



Megbízhatóság

A rendszer alapmegbízhatóságát az egyes elemek minősége, megbízhatósága és a szerelő személyzet képzettsége adja. Ne feledjük: a megbízhatóság ugyan fontos rendszerelem, a piacon pénz ér, eladható, de soha sem vásárolható meg úgy, mint egy késztermék. A megbízhatóságot mindig mi hozzuk létre, az anyagok megválasztásával, munkánkkal, szakértelmünkkel és odafigyelésünkkel.

Hasznos tanácsok

- Ne szállítsunk a magasba felesleges dolgokat, mert azt egyszer majd le kell hozni!
- A teheremelés – különösen nagy magasságokba – külön szakma!
- A tetőn többnyire igen meleg van! Nehéz kapaszkodni. A szerelést nehezíti a magasság és a napsütés. Amit lehet, szereljünk meg a földön!
- Mindig használjunk biztonsági kötele!
- Egy ember egyedül sose dolgozzon a tetőn! Baj esetén nincs segítség.

És végül egy tanács a beruházóknak: győződjenek meg alaposan a kivitelező cég és az alkalmazott anyagok kompetenciájáról. Kérjenek minősítéseket, referenciákat, garanciákat, ne elégedjenek meg a felületes magyarázatokkal.

A „Legyen Ön is napelemszerelő”- típusú hirdetések

Végső soron ez is egy jó tanács. Mára divatos szakma lett, tényleg azt mondhatjuk, boldog-boldogtalan ezzel akar foglalkozni. Valóban dinamikus fejlődő ágazat, de csak erős, alapos szakmai háttérrel szabad ezzel foglalkozni.

Az újabb vizsgálatok és elemzések (mintegy 500 nagy rendszer és mintegy 2 millió napelem vizsgálata, 2012–2015.) rámutattak arra az alattomosan rejtett, de nagy veszélyre, amit a rosszul, helytelenül kivitelezett rendszerek szaporodása jelent. A veszélyforrások több területen oszlanak meg: tűzveszély, balesetveszély, életveszélyes rendszerek, az ellátási biztonság veszélye stb.

A hazai villamos rendszer, az áramszolgáltatók, a rendszerirányítók és a lakossági szféra közös érdeke, hogy a napelemszerelőket ne gyorstalpalókon képezzék, hanem megfelelő szakmai tudáson és gyakorlaton alapuló képzéseken.

A napelemszerelés – bár tetőn végzett munka, de – alapvetően tetőfedő szakmai ismeretekkel nem végezhető, még pót-pót tanfolyamokkal sem. Bizonyos „szakmainak tűnő” szervezetek úgy hiszik, hogy a tetőfedő, bádogos, ács stb. szakmai végzettségre alapozva napelemszerelő szakmunkásokat lehet képezni. Ez a „hit” nagyon káros a napelemiparban, és helyette mielőbb tudásalapra kell helyezni! Ez sajnos alapvető tévedés és egyben a villamos szakma megcsúfolása, nem beszélve azokról a szaporodó hibalehetőségekről, amelyek idő előtti rendszer-tönkremenetelt, tüzeket okozhatnak.

A külföldi tapasztalatokon mielőbb okulva, a hazai villamos rendszert nem szabad kitenni ilyen felelőtlen magatartásnak. Ez ellen fel kell lépni minden szakmai fórumon. Ez alapvetően a villamos szakma egy különleges ágazata, veszélyes munka, melyet gyakorolni, tanulni kell!

A cikk, a korlátozott terjedelménél fogva nem tud minden részlettel kellő mélységben foglalkozni. A mélyebb szakmai ismeretek

megszerzésére oktatásunkon és tanfolyamainkon van lehetőség. (Az EDU Solar akkreditált napelemes tanfolyamai, és mesterkurzusai elsősorban villamos ipari tervezőknek, szakmunkásoknak, szakoktatóknak ajánlott. Előképzettség szükséges. Bejelentkezés a tanfolyamra info@eu-solar.hu; oktatás@eu-solar.hu címen, illetve a www.eu-solar.hu weboldalon.)

Összefoglalás, következtetések

A cikk bemutatja a napelemes rendszerek főbb, tipikus csoportjait és azok jellemzőit. Áttekinti és elemzi a főbb szerelési helyzeteket, bemutatja a megoldás részleteit. Konkrét tanácsokat és javaslatokat ad alapvető hibaforrások, elkerülésére, a baleseti helyzetek megelőzésére.

Továbbá nemzetközi tapasztalatokra hivatkozva, kitér a napelemes szerelő ipar jelenlegi minőségi kérdéseire, és arra is, hogy ezek a veszélyek az ipar és gazdaság mely területeit befolyásolhatják hátrányosan.

Irodalom

- [1] Véghely Tamás: *Napelemes rendszerek villamos berendezései*, Szakkönyv II., Cser Kiadó, 2014. szeptember
- [2] Véghely Tamás: *Napelemek és napelemrendszerek szerelése*, Szakkönyv I., Cser kiadó, 2012. december
- [3] Véghely Tamás: *Napenergia-hasznosító berendezések*, digitális egyetemi tananyag, 2014., <http://docplayer.hu/2890359-Napenergia-hasznosito-berendezesek-rendszerek-veghely-tamas.html>
- [4] Véghely Tamás: *A besugárzás* (kézirat, 2016.)
- [5] Solar Terminológia EU adatbázis <http://iate.europa.eu/SearchByQueryLoad.do;jsessionid=PuNxpCldgKjb0QCm5PhFQBCUISglzY2knzITmQDksWTCemgkXWAv!-551934622?method=load>
- [6] NEC based – Design and Installation Standards Installer Handbook 2014., 77. old (EDU Solar digitális szakmai tudásbázis)
- [7] MCS – Guide to the Installation of Photovoltaic Systems, 2012, ISBN 978-0-9574827-0-8; Hard copy Electrical Contractors Association (‘ECA’), (EDU Solar digitális szakmai tudásbázis)
- [8] Impacts on photovoltaic installations of changes to the 2012 international codes, Abcs 2012, 2012 International Building Code and 2012 International Residential Code for One- and Two - Family Dwellings, International Code Council, Inc., Washington, D.C. (EDU Solar digitális szakmai tudásbázis)
- [9] EDU-Solar képzések és szakmai tanfolyamok előadásai a magyarországi vezető áramszolgáltatók részére (2012–2016.) (szakmai vezető Véghely Tamás)
- [10] Draft environmental assessment of proposed installation and operation of photovoltaic (solar) systems, 2014, Columbia, Department of Veterans Affairs, Potomac 9801 Washingtonian Boulevard, Suite 350 Gaithersburg, Contract No. VA-701-Q-0032 (EDU Solar digitális szakmai tudásbázis)
- [11] Véghely Tamás – Főzer Tamás: *Napelemek és napelemes rendszerek viselkedése különféle árnyékhatások esetében*, Megtérülő Épületenergetika, 2016. január-februári szám, Fórum Média Kiadó Kft.

