

Kétdimenziós numerikus modellezés „hibája” hővesztés számítás esetén egy hőhid csomópont példáján

The "error" of two-dimensional numerical modeling in heat loss calculation: A case study 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

Through finite element method-based numerical modeling in a stationary (time-independent) state, I sought to determine the significance of point-like heat losses that cannot be analyzed through two-dimensional calculations. In terms of heat loss, for insulation above the floor slab and realistic pillar lengths (0.3-1.0 m), the difference between two-dimensional and three-dimensional simulations remains below 3%. Based on the examined geometry of the present study, it can be concluded that in practical heat loss calculations, it is not necessary to use a three-dimensional model instead of a two-dimensional model if the error below 3% is considered insignificant.

Keywords: thermal insulation, thermal bridge, heat loss, numerical modeling, building joint

Kivonat

Végeselem módszerrel végzett numerikus modellezéssel stacioner (időben állandósult) állapotban arra kerestem a választ, hogy mennyire jelentősek azok a pontszerű hővesztések, melyek kétdimenziós számítással nem vizsgálhatók. Hővesztés szempontjából födém feletti hőszigetelés esetén és reális pillérhosszokra (0,3-1,0 m) a két- és háromdimenziós szimuláció közötti eltérés 3 % alatt marad, tehát nem jelentős. Az általam vizsgált épületszerkezeti geometria esetén, hogy a gyakorlatban hővesztésszámítás esetén nem érdemes kétdimenziós modell helyett háromdimenziós modellel dolgozni, ha a 3 % alatti hibát elhanyagolható mértékűnek tekintjük.

Kulcsszavak: hőszigetelés, hőhid, hővesztés, 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 szintszám esetén már több helyre van szükség a gépkocsik elhelyezéséhez, mint egy lakószint alapterülete.

A legelső lakószinteket fűtetlen terektől kell hőtechnikailag elválasztani, ezért a tartószerkezet és a hőszigetelés vonalvezetése kénytelen egymást keresztezni, hőhidak alakulnak ki. A hőszigetelés hőhidmentes kialakítása helyett csak hőhidcsökkentett 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.

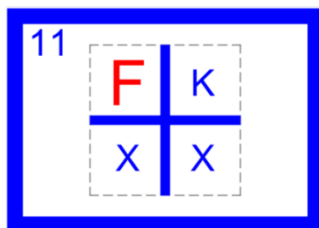
A profitmaximalizálás miatt az adott telken elérhető legnagyobb eladható alapterület kialakítását igényli. Beruházói érdek a minél kevesebb hőszigetelés használata, akár falon, akár födémén, hiszen a hőszigetelés a fal vastagságának növelésével az alapterületet csökkenti, a födém vastagságának növelésével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

Az egyre szigorúbb hőtechnikai előírások az épületek általános felületeire kerülő hőszigetelés vastagságának növekedését eredményezték, a hőhid 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 környezetben az átlagos felülethez képest a hőveszteség mértéke sokkal nagyobb.

2. VIZSGÁLT SZERKEZETI KIALAKÍTÁS

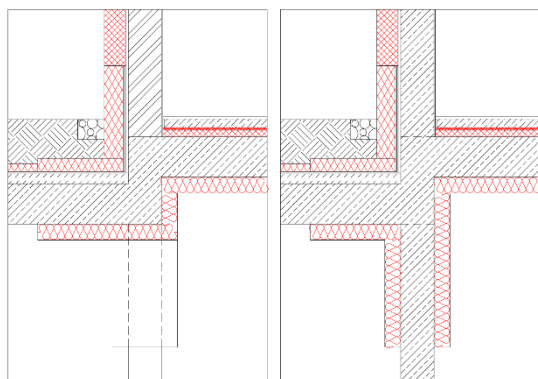
Végeselem módszerrel végzett numerikus modellezéssel stacioner (időben állandósult) állapotban végeztem a vizsgálatokat [3, 5, 6]. Egy önkényesen kiválasztott hőhidas csomópont segítségével mutatom be a két- és háromdimenziós numerikus modellezés közötti különbségeket a csomóponti hőveszteség számítása 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.



