



Európai és észak-amerikai fa vázszerkezetű épületek hőtechnikai összehasonlítása

PÁSZTORY Zoltán¹, MOLNÁR Sándor¹

¹ NymE FMK, Innovációs Központ

Kivonat

Az épületek energiahatékonysága egyre nagyobb jelentőségű kérdés Európában. Az energiaárak növekedésével várhatóan e téma Észak-Amerikában is egyre nagyobb figyelmet kap. A tanulmány a két kontinens tipikus fa vázszerkezetű épületének a hőtechnikai összehasonlításával foglalkozik. A számítások jelentős különbséget mutatnak az európai szerkezet javára, az Észak-Amerikában legelterjedtebb épülettípussal szemben. Az európai fa vázszerkezetű falrendszer 50%-kal alacsonyabb hőátbocsátási tényezővel rendelkezik, mint az amerikai. A számítási eredmények rávilágítanak a fa bordaváz hőtechnikai szerepére is.

Kulcsszavak: fa vázszerkezetű épület, hőszigetelés, hőátbocsátási tényező

Comparison of heat conductivity of North American and European wood frame wall structures

Abstract

Heat performance of residential buildings has gained attentions in Europe recently. Rising energy prices predict that this topic will also become important in North America. This study deals with the comparison of heat performance of typical wood frame structures from Europe and from North America. Based on this research, the European wood frame structure proved to be significantly more energy efficient with two times higher thermal resistance than the North American structure. In addition, the influence of wood studs on the thermal resistance of the wood frame structures was also investigated and the results are presented in this paper.

Key words: wood frame building, heat insulation, heat conductance

Bevezetés

A fa vázszerkezetű épületeknek számos változata létezik világszerte. E tanulmányban csupán a két kontinens jellemző fa vázszerkezetű épületeit kívánjuk összehasonlítani hőtechnikai szempontok alapján. Az összehasonlítás célja a két típusú szerkezet hőtechnikai tulajdonságainak feltárása és egymáshoz viszonyítása. A tanulmány célja az is, hogy bepillantást adjon az észak-amerikai vázszerkezetű épületek rétegrendjébe, az alkalmazott anyagokba. Mivel mindkét kontinensen szintén több változata létezik a vizsgálat tárgyát képező épületeknek, így mindkét helyről egy-egy tipizált épületet választunk ki az összehasonlításhoz. Mindkét helyen igaz,

hogy ugyan eltérő technológiákat alkalmaznak, a legtöbb esetben ugyanannak az épületrendszernek a kialakítására. Európai viszonylatban a skandináviai és a német nyelvterületeken épített szerkezetek adják az európai faházak zömét, így az európai szerkezet kiválasztásánál súlyozottan szerepeltek.

Szakmai előzmények

Bátran elmondható, hogy a faanyag, mint az egyik legrégebb óta rendelkezésre álló építőanyag, már a kezdetekkor épületekben testesült meg. Megfigyelhető, hogy azokon a földrajzi térségeken, ahol nagy mennyiségben és kellő minőségben állt és áll rendelkezésre, ott máig kedvelt építőanyag. Ahol pedig

évszázadok óta hiányát látják, ott más anyagok töltötték be a szerepét. Az erdőszűltség erőteljesen befolyásolta a területekhez kapcsolódó építési tradíciókat, természetesen más fontos tényezők mellett, mint a társadalmi, kulturális, földrajzi, gazdasági és szakmai szempontok. Jelenleg nagyon nagy eltérés van az észak-amerikai és az európai fa vázszerkezetű épületek helyi részarányaiban. Míg Amerikában a lakóépületek közel 90%-a fa vázszerkezetű (Ellingwood et. al. 2004), addig Európában – Skandinávia egyes részeit (Fossdal és Edvardsen 1995) és a hegyvidéki részeket leszámítva – 10-15% környékén van a fa vázszerkezetű épületek részaránya az új építésű épületekben. Ez a nagymérvű eltérés elsősorban gazdasági, de társadalmi és kulturális alapokra is visszavezethető.