Lektorált szakmai cikk.

Dinamikus hő- és nedvességtranszport-szimulációk alapjai

Az épületek hőmérsékletének szabályozásán túl a nedvességtechnikai szabályozás mára szintén világszerte fontos témává vált, mivel az építési gyakorlat és az épületüzemeltetési szokások is megváltoztak az elmúlt évek során. A nagyobb energiamegtakarítás iránti igény jobban hőszigetelt szerkezetekhez vezetett, amelyek általában sokkal érzékenyebbek a nedvességgel kapcsolatos problémákra, mint a hagyományos, kevésbé vagy egyáltalán nem hőszigetelt épületek.

Jelen cikkünkben bemutatjuk a kapcsolt hő- és nedvességtranszport-dinamikus szimulációk elméletének alapjait, a szükséges bemenő adatokat, valamint a rendelkezésre álló megoldásokat, illetve azok szabványos és kísérleti igazolását.

Kulcsszavak: épületfizika, dinamikus szimuláció, hő- és nedvességvándorlás, épületszerkezetek

In this paper we present the principles of dynamic combined heat and moisture transport theory simulations, the required input data and the available solutions, as well as their standardized and experimental validations.

Keywords: building physics, dynamic simulation, heat and moisture transfer, building construction

Bevezetés

Az épületfelhasználói igények egy magasabb minőségű komfortot várnak el, melynek következtében a légkondicionáló berendezések száma nőtt az épületekben. Ám ha az épületet nem úgy tervezték, hogy megfeleljen ezeknek a magas szintű elvárásoknak, a használat során számos probléma merülhet fel (pl. penészesedés). A megfelelő hő- és nedvességtechnikai tervezés együttes előfeltétele az energiahatékony és károsodásmentes új építésű épületeknek, illetve a hagyományos épületek felújításának. Szerencsére már hazánkban is foglalkoznak kutatási és tervezési szinten is a hő- és nedvességtranszport együttes, kapcsolt viselkedésének vizsgálatával, mind az építőanyagok és építőelemek szintjén [1, 2, 3, 4], mind pedig az épületszerkezetek, illetve épületek szintjén [4, 5, 6, 7, 8].



Nagy Balázs

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



Szagri Dóra

okl. építőmérnök



Dr. Tóth Elek

okl. építőmérnök,
igazságügyi szakértő

A higrotermikus terhelések hő- és nedvességtranszport alapjai

Az épületszerkezetek esetén a vizsgálatok során a terheléseket az épületburok külső és belső oldalán vesszük fel. Általában a külső felületek hőmérséklete és relatív nedvességtartalma mutat nagyobb napi (ill. órai) ingadozást, viszont ezeknek a belső felületekre nézve csupán kis hatása van. A napsugárzás hatására a külső felület felmelegszik, mely elindítja a párávándorlást a külső felületekből. Napnyugtakor, amikor a rövidhullámú sugárzás megszűnik, a hosszuhullámú (infra) sugárzás a jól hőszigetelt falszerkezetek túlhűléséhez vezethet és a kicsapódott nedvesség a homlokzaton mutatkozik meg. Az épületburok nagymértékben ki van téve például a csapóesőnek, ez pedig nagyobb terhelést jelent, mint az előbb

említett kicsapódott nedvesség. A talajvíz szintén egy másik gyakori felszálló nedvességterhelés, ha az épület vízszigetelése nem megfelelő.

A belső tényezők jelentős higrotermikus terhelést jelentenek az épületnek, gyakran sokkal erősebbet, mint a külső terhelés. A belső körülményeket számos kereskedelmi és lakóépületben a használati szokásai befolyásolják; egy átlagos háztartásban akár 10 liternyi víz is elpárologhat naponta, ezt a nedvességet pedig el kell távolítani szellőztetéssel vagy légkondicionáló berendezéssel.

A másik fontos nedvességterhelés, amiről gyakran elfeledkezünk: a kezdeti építési nedvesség. Európában az épületek sokszor károsodnak az építési nedvesség vándorlásának okán, ugyanis a szoros szerződési határidők miatt nem marad elég idő, hogy az építőanyagok megfelelően kiszáradhassanak.

A legtöbb felületnek megvan az a tulajdonsága, hogy vízpára-molekulával érintkezve megfogja és megkösse a vízmolekulákat, azok poláris természete miatt. Ezt a folyamatot nevezzük adszorpciónak, az ilyen anyagokat pedig hidrofílnak. A legtöbb építőanyag ebbe a kategóriába tartozik, porózusak és nagy belső felülettel rendelkeznek. Például egy gipsztábla belső felülete 163 m²/kg, míg cementpép esetén ez az érték 16 385 m²/kg. Ahogyan a levegőben lévő vízmolekulák ezeknek az anyagoknak a belső falához (pórusfalhoz) adszorbeálódnak, úgy jelentősen nő az anyag víztartalma. Amikor az anyag az

összes nedvességet adszorbeálta, további nedvességet a pórusokban, az őket összekötő kapilláris csövekben, illetve az anyagon belüli repedésekben képes tárolni felszívással vagy abszorpcióval. A fa körülbelül 25–30% nedvességet képes a levegőben lévő párából adszorbeálni 98% relatív nedvességtartalom mellett, de a teljesen telített fa 2–4-szer ekkora vízmennyiséget is képes tárolni. Amikor az

anyag kapillárisai telítődtek, nem képes több nedvesség felvételére.

