



Csanaky Judit Emília

Épületszerkezetek energiatudatos fejlesztése
az építészeti és épületfizikai tervezés határfelületén

Doktori tézisek

Témavezető:

Dr. Koppány Attila

egyetemi tanár

Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar

Építészeti és Épületszerkezet-tani Tanszék

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

1 A témaválasztás indoklása, az értekezés célja

Az energiaválság az elmúlt 30 évben egész Európában a hőtechnikai szabályozások folyamatos szigorodásához vezetett. Az energiatakarékosság érdekében az épületek határoló felületei hőátbocsátási tényezőinek javításával a transzmissziós veszteségek korlátozása kezdetben egyszerűen megoldható volt. A takarékoság második fokozatát jelentette a filtrációs veszteségek csökkentése, a légzáró fóliák és hermetikusan záródó nyílászárók kifejlesztése és alkalmazása. Az energiatakarékosságra irányuló fejlesztések mellett azonban az épületszerkezeti csomóponti kapcsolatok fejlesztésének építészeti és épületfizikai minősége némileg háttérbe szorult. A többdimenziós hőáramokra jellemző vonal menti és pontbeli hőhidak többlet hővesztései és legalacsonyabb felületi hőmérsékletei az épületszerkezeti csomópontok épületfizikai sajátosságainak tekinthetők. Ezek tervezésére, hatásuk kiszámíthatóságára vonatkozóan az első hőtechnikai szabályozások kísérletet tettek, az épületfizikai jelenségek bonyolult összefüggései, és a számítástechnikai háttér fejletlensége miatt azonban ezek a kísérletek nem jártak eredménnyel, a gyakorlatban használhatatlannak bizonyultak.

Ugyanakkor a filtráció korlátozása az épületben felgyűlő pára mennyiségét növelte, ami az épületszerkezeti csomópontok nem megfelelő kialakítása miatt a hőhidak hideg felületén (elsősorban a sarokpontokban) párakicsapódáshoz, majd penészedéshez vezetett. A határoló felületek hőszigetelő képességének szinte „korlátlan” növelési lehetősége mellett a nem kellő gondossággal kialakított épületszerkezeti csomópontok következménye a hőhidak energiavesztései részarányának növekedésében jelentkezett.

E két probléma együttesen egyre határozottabban megköveteli, hogy a hőhidak épületfizikai tulajdonságai ne egyszerűsített „ököl szabályok” alapján, hanem tényleges tervezési minőségükkel kerüljenek figyelembe vételre.

1.1 Az értekezés célja

Az értekezés célja olyan módszerek és eljárások bemutatása, kidolgozása, melyek segítségével az épületszerkezeti csomópontok hőhíd-jellemzői matematikai összefüggéssel kiszámíthatók, és a változtatások tendenciái a tervezők/fejlesztők számára szemléletesen megjeleníthetők.

2 Kutatási módszerek és feltételezések

Az értekezés céljának elérése érdekében a következő kutatási módszereket alkalmaztam.

2.1 Végeselemes szimuláció

Az építőipari gyakorlatban a hőtechnikai problémák általában 2, vagy 3 dimenziósak. A hőtechnikai számítások során kétdimenziós stacioner (állandósult) állapotot tételezünk fel. A hővezetés differenciálegyenlete néhány esetben megoldható analitikusan, azaz sikerülhet matematikailag egzakt kifejezésre jutni. Az esetek többségében azonban meg kell elégedni a numerikus megoldással, mely képes a hőmérsékletek alakulásának számszerű értékét meg-

adni, egy elfogadható mértékű kis hibával. Ilyen megoldást kínálnak a véges differenciák módszerének elvén működő számítógépes programok. Ezek a vizsgált (adott méretű, és adott épületfizikai tulajdonságú elemekből álló) szerkezetet nagyszámú téglalap alakú cellára osztják fel, majd a peremfeltételek (külső és belső oldali konstans léghőmérsékletek) figyelembe vételével iterációs számítást indítanak el, minden egyes cellánál meghatározva a nettó hőáram által létrehozott hőmérsékletváltozást. A számítás a feltételezett stacioner állapotnak megfelelően addig tart, amíg a szerkezetbe belépő, és az onnan kilépő hőenergia egy meghatározott hibahatáron belül azonos nem lesz.

A véges differenciákon alapuló számítógépes modellezést a *HEAT3 Version 5.0 (5.0.0.5)*, illetve az *ANSYS 11* programok segítségével végeztem el.

2.2 Függvényközelítés

Ezt a módszert a végeselemes szimulációval meghatározott ponthalmazok elemei közötti összefüggések meghatározására alkalmaztam. Az eljárás alkalmas arra, hogy néhány ismert pont adataiból a vizsgált tartomány tetszőleges adata egyszerűen meghatározható legyen. A cél: a független és függő változók kapcsolatát lehető legjobban leíró függvény megkeresése, azaz a differenciálegyenlet numerikus megoldásaként kapott diszkrét függvényértékek alapján a megoldás-függvénynek egy más függvénnyel való közelítése.

A vizsgált esetekben a független változó (ok) az épületszerkezet U_r hőátbocsátási tényezője, vagy V vastagsága, a függő változó (okozat) pedig a ψ vonal menti hőátbocsátási tényező, illetve a θ saját léptékben mért felületi hőmérséklet.