Társadalmi szempontból a két vizsgált terület alapvetően eltért már a kialakulásuktól kezdve. Az európai társadalom évezredek hagyományokra tekinthet vissza, így építészete is hasonlóan hosszú múlttal, tradíciókkal rendelkezik. Néha láthatatlanul is tradíciók húzódnak meg egy-egy építésügyi szabályozás mögött. Szélsőséges példák találhatók erre az alkalmanként túlzott műemlékvédelem területén, de maga a településrendezés is számos korlátozást hordoz az épületekre vonatkozóan. A jelenlegi észak-amerikai társadalom jóval rövidebb és szabadabb múltra tekinthet vissza. A 16–18. században az indiánok kiszorításával egy teljesen új, kontinens méretű társadalom alakult ki. Ugyan a bevándorlók többsége rendelkezett saját társadalmi gyökerekkel, de Amerikába érkezésükkor a lehetőségekhez voltak kénytelenek alkalmazkodni. A szülőhelyeiktől való elszakadással sokszor a társadalmi gyökereiktől is részlegesen elszakadtak. Érdekes jelenség, hogy bár az Amerikát alapítók többsége Európából származik, mégsem nyomja rá jelentősen egyik európai kultúrából hozott építészeti stílus sem a bélyegét a jelen fa vázszerkezetű épületek szerkezeti kialakítására. Az épületek egyes elemei, formái erős angol behatásról árulkodnak – különösen a régebbi épületeknél –, de maga a szerkezet sajátosan amerikai fejlesztés.

Az amerikai társadalom kulturális szempontból sokkal egységesebb, mint az európai, így építészeti szempontból is nélkülözi azt a sokszínűséget, amit Európa hordoz. Az évszázadok folyamán közös nyelvvel, közös pénzzel, és egységes kormányzással, törvényhozással rendelkező Amerikai Egyesült Államok természetszerűleg folyamatosan fejlődött egységessé. A fa vázszerkezetű épületek tekintetében Kanada is azonosnak tekinthető az USA-val.

Az európai építészeti kultúra és az amerikai között határozott különbség, hogy az előbbi sokkal inkább bír a tradícióra épülő és ahhoz ragaszkodó szokásokkal, míg a másik az építészeti kultúrát is a gazdasági szempontoknak rendeli alá.

Az észak-amerikai lakóházépítéseket évszázadok óta a gazdasági szempontok határozták meg. Európában ugyanezt a szerepet a helyi „tradíciók” töltötték be. Azt is figyelembe kell venni természetesen, hogy amíg Európában néhány kisebb esetet leszámítva nem lépett fel jelentős lakáshiány, addig Amerikában a bevándorlási időszak évszázadaiban folyamatos lakáshiánnyal küszködtek. Ez a helyzet kényszerítette ki a gyors, olcsó, lehetőleg egyszerű épületszerkezetek kialakítását. A fa alapanyag mindhárom feltételt kiválóan kielégítette. Az amerikai telepések a keleti és a nyugati parton is mesébe illő erdőkkel és Európában nem tapasztalt rönkmérőkkel és hosszokkal találkoztak. A problémát a gyakran 1-2 métert meghaladó átmérőjű rönkök szállítása és feldolgozása okozta. A fűrésziparban járatlan olvasó számára is nyilvánvaló, hogy a magas kihozatal és termelékenység révén nem volt nehéz az olcsó és jó minőségű alapanyag biztosítása.

Európában a szilikátbázisú építőanyagok változatlanul tartják vezető szerepüket a több esetben olcsóbb fa vázszerkezetű épületekkel szemben. Amerikában is időről időre megjelennek a fa vázszerkezetű épületek konkurensei, mint a fém, a beton és a téglá, de csak a faanyag árának jelentős emelkedésekor jutnak némi piaci növekedéshez. A faanyag árának lecsökkenésével párhuzamosan a piacuk is visszaszorul. (Spelter 1996)

Általában az épületek üzemeltetési költsége többszörösen meghaladja azok beruházási költségét az élettartam alatt, így az energiaárak fontos befolyásoló szereppel bírnak. Észak-Amerikában az energiaárak alacsonyabbak, mint Európában (Frenette et. al. 2007). Ennek megfelelően az épületekkel szemben támasztott előírások és a vásárlók elvárásai is eltérnek a két kontinensen.

