



Nagy Balázs

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

Összetett épületsz és részletes hőtechnikai

Pontszerű és vonalmenti hőhidak 3.

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 harmadik, befejező részében a változó vastagságú réteget tartalmazó, valamint a homogén és inhomogén rétegekből álló szerkezetek hőátbocsátási tényezőjének számítását tekintjük át, illetve végezzük a kézi számítási eljárással megkapható eredményeket két- és háromdimenziós hőtechnikai szimulációkkal hasonlítjuk össze.

Bevezetés

A 7/2006. TNM rendelet értelmében a rétegtervi hőátbocsátási tényezőben a szerkezetek inhomogeneitásból származó hőhidak hatásait figyelembe kell vennünk. Az első cikk ezen hőhidak áttekintő bemutatásával, számítási eljárásaik és hatásaik rövid ismertetésével foglalkozott. A második cikkben az épületszerkezetek hőátbocsátási tényezőinek korrekcióit tekintettük át, mely esetén feltételeztük, hogy a szerkezet homogén és azonos vastagságú rétegekből épült fel, a hőtechnikai folyamatok a szerkezeten belül emiatt leírhatóak egydimenziós, állandósult állapotbeli hővezetéssel. Az ilyen szerkezetek, melyek az épületenergetikai tanúsítás során döntő többségében számításra kerülnek, jellemezhetőek voltak egy ún. egydimenziós hőátbocsátási tényezővel.

Azonban olyan esetekben, amikor az épülethatároló szerkezeteken belül egy réteg, amely a hőtechnikai folyamatokra jelentős befolyással van (azaz jelentős hővezetési ellenállással rendelkezik), de a vastagsága a szerkezeten belül egy- vagy akár két irányban is folyamatosan változik, speciális számítási eljárást kell alkalmaznunk a hőátbocsátási tényező meghatározásához. Ilyen szerkezetek tipikusan azon lapostető kialakítások, melyeknél a lejtést adó réteget a hőszigetelő réteggel oldja meg a tervező, emiatt a tetőszerkezet hővezetési ellenállása az eltérő hőszigetelő anyag vastagságok miatt pontról pontra változó.

Amennyiben pedig a vizsgált épülethatároló szerkezet nem csupán homogén, hanem inhomogén

rétegeket is tartalmaz, emiatt az adott szerkezeten belül felvett metszetekben eltérő a hővezetési ellenállás, az egydimenziós hőátbocsátási tényező nem alkalmazható. Számítható viszont egy felső és egy alsó becslést adó hővezetési ellenállási érték, melyek átlaga jól közelítheti a homogén és inhomogén rétegeket tartalmazó épületszerkezetek átlagos hővezetési ellenállását. Meg kell jegyezni továbbá azt is, hogy az inhomogeneitást okozó elemek gyakorta periodikusan ismétlődnek, így egy adott ismétlődő szakasz lehatárolásával és feldolgozásával a teljes határoló szerkezetre jellemző értéket meghatározhatjuk. Tipikusan ilyen inhomogeneitások találhatók a magastetős rétegrendek esetén, ahol a szarufák periodikus ismétlődése szakítja meg a hőszigetelő réteget, illetve a vázas épületek esetén is e módszer szerint kell számolnunk a homlokzati falra jellemző hőátbocsátási tényezőt.

Az előbbieken említett, hőtechnikailag összetettebb épülethatároló szerkezetek hőátbocsátási tényezőjének számítására részletes számítás esetén az MSZ EN ISO 10211 szabvány szerint végrehajtott numerikus szimulációt alkalmazhatjuk, egyszerűsített számítás esetén azonban a következőkben részletesen bemutatott MSZ EN ISO 6946 szabvány szerinti számítási módszerek állnak rendelkezésünkre, melyek alkalmazását a hatályos 7/2006. TNM rendelet megköveteli.

Változó vastagságú réteget tartalmazó szerkezetek

Egyszerűsített számítási eljárás alkalmazására akkor van lehetőségünk, ha a szerkezetben található változó vastagságú réteg lejtése nem haladja meg az 5%-ot. Amennyiben e határt túllépi a számítandó szerkezet, kizárólag numerikus szimuláció segítségével kaphatunk megfelelő eredményt. Szintén csak részletes számítás szerint kaphatunk elfogadható megoldást,



erkezetek egyszerűsített kai modellezése

ha több, egymástól eltérően változó vastagságú réteget tartalmaz a vizsgált keresztmetszet, valamint ha a változó vastagságú réteg hőtechnikailag inhomogén, azaz egyes pontjain vagy irányonként eltérő hővezetési tényezővel rendelkezik.

