



Nagy Balázs

szerkezet-  
építőmérnök MSc,  
épületenergetikai  
szakmérnök  
doktorjelölt, BME  
Építőanyagok és  
Magasépítés Tanszék



Szagri Dóra

okl. építőmérnök

# Szálerősítésű padlószerkezetek és lábazati kialakítások labormérésekkel támogatott szimulációs vizsgálata

Cikksorozatunkban az ipari csarnokok dinamikus kapcsolt hő- és nedvességtranszport-szimulációkon alapuló épületenergetikai számításaival foglalkozunk. Az első cikkünkben a dinamikus szimulációhoz szükséges anyagvizsgálatokat mutatjuk be a szálerősítésű ipari padlók példáján keresztül, majd az ipari csarnokok különböző éghajlatok és talajok esetén, eltérő hőszigetelési kialakítással történő lábazatainak összehasonlító elemzését mutatjuk be egy acél csarnok általános falszakaszon felvett lábazati csomóponti kialakítási lehetőségeinek kétdimenziós vizsgálatán keresztül.

**Kulcsszavak:** dinamikus szimuláció, hő- és nedvességtranszport, ipari padló, ipari csarnok lábázat

In the following articles, we deal with building energetic performance of industrial halls based on dynamic coupled heat and moisture transport simulations. In the first article, we present the material tests required for dynamic simulation through fiber reinforced industrial flooring as an example, thereafter we present a comparative analysis of the effect of different climates, soils and insulation design on the footings of the industrial halls with the case of two dimensional investigation of possible common ground beam and wall sections of steel structure industrial halls.

**Keywords:** dynamic simulation, heat and moisture transfer, industrial floor, industrial hall footing

## Bevezetés

A 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet [1] 2016. január 1-jétől megengedi az épületek energetikai jellemzőinek számítását a nemzetközi gyakorlatban elfogadott számítógépes szimulációs módszerrel. Emellett pedig az épületenergetikai tanúsítások során az AA vagy annál jobb besorolás a 176/2008 (VI. 30.) kormányrendelet [2] alapján csak a rendelet szerinti részletes módszerrel vagy dinamikus szimulációval alátámasztott módon adható. A két rendeletben utalt számítógépes illetve dinamikus szimuláció típusát nem részletezik tovább.

A számítógépes dinamikus szimulációk készítésének igénye azonban nem csupán az épületenergetikai számítások, tanúsítás illetve auditálás esetén merülhet fel, hanem például a jelenleg is alkalmazott és a beruházók körében hazánkban is egyre népszerűbb zöld épületminősítő rendszerekben (lásd [3]) is megkövetelt vagy bónuszpontot érő opció lehet. Ugyanakkor, amennyiben már a

tervezési fázisban is bevonjuk a számítógépes szimulációkat, akár csupán csomóponti, akár teljes épületmodellezéssel együtt, úgy magasabb tervezési biztonsággal, hatékonyabb és gazdaságosabb szerkezeteket tervezhetünk.

Jelen cikksorozatunkban az ipari csarnokok dinamikus szimulációkon alapuló épületenergetikai számításaival foglalkozunk. A számítógépes épületenergetikai szimulációk széles palettájából a dinamikus kapcsolt hő- és nedvességtranszport modellezésen alapuló komplex szimulációt [4] választottuk. Az első cikkünkben a dinamikus szimulációhoz szükséges anyagvizsgálatokat mutatjuk be a szálerősítésű ipari padlók példáján keresztül (amelyekre szabványos higrotermikus anyagtulajdonságok eleddig nem álltak rendelkezésre), majd a meglévő ipari csarnokok lábazati kialakításának modellezéséről lesz szó egy acél csarnok általános falszakaszon felvett lábazati csomóponti kialakítási lehetőségeinek vizsgálatán keresztül.



## Szálerősítésű padlószervezetek higrotermikus tulajdonságai

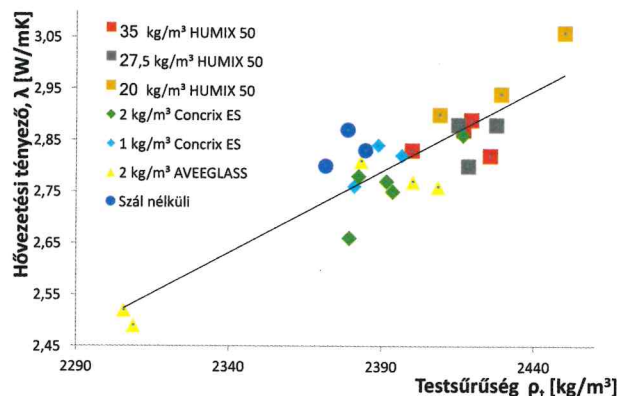
A számítógépes szimulációk készítése során, amennyiben olyan anyagokkal dolgozunk, melyek nem találhatók meg az adott szoftver beépített anyagadatbázisában vagy a rendelkezésre álló szabványokban vagy teljesítmény-nyilatkozatokban (a kutatás kezdetén mintegy három évvel ezelőtt ilyenek voltak a szálerősítésű betonok is), vagy valamilyen speciális tulajdonsággal bírnak, abban az esetben két lehetőségünk van. Az egyik, hogy egy tulajdonságaiban hasonló (nak vélt) anyagot alkalmazunk helyettesítőként a szimulációban, vagy laboratóriumi vizsgálatok segítségével (a mérések részletesebb és szabványos leírásához lásd [5]) megvizsgáljuk az anyag dinamikus kapcsolt hő- és nedvességvándorlás szimulációjához elengedhetetlenül szükséges anyagtulajdonságait, ezáltal mi magunk adjuk meg a szoftverben az új anyagot. Az említett szimulációk szempontjából szükséges anyagtulajdonságok a következők: testsűrűség, hővezetési tényező és annak hőmérséklet-, valamint nedvességfüggése, fajlagos hőkapacitás, porozitás, páradiffúziós ellenállási szám, szorpciós izoterma és a nedvességtranszport tényező. A cikkben bemutatott vizsgálatokat a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Anyagvizsgáló Laboratóriumában és Épületfizika Laboratóriumában végeztük el (1. ábra). A vizsgált próbatestek acélszál (HUMIX 50), műanyagszál (Concrix ES) és üvegszál (AVEEGLASS) adagolással készültek, emellett természetesen száladagolás nélküli referencia betonokat is mértünk [6, 7].



