe lehet integrálni a talajjal érintkező szerkezetek tranziens hőtechnikai szimulációján alapuló számítási eljárást.

Az alkalmazás rendszerkövetelményei megegyeznek a táblázatkezelő szoftverek követelményeivel.

A szoftver beépített hőátbocsátási tényező számító táblázattal készült, ezáltal a teljes folyamatot, mely a vonalmenti hőátbocsátási tényező illetve a vonalmenti transzmisszió hőveszteségtényező megkapásához vezet, elvégezhetjük benne.

A számítások során a program a dolgozatban szereplő és a számítási módszerhez kapcsolódó, a szimulációs eredményeket közelítő egyenletek alapján számol, e miatt eredményei kis mértékben eltérhetnek a közvetlenül a 24-es ábrán szereplő táblázatról leolvasható eredményekről, azonban köztes, a táblázatban szereplő értékeket akár pontosabban is visszaadhat, mint a táblázat esetén szükségszerűen alkalmazandó bilineáris interpolációs eljárás.

## 6.2. A kezelőfelület bemutatása

Az alábbi ábrán a szoftver kezelőfelülete teljes egészében látható.

Talajjal érintkező szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezője

Számítás rendben!

**Talajon fekvő padló hőátbocsátási tényezője**

| Réteg    | Anyag neve                 | Vastagság [cm] | Hővezetési tényező [W/mK] | Hővezetési ellenállás [m²K/W] |
|----------|----------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------------|
| $R_{si}$ | Belső fűtött levegő, 20 °C | -              | -                         | 0,17                          |
| 1        | Felbeton                   | 6              | 1,35                      | 0,04                          |
| 2        | Hőszigetelés               | 20             | 0,04                      | 5,00                          |
| 3        | Aljzatbeton                | 10             | 2,3                       | 0,04                          |
| 4        |                            |                |                           |                               |
| 5        |                            |                |                           |                               |
| 6        |                            |                |                           |                               |
| 7        |                            |                |                           |                               |
| 8        |                            |                |                           |                               |
| 9        |                            |                |                           |                               |
| 10       |                            |                |                           |                               |

**Adatok és korrekciók megadása**

Talajon fekvő padló szerkezet és Z [m] értelmezése

Z értéke +3 m és -3 méter között tetszőlegesen megadható.  
Az épület téglalap alakú padló szerkezettel rendelkezik.

$U_{padló}$  Számított 0,19 W/m²K

Követelményértéknek 7/2006. TNM Rend. Megfelel

Padlóél belső kerülete:
 

32,00 m

A külső talajszint és a belső padló felső síkja közötti távolság (z):
 

0,50 m

Vonalmenti hőátbocsátási tényező korrekciói:
 

Nem alkalmaz ▼

Belső padlóélhossz többdimenziós hatások miatti korrekciója:
 

Alkalmaz ▼

SZÁMÍTÁS
TÖRÖL

**Talajon fekvő padló vonalmenti hőátbocsátási tényezője és vonalmenti hővesztésgtényezője**

| Vonalmenti hőátbocsátási tényező, $\psi_{padló}$ [W/mK] | Vonalmenti hővesztésgtényező, $\Sigma I \cdot \psi_{padló}$ [W/K] |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 0,41                                                    | 13,27                                                             |

© 2013 NAGY Balázs BME-MET

40. ábra: Talajjal érintkező szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezőjét számító szoftver

Nagy Balázs, BME Magasépítési Tanszék

72

### 6.2.1. HŐÁTBOCSÁTÁSI TÉNYEZŐ SZÁMÍTÁSA

A szoftverben lehetőség van a padlószerkezet hőátbocsátási tényezőjének számítására, abban az esetben, ha a belső levegő állandó 20 °C-os. A peremfeltételt az MSZ EN ISO 6946 alapján határoztam meg. Ez egyben a módszerrel való kompatibilitást is hivatott biztosítani. A padló maximálisan 10 rétegből állhat, melyeknek tartalmazniuk kell a hőtechnikailag releváns összes épített réteget. Az anyagokat nevük, cm-ben mért vastagságuk és hővezetési tényezőjük alapján számíthatjuk, azonban lehetőség van közvetlenül a hővezetési ellenállás megadására is, vagy akár kombinált megadási módra is.

