

Az épületfizika tárgya

Az épületfizika tantárgy törzsanyagában szereplő témák

A tárgyalt jelenségek zöme transzportfolyamat

Lényege: valamilyen potenciálkülönbség miatt valami áramlik

Az épületfizikában vizsgált transzportfolyamatok

- hő

hőmérsékletkülönbség hatására

- vízgőz

parciális nyomáskülönbség hatására

- levegő

nyomáskülönbség hatására

A transzportfolyamatok vizsgálatának célja:

- az áramok pillanatnyi értékének meghatározása  $\Rightarrow$  épületgépészeti rendszerek beépítendő teljesítménye
- az áramok integrálértékének meghatározása  $\Rightarrow$  fogyasztás
- a potenciáeloszlások meghatározása  $\Rightarrow$  állagvédelem
- a jó hőérzeti feltételek és belső levegőminőség biztosítása

Az építészeti és szerkezettervezés célja többek között a fogyasztás csökkentése az észszerűség határáig, az állagvédelem és a megfelelő komfort biztosítása.



A HAZAI LAKOSSÁGI ENERGIAFOGYASZTÁS MEGOSZTLÁSA

”A FÉNY, A HŐ, A NAPSUGÁRZÁS AZ ÉPÍTÉSZET ANYAGAI,  
AMELYEKET UGYANOLYAN GONDOSAN KELL TERVEZNI,  
MINT A BETONT VAGY AZ ACÉLT”

M. Papadopoulos

”EZEKNEK NEM A STÍLUST KELL BEFOLYÁSOLNIUK,  
NEM VALAMI HOZZÁTOLDOTT MÓDON KELL  
MEGJELENNIÜK, HANEM A LÉNYEGET KELL  
MEGHATÁROZNIUK. ”

A. Tombazis

## Hőtranszport a határolószerkezetekben

Sugárzást át nem bocsátó szerkezetek

„opaque” szerkezetek

*(azért nem „átlátszatlan”, mert  
nemcsak a látható, hanem az  
infrásugárzás is szerepel)*

Miért „hőtranszport” ?

mert többféle folyamat játszódik le

- vezetés szilárd anyagban, nyugalomban lévő folyadékban, gázban

*azaz a határoló szerkezet szilárd anyagú rétegeiben*

*kis vastagságú vízszintes légrétegekben, iránytól függően*

- átadás felület és áramló levegő között

*helyiség levegője és belső felület között*

*ahol a levegő jellemzően a hőmérsékletkülönbség miatt mozog*

*külső levegő és külső felület között*

*ahol a szélhatás miatt még intenzívebb a légmozgás*

- sugárzás két olyan felület között, amelyek egymást „látják”

*belső térhatárolás és külső határolás belső felületei között*

*külső felületek és talaj, burkolat, más épületek között*

*külső felületek és égbolt között*

*külső felületek és a Nap között*

*belső felületek és a Nap között transzparens szerkezeteken át*

Ezek a folyamatok gyakran „keverednek”, például egy felületen átadás és sugárzás, egy laza szálás hőszigetelésben vezetés és átadás, egy légrétegben vezetés, átadás és a szembenéző felületek között sugárzás

További lehetséges forma: a levegő valahonnan valahová áramlik vagy hőmérsékletkülönbség vagy kényszer (pl. szél, szellőztető berendezés) hatására és az áramló levegő hőt is szállít - ez a *konvektív* transzport. Előfordul légrétegben, laza szálás hőszigetelő anyagokban.

Hővezetés: az anyag jellemzője

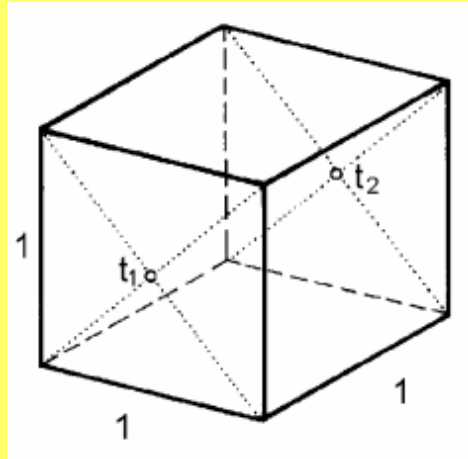
Értelmezése: egységnyi élhosszúságú kocka, két szemköztí felülete között egységnyi hőmérsékletkülönbség

A hővezetési tényező az időegység alatt átjutó hő mennyisége

Mértékegysége

$$\frac{J}{smK} = \frac{W}{mK}$$

Jele  $\lambda$



A hővezetési tényező nagyságrendje:

kis sűrűségű (15-20 kg/m<sup>3</sup>) hőszigetelő anyagok: 0,035-0,040

nagyobb sűrűségű hőszigetelő anyagok 0,1-0,2

könnyű falazóelemek: 0,3-0,6

tégla 0,6-0,9

könnyű beton (1200-1800 kg/m<sup>3</sup>) 0,4-0,8

vasbeton 1,55

acél 58

aluminium 185

Tendencia: könnyebb anyag ➡ kisebb hővezetési tényező

Izotróp anyag: a hővezetési tényező nem függ az iránytól

Anizotróp anyag: a vezetés irányfüggő (fa)

A hővezetési tényező nem állandó: függ az anyag nedvességtartalmától, esetleges roskadástól, tömörödéstől (önsúly, más réteg, helyzete), hőmérséklettől.  
 $\lambda$  deklarált értéke: gyári új állapotban  
 $\lambda$  tervezési értéke: beépített állapotban, az előbbi hatások alatt

$$\lambda_{tervezési} = \lambda_{deklarált} (1 + \sum \kappa)$$

A különbség többször 10 % is lehet !  
 Mi történik a szilvával, midőn lekvár lesz belőle ?  
 És mi történik a hőszigeteléssel, ha sablonban szendvicspanel készül ?

