

Nyugat-magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Faházak szezonális hőtárolási lehetőségeinek modellezése

HORVÁTH TIBOR

Sopron

2016

Doktori (PhD) értekezés tézisei
Nyugat-magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola
Vezető: Prof. Dr. Tolvaj László egyetemi tanár

Doktori program: Faanyagtudomány

Témavezető: Dr. Pásztory Zoltán

1. Bevezetés

Napjainkban az épületek energiahatékonyságának fokozása és széndioxid lábnyomának csökkentése fontos szempont azok megtervezése, megépítése és üzemeltetése során. A faépületek, köztük a könnyűszerkezetes faházak széndioxid-lábnyoma a hagyományos megoldásokkal összevetve kedvezőbbnek mutatkozik, s megfelelő hőszigetelési technológiák állnak rendelkezésre, melyek nagyban hozzájárulnak az említett célok eléréséhez. Tekintve, hogy a mérsékelt és hideg éghajlati övben a lakóépületek teljes energia felhasználásának nagy része (Európában mintegy négyötöde) a fűtés és részben a használati melegvíz előállítás fedezését szolgálja, ez az egyik olyan területe az épületfenntartásnak, ahol számottevő megtakarítást érhetünk el, különféle innovatív megoldásokkal. A környezettudatosság jegyében, a téli időszakban a faépületekben felhasznált fűtési energia fedezése a hagyományos energiaformákon kívül (szén, földgáz, kőolaj, fa, stb.) történhet megújuló energiával is, bár ezek rendelkezésre állása nem mindig egyenletes. Napenergia hasznosítás esetén célszerű a nyári időszakban megkötött fölös energiát valamilyen formában eltárolni, s a fűtési energia igényt részben vagy egészben ebből fedezni.

Az épületek által igényelt fűtési energia tárolása több időskálán is elképzelhető (pl. napi vagy éves ciklusú), ennek megfelelően a szükséges tárolási méret is tág határok között mozog. Nagyméretű szezonális (éves ciklusú) energiatároló rendszerek vizsgálatával, fejlesztésével és üzemeltetésével már több évtizede foglalkoznak, főként a világ fejlettebb régióiban, s ezeknek számos megvalósítási formája létezik (pl. furatos, rétegvizes, stb.). Azonban az épületek hőszigetelésének javulásával lehetővé vált, hogy a kisebb méretű, egyedi megoldásokat biztosító, családi házak fűtését szolgáló hőtároló rendszerek kutatása is előtérbe kerüljön, s az eddig elért eredmények biztatóak. Ezekben a kutatásokon nagyot lendíthet, ha az adott régió politikai vezetése különféle támogatások, pályázatok formájában ösztönző szerepet vállal. Ilyen lehetőségek az Európai Unióban, így hazánkban is adódnak, s jelen dolgot megvalósulásában is szerepet játszottak.

A fejlesztések számottevő része olyan energiatárolókhoz kötődik, melyeknél az energia eltárolása érzékelhető hő formájában történik, tehát a rendszer hőmérsékletének növelésével jár. Az ilyen energiatárolókat az angol szakirodalomban „sensible thermal energy storage system” („sensible TES system”) néven illetik. Hivatalos magyar megnevezésük még várat magára, hazai körökben ezeket legtöbbször szenzibilis hőtárolóknak nevezik. E rendszerek mellett intenzív kutatások folynak más (termokémiai és látens) energiatárolási mechanizmusú rendszerekkel kapcsolatban is, melyekkel lényegesen nagyobb tárolási energiasűrűség érhető el, ugyanakkor számos (pl. stabilitási, biztonságtechnikai) problémát kell még leküzdeni ahhoz, hogy a gyakorlatban is széles körben elterjedjenek. Dolgozatomban rövid áttekintést adok az említett háromféle rendszerről, nagyobb hangsúlyt fektetve a szenzibilis hőtárolásra.