Földrajzilag Európában kimutathatóak azok a területek, ahol a faanyag, mint építőanyag, a helyi bőséges alapanyagforrás miatt népszerű. Ezek a területek főként Skandináviára, az Alpokra és a Kárpátokra korlátozódnak. A fában szegényes alföldeken a kő- és vályogépületek olyan mélyen ágyazódtak be a kultúrába, hogy azt gazdasági és szakmai előnyökkel is nehéz ellensúlyozni, szemben Amerikával, ahol a faanyagban szegény déli sivatá-

gos, és a középső sztyeppés területeken ugyanúgy a faszerkezetű épületek találhatóak többségben, mint a fában gazdagabb partok mentén.

Szakmai egység szempontjából Észak-Amerika az egységes nyelve, piaca és egész területre kiterjedő szakmai szervezetei miatt kedvezőbb helyzetben van, mint az európai államok. A nagyobb amerikai építési vállalatoknak sok államra, esetenként az egész USA területére kiterjedő hálózata van. Ezek a cégek hatalmas típus-terv-választékkal rendelkeznek, amelyekből választva gyorsan és olcsón építik fel az épületeket. A nagyszámú épület és a típus-tervek miatt az árakat olyan alacsonyra szorították, amennyire azt a konkurencia kényszerítette. Európában az építési vállalatok főként egy-egy országon belül tevékenykednek, és csak néhány rendelkezik több országra kiterjedő hálózattal.

Szakmai szempontból fontos különbség, hogy Amerikában engedélyezett akár négyszintes épület építése is fa vázszerkezetből, míg az európai államok többségében erősebbek a magassági korlátok.

Szerkezeti különbségek, számítások

Az épületekkel szemben támasztott követelmények fő irányai eltérőek a vizsgált térségekben. Az észak-amerikai alacsonyabb energiaárak miatt itt sokáig nem dominált az épületek energiahatékonysága. Ezzel szemben Európában az épületek energiahatékonyságára vonatkozó előírások 1980 óta folyamatosan szigorodnak. A rendkívül alacsony energiafelhasználású épületek, mint a passzív és aktív házak egyre nagyobb mértékben terjednek főként a német nyelvterületen, de más országokban is.

Az észak-amerikai kontinensen az épületek fő fejlesztési iránya a szélállóság és a földrengéssel szembeni ellenálló képesség fokozása. Az évente megjelenő 5-12 hurrikán és a több száz tornádó nagy területeket érint, ahol az épületek nagy szélterhelésnek vannak kitéve. A hurrikánok és tornádók okozta károk évről évre emelkednek az elmúlt évtizedekben (Li és Ellingwood 2006), így a károk csökkentésének érdekében az új építésű épületekben egyre komolyabb szilárdsági előírásokat érvényesítenek. Meg kell említenünk, hogy a hőszigetelésre vonatkozó előírások – az európaiktól ugyan elmaradva – némiképpen szintén erősödnek.

Mindkét kontinensen mutatkoznak eltérések területenként az épületekre vonatkozóan, mert mind Európában, mind Észak-Amerikában az időjárási viszonyok ezt szükségessé teszik. A hidegebb területeken erősebb hőtechnikai szabályozások van-

nak érvényben, míg a tengerpartok közelében és a déli vidékeken enyhébbek. Az USA déli részén az előírások nem a hideg, hanem a nyári meleg hatását hivatottak ellensúlyozni. Az amerikai épületállomány nagy része a korábban széles körben elfogadott névleges 2" x 4" vázkeresztmetszettel készült, ami a nedves méret, aktuálisan ez 1½" x 3½" (38 mm x 89 mm) méretet jelent. A növekvő energiaárak miatt ma a 2" x 6" névleges keresztmetszetet is alkalmazzák a vázszerkezetben, a gyakorlatban ez 38 mm x 140 mm. A számítások során a szárítás utáni méreteket vettük figyelembe. Az összehasonlításban mindkét amerikai konstrukciót figyelembe vesszük az európai mellett, a rétegrendekeket az 1. és 2. táblázatok mutatják.