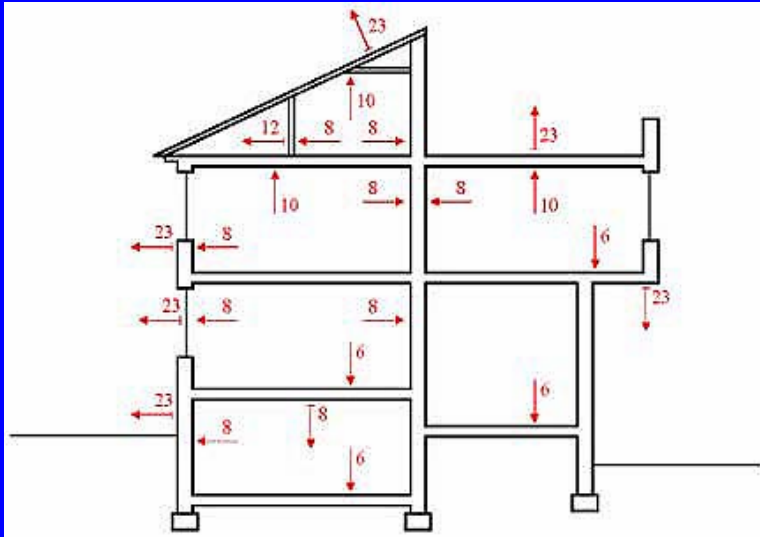
A határolószerkezetek többnyire párhuzamos síklapokkal határoltak, amelyek hőmérsékletei különböznek. A hőáram ezek síkjára merőlegesen, egy irányban áramlik (*egydimenziós*). A hőmérsékletek időben állandóak, a hőáram *stacioner*. A hőáram egyenesen arányos a hőmérsékletkülönbséggel és a hővezetési tényezővel, fordítottna a réteg vastagságával. Egységnyi homlokfelületre

$$q = \frac{\lambda}{d} (t_1 - t_2) W / m^2$$

A réteg jellemzője a vezetési ellenállás  $R = \frac{d}{\lambda} m^2 K / W$

Több réteg esetén az egyes rétegek ellenállásai összegeződnek (az egyszerű Ohm törvény analógiájára)

A felület és a környezet közötti hőcserét a hőátadási tényező jellemzi. Jele  $\alpha$  ( $h$ ), mértékegysége  $W/m^2K$ , a belső oldalra  $i$ , a külsőre  $e$  indexek utalnak. A hőátadási tényezők reciprokai a felületi ellenállások:  $R_i, R_e$ . Átadásra és sugárzásra együtt jellemző értékek.



A teljes ellenállás

$$R_{\text{ö}} = R_i + \sum R_j + R_e$$

Ennek reciproka 
$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^{j=n} R_j + R_e} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

a hőátbocsátási tényező ( $k, U$ ), mértékegysége  $W/m^2K$

Jellemző értékek:

fal:	0,4 - 0,7
felső zárófödém:	0,1 - 0,4
alsó zárófödém:	0,5 - 0,9
ablak	1,5 - 2,8

A hőátbocsátási tényező ismeretében a hőáram számítható.

Az épületből távozó összes hőáram (transzmissziós hőveszteség):

$$Q = \sum A_j \cdot U_j \cdot (t_i - t_e)$$

A hőáram ismeretén túl állagvédelmi szempontból szükséges a keresztmetszetben kialakuló hőmérsékleteloszlás ismerete is (páralecsapódás a belső felületen, a kapillárisokban, a szerkezet belsejében, fagyhatár).

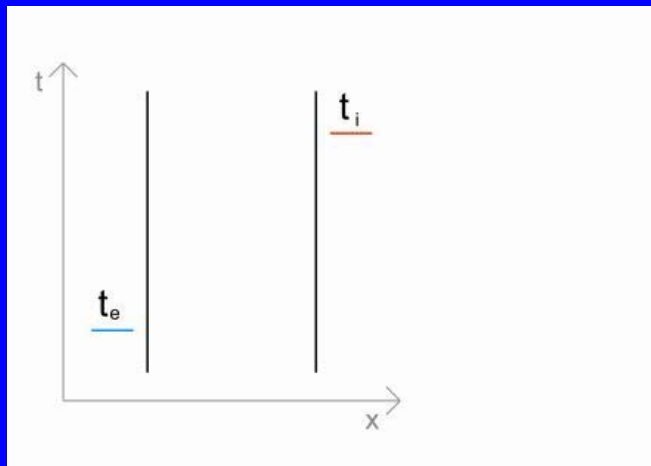
A hőmérsékleteloszlás meghatározásának elve:

- az áram bármely, a homlokfelülettel párhuzamos síkban ugyanakkora,
  - vagyis minden rétegen ugyanaz az áram halad át,
  - és ugyanez az áram halad át a belső és a külső felületen is.
- Ugyanakkora áram „áthajtásához” annál nagyobb hőmérsékletkülönbség kell, minél nagyobb az áramút adott szakaszának az ellenállása.

➡ Az egy szakaszra jutó hőmérsékletkülönbség úgy aránylik a teljes  $(t_i - t_e)$  hőmérsékletkülönbséghez, ahogyan a szakasz ellenállása aránylik a teljes hőátbocsátási ellenálláshoz:

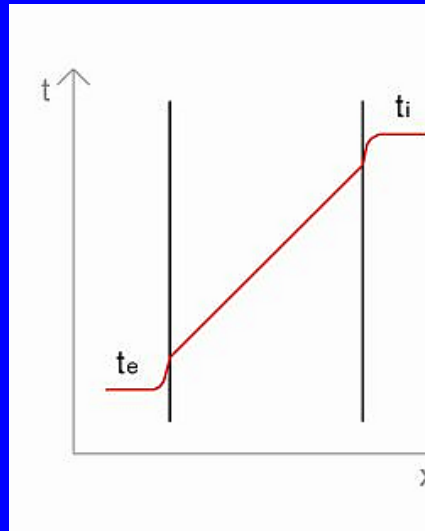
$$R_j / R_{\bar{o}} = \Delta t_j / (t_i - t_e)$$

A szakaszhatárokon a hőmérsékletet tehát úgy állapítjuk meg, hogy a teljes hőmérsékletkülönbséget a szakasz-ellenállások arányában felosztjuk. Tekintsük a belső és a külső hőmérséklet tervezési értékeit: egyrétegű fal esetén különbségüket három részre kell osztani aszerint, hogy a két felületi ellenállás és a fal vezetési ellenállása hogyan aránylik az összes ellenálláshoz.





Egy homogén anyagú rétegben a hőmérsékleteloszlás egyenes mentén változik. A felületek mentén a hőmérséklet a felülettel érintkező igenvékony *határrétegben* változik. Részletek nélkül ezt csak egy ívvel jelezzük, ennek a felületet ábrázoló vonal az érintője.



