

ÉPÜLETFIZIKA

A hővezetési tényező fogalma

A hőáram a hőmérsékletkülönbséggel, a hőáram irányára merőleges keresztmetszettel, valamint egy vezetési tényezővel arányos. Ez utóbbi a hővezetési tényező, amely azt fejezi ki, mekkora hőáram halad át időegység alatt egységnyi vastagságú, az áramlásra merőlegesen egységnyi felülettel bíró anyagon, egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására. Mértékegysége $J/s \cdot m \cdot K$, azaz W/mK , szokásos jele: α .

Tendenciaszerűen (de néhány kivétellel) igaz az, hogy a nagyobb sűrűségű anyagok hővezetési tényezője nagyobb, a kisebb sűrűségű, laza - szálal vagy porózus - anyagoké kisebb.

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

A hővezetési tényező valójában nem egy állandó szám. Függ az anyag hőmérsékletétől, ami a szokványos építőipari esetekben elhanyagolható, de például kemence vagy kéményépítés esetében jelentős lehet. Különösen a lazább szerkezetű anyagok hővezetési tényezője erősen függ az anyag nedvességtartalmától - azaz közvetve az építési technológiától, az időjárástól, a használati körülményektől. Ugyancsak ezek a lazább szerkezetű anyagok érzékenyek a teher vagy az önsúly miatti tömörödése, roskadásra, ami szintén a hővezetési tényező növekedését okozza.

A beépített anyagok hővezetési tényezője

A tervezés, a méretezés folyamán az anyagoknak a beépítés, a használati mód hatását is tükröző hővezetési tényezőit kell figyelembe vennünk. Ha ilyen adatok nem állnak rendelkezésre, akkor a "gyári új" anyagok hővezetési tényezőit tapasztalati összefüggések alapján korrigálni kell. A korrekciót általában a

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \kappa)$$

összefüggéssel végezzük, ahol α_0 a gyári új anyag hővezetési tényezője, korrekciós tényező, a beépítési mód, a használati feltételek függvényében.

Adott esetben, ha több hatás is érvényesül (például nedvesség és roskadás), az összefüggésben több κ érték összegzése szerepel.

A másik következtetés az, hogy ugyanazonanyaggal különböző eredményt érhetünk el, aszerint, hogy hogyan és hová építjük be azt.

Korrektíós tényezők a beépített anyagok hővezetési tényezőjének meghatározásához

(Hazai anyagokon végzett mérések eredményei)

$$\lambda_{be} = \lambda_o(1+\kappa)$$

Anyag és beépítési mód	κ
Polisztirol hab, amelyre rávakolnak vagy rábetonoznak	0,42
Perlitbeton ($\rho = 400 \text{ kg/m}^3$), amelyre rábetonoznak	0,57
Bitumoperlit ($\rho = 300 \text{ kg/m}^3$), amelyre rábetonoznak	0,51
Expanzit, amelyre rávakolnak	0,20
Polisztirol hab két falazott réteg között	0,10
Isolyth két falazott réteg között	0,10
Perlit, ömlesztve, két falazott réteg között	0,38
Poliuretán ($\rho = 40 \text{ kg/m}^3$), kiszellőztetett légrétegben	0,25
Izofen, kiszellőztetett légrétegben	0,25
NIKECELL, kiszellőztetett légrétegben	0,50

Egydimenziós, állandósult forrásmentes 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. A forrásmentesség jelentése: a szerkezeten belül nincs hőforrás (például beágyazott fűtés).

Előrebocsátva, hogy a gyakorlatban ritkán találkozunk végtelen nagyra tekinthető homlokfelületű falakkal, közelítésként ezt az egyszerű esetet vizsgáljuk a méretezés során. 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. Ez utóbbit d-vel jelölve

$$Q = A \frac{\lambda}{d} (t_1 - t_2) \quad [\text{W}]$$

Egységnyi homlokfelületre a hőáramsűrűség:

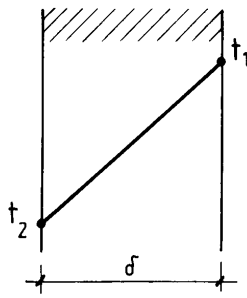
$$q = \frac{\lambda}{d} (t_1 - t_2) \quad [\text{W/m}^2]$$

A hőmérsékleteloszlás geometriai értelmezése

Ha a vizsgált jelenség állandósult és forrásmentes, az "1" felületen a réteg egységnyi homlokfelületű darabjába belépő áram ugyanakkora, mint a "2" felülethez érkező, a rétegből távozó áram. Miután a rendszerben sem forrás, sem nyelő nincsen, az áram értéke "útközben" nem módosul, az 1. és a 2. felület között bárhol ugyanakkora.