1. ábra: Betonminták laborvizsgálata (páradiffúzió, porozitás, hővezetési tényező, vízfelvétel)

### • Hővezetési tényező

A beton próbatestek hővezetési tényezőjét Taurus TLP 300 DTX peremvédett fűtőlapos hővezetőképesség-mérő készülékkel mértük meg. Ez az eljárás a próbatest két felületén kialakított hőmérsékletkülönbség hatására kialakult egydimenziós hőáramok mérésén alapul. A próbatesteket EPS táblákból készített, a próbatestek magasságával megegyező méretű kalodákban helyeztük a műszerbe, így lehet biztosítani, hogy a külső laborhőmérséklet biztosan ne befolyásolja a mérés eredményét, és a közbelső mért részen állandósult, egydimenziós hőáramlás alakuljon ki. A hővezetési tényezőket a próbatestek készítése után 28 napos korukban, majd utána 1 éves laborlevegőn tárolás után mértük meg. A 28 napos értékeket a próbatestek testsűrűségének és a száladagolás függvényében a 2. ábrán láthatjuk, míg az 1 éves korban mért értékeket (immáron csak az acélszálás illetve referencia betonokra) az 1. táblázat tartalmazza. Megfigyelhető, hogy a próbatestek 1 éves korában a hővezetési tényezők számottevően alacsonyabbnak bizonyultak, mint a 28 napos korban mért értékek.

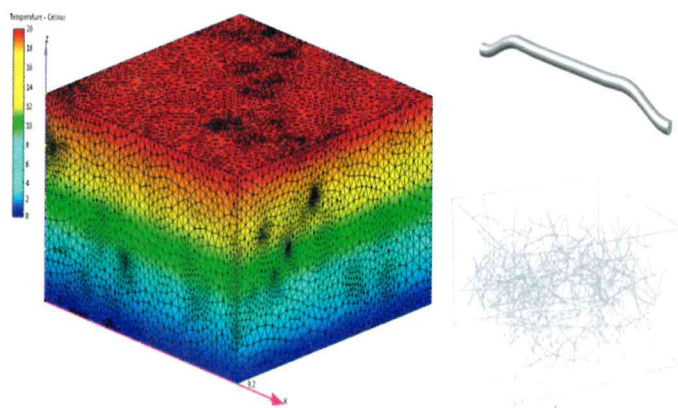


2. ábra: Acél-, műanyag- és üvegszál-erősítésű illetve etalon próbatestek – hővezetési tényező és testsűrűség közötti összefüggés 28 napos próbatesteken mérve [6]

Minta neve	Minta mért hővezetési tényezője 23°C, 0%RH $\lambda_{2,d}$ [W/mK]	Minta mért hővezetési tényezője 23°C, 50%RH $\lambda_{2,m}$ [W/mK]	Minta számított hővezetési tényezője 10°C, 0% RH $\lambda_{1,d}$ [W/mK]	Minta számított hővezetési tényezője 10°C, 50% RH $\lambda_{1,m}$ [W/mK]
Humix 35	1,75	1,87	1,73	1,85
Humix 27,5	1,99	2,11	1,96	2,09
Humix 20	2,03	2,16	2,00	2,13
Referencia	1,68	1,79	1,66	1,77

1. táblázat: Acélszálerősítésű (35 kg/m<sup>3</sup>, 27,5 kg/m<sup>3</sup>, 20 kg/m<sup>3</sup> száladagolással) és referencia betonminta hővezetési tényezői 1 éves korban [7]

Kiegészítő vizsgálatként elkészítettük az acélszálás beton próbatestek végeelemes modelljeit is (3. ábra), mely segítségével vizsgálhattuk a betonok hővezetési tényezőjének változását a száladagolás függvényében. Az 1. táblázatban közölt mérési eredményekből is látszik, hogy az általunk vizsgált száladagolás mellett a több acélszál alacsonyabb hővezetési tényezőt eredményezett, melyet a szálak által bevitt porozitásnövekedés okoz, mely a testsűrűségek csökkenésében is megfigyelhető [6].



3. ábra: Acélszálerősítésű beton próbatest végeelemes hőtechnikai modellezése [6]



### • Fajlagos hőkapacitás

Egy rendszer fajlagos hőkapacitása megadja, hogy mekkora hőközléssel lehet egy adott anyag egységnyi tömegének hőmérsékletét 1 kelvinnel megemelni. A fajhő mérését például keveréses kalorimetriával határozhatjuk meg, ehhez egy PT1000-es ellenálláshőmérőt alkalmaztunk. A módszer alapja, hogy a kívánt ismert tömegű és hőmérsékletű anyagot egy ismert paraméterekkel rendelkező folyadékkal keverjük össze, majd megmérjük a beálló közös hőmérsékletet. Feltételezve, hogy a keverés során a két anyag között kizárólag hőátadás történik, úgy a vizsgálandó anyag által felvett hő egyenlő az ismert anyag által leadott hővel. A mérések és számított értékek alapján kijelenthető, hogy nincs szignifikáns különbség a szálerősített és a referencia keverék között, minden általunk vizsgált minta fajlagos hőkapacitása 830,7–832,4 J/kgK közötti értéket mutatott.