A szabványos számítási eljárás első lépéseként a változó vastagságú réteget tartalmazó szerkezetet a hőáram irányára párhuzamos síkokkal fel kell osztanunk egyszerű geometriai alakzatokra, melyeket az 1. ábrán találhatunk. Az ábra továbbá tartalmaz egy L alakú lapostető felbontását is, mely analógiáját követve bármilyen alakú tetőszerkezet felbontását el tudjuk végezni. A felbontás során derékszögű négyzög alapterületű, egy irányban változó vastagságú réteget tartalmazó (1/a ábra), vagy háromszög alapterületű, és a változó réteg a háromszög csúcsánál legnagyobb vastagságú (1/b ábra) vagy a csúcsnál legkisebb vastagságú (1/c ábra), illetve az egyes csúcsoknál eltérő vastagsággal rendelkező (1/d ábra) testekre bontható fel. E felbontás esetén a változó vastagságú réteg a homogén és állandó vastagságú rétegek között beágyazva is elhelyezhető. Az ábrán, illetve a sematikus geometriai formák melletti összefüggésben ugyanis az R_0 jelölésű hővezetési ellenállás mindazon homogén rétegek hővezetési ellenállásának összege (kiegészülve természetesen a mindkét oldalon megtalálható felületi hőátadási ellenállással is), melyek vastagsága a szerkezeten belül állandó. R_1 a változó vastagságú réteg középső, d_1 vastagságához tartozó hővezetési ellenállás, R_2 pedig a változó vastagságú réteg maximális hővezetési ellenállása, melyet a réteg legvastagabb pontjához tartozó d_2 méret és a réteg λ_1 tervezési hővezetési tényezőjének felhasználásával számíthatunk az épületenergetikusok által minden bizonnyal jól ismert $R = d/\lambda$ összefüggés segítségével.

Az 1. ábra összefüggéseit felhasználva a lapostető felbontott részeinek hőátbocsátási tényezője egyszerűen, bár hosszas számológépes manőverek után meghatározható. Azonban a teljes tetőszerke-

zet hőátbocsátási tényezőjének számításához a felbontott részek hőátbocsátási tényezőit a szerkezet teljes felületéhez viszonyítva súlyoznunk kell az alábbi módon:

$$U = \frac{\sum U_i \times A_i}{\sum A_i} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Amennyiben pedig a szerkezet hővezetési ellenállását szeretnénk meghatározni, azt az előbbieken meghatározott, teljes felületre vonatkozó átlagos hőátbocsátási tényező reciprokaként adhatjuk meg.

Homogén és inhomogén rétegek figyelembevétele

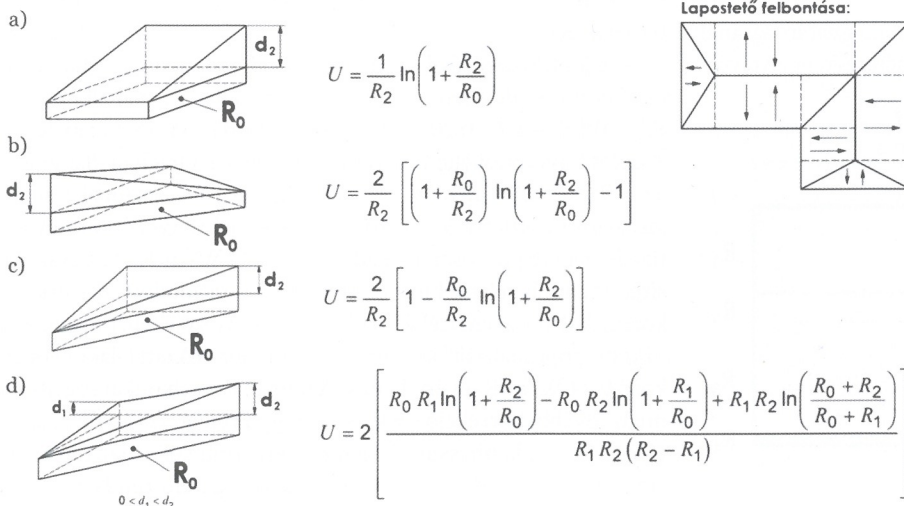
Az MSZ EN ISO 6946 szabvány egy egyszerűsített, kézi számítással is végrehajtható eljárást határoz meg a homogén és inhomogén rétegeket is tartalmazó keresztmetszetek R_T hővezetési ellenállásának számítására. Az egyszerűsített módszer alkalmazásának feltétele, hogy az összetett szerkezet hővezetési ellenállásának módszer szerint meghatározott alsó, illetve felső értékének hányadosa nem haladhatja meg a 1,5-et. Amennyiben a módszert alkalmazzuk, a számítási eljárás relatív hibája legfeljebb 20% lehet.