Egy ilyen közbenső síknak a 2. felülettől való távolságát x-szel, hőmérsékletét t_x -szel jelölve

$$q = \lambda \frac{t_x - t_2}{x} = \lambda \frac{t_1 - t_2}{d}$$



Az összefüggésben a $\frac{t_1 - t_2}{d}$ hányados geometriailag is értelmezhető, mint a hőmérséklet hely szerinti változásának iránytangense, gradiense. Ez és a hőáram egymással egyenesen arányosak, ha a fal anyaga homogén (azaz nem változik), és a jelenség állandósult és forrásmentes

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:

$$q_1 = \lambda_1 \frac{t_1 - t_2}{d_1} = q_2 = \lambda_2 \frac{t_2 - t_3}{d_2} = q_3 = \lambda_3 \frac{t_3 - t_4}{d_3}$$

(ábra a következő képernyőn.)

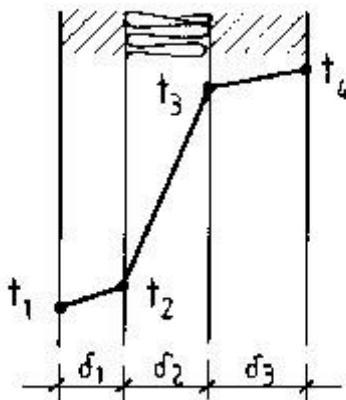
A rendszerbe belépő áram ugyanakkora, mint a távozó és "útközben" sem módosul, vagyis

$$q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q$$

Formális átrendezésével

$$q \frac{d_1}{\lambda_1} = t_1 - t_2 = q \frac{d_2}{\lambda_2} = t_2 - t_3 = q \frac{d_3}{\lambda_3} = t_3 - t_4$$

Hőmérsékleteloszlás ábrázolása többrétegű falban



A hőáram a fal két síkja között

Az egyes rétegekre felírt hőmérsékletkülönbségeket összeadva:

$$q \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \right) = t_1 - t_4$$

Átrendezve.

$$q = \frac{1}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} (t_1 - t_4)$$

ahol $t_1 - t_4$ a többretegű fal szélső síkjai közötti (teljes) hőmérsékletkülönbség, a szorzó pedig az

eredő vezetési tényező.

A rétegek hővezetési ellenállása

A d/λ hányadosokat az egyes rétegek *hővezetési ellenállásainak* nevezzük. Az ellenállás szokásos jele R , ezzel

$$q = \frac{t_1 - t_4}{R_o}$$

ahol $R_o = R_1 + R_2 + R_3$. (Vegyük észre egy másik jelenséggel, a sorbakapcsolt ohmikus ellenállásokkal, a feszültségkülönbséggel és az elektromos árammal való hasonlóságot, az összefüggés az Ohm törvény megfelelője.)

Az összefüggés szerint az áram minden egyes rétegben arányos a hőmérsékletgradienssel. A hőmérsékleteloszlás vonalának meredeksége azonban rétegenként más és más, miután a λ értékek különbözőek. Nagyobb λ esetén a gradiens kisebb és viszont. Jobban szigetelő (azaz kisebb hővezetési tényezőjű, azaz nagyobb ellenállású) rétegen ugyanis nagyobb hőmérsékletkülönbség "hajt át" ugyanakkora hőáramot.

A hőátadás

A hővezetés során az anyagnak, amelyben a jelenség lejátszódik, a részecskéi makroszkópikus értelemben nyugalomban vannak. Folyadékok és gázok esetében ez nem feltétlenül igaz: a folyadék- és gázcseppkék éppen a hőáramok avagy egy azoktól független hatás következtében makroszkópikus értelemben mozoghatnak (szabad, illetve kényszeráramlás).

Ha a folyadék vagy a gáz szilárd test felületével érintkezik, közöttük hőáram alakul ki, amelynek nagysága - egységnyi felületre - a

$$q = \alpha(t_k - t_f)$$

összefüggésből számítható, itt t_k - a közeg, t_f - a felület hőmérséklete, pedig a hőátadási tényező. Utóbbi mértékegysége W/m^2K , vagyis az egységnyi felületen egységnyi idő alatt egységnyi hőmérsékletkülönbség mellett átadott hőáramot (konvektív hőáramot) jelenti.

