

# A fabordák hőhídhatása egy könnyűszerkezetes falazatban

Hantos Zoltán \*

A rohamosan szigorodó hőtechnikai követelmények, illetve a jobb hőszigetelésű épületek iránt napról-napra növekvő igény miatt egyre hangsúlyosabb figyelmet fordítanak a térelhatároló szerkezetek hőhídjaira. Egy inhomogén rétegrendben, mint amilyen egy fa bordavázás falazat, az egyes faelemek rontják a falazat hőszigetelőképességét, mert hőhídként viselkednek. Az inhomogenitást figyelembe vehetjük az EN ISO 6946 szabvány szerinti súlyozással, a hőhídhatást pedig az EN ISO 10211-1, illetve EN ISO 10211-2 szabványok szerint. Ez a dolgozat a két módszer eredményeit igyekszik összehasonlítani egy egyszerű példán keresztül. A hőhídszámítás során alkalom nyílt tesztelni egy ingyenesen beszerezhető, végeelem-módszert alkalmazó hőhídsoftvert is.

**Kulcsszavak:** Hőhíd, Könnyűszerkezetes épület, Számítógépes modellezés

## Thermal-bridge effect of the studs in a wooden frame wall

Nowadays, thermal insulation is getting more and more important in the building industry. The requirements are strict, the demand for highly insulated buildings is constantly on the rise. This is why thermal bridges are increasingly important for building experts. In an inhomogenous structure, like a wood frame wall, studs reduce the thermal insulation capacity, because they cause a thermal bridge effect. This effect of inhomogeneity is calculable according the norm EN ISO 6946, but this calculation method does not take the thermal bridge-effect into account, only the inhomogeneity of the stud-insulation layer. The calculation-method that takes account of the effect of the non-parallel heat-flow is found in norms EN ISO 10211-1, and EN ISO 10211-2. This article aims to compare the results of these obtained by these two methods. A freeware thermal bridge software using finite element method was also evaluated along with the two calculation standards.

**Key words:** Thermal bridges, Wood frame housing, Computer modelling

### Bevezetés

A fa bordavázás, könnyűszerkezetes épület külső falszerkezete réteges felépítésű. A teherhordó bordázat közé beépített hőszigetelés jelentős hányadát teszi ki a falazat hőszigetelésének, így meghatározó szerepe van a hőátbocsátási tényező értékében. Azonban ez a hőszigetelés nem folytonos réteg, mivel azt a bordázat többször megszakítja. A bordázat és a bordaközi szigetelés révén a falazat hőtechnikailag inhomogénné válik. Ezt az inhomogenitást igyekszik ellensúlyozni a homlokzati hőszigetelő-rendszer, ami egybefüggő felületével „összemossa” a bordákon és a bordaközben kialakuló hőszigetelési különbségeket. A bordák hőszigetelés-csökkentő hatását viszont nem hanyagolhatjuk el. A falazatban kialakuló inhomogenitást az EN-ISO 6946 szabvány szerint számolhatjuk. Ez a szabvány a kétfajta hőátbocsátási tényezőjű falfelület arányából számítja az eredő hőátbocsátást. A másik módszer a bordákat, mint vonalmenti-hőhidakat

tekinti. Ehhez szükség van az adott borda vonalmenti hővezetési tényezőjére, és hosszára. A vonalmenti hővezetési tényezők meghatározását az EN ISO 10211 szabványok tartalmazzák. A két számítási eljárás között alapvető különbséget okoz az, hogy az egyszerű súlyozás csak merőleges hőáram-vonalakat feltételez, míg a hőhíd alapján történő számítás a hőáram-vonalak irányának módosulását is figyelembe veszi.

### A számítás menete

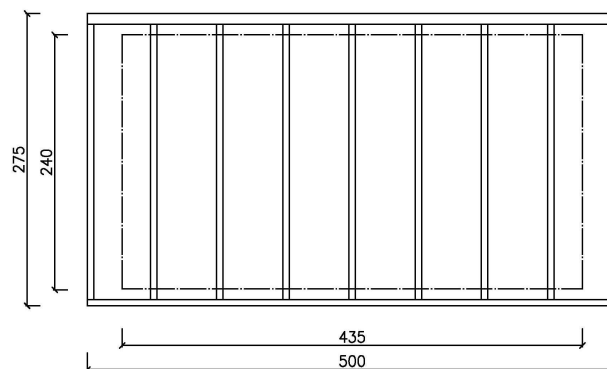
Az összehasonlításhoz felvettünk egy referenciafelületet, ami egy 5 méteres, nyílás nélküli falszakaszból került kijelölésre, az **1. ábrának** megfelelő módon. Az adott referenciafelület EN ISO 6946 szerinti súlyozott hőátbocsátási tényezőjét táblázatos úton határoztuk meg. A **2. ábrán** látható a falszerkezet teljes rétegrendje. Megjegyzendő, hogy a számításból a hőszigetelési szempontból nem számottevő rétegeket kihagytuk. A hőhíd meghatározásához a Therm 5.0