Az adathalmazok elemei közötti összefüggés a legtöbb esetben nem írható le lineáris függvénnyel. A probléma megoldását itt a nem-lineáris regresszió szolgáltatja, hiszen a pontokra egy görbe vonal illeszkedik legjobban. Azt az eljárást, amellyel a ponthalmazra legjobban illeszkedő görbe egyenletét keressük *görbeillesztésnek*, vagy *trendvonal-illesztésnek* nevezik.

Általában a racionális törtfüggvénnyel, vagy a polinommal (másod-, harmad-, esetleg negyedfokú polinom) történo közelítés segít a probléma megoldásában.

A közelítő függvénnyel egy független és egy függő változó közötti kapcsolat írható le matematikailag korrekt módon. Ez az eljárás tehát síkbeli ponthalmazok elemei közötti függvénykapcsolat megfogalmazására alkalmas.

A trendvonalak ponthalmazokra illesztését, és a közelítő egyenletek meghatározását a „Graph Verzió 4.3. Build 384” elnevezésű, illetve „MS Office Excel 2007” programmal végeztem.

A valóságban sok esetben legalább két független változó határoz meg egy harmadik épületfizikai adatot (pl. a sarokhőhíd vonal menti hőátbocsátási tényezője a falazat „ V ” vastagságától, és a falazat „ λ ” hővezetési tényezőjétől is függ.)

A „síkbeli problémákat” ilyenkor szükségszerű „térbelivé” transzformálni, melyekre azután a térinformatika segítségével lehet megfelelő választ adni.

2.3 Térinformatikai megoldások alkalmazása

2.3.1.1 Krigelés (statisztikai módszer)

A felvázolt probléma megoldásához - a geostatistikai feladatok analógiájára - a D.G.Kriege professzorról krigelésnek elnevezett módszerét választottam. E módszer úgy határozza meg egy tetszőleges pont ismeretlen attribútum értékét, hogy minimális szórású súlyozott átlagot képez a más, ismert pontokban számított (megadott) attribútum értékekből. A módszer alkalmazása során tehát az ismeretlen P_0 pont keresett attribútum értékét $Z(P_0)$ -t n darab közeli pont attribútumainak súlyozott középértékéből lehet meghatározni. Az optimális súlyok meghatározásához az eljárás során egy variogram nevű görbét képeznek az ismert pontok koordinátáinak és attribútum értékeinek felhasználásával. A krigelés egyike a lineáris becslési eljárásoknak, a krigeléssel végzett interpolálás gyakorlatilag az interpolált értékek minimális varianciájú becslését eredményezi.

A térinformatikai elemzéseket (krigelést) a Golden Software Inc. „Surfer Version 9.11.947” elnevezésű programjával végeztem.

2.4 Neurális hálózatok alkalmazása

2.4.1.1 Radiál Bázis Függvény hálózat

A mesterséges intelligencia témakörébe tartozó neurális hálózatokra jellemző, hogy (akárcsak az ember) tanulás útján képesek megoldást találni különböző problémákra. Jellegzetességük többek között az approximációs, vagy leképzést közelítő tulajdonságuk, melynek segítségével bármilyen folytonos függvény közelíthető az alkalmazásukkal. Ismeretlen leképzési függvények is meghatározhatók összetartozó be- és kimeneti értékek (tanuló adatok) alapján, például a legkisebb négyzetek módszerének alkalmazásával. A neurális hálózatok működése két szakaszra bontható. Az első szakasz - a tanulás - lassú folyamat, amely többnyire sok iterációs lépésen keresztül történik, esetleg többszöri inicializálással az optimum elérése érdekében. A második szakasz a - megtanult információk előhívása és alkalmazása - sokkal gyorsabb, ennek köszönhető a hálózatok jó alkalmazhatósága.

„A neuronok hálózata csomópontokból és az azokat összekötő irányított élekből áll. Ezek az élek képviselik a jelátvivő csatornákat. Az élekhez hozzárendelt súlyok nagysága a szomszédos neuronok kapcsolatának erősségére utal. Tehát a neurális hálózat tekinthető úgy, mint egy irányított, súlyozott gráf.

A csomópontok ún. rétegekbe rendezettek. Egy csomópont bemeneti jele az előtte lévő rétegből jön és a kimenete a követő réteg felé irányul (feed-forward network). Saját rétegbeli csomópontok között nincs kapcsolat. Az első réteget bemeneti rétegnek, az utolsó réteget kimeneti rétegnek nevezzük.

Függvények közelítésére leghatékonyabb egy radiál bázis függvénnyel, mint aktivációs függvénnyel rendelkező hálózat a Radial Bázis Függvény (RBF) típusú hálózat. A radiál bázis függvény legegyszerűbb változata a Gauss harang-függvény:

$$y(x) = e^{-\lambda(x-c)^2}$$

A hálózatnak nincs rejtett rétege. Az aktív rétegben - ahol nb darab csomópont van – a radiálbázis függvény, mint aktivációs függvény szerint történik a jel-transzformáció. A bemenetek (n) és az aktív réteg csomópontjainak száma (nb) nem feltétlenül egyezők. A csomópontok kimeneti súlyozott (w_i) összege és bias (w_{nb+1}) lépnek be a kimeneti csomópontba ahol általában nincs jel-transzformáció (de lehet).