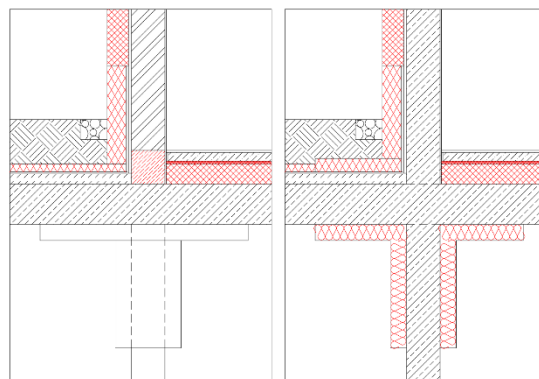
1. ábra. Ténylegesen vizsgált geometria

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 pillérvázis tartószerkezettel 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 födém 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 födém alsó síkján helyezkedik el a hőszigetelés (2. ábra). A kültéri födém alsó és felső síkján is szükséges kiegészítő hőszigetelés a fal mentén a modell teljes szélességében. A másik esetben a beltéri födém felső síkján helyezkedik el a hőszigetelés (3. ábra). A falat egy kisebb hővezetési ellenállású indítóelemről kell falazni („hőhídmegszakító”), viszont a kültéri födém alsó és felső síkján csak a pillér környezetében szükséges kiegészítő hőszigetelés a pillér, mint átmenő hőhíd hatása miatt.



2. ábra. Födém alatti hőszigetelés



3. ábra. Födém feletti hőszigetelés

3. VONALMENTI ÉS PONTBELI HŐÁTBOCSÁTÁSI TÉNYEZŐ

A vonalmenti hőátbocsátási tényező azt mutatja meg, hogy egy vonalmenti hőhíd méterenként mekkora többlet hőáramot okoz egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására. Az MSZ EN ISO 10211 szabvány szerint a vonalmenti hőátbocsátási tényező a következő módon határozható meg [6]:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j \quad (1)$$

ahol:

- Ψ a vonalmenti hőátbocsátási tényező [W/mK],
- L_{2D} a termikus csatolási tényező a kétdimenziós számításból [W/mK],
- U_j a két környezetet elválasztó j-edik egydimenziós elem hőátbocsátási tényezője [W/m²K],
- l_j a hossz, amely mentén az U_j értéket figyelembe kell venni [m],
- N_j az egydimenziós elemek száma [-].

A pontbeli hőátbocsátási tényező azt mutatja meg, hogy egy pontszerű hőhíd mekkora többlet hőáramot okoz egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására. Az MSZ EN ISO 10211 szabvány szerint a pontbeli hőátbocsátási tényező a következő módon határozható meg [6]:

$$\chi = L_{3D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i \cdot A_i - \sum_{j=1}^{N_j} \Psi_j \cdot l_j \quad (2)$$

ahol:

- χ a pontbeli hőátbocsátási tényező [W/K],
- L_{3D} a termikus csatolási tényező a háromdimenziós számításból [W/K],
- U_i a két környezetet elválasztó i-edik egydimenziós elem hőátbocsátási tényezője [W/m²K],
- A_i a felület, amely mentén az U_i értéket figyelembe kell venni [m²],
- Ψ_j a vonalmenti hőátbocsátási tényező [W/mK],
- l_j a hossz, amely mentén a Ψ_j értéket figyelembe kell venni [m],
- N_i az egydimenziós elemek száma [-],
- N_j a kétdimenziós elemek száma [-].

Mivel a padló a kültértől eltérő hőmérsékletű fűtetlen térrel (pincével) áll kapcsolatban, a hőmérsékletkülönbségek arányában korrigálni kell az U értékét az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet [1] (továbbiakban: TNM rendelet) szerint korrigálni kell. Matematikailag ugyanazt az eredményt adja a vonalmenti hőveszteségtényező számítása a fűtetlen tér felé korrigált hőátbocsátási tényezővel, mint a csomópont teljes hőveszteségének számítása majd osztása a kültér és beltér közötti hőfokhiddal.