### • Porozitás

Az anyag teljes porozitásának [%] számítása a testsűrűség és anyagsűrűség meghatározásával lehetséges:  $P = 1 - \frac{\rho_{\text{test}}}{\rho_{\text{anyag}}}$ . Ehhez minden próbatesteket össze kell törni, szálerősített beton esetén kiszedni a mintákból a használt szálakat, ezután finom porrá kell őrölni az anyagot. A piknométeres anyagsűrűség vizsgálathoz csupán pár 10 gramm porra van szükség, ehhez a próbatestből átlagolt mintát kell venni.

Az anyagsűrűség a tömeg és a pórusmentes térfogat hányada. A porított anyag térfogatát piknométerrel, folyadékkiszorítás elvén határozzuk meg olyan folyadékkal, ami nem lép reakcióba a vizsgált anyaggal. A mérések pontossága érdekében érdemes minden mintából egyszerre két párhuzamos mérést végezni. A piknométeres mérések alapján a betonminták teljes porozitása 5–8%-ra adódott. Az 1. ábrán megfigyelhető, hogy minél nagyobb az anyag testsűrűsége, jellemzően annál nagyobb a hővezetési tényezője is.

### • Páradiffúziós képesség

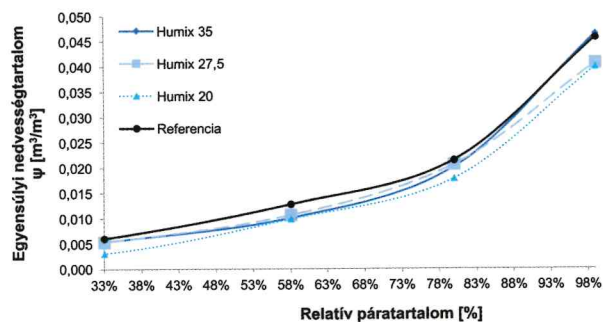
A beton próbatestek páradiffúziós tényezőjét és ellenállását egy hőmérséklet- és páraszabályozott kamrában mértük meg. Ehhez egy alumínium mérőedényt használtunk, amelynek az alsó felében a relatív páratartalmat magnézium-nitrát-hexahidrát sóoldattal állítottuk be 53%-ra 23 °C hőmérséklet mellett. A kamrában lévő levegő relatív páratartalmát szabályozva a próbatest két oldala közötti nyomáskülönbség végett megindul a páradiffúzió a próbatesten keresztül. A rendszer tömegváltozását folyamatosan mérve a tömegváltozásokat felhasználva szabványosan számíthatjuk a próbatest páradiffúziós képességét. A minták mérése során általában egy hetet vett igénybe, míg a páraáramlás állandósult, ezután 3 napnyi másodperc-bontású adatból számítottuk a páradiffúziós képességet.

A „dry cup” mérésekből kapjuk meg, hogy az adott anyag hogyan viselkedik alacsony páratartalom mellett, amikor a nedvességtranszport főként páradiffúzió útján zajlik. A „wet cup” mérések pedig az anyag teljesítményét mutatják magas páratartalom mellett. Ebben az

állapotban az anyag pórusai kezdenek vízzel telítődni, így emelkedik a folyadéktranszport és csökken a páratranszport útján történő nedvességvándorlás. A mérési eredmények a 2. táblázatban olvashatóak.

### • Szorpciós izoterma

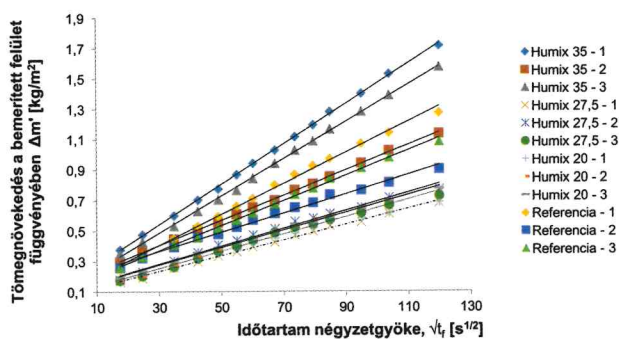
A betonminták szorpciós izotermái állandó hőmérsékleten értelmezendők, az adott hőmérsékletű és relatív nedvességtartalmú levegőbe helyezett próbatestek egyensúlyi nedvességtartalmát mutatják. A szorpciós képesség 97% relatív páratartalomig mérhető standard nyomáson levegőből történő nedvesítéssel, a szabadvíztartalmat pedig 28 napig történő vízbemerítéssel lehet meghatározni. Ezzel a méréssel a próbatest látszólagos porozitása is kiszámítható. Az anyagok ezen a határon túl is képesek nedvesség felvételére nyomás alatti telítés esetén, azonban a higroszkopikus tartományon túli izotermákat és a nedvességmegtartási képességet már csak nagynyomású (5–15–100 bar-os) exikátorok alkalmazásával lehetne mérni, melyek nem álltak rendelkezésünkre. Az acélszálerősítésű és referencia betonok szorpciós izotermáit a 4. ábra mutatja be.



4. ábra: Acélszálerősítésű és referencia betonminták szorpciós izotermái

### • Vízfelvétel részleges bemerítéssel

Az anyag részleges bemerítéssel történő vízfelvétele a próbatest tömegváltozásának mérésével határozható meg, ahol a vízbemerítés során a próbatest alsó felülete érintkezik a vízzel (1. ábra). A mérési eredményeket az 5. ábrán szemléltetjük.