Az egyszerűsített számítási eljárás során az épületemet a hőáram irányára merőleges, illetve azzal párhuzamos síkokkal olyan rétegekre és sávokra (szekciókra) kell osztani, amelyek eredményeként létrejövő részegységek önmagukban hőtechnikailag homogénnek tekinthetők. A hővezetési ellenállás felső határának meghatározásához a hőáramlás irányával párhuzamos keresztmetszeteket veszünk fel, melyek hővezetési ellenállását számítjuk. A teljes hővezetési ellenállás R'_T felső határának számításakor a homlokfelületre merőlegesen egydimenziós hőáramlás kialakulását feltételezzük.

Az egyes, különböző rétegösszetételeknél felvett keresztmetszetekben meghatározott hővezetési ellenállásokat pedig a homlokfelületen való előfordulás arányában vesszük figyelembe, azaz a homlokfelületet jellemző f_i arányok együttesen mindig 100%-ot kell kiadniuk, így a számítással megkapott felső hővezetési ellenállás is valóban egységnyi (1 m^2) felületre fog vonatkozni. Az R_{Ti} hővezetési ellenállásokból tehát az alábbi összefüggés segítségével kaphatjuk meg R'_T -t:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}}$$

Figyeljünk arra, hogy R_{Ti} hővezetési ellenállásoknak tartalmazniuk kell a mindkét oldalon fellépő felületi hőátadási ellenállás értékeit is.



1. ábra: Változó vastagságú szerkezetek geometriafüggő hőátbocsátási tényezői

Az összetett épülethatároló szerkezet teljes hővezetési ellenállásának R''_T alsó határának számításakor a homlokfelülettel párhuzamos osztással kialakított rétegeknél izotermális felületűnek tekintjük. A számítás során az egyes rétegekre R_j egyenértékű hővezetési ellenállás értékeket kell meghatározni, mely az adott j -edik rétegben található szerkezetek R_{ij} hővezetési ellenállásainak f_i homlokfelületi arányok szerinti összegzése, képlettel felírva (amelyben i index ezúttal is a szabvány jelölésrendszere szerint a-tól q -ig fut):

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}}$$

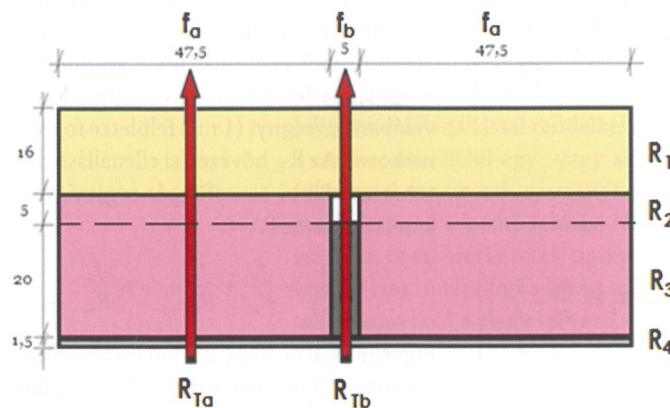
Az előbbi összefüggés segítségével meghatározott egyenértékű hővezetési ellenállásokat ezután összegeznünk kell, mellyel megkapjuk R''_T -t. Az összegzés során a külső és belső oldalon is számításba veendő felületi hőátadási ellenállásokat is összegeznünk kell, az összegző képlet a következő:

$$R''_T = R_{si} + \sum R_j + R_{se}$$

Az alsó és felső határ-hővezetési ellenállások meghatározása után a vizsgált épületszerkezetre jellemző teljes hővezetési ellenállás az alsó és felső érték átlagaként határozható meg, melynek reciproka adja a hőátadási tényezőt. A számítási módszer során figyeljünk arra, hogy pontszerű inhomogeneitások esetén a bemutatott számítási módszer nem alkalmazható, így pl. fém dübeles rögzítőelemek esetén azok hatását mechanikai rögzítésekre meghatározott korrekciós eljárással kell számítani.