| Talajon fekvő padló hőátbocsátási tényezője |                            |                |                           |                               |
|---------------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------------|
| Réteg                                       | Anyag neve                 | Vastagság [cm] | Hővezetési tényező [W/mK] | Hővezetési ellenállás [m²K/W] |
| R <sub>si</sub>                             | Belső fűtött levegő, 20 °C | -              | -                         | 0,17                          |
| 1                                           | Felbeton                   | 6              | 1,35                      |                               |
| 2                                           | Hőszigetelés               | 20             | 0,04                      |                               |
| 3                                           | Aljzatbeton                | 10             | 2,3                       |                               |
| 4                                           |                            |                |                           |                               |
| 5                                           |                            |                |                           |                               |
| 6                                           |                            |                |                           |                               |
| 7                                           |                            |                |                           |                               |
| 8                                           |                            |                |                           |                               |
| 9                                           |                            |                |                           |                               |
| 10                                          |                            |                |                           |                               |

41. ábra: Hőátbocsátási tényező számítása

### 6.2.2. ADATOK MEGADÁSA ÉS A KÖVETELMÉNYEK KIVÁLASZTÁSA

Abban az esetben, ha a padlószerkezet hőátbocsátási tényezőjét számítás helyett magunk szeretnénk megadni, az adatok megadásánál választhatjuk a „megadott” U<sub>padló</sub> opciót, mely esetében közvetlenül megadhatjuk az alkalmazni kívánt értéket (Ezt választva a hőátbocsátási tényezőt számító táblázat el is sötétül).

Lehetőségünk van továbbá a hőátbocsátási tényező értékét ellenőriztetni a szoftverrel, hogy megfelel-e a 7/2006 TNM Rendelet vagy akár a 1246/2013. Korm. határozat követelményértékeinek.

|                                                                       |                         |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|------|-------|
| U <sub>padló</sub>                                                    | Megadott ▼              | 0,24 | W/m²K |
| Követelményértéknek                                                   | 1246/2013. Korm. Hat. ▼ |      |       |
| Padlóél belső kerülete:                                               | 7/2006. TNM Rend. ▼     |      |       |
|                                                                       | 1246/2013. Korm. Hat. ▼ |      |       |
|                                                                       | 32,00                   | m    |       |
| A külső talajszint és a belső padló felső síkja közötti távolság (z): |                         |      |       |
|                                                                       | -1,00                   | m    |       |

42. ábra: Adatok megadása és követelményértékek kiválasztása

Ugyancsak ezen a részen adhatjuk meg a padlóél belső kerületének hosszát, és a külső talajszint valamint a belső padló felső síkja közötti „z” távolságot is, mely értelmezését ábra is segíti.

### 6.2.3. KORREKCIÓS KÖRÜLMÉNYEK BEÁLLÍTÁSA

Az alapvető adatok megadása után a program már képes arra, hogy korrekciók nélkül megadja a vonalmenti hőátbocsátási tényezőt vagy a vonalmenti hőveszteségtényező értékét. A korrekciók alkalmazásával azonban pontosabb eredményeket kaphatunk.

A korrekciókat legördülő menüből választhatjuk ki. Belső padlóélhossz korrekciót azonban csak abban az esetben alkalmazhatunk, ha a vonalmenti hőátbocsátási tényezőt nem korrigáljuk, illetve téglalap alakú padlószerkezettel rendelkező épületet számítunk, mivel egyéb lehetőségekre nem terjed ki a jelen kutatás.

43. ábra: Korrekciós tényezők beállítása

### 6.2.4. A SZÁMÍTÁS ELVÉGZÉSE ÉS EREDMÉNYEK

A számítás elvégzéséhez a korrekciók opcionális beállítása után a „SZÁMÍTÁS” gombra kell kattintani. Az eredmények ezután válnak láthatóvá. A számított eredményeket a „TÖRÖL” gomb segítségével törölhetjük.

