



Nagy Balázs

szerkezet-
építőmérnök MSc,
épületenergetikai
szakmérnök,
doktorandusz
(BME Építőanyagok és
Magasépítés Tanszék)

Légüregek, mechani- rétegrendű tetőszer

Pontszerű és vonalmenti hőhidak 2.

Jelen cikksorozatban a pontszerű és vonalmenti hőhidak szabványos épületenergetikai számításáról lesz szó, az egyszerűsített számítási eljárásnak megfelelő kézi számításoktól, a tanúsító szoftverekbe épített megoldásoktól kezdve a részletes, többdimenziós számítógépes szimulációs eljárások bemutatásáig.

A cikksorozat második részében a rétegtervi hőátbocsátási tényező meghatározásához elengedhetetlen korrekciókat és számításokat tekintjük át, különös tekintettel a mechanikai rögzítések figyelembevételére, valamint az inhomogén keresztmetszetek szabványos számítására.

A rétegtervi hőátbocsátási tényezőről

Azon épülethatároló szerkezetek esetében, melyek átlátszatlan szilárd testekből állnak, a hazai épületenergetikai gyakorlatban és a rendelet tükrében háromféle szinten is megkülönböztethetjük a hőátbocsátási tényezőt. Beszélhetünk egydimenziós U-értékről, melyek közé tartozhat egy épülethatároló szerkezet elméleti hőátbocsátási tényezője, mezőközében vagy egy általános, de zavartalan helyen felvett jellemző értéke. Alapvetően ezen U-értéket tudjuk számítani az egyszerű épületfizikai számítások során, illetve helyesen kivitelezett helyszíni mérés esetén is ezt a tényezőt kaphatjuk meg. Azonban a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet első követelményszintjében olyan hőátbocsátási tényezőt kell ellenőriznünk, amely tartalmazza az inhomogén szerkezetek esetén a szerkezeten belül jellemzően előforduló átlagos mennyiségben figyelembe vett pontszerű (rögzítési rendszerek, konzolok, csavarok, átkötővasak stb. által okozott) és vonalmenti (vázszerkezetek, hézagok, panelcsatlakozások stb. által okozott) hőhidak hatását is. A pontszerű és vonalmenti hőhidakat tartalmazó hőátbocsátási tényezőt rétegtervi hőátbocsátási tényezőnek nevezzük.

A 2014. április 6-tól hatályos 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet értelmében a rétegtervi hőátbocsátási tényező meghatározásához az MSZ EN ISO 6946 szabvány (vagy ezzel azonos eredményt adó) számításokat kell alkalmazni. Ez a szabvány kevésbé terjedt el az

épületenergetikával foglalkozó szakemberek körében, amit az e-tanúsítás portálon megjelent módszertani tájékoztató szükségessége is alátámaszt.

Jelen cikkben a rétegtervi hőátbocsátási tényezők számítását a pontszerű és vonalmenti hőhidak miatt szükségessé váló korrekciós tényezők és számítási eljárások tükrében tekintjük át. A következő oldalakon szó lesz a korrekciós számítások háttéréről példákon keresztül bemutatva őket, valamint szimulációs ábrákkal támasztjuk alá szükségességüket.

A rétegtervi hőátbocsátási tényező szabványos korrekciói

A cikksorozat előző részében nevesítettük a korrekciókat, melyekről ezúttal részletesen olvashatnak. Az MSZ EN ISO 6946:2008 szabvány három korrekciós számítási eljárást tartalmaz, melyeket az egydimenziós hőátbocsátási tényező korrekciójára alkalmazhatunk.

A rétegtervi hőátbocsátási tényező a szabvány értelmében a következő egyenlettel számítható, megtartva a szabvány jelölésrendszerét:

$$U_c = U + \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \left[\frac{W}{m^2K} \right],$$

ahol: U_c a korrigált hőátbocsátási tényező,
 U az egydimenziós hőátbocsátási tényező,
 ΔU_g légüregek miatti korrekció,
 ΔU_f mechanikai rögzítések miatti korrekció,
 ΔU_r fordított rétegrendű tetők miatti korrekció.

Amennyiben az épülethatároló szerkezet inhomogén rétegrendekből áll, az egydimenziós hőátbocsátási tényezőt szintén szabványos számítással kell meghatároznunk. Ilyen szerkezetek többek között a szarufákat tartalmazó magastetők rétegrendje vagy a vázkitöltő falazat között elhelyezkedő vasbeton pillérek esete, melyekről a következő cikkben lesz részletesen szó.

A téma aktualitása jelentős, mivel az épületeink energiafogyasztásának mérsékléséhez fontos lenne azok energiamérlegének, így a hővesztéseinek pontos ismerete is mind a tervezés, mind pedig a tanúsítás során.