A hőmérsékleteloszlás vonalának meredeksége arányos a hőárammal amely -egységnyi homlokfelületre - a következő formában is felírható:

$$q = \frac{\lambda}{d} (t_1 - t_2) = \lambda \frac{t_1 - t_2}{d}$$

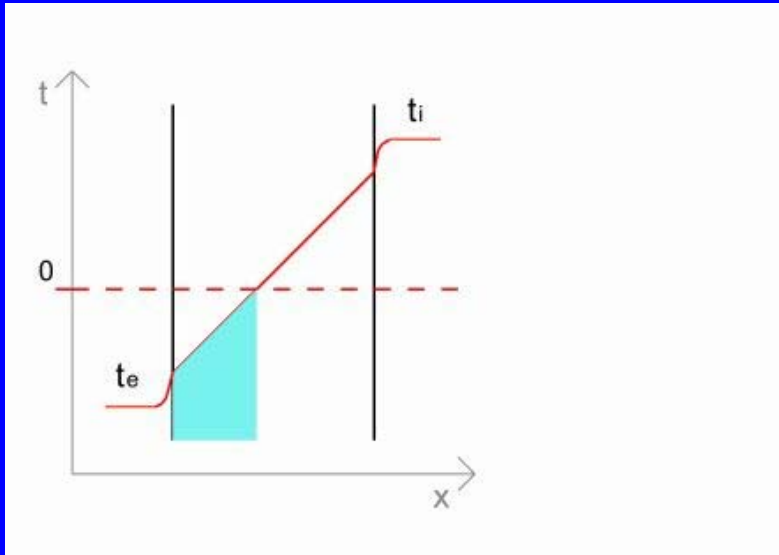
Az utóbbi formában a képletben szereplő hányados az adott  $x - t$  koordinátarendszerben a *vonalt meredeksége*.

Időben állandósult folyamat esetén egy rétegből annyi áram távozik, amennyi abba belép, az áram az  $x$  tengely mentén *nem* változik.

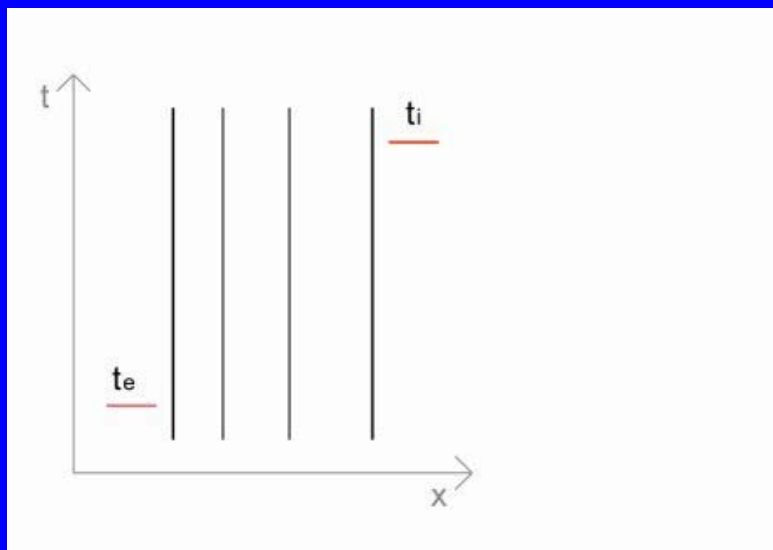
Ezért, amíg  $\lambda$  nem változik (az anyag homogén), addig a vonal meredeksége sem változik  $\Rightarrow$  homogén rétegben az eloszlás lineáris.

A réteghatárokon  $\lambda$  változik, ezzel a meredekség is változik - de a szorzati-azaz az áram - nem !

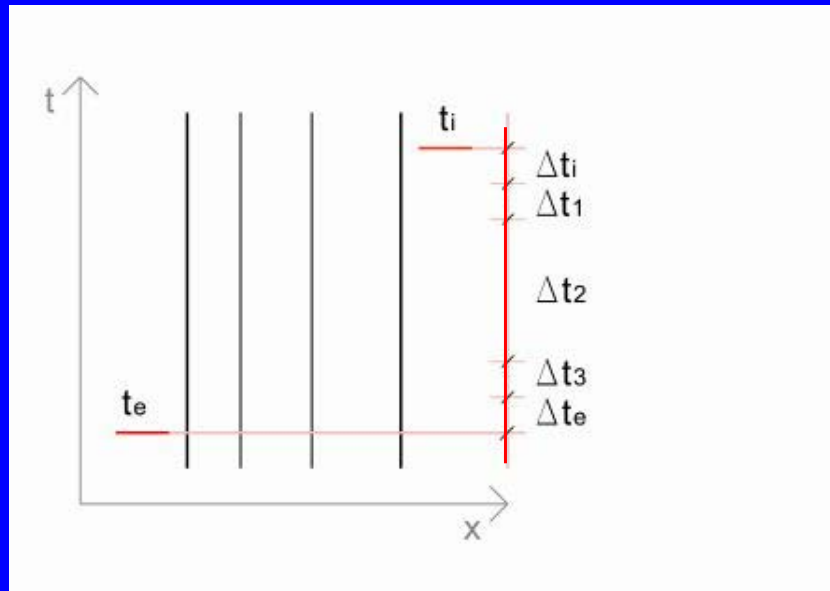
A hőmérsékleteloszlás ismeretében a fagyhatár kijelölhető.  
(Megjegyzendő, hogy a pórusokban -azok méretétől függően a H<sub>2</sub>O 0°C-nál alacsonyabb hőmérsékleten lesz szilárd halmazállapotú.)



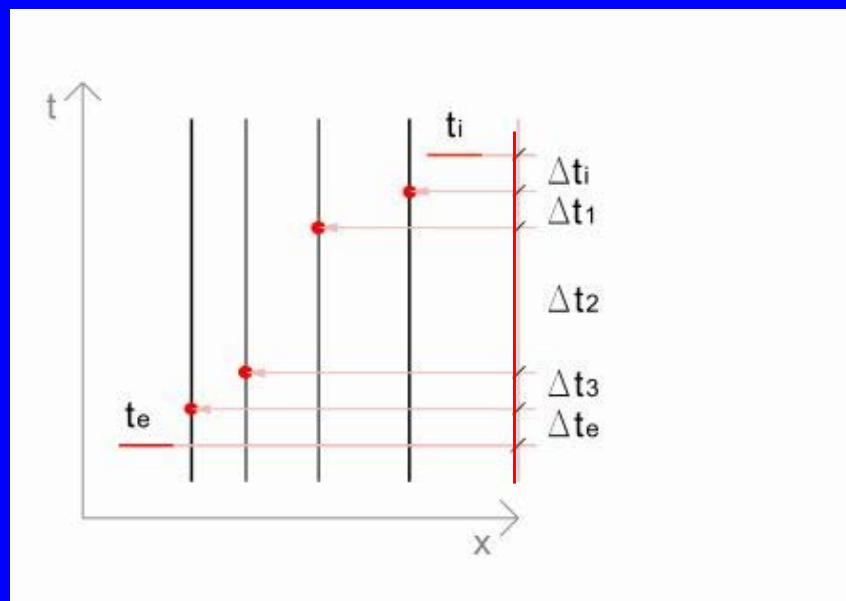
Elvileg nem változik a kép akkor sem, ha a szerkezet többretegű. A kiinduló adatpár a belső és a külső hőmérséklet tervezési értéke:



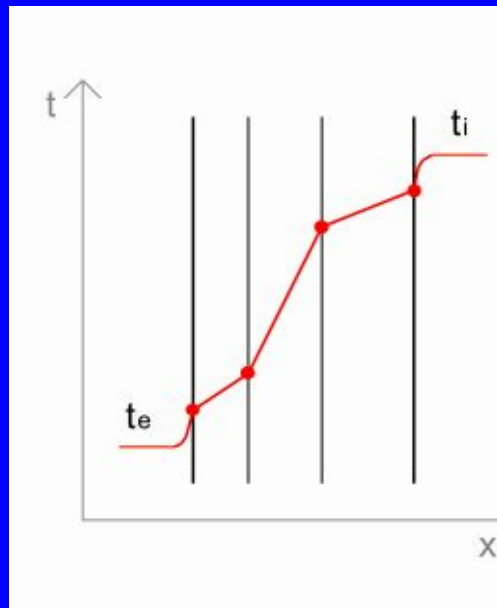
A teljes hőmérsékletkülönbséget felosztjuk az ellenállások arányában



A felületeken és a réteghatárokon jelöljük a  $t$  értékeket:

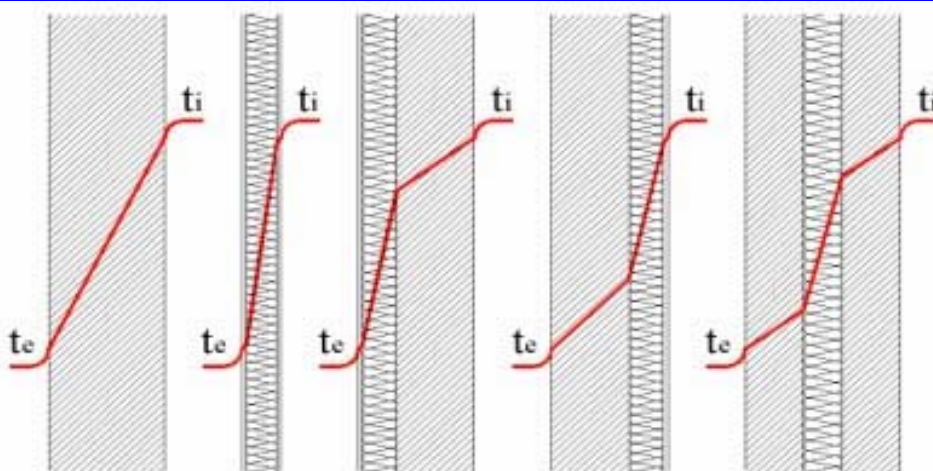


A réteghatárokon kijelölt pontokat egy-egy rétegen belül egyenesekkel összekötjük - a szakaszok meredeksége azonnal mutatja, hol van hőszigetelő réteg:

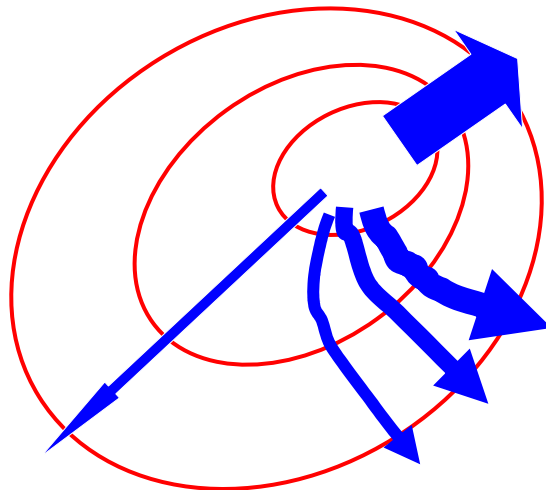
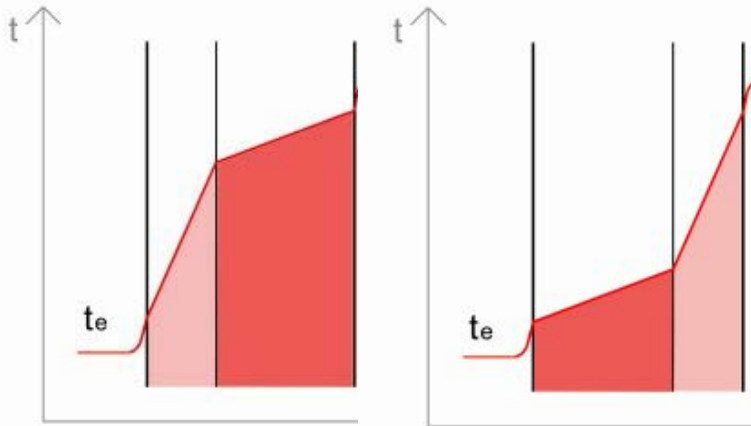