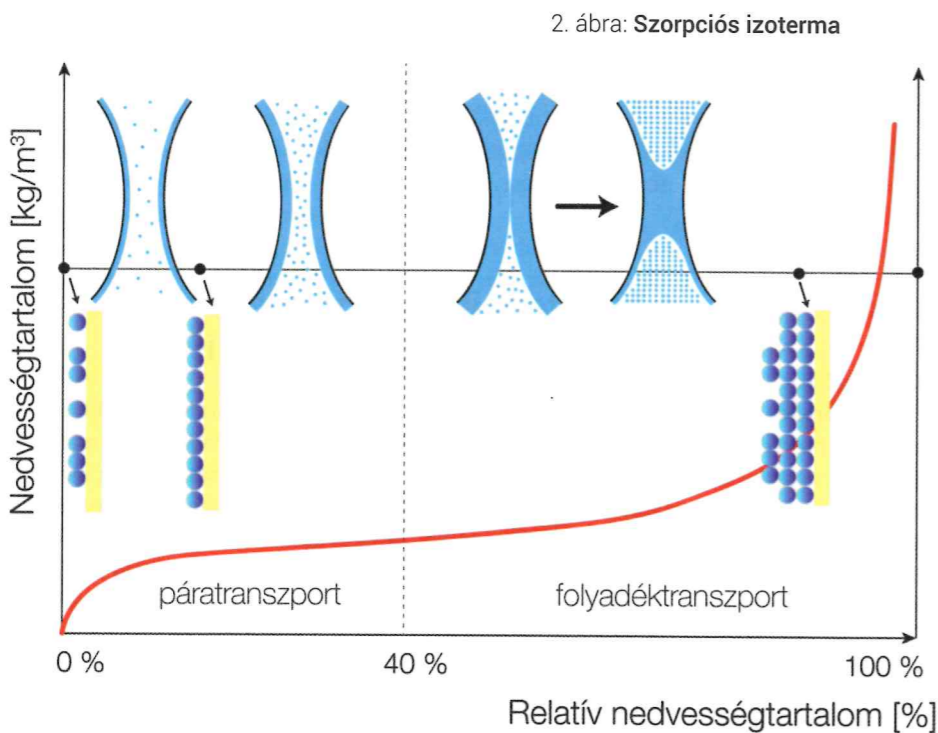
A nedvességtárolásnak két különböző rendszerét különböztetjük meg: a kapilláris és a szorpciós rendszert. A szorpciós rendszerben a vízpára a pórusfalhoz adszorbeál. Ahogyan a relatív nedvességtartalom emelkedik, több rétegben tapad hozzá a vízpára a pórusfalhoz – ahol az első néhány réteg kapcsolódik legerősebben. Később a rétegek oly mértékben megnőnek, hogy elkezdnek összekapcsolódni. Magasabb relatív nedvességtar-

talom mellett a nagyobb pórusok kivételével minden pórus vízzel töltött. A kapilláris rendszert önkényesen attól a ponttól jelöljük ki, ahol a nedvességtároló képesség átlépi a kritikus nedvességtartalmat. E felett már túltelített állapotról beszélünk, ahol a relatív nedvességtartalom mindig 100%, és nem tud több víz bejutni az anyagba külső erőbehatás nélkül (pl. légnyomás, gravitáció) [9].

Összességében a folyékony víz adszorpciója a kapilláris pórusokba, míg a jelentős mennyiségű vízpára adszorpciója a pórusfalak felületére történik.



1. ábra: Határoló falszerkezetet érő hő- és nedvességátadások



2. ábra: Szorpciós izoterma

Kapilláris rendszer:
felszívással történő vízfelvétel lecsapódott vízből, beépített nedvességből

Szorpciós/Higroszkópos rendszer:
levegőből történő nedvességfelvétel

Kapcsolt hő- és nedvességtranszport-folyamatok dinamikus szimulációja

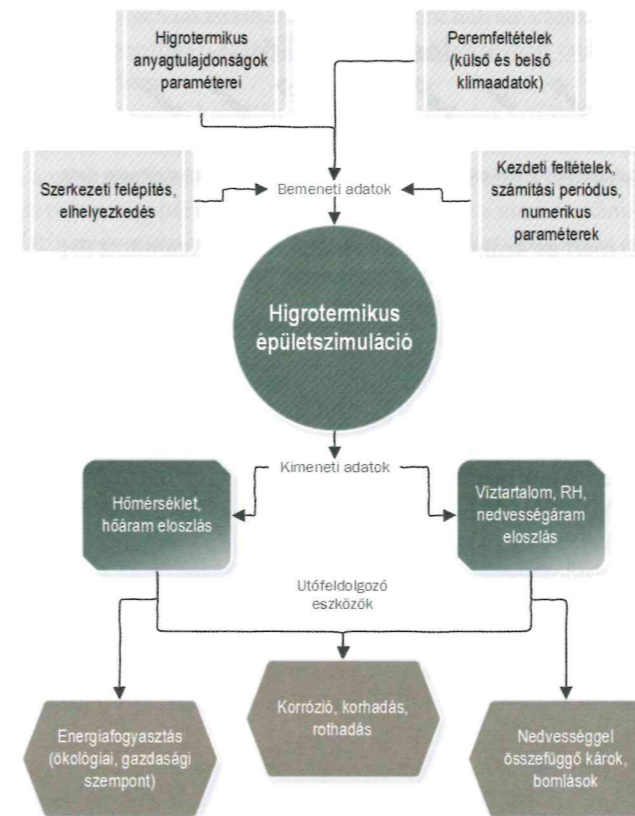
Az építőiparban vagy akár az örökségvédelmi területeken egyre nagyobb igény van olyan számítási módszerekre, amik „megjósolják” az épületek hosszútávú hő- és nedvességtechnikai viselkedését. Ezek a kérdések elsősorban kísérletek, illetve numerikus számítások útján válaszolhatók meg. Figyelembe véve, hogy a kísérletek rengeteg időt emésztenek fel, és általában költségesek, az utóbbi években egyre több fejlesztés valósult meg a hő- és nedvességtranszport folyamatok kutatása területén, számos olyan eszköz elérhető, amelyek megbízható eredményt szolgáltatnak, amennyiben megfelelnek bizonyos feltételeknek, és tartalmazzák a következő transzport, valamint tárolási jelenségeket:

- száraz építőanyag és tartalmazott nedvesség hőátvitelének;
- hővezetés általi hőtranszport, nedvességfüggő hővezetési tényezővel;
- páradiffúzió általi látns hőtranszport fázisváltozással;
- nedvességtárolás (kapilláris erők, vízpára szorpció);
- diffúzió általi páratranszport;
- folyadéktranszport felületi diffúzió és kapilláris felszívás útján.

Ezen higrotermikus jelenségek használatára példa a következő két differenciálegyenlet, amelyre a WUFI-modell (Wärme Und Feuchte Instationär) is épül [10, 11]:

$$\frac{\partial H}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + h_v \nabla \cdot (\delta_p \nabla (\varphi p_{sat})) \quad (1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla \cdot (D_\varphi \nabla \varphi + \delta_p \nabla (\varphi p_{sat})) \quad (2)$$



3. ábra: Higrotermikus szimulációk folyamatábrája

Az első egyenlet a hőtranszport, míg a második a nedvességtranszport folyamatokat írja le, ahol a relatív páratartalom, t az idő, T a hőmérséklet, w a nedvességtartalom, P_{sat} a telítési párányomás, λ a hővezetési tényező, H az entalpia, D_φ a nedvességtranszport tényező, δ_p a páradiffúziós tényező, h_v a látenshő. A nedvességtranszport egyenletében a jobb oldalon lévő szállítási feltételek a folyadék- és páratranszport különbségével írhatók le. Amíg a párányomás ($p_v = \varphi \cdot p_{sat}$) erősen függ a hőmérséklettől $p_{sat} \sim \exp(T)$, addig a folyadékáramlás kapilláris erők által a relatív páratartalomhoz kapcsolt jelenség, és csekély hőmérséklet-összefüggést mutat.

