

# ÉPÜLETENERGETIKA

## Energetikai és hőtechnikai fogalmak

Dr. Harmathy Norbert, PhD



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

# Bevezető

- Energiamegmaradás
- Mértékegységek
- Alapvető energetikai fogalmak (primerenergia, végenergia, energiaátalakítások stb.)
- Határoló szerkezetekre vonatkozó energetikai alapfogalmak
- Hőtechnikai alapfogalmak az energetikai számításokhoz

# Energiamegmaradás

- A gyakorlati alkalmazások szempontjából az **energiafolyamatokat** két alapvető természeti törvény határozza meg, amelyeket a termodinamika első és második törvényének neveznek.
- **A termodinamika első törvénye az energiamegmaradás törvénye** - *energiát sem létrehozni, sem megsemmisíteni nem lehet, hanem csak egyik alakból a másikba lehet átalakítani.*
- A természetben az energia számos alakban áll rendelkezésünkre.

Az energia megjelenési formája	Példa	A példában szereplő maximális energia, MJ
Potenciális (helyzeti)	1kg víz energiája az alapszint feletti 500m magasságban	0,005
Hő	1kg 100C hőmérsékletű víz energiája 20C alaphőmérséklethez viszonyítva	0,34
Villamos energia	230V feszültségen 1A erősségű áram 1 órán keresztül folyik	0,83
A napsugárzás energiája	Teljesen derült időben, déltájban 1m <sup>2</sup> földfelszínt 1 órán keresztül érő napsugárzás	3,4
Kémiai energia	1kg olaj levegőben CO <sub>2</sub> -á és vízzé való elégetésekor	45
Atomenergia	1kg 235-ös Uránium hasadása	80 000 000

# Energiamegmaradás

- A termodinamika második törvénye az **energia átalakíthatóságára** és az átalakítással kapcsolatos korlátokra vonatkozik.
- Minden spontán **folyamat (reakció) energiefel szabadulással** jár, míg ezen folyamatok ellenkező irányú megvalósításához **energiát kell betáplálni**.
- A feltételek befolyásolása a gyakorlatban éppen a fizikai állapotok megváltoztatását jelenti, például ahhoz, hogy **elősegítsük egy fémdarab felmelegítéséhez szükséges spontán hőáramlást, nagyobb hőmérsékletről kell gondoskodnunk**.
- Tételezzük fel, hogy **egy kereket kezünkkel mozgásba hoztunk**, vagyis mozgási energiát közöltünk vele! Egy idő múlva a kerék nyugalomba kerül.
- A termodinamika második törvényének általunk használt megfogalmazásából következik, hogy a kerékben levő kezdeti, **mozgási energia** valamilyen módon a kerékből eltávozik, spontán módon **hővé alakul** át a csapágyakban, ill. a környező levegőben levő molekulák hő- és mozgási energiájává alakul át.
- Spontán veszteségi folyamatokat ellensúlyozni kell, és ez a második törvény értelmében csak úgy valósítható meg, **ha energiát közlünk a rendszernek**.

# Kapacitás

## Hőenergia kapacitás

1kg kőszén = 8 kWh

1kg kőolaj = 12 kWh

1kg Uranium-235 = 24 000 000 kWh



# Mértékegységek

Jellemző megnevezése	Mértékegység jelölése	Mértékegység neve	Megjegyzés
Erő	N	Newton	$N = \text{kg} \times \text{m/s}^2$
Nyomás	Pa	Pascal	$\text{Pa} = \text{N/m}^2$
Munka, energia	J	Joule	$J = \text{Nm}, J = \text{Ws}$
Teljesítmény	W	Watt	$W = \text{J/s}$
Hővezetés	W/m,K		
Fajhő	J/kg,K		

## A munka és energia gyakoribb mértékegységei

Választott mértékegység	Átszámítás					
	J (joule)	Cal	Kcal	Wh	kWh	Btu
<b>J (joule)</b>	<b>1</b>	0,238 846	0,000 239	0,000 278	$2,777\,778 \times 10^{-7}$	0,000 948
<b>Cal</b>	4,186 8	<b>1</b>	0,001	0,001 163	$1,163 \times 10^{-6}$	0,003 968
<b>Kcal</b>	4 186,8	1 000	<b>1</b>	1,163	$1,163 \times 10^{-3}$	3,968 3
<b>Wh</b>	3600	859,846	0,859 846	<b>1</b>	0,001	3,412 141
<b>kWh</b>	$3,6 \times 10^6$	0,859 846	859,846	1 000	<b>1</b>	3 412,41
<b>Btu</b>	1 055,056	251,996	0,251 996	0,293 071	0,000 293	<b>1</b>

# Mértékegységek

## A mechanikai- és hőteljesítmény gyakoribb mértékegységei

Választott mértékegység	Átszámítás					
	W	KW	MW	Kcal/h	LE*	LE (metrikus)
W	1	0,001	0,000 001	0,859 8	0,001 341	0,001 360
KW	1 000	1	0,001	859,845	1,341	1,359 621
MW	1 000 000	1 000	1	859 845	1 341	1 359,621
Kcal/h	1,163	$1,163 \times 10^{-3}$	$1,163 \times 10^{-6}$	1	0,001 560	0,001 582
LE*	745,699	0,745	$0,745 \times 10^{-3}$	641,187	1	1,014 277
LE (metrikus)	735,499	0,735	$0,735 \times 10^{-3}$	632,415	0,985 924	1

LE\*: brit területen használatos teljesítmény mértékegység, James Watt lóerő-definícióján alapul, jelölése bhp (brake horsepower).

LE : metrikus lóerő, német szakirodalomban PS (Pferdestärke), az a teljesítmény, amely 75 [kg] tömeget a földi gravitációs erőter ellenében ( $9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$ ) 1 [m/s] sebességgel tart mozgásban.