Az így kapott kimeneti jelet általában kiegészítik még egy ún. lineáris taggal (*linear-tail*), $\chi_i x_i$, ahol $i=1, \dots, n$.

$$\hat{y}(w, c, \lambda, \chi) = \sum_{i=1}^{nb} w_i e^{-\lambda_i (x-c_i)^2} + w_{nb+1} + \chi_1 x_1 + \dots + \chi_n x_n$$

A fenti kifejezésben x a bemenet vektora és w, c, λ, χ pedig a paraméter-vektorok, amelyeket a tanulás során kell meghatározni. Abban az esetben ha a c, λ paraméterek előre adottak, a tanulás egyszerű lineáris regresszióra redukálódik.

A disszertáció készítése során a „Wolfram Mathematica 8” programot alkalmaztam a neurális hálózattal történő függvényközelítésre.

3 Az értekezés új tudományos eredményei (tézisek)

3.1 Tézis előkészítő megállapítások

A hőhidakkal foglalkozó hőtechnikai/energetikai szabályozások problémái

3.1.1 I. Megállapítás

Az 1980 és 1990 közötti hazai épületfizikai szabályozások (MSZ-04-140-2:1979 és MSZ-04-140-2:1986) hőtechnikai szemléletűek voltak, és az egydimenziós hőáramok számítási alapelvét képviselték. Ugyanakkor nagy gondot fordítottak a többdimenziós hőáramokat megjelenítő vonal menti, illetve pontbeli hőhidak állagvédelmi jelentőségének hangsúlyozására. Megállapítottam, hogy bár kísérletek történtek a hőhidak hatásának matematikai formulába öntésére, és a felületi hőmérséklet-meghatározás számítási módszerének kidolgozására – ezek a próbálkozások megmaradtak az eseti példamutatás szintjén, és az általános tervezői gyakorlat számára használhatatlannak bizonyultak.

3.1.2 II. Megállapítás

Az 1990 utáni épületfizikai szabályozások (MSZ-04-140-2:1991 és 7/2006.(V.24.)TNM Rendelet) energetikai szemléletűek, és a **többdimenziós hőáramok** számítási alapelvét képviselik. A többdimenziós hőáramokat megjelenítő vonal menti, illetve pontbeli hőhidak hatásának figyelembe vétele azonban a gyakorlati számítások során nem a tényleges építészeti minőségnek megfelelő épületszerkezeti csomóponti részletek alapján, hanem táblázatos közelítő értékekkel, illetve a felületegységre jutó hőhidak hossza alapján történik. Mindkét eljárás független a tényleges csomóponti kialakítástól, és a tervezőt nem ösztönzi minőségi tervezésre. A hőhidak hatásának egyszerű matematikai formulába foglalásával e szabályozások teljesen felhagytak.

3.1.3 III. Megállapítás

Az ezredforduló környékén kiadott, hőhidakkal kapcsolatos első angolnyelvű európai szabványok módosítása, aktualizálása, és teljes körű harmonizálása 2007/2008-ra történt meg. (MSZ EN ISO 10211, 2008); (MSZ EN ISO 14683, 2008). E szabványokban a végeselemes modellezéshez határozzák meg a vonal menti és pontbeli hőhidak számítási elvét, és rögzített épületszerkezeti és épületfizikai paraméterek mellett numerikus szimulációval kalkulálnak vonal menti hőátbocsátási tényezőket.

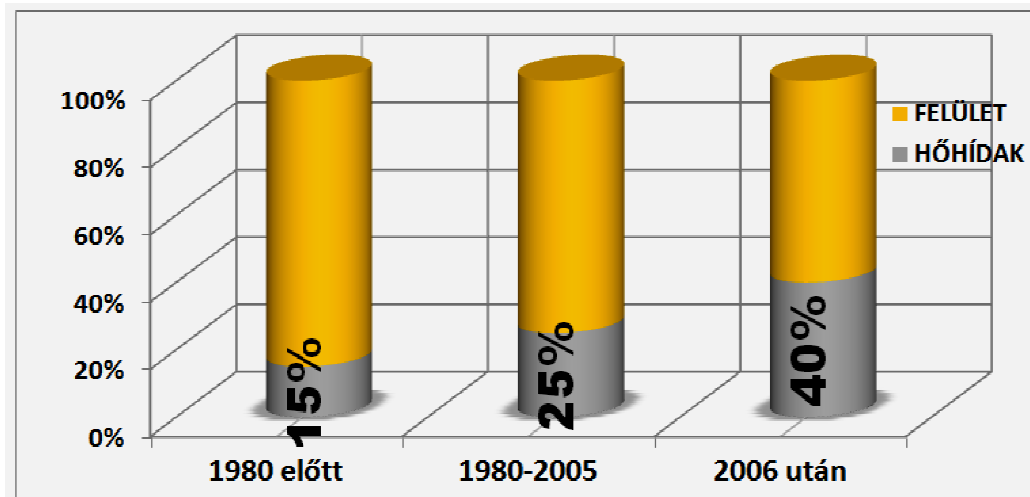
A közreadott minta adatok azonban gyakorlati felhasználás céljára nagyrészt alkalmatlanok, mert:

- egyrészt konstans paraméterekkel dolgoznak, ami a konkrét helyzetre való alkalmazást lehetetlenné teszi,
- másrészt a kidolgozott csomóponti variációk építészeti és épületfizikai tervezési minősége messze alatta marad a hazai tervezési gyakorlatnak.

Megállapítottam, hogy a vonal menti hőhidak numerikus számításainak eredményeit közreadó harmonizált európai szabvány nem segíti a tervezőt a csomóponti kialakítások minőségének javításában, és nem partner az építészeti és épületfizikai követelmények összehangolásában.

3.2 Első tézis

A hőhidak jelentőségének növekedése és hatása a fokozott hőszigetelésű házak épületszerkezeti tervezésére.