A számítás során a szoftver elvégzi a hőátbocsátási tényező számítását és a követelményértékkel történő összehasonlítását, valamint a megadott adatok és korrekciók alkalmazásával számítja a vonalmenti hőátbocsátási tényezőt és a hőveszteségtényezőt. Az eredmények a szürke cellákban jelennek meg.

| Talajon fekvő padló vonalmenti hőátbocsátási tényezője és vonalmenti hőveszteségtényezője |      |                                                                         |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vonalmenti hőátbocsátási tényező, $\psi_{\text{padló}}$ [W/mK]                            |      | Vonalmenti hőveszteségtényező, $\Sigma \cdot \psi_{\text{padló}}$ [W/K] |       |
|                                                                                           | 0,41 |                                                                         | 13,27 |

44. ábra: Eredmények

## 6.2.5. A SZOFTVER ELLENŐRZŐ FUNKCIÓI

A szoftverbe bevitt adatok valóságtartalma illetve alkalmazhatósága ellenőrzésre kerül. Amennyiben a felhasználó valótlan adatokat adna meg, az adott cella piros színré változik. Ilyen valótlan adatnak számít például a hőátbocsátási tényezők számítása esetén megadott nulla, vagy negatív értékű vastagság, hővezetési tényező vagy hővezetési ellenállás. Továbbá a nem pozitív megadott hőátbocsátási tényező, a zérus vagy negatív padlóél kerület is.

A z értékének megadását a szoftver a számítási módszer miatt -3 m és +3 m között engedélyezi, a korrekciók alkalmazására -2 m és +0,5 m között van lehetőség, a további esetekben a legördülő menüben a „Nem meghatározott” felirat olvasható.

Az épület padlóját a szoftver alapvetően téglalap alakúnak feltételezi, így a 28 m-nél kisebb kerülettel rendelkező épületek esetén szintén nem elérhető a padlóélhossz korrekció (ezen épületek nettó alapterülete nem is lehetne 50 m<sup>2</sup> felett). Egyéb esetekben a szoftver 4 sarkot feltételez, melyekre alkalmazza a sarok korrekciós szorzótényezőjét, a maradék kerületi hosszát pedig a korrigálatlan értékkel számítja, így a felhasználónak nem kell az egyes hosszakat külön figyelembe véve számítani.

45. ábra: Adatok ellenőrzése

## 6.3. A szoftver futása és eredményei

A szoftver a már említett módon, a „SZÁMÍTÁS” gombra történő kattintással fut le, az eredmények megegyeznek az összefüggések kézi számítása esetén kapható eredményekkel. A program alkalmazása célszerű, mivel a beépített ellenőrző funkciók révén figyelmeztet, illetve nem engedi a nem megfelelő korrekciók alkalmazását.

Az alkalmazással történő számítás természetesen lényegesen gyorsabb és egyszerűbb a kézi számításnál, így felhasználása a módszer esetében javasolt.

## 7. ÖSSZEGZÉS

A kutatás és a dolgozat írása közbeni megállapításokat és eredményeket, az ezekre épülő javaslatokat, a következő pontokban foglalom össze, a dolgozatban szereplésük sorrendjében, számozatlan felsorolás formájában.

### 7.1. Megállapítások, eredmények, javaslatok

- A hatályos TNM Rendelet nem felel meg a 2010/31/EU irányelv azon iránymutatásának, mely szerint az épületek energiahatékonyságát mind nemzeti, mind pedig regionális szinten differenciálni kellene, s a klimatikus és helyi feltételek figyelembe kellene vennünk a számítások során. A Rendelet az országunkat egységes éghajlattal és egységes helyi feltételekkel, környezeti jellemzőkkel kezeli.
- A nemzetközi kutatói publikációkban évtizedek óta fellelhető tranziens hőtechnikai modellezés a Magyarországon elterjedt számítási módszerekben nem honosodott meg, a hazai eljárások az állandósult állapotra történő egyszerűsítés alapján, az elmúlt 30 évben szinte változatlan formában vannak jelen, a számítási eljárások és táblázatok nem tartalmazzák a szerkezeti hőhidak miatti többlethővesztéseket.
- A talajjal érintkező szerkezetek számítási eljárásait vizsgálva, azok egyikében sem található meg a padlószerkezet rétegvastagsága, mint befolyásoló tényező. A padlószerkezetet az eddigi számítási eljárások annak hővezetési ellenállásával jellemzik, mely azonban a padlószerkezet vastagságának változtatása nélkül csak bizonyos mértékben változtatható meg.
- A földhő, mely minden esetben egy bizonyos mélységben állandónak tekinthető (illetve a geotermikus gradiens szerint változik), nem játszik található meg egyik jelenleg alkalmazott számítási eljárásban sem.

