

Két- és háromdimenziós numerikus modellezés közötti különbségek egy hőhidás csomópont állagvédelmi ellenőrzésénél

Differences between two- and three-dimensional numerical modeling in the condensation risk assessment of a building joint with thermal bridge

POLARECKI Tamás

Optimum Detail Kft. 1133 Budapest, Kárpát utca 26. 8. em. 30. a.,
+36-30-6760126, info@optimumdetail.hu www.optimumdetail.hu

Abstract

I conducted numerical modeling using the finite element method to investigate the differences in internal surface temperatures obtained from two- and three-dimensional modeling in a stationary (time-independent) state for a specific structural configuration of a building. From a condensation risk assessment perspective, it can be stated that three-dimensional numerical modeling is justified. In the present study, depending on the geometry of the node or the arrangement of thermal insulation, the surface temperatures yielded from the two-dimensional model were at least 0.5-1.0 °C higher, but in the worst-case scenario, were 1.1-2.2 °C higher compared to the three-dimensional model.

Keywords: thermal insulation, thermal bridge, condensation risk assessment, numerical modeling, building joint

Kivonat

Végeselem módszerrel végzett numerikus modellezéssel stacioner (időben állandósult) állapotban vizsgáltam, hogy egy adott épületszerkezeti kialakítás esetén két- és háromdimenziós modellezéssel meghatározott belső felületi hőmérsékletek mekkora mértékben térnek egymástól. Állagvédelem szempontjából kijelenthető, hogy a háromdimenziós numerikus modellezésnek van létjogosultsága. Attól függően, hogy jelen vizsgálatban az adott csomópont geometriája vagy a hőszigetelés vonalvezetése hogyan volt kialakítva, a kétdimenziós modellből a legkisebb felületi hőmérsékletre minimum 0,5-1,0 °C-kal, de legrosszabb esetben akár 1,1-2,2 °C-kal magasabb érték adódott, mint a háromdimenziósból.

Kulcsszavak: hőszigetelés, hőhíd, állagvédelmi ellenőrzés, numerikus modellezés, csomópont

1. PROBLÉMAFELVETÉS

Főleg a sűrű nagyvárosi beépítésnél, ahol a HÉSZ magas beépítettséget enged, az épület körül szabadtéren nem férnek el a gépkocsik, ezért a garázsok az épületek alá kényszerülnek. Könnyen belátható, hogy bizonyos színtszám esetén már több helyre van szükség a gépkocsik elhelyezéséhez, mint egy lakószint alapterülete.

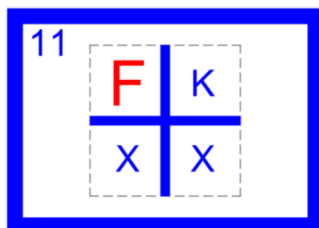
A legalsó lakószinteket fűtetlen terektől kell hőtechnikailag elválasztani, ezért a tartószerkezet és a hőszigetelés vonalvezetése kénytelen egymást keresztezni, hőhidak alakulnak ki. A hőszigetelés hőhídmentes kialakítása helyett csak hőhídcsökkentett megoldás képzelhető el. A lakószintek hőszigetelésének vonalvezetése nem csak függőleges talajjal takart pincefalakkal találkozódik, hanem általában fűtetlen terek homlokzati falával, födémével vagy az adott épülettől függően további fűtött, fűtetlen vagy időszakos használatú terekkel is.

A profitmaximalizálás miatt az adott telken elérhető legnagyobb eladható alapterület kialakítását igényli. Beruházói érdek a minél kevesebb hőszigetelés használata, akár falon, akár födémén, hiszen a hőszigetelés a fal vastagságának növelésével az alapterületet csökkenti, a födém vastagságának növelésével pedig a kialakítható színtszámot csökkentheti.