1. ábra. A hőhidak változó részaránya az összes fűtési energiavesztésben az 1960-2010 közötti időszakban

Az épületek határoló felületei hőátbocsátási tényezőinek folyamatos javítása (a határértékek tudatos szigorítása) jelentős mértékben csökkenti az épületek energiavesztését, ezzel egyidejűleg a fűtési energiavesztésben belül a hőhidak hatásának százalékos részaránya a korábbi ~15%-ról ~40%-ra növekszik.

Közel félszáz épületen végzett számítással igazoltam, hogy *alacsony energiaigényű épületek tervezése esetén nő a csomóponti részletek minőségi tervezésének és kialakításának építészeti és épületfizikai igény szintje.*

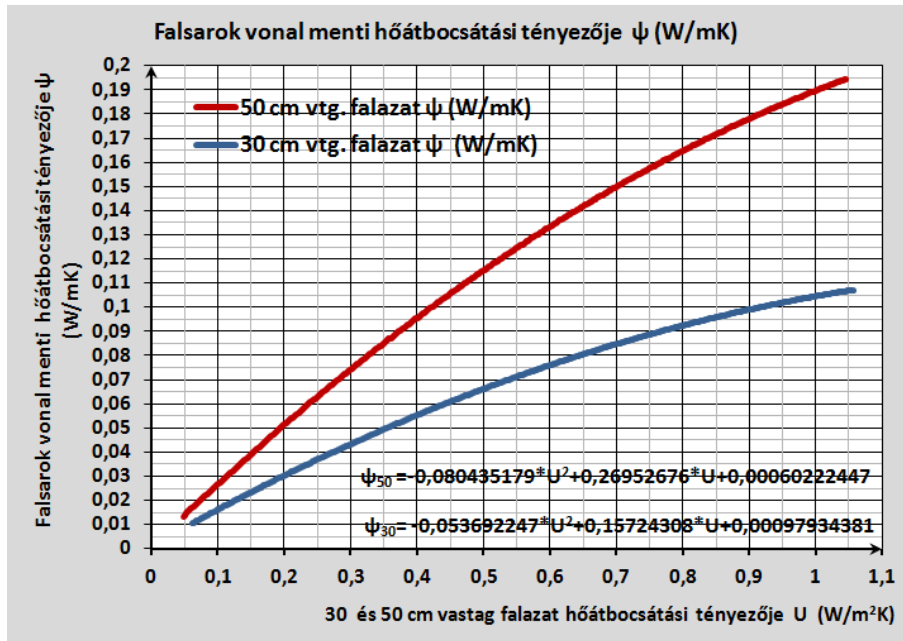
3.3 Második tézis(csoport)

Egy független változó segítségével meghatározott síkbeli hőhíd-problémák közelítő megoldásának matematikai modellezése.

3/a. - 2/a. Tézispont

Bizonyítottam, hogy a hőszigetelés nélkül kialakított, állandó vastagságú homogén falak sarokcsatlakozása ψ vonal menti hőátbocsátási tényezőjének és θ saját léptékben mért legalacsonyabb felületi hőmérsékletének változása a falazat „U” hőátbocsátási tényezőjének változása függvényében - a független változó meghatározott értéktartományán belül - másodfokú polinomiális közelítéssel írható le. (A trendvonal determinációs együtthatója $R^2=1$).

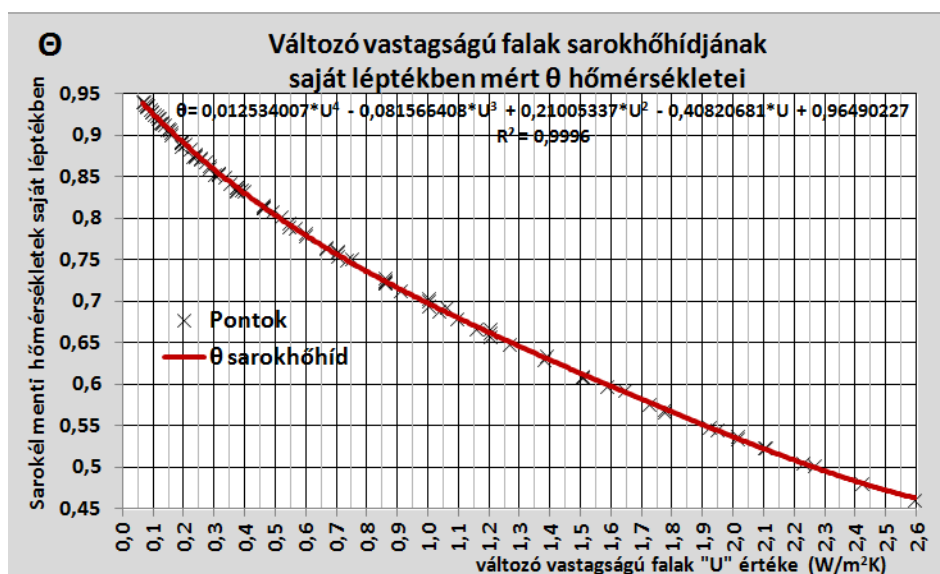
A falsarok vonal menti hőátbocsátási tényezője a falazat hőátbocsátási tényezőjének csökkenése esetén csökken, a hőhíd felületi hőmérséklete növekszik. Mindkét változás matematikailag definiálható.



