



Nagy Balázs

szerkezet-
építőmérnök MSc,
épületenergetikai
szakmérnök,
doktorandusz (BME
Magasépítési Tanszék)

A hőhidak, meghatározás és hatásuk az épüle

Pontszerű és vonalmenti hőhidak 1.

Jelen cikksorozatban a pontszerű és vonalmenti hőhidak szabványos épületenergetikai számításáról lesz szó, az egyszerűsített számítási eljárásnak megfelelő kézi számításoktól és a tanúsító szoftverekbe épített megoldásoktól kezdve a részletes, többdimenziós számítógépes szimulációs eljárások bemutatásáig. Jelenleg az épületenergetikai számítások során szinte elhanyagolhatóan csekély számú mérnök alkalmazza a szabványos számításokat, vagy dolgozik szimulációs szoftverekkel, melyek segítségével pontosabbá lehetne tenni az épületek hőveszteségeinek meghatározását. A téma aktualitása azonban jelentős, mivel az épületeink energiafogyasztásának mérsékléséhez igen fontos lenne azok energiamérlegének, így a hőveszteségeinek pontos ismerete is mind a tervezés, mind pedig a tanúsítás során.

Az első, bevezető cikkben a hőhidak épületenergetikai számítási módszereiről és épületenergetikai hatásokról, jelentőségükről olvashat.

Már az épülethatároló szerkezetek rétegtervi hőátbocsátási tényezői esetében, egyszerűsített módszert alkalmazva is számolnunk kell az inhomogeneitásokkal, melyek pontszerű vagy vonalmenti hőhidakat okoznak!

Hőhidak számítása az épületenergetikai rendelet tükrében

Manapság az egyre inkább energiatudatos épületek tervezése során már elengedhetetlen, hogy az épületszerkezeti tervező az épülethatároló szerkezetek hőátbocsátási tényezőivel, a szerkezetek épületfizikai és -energetikai paramétereivel is megfelelő gondossággal, tervezési szinten foglalkozzon. A magyarországi háromszintű épületenergetikai szabályozásban az első szintet a rétegtervi hőátbocsátási tényezők jelentik, melyek maximális értékeit a mindenkor hatályos rendelet tartalmazza. Ennek meghatározása kézi számítási módszerekkel is történhet, mivel a szerkezetekre vonatkozó hőátbocsátási tényezőket egydimenziós és állandósult állapotban számítjuk. Azonban már az épülethatároló szerkezetek esetében is megjelennek az inhomogeneitások az egyes szerkezeteken belül, melyek valójában hőhidakat okoznak. Elegendő csak a hőszigetelések mechanikai rögzítésére vagy a tetőszerkezetek szarufáira gondolnunk. E hatások számítására a harmonizált MSZ EN ISO

6946:2008 szabványban [6] található eljárásokat. A 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet értelmében egyszerűsített esetben az említett szabvány kézzel is számítható eljárásait, míg részletes esetben az MSZ EN ISO 10211:2008 szabvány [4] szerinti két- vagy háromdimenziós számításra alapuló, számítógépes hőtechnikai szimulációs eljárást kell alkalmaznunk.

A rendelet második követelményszintje a fajlagos hőveszteség-tényezőre vonatkozik, mely számításához nem elegendő csupán a felületek hőátbocsátási tényezőjét ismerni. A jelenleg érvényben lévő rendelet tartalmazza az egyszerűsített számítási módot. Ez megengedi, hogy a transzmissziós hőveszteségeket a vonalmenti hőátbocsátási tényezők ismerete nélkül, míg a felületi értékeket a hőhidak fajlagos hossza alapján kiválasztott és az egyes épülethatároló szerkezetekre vonatkozó, szorzótényezővel növelve számítsuk.