Korszerű háztartási célú fényforrások teljesítményfelvétele: 5 - 20 [W]

Hagyományos izzólámpák teljesítményfelvétele: 40 – 100 [W]

Fűtési keringető szivattyú teljesítményfelvétele: 50 [W]

Felnőtt ember hőleadási teljesítménye: 120 [W]

Fűtőtestek átlagos hőteljesítménye: 400 – 4000 [W]

Lakások átlagos fűtési hőteljesítmény-igénye: 6 – 30 [kW]

# Alapvető energetikai fogalmak

A **primer energiafelhasználás energiaforrások szerint** a villamos energia, a hőenergia, és az egyéb, rendelkezésre álló energiaforrások formájában felhasznált energia összes mennyiségét mutatja. Bemutatja a rendelkezésre álló energiaforrásokkal kapcsolatos környezetterhelés mértékét

A **végző energiafelhasználás** a végfelhasználók számára energiafelhasználás céljából átadott energia mennyiségét mutatja. A mutató számba veszi a különböző végfelhasználók, ezen belül a társadalmi ellátórendszerek modernizációs folyamatainak eredményeit.

A **megtermelt villamos energia mennyisége energiaforrások szerint**: a mutató az ország valamennyi erőművében megtermelt villamos energia mennyiségét mutatja. Információt nyújt a villamosenergia-termelés okozta nem megújuló erőforrások kimerítésének mértékéről, a társadalmi ellátórendszerek modernizációs folyamatáról.

A **megújuló energiaforrások felhasználása** a szél, víz, geotermikus források, napenergia, biomassa (tűzifa) és a depóniagáz, szennyvízgáz valamint biogáz felhasználása révén megtermelt primer energia mennyiségét mutatja kilotonna olajegyenértékben, illetve a teljes primer energiafelhasználásra vetített százalékos arányban. Környezeti és természeti erőforrásaink védelmének legfőbb záloga a megújuló energiaforrások részarányának növelése, melyek esetében csökkenthető az üvegházhatású gázok kibocsátása.



# Alapvető energetikai fogalmak

## Energiaellátás és gépészet

**Alternatív rendszer:** a megújuló energiaforrásokon alapuló decentralizált energiaellátási rendszer, a kapcsolt energiatermelés, a táv- vagy tömbfűtés és -hűtés, vagy a hőszivattyús rendszer;

**Épületgépészeti rendszer:** az épület vagy önálló rendeltetési egység fűtésére, hűtésére, szellőztetésére, melegvíz-ellátására, világítására, vagy ezek kombinációjára szolgáló berendezések és vezetékrendszerek összessége;

**Kapcsolt energiatermelés:** hő- és villamos vagy mozgási energia egyetlen folyamat során, egyidejűleg történő előállítása;

**Távfűtés, távhűtés:** a távhőszolgáltatásról szóló törvény szerinti távhőszolgáltatás, vagy gőz, meleg víz vagy hűtött folyadék formájában, egy központi termelési egységből, vezetéken keresztül történő hőenergia-szolgáltatás légterek vagy ipari folyamatok fűtése vagy hűtése céljából.

# Alapvető energetikai fogalmak

## Energetikai jellemző és energiaátalakítás

**Összesített energetikai jellemző:** az épület energiafelhasználásának hatékonyságát jellemző számszerű mutató, amelynek kiszámítása során figyelembe veszik az épület telepítését, a homlokzatok benapozottságát, a szomszédos épületek hatását, valamint más klimatikus tényezőket; az épület hőszigetelő képességét, épületszerkezeti és más műszaki tulajdonságait; az épületgépészeti berendezések és rendszerek jellemzőit, a felhasznált energia fajtáját, az előírt beltéri légállapot követelményeiből származó energiaigényt, továbbá a sajátenergia-előállítást;

**Primerenergia:** az a megújuló és nem megújuló energiaforrásból származó energia, amely nem esett át semminemű átalakításon vagy feldolgozási eljáráson;

# Alapvető energetikai fogalmak

## Épület

**Épületelem:** a határoló szerkezetek vagy az épületgépészeti rendszerek valamely eleme;

**Határoló szerkezet:** az épület fűtött, szellőztetett, hűtött belső helyiségeit a külső környezettől vagy az épület fűtetlen, szellőzés nélküli helyiségétől elválasztó épületszerkezet;

**Hasznos alapterület:** az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról szóló kormányrendelet szerinti hasznos alapterület;

**Jelentős felújítás:** a határoló szerkezetek összes felületének legalább a 25%-át érintő felújítás;

**Energia-megtakarítási célú felújítás:** a meglévő épület energiahatékonyágát befolyásoló épületelemének utólagos beépítése, cseréje, kiegészítése vagy az épületelem alapvető jellemzőjének megváltoztatása; vagy a meglévő épület eredeti állapotának fenntartását célzó azon állagmegóvási, javítási, karbantartási munka, amely gazdaságossági szempontból megvalósítható;

**Közel nulla energiaigényű épület:** a 6. melléklet követelményeinek megfelelő épület;

# Határoló szerkezetekre vonatkozó számítások

1. A határoló szerkezetek kiválasztása során figyelembe kell venni, hogy a kedvezőtlen felület/térfogat arányú vagy tagoltabb épület esetében a határoló **szerkezetek hőveszteségéhez** még jelentős **hőhidveszteség** is hozzáadódik. Ehhez tájékoztató adatként használható az átlagos hőátbocsátási tényezőre vonatkozó diagram ( *1. melléklet* II. fejezet 2. ábra) és összefüggés [ *1. melléklet* (II.2.)].
2. A határoló szerkezetek felületét a **belméretek alapján**, a nyílászárók felületét a **névleges méretek** alapján kell meghatározni.
3. **A rétegtervi hőátbocsátási tényező (U)** a szerkezet általános helyen vett metszetére számított vagy a termék egészére, a minősítési iratban megadott [ $W/(m^2 \cdot K)$  mértékegységű] jellemző, amely tartalmazza nem homogén szerkezetek esetén a szerkezeten belül, jellemzően előforduló átlagos mennyiségben figyelembe vett pontszerű (rögzítési rendszerek, konzolok, csavarok, átkötővasak stb. által okozott) és vonalmonti (vázszerkezetek, hézagok, panelcsatlakozások stb. által okozott) hőhidak hatását is.
  - a) részletes módszer alkalmazása esetén a kettő vagy háromdimenziós számításon alapuló értékekkel MSZ EN ISO 10211 szabvány szerint,
  - b) egyszerűsített módszer alkalmazása esetén MSZ EN ISO 6946 szabvány szerint számítandóak

