

HŐVÉDELEM

Hőátviteli folyamatok

Dr. Harmathy Norbert, PhD



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építészmérnöki Kar, Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

Hővédelem

Határolószerkezetek energiamérlege

Hőátviteli folyamatok (hőtranszport)

Időben állandósult egydimenziós hőáram

Felületi hőátadási tényező

Többrétegű sík fal állandósult állapotú hővezetése

Hőmérsékleteloszlás többrétegű falban

Hősugárzás

Hőátbocsátás

Hőhidak

Talajra fektetett szerkezetek

Hőátvitel (hőtranszport) fogalma

Különböző hőmérsékletű testek közötti **energia átmenetet** hőátvitelnek (hőtranszportnak) nevezzük.

Hajtóereje a magasabb és az alacsonyabb hőmérsékletű test közötti **hőmérsékletkülönbség hatására alakul ki**. A magasabb hőmérsékletű test (a termodinamika második fő tételének értelmében) átadja hőjének egy részét az alacsonyabb hőmérsékletű testnek.

A hőátvitelnek három alapvető formája van:

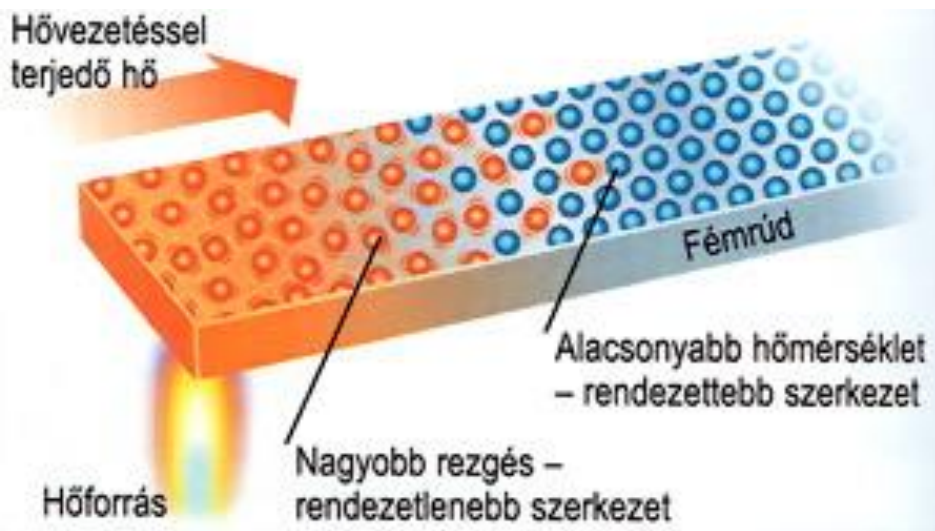
- **hővezetés (kondukció)**
- **hőáramlás (konvekció)**
- **hősugárzás (radiáció)**

Hőátviteli folyamatok

Hővezetés (kondukción)

A hővezetés során, a hőenergia a molekulák, elemi részecskék, helyváltoztató elmozdulása nélkül adódik át a **magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb hőmérsékletű helyre**.

A **hővezetéssel** történő átadásnak elengedhetetlen **feltétele**, a **hőmérsékletnek** egy adott test különböző pontjaiban **fennálló különbsége**. Így a hővezetés következtében keletkező hőáram nagysága a testben a hőmérsékleteloszlástól, vagyis a hőmérséklet tér jellegétől függ.



Hőátviteli folyamatok

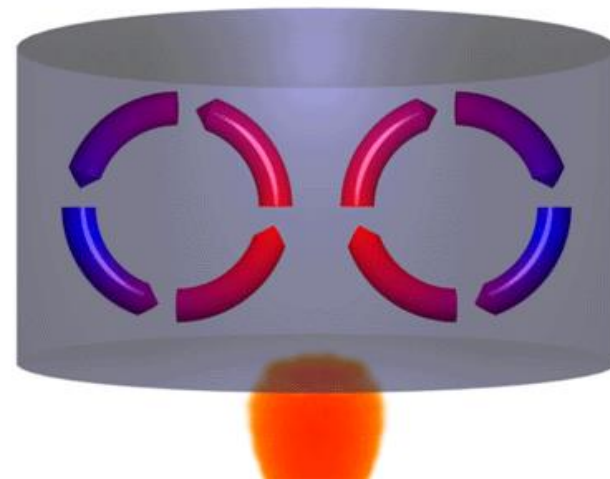
Hőáramlás (konvekció)

A **hőáramlás** vagy **konvektív hőátadás** a hőátadás olyan formája, amely során a hő átadása hőt felvevő, felmelegedő **részecskék tovaáramlásával zajlik**.

A hőáramlás az áramlás eredete szerint két fő típusba sorolható:

- **Természetes konvekció:** Az áramlást nem külső erő hozza létre, hanem az áramló közeg belső állapotából adódik, illetve abból, hogy a közegben az állapotjelzők lokálisan eltérnek, és ez hőmérsékleti gradienst, nyomási gradienst, sűrűségi gradienst hoz létre.
- **Mesterséges konvekció:** Az anyagot, és azzal együtt a hőt, valamilyen külső erő mozgatja, például szivattyú vagy ventilátor által.

Természetes konvekció által létrehozott cirkuláció sémája

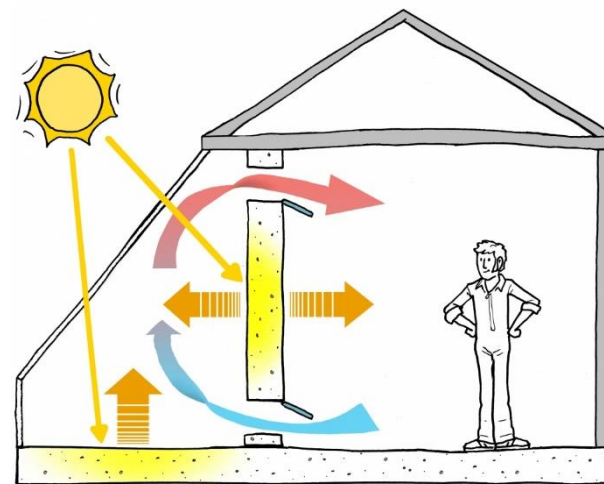
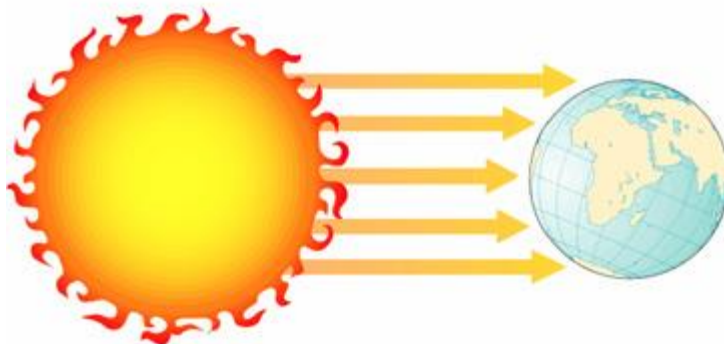


Hőátviteli folyamatok

Hősugárzás (radiáció)

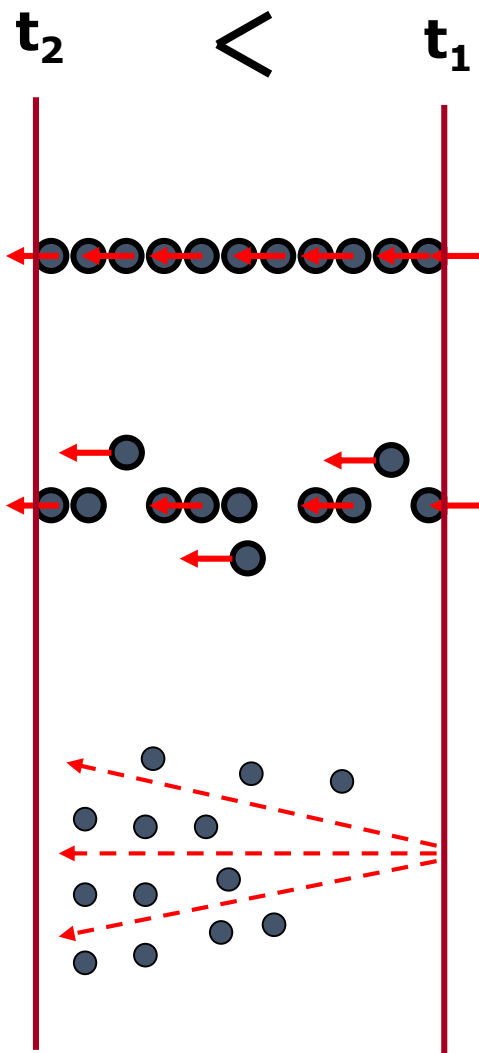
A **hősugárzás (radiáció)** a hőenergia **elektromágneses sugárzás** útján történő terjedése.