5. ábra: Vízfelvétel részleges bemerítéssel mérésének eredményei

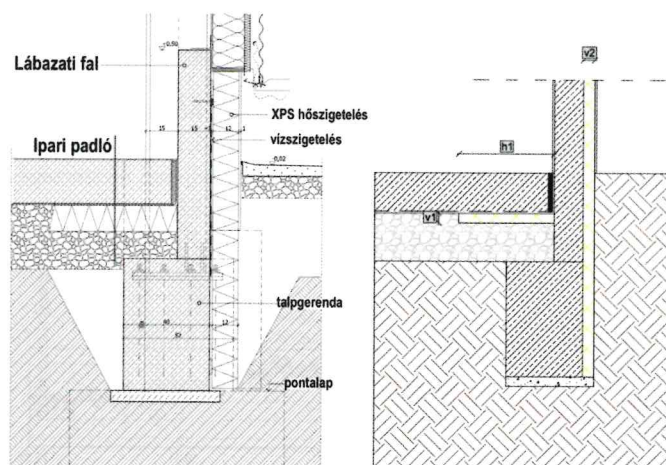
Minta neve	Páradiffúziós tényező, dry-cup, $\delta_{\text{dry}}$ [ $10^{-12}$ kg/msPa]	Páradiffúziós tényező, wet-cup, $\delta_{\text{wet}}$ [ $10^{-12}$ kg/msPa]	Páradiffúziós ellenállási szám, dry-cup, $\mu_{\text{dry}}$ [-]	Páradiffúziós ellenállási szám, wet-cup, $\mu_{\text{wet}}$ [-]
Humix 35	1,2569	2,0504	156,7	96,1
Humix 27,5	1,5328	2,3950	128,5	82,2
Humix 20	1,4127	2,3944	140,8	83,1
Referencia	1,2884	2,1121	153,2	93,6

2. táblázat: Acélszálerősítésű és etalon betonminták páradiffúziós képessége



## Lábazati 2D dinamikus higrotermikus szimulációk

Kutatásunkban egy acélszerkezetű ipari csarnok általános falszakaszon vett lábazat- és padlócsatlakozás kialakításának csomópontját vizsgáltuk WUFI 2D szoftverrel, melyben 3 változó geometriai paraméter volt. A 7. ábra alapján a lábazati falra 1–1 cm külső és belső vakolat került, „v2” vastagságú XPS lábazati hőszigetelés, illetve 15 cm vasbeton lábazati falszerkezetet vizsgáltunk. A padló esetében 20 cm vastagságú acélszálalósítású ipari padló, 1 réteg PE-fólia, „v1” vastagságú és „h1” szélességű XPS padlóhőszigetelés, illetve 25 cm kavicsfelöltés rétegrendet alkalmaztunk. A geometriai modell kialakítása során az MSZ EN ISO 10211:2008 szabvány [8] előírásait betartottuk.



7. ábra: Acél ipari csarnok általános falszakaszon vett lábazati kialakítása [9 alapján] – egyszerűsített háromparaméteres WUFI 2D szimulációs modell [10]

Ez alapján elkészültek a lehetséges geometriai változatok:

- hőszigetelés nélküli;
- csak padlóban alkalmazott hőszigetelés;
- csak lábazati falon alkalmazott hőszigetelés;
- lábazati falon és padlóban is alkalmazott hőszigetelés esetére.

A változatok kialakítása során az előbbieken említett 3 geometriai paraméter mellett az éghajlatot és a talaj típusát is változtattuk. A kutatás során vizsgáltuk a lábazati falon lévő hőszigetelés vastagságának, a padló hőszigetelés vastagságának és szélességének, illetve a peremfeltételek közül a klímadatok (Budapest, Lisszabon, Espoo) és a talaj típusának (homokos agyag, agyagos homok) hatásait a padló és a lábazati fal hővesztéseire nézve.

### • Modellelés és szimuláció

A szimuláció készítése során első lépésben meg kell adni a csomópont geometriai kialakítását, ezt a WUFI 2D szoftverben csak paraméteresen, téglalapokra bontva lehet definiálni. A háló generálását a program automatikusan elvégezte, ezt lehet manuálisan is sűríteni, de a szoftver által generált háló megfelelőnek bizonyult a szimulációk során.

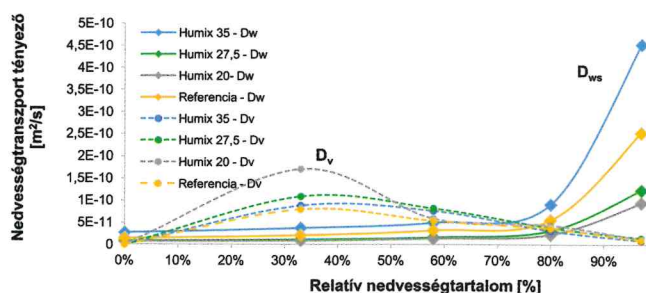
Következő lépésként az anyagtulajdonságok beállítására van szükség. Az ipari padló kivételével minden anyaghoz a szoftverbe beépített anyagok tulajdonságait használtuk, mindkét oldalra cementes vakolatréteg, 0,03 W/mK hővezetési tényezőjű XPS hőszigetelés, valamint homokos agyag vagy agyagos homok talajréteget



(forrás: www.consupt.com)

### • Nedvességtranszport tényező számítása

A nedvességtranszport tényezőt az előzőekben bemutatott mérési eredmények alapján számítással határozhatjuk meg. A számításokhoz szükségesek a szorpciós izotermák, a páradiffúziós egyenértékű szám és a vízvételi együttható ismerete. A „ $D_{ws}$ ” felszívási nedvességtranszport tényezőt akkor használjuk, amikor kapilláris vízmozgás van az anyagban, míg a „ $D_v$ ” tényezőt páramozgás esetén alkalmazzuk. A tényezőket a modellezett transzportfolyamatok típusától függően kell használni, a teljes tartományra pedig a közös burkológörbéjük használható. A higroszkopikus rendszer tartományában számított értékeket a relatív nedvességtartalom függvényében a 6. ábrán mutatjuk be.