Vizsgáljuk a továbbiakban egy vázas épület homlokzati falrészletét, melyen keresztül az egyszerűsített számítási eljárás jobban szemléltethetővé válik. A példában a homlokzati falazat 25 cm vastagságú vázkitöltő falazóelemből ($\lambda_{\text{tégla}} = 0,25 \text{ W/mK}$) készül, melyben 4 méteres tengelytávolsággal 20/20 cm-es vasbeton teherhordó oszlopok ($\lambda_{\text{vasbeton}} = 2,5 \text{ W/mK}$) találhatóak, 5 cm kiegészítő hőszigeteléssel ($\lambda_{\text{hőszigetelés}} = 0,04 \text{ W/mK}$) a külső oldalukon. A homlokzati falazat külső oldalán 16 cm vastagságban dryvit rendszerű hőszigetelő rendszer került felhelyezésre ($\lambda_{\text{dryvit}} = 0,05 \text{ W/mK}$), mely magában foglalja a 0,5 cm hőszigetelő-ragasztóhabarcs réteget, a 15 cm EPS80 hőszigetelést és a 0,5 cm külső vékonyvakolat rendszert is. A belső oldalon 1,5 cm belső vakolat ($\lambda_{\text{vakolat}} = 0,8 \text{ W/mK}$) található. A szerkezet a 2. ábrán sematikusán került megjelenítésre, melyen a felső határ számításához meghatározott keresztmetszeteket piros nyílal jelöltük, míg az alsó határ meghatározásához szükséges, hőáram irányára merőleges rétegek egyenértékű hővezetési ellenállásait R_1 - R_4 jelölést kaptak.

A 2. ábrán továbbá az f_a és f_b homlokfelületek meghatározásánál figyelembe vettük, hogy a homlokzati falban 4 méteres tengelytáv-



2. ábra: Vázás épület periodikusan ismétlődő részlete

ságban helyezkednek el a vasbeton oszlopok, azaz egy periódusban 380 cm vázkitöltő falazat és 20 cm vasbeton oszlopot tartalmazó réteg található. E szerint $0,2/4,0 = 1/20$ arányban található vasbeton oszlop, és $3,8/4,0 = 19/20$ arányban fordul elő vázkitöltő téglafal, ami egy négyzetméterre vetítve $0,05 \text{ m}^2$ vasbeton oszlopot és $0,95 \text{ m}^2$ ásványgyapot hőszigetelést jelent. Ezen arányokat alkalmazzuk az átlagos, egyenértékű hőátadási tényező meghatározásakor.

A példát komplexebbé téve, tételezzük fel, hogy a vázas épület irodaként funkcionál, melyben a fűtési idény során a belső léghőmérséklet $24 \text{ }^\circ\text{C}$, a külső oldalon a fűtési idény átlagos hőmérsékletét, valamint $3,5 \text{ m/s}$ -os átlagos szélességet vegyünk figyelembe. A felületi hőátadási ellenállások részletes számításakor egyéb adatok híján a felületek félgömb sugárzási együtthatóit (emissziós tényezőit) az MSZ EN ISO 6946 szabvány szerint $0,9$ -del vehetjük figyelembe. A belső oldalon vízszintes irányú hőáramlás ($h_{ci} = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$) és $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ($297,15 \text{ Kelvin}$) esetén: $R_{si} = 1/(h_{ci} + \varepsilon \times 4 \times \sigma \times T_m^3) = 1/(2,5 + 0,9 \times 4 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 297,15^3) = 0,127 \text{ m}^2\text{K/W}$ értékű a felületi hőátadási ellenállás. A külső oldalon pedig $v = 3,5 \text{ m/s}$ -os szélesség és a fűtési idény átlagos, $4 \text{ }^\circ\text{C}$ -os ($277,15 \text{ Kelvin}$) külső hőmérséklet feltételezésével a felületi hőátadási ellenállás: $R_{se} = 1/(h_{ce} + \varepsilon \times 4 \times \sigma \times T_m^3) = 1/(4 + 4 \times 3,5 + 0,9 \times 4 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 277,15^3) = 0,0448 \text{ m}^2\text{K/W}$.