Az egyre szigorúbb hőtechnikai előírások az épületek általános felületeire kerülő hőszigetelés vastagságának növekedését eredményezték, a hőhidas csomópontok hőszigetelésére viszont konkrét jogszabályi előírás hiányában a tervezők sem fordítanak kellő figyelmet. Ugyanakkor a hőhidas csomópontok jelentősége növekszik, hiszen a jobban hőszigetelt általános felületek mellett egy relatív hőhíd környezetében az állagvédelmi problémák kialakulásának esélye sokkal nagyobb.

2. VIZSGÁLT SZERKEZETI KIALAKÍTÁS

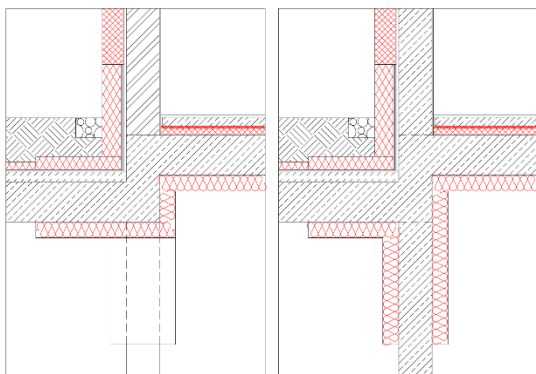
Végelem módszerrel végzett numerikus modellezéssel stacioner (időben állandósult) állapotban végeztem a vizsgálatokat [3, 5, 6]. Egy önkényesen kiválasztott hőhidas csomópont segítségével mutatom be a két- és háromdimenziós numerikus modellezés közötti különbségeket a csomópont állagvédelmi ellenőrzése kapcsán. A vizsgált elrendezésben fűtött tér mellett kültér található és mindkét alsó térnegyedben fűtetlen tér helyezkedik el, azaz amikor az épület alatti parkolószint a lakószintek alapterületénél nagyobb, a mélygarázs kontúrja kilóg a felmenő szerkezetek kontúrja alól. Az ábrán „F” betűvel a fűtött teret, „X” betűvel a fűtetlen teret, „K” betűvel a külteret jelöltem.



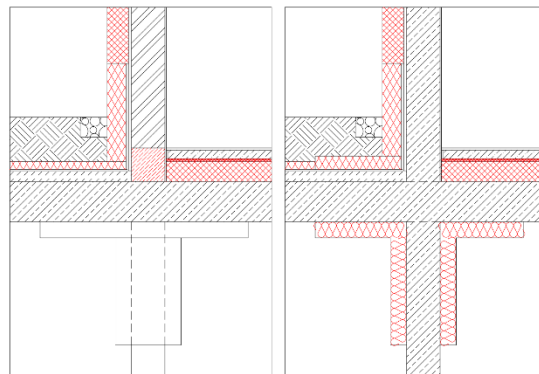
1. ábra. Ténylegesen vizsgált geometria

A jelen vizsgálatban azt feltételeztem, hogy a meghatározott elrendezés a harmadik dimenzióban „vonalszerűen” folytatódik. Egyenes vonalú elrendezés esetén is van létjogosultsága a háromdimenziós vizsgálatnak, ugyanis a mai társasházak általában monolit vasbeton pillérvázastartószerkezettel készülnek, tehát minden homlokzati kitöltőfalban megjelennek vasbeton pillérek. Kétdimenziós modell esetén fel lehet venni több metszetet: a pilléren keresztül, a kitöltőfalon keresztül és ha a pillér környezetében a földem felett és/vagy alatt kiegészítő hőszigetelés is található, akkor a pillér mellett a kitöltőfalon és a kiegészítő hőszigetelésen keresztül is. A metszeteken elvégzett kétdimenziós vizsgálatok eredményei hossz szerint átlagolhatók vagy a minimumértékek meghatározhatók, ugyanakkor a háromdimenziós hőáramok hatását nem tudják figyelembe venni. Vizsgálatom célja, hogy megállapítsam, mekkora a háromdimenziós hőáramok elhanyagolásából adódó eltérés.