A radiáció független a hőt elnyelő (abszorbeáló) vagy kibocsátó (emittáló) médium vastagságától és függ a hőmérsékletétől, a geometriai viszonyoktól, a felület szerkezetétől és az anyag tulajdonságaitól. A sugárzási energia egy másik testen vagy **elnyelődik (emittálódik)**, vagy **visszaverődik (reflektálódik)**, vagy **áthalad (transzmittálódik).**



Hőátviteli folyamatok

Összegzés



HŐVEZETÉS (KONDUKCIÓ)

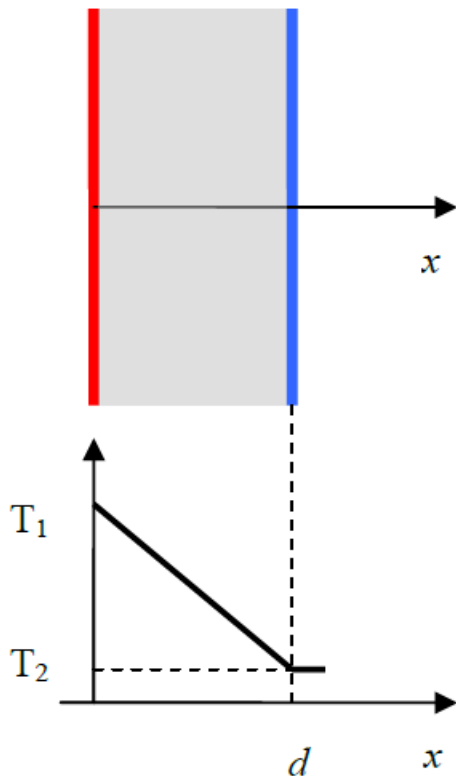
HŐÁRAMLÁS (KONVEKCIÓ)

HŐSUGÁRZÁS (RADIÁCIÓ)

Hőátvitel minősítése időben

Feltételezzünk két határoló felületet, melyek között hővezető anyag helyezkedik el. Legyen a két felület hőmérséklete állandó T_1 és T_2 ($T_1 > T_2$), távolságuk pedig d .

Ha a két felületet állandó hőmérsékleten tartjuk, így időben állandósult hővezetés jön létre, bármely adott pontban a hőmérséklet időben állandó.

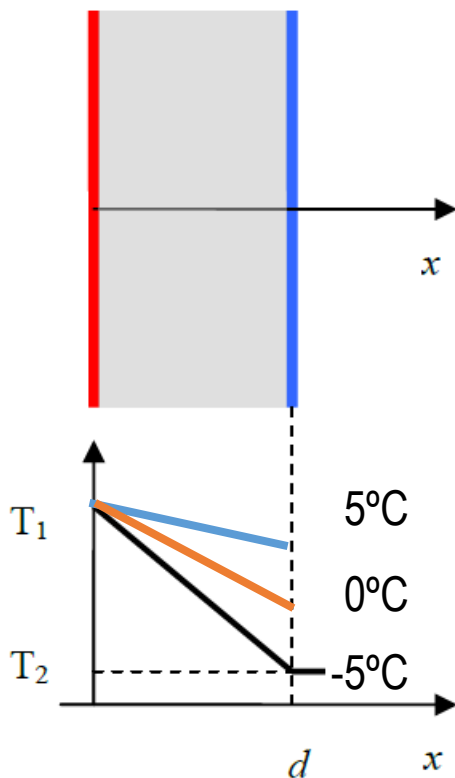


STACIONER
hővezetés
Időben állandó

Hőátvitel minősítése időben

Feltételezzünk két határoló felületet, melyek között hővezető anyag helyezkedik el. Legyen a két felület hőmérséklete T_1 és T_2 ($T_1 > T_2$), távolságuk pedig d . Feltételezzük, hogy a téli időszakban a **kinti hőmérséklet T_2 változó** ($-10^\circ\text{C} < T_2 < 5^\circ\text{C}$).

Ha a két felület **hőmérséklete változó**, így **időben változó hővezetés** jön létre.



INSTACIONER

hővezetés

Időben változó

Hőmérsékletmező

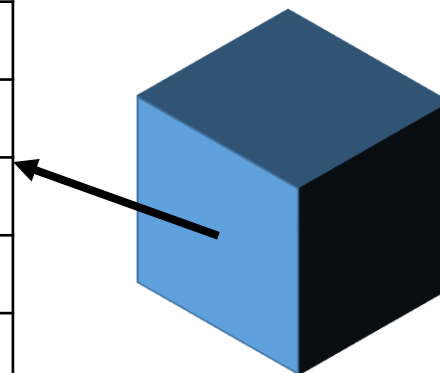
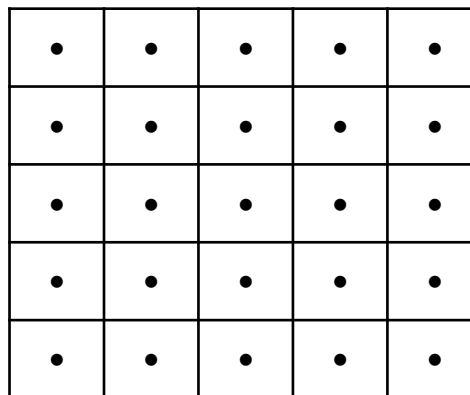
A hővezetéssel történő átadásnak elengedhetetlen feltétele, a **hőmérsékletnek** egy adott test vagy térfogat **különböző pontjaiban fennálló különbsége**.

Adott pillanatban az adott **közeg valamennyi pontjában fennálló hőmérsékleti értékek összessége a hőmérsékletmező**. Amennyiben ez független az időtől, a mező állandósult (stacioner), egyébként nem állandósult (instacioner).

Így a hővezetés következtében keletkező **hőáram nagysága** a testben a **hőmérséklet-eloszlástól**, vagyis a **hőmérséklet mező jellegétől** függ.

A **homogén és izotróp** (helytől és iránytól független) **közeg** t hőmérséklete általában térben és időben változik, azaz a **hőmérséklet az adott pont helyzetének és az időnek a függvénye**:

$$t = f(x, y, z, \tau)$$



Hőmérsékletgradiens

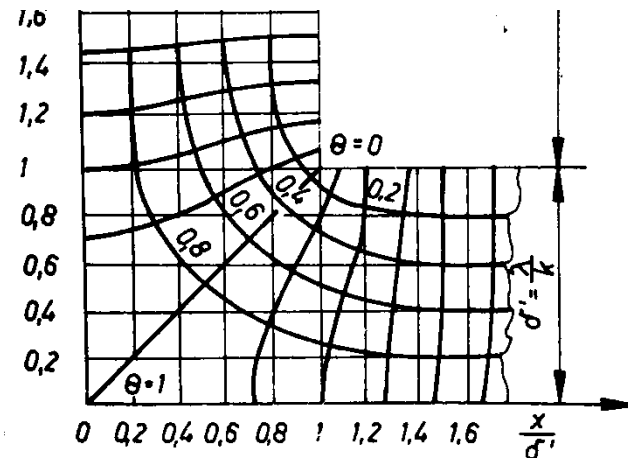
Az egyenlő hőmérsékleti pontokra fektetett felületeket izotermának, a hőmérsékletnek a felület normális irányában vett differenciálhányadosát hőmérsékletgradiensnek nevezzük:

$$\text{grad } t = \frac{dt}{dn}$$

Az azonos hőmérsékletű pontok mértani helye az izoterma. A **különböző hőmérsékletű testben több izotermikus felület van**, de ezek **sohasem metszhetik egymást**. A hőmérséklet változás, egy testben, mindig az izotermára merőleges felület pontjai között a legnagyobb.