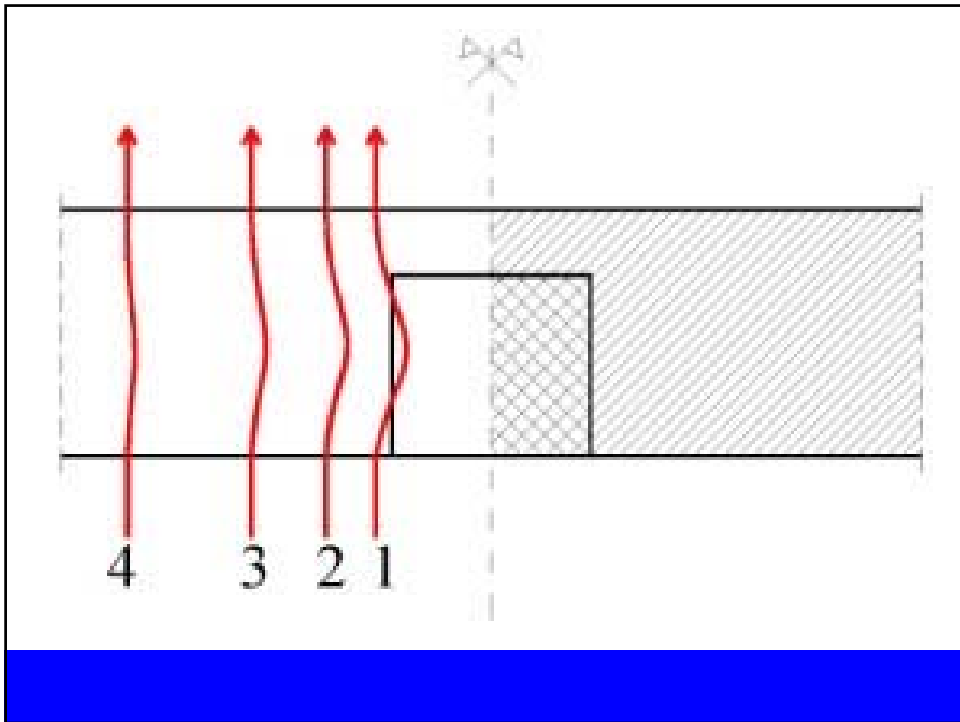
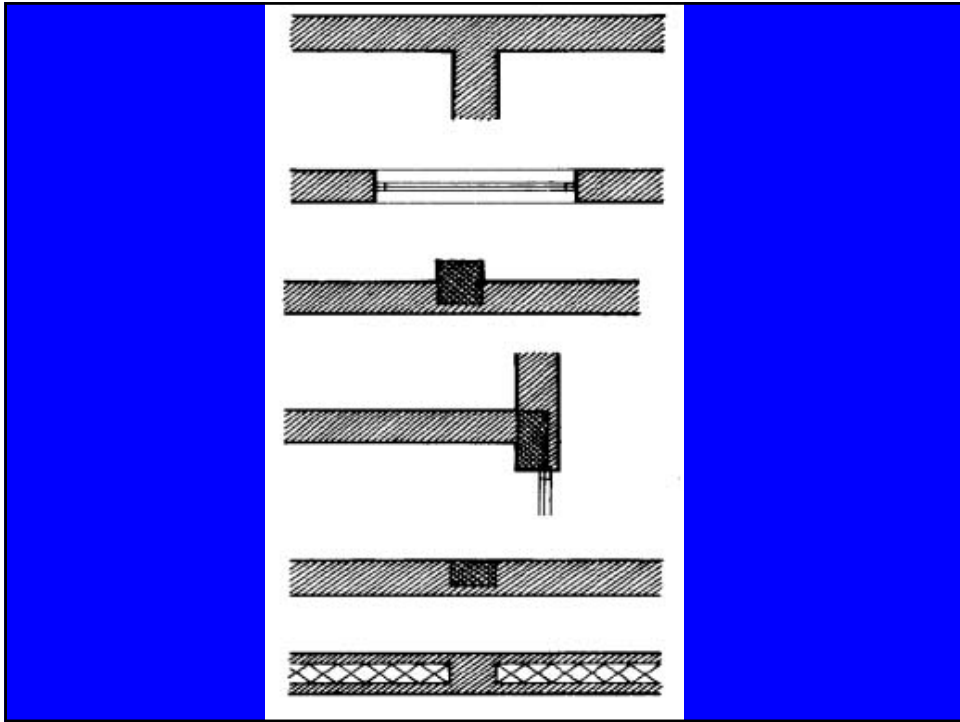
Jellemző hőmérsékleteloszlások: egyrétegű, külső, belső és közbelső hőszigetelés.

A felületeknél a hőmérsékletkülönbség annál kisebb, minél nagyobb a teljes szerkezet hőátbocsátási ellenállása

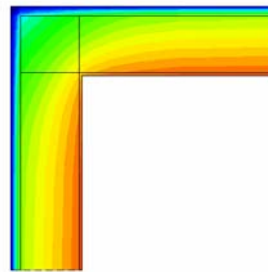
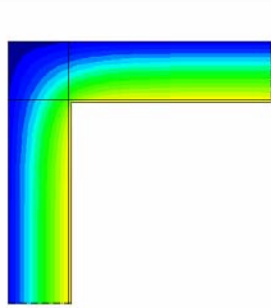


A valóságban időben változó folyamatok szempontjából fontos, hogy a szerkezet mennyi hőt tárol - ez nagyban függ a rétegsorrendtől !





## Hőhidak - falsarok



### B30 falazat (tégla + gipszvakolat)

$$\lambda_{B30} = 0.64 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{vak} = 0.34 \text{ W/mK}$$

$$\Psi_f = 0.15 \text{ W/mK}$$

$$t_x(t_e = -2^\circ\text{C}) = 10.7^\circ\text{C}$$

$$t(t_e = -2^\circ\text{C}) = 14.2^\circ\text{C}$$

$$\text{A vizsgált falszakasz hővesztesége : } 62.4 \text{ w/m}$$

### B30 falazat (+ 5cm expandált polisztirol)

$$\lambda_{B30} = 0.64 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{vak} = 0.054 \text{ W/mK}$$

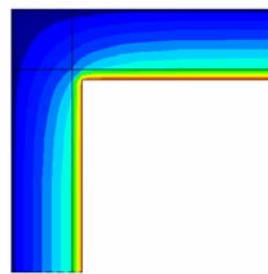
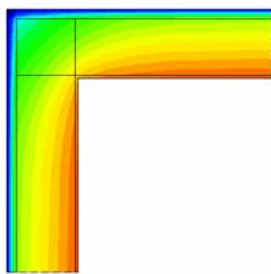
$$\Psi_f = 0.19 \text{ W/mK}$$

$$t_x(t_e = -2^\circ\text{C}) = 14.8^\circ\text{C}$$

$$t(t_e = -2^\circ\text{C}) = 17.3^\circ\text{C}$$

$$\text{A vizsgált falszakasz hővesztesége : } 30.5 \text{ w/m}$$

## Hőhidak - falsarok



### B30 falazat (+ 5cm exp.pol kívül)

$$\lambda_{B30} = 0.64 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{vak} = 0.054 \text{ W/mK}$$

$$\Psi = 0.19 \text{ W/mK}$$

$$t_x(t_e = -2^\circ\text{C}) = 14.8^\circ\text{C}$$

$$t(t_e = -2^\circ\text{C}) = 17.3^\circ\text{C}$$

$$\text{A vizsgált falszakasz hővesztesége : } 30.5 \text{ w/m}$$

### B30 falazat (tégla + gipszvakolat)

$$\lambda_{B30} = 0.64 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{vak} = 0.054 \text{ W/mK}$$