Megkülönböztettem két alapesetet, melyek bár egyforma elrendezésre vonatkoznak, a hőszigetelés elvében eltérnek. Az egyik esetben a beltéri földem alsó síkján helyezkedik el a hőszigetelés (2. ábra). A kültéri földem alsó és felső síkján is szükséges kiegészítő hőszigetelés a fal mentén a modell teljes szélességében. A másik esetben a beltéri földem felső síkján helyezkedik el a hőszigetelés (3. ábra). A falat egy kisebb hővezetési ellenállású indítóelemről kell falazni („hőhídmegszakító”), viszont a kültéri földem alsó és felső síkján csak a pillér környezetében szükséges kiegészítő hőszigetelés a pillér, mint átmenő hőhíd hatása miatt.



2. ábra. Földem alatti hőszigetelés



3. ábra. Földem feletti hőszigetelés

3. ÁLLAGVÉDELMI KOCKÁZATRA UTALÓ BELSŐ FELÜLETI HŐMÉRSÉKLET ÉRTÉKE

Állagvédelmi ellenőrzéskor az vizsgálható, hogy a felületi hőmérséklet olyan kritikus határ alá csökken, amikor a penészképződés megindulhat. Megvizsgáltam az összes általam meghatározott kialakításban a csomópont leghidegebb beltéri pontjaiban a felületi hőmérsékleteket.

A DIN 4108 2 szabvány szerint a sajátléptékben mért hőmérsékletnek 0,7 értéknél magasabbnak kell lennie, hogy ne induljon meg penészképződés [1]. Az MSZ EN ISO 10211 szabvány szerint egy felület adott pontjának sajátléptékben mért hőmérséklete a kültéri levegő hőmérséklete, a beltéri levegő hőmérséklete és az adott pont felületi hőmérséklete alapján számolható [6]. A szabvány alapján 12,5 °C adódik minimális belső felületi hőmérsékletre, amikor még nem kezd el kialakulni penész.

4. NUMERIKUS MODELLEZÉS KÉTDIMENZIÓBAN

A homlokzati hőszigetelés, a födém felső síkjára kiforduló hőszigetelés, valamint a födém alatti hőszigetelés vastagságát is hat különböző vizsgálandó értékben határoztam meg. A különböző felületekre elhelyezett hőszigetelések vastagságát egymással összehangoltan változtattam.

Végesem módszerrel végzett numerikus modellezéssel stacioner (időben állandósult) állapotban megvizsgáltam, hogy a kétdimenziós modellben mekkora a belső felület leghidegebb pontján a hőmérséklet, födém alatti hőszigetelés alkalmazása esetén. Födém feletti hőszigeteléssel is elvégeztem a vizsgálatot. Az összehasonlíthatóság kedvéért megvizsgáltam azt az esetet, amikor a födémbe van síkváltás, tehát a vasbetongeometria megegyezik a födém alatt hőszigetelt eset geometriájával, továbbá megvizsgáltam azt az esetet is, amikor vasbeton födém a kültér és a beltér alatt egy síkban van. A födém alatt csak a pillér egy méteres környezetében és a pillér felső egy méteres hosszán alkalmaztam hőszigetelést.

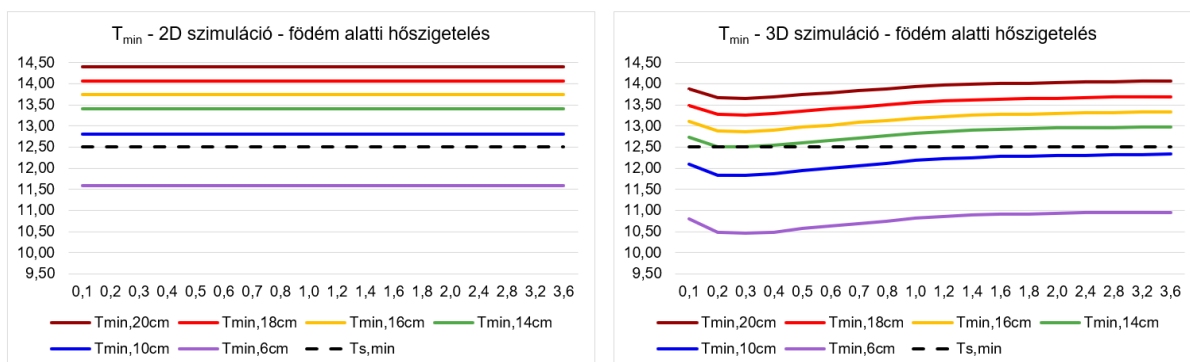
5. NUMERIKUS MODELLEZÉS HÁROMDIMENZIÓBAN