A **hőmérsékleti gradiens** (a hőfokváltozás intenzitásának mértéke) az izotermikus felület normálisának hosszegységére vonatkoztatott **hőmérséklet változás számszerű kifejezése**. A **hőmérséklet gradiens vektormennyiség**. Iránya a térfüggvény maximális növekedése felé mutat.

Hőáram csak akkor lép fel, ha a test egyetlen pontjában sem nulla a hőfokgradiens, ekkor a hő áramlása a hőfokesés irányával az adott pontban egybeesik!



Hőáramsűrűség

A hő tehát az izotermikus felületre merőlegesen áramlik. Az **izotermikus felületegységen egységnyi idő alatt áthaladó hő a hőáramsűrűség:**

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta \tau \cdot A} = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right] \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot (t_1 - t_2) \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

q – hőáramsűrűség [W/m²]

Q – hőmennyiség [J]

A – fal felülete [m²]

$\Delta T/\Delta x$ – hőmérsékletgradiens

λ – hővezetési tényező [W/mK]

A hővezetési tényező (λ) fogalma

A **hővezetési tényező**, kifejezi, hogy **mekkora hőmennyiség halad át** időegység alatt egységnyi vastagságú, az áramlásra merőlegesen egységnyi felülettel bíró anyagon, egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására.

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta \tau} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta T}$$

Mértékegysége:

$$\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}/\text{m}} \right] = \left[\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]; \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \right]$$

Tendenciaszerűen igaz az, hogy a nagyobb sűrűségű anyagok hővezetési tényezője nagyobb, a kisebb sűrűségű, laza - szálás vagy porózus - anyagoké kisebb.

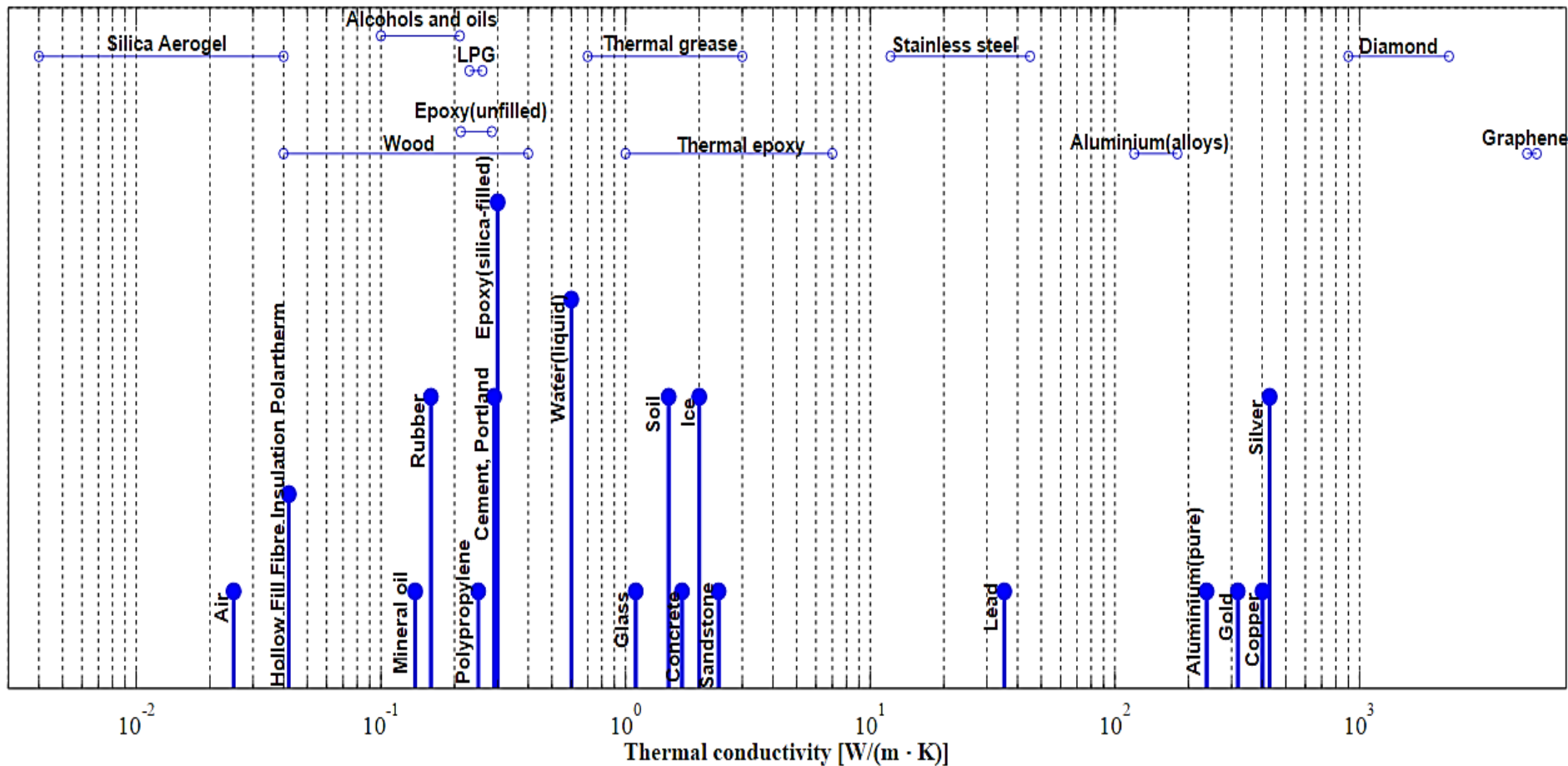
Az építőiparban használt anyagok hővezetési tényezői igen tág határok között változnak (a szigetelő habok $\lambda = 0,03 \text{ W/mK}$ értékétől az alumínium $\lambda = 200 \text{ W/mK}$ értékéig).

Egyes anyagok hővezetési tényezői

Anyag	Hővezetési tényező [W / (m · K)]
Levegő	0.025
Hőszigetelés (EPS, XPS, üveggyapot, kőzetgyapot)	0.03 - 0.05
Fa	0.04 – 0.40
Tégla (különböző típusú)	0.20 – 1.30
Portland cement	0.29
Beton (könnyű - vasbeton)	0.40 – 2.50
Üveg	1.10
Acél	40 - 50
Alumínium	200

A hővezetési tényező valójában nem egy állandó szám. Függ az anyag hőmérsékletétől, ami a szokványos építőipari esetekben elhanyagolható. Különösen a lazább szerkezetű anyagok hővezetési tényezője erősen függ az anyag nedvességtartalmától - azaz közvetve az építési technológiától, az időjárástól, a használati körülményektől.

Egyes anyagok hővezetési tényezői



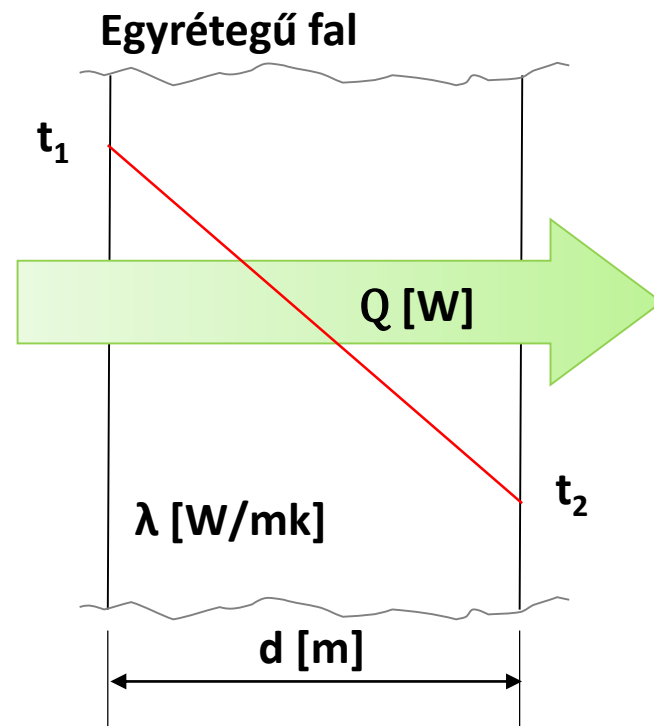
Egydimenziós, állandósult állapotú hővezetés

A vezetés akkor egydimenziós, ha a **hőáram egy irányban halad**, ez a helyzet, ha végtelen nagy homlokfelületű sík fal egymással szembenező felületein tartunk fenn hőmérsékletkülönbséget. Az állandósult állapot azt jelenti, hogy a **hőmérsékletek az idő folyamán nem változnak**.