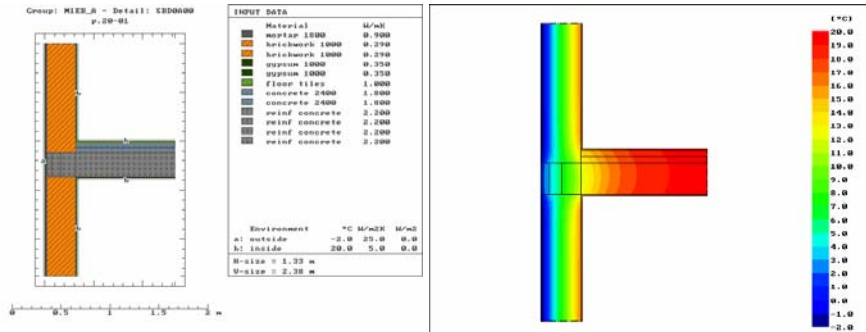
$$\Psi = 0.05 \text{ W/mK}$$

$$t_x(t_e = -2^\circ\text{C}) = 10.7^\circ\text{C}$$

$$t(t_e = -2^\circ\text{C}) = 14.2^\circ\text{C}$$

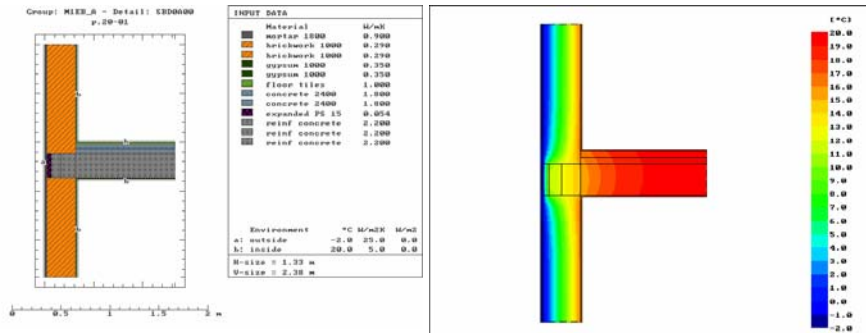
$$\text{A vizsgált falszakasz hővesztesége : } 62.4 \text{ w/m}$$

## Hőhidak – vb födém(25cm), Porotherm NF30



A külső fal „meleg” a padló „hideg”  
( $\psi=0.90$ )

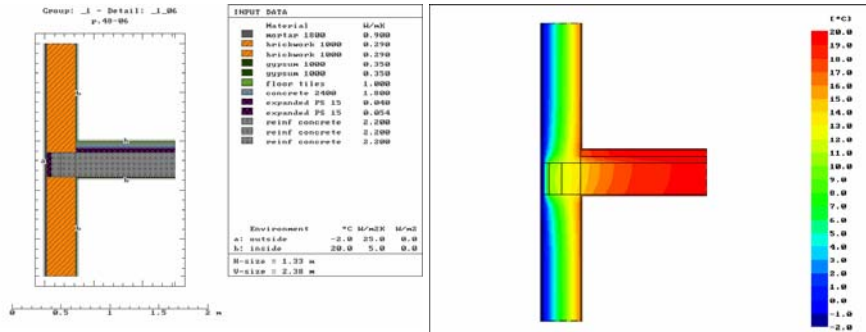
## Hőhidak – vb födém(25cm), Porotherm NF30



5cm exp. pol. Hőhid megszakítás. ( $\psi=0.47$ )



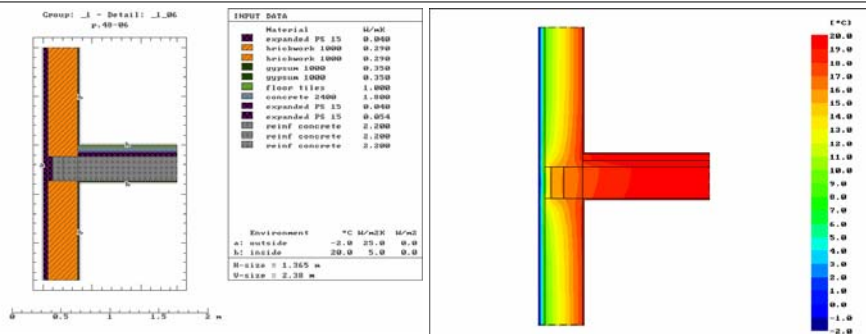
## Hőhidak – vb födém(25cm), Porotherm NF30



5cm exp. pol. Hőhid megszakítás. ( $\Psi=0.47$ )

5cm Padló hőszigetelés. ( $\Psi=0.45$ )

## Hőhidak – vb födém(25cm), Porotherm NF30

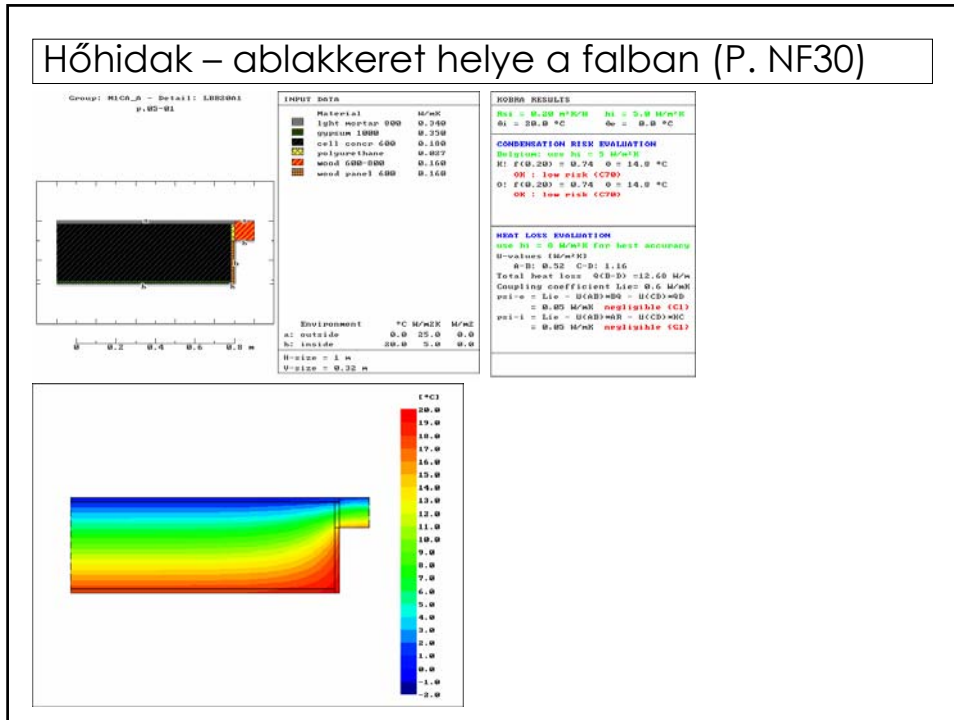


5cm exp. pol. Hőhid megszakítás. ( $\Psi=0.47$ )