5.1. Két- és háromdimenziós modell közötti különbségek

A kétdimenziós után háromdimenziós szimulációt is futtattam. A háromdimenziós modellben a kétdimenzióshoz képest az a különbség, hogy a kétdimenzióban külön-külön vizsgálható téglafal és vasbeton pillér hatása háromdimenziós modellben összesítve is látható. Geometriailag az adott kétdimenziós modellhez tartozó háromdimenziós esetek abban tudnak eltérni, hogy a vasbeton pillér hossza (a fal síkjával párhuzamosan mérve) különböző értékeket vehet fel.

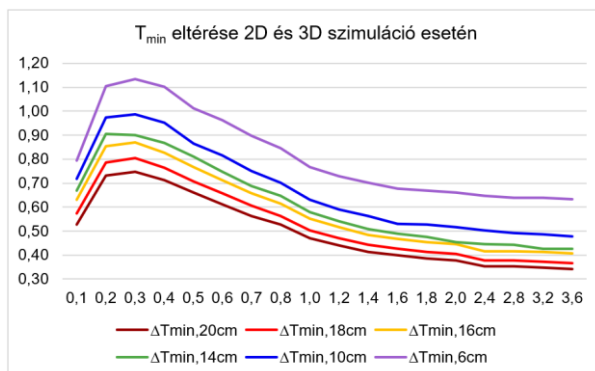
5.2. Födém alatti hőszigetelés – eredmények és értékelésük

Kétdimenziós szimuláció esetén úgy tűnt, mintha csak a 6 cm vastag homlokzati hőszigetelés esetén merülne fel állagvédelmi kockázat. Azonban a háromdimenziós szimuláció már a 6 és a 10 cm-es homlokzati hőszigetelés esetére is állagvédelmi kockázatot jelzett a pillérhossztól függetlenül, továbbá bizonyos pillérhosszokra még a 14 cm-es homlokzati hőszigetelés esetére is (4. ábra). Az „x” tengelyen [m]-ben a pillér hossza, az „y” tengelyen [°C]-ban a minimum hőmérséklet látható.



4. ábra. Minimum felületi hőmérsékletek 2D (balra) és 3D (jobbra) szimuláció esetén födém feletti hőszigeteléssel

Megállapítható, hogy a vizsgált geometriában a vasbeton pillér lábátánál kialakult minimum hőmérsékletekre a kétdimenziós szimuláció eredményeként kapott érték a háromdimenziós szimuláció eredményeként kapott értéknél magasabb. Minél vastagabb volt a hőszigetelés, annál kisebb volt az eltérés a két- és háromdimenziós szimuláció között, de még 20 cm vastag homlokzati hőszigetelés esetén is lehetett 0,7 °C az eltérés, 6 cm vastag homlokzati hőszigetelés esetén pedig 1,1 °C. A legnagyobb eltérés 20 és 40 cm közötti pillérhossz esetén adódott. A gyakorlatban falszélességnél rövidebb pillér nyilvánvalóan nem készül, de a grafikonon (5. ábra) jól látható, hogy nagyjából a falszélességgel megegyező pillérhossz esetén volt a legnagyobb az eltérés, alatta és felette a két- és háromdimenziós szimuláció közti különbség csökkent.