# Határoló szerkezetekre vonatkozó számítások

4. **Nyílászárók hőátbocsátási tényezőjénél (U) az üvegezés** (vagy más átlátszó szerkezet) és a **keretszerkezetének** (vagy más a felületen megjelenő felületnek) együttes felületre vetített átlagát kell figyelembe venni, figyelembe véve a szerkezeten belüli hőhidak hatását (pl. az üvegezés és a keretszerkezet csatlakozását, a távtartókat). A hőátbocsátási tényező üvegezett szerkezetek esetében tartalmazhatja a társított szerkezetek (redőny stb.) hatását is, ekkor a társított szerkezet „nyitott” és „csukott” helyzetére vonatkozó hőátbocsátási tényezők számtani átlaga vehető figyelembe.
5. Ha az épület egyes határoló felületei vagy szerkezetei **nem a külső környezettel**, hanem attól eltérő  **$t_x$  hőmérsékletű fűtetlen vagy fűtött terekkel érintkeznek** (raktár, pince, szomszédos épület), akkor ezen felületek  $U$  hőátbocsátási tényezőit a következő arányban kell módosítani, ahol  $t_x$  és  $t_e$  a fűtési idényre vonatkozó átlagértékek.:

$$\frac{t_i - t_x}{t_i - t_e}$$

# Határoló szerkezetekre vonatkozó számítások

6. **A felületi, szerkezeti csatlakozásoknál keletkező hőhidveszteségeket** egyszerűsített módszer alkalmazása esetén a következő összefüggés szerint kell figyelembe venni. A korrekciós tényező nem használható a gyártási, kivitelezési, tervezési hibák figyelembevételére és az ezek miatt időben bekövetkezett hőhidasság figyelembevételére (pl. hőszigetelt panelos rendszerek gyártási hibái).

$$U_R = U(1 + \chi)$$

7. **Fajlagos hőtároló tömeg** ( $m$ )
8. **Direkt sugárzási nyereség** fűtési idényre vonatkoztatva ( $Q_{sd}$ )
9. **Nyári sugárzási hőterhelés** ( $Q_{sdnyár}$ )
10. **A fajlagos hőveszteségtényező** ( $q$ )

# Hővédelem

## Határolószerkezetek energiamérlege

Hőátviteli folyamatok (hőtranszport)

Időben állandósult egydimenziós hőáram

Felületi hőátadási tényező

Többrétegű sík fal állandósult állapotú hővezetése

Hőmérsékleteloszlás többrétegű falban

Hőátbocsátás

Hőhidak

Talajra fektetett szerkezetek

# Hőátvitel fogalma

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

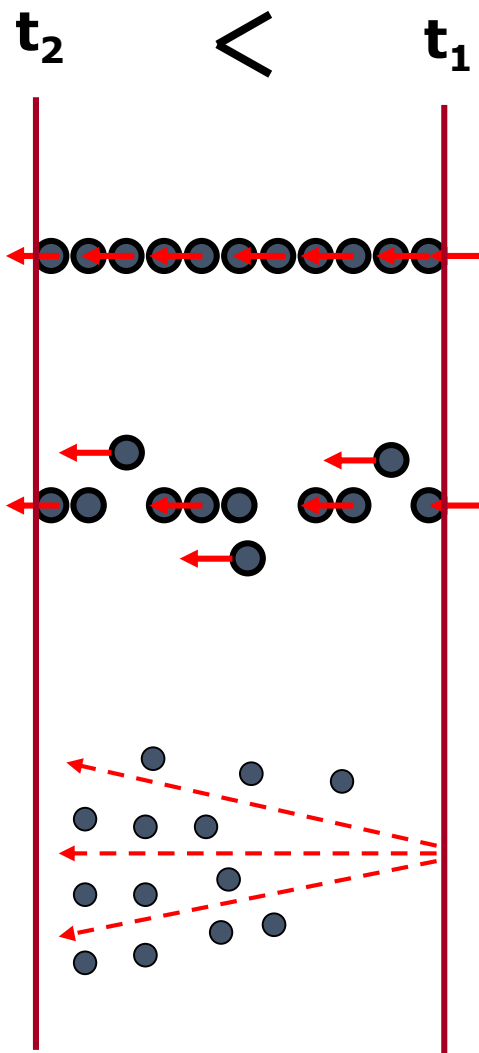
Hajtóereje a magasabb és az alacsonyabb hőmérsékletű test közötti **hőmérsékletkülönbség hatására alakul ki**. A magasabb hőmérsékletű test (a termodinamika második fő tételének értelmében) átadja hőjének egy részét az alacsonyabb hőmérsékletű testnek.

A hőátvitelnek három alapvető formája van:

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



# Hőátviteli folyamatok



HŐVEZETÉS (KONDUKCIÓ)

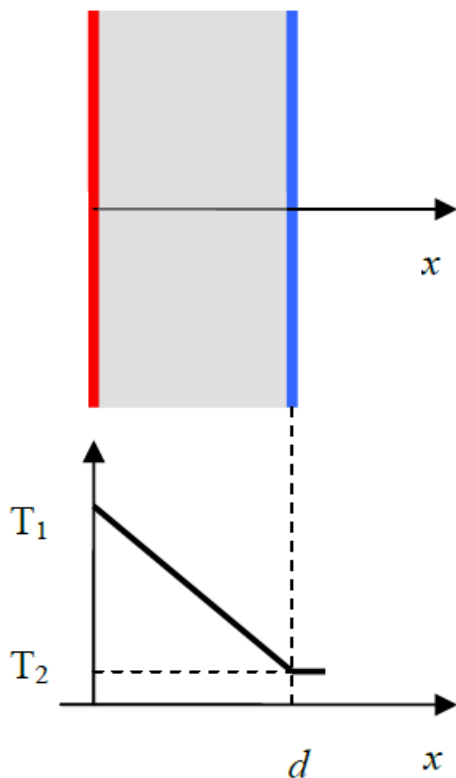
HŐÁRAMLÁS (KONVEKCIÓ)

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.