A szimuláció során első bemeneti paraméterként szükségünk van az épületszerkezet felépítésére és elhelyezkedésére, valamint a minden szerkezeti réteget alkotó anyag tulajdonságára, melynek tartalmaznia kell a következőket [12]:

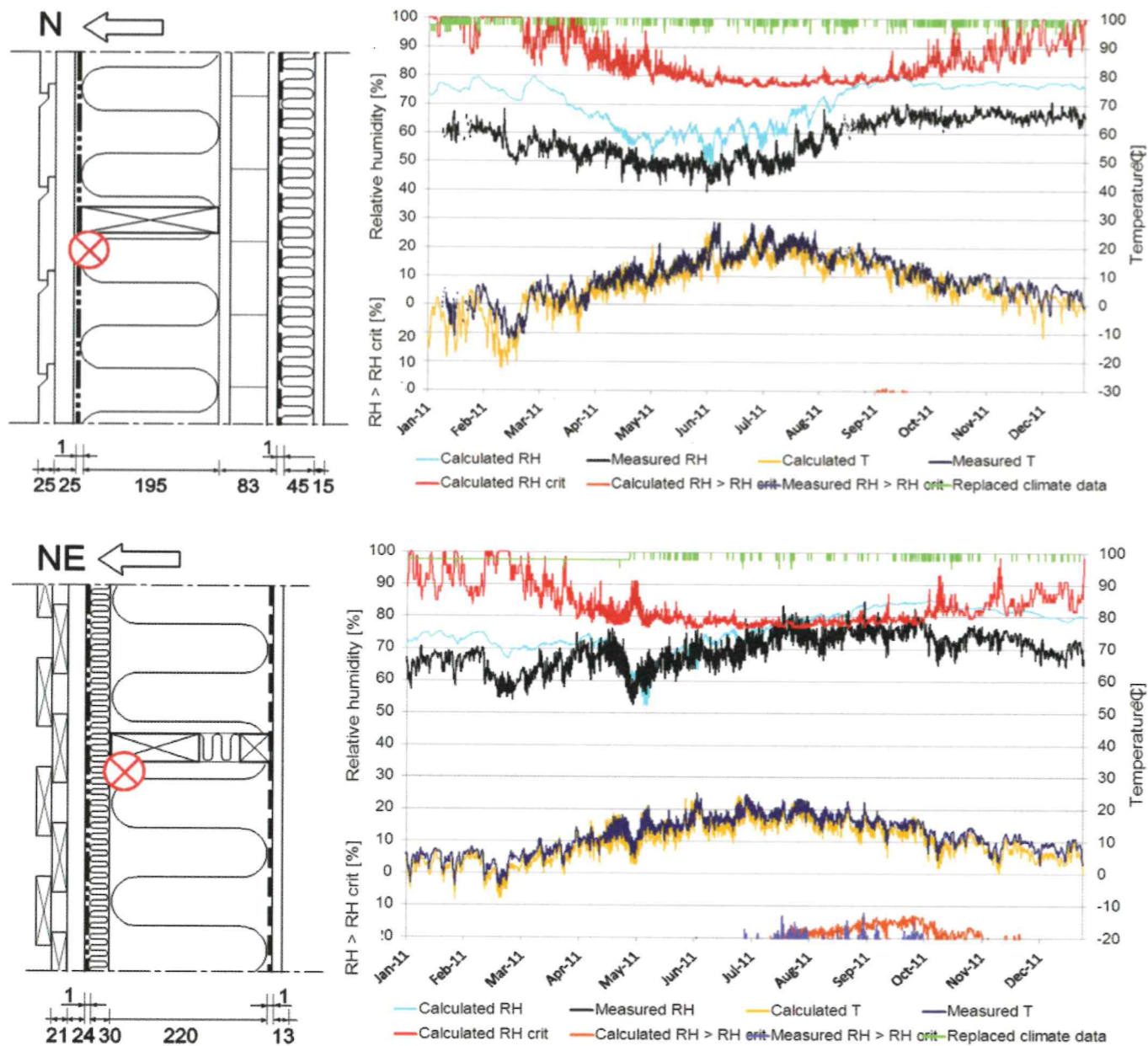
- testsűrűség [kg/m³],
- hőkapacitás [J/kgK],
- hővezetési tényező és annak hőmérséklet- és nedvességfüggése [W/mK],
- porozitás [m³/m³],
- nedvességtároló képesség [kg/m³],
- páradiffúziós ellenállási szám [-],
- nedvességtranszport tényező [m²/s].

Miután minden építőanyag anyagtulajdonságai beállításra kerültek, úgy a peremfeltételeket is szükséges megadni. A valósághoz minél közelebbi eredmény érdekében a következő klímamutatókat szükséges biztosítani:

- a külső levegő hőmérséklete és páratartalma,
- rövidhullámú sugárzás,
- hosszuhullámú sugárzás,
- csapadékterhelés,
- szélesség és szélirány,
- a belső levegő hőmérséklete és páratartalma.

Az elemzés céljától függően kivételes évek klímadatai (MSZ EN 15026:2007) sokkal inkább alkalmasak lehetnek, mint az átlagos meteorológiai adatok használata (Test Reference Year), amit általában alkalmazunk az energetikai számítások során. Mivel a belső klíma kisebb ingadozást mutat, napi vagy akár havi átlagérték is megfelelő a legtöbb alkalmazásban. Az utolsó bemeneti paraméter tartalmazza a kezdeti feltételeket és számítási paramétereket (időtartam, numerikus pontosság stb.). Mivel az építőelemek hőmérséklet-eloszlása általában nagyon gyorsan alkalmazkodik a peremfeltételekhez, ezért megfelelő beállítani egy, a várt átlagértékhez közeli hőmérsékletet. Ezzel szemben a nedvességtranszport-folyamatok viszonylag lassúak, így egy valós eloszlás felvétele fontos a megfelelő szimulációs eredmények érdekében. Ha jelen van építési nedvesség, úgy azt mindenképpen fel kell vennünk. A kezdetben száraz építőanyagok esetén általános gyakorlatként a 80% RH-n felvett egyensúlyi nedvességtartalmat szokás felvenni bemenő paraméterként.