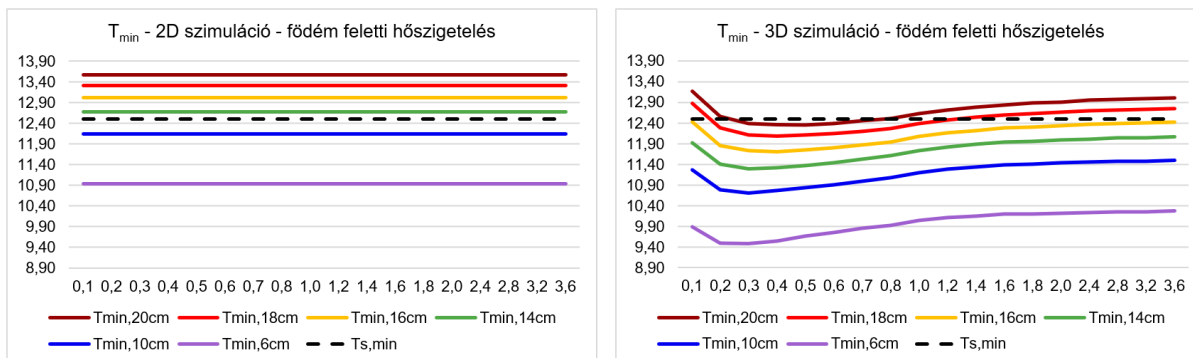
5. ábra. 2D és 3D szimulációból számolt minimum felületi hőmérsékletek különbsége földem alatti hőszigeteléssel

Nagyon szemléletesen látszik a grafikonokon, hogy a pillér egy bizonyos hossza alatt, amikor a pillér hossza körülbelül a fal vastagságával egyezik, a belső oldali hőmérséklet már nem csökken tovább. Ennek leginkább az az oka, hogy a vasbeton pillér belső oldalán egy vakolatréteg és a belső felületi hőátadási ellenállás is megjelenik ellenállásként, melyekben a hőmérsékleti különbségek eloszlanak.

Jelen vizsgálatban a kétdimenziós modellben a legalacsonyabb felületi hőmérsékletre a háromdimenziós modellnél akár 1,1 °C-kal is magasabb érték adódott, ezért érdemes körültekintően kezelni a kétdimenziós modellből kapott adatokat, mert könnyen tévesen jelezhetik, hogy alacsony a kockázat vagy nincs állagvédelmi probléma.

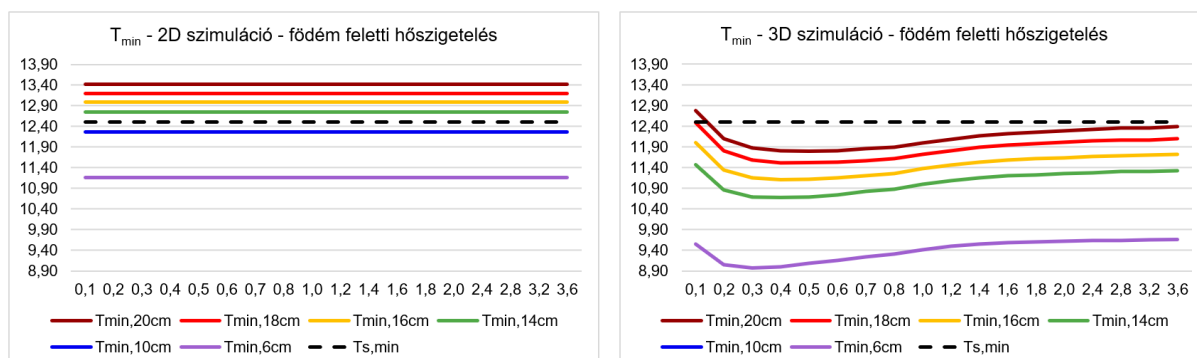
5.3. Födém feletti hőszigetelés – eredmények és értékelésük

Síkfödém esetén a kétdimenziós szimuláció alapján úgy tűnt, mintha csak a 6 és a 10 cm vastag homlokzati hőszigetelés esetén merülne fel állagvédelmi kockázat. Azonban a háromdimenziós szimuláció már a 16 cm-es vagy annál vékonyabb homlokzati hőszigetelés esetére is állagvédelmi kockázatot jelzett a pillérhossztól függetlenül, továbbá bizonyos pillérhosszokra még a 18 és 20 cm-es homlokzati hőszigetelés esetére is (6. ábra). Az „x” tengelyen [m]-ben a pillér hossza, az „y” tengelyen [°C]-ban a minimum hőmérséklet látható.