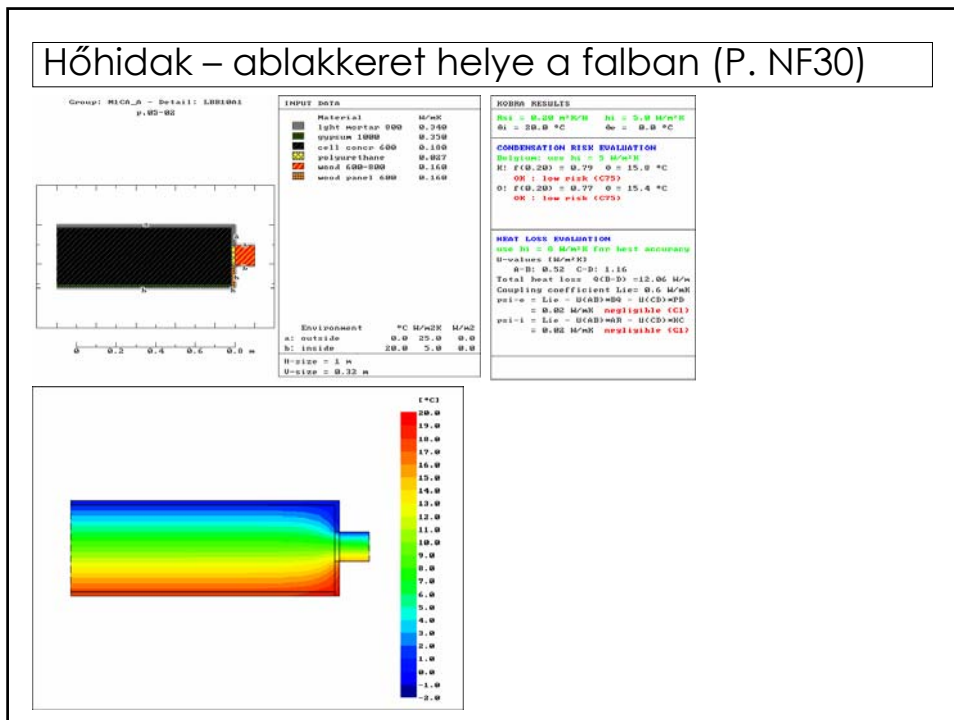
5cm Padló hőszigetelés. ( $\Psi=0.19$ )

5cm Dryvite homlokzati hőszigetelés. ( $\Psi=0.18$ )

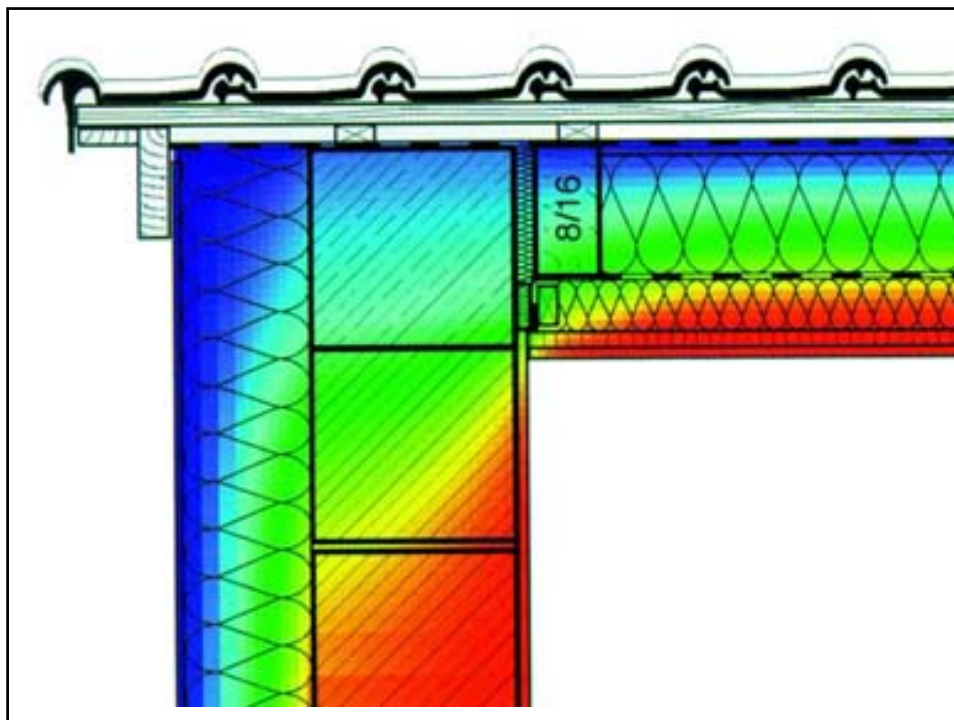
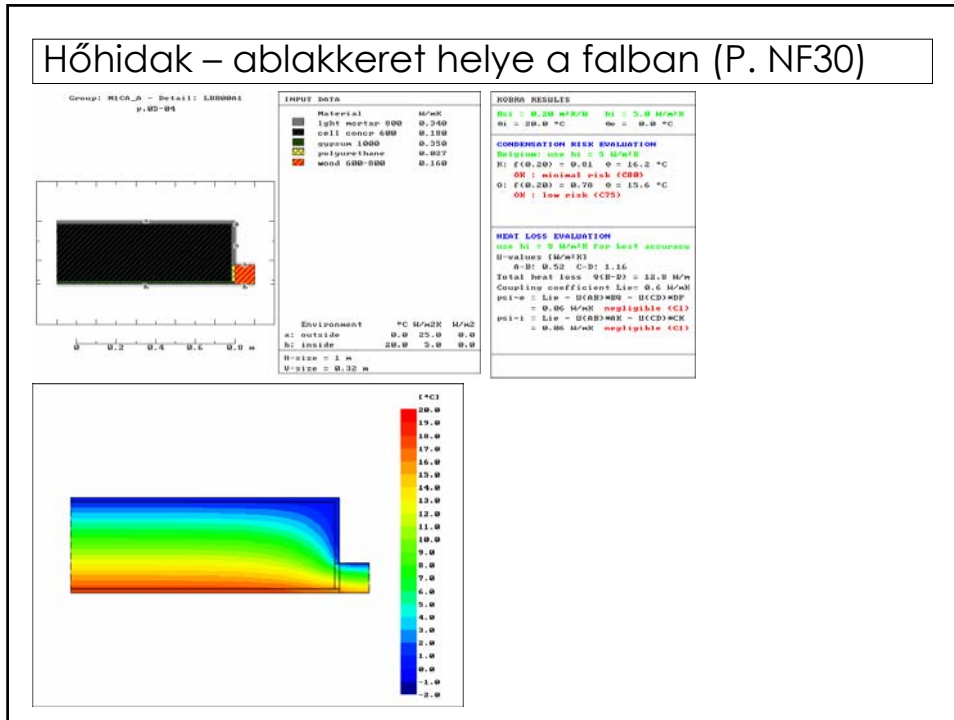
## Hőhidak – ablakkeret helye a falban (P. NF30)