\* Hantos Zoltán, okleveles faipari mérnök, PhD. hallgató, NYME-FMK, Építéstani Intézet

végelem-módszert alkalmazó szoftvert hívtuk segítségül. Ez a szoftver lehetőséget ad arra, hogy a többirányúvá váló hőáramlási eseteket elemezni tudjuk. A programban elő lehet állítani az adott falszakasz vagy csomópont egyszerűsített modelljét. A peremfeltételek megadása után a számítógép elkészíti a hőmérsékleteloszlás és a hőáramsűrűség-eloszlás diagrammokat. A program eredményeiből közvetett számításokkal termikus vezetési értéket is képezhetünk, ami a vonalmenti hővezetési tényező meghatározásához szükséges. A további számításokhoz táblázatkezelő szoftver alkalmazható.

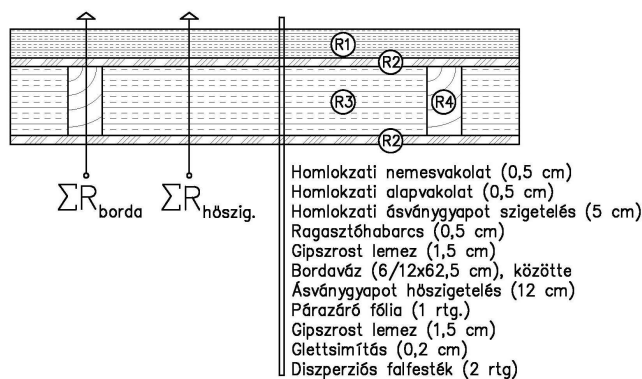
### Hőátbocsátási tényező meghatározása az EN ISO 6946 szerint

A számítást az egyszerűség és átláthatóság érdekében táblázatosan érdemes elkészíteni. A felvett referenciafelület súlyozással számított hőátbocsátási tényezőjének ( $U_S$ ) meghatározását az **1. táblázat** tartalmazza. Az egyes jelölések EN ISO 6946 3.2 fejezete szerint értelmezendők. A számított mennyiségek mellett zárójelben a számításukhoz szükséges képletek sorszáma található. A sorszámok megegyeznek az EN ISO 6946 szabvány számozásával. A külső és a belső hőátadási ellenállásokat ( $R_{se}$  és  $R_{si}$ ) a szabvány 5.2-es fejezete szerint vettük fel.



Referenciafelület: 10,44 m<sup>2</sup>  
 Bordahossz: 16,8 m  
 Bordafelület: 1,01 m<sup>2</sup> (9,7%)  
 Hőszig.felület: 9,43 m<sup>2</sup> (90,3%)

1. ábra – A borda- és hőszigetelés felületek eloszlása a referenciafelületen



Homlokzati nemesvakolat (0,5 cm)  
 Homlokzati alapvakolat (0,5 cm)  
 Homlokzati ásványgyapot szigetelés (5 cm)  
 Ragasztóhabarcs (0,5 cm)  
 Gipszrost lemez (1,5 cm)  
 Bordaváz (6/12x62,5 cm), köztük  
 Ásványgyapot hőszigetelés (12 cm)  
 Párazáró fólia (1 rtg.)  
 Gipszrost lemez (1,5 cm)  
 Glettsimítás (0,2 cm)  
 Diszperziós falfesték (2 rtg.)

2. ábra – Fa-bordavázás épület külső falszerkezetének felépítése, rétegrendje

1. táblázat – Súlyozott  $U_S$  érték számítása EN ISO 6946 szerint

		$\lambda$	$d$	$R [1]$		
		W/mK	m	m <sup>2</sup> K/W		
				Bordán	Bordaközben	Súlyozva
Külső hőátadás ( $R_{se}$ ):				0,04	0,04	0,04
Rétegterv	Polisztirol tábla	0,04	0,050	1,250	1,250	1,250
	Gipszrost lemez	0,30	0,015	0,050	0,050	0,050
	Szálal hőszigetelés	0,04	0,120		3,000	2,463
	Fenyő bordaváz	0,13	0,120	0,923		
	Gipszrost lemez	0,30	0,015	0,050	0,050	0,050
Belső hőátadás ( $R_{si}$ ):				0,130	0,130	0,130
$\Sigma R$ :				2,443	4,520	
$R'_T [5]$ :				4,176		
$R''_T [6]$ :				3,983		
$R_T [4]$ :				4,079		
$1/R_T$ :				0,24515		(W/m <sup>2</sup> K)
$U_S [9]$ :				0,25		(W/m <sup>2</sup> K)