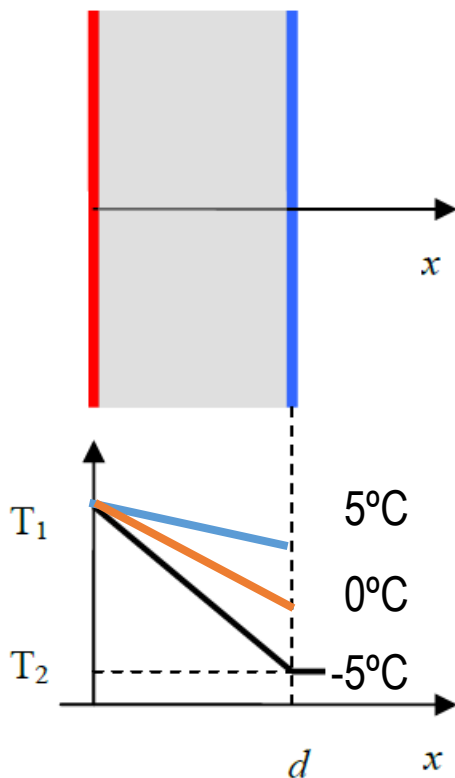


STACIONER  
hővezetés  
Időben állandó

# 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

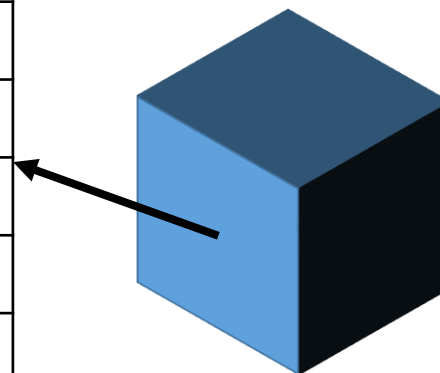
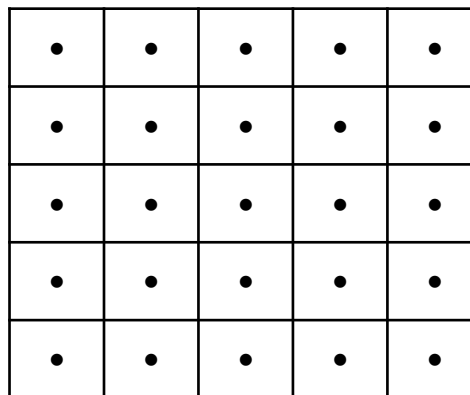
A hővezetéssel történő átadásnak elengedhetetlen feltétele, a **hőmérsékletnek** egy adott test vagy térfogat **különböző pontjaiban fennálló különbsége**.

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

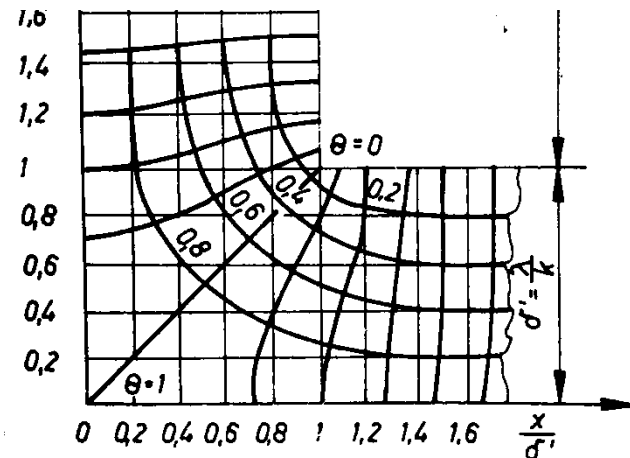
Az egyenlő hőmérsékleti pontokra fektetett felületeket izotermának, a hőmérsékletnek a felület normális irányában vett differenciálhányadosát hőmérsékletgradiensnek nevezzük:

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

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 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$Q$  – hőmennyiség [J]

$A$  – fal felülete [ $\text{m}^2$ ]

$d$  – fal vastagsága [m]

$\Delta T/\Delta x$  – hőmérsékletgradiens

$\lambda$  – hővezetési tényező [ $\text{W}/\text{mK}$ ]

# A hővezetési tényező ( $\lambda$ ) 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:

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

Tendencia szerűen 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).