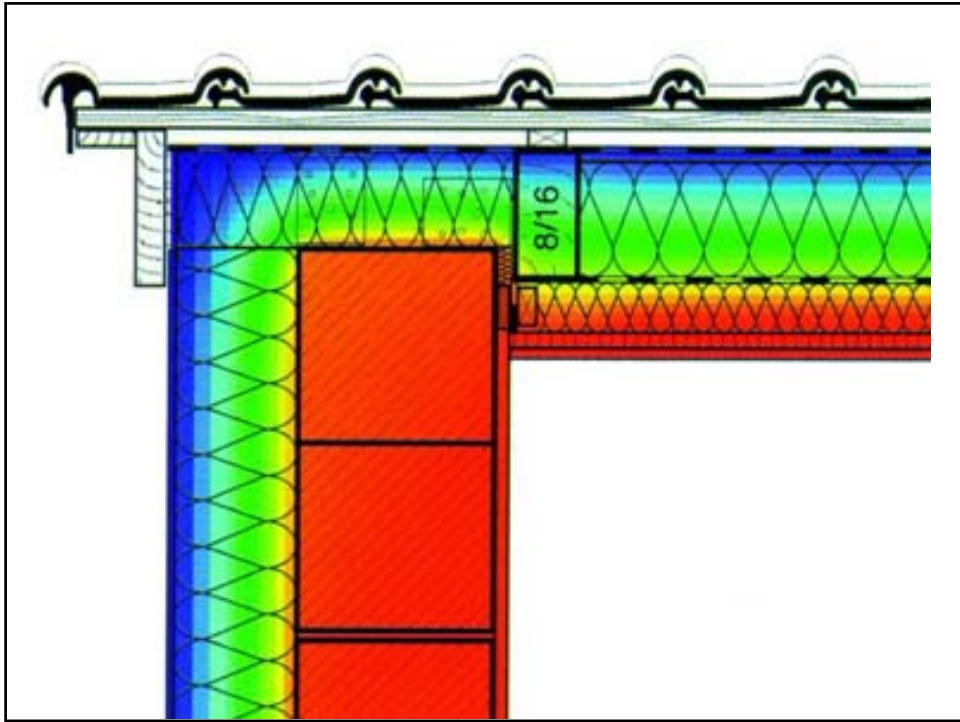


## Hőhidak – ablakkeret helye a falban (P. NF30)

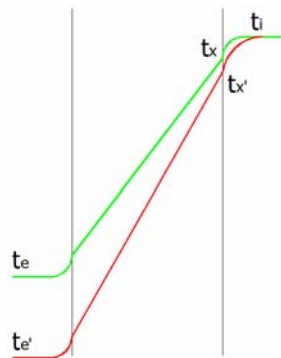


# Hőhidak – ablakeret helye a falban (P. NF30)





Hőhidak  
Sajátléptékben mért hőmérséklet



$$\Theta_x = \frac{t_x - t_e}{t_i + t_e}$$

$$\Theta_x = \Theta'_x$$

## Hőhidak Vonalmenti hőátbocsátási tényező

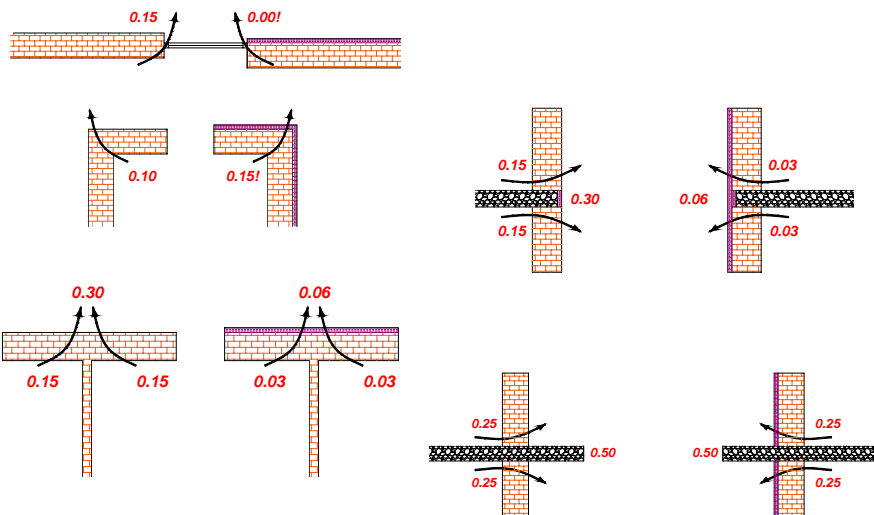
$$Q_l = l \times \Psi_{szi}(t_i - t_e)$$

- Definíció
- A hőhidak miatti többlet hőveszteség
- Vonatkozási felület

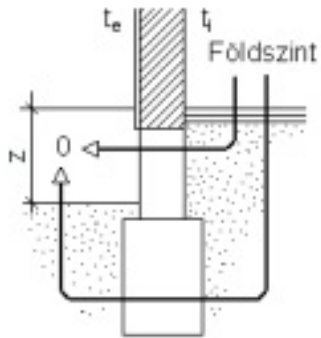
$$Q = Q_{rtg} + \sum_j Q_{lj} = A_{fal} U_{rtg} (t_i - t_e) + \sum_j l_j \Psi_{szi_{lj}} (t_i - t_e)$$

$$k_e = +U_{rtg} + \frac{\sum_j l_j \Psi_{szi_{lj}} (t_i - t_e)}{A}$$

## Épületszerkezeti elemek vonalmenti hőátbocsátási tényezői



## Hőhidak Talajra fektetett padló



Hővesztése az építmény kerületéhez köthető, ezért ezt is vonalmenti hőátbocsátási tényezővel jellemezzük, mely függ:

- A padló rétegrendjétől, különös tekintettel a benne lévő hőszigetelés vastagságától
- A lábazat kialakításától, annak hőszigetelésétől
- A geodetikus magasságkülönbségtől

## Hőhidak Vasbetéttel áttört hőszigetelő réteg

$$\lambda_r = \frac{\lambda_{sz}(1 + \kappa)A_{SZ} + \lambda_V A_V}{A_{SZ} + A_V}$$

- o A hőszigetelés hővezetési tényezőjét módosítja
- o A társított anyagok hővezetési tényezőinek nagy a különbsége
- o Példák:
  - o Vasbetéttel áttört hőszigetelő réteg
  - o Szarufák között hőszigetelés
  - o Bordázott felület
- o A számítási modell feltétele, hogy oldal irányú hővezetés nincs
- o Számítása a felülettel, vagy térfogattal súlyozott számtani közép