Hőáram

Ha egy sík falon át a hőáram egydimenziós, úgy egyenesen arányos a két felület hőmérsékleteinek különbségével, a homlokfelülettel (A), a hővezetési tényezővel (λ) és fordítva arányos a fal vastagságával (d).

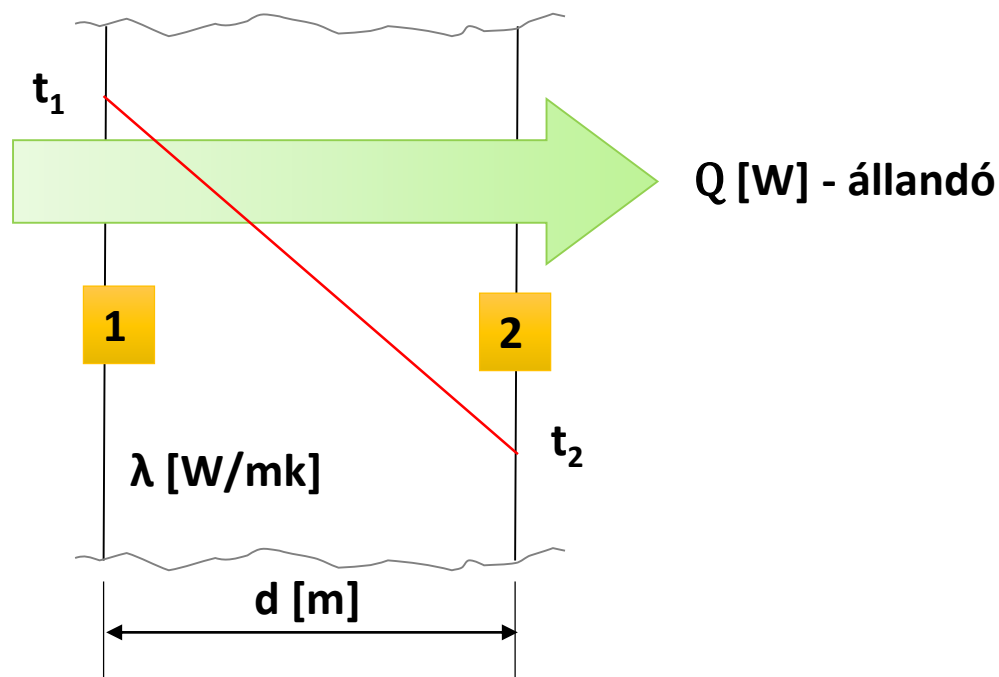
$$Q = A \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (t_1 - t_2)$$



A hőmérsékleteloszlás geometriai értelmezése

Ha a vizsgált **jelenség állandósult** és forrásmentes, az "1" felületen a réteg egységnyi homloklületű darabjába **belépő hőáram ugyanakkora**, mint a "2" felülethez érkező, a rétegből **távozó hőáram**.

Miután a rendszerben sem forrás, sem elnyelő közeg nincsen, a hőáram értéke "útközben" nem módosul, az 1. és a 2. felület között bárhol ugyanakkora.



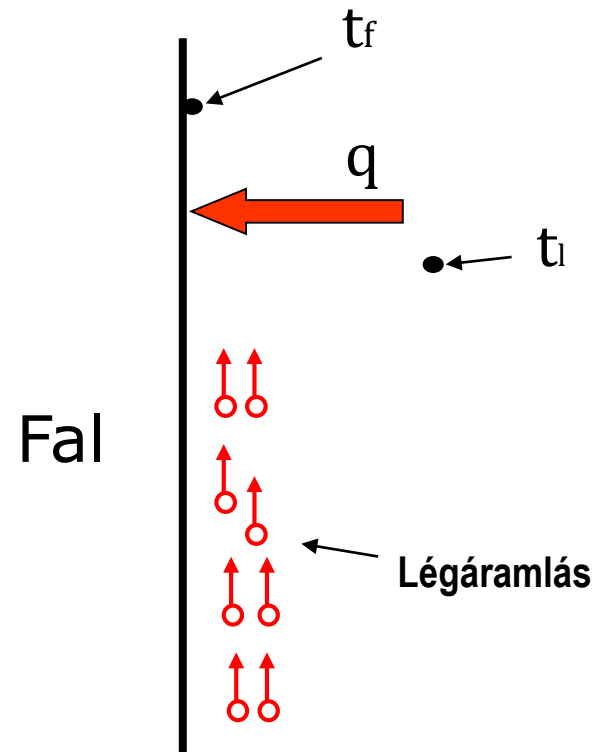
Hőáramlás

A hőáramlás lényege, hogy valamely **fluidum és a vele érintkező szilárd felület között jön létre hőátadás.**

A hővezetés során a **szilárd anyagnak**, amelyben a jelenség lejátszódik, a **részecskéi** makroszkopikus értelemben **nyugalomban vannak**. **Folyadékok és gázok esetében** ez nem feltétlenül igaz: a folyadék- és gárrészecskék éppen a hőáramok vagy egy független hatás következtében makroszkopikus értelemben **mozoghatnak** (szabad, illetve kényszeráramlás).

Ha a **folyadék vagy a gáz szilárd test felületével érintkezik**, közöttük **hőáram** alakul ki, amelynek nagysága - egységnyi felületre – a következő összefüggéssel számítható:

$$q = \alpha \cdot (t_1 - t_2) \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$



Hőátadási tényező (α)

A fellépő hőáramot alapvetően a felület közvetlen közelében kialakuló áramlási és hőmérsékleti viszonyok határozzák meg. A **hőátadási tényező** egységnyi felületen egységnyi idő alatt egységnyi hőmérsékletkülönbség mellett átadott hőáramot (**konvektív hőáramot**) jelenti. Mértékegysége [**W/m²K**].

A hőátadási tényező a közeg áramlási viszonyainak függvénye.

Szabadáramlás esetén függ a hőmérsékletkülönbségtől, a felület nagyságától és helyzetétől.

Kényszeráramlás esetén a külső hatás - például a szél - miatti áramlási sebességtől is függ a hőátadási tényező.