$$\Psi = L_{2D} - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 \quad (3)$$

$$\Psi = L_{2D} - U_1 \cdot l_1 - U_2' \cdot \frac{t_i - t_x}{t_i - t_e} \cdot l_2 \quad (4)$$

$$\Phi = \Psi \cdot (t_i - t_e) = L_{2D} \cdot (t_i - t_e) - U_1 \cdot l_1 \cdot (t_i - t_e) - U_2' \cdot (t_i - t_x) \cdot l_2 \quad (5)$$

ahol:

- Φ a csomópont teljes hővesztesége [W],
- U_2' a két környezetet elválasztó adott egydimenziós elem korrigálatlan hőátbocsátási tényezője [W/m²K],
- U_2 a két környezetet elválasztó adott egydimenziós elem hőmérsékleti korrekcióval módosított hőátbocsátási tényezője [W/m²K],
- t_i a beltéri hőmérséklet [K],
- t_e a kültéri hőmérséklet [K],
- t_x a fűtetlen tér hőmérséklete [K].

4. HŐVESZTESÉG SZÁMÍTÁS EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE

A kétdimenziós szimuláció „hibája” a háromdimenziós szimulációból számított pontbeli hőátbocsátási tényező. Meg kell jegyezni, hogy a számítás eredményére pontbeli hőátbocsátási tényezőként hivatkozom, de az MSZ EN ISO 20211 szabvány szerint a falat és a pillért is tartalmazó vízszintes kétdimenziós metszetből számított vonalmenti hőátbocsátási tényezőt is le kellene vonni a háromdimenziós termikus csatolási tényezőtől a tényleges pontbeli hőátbocsátási tényező meghatározásához [6]. A jelen vizsgálatomban azonban ez nem feltétlenül releváns, ugyanis míg a vonalmenti hőátbocsátási tényező a rétegtervi hőátbocsátási tényező nagyságrendjében mozgott, addig az általam számított „pontbeli hőátbocsátási tényező” ennél egy nagyságrenddel kisebb volt. Másként megfogalmazva, a két- és háromdimenziós szimulációból származó eredmények közötti különbség olyan kicsiny, hogy más tényezők hatása sokkal nagyobb hatással volt a csomópont számított hőveszteségére.

Háromdimenziós esetben a csomópont teljes hőveszteségét is meghatároztam két eltérő peremfeltétel esetén. A hőtechnikai számításokhoz a TNM rendelet annyit ír elő, hogy a szomszédos terek hőmérséklete szabvány alapján határozható meg, de azt nem definiálja, hogy melyik szabvány alkalmazandó. Az MSZ 24140 szabvány szerint 10 °C a jelen vizsgálatban alkalmazandó fűtetlen téri léghőmérséklet [4]. Az MSZ-04-140/3-87 szabványban közölt értékekből lineáris interpolációval számítható fűtetlen téri hőmérséklet, ez 12,5 °C-ra adódott [2]. A 10 °C-ra és a 12,5 °C-ra is lefuttattam a szimulációt és összehasonlítottam a két esetben eredményül kapott és a kétdimenziós szimulációkból számított teljes csomóponti hőveszteséget ($\Phi_{\text{teljes,2D}}$, $\Phi_{\text{teljes,10}^\circ\text{C}}$, $\Phi_{\text{teljes,12,5}^\circ\text{C}}$). Az 1. táblázatban látható, hogy a homlokzati hőszigetelés 16 cm-es vastagsága esetén a két- és háromdimenziós szimuláció között legfeljebb 1,1 %-kal tért csak el a számított teljes hőveszteség, míg, ha a fűtetlen tér hőmérsékletét 10 °C helyett 12,5 °C-ban határoztam meg, az eltérés 15 % körül alakult.