Az eredményeknek két kimeneti blokkja van, ami tartalmazza a hő- és nedvességáramokat, illetve a hőmérséklet, relatív nedvességtartalom, víztartalom tranziens keresztmetszeti eloszlását. Ezt gyakorta az eredmények lépésenkénti megjelenítésével, „filmszerűen” láthatjuk. Az eredmények vizsgálata előtt ellenőrizni kell azok megbízhatóságát, kiszűrni az esetleges következetlenségeket. Ez azt jelenti, hogy az összes bemeneti és kimeneti adatot ellenőrizni kell, ha lehetőség van, akkor az eredményeket arra



4. ábra: Eltérő kialakítású falszerkezetek külső részén a jelölt pontokban mért és számított RH és hőmérséklet. Számított RH (türkiz) és mért RH (fekete). Számított hőmérséklet (sárga) és mért hőmérséklet (sötétkék). A számított hőmérséklet alapján meghatározott RHcrit (piros). Számított RH > RHcrit (narancs) és mért RH > RHcrit (lila) [forrás: 13]

alkalmas kísérleti eredményekkel össze kell vetni. Ha az eredmények nem megfelelőek, akkor újra meg kell ismételni a szimulációt más numerikus hálószerkezettel, más időlépéssel vagy bemeneti adatokkal.

A folyamatára utolsó részén látható utófeldolgozást segítő eszközök, amelyek nagyban elősegítik az eredmények jobb értékelését, például a higrotermikus szimuláció mint bemeneti adat eredményeit felhasználva. Így értékelhető lenne többek között a korrózió kockázata, a penészesedés és az energiafogyasztás. Jelenleg kevés ilyen kísérlettel is validált eszköz érhető el, a jövőben viszont várható az ilyen eszközök fejlesztése és megjelenése.

Modellek validálása

A higrotermikus szimulációs modellek megbízhatóságát ellenőrizni kell – ez több módon is történhet. Annak érdekében, hogy a modell

ne tartalmazzon olyan hibát, amely a bizonytalan bemeneti adatokból, teszteredményekből fakad, három szigorú lépést kell teljesíteni. Első lépésként bizonyítani kell, hogy a modell az alapvető fizikai elveknek megfelel, analitikus megoldással kell összehasonlítani (MSZ EN 15026:2007 - „A” függelék). Második lépésként az eredményeket össze kell hasonlítani jól definiált peremfeltételek és anyagtulajdonságok mellett végzett laborvizsgálatokkal. A harmadik lépésnél járunk legközelebb a valósághoz: olyan szimulációt kell készíteni, amely természetes klímának kitett épületburok szimulációját tartalmazza. A kísérletek során minden fontos paramétert dokumentálni kell. Ha ezek megfelelően egyeznek, úgy a modellt sikeresen validáltuk.

Ez nem jelenti azt, hogy a modell minden épülettípus és peremfeltétel mellett kellően pontos adatokat szolgáltat, de az eredmények várhatóan közel lesznek a valósághoz, ha az épületszerkezet- és klímaadatok hasonlóak a validált esethez.

Egydimenziós szimuláció validálása

S. Olof Mundt-Petersen és Lars-Erik Harderup kutatásában [13] az egydimenziós transziens hő- és nedvességszámítások validálását végezte WUFI Pro szoftverrel. Az egész projekt célja az volt, hogy ellenőrizzék azokat a higrotermikus eszközöket, amiket a tervezési fázisban használnak azzal a céllal, hogy elkerüljék a penészesedést, illetve a nedvességgel összefüggő károkat. Fő céljuk a mért és számított hőmérséklet, valamint a relatív páratartalom meghatározása volt. A szimulációkat a mérési eredmények ismerete nélkül, „vakon” készítették. A hőmérséklet és a relatív páratartalom méréséhez szükséges szenzorokat az épülő fal különböző helyein, változó mélységben helyezték el. Ezeknek a pozícióját rajzokkal és fényképekkel dokumentálták. A mért adatokat óránként rögzítették, majd a 3 éves periódus végén, a mérések után elkészítették a szimulációs modelleket, melyek a készült dokumentáció alapján kerültek kialakításra. Mivel a szimuláció 1 dimenziós, így például a gerendák, párkányok hatását nem vették bele a modellbe. 2012-ben a számítások elkészültek a 2008-2011-es időszakra a mérési eredmények ismerete nélkül. Ezeknél a belső és külső időjárási, hőmérsékleti peremfeltételeket mérésekből, továbbá egy közeli éghajlati állomás adataiból nyerték.

Ez a „vak” validációs eljárás megbízható, hiszen a számított eredmények akaratlanul vagy véletlen igazítása – hogy a mért eredményekhez jobban illő összefüggést kapjunk – lehetetlen. További előnye is van, mégpedig az, hogy a „vak” szimulációk jobban hasonlítanak ahhoz a helyzethez, amivel a tervező szembesül, még mielőtt a ház megépülne. Fontos információkat szolgáltatnak arról, hogy a felhasználó hogyan viszonyul a programhoz. Nagy számú hibás számítás készül a pontatlan modellek és helytelen peremfeltételek – mint például a nem valóságos klímaadat és a hibás anyagtulajdonság – miatt. Az ilyen hibák elkerülhetők lennének jobb alapértelmezett értékek, könnyebben érthető kézikönyvek vagy szigorúbb határértékek használatával.

A méréseket 5 faszerkezetű ház különböző helyein végezték (összesen 85 pontban), amelyek 4 különböző városban találhatóak Svédországban.

A mért és vakon kalkulált relatív páratartalmak értékei sok esetben a mért és számított hőmérséklet közötti különbségből erednek, pl. a páratartalmuk azonos, ám a különböző hőmérsékleti értékek más telítettségi páratartalmat adnak. Ez okozza a mért és számított relatív nedvességtartalom közötti különbségeket. Ez a hatás csaknem minden tanulmányozott esetben jelen van. Mint a 4. ábrán

látható, a magasabb mért hőmérséklet alacsonyabb relatív páratartalmat eredményez.

A kutatás eredményeként elmondható, hogy a 85 összehasonlítás közül a legtöbb olyan jó korrelációt mutat, mint az itt bemutatott diagramok, tehát megfelelően használhatók az eredmények, például ebben az esetben a penészképződés előrejelzésére.