A felületi ellenállások meghatározása után a teljes hővezetési ellenállás felső értékéhez meghatározzuk az egyes hőárammal párhuzamosan kivágott sávok teljes hővezetési ellenállásait (belsőről kifelé haladva az egyes rétegeken): $R_{Ta} = 0,127 + 0,015/0,8 + 0,25/0,25 + 0,16/0,05 + 0,0448 = 4,391 \text{ m}^2\text{K/W}$ és $R_{Tb} = 0,127 + 0,015/0,8 + 0,20/0,25 + 0,05/0,04 + 0,16/0,05 + 0,0448 = 4,721 \text{ m}^2\text{K/W}$. A teljes hővezetési ellenállás R''_T felső határa pedig, ahol f_a , f_b a vizsgált sávok hőáram irányára merőleges, arányosított felületei: $1/R''_T = 2 \times 0,475/4,391 + 0,05/4,721 = 0,0227 \text{ W/m}^2\text{K}$, ami $R''_T = 4,405 \text{ m}^2\text{K/W}$ felső hővezetési ellenállást jelent. A teljes hővezetési ellenállás alsó határának meghatározásához számítjuk a hőáramra merőleges rétegek egyenértékű hővezetési ellenállásait. Amennyiben az adott réteg teljes hőáramra merőleges irányában homogén, a hővezetési ellenállás közvetlenül számítható, azonban inhomogén esetben (ilyen jelenleg az R_2 és R_3 ellenállás is) a homlokfelületekkel kell arányosítani: $R_1 = 0,16/0,05 = 3,2 \text{ m}^2\text{K/W}$, $1/R_2 = 2 \times 0,475/(0,05/0,25) + 0,05/(0,05/0,04) = 4,79 \text{ W/m}^2\text{K}$, amelynek reciproka $R_2 = 0,209 \text{ m}^2\text{K/W}$. A harmadik, vasbeton oszlopot tartalmazó inhomogén réteg: $1/R_3 = 2 \times 0,475/(0,20/0,25) + 0,05/(0,20/2,5) = 1,81 \text{ W/m}^2\text{K}$, amelyből $R_3 = 0,552 \text{ m}^2\text{K/W}$. A vakolat ismét teljesen homogén réteg, ezért $R_4 = 0,015/0,8 = 0,019 \text{ m}^2\text{K/W}$.

A teljes hővezetési ellenállás R''_T alsó határa tehát az előbbieket összegezve, és figyelembe véve a felületi hőátadási ellenállásokat is: $R''_T = 0,127 + 3,2 + 0,209 + 0,552 + 0,019 + 0,0448 = 4,152 \text{ m}^2\text{K/W}$. A teljes hővezetési ellenállás az alsó és felső határ-ellenállás átlaga, azaz $R_T = 4,279 \text{ m}^2\text{K/W}$ -ra adódott, melynek reciproka adja a szerkezeti részletre jellemző hőátadási tényezőt, amely két tizedes jegyre pontosan megadva $U_0 = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$. Az egyszerűsített számítás relatív hibája a példánál 3%-ra adódott. A szerkezet korrigálatlan, egyenértékű hőátadási tényezője tehát megfelelne a „költségoptimalizált” követelményszint homlokzati falakra vonatkozó $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ -es értékének. Azonban a mechanikai rögzítések miatt további korrekció szükséges, hogy a rétegtervi hőátadási tényezőt megkaphassuk. Végezzük el a dübelek miatti korrekciót, amelyhez tudjuk, hogy a dryvit hőszigetelő rendszert teljes keresztmetszetében átszűrő 5 mm -es átmérőjű acél beütőszeggel rendelkező dübeleket 6 db/m^2 mértékben alkalmaztuk. A mecha-

nikai rögzítések miatti ΔU_f korrekció képlete a következőképpen alakul a leírt esetben:

$$\Delta U_f = 0,8 \times \frac{\lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0} \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

ahol: λ_f A rögzítő elem (beütőszeg) hővezetési tényezője, 50 W/mK
 A_f Egy rögzítő elem keresztmetszeti területe, $1,9635 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
 n_f A rögzítőelemek egy négyzetméterre jutó átlagos darabszáma, 6 db/m²
 d_0 A hőszigetelő réteg vastagsága, 0,16 méter
 R_1 Az átszúrt hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása a hőhidak figyelembevétele nélkül, $R_1 = 3,2 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $R_{T,h}$ A szerkezet hővezetési ellenállása a hőhidak figyelembevétele nélkül, $R_{T,h} = R_T = 4,152 \text{ m}^2\text{K/W}$