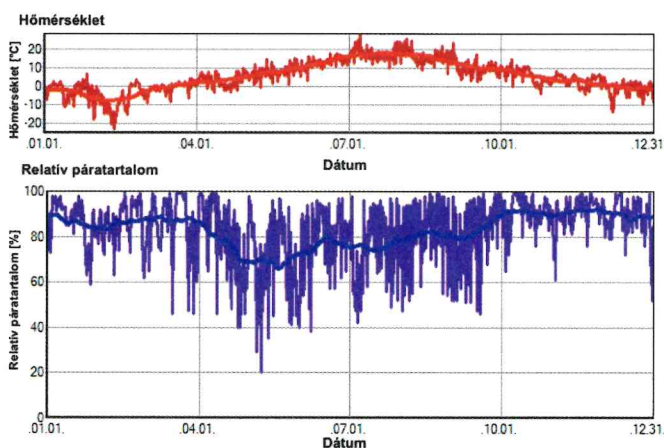
6. ábra: Nedvességtranszport tényezők a higroszkopikus rendszer tartományában



választottunk. Az ipari padló részletes anyagtulajdonságait az előzőleg ismertetett mérési eredmények alapján vittük be a rendszerbe, a lehetséges változatok közül a  $27,5 \text{ kg/m}^3$ -es szálerősítésű minták adatait felhasználva.

A peremfeltételeket minden határoló részre meg kell adni. Itt a klímaadatok kiválasztása a legfontosabb feladat, és a kezdeti hőmérséklet és nedvességtartalom értékeinek módosítására is van lehetőség. Külön be kell állítani azokat a részeket, melyek transzportfolyamatok által nem érintett szerkezeti határokat jelölnek (adiabatikus határfeltétel), és külön a talajjal, a külső és belső környezettel határos peremeket.

A szoftvernek részletes meteorológiai adatokra van szüksége, óránkénti bontásban: A WUFI programcsalád számos ország, város klímaadatait tartalmazza, ám lehetőség van más forrásból szerzett, vagy akár saját mért adatok átkonvertálására és megadására is. Az időjárásfájl tartalmazhat mért értékeket (pl. IBP – Fraunhofer Institute for Building Physics, azaz a szoftver fejlesztője által mért időjárásadatokat), mesterségesen előállított, de valóságos időjárás értékeket (pl. TRY – Test Year Reference – 12 hónap adata, amik közül mindegyik havi adat a leginkább jellemző, átlagos értékeket tartalmazza az elérhető mérések közül) vagy teljesen mesterséges adatokat. Az összehasonlítás céljából Budapest, Espoo és Lisszabon időjárása mellett vizsgáltuk a modelleket [11]. A Budapesti időjárás fájl egy részletét lásd a 8. ábrán.



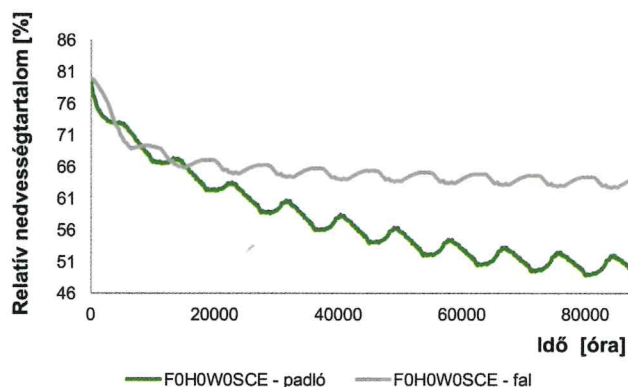
8. ábra: Peremfeltétel – Budapest időjárása

A belső hőmérsékleti adatokat az MSZ EN 15026:2007 szabvány [12] alapján vettük fel:  $10^\circ\text{C}$  külső hőmérsékletig  $20^\circ\text{C}$  belső hőmérséklet, felett pedig  $25^\circ\text{C}$ , normál nedvesgétherheléssel. Mivel a szimulációban alkalmazott, padló szerkezet alatti 10 méteres modellezett talajréteg alján a napi hőmérséklet-ingadozások figyelmen kívül hagyhatók, a szimuláció során konstans  $10^\circ\text{C}$ -nak feltételeztük a talaj hőmérsékletét, 80% relatív páratartalom mellett.