2. ábra. 30 cm és 50 cm vastag homogén falak sarokhőhidjai vonal menti hőátbocsátási tényezőinek változása a falak hőátbocsátási tényezőjének függvényében (grafikus ábrázolás)

3/b. -2/b. Tézispont

Hőszigetelés nélkül kialakított homogén falak sarokcsatlakozása θ saját léptékben mért legalacsonyabb felületi hőmérsékletének változása a falazat „U” hőátbocsátási tényezőjének változása függvényében - a független változó fizikailag lehetséges értéktartományán belül - negyedfokú függvényközelítéssel írható le. (A trendvonal determinációs együtthatója $R^2=0,9996$). A falsarok vonal menti hőhidjának hőmérséklete csak a falazat hőátbocsátási tényezőjétől, azaz a d/λ (falvastagság/hővezetési tényező) viszonzyszámtól függ. Konstans „U” érték esetén a hőhid saját léptékben mért hőmérséklete állandó, a fal vastagságának változásától független.



3. ábra. Homogén falak sarok hőhidja saját léptékben megadott legalacsonyabb vonal menti hőmérséklete a falazat „U” hőátbocsátási tényezőjének függvényében.

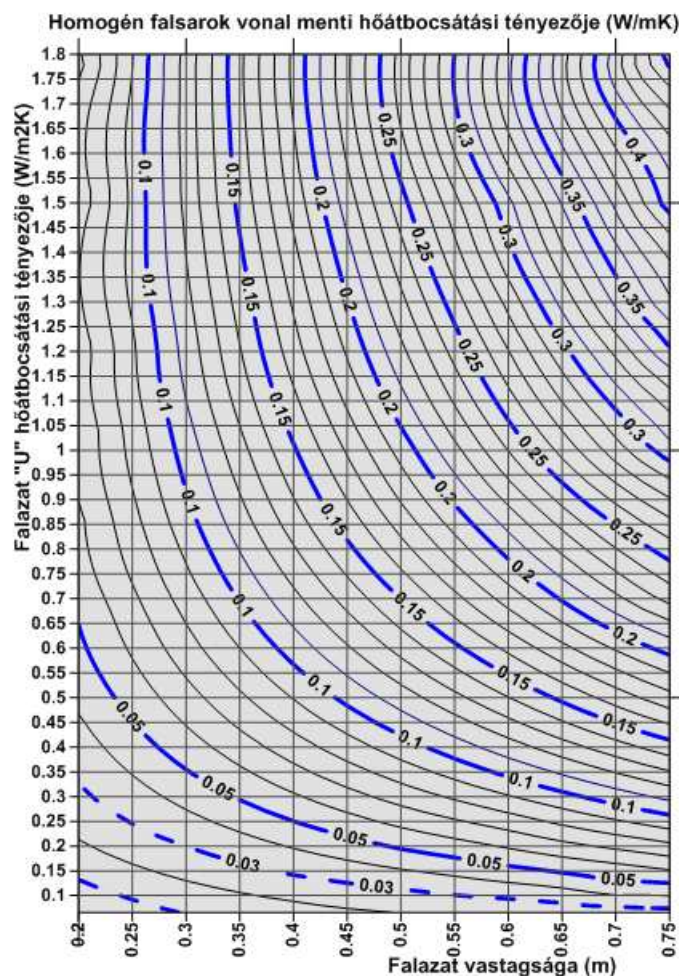
3.4 Harmadik tézis

Két független változó segítségével meghatározott térbeli hőhíd-problémák közelítő megoldásának matematikai modellezése.

Két független folyamatos változó által befolyásolt egyetlen függő változó értékei térinformatikai módszerekkel grafikusán megjeleníthetők, és konkrét számértékük meghatározható.

Bemutattam, hogy fenti megállapítás hőtechnikai alkalmazása során a hőszigetelés nélkül kialakított homogén falak sarokcsatlakozásának ψ vonal menti hőátbocsátási tényezője két független folyamatos változó (λ_{fal} , illetve az annak transzformációjával előállított U_{fal} , valamint V_{fal}) megadásával meghatározható, és a változások térbeli vetületek formájában, „szintvonalas térkép” formátumban szemléletesen megjeleníthetők. A térinformatikai eljárás bármilyen épületszerkezeti, épületfizikai probléma két bemenő és egy kimenő (eredmény) paraméterrel jellemezhető szituációra történő transzformációja esetén alkalmazható.

Ráműtöttem arra, hogy a térbeli megjelenítés alkalmas ad a változások irányainak, tendenciáinak elemzésére, lehetővé téve az épületszerkezeti konstruálás alternatív eszközeinek, és a következményképpen fellépő épületfizikai hatásoknak egyidejű figyelembe vételét.