A behelyettesítéseket elvégezve az eredmény $\Delta U_f = 0,0175 \text{ W/m}^2\text{K}$ -re adódik. A rétegtervi hőátbocsátási tényezőt az MSZ EN ISO 6946 szabvány értelmében két tizedes jegy pontossággal adjuk meg. A rögzítőelemek miatti korrekció a korrigálatlan szerkezet átlagos, egyenértékű hőátbocsátási tényezőjéhez képest 7,48% növekedést eredményez (mely több, mint 3% rontást eredményez), ezért alkalmazzuk. Ezzel az összetett épülethatároló szerkezet rétegtervi hőátbocsátási tényezője $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, a példában szereplő keresztmetszet éppen nem felelt meg a „kölségoptimalizált” követelményszintnek!

Egyszerűsített és részletes modellezés összehasonlítása

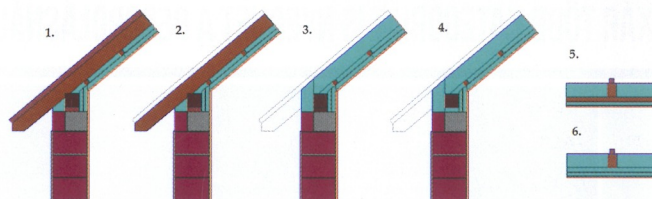
Az eddigiekben bemutatott, szabványos egyszerűsített számítási eljárást a továbbiakban egy magastető csomóponti részlet segítségével összehasonlítjuk a szintén szabványos, de immáron részletes számítási eljárásnak előírt numerikus hőtechnikai szimulációk eredményeivel. A példában bemutatott csomópont hőáram szimulációjának elvégzése továbbá azért is érdekes, mivel a magastető csomópont nem található a szabványos hőhidkatalógusnak tekinthető MSZ EN ISO 14683 szabványban sem.

A tervezett magastető egy periodikusan ismétlődő részletének szimulációját végelemes alapon végzem el, összehasonlítva a háromdimenziós, illetve a kétdimenziós szimulációval kapható, valamint az MSZ EN ISO 6946 szabványban szereplő, egyszerűsített számítással kapható eredményeket.

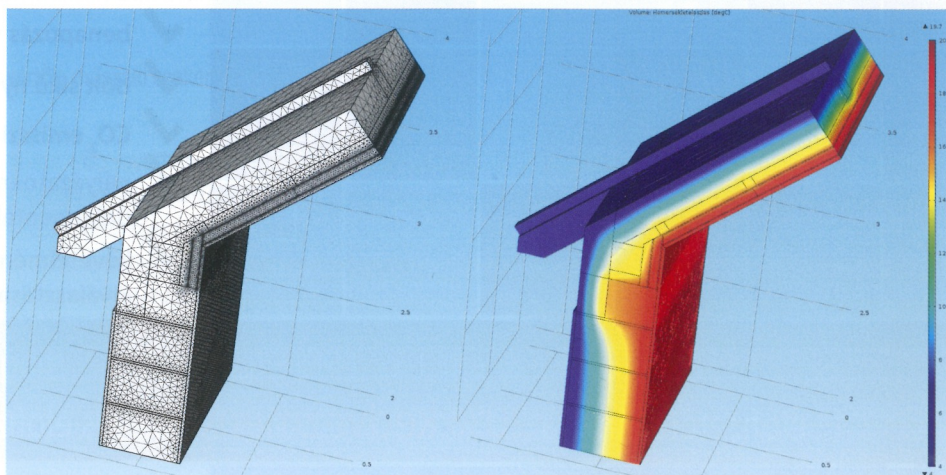
A részletes eljárás szerint a vonatkozó MSZ EN ISO 10211 szabvány alapján választhatunk a kétdimenziós és háromdimenziós feldolgozás között. A szerkezeti csomópontok modellezésekor a geometriai modell dimenziószámának megválasztása fontos kérdés. Egyértelmű lehet, hogy a legrészletesebb eredményeket háromdimenziós modell esetén kaphatjuk, azonban ha egy szerkezet szimulációjánál kétdimenziós modellt vagy modelleket alkalmazunk, a szimulációval töltött időt jelentősen csökkenthetjük. A háromdimenziós modell elkészítésének időigénye gyakorlott felhasználó esetén nem jelent számottevő többletidőt a kétdimenziós modellekhez képest, azonban a modell

numerikus számítása lényegesen nagyobb mátrixok megoldását jelent, emiatt a számítógépünknek is jelentősen nagyobb erőforrásra lesz szüksége. A példában bemutatott 3D szimuláció 64 GB rammal rendelkező 16 magos Xeon munkaállomáson készült. A két- vagy háromdimenziós modellek alkalmazásának szükségessége lényeges kérdés az anyagiak szempontjából is, mivel jelenleg szabadon elérhetőek kétdimenziós VEM és VDM szoftverek, azonban a háromdimenziós szimulációk futtatására képes programcsomagok ára jelentős, akár milliós nagyságrendű is lehet.