Egyszerűsített számítás esetén az egyetlen vonalmenti hőátbocsátási tényező, amivel a szakember találkozhat, a talajjal érintkező szerkezetek esetén táblázatos formában áll rendelkezésre, mely azonban nem a padló- vagy pincefalszerkezet csatlakozási hőhidjainak többelhőveszteségeit írja le, hanem a felületi veszteségeket redukálja egy folyóméterre. A talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeivel a magazin egy későbbi cikksorozatában részletesen is foglalkozom majd.

uk módszerei tek energiaveszteségeire

A rendelet megengedi a részletes és az egyszerűsített számítás közötti átjárhatóságot, így ezt a pontatlanságot a tervezők hajlamosak elfogadni, mivel a részletes módszerhez szükséges többdimenziós hőáramlás számítása és az ezek ismeretében meghatározható vonalmenti és pontszerű hőátbocsátási tényezők előállítását az MSZ EN ISO 10211:2008 szabvány alapján jóval bonyolultabb és időigényesebb. A vonalmenti hőátbocsátási tényezők ún. hőhidkatalógusból történő kiválasztása a hazai számítási eljárás miatt nehézkes, az Európában elterjedt katalógusok leggyakrabban a lehűlő felületeket az épület külső oldala felől mérik, szemben a magyar eljárással, mely a belső lehűlő felületeket veszi figyelembe a számítás során. Ez az eltérés jelentős a hőhidak szempontjából: mivel a külső oldal felől mért méretek jelentősen nagyobbak lehetnek, és mivel a vonalmenti hőátbocsátási tényező egységnyi felületre vonatkozik, ha egy hőveszteséget nagyobb felületen osztunk el, az kisebb értéket eredményez. Emiatt adnak meg például a német hőhidkatalógusok kedvező értékeket a csomópontjaikra, azonban tudnunk kell, ezeket a csomópontokat a hazai számítási eljárásokkal számolva nagyobb hőveszteséggel kell figyelembe vennünk! A kvázi egyetlen, hazánkban is alkalmazható hőhidkatalógusként funkcionáló MSZ EN ISO 14683:2008 szabványban [5] közölt szerkezeti csomópontok viszont jelentősen eltérnek a hazai tervezési és építési módoktól, a vonalmenti hőátbocsátási tényezők konkrét szerkezetekről és szerkezeti kialakításokról szólnak, gyakorlatilag a valóságban igen ritkán alkalmazhatóak megfelelően. Az említett szabványban tetőcsomópontok esetén például kizárólag lapostetővel rendelkező épület vonalmenti hőátbocsátási tényezőit találjuk, így kishajlású vagy magastetővel rendelkező épület esetén hőhidkatalógus sem áll rendelkezésre.

A hőhidak

Mielőtt azonban rögtön az elején elmerülne az olvasó a hőhidak számításának rejtelmében, muszáj áttekintenünk: egyáltalán mi is az a hőhid, hol és milyen körülmények között fordul elő, milyen negatív vagy pozitív hatásokat okozhat az épületenergetikai számításokban.

A hőhidak definíciója

A hőhid a szerkezetek azon része, melynél a környező elemek átlagos hőáramához képest eltérő mértékű, többdimenziós hőáramlás alakul ki, röviden megvál-

tozik a hőáramok gradiense. Már ebből a meghatározásból is látszik, hogy a hőhid igen relatív fogalom, meghatározásához, számításához a környezetének tulajdonságait is ismernünk kell. A hőhidas zónák legegyszerűbben a szerkezetek felületi hőmérsékletének megváltozásával vagy a szerkezeten belül haladó izotermavonalak egymáshoz viszonyított iránytangensének változásával ismerhetők fel. Ez utóbbit szabad szemmel vagy műszeres méréssel is igen nehezen érzékelhetjük, azonban hőtechnikai szimulációk során a legegyszerűbb meghatározási módot jelenti.

Az épületszerkezetek esetében általában negatív hőtechnikai hatás esetén beszélünk hőhidakról, ez esetben tehát a lokálisan megnövekedő hőveszteségek miatt a felületi hőmérséklet csökken az adott zónában, és a penészedés veszélye megnövekedhet az alacsonyabb hőmérséklet miatti relatív páratartalom emelkedése miatt.