Hazai rögzítések és fordított kezetek

Légüregek miatti korrekció

A szabvány légüregeknek azokat a légrétegeket nevezi, melyek a hőszigetelő rétegekben találhatóak, vagy olyan, a hőszigetelés és az épületszerkezet közötti légrések és hézagok, melyek a tényleges kivitelezés során kerülnek a szerkezetbe, de a terveken eredetileg nem szerepeltek. Két nagyobb csoportra tudjuk bontani a korrigálni szükséges épületszerkezeteket. Egyik esetben olyan légrésekről beszélhetünk, melyek a hőszigetelő táblák vagy paplanok között vagy a hőszigetelés és az épületszerkezet között találhatóak, a hőáram irányával párhuzamosan. A másik esetben a légrések merőlegesen helyezkednek el a hőáramlás irányára.

A légüregek megnövelhetik az épületszerkezetek hőátbocsátási tényezőjét, mivel az üregekben a sugárzással és áramlással terjedő hőmennyiség növekedhet az egyébként szilárd testekre jellemző hővezetéssel szemben. Elmondható, hogy a légrések egyenértékű hővezetési tényezője a hőáramlás irányának és a légrés geometriai méreteinek függvényében változik. Ez pedig azt jelenti, hogy a széles körben elterjedt tévhitel szemben a levegő a legkevésbé sem jó hőszigetelő, mivel már a csupán 5 mm-es vastagságú légréteg egyenértékű hővezetési tényezője is 0,045 W/mK, ami kedvezőtlenebb, mint az építőiparban elterjedt hőszigetelő anyagok hővezetési tényezői.

Légréteg vastagsága [cm]	Légréteg egyenértékű hővezetési tényezője a hőáramlás irányának függvényében [W/mK]		
	Felfelé	Vízszintes	Lefelé
0,5	0,045	0,045	0,045
1	0,067	0,067	0,067
2	0,125	0,114	0,111
3	0,188	0,167	0,155
4	0,250	0,222	0,198
5	0,313	0,278	0,238
10	0,625	0,556	0,455
20	1,250	1,111	0,889
30	1,875	1,667	1,304

1. táblázat: Légrétegek egyenértékű hővezetési tényezője a hőáramlás irányának függvényében az MSZ EN ISO 6946:2008 szabvány alapján

A szabvány szerinti korrekció azokat a légréseket és hézagokat érinti, melyek az építési tevékenység közben keletkeznek, legyenek azok hőszigetelő táblák egymáshoz illesztésekor fellépő hézagok vagy a táblák méretpontatlansága, az élék deformációja vagy a kisebb-nagyobb építési hibák, esetleg a rögzítések miatt adódó légrések. Amennyiben e hézagok a teljes hőszigetelés vastagságát érintik annak hideg és meleg oldala között, az első szintű korrekciót alkalmazzuk, azaz a $\Delta U''=0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nem sík fogadófelületek miatti légrések esetén is alkalmazzunk kell a korrekciót, amelyek a merev hőszigetelő

getelő táblák miatt keletkeznek. Idesorolandó az az eset is, amikor a hőszigetelő táblák rögzítéséhez használt habarcsréteg, illetve -pogácsák miatt alakul ki a hőszigetelés és a szerkezet között légrés. Ha a légrések és hézagok nem folyamatosak, azaz nincs légáramlás az egyes légrések vagy a külső hideg és belső meleg oldalak között, szintén az egyes szintű korrekció alkalmazandó. Ha az előzőekben említett típusú légrések együttesen is előfordulnak, vagy az egyes légrések között légáramlás alakulhat ki, a második szintű korrekciót szükséges alkalmaznunk, mely esetén $\Delta U''=0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ értékűnek veendő fel. Abban az esetben pedig, ha a hőszigetelő anyag két rétegben kerül elhelyezésre egymáshoz képest eltolásban, a légüregek miatti korrekciót nem szükséges elvégezni. A légüregek miatti korrekciót az alábbi összefüggés segítségével írhatjuk le:

$$\Delta U_g = U'' \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right],$$

ahol: $\Delta U''$ légüregek korrekciós tényezője
 R_1 a légüreget tartalmazó réteg hővezetési ellenállása [$\text{m}^2\text{K/W}$],
 $R_{T,h}$ a szerkezet hővezetési ellenállása a légüregek figyelembevétele nélkül [$\text{m}^2\text{K/W}$].