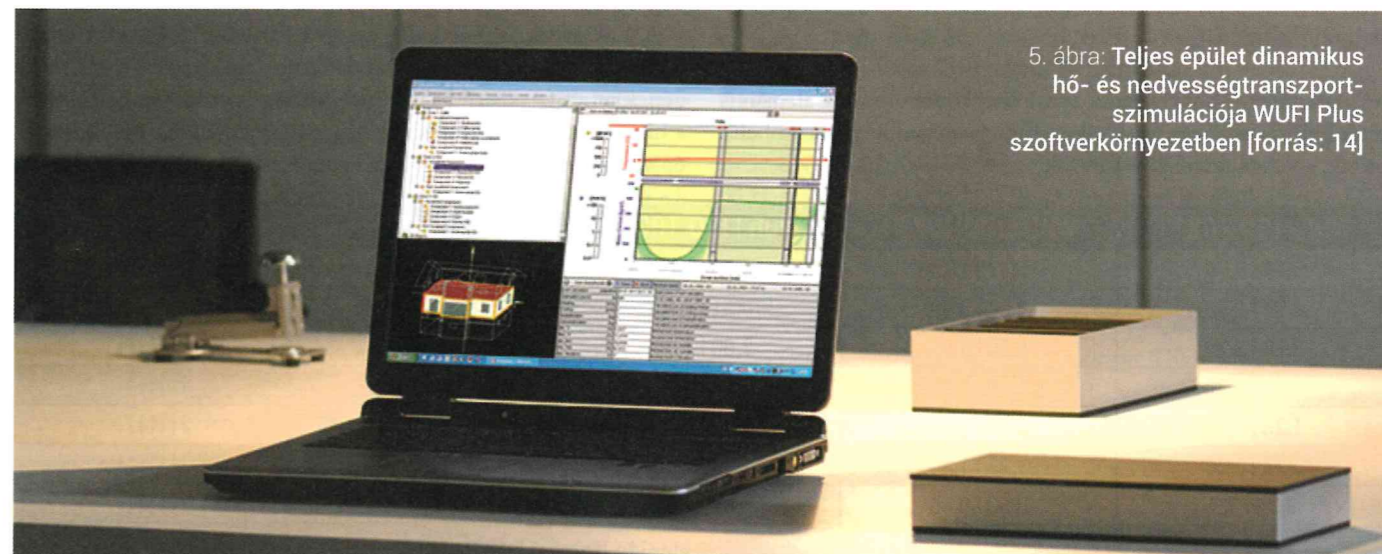
Többdimenziós és teljes épületszimulációk

Az előbbiekben is említett szoftvernek létezik egy többdimenziós szimulációt is tartalmazó, teljes épületmodellezésre alkalmas változata is. A WUFI Plus szoftvert [14] azzal a céllal tervezték, hogy megbízható, könnyen kezelhető eszközt adjanak az építészek és a mérnökök kezébe. Lehetőséget adjon épületek hőtechnikai, energetikai és nedvességtechnikai szimulációjához valóságos klímaadatok felhasználása mellett.

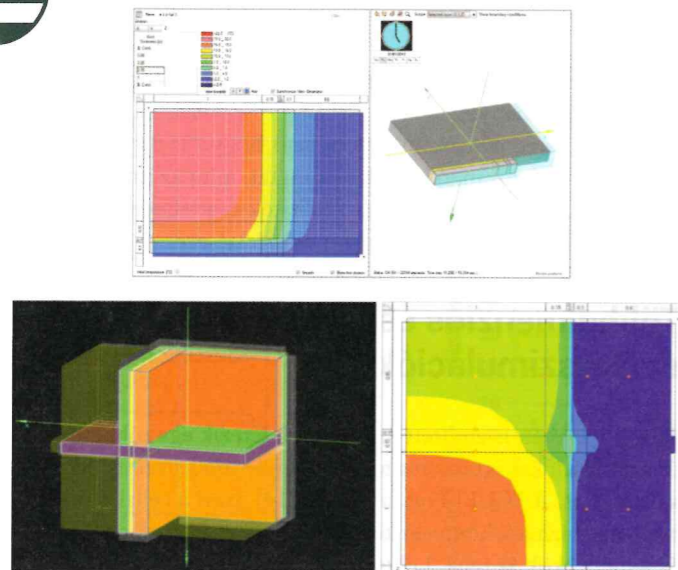
A szoftver a többzónás szoftverek közé tartozik, ami azt jelenti a gyakorlatban, hogy csoportosíthatók azok a helyiségek, ahol azonos belső klímát szeretnénk létrehozni, vagy azonosak a belső terhelések. A zónák biztosítják a komponensek peremfeltételeit. A zóna peremén adott időben átmenő hő- és nedvességáramoktól függően a belső klíma iteratíván szimulálható.

A napsugárzást nemcsak a külső felületek nyelik el, hanem egy részük az átlátszó komponenseken is áthalad, közvetlenül melegítve a belső levegőt és a belső felületeket. A belső hő- és nedvességforrások, az emberek és a világítás is beleszámítanak az egyensúlyi egyenletekbe. Nem utolsósorban a természetes és mesterséges, illetve interzonális (zónák közötti) szellőzés is befolyásolja a szimulált belső klímát.

A 3D-s objektumok (csomópontok) kalkulációjához a szoftver a véges térfogatok módszerét alkalmazza. A 3D-s elemek hozzáadása x,y,z koordináták segítségével történik, vagy kétdimenzióban, külön a szerkezet hosszának feltüntetésével. Kiválaszthatók az anyagok a program adatbázisa alapján, de lehetőség van saját anyagok hozzáadására is. A korábban már definiált peremfeltételek pedig kiválaszthatók minden csomópont esetében. A hálógenerálást a program automatikusan elvégzi, a felhasználó kiválaszthatja a háló méretét (finom, közepes, durva). A szimuláció alatt a 3D-s objektum hőmérsékleteloszlása nyomon követhető minden keresztmetszetben, lásd 6. ábra.



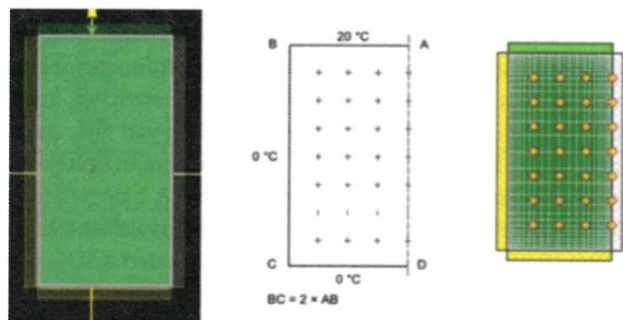
5. ábra: Teljes épület dinamikus hő- és nedvességtranszport-szimulációja WUFI Plus szoftverkörnyezetben [forrás: 14]



6. ábra: WUFI Plus 3D objektumok hőmérsékleteloszlásának szimulációja [forrás: 14]

A szoftverbe implementált modellek validálása az MSZ EN ISO 10211 szabvány alapján történt. A szabvány „A” függeléke két két-dimenziós és két háromdimenziós referenciaesetet is tartalmaz, melyek alkalmasak szimulációs modellek validációjához. A modell akkor pontos, ha a szimulációs eredmények a megadott megoldásoktól csak bizonyos mértékig térnek el.