A hőhidak típusai

A hőhidak legkönnyebben beazonosítható típusa, a *geometriai hőhid* olyan épületszerkezet esetében alakul ki, ahol megváltozik annak geometriai formája vagy helyzete. Hőhid alakul ki ezáltal a falsarkoknál, minden kiugró, kiálló szerkezeti elemnél, az eltérő szögben csatlakozó elemek esetében, illetve az azonos szerkezeti elemek méretváltásakor is (*1/a. ábra*).

Ahol a szerkezet formailag nem változik, azonban a szerkezetet alkotó anyagokban változás áll be, ott *anyageredetű hőhidakról* beszélhetünk. Általános példája a falszerkezettel azonos vastagságú, más anyagból készülő pillérek, nem egyenletes minőségű anyagból vagy szakaszosan készülő monolitikus szerkezetek, illetve akár egy falfelületen két azonos vastagságú, de eltérő hővezetési tényezővel rendelkező hőszigetelő réteg egymás melletti alkalmazása (*1/b. ábra*).

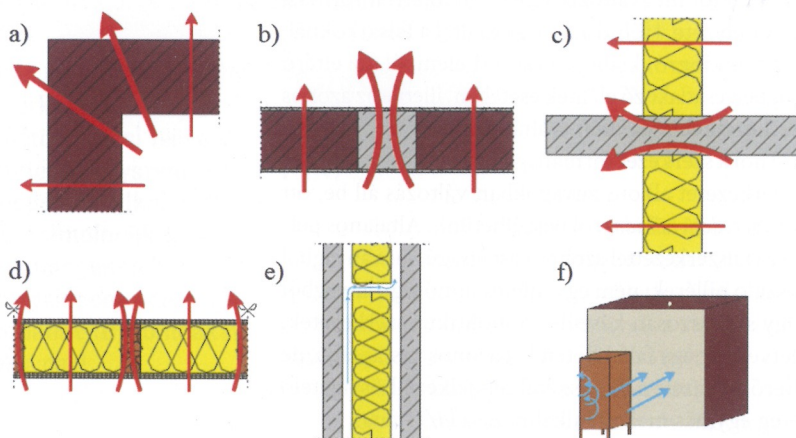
Szerkezeti hőhidak esetében általában mindkét, az előbbieken tárgyalt hőhidjelenség egyszerre fordul elő. Ide sorolhatjuk az épületszerkezetekben kialakított áttöréseket, tervszerűen kihagyott nyílásokat, réseket. Példa erre a típusra a külső falon túlnyúló, konzolos erkélylemez, illetve a gépészeti csőáttörések, ahol mind a geometria, mind pedig az anyag változik (*1/c. ábra*).

Gyakoriságuk miatt érdemes külön kategóriába sorolni a *periodikusan ismétlődő hőhidakat*, melyek egy szerkezeti elembe szabályos, jól meghatározható mintázat szerint ismétlődnek. Emiatt a hőveszteségek számításakor, az épületenergetikus gyakorlatban ezeket a szerkezeteket úgy kezeljük, mintha ott csupán

egydimenziós hőáramlás lenne jelen. A hőhidak hatását pedig a szerkezetek átlagos hőátbocsátási tényezőjének megnövelésével vesszük számításba. A külön kategóriába sorolást az is indokolja, hogy e hőhidak hatását számíthatjuk az MSZ EN ISO 6946:2008 szabvány szerinti kézi számítási eljárásokkal is. Gyakori példa a szerelt falak vázszerkezetei vagy a magastetők szarufái, de ismétlődő pontszerű hőhidak okoznak a mechanikai rögzítések is (1/d. ábra).

A szerkezeteken belül kialakuló, előre nem tervezett légmozgásokat *konvektív hőhidak*nak is nevezzük. A légmozgás növelheti a filtrációs hőveszteségeket is, ugyanakkor az eltérő hőmérsékletű és nedvességtartalmú légárammal érintkező anyagok hővezető képessége is megváltozhat. Azaz nem csupán a kiáramló meleg levegő vagy a szerkezeti rétegbe bejutó hideg levegő okoz többlethőveszteséget és felületi hőmérséklet-változást, hanem ennek hatására a hézag környezetében lévő anyagok hővezetési tulajdonságainak megváltozása is. A konvektív hőhidak tehát hatással vannak a hővezetésre is. Konvektív hőhidakról beszélünk például a szerkezeten belüli rések, építési pontatlanságok miatti hézagok esetén (1/e. ábra).