A hőátbocsátási tényezőket az [1] képlettel számoltuk:

$$U = \frac{1}{\alpha_i + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \alpha_e} \quad [1]$$

ahol:

U Hőátbocsátási tényező (W/m²K)

α_i Hőátadási tényező a belső oldalon
(0,125 m²K/W)

δ Az egyes rétegek vastagságai (m)

λ Az egyes rétegek hővezetési tényezője (W/mK)

α_e Hőátadási tényező a külső oldalon
(0,0588 m²K/W)

Anyagok

A vázszerkezetet mindkét esetben a fa pallók biztosítják. Az európai szerkezetben 62,5 cm-es tengelytávolságban helyezkednek el egymástól és 6 cm szélességűek. A szokványos 2,8 m-es panelmagasság mellett a falfelületnek – az alsó és felső övgerendáit is figyelembe véve – 16,5%-át teszi ki a fa bordaváz. Egy nemrégiben született PhD dolgozatban bemutatott eredmények 9,7%-ot adnak meg a bordaváz részarányára vonatkozóan, övgerendák nélkül (Hantos 2008). Az amerikai I. szerkezetnél a gerendák 16"-ra, azaz 40,6 cm-re állnak, a falpanel magassága 9' (értsd: láb) vagyis 2,743 m (Thallon 2008). E szerkezet esetében a bordaváz a falfelület 12,89%-át teszi ki. Az amerikai II. vázszerkezetnél a vázgerendák osztásköze 24", azaz 60,9 cm, a falmagasság azonos az I. változattal, így a falfelületi részarány 9,98%.

Az európai rendszernél általános megoldás a Dryvit-rendszer alkalmazása a külső oldalon. Az amerikai rendszereknél lényegesen nagyobb választék áll rendelkezésre a homlokzatképzésre. Jelen tanulmányban a cement-farost kompozit burkolat-rendszert választottuk ki, amely az egyik legnépsze-

1. táblázat Az európai szerkezet rétegendje**Table 1** Layer order of the european structure

Európai			
Réteg	Anyag	Hővezetési tényező [W/mK]	Vastagság [mm]
dryvit	vakolat	0,7	5
	polisztirol hab	0,04	60
külső burkoló lemez	gipszrost	0,47	12,5
vázszerkezet	ásványgyapot	0,04	140
	faváz keret	0,13	
párazáró réteg	polietilén fólia	2,3	0,1
belső burkoló lemez	gipszrost	0,2	12,5
falvastagság összesen			230,1

2. táblázat Az észak-amerikai szerkezetek rétegendjei**Table 2** Layer order of the north american structure

Észak-amerikai			I.	II.
Réteg	Anyag	Hővezetési tényező [W/mK]	Vastagság [mm]	
külső burkolat	cement-farost kompozit	0,245	9,5	9,5
vízzáró réteg	tyvek fólia	3	0,1	0,1
külső burkoló lemez	OSB	0,13	15,5	15,5
vázszerkezet	ásványgyapot	0,04	89	140
	faváz keret	0,13		
párazáró réteg	polietilén fólia	2,3	0,1	0,1
belső burkoló lemez	gipszkarton	0,16	12,7	12,7
falvastagság összesen			126,9	177,9

rűbb megoldás a PVC- és a téglaburkolás mellett. A vázkereteket mindkét rendszernél valamilyen lemeztermékkel fedik le. Mindkét helyen általánosan alkalmazott anyag a gipszkarton és gipszrost lemezek. Az USA-ban elterjedtebben alkalmazzák az OSB-táblákat a külső oldalon.