2. A kutatás célja

A Nyugat-magyarországi Egyetem Innovációs Központja egy kutatási projekt keretében vállalta egy szezonális, szenzibilis hőtároló rendszer összeállítását és beüzemelését abban az Ágfalván található könnyűszerkezetes kísérleti faépületben, mely az Ubrankovics Kft-vel való együttműködés keretein belül épült fel. Kutatásom témája az említett hőtároló tömb hőtechnikai jellegű, számítógépes modellezése volt, végeelem módszert alkalmazva. A kutatás céljai között szerepelt annak vizsgálata, hogy a megépült hőtároló tömb képes-e egy adott feltételrendszer mellett fedezni a kísérleti gerendavázis épület téli fűtési hőigényét, továbbá milyen mértékű hőveszteség lép fel a szezonális hőtároló felületén. Kérdés volt, hogy vajon milyen részletességgel követhetjük nyomon a valós hőtárolóban végbemenő hőtani folyamatokat, illetve melyek azok a jellemzők, amik leginkább befolyásolják a hőtároló teljesítményét. Cél volt egy olyan, nagyszámú paraméterrel rendelkező végeelem-modell felállítása, melynek segítségével a szenzibilis hőtömb jellemzői (anyagtulajdonságok, geometriai jellemzők) könnyen megváltoztathatók, annak érdekében, hogy eltérő paraméter értékekhez tartozó változatok összehasonlítása is elvégezhető legyen, illetve adott körülményekre optimalizálható modell álljon rendelkezésre.

3. A kutatás módszere

Az Ágfalván felépített, kísérleti szezonális hőtároló rendszer hőtani monitorozása céljából, számos K-típusú termoelemet, valamint néhány hőárammérő, ill. légsebességmérő szenzort helyeztünk el a tömbben és annak felszínén. Az érzékelők adatait a kísérleti gerendavázis lakóépületben külön erre a célra kihelyezett személyi számítógépre telepített, egyedi fejlesztésű szoftver rögzítette. A mérési adatok szűrése és simítása után többféle két- és háromdimenziós (stacioner és tranzien) végeelem modellezést végeztem. Ehhez a kapcsolt fizikai szimulációra alkalmas COMSOL Multiphysics® végeelem-programcsomag különböző verzióit használtam. A szimulációk futtatásához először megadtam a modell geometriáját, majd kiválasztottam azt a programmodult, mely a vizsgált hő- és áramlási folyamatokat leíró parciális differenciálegyenlet-rendszert numerikus módon megoldja. Ezt követően, az egyes geometriai tartományokon és azok határain megadtam a szükséges kezdeti és peremfeltételeket, valamint az anyagjellemzőket, az adott modellezési feladatnak megfelelően. Elvégeztem a geometria diszkretizációját (behálózását), majd néhány program-paraméter beállítása után lefuttattam a szimulációkat. A kapott eredményeket feldolgoztam, és részben összevettem a mérési adatokkal (validálás).

4. Eredmények

Munkám során, a felhasznált végeelem-szoftver sajátosságaiból adódóan, kidolgoztam két szűrési algoritmust, melyekkel mintegy 90%-kal csökkentettem a mérési adatokból számított felfűtési teljesítmény adatsor nagyságát, a fűtési görbe alakjának megtartása mellett, jelentősen lerövidítve a tranzien modellezés futási idejét.

Egy egyszerűsített geometriájú modell segítségével megállapítottam, hogy a hőtárolóból történő hővisszanyerés sebességének változtatása jelentős hatással van a kifűthető időszak hosszára, ugyanakkor a háromrétegű hőszigetelés középső rétegét (FOAMGLAS) érintő vastagság-növelés az említett időszakot csekély mértékben befolyásolja. Az egyszerűsített modell eredményei szerint a hőtároló hővesztesége a tárolt energiának mintegy 30-62%-a a vizsgált esetekben, azonban ennek mintegy háromnegyede konvektív jellegű, így a hőtömb épületben való elhelyezésekor ez is felhasználható a lakótér fűtésére. Az egyszerűsített geometriájú modellel végzett szakaszos felfűtési kísérlet validálása rámutatott, hogy ez a modell csak a kísérleti hőtároló kvalitatív jellemzésére megfelelő.

A hőtani folyamatok pontosabb jellemzéséhez egy részletes geometriájú modellt állítottam fel, mely számos paramétert tartalmaz, így alkalmas optimalizálási feladatok futtatására. Ezzel a modellel három, egyenként 1 hetes időszakra vonatkozóan szimuláltam a hőtömb felfűtését, majd validáltam a kapott eredményeket. Megállapítottam, hogy a hőtárolóban fellépő hőtani folyamatok kvantitatív modellezéséhez elengedhetetlen az anyagjellemzők és a kezdeti hőfokeloszlás minél pontosabb megadása, utóbbihoz a hőmérő szenzorok számának és elhelyezésének alapos megtervezése szükséges.

A hőtároló hőcserélő egységének két- és háromdimenziós végeelem modellezése során kapott eredmények alapján megállapítottam, hogy az eredeti (referencia) geometria esetében, az áramló légtömeg sebességeloszlása nem egyenletes, emiatt a hőtárolóból történő hővisszanyerés hatékonysága az elvártnál alacsonyabb. A hőcserélő hatásfokának növelését megcélzó optimalizálási eljárás során modellezett geometriai változatoknál mintegy 10%-os hatásfok-javulás adódott, továbbá a kísérleti hőtömb esetében megvalósult légtérrelő kefése megoldás a mérési adatok szerint közel 30% hatásfok-növekedést okozott.