Előfordulhat, hogy egy szerkezetben a hőhidak nem a szerkezet miatt, hanem a rájuk ható, eltérő környezeti hatások miatt alakulnak ki. A *környezeti eltérések miatti hőhidak* esetében a szerkezetek felületi ellenállása eltérő, mivel a rájuk ható légsebesség eltérhet (mely a konvektív hőátadási tényezőt befolyásolja). Előfordulhat, hogy egy falszakaszt nem azonos sugárzás ér (vagy éppen egy másik szakaszon az azonos sugárzást takarja el valamilyen árnyékoló tényező), mely miatt az eltérő felületi hőmérsékletű elemek eltérő sugárzási hőátadási tényezővel rendelkeznek. Ha egy falszakasz elé fűtőtestet telepítünk, vagy ha csak a falazat elé bútorot helyezünk, könnyedén létrehozhatunk ilyen hőhidakat. Ezen hatások a nemzetközi szabványokban nem jelennek meg, de például a magyar MSZ-04-140-2:1991 a bútorok hőátadási tényezőre gyakorolt hatását 30–50%-os csökkentéssel javasolja figyelembe venni (1/f. ábra).



1. ábra: Hőhidak típusai – a) geometriai, b) anyageredetű, c) szerkezeti, d) periodikusan ismétlődő, e) konvektív, f) környezeti hatások miatti [3]

Vonalmenti hőátbocsátási tényező

A hőhidak hatását a hazai épületenergetikai számítások során vonalmenti hőátbocsátási tényezőkkel vesszük figyelembe. E tényezők meghatározásakor a hazai felfogás a skandináv országokban elterjedt módszer szerint alakul, azaz a számítás a teljes szerkezet hőveszteségeiből kiindulva a következőként írható fel kétdimenziós esetben, az MSZ EN ISO 10211:2008 alapján:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{n_j} U_j \cdot l_j,$$

- ahol: Ψ – vonalmenti hőátbocsátási tényező [W/mK],
 L_{2D} – teljes transzmissziós hőáram egy méterre vonatkozó szakaszon, egy Kelvin hőmérséklet-változás hatására [W/mK],
 U_j – egydimenziós hőtechnikai számítással megkapott hőátbocsátási tényező a zavartalan szakaszon számítva [W/m²K],
 l_j – belső hossz, melyen U_j hatással van [m].

A hazai épületenergetikai gyakorlatban nem alkalmazunk külön pontszerű hőátbocsátási tényezőket, hatásukat a rétegtervi hőátbocsátási tényezők, valamint a vonalmenti hőátbocsátási tényezők tartalmazzák. Háromdimenziós számítási módszer alkalmazása esetén az előbbi egyenletben L_{2D} megfeleltethető L_{3D} -nek, hossz helyett pedig felülettel szorozzuk a kivonandó hőátbocsátási tényezőket.