A 7. ábra a szabvány első esetét ábrázolja, egy négyzetes oszlop felét, aminek ismerjük a felületi hőmérsékleteit, így analitikus megoldása lehetséges. Az 1. táblázatban olvasható eredmények alapján minden érték a megadott határon (0,1 K) belül van, a szimuláció tehát megfelelő kiindulási adatok és peremfeltételek esetén jól közelíti a valóságot.

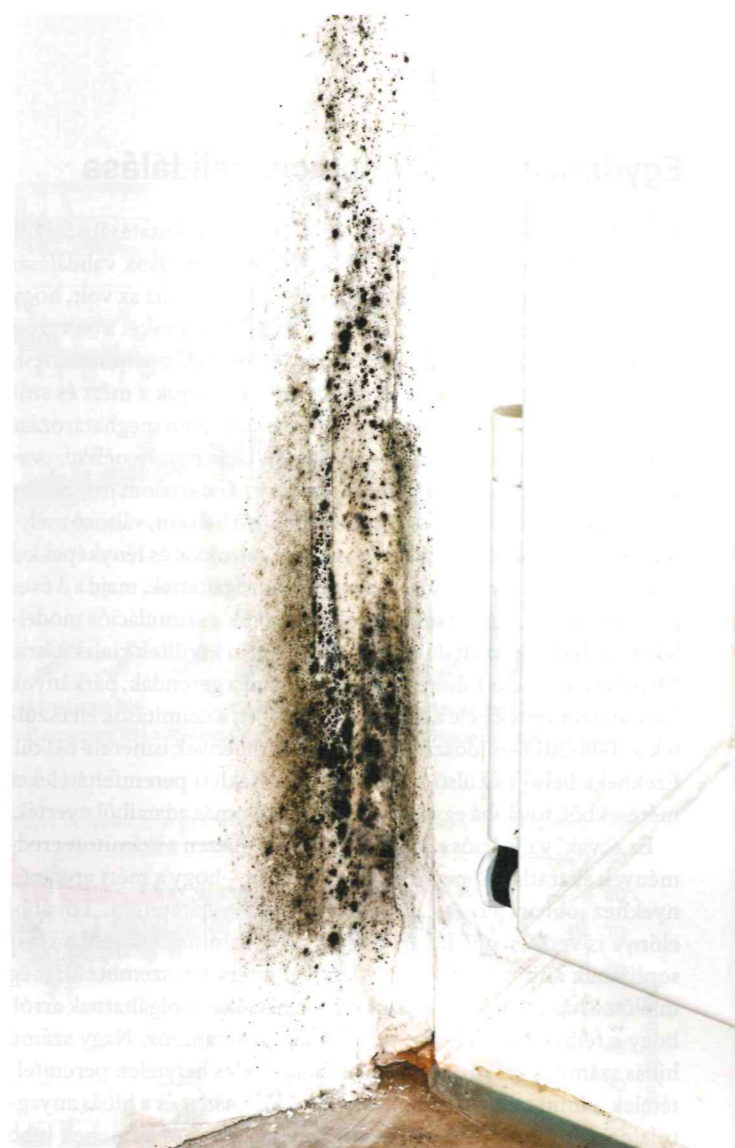


7. ábra: WUFI Plus validálása MSZ EN ISO 10211 szabvány alapján [forrás: 14]

A kutatás további részében a szabvány többi modellje alapján is készültek számítások, amelyek szintén a megadott határon belül voltak, a validációs eljárás sikerült.

| Wufi ISO 10211 | Wufi ISO 10211 | Wufi ISO 10211 | Wufi ISO 10211 | Egyezés |
|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|
| 9,67 9,70 | 13,37 13,40 | 14,73 14,70 | 15,08 15,10 | |
| 5,27 5,30 | 8,64 8,60 | 10,31 10,30 | 10,81 10,80 | |
| 3,19 3,20 | 5,60 5,60 | 7,00 7,00 | 7,45 7,50 | |
| 2,03 2,00 | 3,66 3,60 | 4,67 4,70 | 5,00 5,00 | |
| 1,26 1,30 | 2,31 2,30 | 2,98 3,00 | 3,21 3,20 | |
| 0,74 0,80 | 1,36 1,40 | 1,77 1,80 | 1,91 1,90 | |
| 0,34 0,3 | 0,63 0,60 | 0,82 0,80 | 0,89 0,90 | |

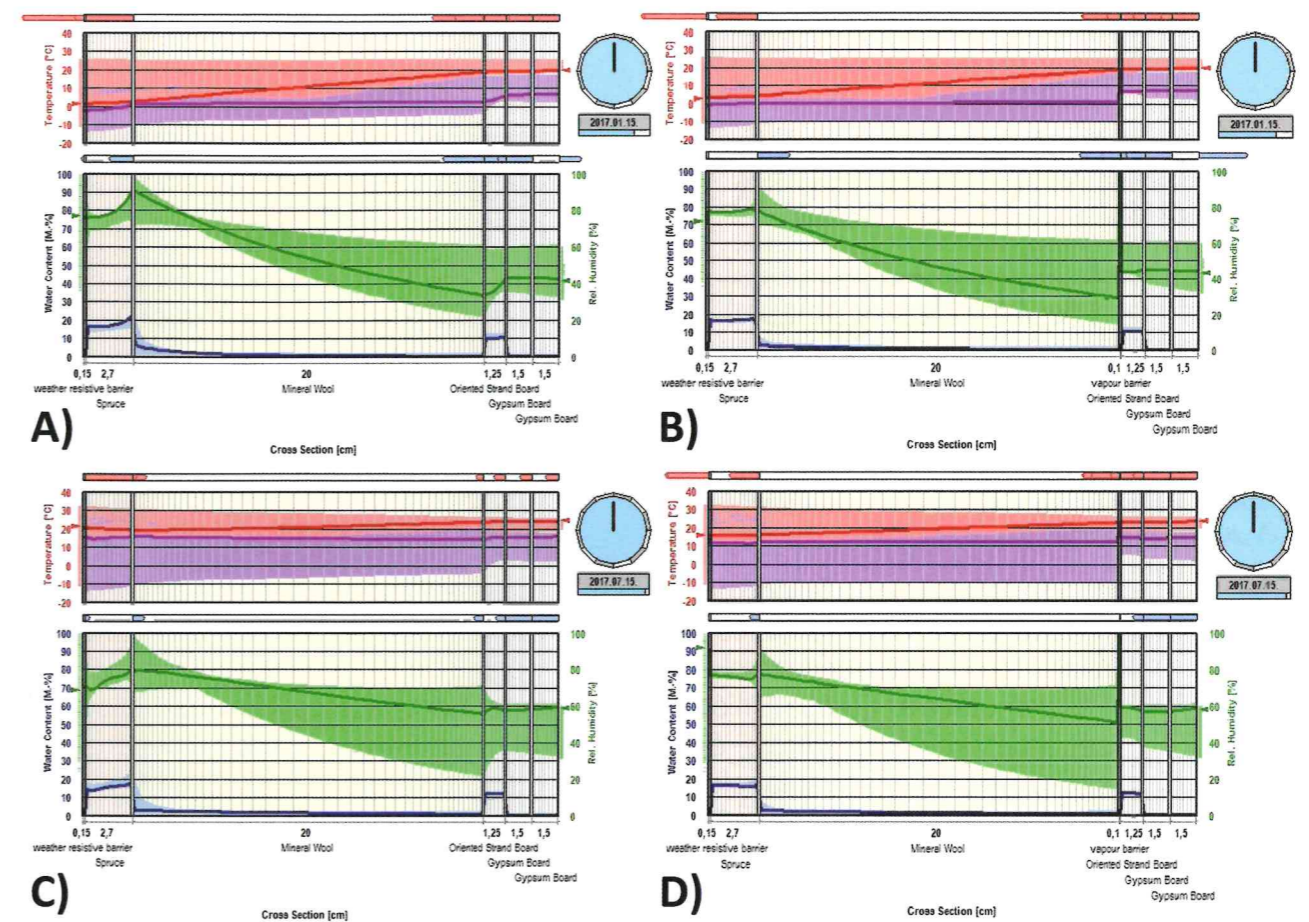
1. táblázat: WUFI Plus validálása az MSZ EN ISO 10211 szabvány alapján [forrás: 14]