Az előbbi korrekciót nem kell alkalmaznunk tehát olyan esetekben, amikor a hőszigetelés felületfolytonosan vagy egynél több rétegben került kialakításra, a hőszigetelő táblák élei pontosan illeszkedve csatlakoznak, az illesztési pontatlanságok 5 mm-nél kisebb szélességűek, valamint a hőszigetelés hézagok és rések nélkül, szorosan csatlakozik a szerkezethez. Eltekinthetünk a korrekció alkalmazásától abban az esetben is, amikor a hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása a teljes, hőszigetelt szerkezet ellenállásának legfeljebb a felét jelenti, és a szigetelés pontosan illeszkedik a szerkezetre. Nem alkalmazunk korrekciót olyan esetben, amikor a légrés miatt a szerkezet hőátbocsátási tényezője nem romlik. Első szintű korrekciót kell alkalmaznunk minden olyan esetben, amikor az egy rétegben készített hőszigetelést szerkezeti elemek szakítják meg, pl. szarufa, gerendák vagy egyéb merevítő szerkezetek, azonban a hőszigetelés szorosan illeszkedik a szerkezetekhez. Az egyszerű hossztoldással készült folyamatos, egyrétegű hőszigetelések esetén a megengedett pontatlanság 5 mm, amely adódhat a hőszigetelő táblák hosszának, vastagságának vagy sarkának egyenlőtlenségéből is, viszont a szerkezet és a hőszigetelés között nincsenek légrések. A gyakorlatban második szintű korrekciót kell alkalmaznunk minden olyan hőszigetelt szerkezet esetén, amikor az egy vagy több rétegben elhelyezett hőszigetelés nem szorosan kapcsolódik a szigetelt szerkezethez, valamint a hőszigetelés meleg és a hideg oldala között légáramlás jöhet létre.

A hazai építéskivitelezés gyakorlatban homlokzati hőszigetelések esetén, ha a hőszigetelő táblákat az élük mentén folyamatos ragasztóhabarccsal látták el és a táblák közepén habarcs-pogácsákkal rögzítették, az első szintű korrekciót kell végrehajtanunk. Amennyiben a hőszigetelő táblákat kizárólag ragasztóhabarcs-pogácsákkal rögzítették a felületre, minden bizonnyal a második szintű korrekciót szükséges alkalmazni. Amennyiben teljes felületen történt meg a habarcsos ragasztás, nem szükséges korrekciót elvégeznünk. Vizsgáljuk meg számszerűsítve is e három lehetőséget. A mechanikai

rögzítés figyelembevételétől jelen példában eltekintünk, és kizárólag a légrések korrekcióját vesszük figyelembe.

Ha a hőszigetelést a kivitelezés során közvetlenül a téglafal elkészítése után, teljes felületen ragasztva helyezük fel, a következő réteggel számolhatunk belülről kifelé a szabványos felületi ellenállások figyelembevételével: 2 cm belső vakolat ($\lambda = 0,8 \text{ W/mK}$), 30 cm PTH N+F téglafalazat ($\lambda = 0,16 \text{ W/mK}$), 2 cm külső vakolat ($\lambda = 0,99 \text{ W/mK}$), 1 cm ragasztóhabarcs ($\lambda = 0,99 \text{ W/mK}$), 12 cm EPS-hab ($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$) és 0,5 cm vékonyvakolat-rendszer üvegszövet-erősítéssel ($\lambda = 0,99 \text{ W/mK}$). Ez esetben a réteggrend hőátbocsátási tényezője $U = 0,196 \text{ W/m}^2\text{K}$ -re, míg hővezetési ellenállása $5,1032 \text{ m}^2\text{K/W}$ -ra adódik, és ezt tekintjük $R_{T,h}$ -nak, azaz bárminemű légrések figyelembevétele nélküli hővezetési ellenállásnak.

A légrések korrekcióját négy esetben vizsgáljuk, melyek végeeselemes szimulációi és az így kapott hővezetési ellenállások az 1. ábrán láthatóak:

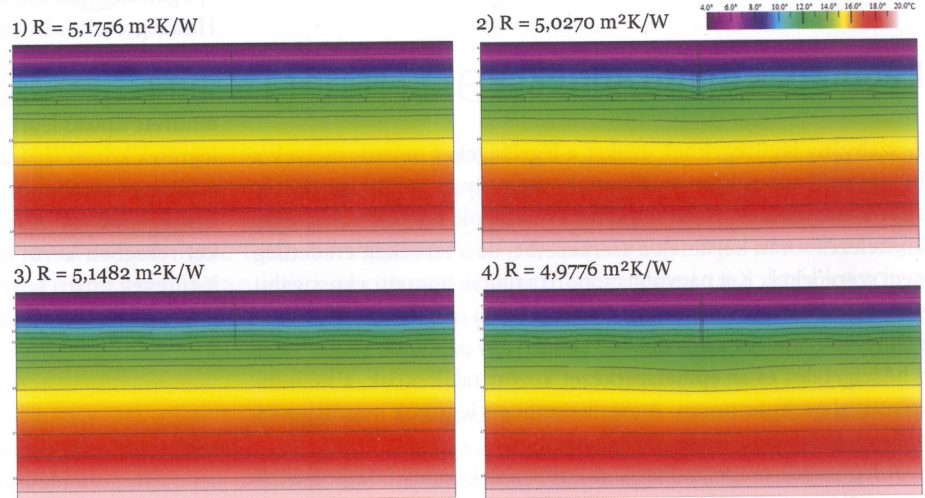
1. A hőszigetelést csupán ragasztóhabarcs-pogácsákkal rögzítették a falra, melyeket pontosan illesztettek.
2. A hőszigetelést ragasztóhabarcs-pogácsákkal rögzítették, a hőszigetelő táblák között 5 mm hézag is található.
3. A hőszigetelő táblákat szélükön folyamatosan ragasztóhabarccsal, valamint ragasztóhabarcs-pogácsákkal is ellátták, az illesztés pontos.
4. A hőszigetelés illesztése 5 mm hézagot tartalmaz, a széleken azonban folyamatos a ragasztóhabarcsolás.

A szimulációk során a 1 cm-es légréteg $\lambda = 0,067 \text{ W/mK}$, míg a 12 cm-es légréteg $\lambda = 0,543 \text{ W/mK}$ egyenértékű hővezetési tényezővel került figyelembevételre, mely megfelel az MSZ EN ISO 6946:2008 szabványnak.

Az 1. ábra alapján láthatjuk, hogy amennyiben figyelembe vesszük, hogy az 1. és 3. esetben a ragasztóréteg 40%-ban tartalmaz valójában ragasztóhabarcsot, és a maradék 60% levegő, a levegő hővezetési ellenállása pedig 1 cm-es vastagságban nagyobb, mint a ragasztóhabarcsé, így kedvezőbb értékeket kapunk (lásd 1/1. illetve 1/3. ábra). A 2. és 4. esetben ez az arány fordított, mivel a ragasztóhabarcs-pogácsák mellett a szigetelőtáblák szélei is el vannak látva habarccsal, ezáltal helyesen, a hőszigetelőanyag-gyártók technológiai utasításának megfelelően lettek rögzítve. Ez kismértékben ront a hővezetési ellenálláson, azonban alkalmazástechnikailag és tűzvédelmileg csak ez a megoldás elfogadható. Megfigyelhető, hogy az 5 mm-es hézag a hőszigetelés csatlakozásánál a szimulációs eredmények esetében a vizsgált kétdimenziós keresztmetszetekben szintén rontja a szerkezet hővezetési ellenállását (lásd 1/2. és 1/4. ábra).

A szabvány szerinti számítás esetén a kiindulási hővezetési ellenállást korrigálni szükséges a különböző keresztmetszetekben. Az 1. és 3. esetben a légrések „javulást okoz”, így eltekintünk a korrekciótól. Ezt alátámasztja az is, hogy mivel a ragasztóhabarcs-réteg, melyben a légrések találhatóak, csekély ellenállással bír, a korrekció a képlet alapján is szinte zérusra adódna. Azonban a 4. esetben az első szint szerinti, míg a 2. esetben a második szint szerinti korrekciót kell végrehajtani. A korrekciókat elvégezve a 4. esetben $\Delta U_g = 0,01 \times [(0,12 / 0,04) / 5,1032]^2 = 0,003456 \text{ W/m}^2\text{K}$ -t kapunk, mellyel a ré-

teggrend korrigált hőátbocsátási tényezője $U_c = 0,196 + 0,003456 = 0,1994 \text{ W/m}^2\text{K}$ -re növekszik, ami $5,015 \text{ m}^2\text{K/W}$ -os ellenállást jelent. A 2. esetben pedig a korrekció $\Delta U_g = 0,04 \times [(0,12 / 0,04) / 5,1032]^2 = 0,01382 \text{ W/m}^2\text{K}$ -t eredményez, mellyel $U_c = 0,196 + 0,01382 = 0,2098 \text{ W/m}^2\text{K}$, azaz $4,7664 \text{ m}^2\text{K/W}$ a hővezetési ellenállás. A szabványosan számított korrigált hővezetési ellenállások tehát kedvezőtlenebbek, mint a szabványosan szimulált keresztmetszetek esetén.