Hőhidak hatása az épületek energiaveszteségeire

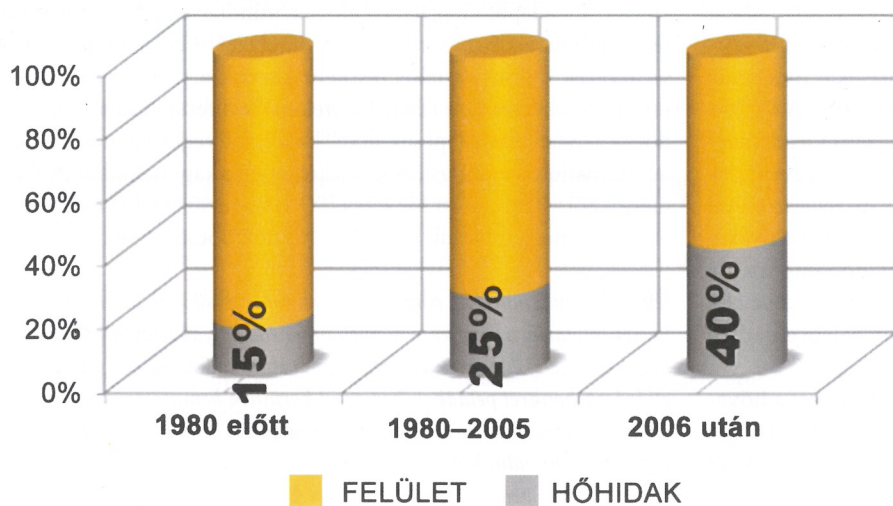
A jelenlegi és múltbéli szabályozások gyengeségei és tendenciái miatt megfigyelhető, hogy a megépült épületek hőveszteségeinek eloszlásának aránya mindinkább a vonalmenti hőveszteségek irányába tolódik a felületi hőveszteségekkel szemben. Mivel a hatályos rendelet csupán az egydimenziós, stacioner hővezetési állapotra írja elő az épülethatároló szerkezetek hőtechnikai ellenőrzését (páratechnikai ellenőrzést pedig egyáltalán nem követel meg), ezért csupán a tervezők elenyésző része foglalkozik részletesebben

és hőtechnikai szempontból is a csomópontok optimalizálásával. A megállapításokat doktori kutatás is igazolja [1], melyben többféle épületgeometriát vizsgálva részletes számításokkal a szerző bizonyította, hogy az 1980 előtti, az 1980–2005 közötti, illetve a 2006 utáni (az energetikai rendeletnek megfelelően kiválasztott) szerkezetek esetén a vonalmenti hőhidakon keresztül az épületből eltávozó energia részaránya a teljes fűtési energiaveszteségen belül növekszik. A problémával tehát érdemes és kell is foglalkoznunk részletesebben is.

A már a tervezési szakaszban pontosan beazonosított hőhidak zónák valós, és nem csupán feltételezéseken alapuló ismerete hatalmas előnyt jelenthet, megszüntethető az épületek gyenge pontjai. Az épületek energetikai tanúsítása során jó minőségű új épületek esetén a hőhidak részletes figyelembevétele javíthat az épület energetikai besorolásán. Gondoljunk arra, hogy a hőhidak falszerkezeten 30%-os rontás van, ha a hőhidak fajlagos hossza jelentős, azonban ha ezek hatásának minimalizálására a tervezők vagy kivitelezők odafigyeltek, akár 15–25%-kal kevesebb

is lehet ez a hatás, mint az egyszerűsített számítás esetében. Természetesen egy csomóponti megoldásokra nem figyelő tervező épületében a részletes számítás ennek ellenkezőjét is okozhatja.

A meglévő épületek felújítása során a mérnökök elkerülhetik az egyes szerkezetek hibás rekonstrukcióját. A hőhidak szakaszok belső felületi hőmérsékletének ismeretében elkerülhető a penészedés



2. ábra: A hőhidak változó részaránya az összes fűtési energiavesztésben az 1960–2010 közötti időszakban [1]

veszélye, ha a problémákat még a tervezőasztalon észleljük, majd javítjuk, ez azonban az említett szabványok és rendeletek alapján igen hosszadalmas vállalkozásnak tűnik.