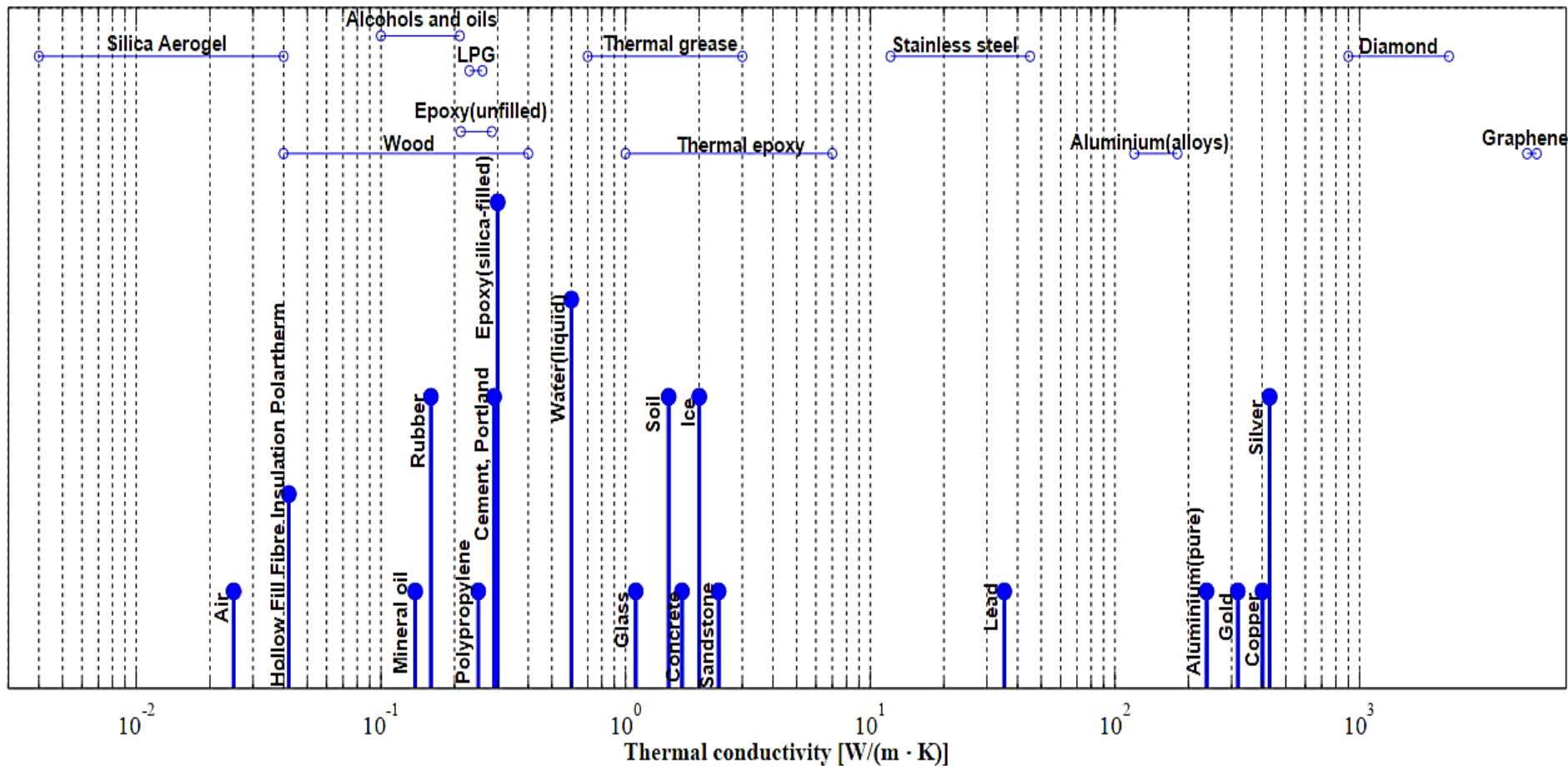
# Egyes anyagok hővezetési tényezői

<b>Anyag</b>	<b>Hővezetési tényező [W / (m · K)]</b>
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



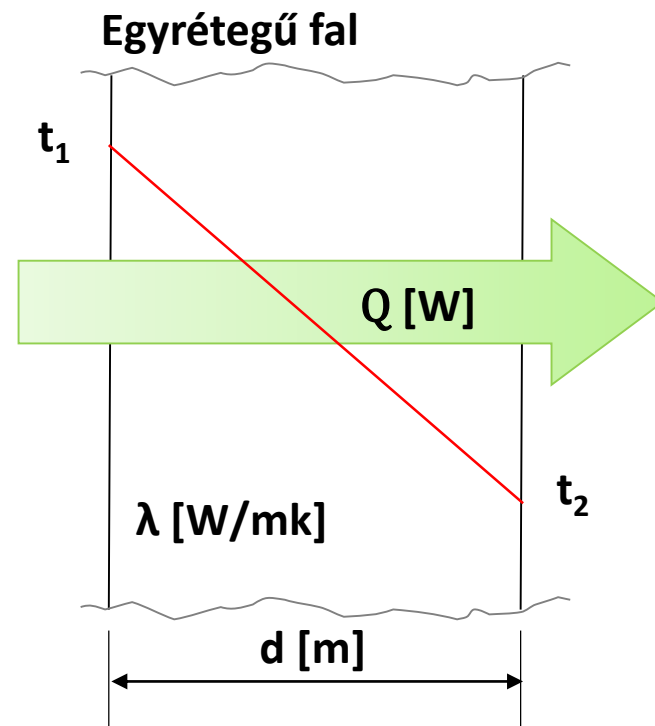
# Egydimenziós, állandósult állapotú hővezetés

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 ( $\lambda$ ) és fordítva arányos a fal vastagságával ( $d$ ).

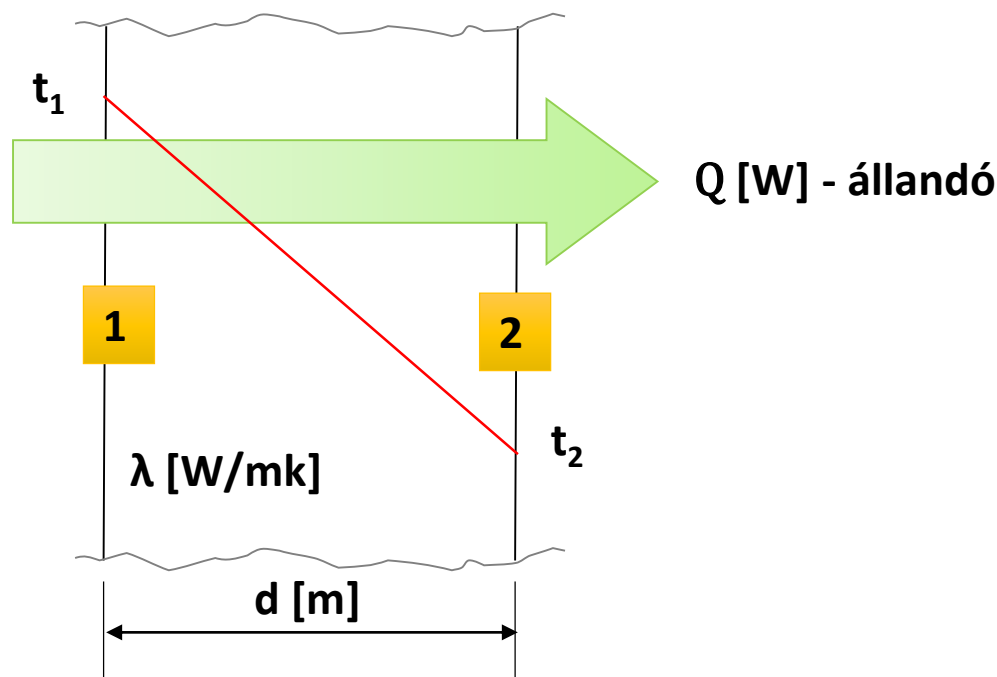
$$Q = A \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (t_1 - t_2)$$



# A hőmérsékleteloszlás geometriai értelmezése

Ha a vizsgált **jelenség állandósult** és forrásmentes, az "1" felületen a réteg egységnyi homloklafelületű 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.