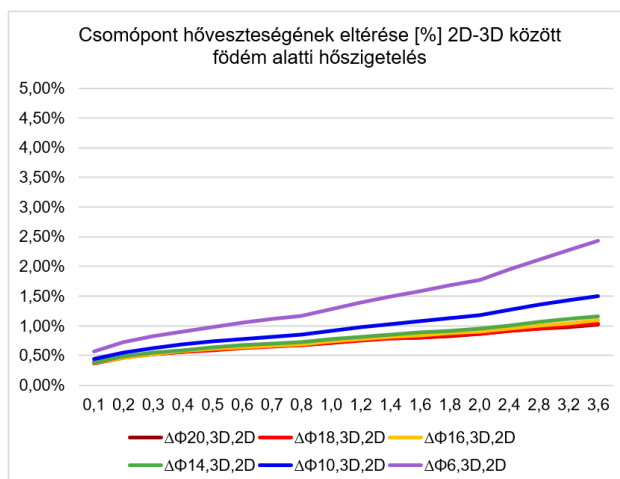
Peremfeltételek hatása a csomópont hőveszteségére

1. táblázat

Csomópont teljes hővesztesége - HTy = 16 cm EPS								
vasbeton hossz [m]	tégla hossz [m]	2D			3D		eltérés ($\Delta\Phi/\Phi$)	
		$\Phi_{\text{pillér}} (1 \text{ m})$ [W]	$\Phi_{\text{fal}} (1 \text{ m})$ [W]	$\Phi_{\text{teljes, 2D}}$ [W]	$\Phi_{\text{teljes, 10}^\circ\text{C}}$ [W]	$\Phi_{\text{teljes, 12,5}^\circ\text{C}}$ [W]	2D-10 °C [%]	2D-12,5 °C [%]
0,1	5,9	17,48	14,20	85,51	85,83	72,28	0,38%	-15,47%
0,2	5,8	17,48	14,20	85,84	86,24	72,62	0,46%	-15,40%
0,3	5,7	17,48	14,20	86,17	86,62	72,94	0,53%	-15,35%
0,4	5,6	17,48	14,20	86,50	86,99	73,24	0,57%	-15,32%
0,5	5,5	17,48	14,20	86,82	87,35	73,54	0,61%	-15,30%
0,6	5,4	17,48	14,20	87,15	87,71	73,83	0,64%	-15,28%
0,7	5,3	17,48	14,20	87,48	88,07	74,12	0,67%	-15,27%
0,8	5,2	17,48	14,20	87,81	88,41	74,41	0,69%	-15,25%
1,0	5,0	17,48	14,20	88,47	89,12	74,99	0,74%	-15,23%
1,2	4,8	17,48	14,20	89,12	89,82	75,56	0,78%	-15,21%
1,4	4,6	17,48	14,20	89,78	90,51	76,13	0,81%	-15,20%
1,6	4,4	17,48	14,20	90,44	91,19	76,70	0,84%	-15,19%
1,8	4,2	17,48	14,20	91,09	91,89	77,26	0,87%	-15,18%
2,0	4,0	17,48	14,20	91,75	92,58	77,83	0,90%	-15,17%
2,4	3,6	17,48	14,20	93,06	93,95	78,96	0,95%	-15,15%
2,8	3,2	17,48	14,20	94,37	95,32	80,08	1,00%	-15,14%
3,2	2,8	17,48	14,20	95,69	96,69	81,21	1,05%	-15,13%
3,6	2,4	17,48	14,20	97,00	98,06	82,33	1,09%	-15,12%

Megvizsgáltam, hogy földem alatti hőszigetelés, továbbá a földémsíkváltással kialakított földem feletti hőszigetelés és síkföldémmel kialakított földem feletti hőszigetelés esetén a teljes csomópont hővesztesége milyen értékeket vesz fel két- és háromdimenziós szimuláció esetén. A két- és háromdimenziós szimulációból kapott értékek eltérését százalékos formában kifejezve látható, hogy a különböző elrendezések esetén a vizsgálatok közti különbségek eltérő módon alakultak.