A pontszerű és vonalmenti hővesztések meghatározásának módszerei

Az épülethatároló szerkezetek rétegtervi hőátbocsátási tényezőit befolyásoló tényezőket a rendelet immáron nevesítve is az MSZ EN ISO 6946:2008 szabvány eljárásai szerint kéri. Ezek a befolyásoló tényezők a légüregek, a mechanikai rögzítések, valamint a fordított rétegtrendű lapostetők esetén fellépő, hőszigetelő táblák között és alatt jelen lévő csapadékvíz miatti korrekciót jelentik. Ez utóbbiról a paneles épületek lapostetőinek felújítása kapcsán is láthattuk, hogy a fordított rétegtrendű lapostetők akár 25–30%-os többlethővesztéssel rendelkezhetnek az egyenes rétegtrendhez képest, mely esetén a korrekció alkalmazása nem áll fenn [2]. A dübelelések hőtechnikai hatásainak számítása fontos lépés, amelynek azonban jelentősége acél beütőszeges rögzítőelemek alkalmazásakor kerül előtérbe. Egy „költségoptimalizált” követelményértéknek megfelelő külső falszerkezet esetén a falszerkezetre gyakorolt rontó hatása akár 15–20%-os is lehet a hőszigetelés vastagságától és típusától függően. Az előbbieken felsorolt három hatás korrekcióját a szabvány tehát már külön számítási eljárásokkal és a teljes épülethatároló szerkezetre vonatkozó ΔU korrekciós tényezőkkel veszi figyelembe, mintsem az épületenergetikusok gyakorlatában máig jelen lévő, csupán az egyes zavart rétegek hővezetési tényezőjének módosításával.

Inhomogeneitások figyelembevétele egyszerűsített módszer alkalmazása esetén

A rétegtrend inhomogeneitásából származó hőhidakat a rendelet egyszerűsített esetben szintén a már sokszor említett MSZ EN ISO 6946:2008 szabványban leírt homogén és inhomogén szerke-

zetek hővezetési ellenállásának meghatározásáról szóló eljárással kell számítani. E számítási eljárás kifejezetten alkalmas az anyageredetű, illetve a periodikusan ismétlődő hőhidak hatásának figyelembevételére. Az eljárás során az adott szerkezeti elemet a hőáramok irányára merőleges, valamint párhuzamos rétegekre és rá merőleges sávokra bontjuk, melyek önmagukban hőtechnikailag homogénnek tekinthetők. A szerkezeti elem teljes hővezetési ellenállását egy felső és egy alsó határértékből számtani átlaguk szerint számoljuk. A felső határ számításakor a homlokfelületre merőleges egydimenziós hőáramlás kialakulását feltételezzük, így az egyes sávok teljes hővezetési ellenállásai számíthatóak és összegezhetőek, míg az alsó határ esetén a homlokfelülettel párhuzamos osztással kialakított rétegeknél izotermális felületűnek tekintjük, az egyes rétegekre egyenértékű hővezetési ellenállásokat számolunk, melyeket összegzünk.

A szerkezeti elem alsó és felső hővezetési ellenállásából átlagolt teljes hővezetési ellenállásából a rajta áthaladó hőáram nagysága a külső és belső hőmérséklet, valamint a felület nagyságának ismeretében számítható. Az akár kézzel is elvégezhető számítási eljárással szabványosan számíthatjuk például a pillérváz épületek külső épülethatároló falában a vázkitöltő fal és vasbeton pillérek hatását, valamint a tetőszerkezetekben a szarufák hatását. E két példa esetén a kézi számítási módszer közel azonos eredményt ad, mint a kétdimenziós számítógépes szimuláció.

Szintén a harmonizált uniós szabványban található megoldást a változó vastagságú rétegek hőátbocsátási tényezőjének szabványos kézi számítására is. A különböző változó vastagságú rétegek, mint például az egyenletesen csökkenő vastagságú négyszögletes elemek vagy akár az egyik csúcsánál csökkenő vastagságú, háromszög alapú hőszigetelésekre is megadott képlet segítségével számíthatjuk a hőátbocsátási tényezőt a réteg kitüntetett pontjaiban található hővezetési ellenállások logaritmikus összefüggésének ismeretében. Ezt a számítást például a lapostetők esetén, ha a tervező a hőszigetelő réteggel oldja meg a tetőlejtést, minden esetben el kellene végeznie mind a tervezőnek, mind pedig az épületenergetikus tanúsítónak is, hogy az adott szerkezet valós rétegtervi hőátbocsátási tényezőjét megkapja. A változó vastagságú rétegeket tartalmazó szerkezetek U -értéke ugyanis nem egyenlő a teljes felületre nézett átlagos vastagsággal számított értékkel!