Ha csak síkban modellezzük a szerkezeteket, gyakran szükség van több metszet szimulációjára is, hogy a szerkezeten belüli változásokat követni tudjuk, majd az eredményeket valamilyen metódus (általában a keresztmetszet előfordulásának gyakorisága) szerint átlagolnunk kell. Ennek a jelenségnek a bemutatására egy 40°-os hajlású magastetős csomópontot vizsgálunk, mely során kétirányú metszeteket hozunk létre, mivel a 10×15 cm-es szarufák tengelytávja 1,0 méter, továbbá a 15×15 cm-es talpszelemenek a szarufák alatt 20×15×5 cm-es pallóalátéteken csatlakoznak a vasbeton koszorúhoz. A vízszintes irányú metszeteket (3. ábra 5-6. metszet) a szarufákra merőlegesen elhelyezett 5×5 cm-es lécváz indokolja, melyek között ásványgyapot található. A tetőhajlás miatt, emlékezve az első cikkben bemutatott módszer-összehasonlításra, a feladat megoldásához VEM-et alkalmazó szoftvereket választottunk. A számításokhoz és szimulációkhoz az MSZ 24140:2015 szabványban megadott anyagtulajdonságokat alkalmaztunk minden modell esetében. A peremfeltételek a belső oldalon 20 °C fokos hőmérséklet mellett az MSZ EN ISO 6946 szabvány alapján számítva $R_{si} = 0,131 \text{ m}^2\text{K/W}$ -nek határoztuk meg. A külső oldali felületi ellenállást a magyarországi épületenergetikai számításokról szóló rendeletben meghatározott átlagos fűtési idénybeli külső átlaghőmérséklet alapján 4 °C és a vonatkozó szabványban alapértelmezett 4 m/s átlagos szélesebség mellett $R_{se} = 0,041 \text{ m}^2\text{K/W}$ -re adódott.



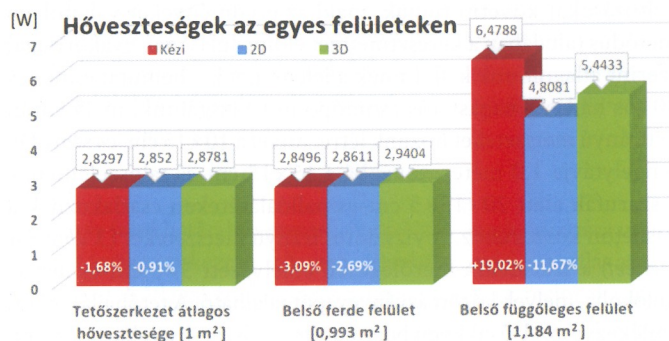
3. ábra: Magastetős csomópont metszetei kétdimenziós VEM szimulációhoz (Therm 7)



4. ábra: Magastetős csomópont háromdimenziós modellje végelemes háló (balra) és hőmérséklet-eloszlás (jobbra) megjelenítésével (Comsol Multiphysics)

A kétdimenziós hőtechnikai szimuláció futtatásához THERM 7 szoftvert választottunk, majd a 6 db keresztmetszet eredményeit felületarányosan átlagoltam. Háromdimenziós szimuláció esetén a teljes komponens háromdimenziós modelljén készítettük el, melyet Comsol Multiphysics 4.2 szoftverrel futattunk le.

Az egydimenziós számítást kézi számítási eljárást az előbbieken részletesen bemutatott homogén és inhomogén rétegek figyelembevételét lehetővé tevő szabványos módszerrel határoztuk meg, különválasztva a tetőszerkezetet (mint ferde részt) és a térdfalat (mint függőleges részt).