### Hőátbocsátási tényező meghatározása az EN ISO 10211 szerint

A hőhidak az egyes felületek, illetve komplett épületek teljes termikus vezetési értékének ( $L$ ) számításakor bírnak jelentőséggel. Amennyiben a referenciafelületre számított  $L$  értékét osztjuk a referenciafelület nagyságával, úgy megkapjuk a hőhidak alapján számított hőátbocsátási értéket.

$$U_H = \frac{L}{A_{ref}} \quad [1]$$

Ehhez meg kell határoznunk a referenciafelület teljes termikus vezetési értékét. A számításához a szabvány a következő formulát adja meg (az EN ISO 10211 szabvány [8] képlete egyszerűsítve a jelenlegi esetre):

$$L = \sum \psi_b \cdot l_b + \sum U_{bk} \cdot A_{ref} \quad [2]$$

ahol:

- $L$  – teljes termikus vezetési érték (W/K)
- $\psi_b$  – vonalmenti hőhidveszteségi tényező (W/mK)
- $l_b$  – vonalmenti hőhidak hossza (m)
- $U_{bk}$  – a bordaközben számított hőátbocsátási tényező (W/m<sup>2</sup>K)
- $A_{ref}$  – a referenciafelület nagysága (m<sup>2</sup>)

Az itt felsorolt mennyiségek közül a bordaközi hőátbocsátási tényező a bordaközben számított hővezetési ellenállás reciprokaként képezhető, amit az előző számításainkból már ismerünk. A vonalmenti hőhidvezetési tényező meghatározása a szabvány [C.2] képlete alapján:

$$\psi = L^{2D} - U_{bk} \cdot l_{ref} \quad [3]$$

ahol:

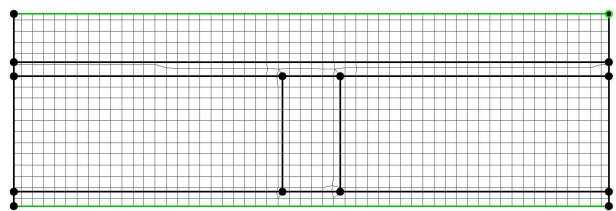
- $\psi$  – vonalmenti hőhidveszteségi tényező (W/mK)
- $L^{2D}$  – az adott referenciaszakasz 2D számításából származó, hosszirányra vonatkoztatott termikus vezetési érték (itt: a Therm 5.0 által számított hőáram) (W/K)
- $U_{bk}$  – a bordaközben számított hőátbocsátási tényező (W/m<sup>2</sup>K)
- $l_{ref}$  – a referenciaszakasz hossza (itt: a Therm 5.0 modell hossza) (m)

Az így felsorolt [1], [2], [3] képletek összevonásával a hőhid-hatást figyelembe vevő hőátbocsátási tényező ( $U_H$ ) az alábbi képlettel számítható:

$$U_H = U_{bk} + \frac{(L^{2D} - U_{bk} \cdot l_{ref}) \cdot \sum l_b}{A_{ref}} \quad [4]$$

A Therm 5.0 szoftver ingyenesen letölthető a világhálóról. Eredetileg ablakozott szerkezetek hőtechnikai viselkedésének modellezésére fejlesztették, azonban alkalmas arra, hogy hőhidak viselkedését tanulmányozzuk vele. A modellalkotás grafikus úton történik, az egyes elemeket megadhatjuk anyagtárból, de hővezetési tényező, és emissziós tényező segítségével új anyagokat is definiálhatunk. A végeelem-hálót a program önállóan készíti el háromszög és négyszögelemek alkalmazásával, ennek kézi finomítására nincs lehetőség, de a hálósűrűséget bizonyos határok közt magunk is megválaszthatjuk.

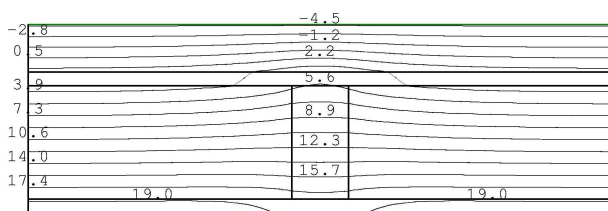
A peremfeltételek megadásakor ki kell tennünk a léghőmérsékletre és a hőátadási tényezőre. A modell megalkotásakor az **1. táblázatban** szereplő rétegendet építettük fel, az ott található vastagságokkal, és hővezetési tényezőkkel. Az EN ISO 10211-2 szabvány **3. ábrájának** iránymutatása szerint a modellt úgy kell felépíteni, hogy a hossza egy bordatávolságnyi legyen (62,5 cm), és a borda (6/12 cm keresztmetszet) ennek a szakasznak a közepén helyezkedjen el.