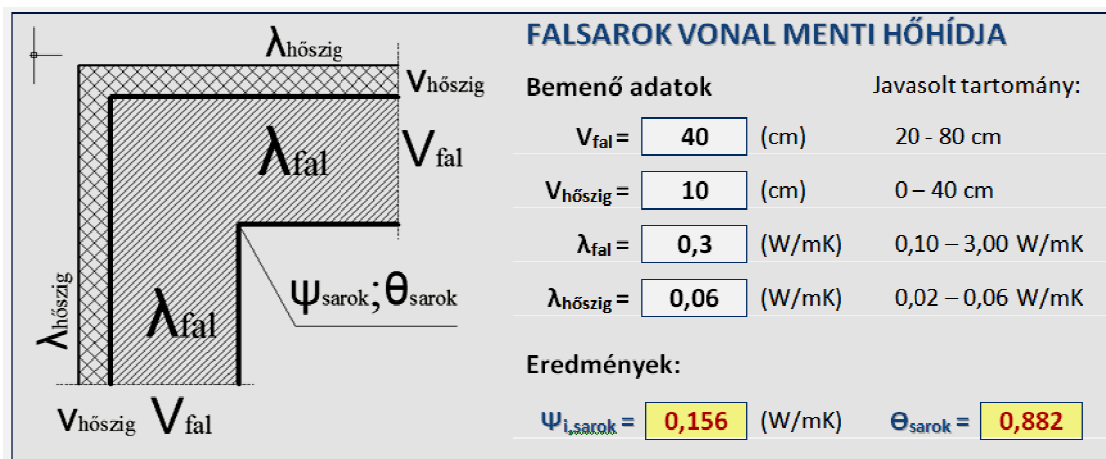
4. ábra. Homogén falsarok vonal menti hőátbocsátási tényezője a falazat vastagságának és hőátbocsátási tényezőjének függvényében

3.5 Negyedik tézis

Kettőnél több független változó segítségével meghatározott többdimenziós hőhíd-problémák közelítő megoldásának matematikai modellezése.

Bármely bonyolult épületszerkezeti-épületfizikai szituáció esetén, ahol a keresett függő változó(k) értékei a független változók diszkrét értékei alapján matematikailag kalkulálhatók, vagy véges elemes szimulációkkal meghatározhatók, a neurális hálózatok módszerét alkalmazva a függő változók közelítő értékei a tetszés szerinti számú folytonos független változó alapján matematikai (analitikus) formában felírhatók. A közelítő értékek hibái a neurális hálózatok tanulási folyamata során, a független változók értelmezési tartományán belül minimálisra csökkenthetők.

Példa képpen bemutattam, hogy a hőszigeteléssel ellátott falsarok hőhídjának vonal menti hőátbocsátási tényezője (ψ), valamint saját léptékben mért legalacsonyabb felületi hőmérséklete (θ) a folytonos független változók (V_{fal} , $d_{hőszig}$, λ_{fal} , $\lambda_{hőszig}$) értelmezési tartományán belül analitikus összefüggéssel felírható, és egyszerű Excel programban interaktív módon feldolgozható, számítható.



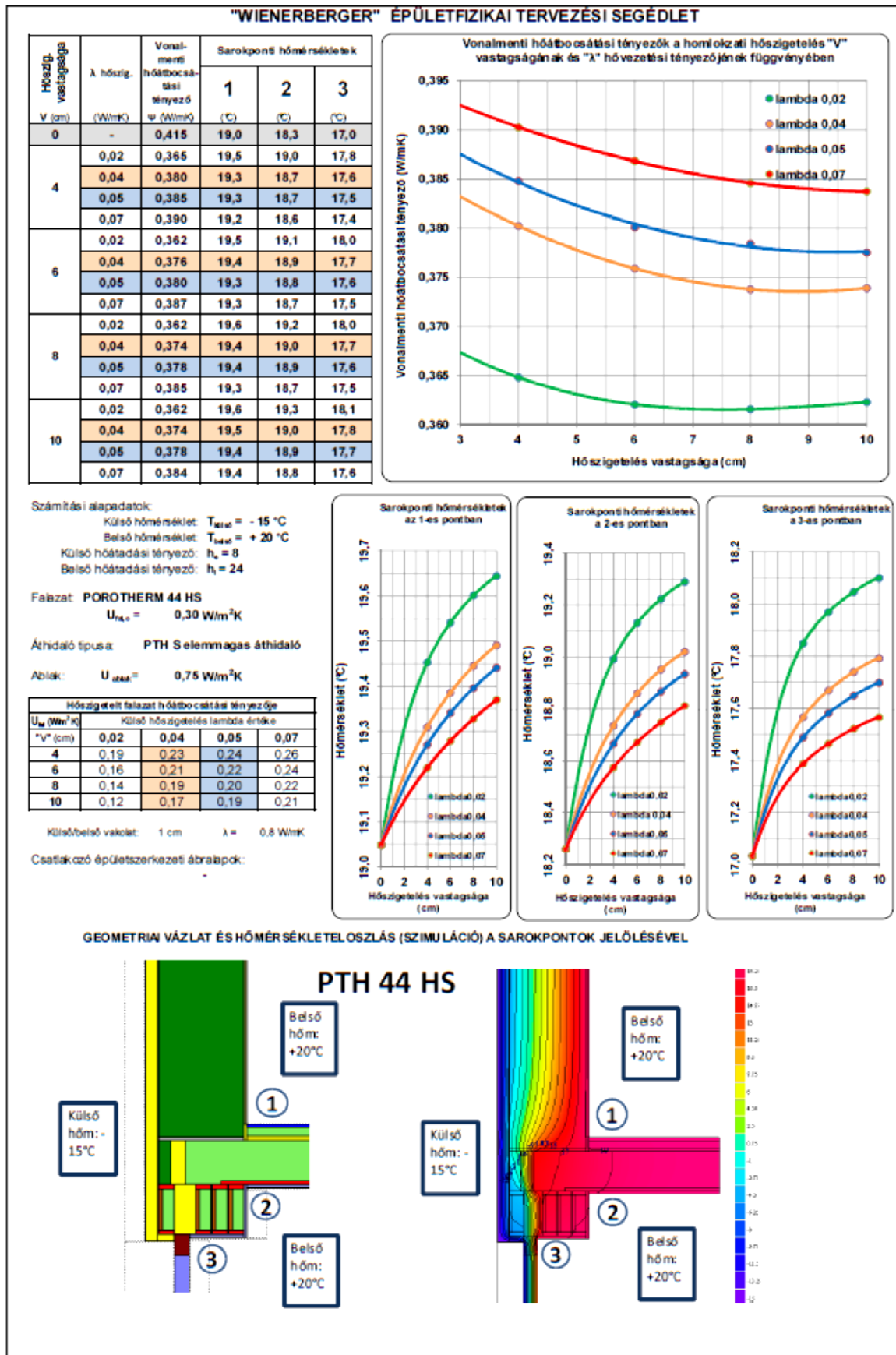
5. ábra. Excel alapú általános hőhíd katalógus mintaeleme