Inhomogeneitások figyelembevétele részletes módszer alkalmazása esetén

A részletes számítások számítógépes szimulációval kell dolgoznunk, mely segítségével a választott szoftvertől, valamint a kívánt pontosságtól és épületszerkezettől függően kettő- vagy háromdimenziós épületszerkezeti modellek felépítése mellett vizsgálhatjuk a külső hatásokra a szerkezeten belül kialakuló hőáramokat. A geometriai hőhidak, összetettebb szerkezeti és periodikusan ismétlődő hőhidak hatásai megfelelő pontossággal, a valóságot közelítve numerikus számítási eljárásokkal, számítógépes szimuláció segítségével határozhatóak meg.

A két legelterjedtebb módszer, mellyel hővezetési feladatokat oldhatunk meg, a végelem módszer (VEM) és a véges differencia módszer (VDM), melyek numerikus megoldásokat nyújtanak a parciális differenciálegyenletek közelítő megoldásaira. A VEM a teljes vizsgált tartományt leíró parciális differenciálegyenletek megoldásait a tartomány részhalmozaira felírt egyszerűbb egyenletek megoldásával, majd ezen egyenletek megoldásainak összeillesztésével közelíti, míg a VDM az időben és térben folytonos függvényeket diszkretizálja (véges sok pontra és meghatározott időpontokra írja le), a differenciálegyenletekből differenciaegyenleteket állít elő, és a differenciahányadosokkal közelíti a differenciálegyenletben szereplő deriváltakat.

A gyakorlatban a két módszerből adódó különbségeket a hővezetést modellező szoftverek esetében is érezhetjük. A VDM alapú programok esetében a vizsgálandó modellünket téglatestekből építhetjük fel. Emiatt a megoldáshoz szükséges cellákra történő felbontás gyors és egyszerű folyamat, mivel csak a globális koordináta-rendszerre merőleges hálót alkalmazhatunk. Ennek hátránya, hogy a lokális hálósűrítés a hőtechnikai szoftverekben nem megoldható. Egyes VDM-et alkalmazó rendszerekben a megoldást a hálófelbontás automatikus, de a felhasználó által megadott faktor szerinti sűrítésével közelítik úgy, hogy a szimuláció végét, tehát az iterációs folyamat leállítását az adott utolsó szimulációs eredmény és az azt megelőző eredmény beállított legnagyobb differenciája határozza meg. A VEM-et alkalmazó programok esetében szinte bármilyen formájú alakzatra végezhetünk vizsgálatot, a testek közelítése különböző alakú véges elemekre bontással történik, melyek optimális megválasztása, a háló kialakítása jelentősen több szakértelmet kíván. A hőtechnikai feladatok megoldására kifejlesztett célszoftverek azonban gyakran nem nyújtanak lehetőséget a hálókialakítás optimalizálására, csupán automatizált hálógeneráló algoritmusokra hagyatkozhatunk. A kívánt pontosság elérésének érdekében történő sűrítések optimalizálása, mely természetesen a numerikus számítás lefutásának időtartamát is befolyásolja, azonban minden VEM alapú szoftverben megtalálható.

A számítógépes szimuláció folyamata a 3. ábrán tekinthető meg. A modell megalkotása és az anyagok tulajdonságainak definiálása után, ami alatt általában az irányonkénti hővezetési tényezőt értjük

állandósult állapot vizsgálata esetében, mindkét eljárásnál a peremfeltételek megadása és a hőterhek elhelyezése következik. Egyes szoftverek külön virtuális testként kezelik a peremfeltételeket, míg más szoftverek a szilárd testek szabad felületeihez rendelik hozzá azokat. Ezen lépések után, ha kész a véges elemes háló is, lefuttathatjuk a számítást, és kiértékelhetjük a kapott eredményeket, melyekből a bemutatott MSZ EN ISO 10211:2008 szabvány szerinti eljárással megkaphatjuk a vonalmenti hőátbocsátási tényezőket.