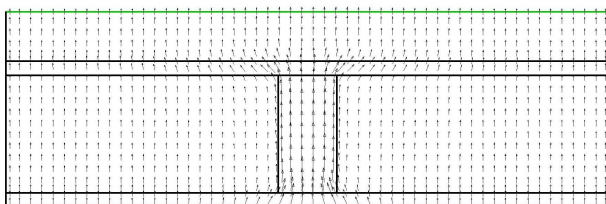
3. ábra – Therm 5.0 végeelem modell a bordáról

A hőhidak számításánál szokásos 1-1 méteres távolság így csupán 31 cm lesz, azonban a számítás grafikus eredményeiből látható, hogy a modell végein a hőmérsékleti vonalak teljesen párhuzamosak, a hőáramvektorok pedig merőlegesek a felületekre, vagyis a borda által keltett zavar a rövidnek tűnő, 31 centiméteres szakaszon is teljesen eltűnik. A **3. ábra** a számításhoz felépített modellt ábrázolja a

végeselem-hálóval, a **4.** és **5. ábrák** az eredményeket mutatják, az izoterma-vonalakat és a hőáramvektorokat. Mindkét értékről színes, színskálával ellátott ábrák is készíthetők.



**4. ábra** – Therm 5.0 végeselem eredmények: izotermák (az értékek °C-ban értendők)



**5. ábra** – Therm 5.0 végeselem eredmények: hőáramvektorok

Az általunk vizsgált szerkezet esetében a [4] képletbe szükséges értékek a következők:

$$L^{2D} = 0,153822 \text{ (W/mK) ( Therm 5.0 alapján)}$$

$$l_{\text{ref}} = 0,625 \text{ (m)}$$

$$\sum l_b = 16,8 \text{ (m)}$$

$$A_{\text{ref}} = 10,44 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$U_{bk} = 0,221239 \text{ (W/m}^2\text{K) az 1. táblázatban szereplő } \sum R_{bk} \text{ érték reciproka}$$

A fenti értékeket a [4] képletbe helyettesítve a hőhid-hatást figyelembe vevő hőátbocsátási tényező ( $U_H$ ) 0,25 (W/m<sup>2</sup>K) értékűnek adódik.

### Értékelés

A két módszerrel kapott eredményt összehasonlítva a várt eredményt kaptuk: amennyiben a fabordát nem egyszerű inhomogenitásként, hanem tényleges, többdimenziós hőhidat okozó elemként vesszük figyelembe, akkor magasabb hőátbocsátási tényezőt kapunk. Ezek alapján a tényleges hőszigetelő képesség rosszabb, mint azt az EN ISO 6946 szerint számolnánk. Meg kell azonban

vizsgálni a különbséget, illetve a két mennyiség arányát.

$$\Delta U\% = \frac{U_H - U_S}{U_S} \cdot 100(\%) = 0,45\% \quad [5]$$

Elmondhatjuk, hogy a hőáramok tényleges, többdimenziós jellegét is figyelembe vevő eredmény mindössze fél százalékkal adott nagyobb végeredményt, ami a mérnöki gyakorlatban elhanyagolható. Amennyiben figyelembe vesszük azt is, hogy az EN ISO 6946 a hővezetési ellenállásokhoz ( $R$ ) három, a hőátbocsátási tényezőkhöz ( $U$ ) pedig kettő tizedesjegy pontosságot ír elő, a két eredmény teljesen azonos.

$$U_S = U_H = 0,25 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

### Összefoglalás

A fa bordavázis könnyűszerkezetes épületek esetén a faelemek hőhidhatása nem elhanyagolható, azonban számításainkban elegendő a faborda és bordaközi hőszigetelés inhomogenitásának figyelembevétele. Amennyiben a falszerkezet hőátbocsátási tényezőjét az EN ISO 6946 szerint súlyozva számítjuk, a továbbiakban a falfelület hőhidmentes, homogén felületnek tekinthető. Az épületek, falnyílások, stb. okozta hőhidakat természetesen továbbra sem hanyagolhatjuk el.

### Irodalomjegyzék

1. EN ISO 6946: *Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method.*
2. MSZ EN ISO 10211-1: *Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek számítása.* 1. rész: Általános módszerek.
3. MSZ EN ISO 10211-2: *Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek számítása.* 1. rész: Vonali menti hőhidak.