A természetes áramlás **felhajtóerő útján** történik. A felhajtóerő függ a felszíni és a környezeti hőmérsékletkülönbségtől. Az egyszerű természetes áramláshoz fűződő hőátadási tényező megállapításához a következő egyenlet használható:

$$\alpha = Const \cdot \Delta t^{0,1} \quad [W / (m^2 \cdot K)]$$

Hőátadási tényező meghatározása szabadáramlás esetén

Hőátadási tényező

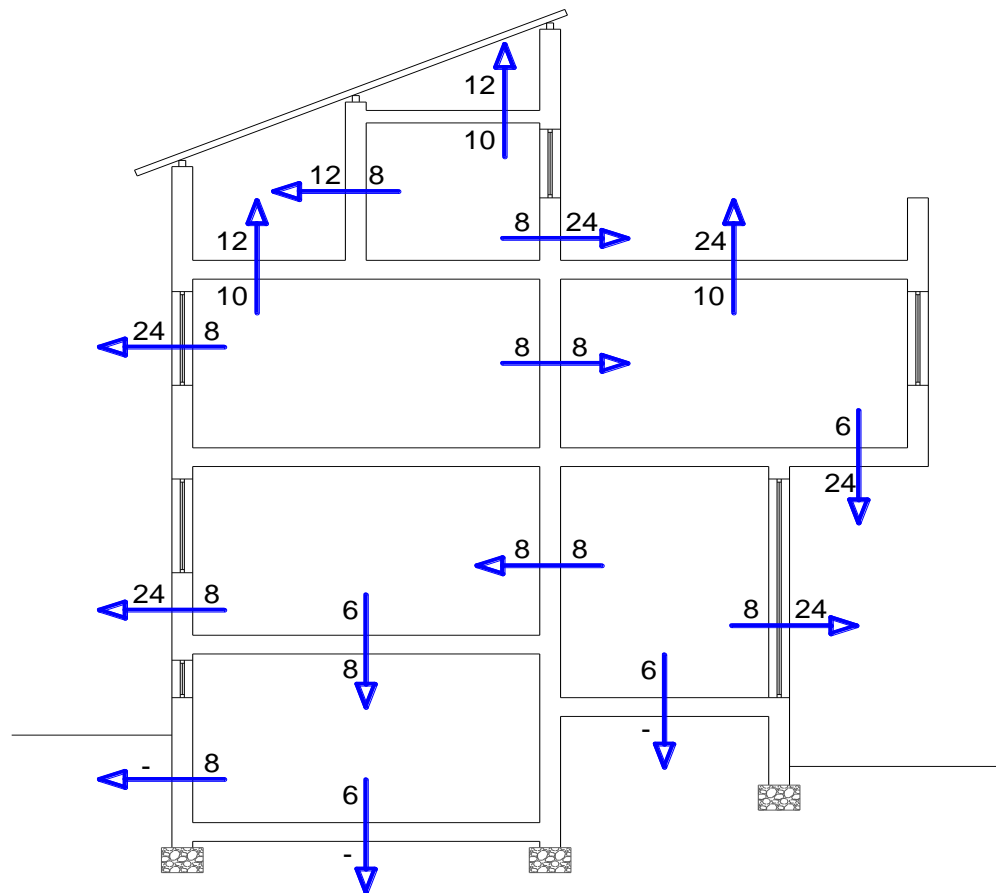
$$\alpha = Const \cdot \Delta t^{0,1} \quad [W / (m^2 \cdot K)]$$

Állandó (*Const*) értékek a
következő esetekre:

Fal (6,175)

Padló (8,920)

Mennyezet (4,722)



Hővezetési ellenállás (R)

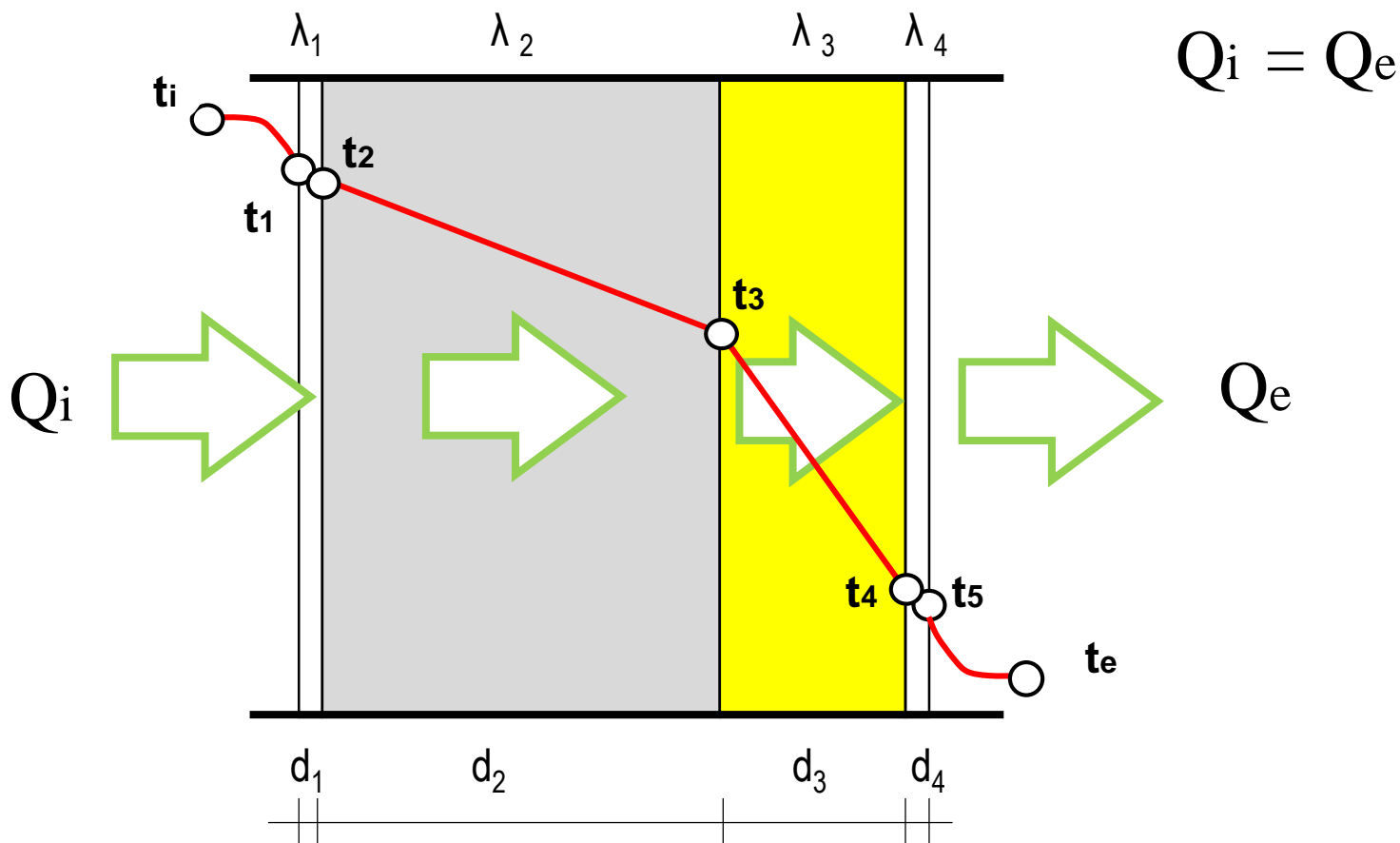
A hővezetési ellenállás egy rétegben a **vastagsági méret és a hővezetési tényező függvénye.**

A hővezetési tényező (λ) az anyag porozitása, nedvességtartalma és hőmérséklete függvényében változó. Nyilvánvaló, hogy a hővezetési ellenállás csak a porozitás, nedvességtartalom és a hőmérséklet adott értékeire érvényes.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \right]$$

Többrétegű sík fal állandósult állapotú hővezetése

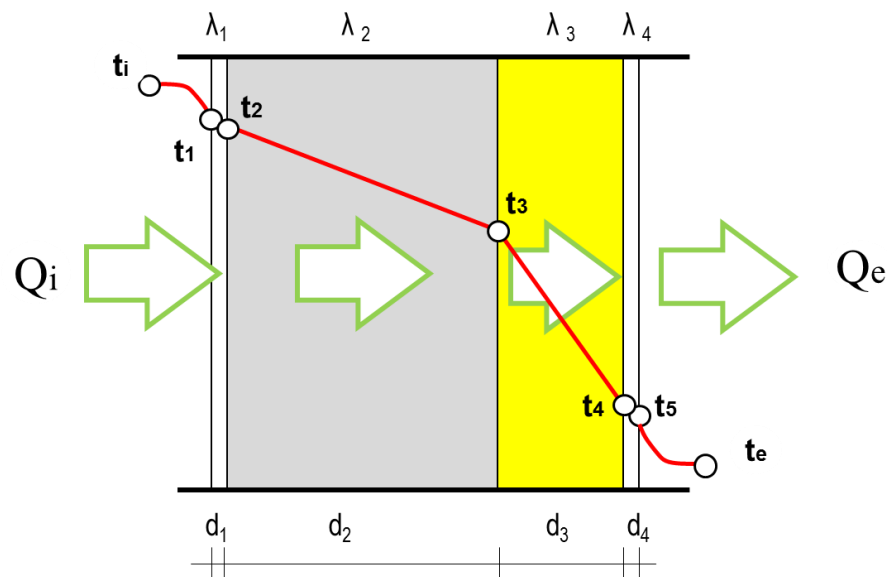
Stacioner hőáram esetében minden rétegen ugyanaz a hőmennyiség áramlik át!