5. Tovább lépési lehetőségek

Bár az Ágfalván elhelyezett kísérleti hőtároló modellezése során sikerült néhány aspektusát megvizsgálni a rendszer hőtechnikai viselkedésének, számos további teendő adódik, melyekre a rendelkezésre álló időkeret és erőforrások mellett nem került sor. Fontos feladatnak tekintem a hővisszanyerési folyamatnak a teljes hőtároló rendszert érintő jellemzőinek vizsgálatát, melyhez a részletes geometriájú modell megfelelő kiindulási alapnak tűnik. Az alkalmazott végeelem szoftver moduláris felépítésének köszönhetően, kisebb módosítások után a hőcserélőben fellépő kényszerített áramlás modellezése is megvalósítható, bár ehhez szükségesnek mutatkozik egy korábbiaknál lényegesen nagyobb számítási kapacitást biztosító környezet kialakítása. További, a jelenlegi felépítést alapvetően megtartó, de eltérő geometriai paraméter-értékekkel (méretek, bizonyos szerkezeti elemek száma és kiosztása) és anyagtulajdonságokkal bíró változatok modellezésére a meglévő részletes modell szintén alkalmas. Újabb modellváltozatok megalkotásával a jelenlegi rendszertől teljesen eltérő szerkezetű energiatárolók vizsgálata is lehetővé válik, bár ezek validálása csak akkor biztosított, ha rendelkezésre áll a megfelelő kísérleti, valós rendszer.

6. Az értekezés tézisei

- I. A szezonális hőtároló tömb felfűtésének tranziens modellezése során megadott időbeli lépésközök megfelelő megválasztása érdekében, algoritmizált szűrési eljárásokat fejlesztettem ki és alkalmaztam („ δ -módszer”, „ φ -módszer”), melyekkel a mérési adatsorokból származtatott tömb-felfűtési teljesítmény adatsorok nagyságát jelentős mértékben (~90%-kal) csökkentettem, a fűtési görbe alakjának megtartása mellett. A módszernek köszönhetően, a kísérleti hőtároló felfűtésének szimulációja a végeselem modell csökkentett futási ideje mellett valósulhatott meg.
- II. Megállapítottam, hogy az egyszerűsített lehülési modell paramétereként szereplő hővisszanyerési sebesség (Q_r) változtatása a kifűthető időszak hosszára jelentős hatással van [2,4]. Ugyanakkor a modell szerint, 400 W-ról 100 W-ra csökkentve a hő visszanyerés mértékét, a szezonális hőtároló által fedezett időszak hossza csak alig több mint kétszeresére növekszik. Ennek oka a kinyert, és a hőtömb felületén/talapzatán keresztül távozó veszteség hő arányának változásában keresendő, nevezetesen a hővisszanyerés sebességének csökkentésével a veszteség-hő aránya növekszik a nyereség-hőhöz viszonyítva.
- III. Az egyszerűsített lehülési modell eredményei alapján megállapítottam, hogy a szezonális, szenzibilis hőtároló hőszigetelő rendszerének részét képező középső szigetelőréteg (FOAMGLAS) vastagságának növelése (megkétszerezése) a kifűthető időszak hosszát csekély mértékben befolyásolja [2]. Ez a jelenség magyarázható azzal a ténnyel, hogy a kísérleti hőtároló tervezésekor megfelelően megválasztott hőszigetelő rendszer magas hőszigetelő képességgel bírt, így ennek további javítása csak elhanyagolható hatással van a hőveszteség csökkentésére.
- IV. Az egyszerűsített lehülési modell eredményei alapján megállapítottam, hogy a hőtároló tömbből távozó veszteség-hő (~30-62% a vizsgált esetekben) nagy része (74-77%-a) a hőtároló szabad felületein fellépő konvektív hőveszteség, mely felhasználható az épület fűtésére, amennyiben a szezonális hőtároló tömböt az épületen belül helyezük el [2]. A talapzati hőveszteség általában tényleges veszteségként könyvelhető el.
- V. Az egyszerűsített szakaszos felfűtési, valamint a részletes modell eredményeiből levontam azt a következtetést, hogy a szezonális, szenzibilis hőtároló rendszerben zajló hőtani folyamatok kvantitatív jellemzéséhez, és a számítási adatok megfelelő szintű validálásához elengedhetetlen az anyagtulajdonságok pontos ismerete, valamint a kiindulási hőfokeloszlás lehető legpontosabb megadása [1]. Utóbbi esetében az érzékelők számának és elhelyezésének előzetes, alapos megtervezése létfontosságú. Javasolt olyan időpontot választani a modellezés kezdetének, amikor a hőtárolóban kialakult hőmérsékletmező „ingadozásoktól mentes”.

