



SEGÉDLET

Az Épületszerkezettan 3. félév
Rétegtervi U érték számítása

I.) A feladat pontosítása

A féléves tervfeladat II. feladatrészének részeként el kell készíteni a tervezett homlokzat U értékének számítását. **A feladatkiírásban eredetileg átlagos U érték szerepelt, de e helyett az ún. rétegtrendi U érték számítása is elegendő a félév teljesítéséhez!** Jelen segédlet II.) pontja ehhez foglalja össze a szükséges elméleti háttérrel, míg a III.) pont egy konkrét példán keresztül mutatja be a számítás menetét.

II.) Elméleti háttér

Az **U érték**, azaz hőátbocsátási tényező, egy felület jellegű szerkezet (pl. egy külső fal vagy lapostető) hőszigetelésének a jellemzője. Amint a mértékegysége (W/m^2K) is mutatja, azt fejezi ki, hogy egy adott szerkezet egységnyi felületén ($1/m^2$), egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására ($1/K$) mekkora hőáram (W) halad át. Az egyszerű U érték számítása az Épületfizika tantárgyból mindenkinek ismerős kell, hogy legyen, ezért itt most csak egy rövid ismétlés keretében térünk ki rá. Az U érték a szerkezet eredő hővezetési ellenállásának a reciproka. Az eredő hővezetési ellenállás a szerkezet egyes rétegei hővezetési ellenállásának, valamint a külső és belső felületi hőátadási ellenállásának az összege („sorba kapcsolt” hővezetési ellenállások). A külső és belső felületi hőátadási ellenállás ilyen egyszerű számításoknál konstansként kezelhető. Egy adott szerkezeti réteg hővezetési ellenállása pedig a réteg vastagságának és hővezetési tényezőjének hányadosaként számítható. Az egyszerű U érték számításának képlete tehát:

$$U = \frac{1}{R_{eredő}} = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} \quad (1)$$

Ahol:

U	[W/m ² K]	a hőátbocsátási tényező
R _{eredő}	[m ² K/W]	az eredő hővezetési ellenállás
R _{si}	[m ² K/W]	a belső oldali felületi hőátadási ellenállás, lásd 1. Táblázat
R _{se}	[m ² K/W]	a külső oldali felületi hőátadási ellenállás, lásd 1. Táblázat
d _i	[m]	az i-edik szerkezeti réteg vastagsága
λ _i	[W/mK]	az i-edik szerkezeti rétegek hővezetési tényezője

	Hőáram iránya		
	Vízszintesen	Felfele	Lefele
R _{se}	0.04	0.04	0.04
R _{si}	0.13	0.10	0.17

1. Táblázat – a felületi hőátadási ellenállás [m²K/W] értéke a hőáramok irányától függően

Amennyiben a fal rétegendje átszellőztetett homlokzatburkolatot is tartalmaz, azt a következő módon lehet a legegyszerűbben figyelembe venni: a burkolat és a mögötte lévő légrés hővezetési ellenállását elhanyagoljuk (hiszen a külső levegő folyamatosan cirkulálhat a burkolat mögött), illetve hatásukat egy megnövelt értékű külső oldali felületi hőátadási ellenállással vesszük figyelembe: R_{se} = 0.13 [W/mK].

Pontos és megbízható hőtechnikai számításokhoz azonban ennél többre van szükségünk. A külső térelhatároló szerkezeteink különféle ismétlődő vonalmenti vagy pontszerű inhomogenitást tartalmaznak, az időjárásnak és így a nedvességnek kitettek, valamint jó eséllyel nem tökéletes kivittel készülnek el. A jelenleg érvényes hazai épületenergetikai jogszabály (7/2006 TNM rendelet) szerint az U érték: **„rétegtervi hőátbocsátási tényező, amin az adott épülethatároló szerkezet átlagos hőátbocsátási tényezője értendő: ha tehát a szerkezet vagy annak egy része több anyagból összetett (pl. váz- vagy rögzítőelemekkel megszakított hőszigetelés, pontszerű hőhidak stb.), akkor ezek hatását is tartalmazza.”** Tehát valójában az egyszerű U érték számítását pontosítanunk kell több, a szerkezet tényleges hőátbocsátását befolyásoló tényezővel.