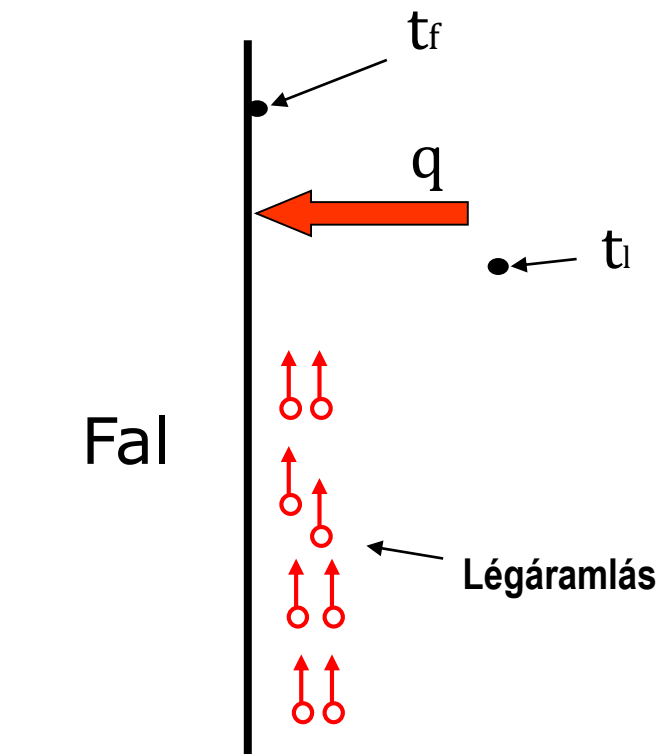


# Hőáramlás

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:



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

# Hőátadási tényező ( $\alpha$ )

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/m<sup>2</sup>K**].

**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

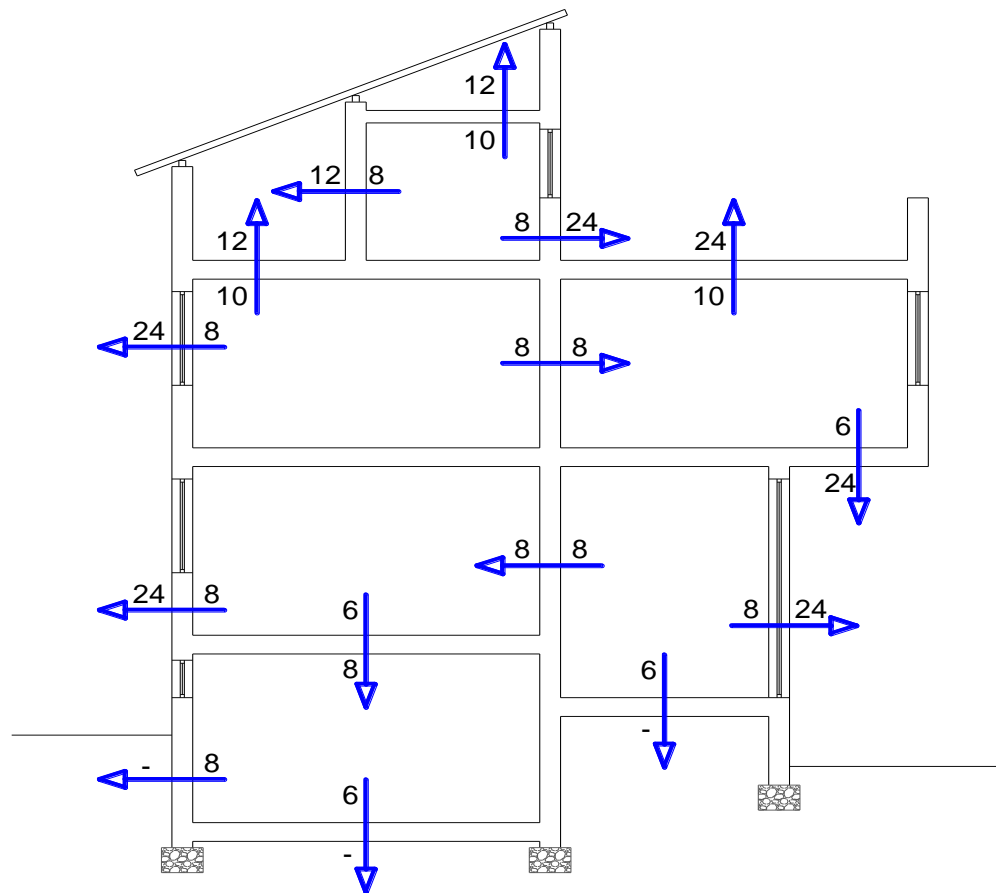
$$\alpha = Const \cdot \Delta t^{0,1} \quad [W / (m^2 \cdot K)]$$

Állandó (*Const*) értékek a  
következő esetekre:

Fal (6,175)