Hőmérsékleteloszlás többrétegű falban

Ha a fal több, párhuzamos síklapokkal határolt, egyenként homogén, de különböző anyagú rétegből tevődik össze, a számítás alapja az, **hogy bármely két réteg közös érintkezési síkjában ugyanaz a hőmérséklet uralkodik**. Az egyes rétegekre a hőáramsűrűség:

$$\begin{aligned}
 q &= \alpha_i(t_i - t_1) = \\
 &= \frac{\lambda_1}{d_1}(t_1 - t_2) = \frac{\lambda_2}{d_2}(t_2 - t_3) = \\
 &= \frac{\lambda_3}{d_3}(t_3 - t_4) = \frac{\lambda_4}{d_4}(t_4 - t_5) = \\
 &= \alpha_e(t_5 - t_e) = \text{const.} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]
 \end{aligned}$$



Hőmérsékleteloszlás többretegű falban

Átrendezve:

$$q = \frac{t_i - t_e}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

$$q = \frac{t_i - t_e}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

A rétegek hővezetési ellenállása

A d/λ hányadosokat az egyes rétegek hővezetési ellenállásainak nevezzük.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Vegyük észre egy másik jelenséggel, a sorba kapcsolt ohmikus ellenállásokkal, a feszültségkülönbséggel és az elektromos árammal való hasonlóságot, az összefüggés az Ohm törvény megfelelője.

Hősugárzás

Stefan - Boltzmann törvény

A **hősugárzás** (radiáció) a **hőenergia elektromágneses sugárzás révén történő terjedése**. Az elektromágneses rezgések tartományából a látható és az infravörös tartomány a számottevő, vagyis a **0,4-40 μm közé eső hullámhosszúság**, mert elnyelődve ez az intervallum indukál hőt.

A radiáció független a hőt elnyelő (abszorbeáló) vagy kibocsátó (emittáló) médium vastagságától és függ a hőmérsékletétől, a geometriai viszonyoktól, a felület szerkezetétől, tulajdonságaitól. A sugárzás minden törvénye a hősugárzásra is érvényes, tehát a hősugárzás valamennyi testre nézve jellemző és az energiát minden test folyamatosan sugározza.

Ez az energia egy másik testen vagy **elnyelődik** (emittálódik), vagy **visszaverődik** (reflektálódik), vagy **áthalad** (transzmittálódik). Amennyiben a testre érkező energia teljes egészében elnyelődik, úgy abszolút fekete testről, ha visszaverődik, akkor tükröző testről (abszolút fehér), ha áthalad, úgy abszolút átbocsátó (átlátszó) testről beszélünk.

Hősugárzás

Stefan - Boltzmann törvény

A radiációs hőátadás alaptörvénye a **Stefan-Boltzmann törvény**, vagyis a testek által kibocsátott hőáram [W]:

$$Q_{max} = \sigma AT^4$$

ahol

A a sugárzásnak kitett felület (m²)

T a hőmérséklet Kelvinben

σ a Stefan-Boltzman-féle állandó ($5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²K⁴)

Hősugárzás

Emissziós tényező (ϵ)

Az előző kifejezés szerint ennyi energiát csak egy tökéletesen sugárzó test tud kibocsátani, egy ún. tökéletesen fekete test. A **valóságban** ennek az **értéknek csak egy részét képesek a testek „kisugározni”**, ezeket a testeket szürke testeknek nevezzük.

A fekete és szürke testek emissziós értékének arányát pedig emissziós tényezőnek nevezzük (ϵ). A feketeségi fok tehát azt fejezi ki, hogy a sugárzó testünk az abszolút fekete testhez viszonyítva a hőenergia hányad részét emittálja.

Reális testek sugárzásakor a q hőáramsűrűség:

$$q = \epsilon \sigma T^4$$

ahol ϵ az ún. emissziós ill. abszorpciós tényező ($\epsilon < 1$).

Hősugárzás

Emisszió és abszorpció

Ha test felülete egyidejűleg **emittál és abszorbál** is **hőt**, ezért a q felületi hőáramsűrűség az alábbi formulával adható meg:

$$q = \varepsilon \sigma (T_w^4 - T_s^4)$$

ahol T_s a környezet hőmérséklete, és egyben feltételezzük, hogy az ε emissziós tényező ill. az abszorpciós tényező értéke azonos.

Hősugárzás

Stefan - Boltzmann törvény

STEFAN (1879): A kisugárzott teljesítmény arányos a hőmérséklet negyedik hatványával.

BOLTZMANN (1884): Kisugárzott teljesítmény

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad [\text{W}]$$

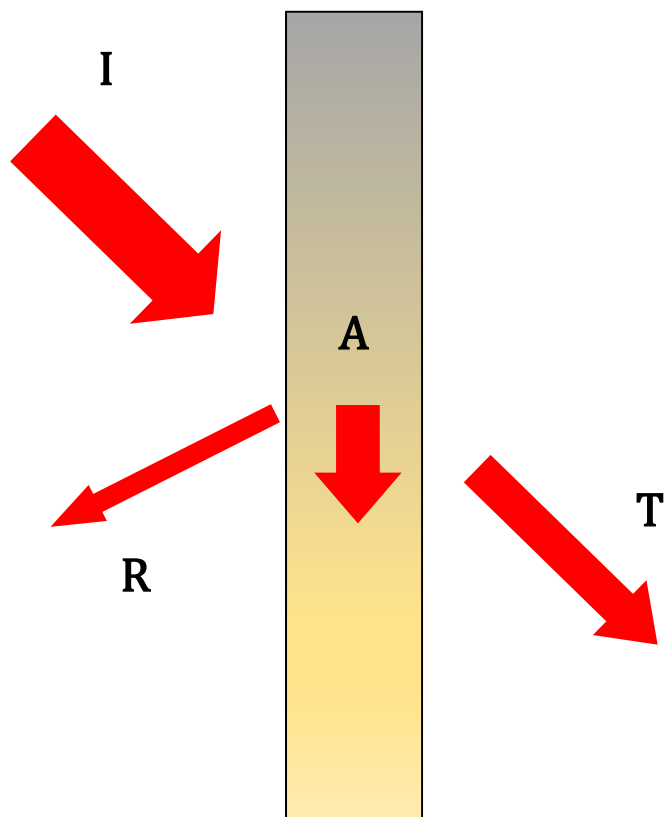
ahol $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4]$

Kisugárzott teljesítmény:

$$A = 1\text{m}^2; T = 300 \text{ K } (t=27^\circ\text{C}) \rightarrow P = 459 \text{ W}$$

$$A = 1\text{m}^2; T = 373 \text{ K } (t=100^\circ\text{C}) \rightarrow P = 1097 \text{ W}$$

Hőszugárzás



$$I = A + R + T$$

$$I/I = A/I + R/I + T/I$$

$$1 = a + r + t$$

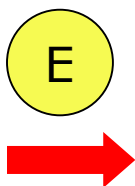
Ha $A = 1$ abszolút fekete test

Ha $R = 1$ abszolút fehér test

Ha $T = 1$ abszolút átlátszó, vagy
diatermikus

Hőszugárzás

Energiacsere két párhuzamos lap között



$$E = C \cdot (T/100)^4 \text{ [J]}$$

Abszolút fekete test
sugárzási tényezője

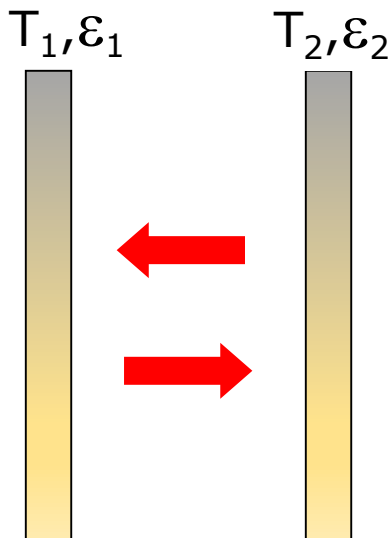
$$E_0 = C_0 \cdot (T/100)^4$$

$$C_0 = 5,67 \text{ [W/m}^2\text{K}^4 \text{]}$$

Emissziós tényező

$$\varepsilon = C/C_0$$

$$E = \varepsilon \cdot C_0 \cdot (T/100)^4$$



$$E_{1,2} = \varepsilon_r \cdot C_0 \cdot [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

Hőtárolás

Általánosan használt anyagoknál a hőtárolás elsődleges formája az **épülettömegben tárolt hő**.