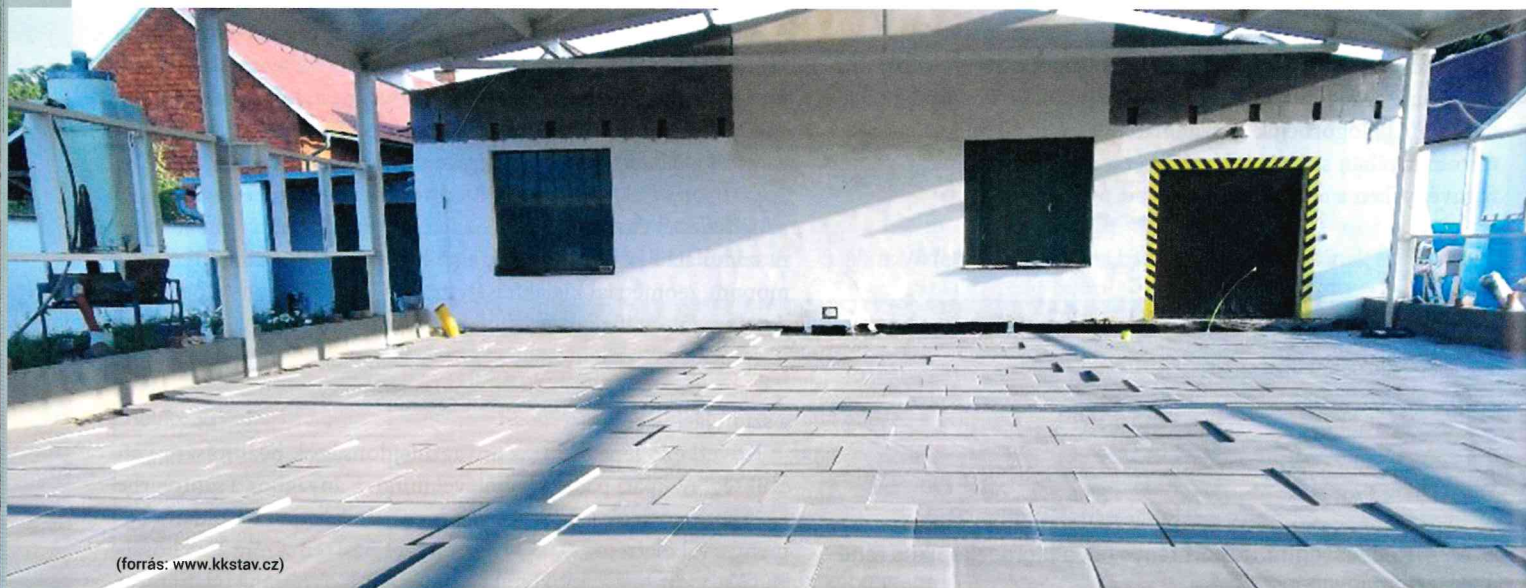
#### • Eredmények bemutatása

Az eredmények bemutatásakor az ábrákon az egyes modellek megkülönböztetésére alkalmazott jelölésrendszer a következő: F – padló alatti hőszigetelés vastagsága cm-ben, H – padló alatti hőszigetelő sáv szélessége cm-ben, W – lábazati fal melletti függőleges hőszigetelés vastagsága cm-ben, SC vagy LS – homokos agyag vagy agyagos homok talaj, B, L vagy E – Budapest, Lisszabon vagy Espoo klímaadatok.

Talajjal érintkező szerkezetek esetén a relatív nedvességtartalom kérdése rendkívül fontos. A 9. ábra egy 10 év időtartamú szimuláció eredményeit mutatja. Amennyiben a lábazati fal és padló kezdeti nedvességtartalmát 80%-ra állítjuk, úgy rendkívül hosszú futtatási idővel kell számolnunk, míg periodikusan ismétlődő eredményeket kapunk. Ha csak a szerkezeti kialakításokat szeretnénk összehasonlítani, akkor úgy lehetünk hatékonyak a futtatási időt tekintve, hogy a kezdeti nedvességtartalmat beállítjuk egy hosszabb szimuláció

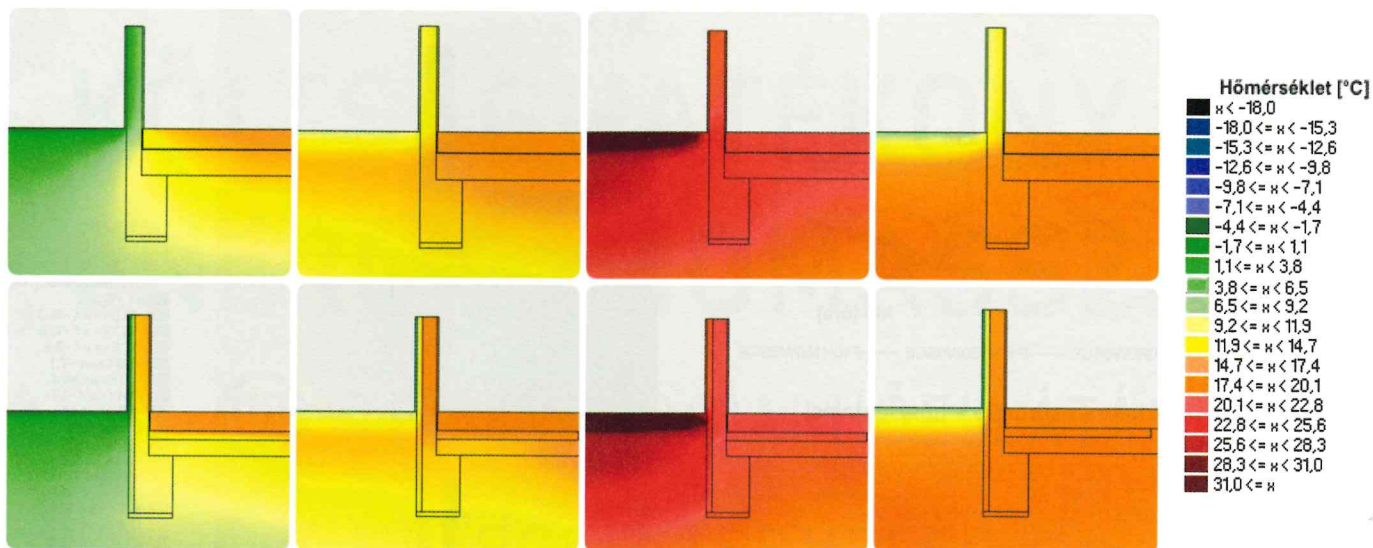


9. ábra: Relatív nedvességtartalom változása 10 éves szimuláció alatt hőszigetelés nélküli modell esetében 80%-os kezdeti relatív nedvességtartalom feltételezése esetén



(forrás: www.kkstav.cz)





10. ábra: Hőszigetelés nélküli (felső sor) és hőszigetelt (alsó sor) lábazati csomópont hőmérsékleteloszlása (balról jobbra: január 15. – április 15. – július 15. – október 15. napokon)

segítségével kapott periodikus eredményre, ez esetünkben a padlónál 50% a fal esetében pedig 63% körüli értéket jelentett.