6. ábra. Minimum felületi hőmérsékletek 2D (balra) és 3D (jobbra) szimuláció esetén földem feletti hőszigeteléssel, földemsíkváltással

Amennyiben a beltéri és a kültéri födém eltérő síkban volt, a kétdimenziós vizsgálat szerint ugyancsak a 6 és a 10 cm vastag homlokzati hőszigetelés esetén merült fel állagvédelmi kockázat. Viszont a háromdimenziós vizsgálat az összes pillérhosszra állagvédelmi kockázatot, azaz 12,5 °C-nál alacsonyabb minimális felületi hőmérsékletet mutatott (7. ábra). Az „x” tengelyen [m]-ben a pillér hossza, az „y” tengelyen [°C]-ban a minimum hőmérséklet látható.

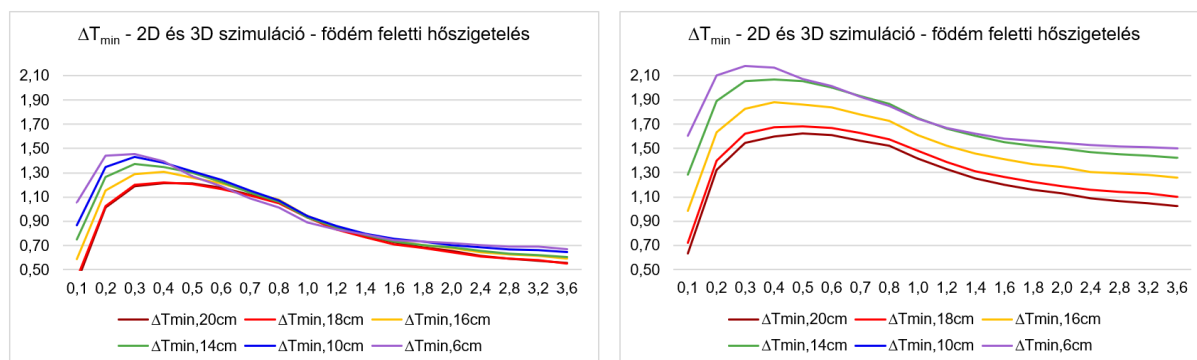


7. ábra. Minimum felületi hőmérsékletek 2D (balra) és 3D (jobbra) szimuláció esetén födém feletti hőszigeteléssel, egy síkban lévő födémekkel

Megállapítható, hogy a vizsgált geometriában a vasbeton pillér lábazatánál kialakult minimum hőmérsékletekre a kétdimenziós szimuláció a födém alatti hőszigetelés esetén tapasztalt eltérésnél is nagyobb eltérést mutatott.

Ha a beltéri és kültéri födém eltérő síkban volt, akkor minél vastagabb volt a hőszigetelés, annál kisebb lett az eltérés a két- és háromdimenziós szimuláció között a kis és nagy pillérhosszok tartományában. Körülbelül 0,6 m és 1,6 m közötti pillérhosszok esetén a két- és háromdimenziós szimuláció közötti különbség mértéke nagyjából független volt a hőszigetelés vastagságától, a különbség a pillérhossz növekedésével kis mértékben növekedett. 20 cm vastag homlokzati hőszigetelés esetén legfeljebb 1,2 °C volt az eltérés, 6 cm vastag homlokzati hőszigetelés esetén pedig legfeljebb 1,4 °C (8. ábra bal grafikonja). Az „x” tengelyen [m]-ben a pillér hossza, az „y” tengelyen [°C]-ban a 2D és 3D szimulációból számolt minimum felületi hőmérsékletek különbsége látható.