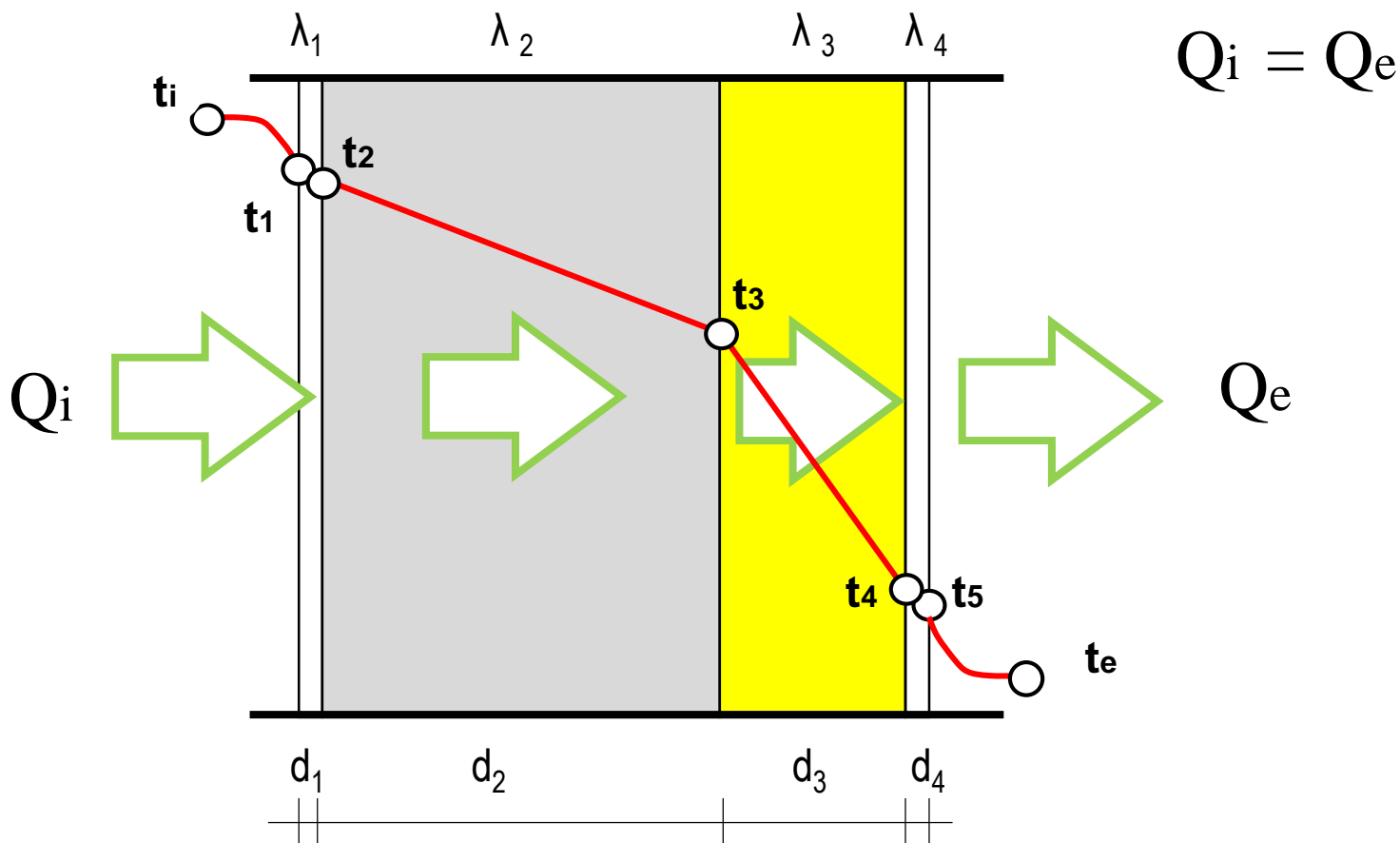
Padló (8,920)

Mennyezet (4,722)



# Többrétegű sík fal állandósult állapotú hővezetése

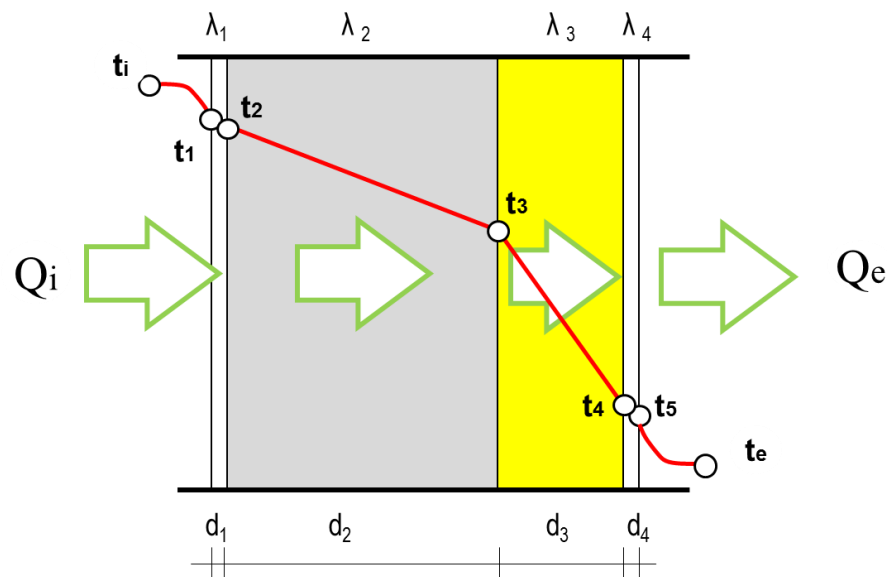
Stacioner hőáram esetében minden rétegen ugyanaz a hőmennyiség áramlik át!



# 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  $d/\lambda$  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.

# 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

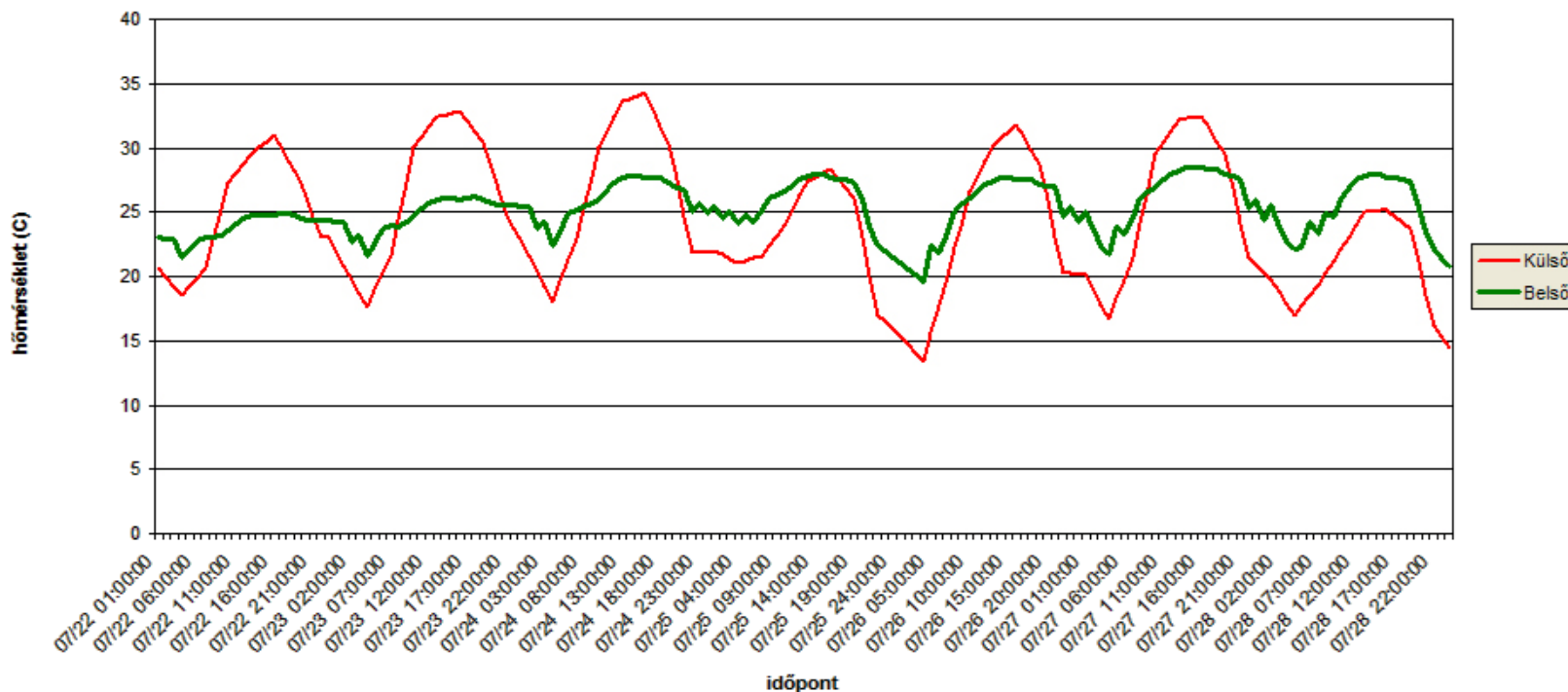
A tárolt hő mennyisége a hőmérséklet-különbség, a szerkezet hővezetési tényezője ( $\lambda$ ), a felmelegedés/lehűlés fázisideje ( $\tau$ ), az anyag fajhőjének ( $c$ ) és tömegének függvénye ( $m$ ).