1. ábra: Légrésekkel rendelkező homlokzati hőszigeteléssel ellátott falazatok végeeselemes hőtechnikai szimulációja és hővezetési ellenállásai

A vizsgálat alapján kijelenthető, hogy a csupán ragasztóhabarcs-pogácsákkal történő rögzítés hőtechnikailag sem megfelelő megoldás, mert a táblák méretpontatlanságából, csorbult élleiből vagy a kivitelezés hiányosságaiból adódó akár már 5 mm-es hézagok az MSZ EN ISO 6946:2008 szabvány szerint a bemutatott réteggrendnél mintegy 7%-os növekedést okozna az épülethatároló szerkezet hőátbocsátási tényezőjében. Helyes ragasztási technológiával a légrések homlokzati hőszigetelésnél mintegy 2% alatti növekedést okoznak az U -értékben.

Mechanikai rögzítések miatti korrekció

A mechanikai rögzítések korrekcióját jelenleg is hajlamosak a szakemberek letudni a rögzítőelemek által átszúrt hőszigetelő rétegek hővezetési tényezőjének felületalapú elrontásával. Könnyen belátható azonban, hogy ez a számítás nem tud megfelelő közelítést adni, mert nem tud mihez kezdeni az esetleges „hőhidmegszakító” vagy más néven süllyesztett dübelekkel. Továbbá hagyományos dübelek esetén sem veszi figyelembe azok kialakítását, hogy a dübel átmérőjének valóban jelentős pontszerű hőhidat okozó része a beütőszeg és nem a dübel teste vagy tárcsája. Illetve azt, hogy az acélanyagú beütőszeg nem csupán a hőszigetelést „rontja” el jelentősen, de a falszerkezetet is, amelybe rögzítünk.

Nem szükséges a mechanikai rögzítés korrekciójával foglalkoznunk, amennyiben a dübel beütőszege anyagának hővezetési tényezője kisebb, mint 1 W/mK . Ez praktikusán a műanyag beütőszeges dübeleket jelenti. Átszellőztetett téglafal homlokzatburkolatok esetén, amennyiben azok kötőelemei nem szúrják át a hőszigetelést (mert a hátszerkezet hőszigetetlen kialakítású), szintén eltekinthetünk a korrekciótól. Alkalmaznunk kell viszont korrekciót minden olyan esetben, amikor legalább az említett nagyságú hővezetési tényezővel rendelkező szerkezeti elem pontszerű értelemben átszúr egy hőszigetelőanyag-réteget, legyen az homlokzati hőszigetelést

rögzítő dübel, átkötővas, tetőszerkezeti rögzítőelem vagy szendvicspanelek rögzítőeleme.

Amennyiben a konkrét pontszerű hővezetési tényező nem áll rendelkezésre, az alábbi egyszerűsített számítási eljárást kell alkalmaznunk a hőátbocsátási tényező korrekciójának meghatározásához:

$$\Delta U_f = \alpha \times \frac{\lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0} \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \left[\frac{W}{m^2K} \right],$$

ahol: α alakú tényező, mely:

- 0,8, ha a rögzítőelem teljesen átszúrja a hőszigetelő réteget, és
- $0,8 \times \frac{d_1}{d_0}$ ha a rögzítőelem süllyesztett,

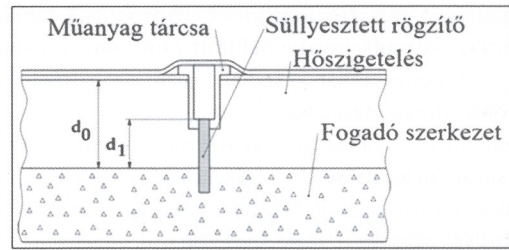
λ_f a rögzítőelem (beütőszeg) hővezetési tényezője [W/mK],
 A_f egy rögzítőelem keresztmetszeti területe [m²],
 n_f a rögzítőelemek egy négyzetméterre jutó átlagos darabszáma [db/m²],
 d_0 a hőszigetelő réteg vastagsága [m],
 d_1 a rögzítőelem azon hossza, mely átszúrja a hőszigetelő réteget [m],
 R_1 az átszúrt hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása a réteg átlagos hővezetési tényezőjével számolva [m²K/W],
 $R_{T,h}$ a hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása a rögzítőelemek hatása nélkül [m²K/W].