Ha a beltéri és kültéri födém azonos síkban volt, akkor minél vastagabb volt a hőszigetelés, annál kisebb lett az eltérés a két- és háromdimenziós szimuláció között azonos pillérhosszok esetén az összes pillérhosszra. 20 cm vastag homlokzati hőszigetelés esetén legfeljebb 1,6 °C volt az eltérés, 6 cm vastag homlokzati hőszigetelés esetén pedig legfeljebb 2,2 °C (8. ábra jobb grafikonja). Az „x” tengelyen [m]-ben a pillér hossza, az „y” tengelyen [°C]-ban a 2D és 3D szimulációból számolt minimum felületi hőmérsékletek különbsége látható.



8. ábra. 2D és 3D szimulációból számolt minimum felületi hőmérsékletek különbsége födém feletti hőszigeteléssel, födém síkváltással (balra) és egy síkban lévő födémekkel (jobbra)

Jelen vizsgálatban a födém alatti és födém feletti hőszigetelés eseteit is figyelembe véve a kétdimenziós modellben a legalacsonyabb felületi hőmérsékletre a háromdimenziós modellnél akár 2,2 °C-kal is magasabb érték adódott, ezért érdemes körültekintően kezelni a kétdimenziós modellből kapott adatokat, mert könnyen tévesen jelezhetik, hogy alacsony a kockázat vagy nincs állagvédelmi probléma. Amennyiben kétdimenziós

szimuláció esetén a minimális felületi hőmérséklet 15 °C alatti, érdemes háromdimenziós szimulációt is végezni.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Végeselem módszerrel végzett numerikus modellezéssel stacioner (időben állandósult) állapotban vizsgáltam, hogy egy adott épületszerkezeti kialakítás esetén két- és háromdimenziós modellezéssel meghatározott belső felületi hőmérsékletek mekkora mértékben térnek egymástól.

Állagvédelem szempontjából kijelenthető, hogy a háromdimenziós numerikus modellezésnek van létjogosultsága. Attól függően, hogy a vizsgálatomban az adott csomópont geometriája vagy a hőszigetelés vonalvezetése hogyan volt kialakítva, a kétdimenziós modellből a legkisebb felületi hőmérsékletre minimum $0,5\text{-}1,0\text{ °C}$ -kal, de legrosszabb esetben akár $1,1\text{-}2,2\text{ °C}$ kal magasabb érték adódott, mint a háromdimenziósból. Amennyiben a kétdimenziós szimuláció 15 °C alatti belső felületi hőmérsékletet jelez, érdemes háromdimenzióban is megvizsgálni a kérdéses csomópontot. Természetesen a fűtetlen tér önkényesen választott hőmérsékletének [1, 2, 4] is jelentős hatása van a legalacsonyabb beltéri felületi hőmérsékletre, ugyanis szabvány szerint -5 és 10 °C között választhatunk fűtetlen téri hőmérsékletet.

Összefoglalva azt lehet mondani, hogy a gyakorlatban az állagvédelmi ellenőrzésnél van létjogosultsága a háromdimenziós numerikus modellezésnek, főleg akkor, ha a kétdimenziós modellből meghatározott legkisebb felületi hőmérséklet 15 °C alá esik.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, (DIN 4108-2:2013-02)*, 2013.
- [2] Magyar Szabványügyi Testület: *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Fűtési hőszükségletszámítás, (MSZ-04-140-3:1987)*, 1987.
- [3] Magyar Szabványügyi Testület: *Épületszerkezetek és épületelemek hő- és nedvességtechnikai viselkedése. A kritikus felületi nedvességet és a szerkezeten belüli páralecsapódást megelőző belső felületi hőmérséklet. Számítási módszerek, (MSZ EN ISO 13788:2013)*, 2013.
- [4] Magyar Szabványügyi Testület: *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai, (MSZ 24140:2015)*, 2015.
- [5] Magyar Szabványügyi Testület: *Épületek hőtechnikai viselkedése. Hőátvitel a talajban. Számítási módszerek, (MSZ EN ISO 13370:2017)*, 2017.
- [6] Magyar Szabványügyi Testület: *Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások, (MSZ EN ISO 10211:2017)*, 2017.