- VI. Az általam felépített, részletes geometriával rendelkező, háromdimenziós modell nagyszámú geometriai és anyagparaméterrel rendelkezik, ennek köszönhetően alkalmas különböző optimalizációs eljárások futtatására, továbbá az Ágfalván elhelyezett kísérleti hőtároló tömbhöz hasonló, de eltérő méretezésű, illetve más anyagtulajdonságokkal bíró további rendszerek tervezésére, felfűtési és hővisszanyerési folyamatok hő- és áramlástan vizsgálatára.
- VII. A hőcserélő két- és háromdimenziós végeelem modellezésével kapott eredmények alapján megállapítottam, hogy az eredeti (referencia) geometria esetében, az áramló légtömeg nem egyenletes sebességeloszlása miatt a hőcserélő egység hatásfoka alacsony, a modellezett geometriai változatokkal pedig mintegy 10% javulás érhető el [3]. A kísérleti hőtömb esetében megvalósult légtérrelő kefések megoldás a mérési adatok szerint közel 30% hatásfok-növekedést okozott.

7. A kutatási témát érintő publikációk és előadások

Külföldön megjelent, lektorált, idegen nyelvű publikációk:

- [1] Horváth, T., Pásztory, Z., 2013. Modeling of seasonal heat container for wood frame residential homes. In: Jozef, K., Marian, B. (Szerk.), *Wood the Best Material for Mankind*. Arbora Publications, Zvolen, pp. 21–24.
- [2] Horváth, T., Pásztory, Z., 2015. Heat stored in a solid block as source of heating energy. *International journal of smart grid and clean energy* 4(2), pp. 119–124.
- [3] Horváth, T., Pásztory, Z., Horne, K., 2016. Performance comparison of heat exchanger designs for a seasonal heat storage system. *Energy and Buildings* 123, pp. 1–7. doi:10.1016/j.enbuild.2016.04.004

Hazai, lektorált folyóiratban megjelent publikáció:

- [4] Horváth, T., Pásztory, Z., 2013. Szezonális hőtároló rendszer lehűlési folyamatának számítógépes modellezése. *Faipar* 61(3), pp. 6–11.

Hazai, nem lektorált periodikákban megjelent publikációk:

- [5] Horváth, T., Pásztory, Z., 2013. Hogyan tárolhatjuk a napenergiát a téli időszakra? *Magyar Asztalos- és Faipar: az országos asztalos- és faipari szövetség hivatalos fóruma* 9, pp. 72–73.
- [6] Horváth, T., Pásztory, Z., 2014. Szezonális hőtároló: Energiakonzerv télire. *Starfield magazin. Gerendaházak* 9(1), pp. 44–45.

Elektronikusan megjelent publikáció:

- [7] Horváth, T., Pásztory, Z., 2013. Faépület fűtése szezonális hőtárolóval. *Fatáj-online*. [Online:] http://www.fataj.hu/2013/10/252/201310252_FahazFutesHotaroloval.php (megtekintve: 2016. július 30.).

Előadások:

- [8] Horváth, T., 2012. Faházak szezonális hőtárolási lehetőségeinek modellezése. (Előadás). Doktorandusz konferencia 2012. NymE Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola, Sopron, 2012. június 1.
- [9] Horváth, T., 2015. Szezonális hőtároló modellezése. (Előadás). Környezettudatos energiahatékony épület című projekt Záró konferencia (TÁMOP4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068), Sopron, 2015. február 20.
- [10] Horváth, T., Pásztory, Z., 2012. Modeling of seasonal heat container for wood frame residential homes. (Előadás). Interaction of Wood with Various Forms of Energy, Zvolen, 2012. szeptember 26.
- [11] Horváth, T., Pásztory, Z., 2015. Heat stored in a solid block as source of heating energy. (Előadás). 2015 5th International Conference on Future Environment and Energy, Taipei, 2015. január 24.
- [12] Pásztory, Z., Ronyecz, I., Horváth, T., 2013. Development and Implementation of MIRRORPANEL Project. (Előadás). Academic workshop: Bridging research and Practice. (Researchers and Producers V-4: Development of cooperation in the field of passive and zero buildings.), Sopron, 2013. május 16.