A zavartalan hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása az $R_{T,h} = d_0 / \lambda_{\text{hőszigetelés}}$ egyenlettel adható meg, míg az átszúrt hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása az $R_1 = d_0 / \lambda_{\text{átlag}}$ összefüggés szerint számolható hagyományos dübelek esetén, ahol például $\lambda_{\text{átlag}} = n_f \times A_f \times \lambda_f + (1 - n_f \times A_f) \times \lambda_{\text{hőszigetelés}}$. Amennyiben a rögzítőelem nem teljesen merőleges a szerkezetre, azaz a rögzítőelem valamilyen szögben halad keresztül a hőszigetelő rétegen, a d_1 hosszát nagyobbra is felvehetjük, mint d_0 -t. Süllyesztett rögzítő esetén d_1 azonban kisebb, mint d_0 , és ekkor $R_1 = d_1 / \lambda_{\text{átlag}}$.

Néhány rögzítőelem-gyártó megadja az általa forgalmazott dübelek pontszerű hőátbocsátási tényezőit, melyet az MSZ EN ISO 10211:2008 szabvány szerinti hőtechnikai szimuláció segítségével kaphatott meg. Az egy dübel által okozott hővesztés egy négyzetméterenkénti átlagos előfordulásuk szerint vehetjük számításba, mint korrekciós tényezőt:

$$\Delta U_f = n_f \times \chi \left[\frac{W}{m^2K} \right],$$

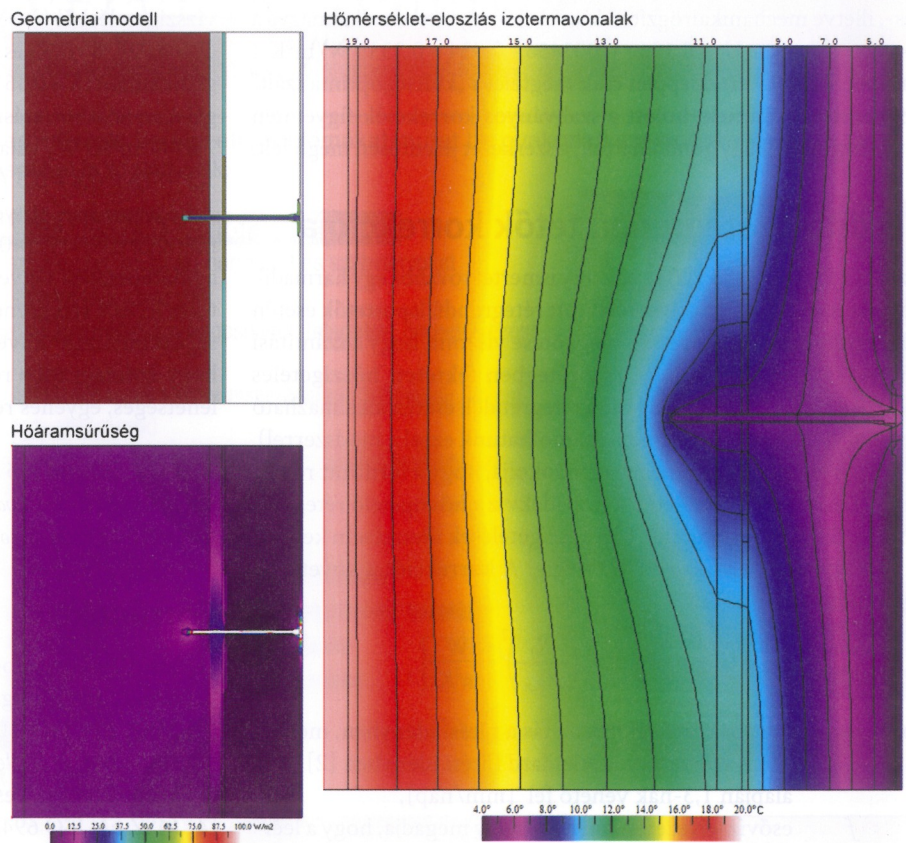
ahol: n_f a rögzítőelemek egy négyzetméterre jutó darabszáma [db/m²],
 χ egy darab rögzítőelem által okozott pontszerű hőátbocsátási tényező [W/K].



2. ábra: Süllyesztett dübel, valamint a „d₀” és „d₁” hossz értelmezése [forrás: 1]

Az előbbi számítások alapján is belátható, hogy a rögzítőelemgyártóknak a katalógusukban nem elegendő csupán egy pontszerű hővezetési tényezőt megadniük dübeltípusonként, hanem a különböző átmérővel és hosszal rendelkező rögzítőelemek eltérő értékkel rendelkeznek. Amennyiben tehát egy univerzális értékkel találkozunk a szakember a katalógusban, inkább számoljunk utána, hogy a számunkra megfelelő esetben milyen értékkel rendelkezik az adott rögzítőelem.