Hőtároló tömeg

Hőtároló tömeg alatt azokat az épületszerkezeteket értjük, amelyek a belső térrel kölcsönhatásba kerülnek, és a beeső napsugárzás, illetve a levegő áramlása hatására felmelegednek, vagy lehűlnek.

Tárolt hő

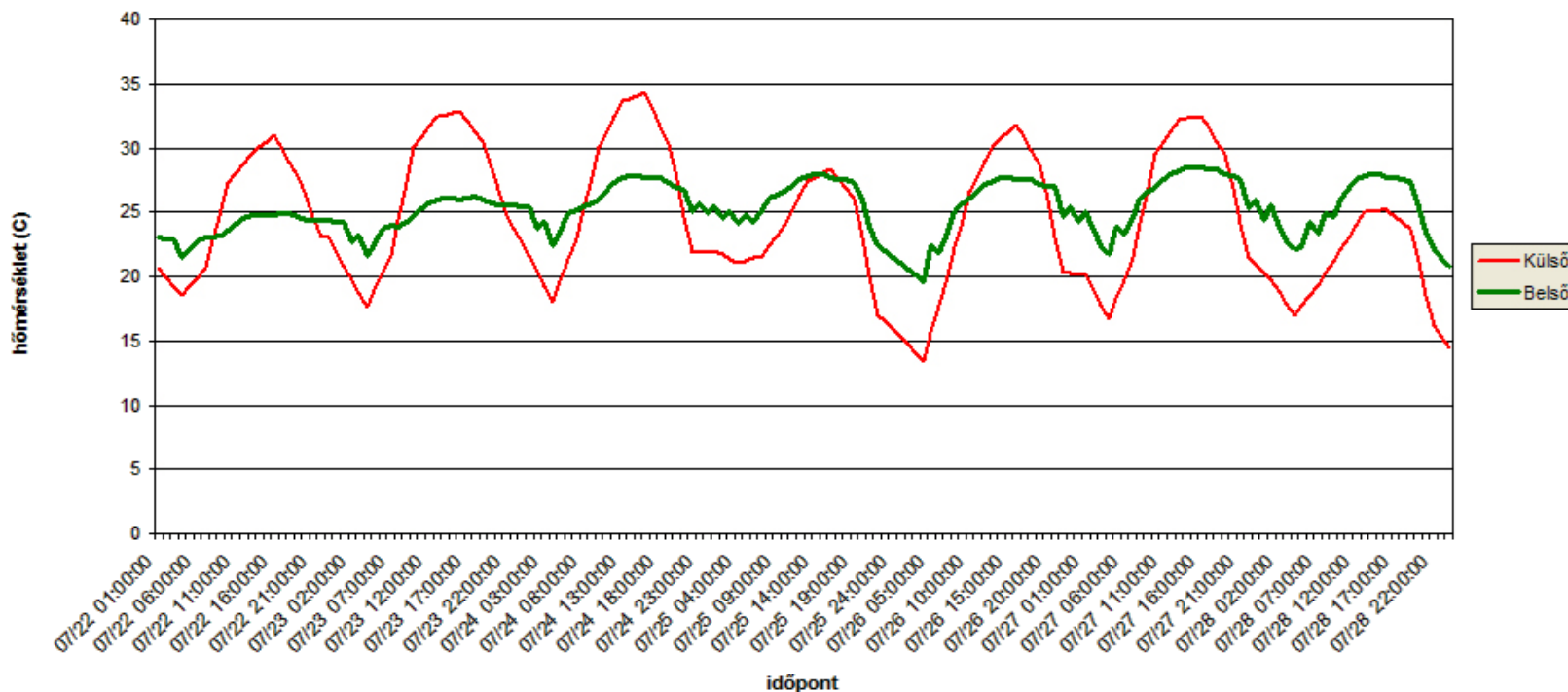
A tárolt hő mennyisége a hőmérséklet-különbség, a szerkezet hővezetési tényezője (λ), a felmelegedés/lehűlés fázisideje (τ), az anyag fajhőjének (c) és tömegének függvénye (m).

Nyáron az épületszerkezetek hőtároló, hőcsillapító képességük révén képesek a nappali hőmérséklet csökkentésére: az éjszakai hűvösebb levegő által lehűtött szerkezetek a nappali melegben csökkentik a belső levegő hőmérsékletét.

Hőtárolás

A nyár legmelegebb hetének **külső és belső hőmérsékletét** dinamikus épületszimulációs szoftverrel számolva a alábbi ábra mutatja be. Egyrészt jól látható, hogy napi görbéket tekintve **a belső hőmérséklet csillapítva**, de jellegében hasonlóan követi a külső hőmérséklet ingadozásait, úgy hogy **a görbék maximumértékei között fáziseltolódás van**.

30 cm-es 1600 kg/m³ testsűrűségű, külső oldalról 10 cm hőszigeteléssel védett vályogfalú épület
nyári, belső hőmérséklet ingadozása



Hőtárolás

Szerkezettervezési elvek szintjén jó közelítést ad a **hőtároló képesség, illetve a hőtároló tömeg számítása.**

Hőtároló képesség

Az anyagok **hőtároló képessége** alapvetően **tömegtől és fajhőtől függ**. Minél nagyobb tömegű és minél nagyobb fajhővel rendelkezik egy anyag, annál több hőt tud felvenni és leadni.

Aktív tömeg

Épületszerkezetek esetén az **aktív tömeget** vesszük figyelembe a hőtároló képesség kiszámításakor.

A hőingadozás ciklikussága miatt az épületszerkezeteknek teljes keresztmetszetükben jellemzően nincs idejük átmelegedni, illetve lehűlni.

Hőtárolás

Aktív réteg számítása

Az MSZ 24140:2015 szerint a napi hőtárolásba - **egy napos ciklusidő figyelembevétele esetén** - az épületszerkezetek azon belső rétege vehető számításba, melynek **hővezetési ellenállása $R=0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$** .

$$d_i = \lambda_i \cdot R = \lambda_i \cdot 0.15 [\text{m}]$$

Többnapos meleg esetén a falak mélyebb rétegei is "**aktiválódnak**", így adott esetben a külső hőszigetelő réteig is érdemes lehet a hőtároló réteget figyelembe venni.

Aktív réteg vastagsága járatos falszerkezetek esetében:

- pórusbeton: 2 cm,
- soküreges téglá: 4.5 cm,
- tömör téglá: 11 cm,
- beton: 19 cm

Hőtárolás

Az anyagok hőtároló képessége alapvetően **tömegtől és fajhőtől** függ. Minél nagyobb tömegű és minél nagyobb fajhővel rendelkezik egy anyag, annál több hőt tud felvenni és leadni.

Hőtároló képesség

A hőtároló képesség az "aktív tömeg" és az anyag fajhőjének szorzata.

Az építőiparban használatos anyagok túlnyomó részének fajhője:

$$C = 0,84-0,95 \text{ kJ/kgK}$$

ezért többnyire csak a hőmérsékletváltozás és a tömeg fordított arányáról szoktak beszélni.

Kivételt a faanyagok képeznek, amelyek fajhője $c = 1,7-3,0 \text{ kJ/kgK}$, ezért hőtárolás szempontjából 1 kg fa 2-3 kg betonnal egyenértékű.