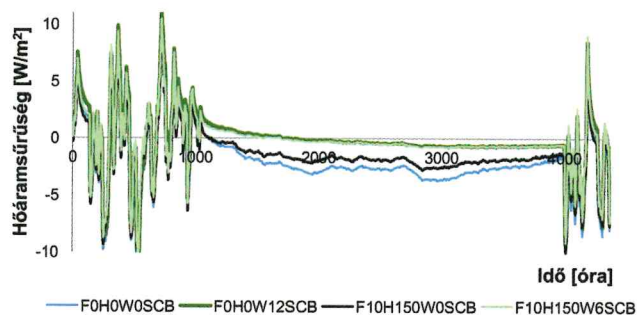
A szimulációk során a modelleket 3 éves futtatási időtartammal vizsgáltuk, ezek közül az utolsó év értékeit vettük figyelembe az eredmények értékelésénél. Hőszigetelés nélküli, illetve hőszigetelt lábazati csomópontok hőmérsékletét mutatja a 10. ábra a négy évszak egy-egy napján, melyen megfigyelhető a téli állapotban a lábazati fal, illetve talpgerenda melletti függőleges, valamint a padlószervezet alatti vízszintes hőszigetelés kedvező hatásai.

A 11. ábrán Budapest klímája és homokos agyagtalaj alkalmazásával készült szimulációk esetében láthatóak a padlón mért hőáramsűrűségek. Szembetűnő a lábazati hőszigetelés hatása, sokkal kisebb hőveszteségek (azaz kevésbé negatív értékű hőáramok) mérhetők a csak lábazon 12 cm XPS-sel hőszigetelt (sötétzöld) esetben, mint a csak padló alatt 1,5 m-es sávban elhelyezett 10 cm vastag hőszigetelt esetében (fekete).

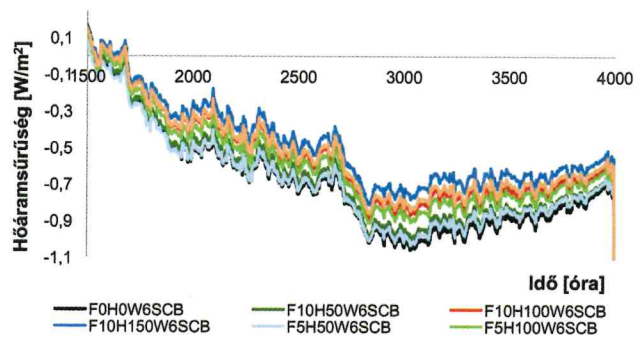
A 12. ábra eredményei alapján kijelenthető, hogy vastagabb a padló alatt vízszintesen elhelyezett hőszigetelés, kisebb szélességben (sötétzöld), kisebb mértékben csökkenti a negatív hőáramokat, mint vékonyabb szigetelés nagyobb szélességben (világoszöld). Megfigyelhető továbbá a teljes szerkezet hőszigetelésének (sötétkék) hatása a hőszigetelés nélküli (fekete) változathoz képest.

A 13. ábra alapján megállapítható, hogy kapcsolat van a különböző talajok és a hőveszteségek között, ám ennek hatása mérsékeltebb, ha hőszigetelt a szerkezetünk. Hőszigetelés nélküli esetben (fekete-kék)  $0,373 \text{ W/m}^2$ , hőszigetelt esetben (zöld-narancs) pedig  $0,168 \text{ W/m}^2$ , azaz több, mint kétszer akkora is lehet az eltérés az értékek között.

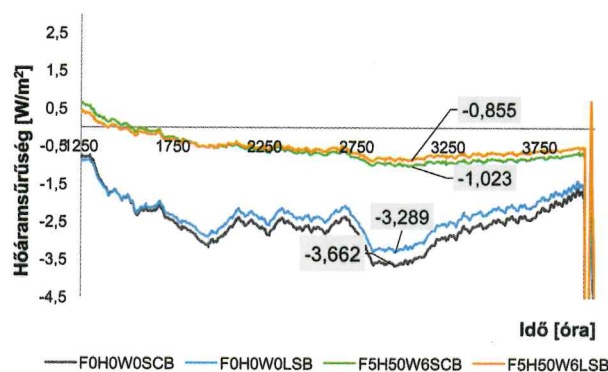
A 14. ábra alapján összehasonlíthatóak a különböző peremszigetelési megoldások. Az összes modellen olyan szimulációk láthatók, aminél homokos agyag talajt használtunk Espoo klímája mellett, a különbségeket a szigetelés helyzete és mérete adja. A jelölések alapján balról jobbra látható a hőszigetelés nélküli (fekete), csak lábazati falon hőszigetelt (zöld), csak padlón hőszigetelt (piros) és teljesen hőszigetelt (kék) esetek. A diagram alapján látható, hogy a lábazati fal előtt alkalmazott hőszigetelés sokkal hatékonyabb, mint a padlóban lévő hőszigetelés talajjal érintkező szerkezetek esetén.