A hőtechnikai szimuláció segítségével előállított pontszerű hőátbocsátási tényező továbbá nem csupán a rögzítőelemen és a hőszigetelő rétegen múlik, hanem nagyságában valójában a szabvány által is figyelmen kívül hagyott hátszerkezet hőtechnikai minősége is szerepet játszik. Általános, hogy a mechanikai rögzítéseknek legalább 2,5–3,5 cm-re be kell fogniuk a falszerkezetbe, a furat hosszának pedig 0,5–1,0 cm-rel kell ennél hosszabbnak lennie. A 3. ábrán láthatjuk, hogy betartva a rögzítéstechnológiai ajánlásokat, a már előbbieken leírt rétegrend esetén az 5 mm átmérőjű acél beütőszeggel rendelkező hagyományos hőszigetelés-rögzítő dübel hogyan változtatja meg a hőáramok eloszlását és zavarja meg az izotermavonalakat nem csupán a hőszigetelő rétegben, hanem a vakolatban és a téglafalban is (melyet az egyszerűség és



3. ábra: Mechanikai rögzítés miatti pontszerű hőhíd kétdimenziós végelelemes szimulációja

irányfüggetlenség miatt homogénnek és izotrópnak feltételezünk). A hőtechnikai szimulációval előállított pontszerű hőátbocsátási tényezők tehát pontosabban ki tudják fejezni a rögzítőelemek által okozott többelhővesztéseket.

A 3. ábrán látható továbbá, hogy az acél rögzítőelem mintegy 30 cm átmérőjű sugárban jelentősen befolyásolja a környezetében az izotermavonalakat, a zóna átlagos hővezetési ellenállását $3,0889 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ -ra csökkentve. Négyzetméterenként átlagosan 6 db dübelt feltételezve az átlagos hővezetési ellenállásokkal számolva $[6 \times (0,32 \times \pi) / 4] \times 3,0889 + \{1 - [6 \times (0,32 \times \pi) / 4]\} \times 5,1032 = 4,2489 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ átlagos hővezetési ellenállást kapunk, melyből a szerkezet hőátbocsátási tényezője $U = 0,2354 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, azaz a mechanikai rögzítés miatti korrekció végeselemes szimulációval meghatározva, $\Delta U_f = 0,2354 - 0,196 = 0,0394 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Egy 5 mm-es átmérőjű és 180 mm hosszúságú acél ($\lambda = 60 \text{ W}/\text{mK}$) beütőszeggel rendelkező, poliamid tárcsás ($\lambda = 0,23 \text{ W}/\text{mK}$) rögzítőelem pontszerű hőátbocsátási tényezője téglafalazatban tehát $\chi = 0,006567 \text{ W}/\text{K}$ -re adódott.

Ha az MSZ EN ISO 6946:2008 szabvány szerinti egyszerűsített számítási eljárást alkalmazzuk, a hőátbocsátási tényező korrekciója, mely egyenletben $n_f \times A_f = 6 \times (0,005^2 \times \pi / 4) = 1,1781 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. A hőszigetelő réteg átlagos hővezetési ellenállása $R_1 = 0,12 / [1,1781 \times 10^{-4} \times 60 + (1 - 1,1781 \times 10^{-4}) \times 0,04] = 2,5497 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ -es, míg a rögzítőelemet nem tartalmazó keresztmetszet $R_{T,h} = 0,12 / 0,04 = 3 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ hővezetési ellenállással rendelkezik. A korrekció ezek alapján $\Delta U_f = 0,8 \times (60 \times 1,1781 \times 10^{-4} / 0,12) \times (2,5497 / 3)^2 = 0,034 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Egy rögzítőelem a szabványos közelítő számítás szerint $\chi = 0,005667 \text{ W}/\text{K}$ pontszerű hőátbocsátási tényezővel rendelkezik. Láthatjuk, hogy a szabványos számítás valóban nem foglalkozik a falazat gyengülésével, a korrekció kisebb eredményt ad, mint a szimuláción alapuló, pontosabb megoldás.

Vegyük észre, hogy bár a hőszigetelt falszerkezet egydimenziós hőátbocsátási tényezője $U = 0,196 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, a szabvány szerinti légzés-, illetve mechanikairögzítés-korrekciót együttesen alkalmazva a rétegtervi értékre $U_c = 0,196 + 0,003456 + 0,034 = 0,2335 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ -t kapunk. Ez az U -érték éppen csak megfelel a „költségoptimalizált” követelményszintnek, holott a szabványos korrekciók figyelmen kívül hagyásával úgy gondolhattuk, a szerkezet jelentősen megfelelt.