Hőtárolás

Az épület hőtároló tömege és a hasznosítási tényező

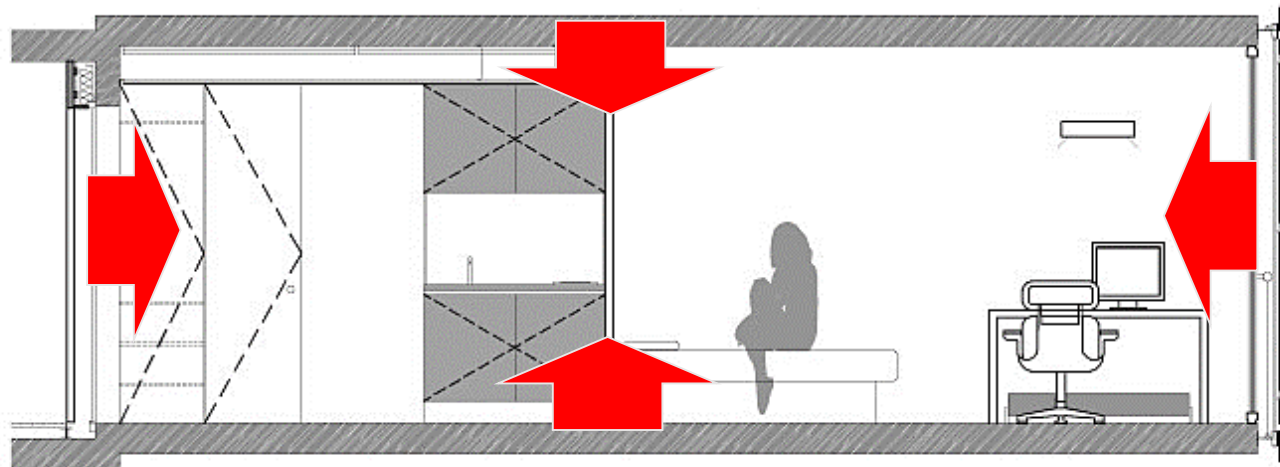
Az épület fajlagos hőtároló tömegének számítását az EN ISO 13790 szerint kell végezni. Az **épület hőtároló tömege** az épület belső levegőjével közvetlen kapcsolatban lévő határolószerkezetek hőtároló tömegének összege:

$$M = \sum_j \sum_i \rho_{ij} d_{ij} A_j$$

A – felület, a belméretek alapján számolva

d – aktív réteg

ρ – sűrűség



Hőtárolás

Az épület hőtároló tömege és a hasznosítási tényező

Az **összegzést minden szerkezet minden rétegére** el kell végezni a **legnagyobb figyelembe vehető vastagságig**, mely a belső felülettől mérve 10 cm, vagy a belső felület és az első hőszigetelő réteg, vagy a belső felület és az épületszerkezet középvonalának távolsága, attól függően, hogy melyik a legkisebb érték.

Egyszerűsített számítási módszer alkalmazása esetén a hőtároló tömeg szerinti besorolás a födémek és a külső falak rétegterve alapján megítélhető.

Fajlagos hőtároló tömeg

Az épület nettó fűtött alapterületére vetített fajlagos hőtároló tömege alapján az épület:

- nehéz, ha $m \geq 400 \text{ kg/m}^2$
- könnyű, ha $m < 400 \text{ kg/m}^2$

A fajlagos értéket (m) úgy kapjuk, hogy a szerint számított összes hőtároló tömeget osztjuk a hasznos szintterülettel.

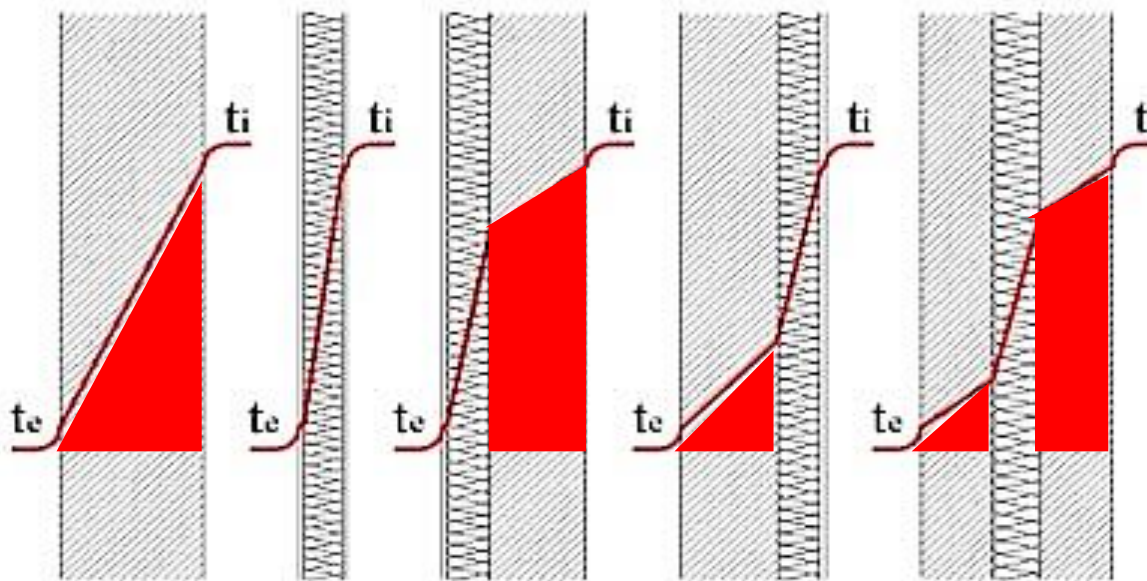
Hőtárolás

Az épület hőtároló tömege és a hasznosítási tényező

Sok esetben már a födémek és a teherhordó falak hőtároló tömege alapján eldönthető a besorolás. Egyes szilikátbázisú falazatok is a könnyű szerkezet kategóriájába tartozhatnak, továbbá, hogy **egyes burkolatok vagy belső oldali hőszigetelések a mögöttük lévő bármilyen nehéz szerkezet hőtároló tömegét is „kikapcsolhatják”**.

A hasznosítási tényező értéke:

- nehéz szerkezetű épületekre 0,75
- könnyűszerkezetű épületekre 0,50



Hőtárolás

Az épület fajlagos hőtároló tömegének számítása

Szerkezet: vázkerámia homlokzati fal és favázás hőszigetelt földém

Az épület hőtároló tömeg szerinti besorolása nem egyértelmű, hiszen a külső falazat vázkerámia, de a hőszigetelt favázás, álmennyezetes padlásfödémnek szinte nincs hőtároló tömege. A külsőfal és az alsó zárófödém fajlagos hőtároló tömege:

Homlokzati falak

Beton padlólemez

$$m = (0,1\text{m} * 800 \text{ kg/m}^3 * 206,9 \text{ m}^2 + 0,08\text{m} * 2200 \text{ kg/m}^3 * 236 \text{ m}^2) / 236 \text{ m}^2 = \mathbf{246,1 \text{ kg/m}^2}$$

Ha a belső falak hőtároló tömegét is figyelembe vennénk, a teljes épület fajlagos hőtároló tömege valószínű akkor sem haladná meg a 400 kg/m²-t. Az épület ez alapján **könnyűszerkezetesnek minősül.**

Hőtároló kapacitás

A **tárolt hő** arányos a hőmérséklet különbség, tömeg és fajlagos hőkapacitás (fajhő) szorzatával:

$$\Delta \dot{Q} = M \cdot c \cdot \Delta t \quad [\text{kg}] \cdot [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})] \cdot [\text{K}] = [\text{J}]$$

A nagyobb tömegű vagy nagyobb fajlagos hőtároló kapacitással rendelkező szerkezet kisebb hőmérsékletváltozás mellett nagyobb hőmennyiséget szabadít fel:

$$\Delta t = \frac{\Delta \dot{Q}}{M \cdot c}$$

$$d_i = \lambda_i \cdot R = \lambda_i \cdot 0.15 [\text{m}]$$

$$M = d_i \cdot \rho \cdot A$$

$$\Delta Q = \lambda_i \cdot R \cdot \rho \cdot A \cdot c \cdot \Delta t$$