- Magyarország külső hőmérséklet szempontjából az elmúlt 50 év napi hőmérsékleti adatait vizsgálva két éghajlati zónára bontható, melyek éves átlagos középhőmérséklete 10,5 °C és 9,5 °C. A kutatás során létrehozott külső napi középhőmérsékletet leíró függvények alapján a standard fűtési idénybeli átlaghőmérséklet 3,52 °C és 2,52 °C.
- A hazai épületfizikai számítások során  $v = 3$  m/s-os szélsősebesség alkalmazása volna megfelelő az Európai Unió harmonizált szabványokban meghatározott 4 m/s helyett.
- A kutatás során létrehozott új számítási módszer a talajjal érintkező szerkezetek esetében tranziens végeses elemes szimuláció alapján a 1246/2013. Korm. rendelet követelményértékeit és a vonatkozó Európai Unió szabványok figyelembevételével készült, a jelenlegi számítási módszereknél a valóságot jobban közelítő geometriai- és épületfizikai modellek alapján. Az új számítási módszer figyelembe veszi a padló hőátbocsátási tényezőjének változásakor a padló szerkezet vastagságának változását valamint a tranziens szimulációból eredően mind a szerkezetek, mind pedig a talaj hőtároló kapacitását.
- A tranziens hőtechnikai szimulációk során megállapítottam, hogy a standard fűtési idényre vizsgálva az épületszerkezetek közül azok, melyek nem rendelkeznek jelentős hőtároló tömeggel valamint nem érintkeznek jelentős hőtároló tömegű anyagokkal (pl. külső fal), stacioner számítási módszerrel jól közelíthetőek. Azonban a talajjal érintkező szerkezetek (pl. lábazati fal, padló szerkezet) hőveszteségei jelentősen eltérnek a stacioner állapotban feltételezettektől, így ezek csak tranziens számításokkal modellezhetőek.
- Az új módszer segítségével megalkotott, a szimulációs eredményeket tartalmazó táblázatos értékek tartalmazzák a padló szerkezet hőveszteségeit, valamint a padló és falcsatlakozásnál kialakuló szerkezeti hőhíd hatásait és a talajjal érintkező fallal érintkező földtömeg hőtechnikai hatásait is.

- A szimulációs eredmények alapján a módszer nem csak táblázatos formában, hanem a táblázatos értékeket visszaadó közelítő összefüggések formájában is elérhető.
- A kutatás során a környezeti és lokális hatásokat figyelembe vevő korrekciós tényezőket készítettem, melyek alkalmazásával figyelembe vehetőek például az eltérő külső hőmérsékletből származó megnövekedett hőveszteségek, vagy a talaj-összetétel változásából eredő hőveszteség csökkenés is.
- A korrekciós tényezők megalkotása során megállapítottam, hogy az felbeton alatt, és az aljzatbeton között elhelyezett hőszigetelő rétegű padló-szerkezet kedvezőbb kialakítású a hőveszteségek tekintetében, mintha a hőszigetelő anyag a padlólemez alatt kerülne elhelyezésre.
- Az épületek alapvető geometriai formáit figyelembe vevő, a pozitív sarkok háromdimenziós hőtechnikai hatásai miatti korrekciós szorzótényezőket készítettem, melyek segítségével a téglalap alapú épületek hőveszteségei pontosabban modellezhetőek és számíthatóak.
- A TNM Rendelet és az új számítási módszert összehasonlítva megállapítható, hogy a jelenleg leggyakrabban alkalmazott számítási eljárás szinte minden esetben jelentősen túlbecsüli a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeit, a valóságot jobban közelítő, új számítási módszerrel szemben.
- A kutatás során létrehoztam egy szoftvert, mellyel az új módszer alkalmazása gyors és megbízható.
- Az új számítási módszer beilleszthető lenne a jelenlegi 7/2006. TNM Rendeletbe, s alkalmazásával, a talajjal érintkező szerkezetek a valósághoz közelebbi eredményekkel számíthatóak lennének.