4 A tudományos eredmények hasznosítási lehetőségei és a jövőbeni kutatási feladatok

4.1 A tudományos eredmények és módszerek gyakorlati alkalmazása

Végeselemes szimuláció és regresszióanalízis alkalmazásával, a disszertáció részeredményeinek felhasználásával került összeállításra 2009-ben a BME. Magasépítési Tanszék és a Wienerberger Téglaiipari Zrt. közötti Kutatás-Fejlesztési együttműködés keretében az aktuális gyártói termékpalettához kifejlesztett csomóponti részletmegoldásokat, és azok munkaközi állapotú hőhídkatalógusát tartalmazó kutatási jelentés.

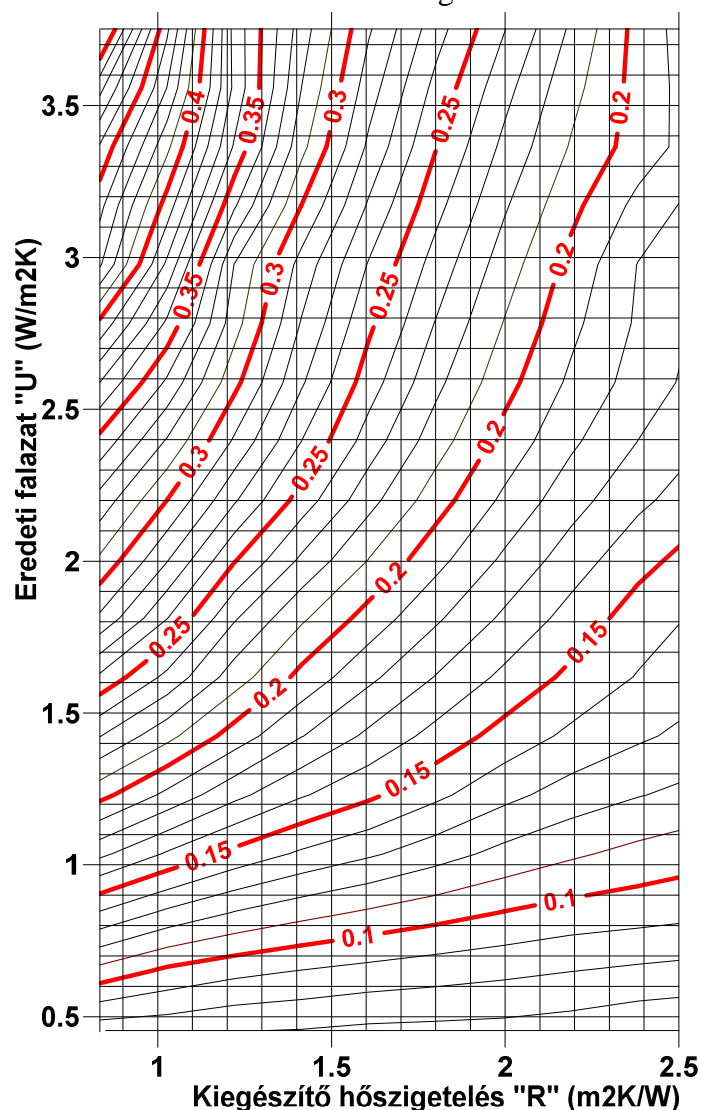
A szimulációs vizsgálatok eredményeinek visszacsatolásával kerültek módosításra, pontosításra az épületszerkezeti részlettervek.



6.ábra. Hőhidkatalógus mintalap végeelemes szimuláció és regresszóanalízis segítségével előállított eredményekkel.

4.2 A tudományos eredmények hasznosítási lehetőségei az épületszerkezeti csomópontok tervezésénél

Igazoltam, hogy az épületszerkezetek épületfizikai viselkedésével kapcsolatos adatok, elsősorban a hőhidak épületfizikai jellemzői (ψ vonal menti hőátbocsátási tényező, χ pontbeli hőátbocsátási tényező, θ saját léptékben mért legalacsonyabb felületi hőmérséklet), valamint az épületszerkezetek geometriai és fizikai paraméterei (V_i rétegvastagságok, λ_i hővezetési tényezők, U_{oi} kezdeti hőátbocsátási tényezők, stb...) között néhány jellemző paraméterkombináció véges differenciák módszerével történő szimulációs eredményének felhasználásával a folyamatos változók teljes értelmezési tartományára érvényes, nagy pontossággal közelítő függvénykapcsolat írható fel. Két független változó folytonos változásának egy függő változóra gyakorolt hatását, a változások irányát, mértékét, tendenciáit térinformatikai módszerrel (pl. krigeléssel) „szintvonalas térképek” formájában háromdimenziós leképezéssel lehet bemutatni, ami az épületszerkezeti csomópontok fejlesztésénél rendkívül szemléletes elemzési lehetőséget biztosít a tervezés/kutatás számára.