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  $1600 \text{ kg/m}^3$  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 melegek 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

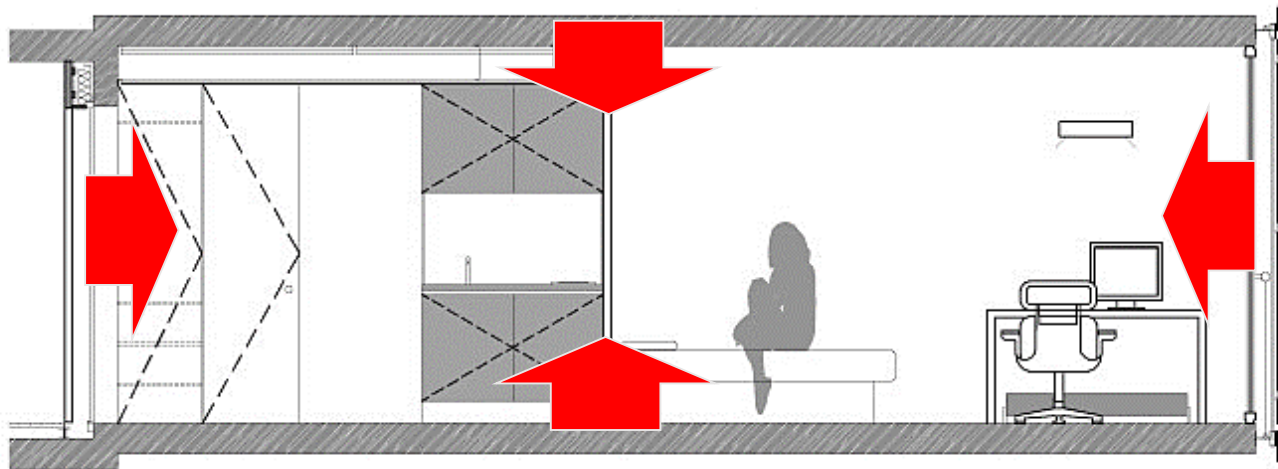
Az épület fajlagos hőtároló tömegének számítását az EN ISO 13790 szerint kell végezni. Az **épület hőtároló tömege** az épület belső levegőjével közvetlen kapcsolatban lévő határolószervezetek hőtároló tömegének összege:

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

A – felület, a belméretek alapján számolva

d – aktív réteg

$\rho$  – 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 legnagyobb 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.

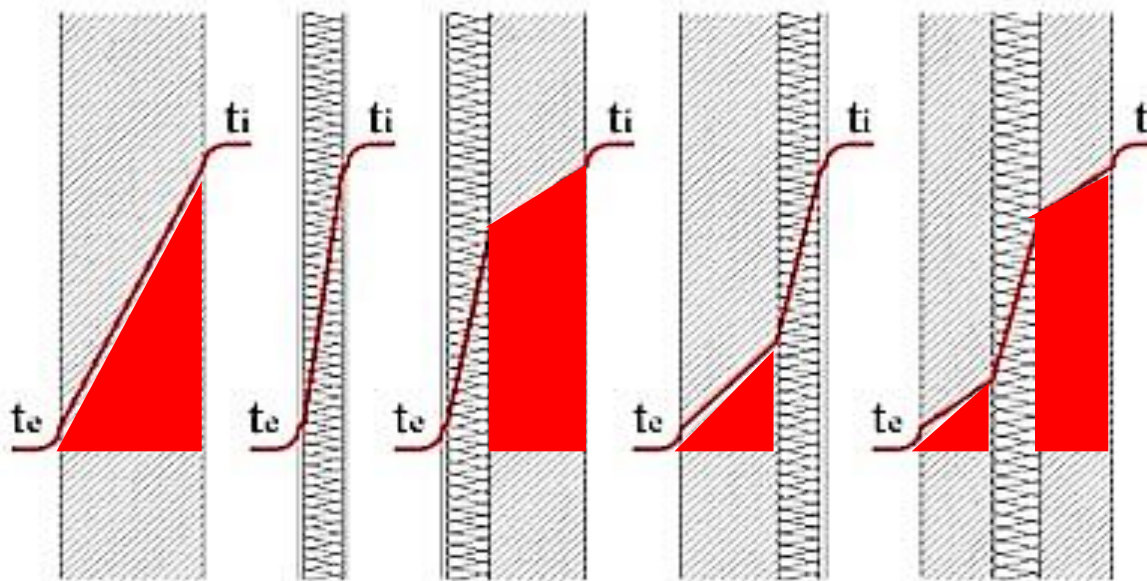
# Hőtárolás

## 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/m<sup>2</sup>-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:

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

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

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

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