Dinamikus modellezés jövője

A szoftverek fejlődésével kapcsolatban három fő irány figyelhető meg: fontos, hogy az egyes szerkezeti elemek higrotermikus modellezését integráljuk egy egész épület szimulációs rendszerébe. Másik párhuzamos irány lenne a kémiai reakciók, az öregedés, a sótranszport-folyamatok bevezetése és integrálása a modellbe. Léteznek már ugyan olyan modellek, melyek képesek kapcsolt só- és nedvességtranszport modellezésére, de ezek egy sora korlátozottan nagyon egyszerűsített peremfeltételek mellett.

A harmadik irány pedig az elő- és utófeldolgozást segítő eszközök megjelenése. Az egyre jobb teljesítményű számítógépekkel és egyszerű grafikus felületű programok segítségével a higrotermikus számítások elvégzése egyre általánosabb lesz az építőipar területén.



8. ábra: Tetőrétegrend dinamikus szimulációs vizsgálata, a belső oldali párazáró fólia elhagyásának hatása a külső oldali rétegek nedvességtartalmára:

- A) Belső oldali párazáró fólia nélkül, télen. Megfigyelhető a külső oldal felőli magas és kritikus relatív nedvességtartalom az ásványgyapot rétegben.
- B) Belső oldali párazáró fóliával kialakított rétegrend, télen.
- C) Belső oldali párazáró fólia nélkül, nyáron. Megfigyelhető a télen felgyülemlett nedvesség száradása.
- D) Belső oldali párazáró fóliával kialakított rétegrend, nyáron.

Irodalomjegyzék

- [1] Bozsaky Dávid, Molnár Viktor (2013): *A kukoricaszár blokk hidrotechnikai és mechanikai vizsgálatai*, MAGYAR ÉPÍTŐIPAR 63. évf. 4.szám, 162-165. oldal
- [2] Csanaky Judit Emília (2014): *Természetes anyagok laboratóriumi vizsgálata és minősítése*, MAGYAR ÉPÍTŐIPAR 64. évf. 5. szám, 187-190. oldal
- [3] Nagy Balázs (2016): *Építőanyagok laboratóriumi vizsgálatai dinamikus épületfizikai hő- és páratechnikai számításokhoz*, MŰSZAKI ELLENŐR V. évf. 2. szám, 34-39. oldal
- [4] Nagy Balázs (2016): *Hőszigeteléssel töltött falazóblokkok laborvizsgálatokkal támogatott komplex modellezése*, MEGTÉRÜLŐ ÉPÜLETENERGETIKA III. évf. 3. szám, 22-26. oldal
- [5] Dobszay Gergely, Bakonyi Dániel (2016): *Vékonyvakolatoss hőszigetelő vakolatrendszerek páratechnikai viselkedése*, MAGYAR ÉPÍTÉSTECHNIKA 2016/4. szám, 12-15. oldal
- [6] Nagy Balázs, Pintér Anna, Dr. Tóth Elek (2016): *Ásványgyapot hőszigetelésű falszerkezetek dinamikus környezetfüggő épületfizikai viselkedése*, MŰSZAKI ELLENŐR V. évf. 6. szám, 30-35. oldal
- [7] V Horn Valéria, Dudás Annamária (2014): *Talajon fekvő padlószervezetek rekonstrukciójának elméleti alapjai és lehetséges megoldásai*, MAGYAR ÉPÍTŐIPAR 64. évf. 5. szám, 194-200. oldal
- [8] Kistelegdi István, Baranyai Bálint, Bachmann Bálint, Baumann Mihály, Lenkovic László (2015): *Elméleti és gyakorlati épületenergetikai tapasztalatok egy aktívház-prototípusban: Egy energiadesign módszerrel tervezett és megvalósult, kísérleti pluszenergiamerleggel rendelkező épület energetikai viselkedése több szemszögből 3.*, MEGTÉRÜLŐ ÉPÜLETENERGETIKA 2. évf. 3. szám, 18-21. oldal
- [9] John Straube (2006): *Moisture and Materials*, BUILDING SCIENCE DIGEST 138, 1-7. oldal
- [10] Andreas Holm, Hartwig M. Künzl (2000): *Non-Isothermal Moisture Transfer in Porous Building Materials*, Materialsweek, München, Németország
- [11] A. Karagiozis, M. Salonvaara (2001): *Hygrothermal system performance of a whole building*, BUILDING AND ENVIRONMENT 36. vol. 6, 779-787. oldal
- [12] MSZ EN 15026:2007 *Épületszerkezetek és Épületelemek hő- és nedvességtéchnikai viselkedése. A nedvességuándorlás becslése numerikus szimulációval*, Magyar Szabványügyi Testület
- [13] S. Olof Mundt-Petersen, Lars-Erik Harderup (2013): *Validation of a One-Dimensional Transient Heat and Moisture Calculation Tool under Real Conditions*, Thermal performance of the exterior envelopes of whole buildings XII – international conference 2013. Florida, USA
- [14] www.wufi.hu

Lektorált szakmai cikk.