Ez a „korrekt” korrigált rétegtendi U érték kétféle képpen határozható meg: „a termék egészére, a minősítési iratban megadott” értékkel (pl. amikor egy építési rendszer kötött rétegtendjét használjuk bármilyen módosítás, pl. kiegészítő hőszigetelés nélkül, mivel ekkor minden szükséges számítás a gyártó „elvégez nekünk”), vagy pedig a vonatkozó harmonizált szabvány szerinti számítással. Ez a szabvány az MSZ EN ISO 6946:2007 *Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszer*. Ez a szabványos számítási módszer a korábbi tanulmányokból ismert egyszerű U érték számításához képest eléggé összetett és más további szabványokra is hivatkozik (pl. a hővezetési tényező számításához). Itt most csak a legfontosabb elemeit tekintjük át.

A szabvány szerint a **rétegtervi U érték** a szerkezeten belüli hőszigetelő anyagok kitettsége, a szerkezeten belüli hibák, inhomogenitások, mechanikai rögzítések, stb. alapján a következő képlet alapján számítható:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_{2,i}} + R_{se}} + \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r + \sum_j l_j \psi_j + \sum_k n_k \chi_k \quad (2)$$

Ahol:

R _{si}	[m ² K/W]	a belső oldali felületi hőátadási ellenállás
R _{se}	[m ² K/W]	a külső oldali felületi hőátadási ellenállás
d _i	[m]	az i-edik szerkezeti réteg vastagsága
λ _{2,i}	[W/mK]	az i-edik szerkezeti rétegek hővezetési tényezőjének tervezési értéke az MSZ EN ISO 10456 szabvány szerint számolva
ΔU _g	[W/m ² K]	a szerkezeten belüli légrések miatti korrekciós tényező

ΔU_f	[W/m ² K]	az MSZ EN ISO 6946 szabvány szerint a mechanikai rögzítések miatti korrekciós tényező
ΔU_r	[W/m ² K]	az MSZ EN ISO 6946 szabvány szerint a fordított tetők miatti korrekciós tényező az MSZ EN ISO 6946 szabvány szerint
l_j	[m]	a j-edik típusú, a szerkezet egységnyi felületére jutó ismétlődő vonalmenti (2D) hőhid típus hossza
Ψ_j	[W/mK]	a j-edik típusú, ismétlődő hőhidjának vonalmenti hőátbocsátási tényezője
n_k	[-]	a k-adik típusú, a szerkezet egységnyi felületére jutó pontszerű (3D) hőhidak száma
χ_k	[W/K]	az k-adik típusú ismétlődő pontszerű (3D) hőhid pontszerű hőátbocsátási tényezője

Az eltérés az egyszerű, avagy korrigálatlan U értékhez képest, hogy a hővezetési tényező az úgynevezett tervezési értékével szerepel, illetve, hogy több korrekciós tényező is megjelenik a képlet jobb oldalán.

A hővezetési tényező tervezési értéke, λ_2 , az MSZ EN ISO 10456 *Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok. Táblázatos tervezési értékek, eljárások a minősítési és a tervezési hőtechnikai értékek meghatározására* c. szabvány alapján határozandó meg. A valóságban minden építőanyag minden tulajdonsága bizonyos szórást mutat. A legjobb anyag és a leggondosabb gyártó esetében sem lesz két egymás utáni minta teljesen azonos. A hőtechnikai számítások szempontjából meghatározó fontosságú hővezetési tényező pedig a hőmérséklet és a nedvességtartalom függvénye is. Ezért, mint a tartószerkezeti tervezésben a biztonsági tényezők rendszere, szükséges egy egységes módszertan, ami biztosítja, hogy ennek a bizonytalanságnak az ellenére sem fogjuk jelentősen alábecsülni az épület hőveszteségeit, illetve képessé tesz minket a hőmérséklet és nedvességtartalom hatásának a számszerűsítésére. A szabvány szerint számolva a hővezetési tényező tervezési értéke a következő képpen határozható meg:

$$\lambda_2 = \lambda_1 F_T F_m F_a \quad (3)$$

Ahol:

λ_2	[W/mK]	a hővezetési tényező tervezési értéke az adott környezeti feltételekre
λ_1	[W/mK]	a hővezetési tényező a gyártó által deklarált értéke a szabványos környezeti feltételekre
F_T	[-]	a hőmérséklet korrekciós (v. konverziós) tényezője
F_m	[-]	a nedvességtartalom korrekciós (v. konverziós) tényezője
F_a	[-]	az öregedés korrekciós (v. konverziós) tényezője