## 8. FORRÁSOK

1. *A belügyminiszter 40/2012. (VIII.13.) BM rendelete az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. TNM rendelet módosításáról.* Magyar közlöny 2012. évi 107. szám, Magyar Közlöny Lap- és Könyvkiadó, Budapest.
2. *A Kormány 1246/2013. (IV. 30.) Korm. határozata az épületek energiahatékonyságának követelményeiről és az épületek energiahatékonyságáról szóló 2010. május 19-i 2010/31/EU európai parlamenti és tanácsi irányelv szerinti költségoptimalizált követelményszint eléréséről.* Magyar Közlöny 2013. évi 71. szám, Magyar Közlöny Lap- és Könyvkiadó, Budapest.
3. *A tárca nélküli miniszter 7/2006. (V.24.) TNM rendelete az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról.* Magyar Közlöny 2006. évi 62. szám, Magyar Közlöny Lap- és Könyvkiadó, Budapest.
4. Adjali, M.H.; Davies, M.; Rees, S.W.; Littler, J. (2000): *Temperatures in and under a slab-on-ground floor: two- and three-dimensional numerical simulations comparison with experimental data.* Building and Environment volume 35, issue 7, Elsevier Inc, Philadelphia, USA. ISSN 0360-1323, 655-662. oldal
5. Adjali, M.H.; Davies, M.; Riain, C. Ni; Littler, J.G. (2000): *In situ measurements and numerical simulation of heat transfer beneath a heated ground floor slab.* Energy and Building volume 33, issue 1, Elsevier Inc, Philadelphia, USA. ISSN 0378-7788, 75-83. oldal
6. *Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU irányelve az épületek energiahatékonyságáról.* Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 153, EU Publications Office Kiadó
7. Blomberg, Thomas (1996): *Heat conduction in two and three dimensions, Computer Modelling of Building Physics Applications.* Dept. of Building Physics, Lund University, Lund, Sweden. ISBN 91-88722-05-8
8. Claesson J.; Hagentoft C.E. (1991): *Heat loss to the ground from a building – I. General theory.* Building and Environment volume 26, issue 2, Elsevier Inc, Philadelphia, USA. ISSN 0360-1323, 195-208. oldal
9. Davies, G.R. (1979): *Thermal analysis of earth covered buildings.* Fourth National Passive Solar Conference, Kansas City, USA

10. Delsante A.E. (1988): *Theoretical calculation of the steady-state heat loss through a slab-on-grade floor*. Building and Environment volume 23, issue 1, 11 ISSN 0360-1323, 11-17. oldal
11. dos Santos, Gerson H.; Mendes, Nathan (2006): *Simultaneous heat and moisture transfer in soils combined with building simulation*. Energy and Building volume 38, issue 4, Elsevier Inc, Philadelphia, USA. ISSN 0378-7788, 303-314. oldal
12. Dr. Csanaky Judit Emília (2013): *Épületfizika és –kémia előadásjegyzet, 4. előadás: A számítás gyakorlati lépései részletes számítási mód esetén-II*. BME Magasépítési Tanszék, Budapest.
13. Dr. Möller Károly (1934): *Építési zsebkönyv I. kötet*. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest. 20.317/1934, 301-350. oldal
14. Konkolyiné Bihari Zita; Lakatos Mónika; Szalai Sándor (2008): *Magyarország éghajlatáról. Változás, változékonyság térben és időben*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
15. Kusuada T.; Bean J.W. (1984): *Simplified methods for determining seasonal heat loss from uninsulated slab-on-grade floors*. ASHRAE Transactions volume 90. part 1B, Amer. Soc. Heating, Ref. Air-Conditioning Eng. Inc., ISSN: 0001-2505, 611-632. oldal
16. Kusuda T.; Achenbach P.R. (1963): *Numerical analysis of the thermal environment of occupied underground spaces with finite cover using a digital computer*. ASHRAE Transactions volume 69, Amer. Soc. Heating, Ref. Air-Conditioning Eng. Inc., ISSN: 0001-2505, 439-452. oldal
17. Latta J.K.; Boileau G.G. (1969): *Heat losses from house basements*. Canadian Builders volume 19, issue 10, 39-42. oldal
18. MSZ EN ISO 10211:2008 *Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások (ISO 10211:2007)*. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
19. MSZ EN ISO 10456:2008 *Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok. Táblázatos tervezési értékek, eljárások a minősítési és tervezési hőtechnikai értékek meghatározására (ISO 10456:2007)*. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