Fordított rétegrendű tetők korrekciója

Az MSZ EN ISO 6496:2008 szabvány ismertet továbbá egy harmadik korrekciós eljárást is, melyet fordított rétegrendű lapostető esetén alkalmazhatunk. A korrekció megkötése viszont, hogy a számítási eljárást csupán XPS-típusú, egy rétegben fektetett hőszigetelés esetére dolgozták ki, és kifelé hűlő rétegrendek esetén alkalmazható (azaz pl. hűtőházak esetén nem számolhatunk ezzel a módszerrel).

A korrekció szükségességét az indokolja, hogy a fordított rétegrendű tetőszerkezetek esetén a csapadékvíz a hőszigetelő réteg és a vízszigetelés között áramlik, és a hőszigetelések illesztéseinek keresztül jut az esővíz a vízszigetelő rétegig. A korrekciót a következő egyenlettel írhatjuk fel:

$$\Delta U_r = p \times f \times x \times \left(\frac{R_f}{R_{T,h}} \right)^2 \left[\frac{W}{\text{m}^2\text{K}} \right],$$

ahol: p átlagos csapadékinzintázás a fűtési idényben, mely Magyarországon a standard fűtési idényben [2] alapján 1,3-nak vehető fel [mm/nap],
 f esővíz-elvezetési tényező, mely megadja, hogy a leérkező csapadékmennyiség mekkora arányban éri el a vízszigetelő réteget [-],

x a vízszigetesen áramló folyadék miatt megnövekvő hővesztéseket kifejező tényező [$\text{W} \times \text{nap} / \text{m}^2 \times \text{K} \times \text{mm}$],
 R_f a vízszigetelő réteg feletti hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$],
 R_T az épülethatároló szerkezet teljes hővezetési ellenállása a korrekció alkalmazása előtt [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$].

Egyrétegű hőszigetelő réteg esetén az $f \times x$ szorzat 0,04-nek vehető fel, ha a hőszigetelő táblák egyszerű tompa illesztésekkel kapcsolódnak egymáshoz, és kavicsos vagy hasonló fedőréteggel vannak ellátva. Ez az összeállítás eredményezi a legnagyobb ΔU_f korrekciót, mely például horonyeresztékes kapcsolat vagy több rétegben és eltolással elhelyezett hőszigetelés esetén kedvezőbben alakul.



4. ábra: Magyarország havi átlagos csapadékösszegei [forrás: 2]

Gyakorlati példán szemléltetve egy fordított rétegrendű lapostető rétegrendje 2 cm belső vakolatból ($\lambda = 0,8 \text{ W}/\text{mK}$), 20 cm 2% vashányaddal rendelkező vasbetonból ($\lambda = 2,5 \text{ W}/\text{mK}$), 5 cm lejtést adó cementsimításból ($\lambda = 1,3 \text{ W}/\text{mK}$), 0,5 cm bitumenes vízszigetelésből ($\lambda = 0,8 \text{ W}/\text{mK}$), 30 cm XPS-hab hőszigetelésből ($\lambda = 0,038 \text{ W}/\text{mK}$) és 6 cm 16/32 mm-es szórt leterhelő kavicsréteg geotextilián ($\lambda = 0,35 \text{ W}/\text{mK}$) rétegekből áll. A tetőszerkezet korrigálatlan hőátbocsátási tényezőjének számításához $R_1 = 0,3 / 0,038 = 7,8947 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, valamint $R_T = 0,1 + 0,02 / 0,8 + 0,2 / 2,5 + 0,05 / 1,3 + 0,5 / 0,8 + 0,3 / 0,038 + 0,06 / 0,35 + 0,04 = 8,356 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$. A hőátbocsátási tényező $U = 1 / R_T = 0,120 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. A korrekció mértéke $\Delta U_f = 1,3 \times 0,04 \times (7,8947 / 8,356)^2 = 0,0464 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, azaz a hőátbocsátási tényezőt a fordított rétegrend közel 40%-kal rontotta le, és a rétegrendi $U = 0,166 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ éppen megfelel a „költségoptimalizált” követelményszintnek. A példa alapján belátható, hogy érdemes több rétegben elhelyezni a hőszigetelést, illetve ha lehetséges, egyes rétegrendű tetőszerkezetet tervezni.

A cikksorozat a változó vastagságú hőszigetelő rétegek hővezetési ellenállásának meghatározásával és az inhomogén épületszerkezetek hőátbocsátási tényezőjének szabványos számításával folytatódik a következő lapszámban.

Források:

- [1] <http://megterulo-epuletenergetika.hu/segedletek>
- [2] <http://met.hu/eghajlat>
- [3] MSZ EN ISO 10211:2008 *Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2008.
- [4] MSZ EN ISO 6946:2008 *Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszer*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2008.