A λ_1 deklarált hővezetési tényezőt a gyártó köteles megadni, még pedig úgy, hogy az 90%-os konfidencia szint mellett nagyobb vagy egyenlő legyen az anyag tényleges hővezetési tényezőjével, normál körülmények között a várható élettartamnak megfelelően (az öregedés ne növelje az adott érték fölé) és a szabványban rögzített körülmények között (hőmérséklet és páratartalom) legyen meghatározva. A λ_1 érték tehát az, aminek a gyártói adatszolgáltatásban szerepelnie kell, F_a értéke alap esetben 1, míg F_T és F_m a hőszigetelés tervezett hőmérséklete és nedvességtartalma alapján a szabvány szerint számítható. Ezek a tényezők szituációtól függően akár 5-10%-al ronthatják (növelhetik) a hővezetési tényezőt. A korrekcióknak pontos számítása meghaladja a féléves feladatnak és ennek a segédletnek a terjedelmét, ezért tudomásul véve, hogy ez a valóság a leegyszerűsítése, a deklarált hővezetési tényező 5%-al történő növelésével számolhatunk.

A ΔU_g korrekciós tényező a **szerkezeten belüli légrések**et hivatott figyelembe venni. Itt nem a burkolat mögötti átszellőztetésről (azt elhanyagoltuk, illetve közvetett módon vesszük csak figyelembe), hanem építési hibákról beszélünk. Amikor például a hőszigetelés és a falazat között összefüggő légrések alakulhatnak ki akkor ebben a légrésekben olyan áramlások indulhatnak el melyek jelentős mértékben növelhetik a szerkezet hőátbocsátását. Különösen nagy probléma akkor lehet, hogy ha az egyes hőszigetelő táblák közötti hézagok is átjárhatóak, és a hőszigetelést megkerülő levegő cirkuláció is ki tud alakulni. Ezeket a jelenségeket a megfelelő szerkezeti kialakítással e lehet és el kell kerülni. Amennyiben a szerkezeteken bemutatott megoldásokat követjük, ezek a nem kívánt ellenállások elkerülhetők, és így nem kell az U értéket rontó korrekciós tényezővel számolnunk, azaz ΔU_g értéke 0.

ΔU_r a fordított tetők korrekciós tényezője. Homlokzatok esetében értelemszerűen nem kell vele számolni.

Az össze többi tag a képletben a különféle ún. ismétlődő hőhidak korrekcióját hivatott kifejezni. **Hőhidak** a szerkezetek azon részét értjük, ahol a hőáramok többdimenzióssá válnak az anyagtulajdonságok változása (eltérő hővezetési tényezőjű anyagok) vagy a geometria összetettsége (pl. eltérő külső és belső felület) miatt. Két csoportba soroljuk őket: ismétlődő és nem ismétlődő hőhidak. **Ismétlődő hőhidaknak** nevezzük azokat a hőhidakat, melyek a felület nagyságával arányos számban fordulnak elő a szerkezeten (folyamatosan ismétlődnek). Ide tartoznak a hőszigetelést rögzítő dübelek, vagy például a homlokzatburkolatokat tartó legtöbbször fém anyagú vázrendszer bordái és/vagy konzoljai. Hogy a fogalmat még egyértelműbbé tegyük, gondoljunk a sík nagytáblás burkolatoknál tanult extrudált alumínium vázrendszerre, melynek függőleges bordái és az azokat tartó konzolok „átszúrják” a homlokzati hőszigetelést. Míg a hőszigetelés hővezetési tényezője nagyságrendileg 0.04 W/mK körül mozog, addig az alumíniumé kb. 160 W/mK, azaz majd 4 nagyságrenddel nagyobb! Bármilyen részletes alátámasztó számítás nélkül belátható, hogy ezekben a fém elemekben jóval nagyobb hőáramok fognak kialakulni, mint a hőszigetelésben. Az említett homlokzatburkolati rendszer esetében a bordákat vízszintes értelemben legfeljebb 60 cm-ként követik egymást és ezeket szintenként kb. 3-3 db L konzol fogja tartani. Ez a falazat egységnyi felületére vetítve is nagyszámú elemet jelent, amit a szerkezet hőszigetelésének számításakor figyelembe kell venni! Erre a legjobb módszer az ilyen és hasonló ismétlődő hőhidak hatásának az U értékbe való „beleszámítása”.