20. MSZ EN ISO 13370:2008 *Épületek hőtechnikai viselkedése. Hőátvitel a talajban. Számítási módszerek (ISO 13370:2007)*. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
21. MSZ EN ISO 14683:2008 *Hőhidak az épületszerkezetekben. Vonal menti hőátbocsátási tényező. Egyszerűsített módszerek és felülírható kiindulóértékek (ISO 14683:2007)*. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
22. MSZ EN ISO 6946:2008 *Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszer (ISO 6946:2007)*. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
23. MSZ-04-140/3:1978 *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Fűtési hőszükségletszámítás*. Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium, Budapest
24. MSZ-04-140/3:1987 *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Fűtési hőszükségletszámítás*. Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium, Budapest
25. MSZ-04-140-2:1991 *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Hőtechnikai méretezés*. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Budapest
26. Nagy Balázs (2011): *A szoláris nyereségek pontosítása a hazai épületenergetikai számításoknál*. BME Magasépítési Tanszék, Budapest.
27. Nagy Balázs (2012): *Éghajlatfüggő tényezők pontosítása a hazai épületenergetikai számításokban*. Épületgépész I. évfolyam 3. szám, Magyar Épületgépészek Szövetsége, Budapest. 44-45. oldal
28. Nagy Balázs (2013): *Többdimenziós hőáramlás modellezés összehasonlító elemzése*. BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék, Budapest.
29. Rees, S.W.; Adjali, M.H.; Zhou, Z.; Davies, M.; Thomas, H.R. (2000): *Ground heat transfer effects on the thermal performance of earth-contact structures*. Renewable and Sustainable Energy Reviews volume 4, issue 3, Elsevier Inc, Philadelphia, USA. ISSN 1364-0321, 213-265. oldal

30. Rees, S.W.; Zhou, Z.; Thomas, H.R. (2001): *The influence of soil moisture content variations on heat losses from earth-contact structures: an initial assesment*. Building and Environment volume 36, issue 2, Elsevier Inc, Philadelphia, USA. ISSN 0360-1323, 157-165. oldal
31. Rees, S.W.; Zhou, Z.; Thomas, H.R. (2007): *Ground heat transfer: A numerical simulation of a full-scale experiment*. Building and Environment volume 42, issue 3, Elsevier Inc, Philadelphia, USA. ISSN 0360-1323, 1478-1488. oldal
32. Thomas, H.R.; Rees, S.W. (1998): *The thermal performance of ground floor slabs – a full scale in-situ experiment*. Building and Environment volume 34, issue 2, Elsevier Inc, Philadelphia, USA. ISSN 0360-1323, 139-164. oldal
33. Zhong, Zhipeng; Braun, James E. (2007): *A simple method for estimating transient heat transfer in slab-on-ground floors*. Building and Environment volume 42, issue 3, Elsevier Inc, Philadelphia, USA. ISSN 0360-1323, 1071-1080. oldal

## 9. MELLÉKLETEK

A dolgozatban szereplő ábrák, táblázatok és diagramok csupán szemelvényei a kutatásnak. Hagyományos esetben a mellékletek kinyomtatásra kerülnek és a dolgozat végén megtalálhatóak, vagy DVD mellékleten kerülnek elhelyezésre. Azonban jelen esetben ez nem megoldható. A teljes melléklet, mely tartalmazna minden, a kutatás során keletkezett fájlt vagy dokumentációt, ugyanis több mint 55 Gigabájt terjedelmű adatmennyiség volna.

E terjedelmes mennyiség átláthatóságára egy összefoglaló Excel táblázatot készítettem, mely tartalmaz minden fontos ábrát, táblázatot, feldolgozatlan és feldolgozott eredményeket és diagramot, mely a kutatás teljes átlátásához szükséges. Ennek formátuma azonban szintén nem A/4-es nyomtatásbarát, mivel már a feldolgozott éghajlat-adatok is több tíz oldalt foglalnának el ebben a formátumban nyomtatva. A kutatás során létrehozott szoftvert szintén nehéz lenne papírra nyomtatni.

Az összefoglaló Excelt és számító szoftvert azonban pazarlás lenne a maga 4 Megabájtos méretével DVD-re írni, s ez esetben csupán az láthatná, akihez a lemez fizikai formájában is eljut. Ennek kiküszöbölésére álljon itt egy letöltési link, melyen a kutatás melléklete letölthető, a benne szereplő adatok azonban csak a szerző engedélyével használhatóak fel a továbbiakban:

<http://goo.gl/g7KqiY>