Amíg az európai rendszereknél a párazáró fólia egy rétegben helyezkedik el a belső burkoló lemez alatt, addig az észak-amerikai épületekben két helyen. A párazárást az európaihoz hasonlóan a belső burkoló lemez alatt elhelyezett polietilén fólia biztosítja, de a külső burkolat alatt is helyeznek el egy fóliát (Tyvek), amely paraáteresztő és vízzáró. A természeti adottságok miatt Észak-Amerikában az épületek homlokzata nagyobb mértékű vízterhelésnek van kitéve, mint Európában. Az özönszerű esőzések, hurrikánok és tornádók rövid idő alatt

nagy mennyiségű vizet képesek az épületre zúdítani, és az egyidejű jelentős szélterhelés hatására a víz könnyedén bejuthat a – kiszellőzést biztosító – burkolat alá. A vízzáró fólia célja ennek a víznek a kizárása a fal belsőbb részeiből.

Eredmények

A hőtechnikai számításoknál a rétegendek egyedi hőellenállásait összegeztük, és a vázszerkezetet tartalmazó réteg esetében felületi részarányban súlyoztuk. A fa bordaváz hőtechnikai jelentőségének a megmutatása céljából a 3. táblázatban a szerkezetek tiszta szigetelőanyaggal kalkulált értékeit is bemutatjuk. A fal hőátbocsátási tényezőjének meghatározásánál a külső és a belső felületen jelentkező hőátadási ellenállást minden szerkezet esetében 0,125 és 0,0588 m²K/W-nak vettük.

3. táblázat Számítási eredmények

Table 3 Calculated results

Szerkezet típus	Teljes vastagsága [mm]	Fa bordaváz felületi részaránya a falban [%]	Hőátbocsátási tényező bordavázzal [W/m ² K]	Hőátbocsátási tényező bordaváz nélkül [W/m ² K]	Eltérés a hőátbocsátási tényezőben [%] *
Európai	230,1	16,50	0,2049	0,1894	7,56
Amerikai I.	126,9	12,89	0,4085	0,3779	7,49
Amerikai II.	177,9	9,98	0,2718	0,2550	6,18

* A hőátbocsátási tényező bordavázzal adja a viszonyítási alapot (100%)

Következtetések

A bordavázak nem elhanyagolható mértékben – 6,18–7,56%-ban – rontják a szerkezetek hőátbocsátási tényezőit. Az eredmények egyértelműen az európai szerkezet energetikai előnyét mutatják. Az európai szerkezet hőátbocsátási tényezője csak 50,15%-a az amerikai I. szerkezetnek, vagyis az amerikai I. kétszer annyi energiát használ a fűtési-hűtési üzemeltetés során, mint az európai. Az európai rendszer az amerikai II. szerkezetnél is 32,6%-kal jobb eredményt ér el a hőátbocsátási tényezőben. Hozzá kell tennünk azonban, hogy az amerikai I. épület az észak-amerikai kontinens lakóépület-állományának közel 80–90%-át teszi ki. Vagyis az amerikai lakóházak falszerkezeteinek hőátbocsátási tényező átlaga a 0,4 W/mK-es érték környékén van.

Az 1980 előtt épült téglá- és panelépületek gyengébb eredményeket mutatnak energiahatékonyság tekintetében (Molnár 2009), mint az amerikai I. szerkezet. Ezt figyelembe véve nem mondható, hogy az amerikai lakóépület-állomány elmaradásban van energiahatékonysági szempontból az európai épületekhez képest. Azt viszont határozottan állíthatjuk, hogy az épületek energetikai szabályozásával az európai államok jelentős javulást értek el az elmúlt két évtizedben. Az energia-megtakarítási tartalék az amerikai lakóépület-állományban is benne van, de a kiaknázásához a szabályozásokat szigorítani kell. Jelentős a beruházási igénye és az eredmény a rendszer nagy tehetetlensége miatt csak néhány évtized alatt mutatkozik meg (Goverse et. al. 2001).

Magyarországi viszonylatban a vizsgálathoz kiválasztott európai szerkezet egy jobban szigetelt szerkezetnek számít (Szabó 1995). A legtöbb esetben nem alkalmaznak 14 cm-es bordaszélességet, csak 10–12 cm-est, és a külső oldalon is inkább csak 5 cm a felszerelt polisztírol vastagsága. Egy ilyen szerkezetre becsült hőátbocsátási tényező az amerikai II. szerkezet tulajdonságait tükrözheti.