ΔU_f a hőszigetelés mechanikai rögzítéseinek (dübelek) a korrekciója. Közelítő számításához a következő képlet áll a rendelkezésünkre:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f n_f A_f}{d_0} \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \quad (4)$$

Ahol:

ΔU_f	[W/m ² K]	a hőátbocsátási tényező korrekciója
α	[-]	együttható, lást 2. Táblázat
λ_f	[W/mK]	a rögzítőelem hővezetési tényezője
n_f	[-]	a rögzítőelemek m ² -enkénti száma
A_f	[m ²]	egy rögzítőelem a hőszigetelést átszűrő keresztmetszete
d_0	[m]	a hőszigetelő réteg vastagsága
d_1	[m]	a rögzítőelem hossza, ami átszúrja a hőszigetelést

R_1	[m ² K/W]	a hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása
$R_{T,h}$	[m ² K/W]	a szerkezet teljes hővezetési ellenállása (a hőhidak nélkül)

Rögzítés típusa	α
Teljes hosszában a hőszigetelést átszűrő rögzítőelem	0.8
Mélyített rögzítő elem	0.8*(d ₁ /d ₀)

2. Táblázat – α együttható ΔU_f számításához

A hőszigetelés rögzítő dübelek hőátadás korrekciója a közelítő jellegű (4) egyenleten kívül a konkrét termék ismeretében azok pontszerű hőátbocsátási tényezőjével is számítható: χ [W/K]. A pontszerű hőátbocsátási tényező megmutatja, hogy egy darab dübel egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására (1/K) mekkora többlet hőáramot (W) okoz. Ez a dübel szerkezetének és a hőszigetelés vastagságának és hővezetési tényezőjének is a függvénye. Vagy többdimenziós hőtechnikai szimulációval, vagy gyártói katalógus segítségével számítható. A tájékoztatás végett a 3. Táblázatban megadunk néhány közelítő értéket.

Leírás	χ [W/K/db]
Acél tárcsa + csavar (ϕ 10 mm)	0.008
Acél tárcsa + csavar (ϕ 8 mm)	0.006
Műanyag tárcsa horganyzott acél csavarral	0.004
Süllyesztett csavaros v. hőszigetelő dugóval takart mélyített dübelek	≤ 0.002
Fém elemet nem tartalmazó dübelek	~ 0

3. Táblázat – Homlokzati hőszigetelés rögzítő dübelek – közelítő pontszerű hőátbocsátási tényezők

A dübeleken túl **figyelembe kell venni a homlokzatburkolat összes a hőszigetelést átszűrő fém rögzítőelemét**: bekötő tüskék, kiváltók, konzolok, sínek, stb. a vonatkozó vonalmenti és pontszerű hőátbocsátási tényezőkkel. Ezek értéke szintén egyedi hőtechnikai szimulációkból, vagy gyártói katalógusokból határozható meg. A tájékoztatás végett a 4. Táblázatban megadunk néhány közelítő értéket (a valódi értékek a konzoltól és a hőszigetelés vastagságától is függenek!).

Leírás	χ [W/K/db]
Téglaburkolat bekötő tüske	0.001
Rozsdamentes acél téglaburkolat tartó konzol	0.035
Rozsdamentes acél kőtartó konzol	0.012
Extrudált alumínium L konzol hőhíd megszakító alátéttel	0.040
Rozsdamentes acél L konzol (létra szerkezet) kettős hőhíd megszakítással	0.0065

4. Táblázat – Homlokzatburkolati rendszerek – közelítő pontszerű hőátbocsátási tényezők

Nem ismétlődő hőhidak alatt az épület „makroszintű” csomópontjainál kialakuló, az általános felületekhez képest többlet hőveszteséget értjük. A nem ismétlődő hőhidak közé sorolódnak többek között: a pozitív és negatív falsarkok, vázas szerkezetnél a külső falak pillérei és vázgerendái, a fal-födém csatlakozások, homlokzati fal és belső válasz- vagy tartófal csatlakozások, az erélylemez csatlakozások, a lábzatok, az ablak beépítés csomópontjai. Ezeknek a hőhidak a száma az építészeti kialakítástól függően igen eltérő lehet, hőátbocsátásuk pedig a csomópontok kialakításától függ, ezért a felületszerkezetek rétegrendi U értékének számításánál nem számolunk velük! A magyar épületenergetikai számításokban a nem ismétlődő hőhidak hatása az épület fajlagos hőveszteség tényezőjének a számításánál van figyelembe véve.