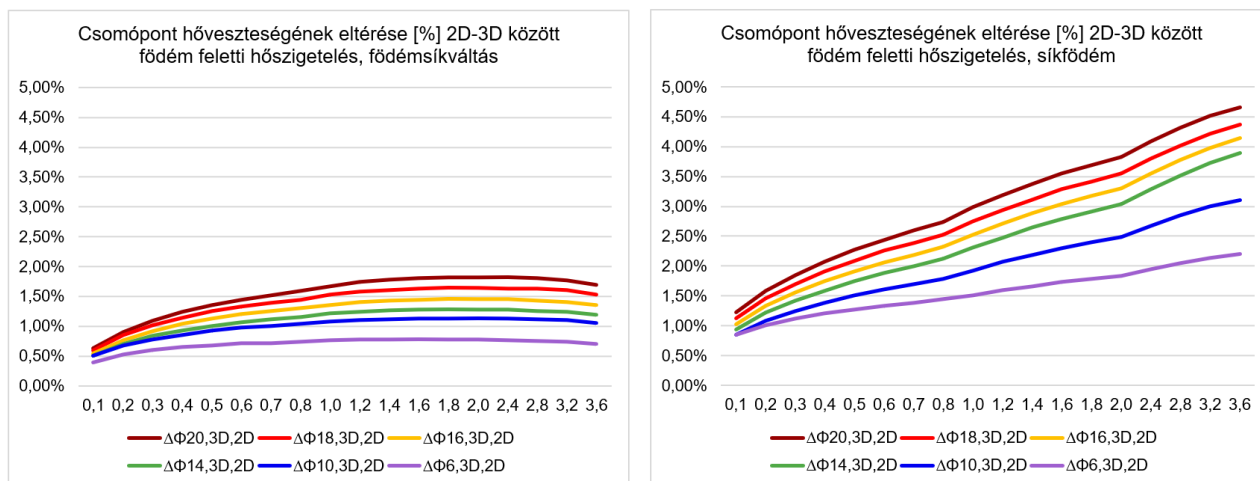
Földem alatti hőszigetelés esetén minél vastagabb a hőszigetelés, annál kisebb a két- és háromdimenziós szimuláció közötti különbség (4. ábra). Földem alatti hőszigetelés esetén viszont minél vastagabb a hőszigetelés, annál nagyobb a különbség (5. ábra).



4. ábra. Csomópont hővesztésének eltérése [%] 2D és 3D szimuláció között, földem alatti hőszigeteléssel

Ha van födémcsíkváltás, tehát a lábazati hőszigetelés a padló síkja alá ér, akkor földem alatti és földem feletti hőszigetelés esetén is elhanyagolható, 3 % alatti a két- és háromdimenziós szimuláció közötti különbség (4. ábra és 5. ábra bal oldali grafikonja).

Síkfödém esetén, amikor a földem felett helyezkedik el a hőszigetelés, minél vastagabb a hőszigetelés, annál nagyobb a két szimuláció közötti különbség, 20 cm vastag homlokzati hőszigetelés és 1 m-nél nagyobb pillérhossz esetén például már átlépi a 3 %-ot a különbség (5. ábra jobb oldali grafikonja).



5. ábra. Csomópont hővesztésének eltérése [%] 2D és 3D szimuláció között, földem alatti hőszigeteléssel, földémsíkváltással (balra) és síkfödémrel (jobbra)

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Végeselem módszerrel végzett numerikus modellezéssel stationer (időben állandósult) állapotban arra kerestem a választ, hogy mennyire jelentősek azok a pontszerű hővesztések, melyek kétdimenziós számítással nem vizsgálhatók.

Hővesztés szempontjából földem feletti hőszigetelés esetén és reális pillérhosszokra (0,3-1,0 m) a két- és háromdimenziós szimuláció közötti eltérés 3 % alatt marad, tehát nem jelentős. Földem alatti hőszigetelésnél minden pillérhosszra 2 %-nál kisebb az eltérés, továbbá 10 cm-nél vastagabb hőszigetelés esetén az 1 %-ot is csak minimálisan haladja meg.

Összefoglalva azt lehet mondani, legalábbis az általam vizsgált épületszerkezeti geometria esetén, hogy a gyakorlatban hővesztégszámítás esetén nem érdemes kétdimenziós modell helyett háromdimenziós modellel dolgozni, ha a 3 % alatti hibát elhanyagolható mértékűnek tekintjük.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] ***: 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról, 2006, <https://njt.hu/jogszabaly/2006-7-20-6F> (Utolsó letöltés: 2023. 01. 02.)
- [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.