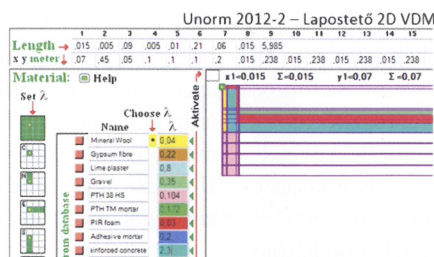
Jelen cikkben bemutatott, pontszerű és vonalmenti hőhidak meghatározását tovább folytatva, a következő részben immáron a gyakorlati alkalmazásra kerül sor. Az előbbieken említett számítási és számítógépes szimulációs eljárások konkrét példákön keresztül kerülnek bemutatásra, az általuk okozott energetikai hatások és talán maguk a számítási módszerek is közelebbről válnak majd.

Források

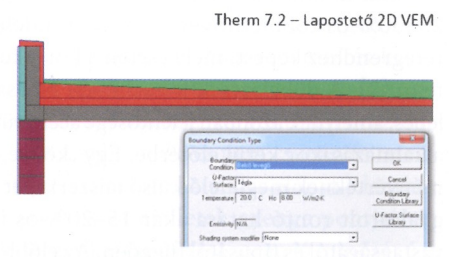
- [1] Csanaky Judit Emília: *Épületszerkezetek energiatudatos fejlesztése az építészeti és épületfizikai tervezés határfelületén*, doktori értekezés, SZIE Építészeti és Épületszerkezet-tani Tanszék, Győr, 2012.
- [2] Nagy Balázs: *Panelfelújítás II – Lapostetőtől a nyílászárókig*, Megtérülő Épületenergetika, 2014/II. szám, 18–22. oldal, Fórum Média Kiadó, Budapest, 2014.
- [3] Nagy Balázs: *Többdimenziós hőáramlás modellezés összehasonlító elemzése*, szakmérnöki szakdolgozat, BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék, Budapest, 2013.
- [4] MSZ EN ISO 10211:2008 *Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2008.
- [5] MSZ EN ISO 14683:2008 *Hőhidak az épületszerkezetekben. Vonalmenti hőátbocsátási tényező. Egyszerűsített módszerek és felülrható kiindulóértékek*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2008.
- [6] MSZ EN ISO 6946:2008 *Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszer*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2008.



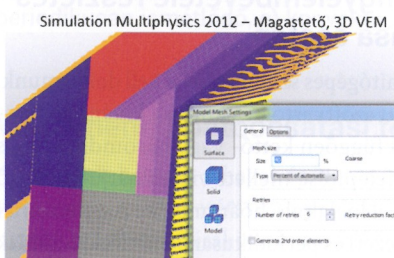
1. Geometriai modell elkészítése



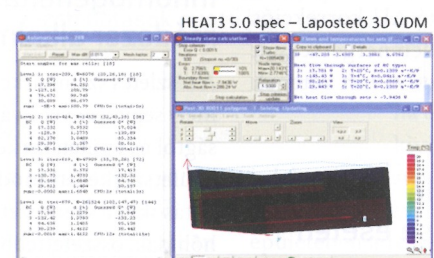
2. Anyagtulajdonságok definiálása



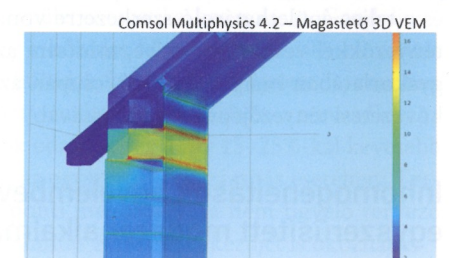
3. Peremfeltételek meghatározása



4. Diszkretizálás, hálógenerálás



5. Numerikus számítás



6. Eredmények feldolgozása

3. ábra: Hőhidak számítógépes szimulációjának lépései különböző tetőmodelleken és szoftvereken keresztül illusztrálva