III.) Számítási példa

A vizsgált rétegrend (ill. szerkezet) legyen:

0.8 cm	nagytablás szálcement burkolat extrudált alumínium vázszerkezeten, a vázszerkezetet tartó extrudált alumínium konzolok 60/150 cm-ként, kemény műanyag hőhidmegszakító alátétekkel
5 cm	átszellőztetett légrés
8 cm	üvegszál fátyollal kasírozott hidrofóbizált kőzetgyapot hőszigetelés, 6 db/m ² műanyag tárcsás süllyesztett csavarozású dűbelekkel mechanikailag rögzítve, kötésben fektetve
6 cm	nagy testsűrűségű kőzetgyapot hőszigetelés pont-perem módszerrel ragasztva
1 cm	légzáró alapvakolat
30 cm	vázkerámia téglafalazat
1.5 cm	beltéri vakolat

A II.) pontban leírtak szerint a burkolat és az átszellőztetett légrés hővezetési ellenállását elhanyagoljuk, illetve csak megnövelt (a belső oldalival megegyező) felületi hőátadási ellenállással vesszük figyelembe. A hőszigetelés alsó rétege pont-perem módszerrel ragasztott, hozzá képest a külső réteg pedig kötésben fektetett, hogy a hőszigetelésen áthaladó és mögötte folytatódóan végigmenő káros légrések ki tudjuk küszöbölni. (A hőszigetelésben így is lesznek folytonossági hibák a homlokzatburkolat tartó konzolok környékén) A külső réteg hőszigetelés kasírozása egyrészt az átszellőztetett légrésben áramló levegő a hőszigetelésre nézve negatív hatása ellen, másrészt a hidrofóbizálással együtt a túlzott nedvességfelvétel ellen véd.

A számításhoz szükséges hővezetési tényezők (közelítő értékek, a saját számításnál pontosítandóak!):

Anyag	Deklarált érték λ_1 [W/mK]	Korrekción (számítást elhagyva, biztonság javáratévedve)
Vakolat	0.9	+5%
Vázkerámia falazat	0.17	+5%
Hőszigetelés	0.038	+5%

A külső és belső felületi hőátadási tényező értékeit a II.) alapján felvéve az egyszerű U érték a következő képpen számítható:

$$U = \frac{1}{0.13 + \frac{0.08}{0.038 \cdot 1.05} + \frac{0.06}{0.038 \cdot 1.05} + \frac{0.01}{0.9 \cdot 1.05} + \frac{0.3}{0.17 \cdot 1.05} + \frac{0.015}{0.9 \cdot 1.05} + 0.13}$$

$$= \frac{1}{5.476} = 0.183$$

El kell végezzük a mechanikai rögzítések (dűbelek) és egyéb hőhidak (homlokzatburkolat tartó váz konzoljai) miatti korrekciókat. A megadott dűbelek pontszerű hőátbocsátási tényezője a II.) pont alapján 0.002 W/K és m²-ként 6 db van belőlük. A hőhidmegszakító alátétes extrudált alumínium

konzolok hőátbocsátási tényezője a II.) alapján 0.04 W/K-el becsülhető és $1/(0.6 \cdot 1.5) = 1.11$ db/m² van belőlük. Ezek alapján a korrigált rétegrendi hőátbocsátási tényező:

$$U_{\text{rétegrendi}} = 0.183 + \Delta U_f + \sum_{\text{burk.}} n \cdot \chi = 0.183 + 6 \cdot 0.002 + 1.11 \cdot 0.04 = 0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Ha az eredmény összevetjük a korrigálatlan hőátbocsátási tényezővel, akkor igen jól látható, hogy miért van szükség az itt bemutatott korrekciókra: a rétegrendi hőátbocsátási tényező mintegy 31%-al magasabb a korrigálatlannál és a rétegrend éppen hogy csak megfelel az energetikai jogszabály U érték követelményének!

IV.) Javasolt irodalom

Reis Frigyes, Várfalvi János, Zöld András: Az Épületfizika alapjai

Komplex tervezési segédlet, BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

Az épületszerkezetek hő- és nedvességtechnikai működése és méretezése iránt érdeklődő hallgatóknak javasoljuk az *Épületszerkezetek Transzportfolyamatai I/II* szabadon választható tárgyak felvételét!

Budapest, 2017. április 24.

Dr. Bakonyi Dániel
egyetemi tanársegéd
évfolyamfelelős