11. ábra: Padló belső felületén mért hőáramsűrűség különböző szigetelési megoldásokkal

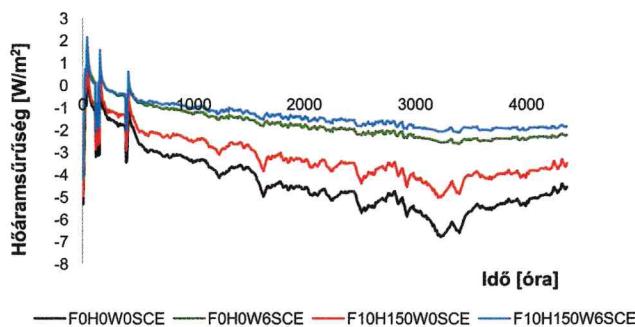


12. ábra: Padlón mért hőáramsűrűség különböző szigetelési megoldásokkal



13. ábra: Padlón mért hőáramsűrűség – talaj okozta különbségek





14. ábra: Padlón mért hőáramsűrűség – hőszigetelési megoldások

## Összegzés

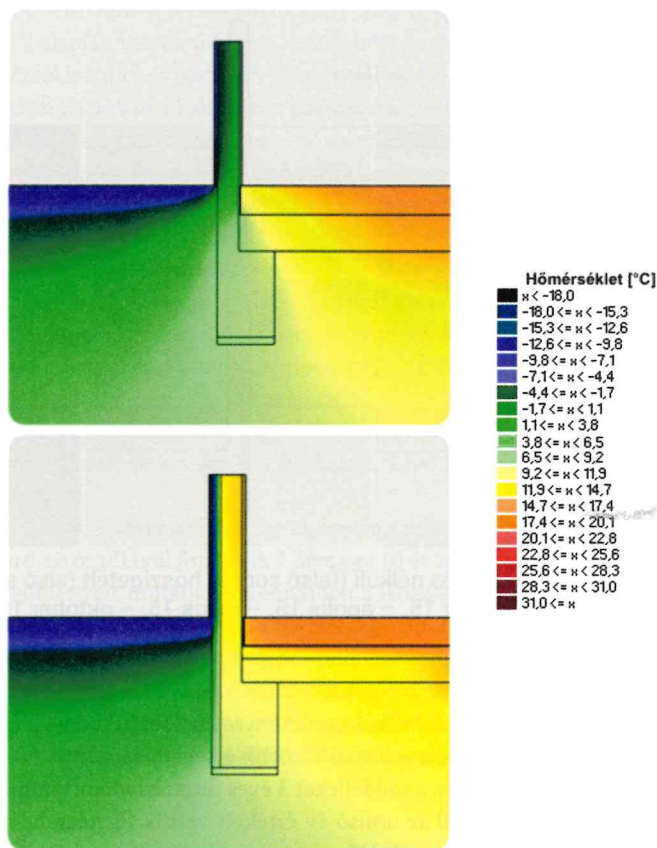
A cikkünkben bemutatott vizsgálatok jól mutatják, hogy a dinamikus épületenergetikai szimulációknak fontos szerepe lehet például új építésű épületek megfelelő hőszigetelésének tervezésében, felújítások esetén a megfelelő opció kiválasztásában. Ahhoz, hogy a szimulációk kellőképp pontosak legyenek, elengedhetetlen, hogy megfelelő klímaadatokkal és anyagtulajdonságokkal dolgozzunk, így sokszor hasznos lehet a folyamatot az anyagtulajdonságok mérésével kezdeni. Amennyiben ezeket a kulcsfontosságú tényezőket betartjuk, úgy ezek a szoftverek nagy megbízhatósággal, széles körben segíthetik az építész- és épületszerkezeti tervezők, valamint az épületenergetikus szakemberek munkáját.

## Irodalomjegyzék

- [1] Az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról szóló 176/2008. (VI. 30.) kormányrendelet
- [2] Az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet
- [3] Orosz M., Környezettudatos minősítő rendszerek Magyarországon, Műszaki Ellenőr IV. évf. 9. szám (2015) 33-36.



(forrás: www.xps-waermedaemmung.de)



Lábazati fal és talpgerenda melletti, valamint padló alatti hőszigetelés hatása télen

- [4] Nagy B., Szagri D., Tóth E., *Dinamikus hő- és nedvességtranszport szimulációk alapjai*, Megtérülő Épületenergetika IV. évf. 1. szám (2017) 33-39.
- [5] Nagy B., *Építőanyagok laboratóriumi vizsgálatai dinamikus épületfizikai hő- és páratechnikai számításokhoz*, Műszaki Ellenőr V. évf. 2. szám (2016) 34-39.
- [6] Nagy, B., Nehme, S.G., Szagri, D., *Thermal Properties and Modeling of Fiber Reinforced Concretes*, Energy Procedia 78 (2015) 2742-2747.
- [7] Nagy, B., Szagri, D., *Hygrothermal Properties of Steel Fiber Reinforced Concretes*, Applied Mechanics and Materials 824 (2016) 579-588
- [8] MSZ EN ISO 10211:2008 *Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások (ISO 10211:2007)*, Magyar Szabványügyi Testület
- [9] *Épületszerkezetan 5. – Acél csarnok határoló szerkezetei – R6 Lábazati kialakítás, falkazetta (általános falszakaszon felvéve)* 2017.2.22-3.1, BME Épületszerkezettani Tanszék (2017) link: <http://www.epszerk.bme.hu/docs.php?n=50746>
- [10] Nagy B., Szagri D. *Dynamic Heat and Moisture Transport Modeling of Industrial Floors on Different Climates*, Applied Mechanics and Materials 861 (2017) 271-278.
- [11] Nagy B., Pintér A., Tóth E., *Ásványgyapot hőszigetelésű fal-szerkezetek dinamikus környezetfüggő épületfizikai viselkedése*, Műszaki Ellenőr V. évf. 6. szám (2016) 30-35.
- [12] MSZ EN 15026:2007 *Épületszerkezetek és épületelemek hő- és nedvességtechnikai viselkedése. A nedvességvándorlás becslése numerikus szimulációval*, Magyar Szabványügyi Testület

Lektorált szakmai cikk.