7. ábra. Külső oldali összefüggő kiegészítő hőszigeteléssel ellátott falsarok vonal menti hőátbocsátási tényezőjének változása 40 cm vastag falnál

4.3 A tudományos eredmények hasznosítási lehetőségei az épületenergetikai számítások eredményeinek pontosításánál

Az épületek energetikai szintjének javítása során az összes energiaveszteségen belül egyre nagyobb arányt képvisel a vonal menti hőhidak hővesztesége. Az energetikai minősítés szempontjából ezért egyre kevésbé fogadható el a hőhidak hatásának közelítő figyelembe vétele.

A valós csomóponti részletmegoldások (változó minőségű) hőhídkatalógusai a független változóként megjelenő paraméterek diszkrét értékei esetére adnak szimulált eredményeket. A szerkezeti variációk számossága azonban diszkrét változó értékek esetén is csak igen sok oldalas katalógusokban jeleníthető meg.

A disszertációban bemutatom, hogy neurális hálózatok módszerével csomópont-típusonként egyetlen Excel párbeszédablakban megjeleníthető tetszés szerinti számú folytonos független változó csoporthoz tartozó tetszés szerinti számú függő változó.

Az energetikai számításokhoz a disszertációban a vázolt módszer alapján összeállított általános érvényű (gyártótól és márkától független), Excel programként megjelenő, tehát a mindennapi gyakorlat számára könnyen használható hőhídkatalógus mintáját ismertetem.

5 Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani mindenkinek, aki segítségével és támogatásával hozzájárult a disszertáció elkészítéséhez.

Külön köszönet illeti:

Témavezetőmet, Dr. Koppány Attila egyetemi tanárt, aki lehetőséget teremtett a témában való elmélyülésre, és éveken át támogató segítséget nyújtott.

A BME Magasépítési Tanszék oktatóit és dolgozóit, akik mindvégig lelkesen segítették a munkámat, lehetőséget biztosítva a tanszéki kutatásokban és fejlesztésekben való közreműködésre, továbbá a tanszéki műszerek, berendezések, számítástechnikai hardver és szoftver eszközök használatára.

Dr. Széll Mária tanszékvezető egyetemi tanárt, aki szakmai tanácsaival és személyes bátorításával segítette a disszertáció létrejöttét.

Köszönetet mondok:

Kotek Szabolcs tanszéki munkatársnak, és Sípos Szabolcs valamint Szollár Georgina tanszéki demonstrátoroknak, akik a véges elemes szimulációk futtatásában nyújtottak segítséget.

Dr. Paláncz Béla egyetemi tanárnak, és Orosz Máté tudományos segédmunkatársnak, akik a neurális hálózatok alkalmazásához adtak elméleti, illetve gyakorlati segítséget.

6 A tézisekhez kapcsolódó saját publikációk/előadások

Publikációk:

Csanaky Judit Emília;

Az épületfizikai gondolkodás fejlődésének hatása az épületszerkezeti tervezésre;

Épületfelújítás; Verlag Dashöfer Kiadó;

29. aktualizálás - 3.10. Könyvfejezet; 2007.; Budapest

Csanaky Judit Emília; Hőhidproblémák kezelése az MSZ-04-140/2-1985 szabványban;

Épületfelújítás ;Verlag Dashöfer Kiadó;

31. aktualizálás - 3.10.2.2.2. Könyvfejezet; 2008.; Budapest

Csanaky Judit Emília; Termovízió a diagnosztikai vizsgálatok, az építési/tervezési hibák felderítésének szolgálatában;

Épületfelújítás; Verlag Dashöfer Kiadó;

35. aktualizálás 13.3.3. Könyvfejezet; 2009.; Budapest

Csanaky Judit Emília; Épületfelújítás az energetikai tanúsítás tükrében

Épületfelújítás; Verlag Dashöfer Kiadó;

36. aktualizálás 3.10.2.3. Könyvfejezet; 2009.; Budapest

Csanaky Judit Emília; A hőhidak hatásának figyelembe vétele az energiatudatos építészeti és konstrukciós részlettervezésnél; Műszaki és informatikai rendszerek és modellek II.

Széchenyi István Egyetem Műszaki Tudományi Kar

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola; 2008.; Győr

Csanaky Judit Emília; A legegyszerűbb geometriai hőhíd – a derékszögű falsarok;

Magyar Építőipar 2009/3.szám; 107-110. oldal; 2009.; Budapest

Csanaky Judit Emília; Hőhidak energetikai számítása

Magyar Építéstechnika 2009/9. szám; 28-30. oldal; 2009.; Budapest

Judit E. Csanaky; Wall-corner – the simplest type of thermal bridges;

Acta Technica Jaurinesis; ; Faculty of Engineering Sciences

Széchenyi István University; 2010; Győr

Judit E. Csanaky;

Application of the GIS method in the doctoral research area of the energy-conscious development of structures on the common border of architectural design and building physics.;

Slovak Journal of Civil Engineering; ; 2010; Bratislava

Előadások:

Csanaky Judit Emília: Hőhidhatások figyelembe vétele a hazai épületfizikai szabványokban.

Alaprajz Építész tervezői napok – Szakmai utóképzés és fórum.

Budapest, 2007.

Csanaky Judit Emília: Hőhíd.

35. Épületszerkezettani Konferencia.

Baja, 2010.