A skandináv és a német nyelvterületeken a vizsgált európai szerkezet a mostani előírások mellett egy teljesen átlagos épületnek számít. Az európai előírások és a passzív házak közép- és nyugat-európai előretörésével a következő évtizedekben növekedhet a különbség az épületek hőtechnikai teljesítményében a két kontinens között. A Passivhaus Institut becslése szerint 20000 passzív ház van világszerte és ennek döntő többsége Európában (Passive House Institute 2010).

A folyamatosan erősödő európai előírások egy-két évtized múlva már nagyon jelentős előnyt fognak biztosítani a kontinens energiahatékonyságában Észak-Amerikával szemben. A lassan ugyan, de változó amerikai előírások arra engednek következtetni, hogy további energiahatékonysági szabályozások várhatóak az óceán túlsó partján is. Az épületek energiahatékonysága terén mindkét kontinens rendelkezik további kihasználható tartalékokkal a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésére. Magyar viszonylatban is közép és hosszú távon előnyös és kívánatos az épületeket erősebb szigeteléssel ellátni, nem csak a környezetvédelem, hanem a várható energiaváltságot könnyebb átvészélése érdekében is.

Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány a Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kara által elnyert ENERGHÁZ és TUKORPAN pályázatok támogatásai alapján készülhetett el. Ezennel szeretnénk megköszönni a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatását, valamint Dr. Bejő László és Dr. Perry Peralta értékes szakmai segítségét.

Irodalomjegyzék

Ellingwood B R, Rosowsky D V, Li Y, Kim J H (2004) Fragility Assessment of Light-Frame Wood Construction Subjected to Wind and Earthquake Hazards, Journal of Structural Engineering, 130:1921-1930

- Fossdal S, Edvardsen K I (1995) Energy Consumption and Environmental Impact of Buildings', *Building Research & Information*, 23:221-226
- Frenette C D, Beauregard R, Derome D, (2007) Multi-Criteria Evaluation Framework of Factory-Built Wood-Frame Walls, *Buildings X Proceedings*
- Goverse T, Hekkert MP, Groenewegen P, Worrell E, Smits R E H M (2001) Wood Innovation in the Residential Construction Sector; Opportunities and Constraints, Resources, Conservation and Recycling 34:53-74
- Hantos Z (2008) Fa bordavázás lakóépületek energetikai minősítési módszere és alkalmazása fejlesztési célokra, PhD dolgozat, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- Li Y, Ellingwood B R (2006) Hurricane damage to residential construction in the US: Importance of uncertainty modeling in risk assessment *Engineering Structures* 28:1009-1018
- Molnár L (2009) Az energiahatékonyság szerepe a magyar energetikában, E-gépész online szaklap <http://www.e-gepesz.hu>
- Spelter H (1996) Emerging Nonwood Building Materials in Residential Construction, *Forest Prod. J.* 46:29-36
- Szabó P (1995) Faházépítés Magyarországon, *Magyar Asztalos*, 1995. évf. 4. szám.
- Thallon R (2008) *Graphic Guide to frame Construction*, 3rd edition, The Taunton Press, 243
- Passive House Institute (2010) "The Passive House in all dimension" 14th Passive House Conference Report, 14th International Passive House Conference 2010

Hidakról, földrajzi-történeti áttekintés

I. rész: Őskor és a nagy birodalmak kultúrái

LÁNG Elemér¹

¹ Associate Professor Emeritus, West Virginia University, Division of Forestry and Natural Resources, Morgantown, WV 26505

Kivonat

A fából készült hídszerkezetek az írott történelem előtti időktől szolgálják az emberiség infrastrukturális igényeit. A természetes, kidőlt fatörzstől a nagy fesztávú kábelhidakig a szerkezetek és alkalmazott anyagok evolúciója számtalan technikai megoldást tett lehetővé. E publikációk rövid áttekintést adnak az elsősorban fából készült hídszerkezetek fejlődésének történetéről a teljesség igénye nélkül. Ez az első rész az ókori nagy birodalmak és azok utódállamainak hídszerkezeteit tárgyalja.

Kulcsszavak: hídszerkezetek, fedett fahidak, történeti áttekintés