5. ábra: Hővesztések az egyes vizsgált felületeken keresztül

Készült továbbá mindhárom esetben egy a tetőszerkezet és térdfal kapcsolatát figyelmen kívül hagyó, csak egységnyi négyzetméterre vonatkozó tetőmodell is.

A számított és numerikus szimulációval meghatározott hővesztéseket az 5. ábrában találjuk. Az eredmények vizsgálata során megállapítható, hogy a szabvány szerinti 1D kézi számítás majd 20%-kal túlbecsülte az 1,184 m² felületű magastető szakasz hővesztését, azonban a 2D-s szimuláció közel 12%-kal a „biztonság ellen” tévedett a 3D szimulációhoz képest. Megfigyelhető, hogy a tetőszakaszon az eredmények kevéssé térnek el egymástól, azonban a térdfalnál a csomópont összetettsége miatt igen nagy különbségek alakulnak ki a számított hővesztések között. A vizsgálat alapján összetett csomópontok hővesztéseit 3D-s VEM-et alkalmazó szoftverrel javasolt szimulálni. Azonban amennyiben a tetőszerkezet hővesztéseire vagyunk kíváncsiak, a szabvány szerinti kézi számítás kevesebb, mint 2%-al adott eltérő eredményt a 3D-s szimulációhoz képest, ezáltal megközelítette a 2D-s szimuláció pontosságát, mely 1% alatti eltérést adott. Viszont nem elhanyagolható tény, hogy az MSZ EN ISO 6946 szerinti kézi számítás összetettebb szerkezetek esetén lényegesen időigényesebb, mint a kétdimenziós végeselemes szimulációk elkészítése, melyekhez az általunk is alkalmazott THERM 7 szoftver térítésmentesen elérhető a fejlesztő Lawrence Berkeley National Laboratory weboldalán.

Források:

- Nagy Balázs: *Geometriai modellek kialakításának hatása tetőcsomópontok végeselemes és véges differenciámódszeres többdimenziós hőtechnikai szimulációi esetén*, Magyar Építőipar 2014/5, 220-223. oldal
- Szende Árpád, Tóth Elek, Gáts Andrea, Nagy Balázs: *Kötelező Energetikai Tanúsítvány*, Fórum Média Kiadó, Budapest, 2015.

A RÉSZLETES SZÁMÍTÁS NEM FELTÉTLENÜL TÖBBLETMUNKA. ÉS AKÁR TÖBB KATEGÓRIÁT IS NYERHET A BESOROLÁSNÁL.

Készítsen komplettebb, részletesebb dokumentációt, akár kevesebb adatbevitellel és rövidebb idő alatt.

Teljes szoftvertámogatás	Követelményszintek automatikus kezelése	Részletes beállítási lehetőségek	Folyamatos fejlesztés és jogszabálykövetés
Benapozás vizsgálat földrajzi koordináták alapján	Ablaktervező, dőlt síkú ablakok számítása	Lementhető kedvező szerkezetek	OÉNY adatbázisba való feltöltés egy lépésben
Egyszerű és részletes számítási mód, váltás akár lépésenként	Nagyméretű anyagadatbázis (>1400 tétel)	Google Maps komponens	Utcakép készítés Google Streetview komponenssel
Részletes elemzések a javaslatok készítéséhez	Hőszigetelések áttöréseinek részletes számítása	Dropbox feltöltés	Javaslatok alátámasztása egyszerűen másodpéldányból

- ✓ számítás a módosított 7/2006 (V.24.) TNM rendelet szerint, állandó jogszabálykövetéssel
- ✓ beépített korrekciós tényezők
- ✓ választható részletes számítási módok: hőhidak, talajjal érintkező szerkezetek, fűtési energiaigény, sugárzási nyereségek, stb.
- ✓ benapozás vizsgálat grafikus kezelőfelülettel
- ✓ dőlt síkú nyílászárók számítása
- ✓ CO₂ emisszió
- ✓ pályázatokra készülő összetett dokumentálásra felkészítve
- ✓ követelményszintek egyszerű kiválasztása



A megtérülő ÉPÜLETENERGETIKA magazin előfizetői számára **20% kedvezmény** az éves előfizetési díjból.

TESZTELJEN!
Ingyenes
próbatermióval

Auricon EnergetiC
ÉPÜLETENERGETIKAI SZÁMÍTÓ ÉS TANÚSÍTÓ SZOFTVER

Bővebb információkért és a magazin előfizetőknek járó 20% kedvezményért keresse fel a következő weboldalt, vagy olvassa be a QR kódot.