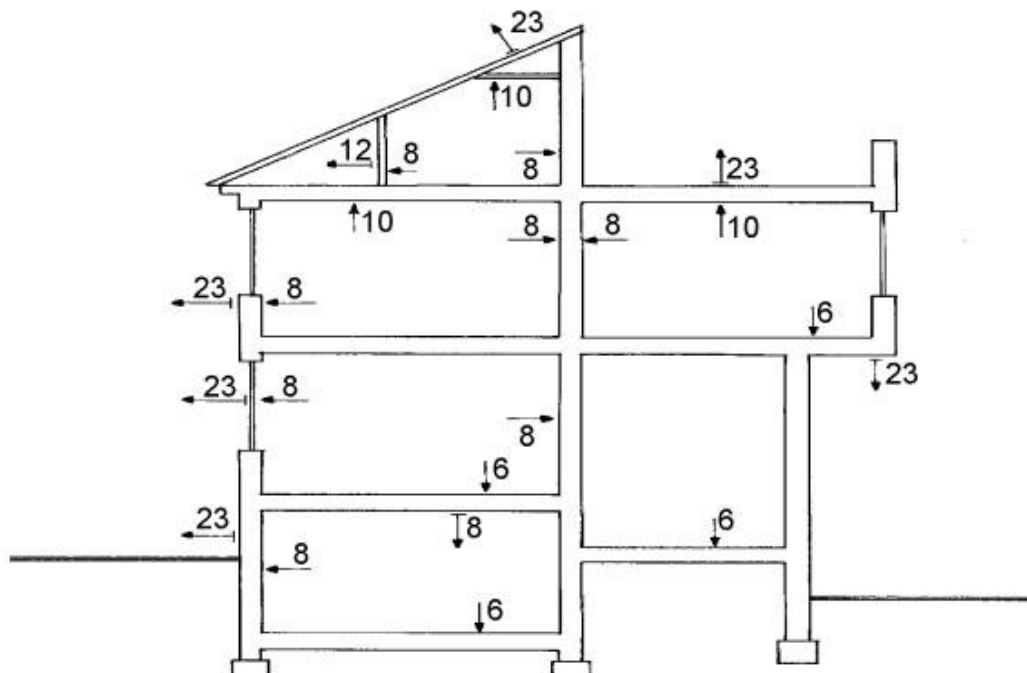
Mitől függ a hőátadási tényező ?

A hőátadási tényező a közeg áramlási viszonyainak függvénye. Szabadáramlás esetén függ a $(t_k - t_f)$ hőmérsékletkülönbségtől, a felület nagyságától és helyzetétől. (Egy függőleges felület mellett a hőmérsékletkülönbség, illetve az abból származó sűrűségkülönbség következtében például élénk légmozgás, nagyobb hőátadási tényező alakul ki, egy hideg, felfelé néző, vagy egy meleg, lefelé néző vízszintes felület mellett a légmozgás renyhe.) Kényszeráramlás esetén a külső hatás - például a szél - miatti áramlási sebességtől is függ a hőátadási tényező

(Megjegyzendő, hogy ezek az értékek - az egyszerűbb méretezés végett - a konvektív áramok mellett bizonyos - később tárgyalandó - sugárzási jelenségek hatását is tükrözik.)

A vezetési jelenséghez hasonlóan a hőátadási tényező (α) reciproka ($1/\alpha$) hőátadási ellenállásként értelmezhető.

Mekkora a hőátadási tényező ?



A hőátbocsátás

Az épületszerkezetek többségének mindkét oldala levegővel érintkezik, a léghőmérsékletek különbözősége esetén a hőáram levegőből indul és levegőbe érkezik, nagysága tehát nemcsak a szerkezet vezetési tulajdonságaitól, hanem a felületeken lejátszódó hőátadástól is függ.

Állandósult állapotban a levegőből az egységnyi felületre lépő $q = \alpha_i(t_i - t_1)$ illetve a felületről a levegőbe lépő $q = \alpha_e(t_n - t_e)$ hőáramok ugyanakkorák, mint a bármilyen rétegen

átmenő $q = \frac{\lambda}{d}(t_j - t_{j+1})$ hőáram.

Formális rendezés után

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} (t_i - t_e)$$

eredményre jutunk.

A hőátbocsátási tényező

Az előző összefüggésből

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} = k$$

a szerkezet hőátbocsátási tényezője, a szerkezetekkel érintkező közegek hőmérsékleteinek egységnyi különbsége mellett egységnyi idő alatt az egységnyi homlokfelületen áthaladó hőáram. Mértékegysége W/m²K. Reciproka a szerkezet hőátbocsátási ellenállása.

A hőátbocsátási tényező a szerkezet hőtechnikai minőségének fontos, de nem egyetlen és nem meghatározó jellemzője.

Határolószerkezetek hőátbocsátási tényezőjének értéke

Korszerű egyrétegű falszerkezetekkel jellemzően $k=0,6-0,7$, pórusbeton esetében akár $k=0,29$ érhető el. Többrétegű szerkezetekkel $k=0,2-0,4$ értékre célszerű törekedni. Lapostetők és árkádfödémek esetében az energetikai szempontok mellett állagvédelmi és hőérzeti követelményeknek is eleget kell tenni, a célszerű érték $k=0,15-0,30$. Padlásfödémek és a fűtött tetőtereket határoló szerkezetek esetében a hőszigetelés beépítése viszonylag könnyebb, a javasolt érték $k=0,15-0,25$. Pincefödémek és fűtetlen helyiségekkel határos falak esetében a két tér közötti hőmérsékletkülönbség kisebb, ezért a hőszigetelési követelmények is enyhébbek: a javasolt érték $k=0,5-0,7$. Ha a pince fűtött, a pincefal hőszigetelését a külső talajszinttől számított -1,5 m mélységig a külső falakhoz hasonlóan célszerű hőszigetelni, a mélyebben fekvő falsávokra a követelmény enyhébb. A mértékegység W/m²K.

Talajon fekvő padlók esetében elsősorban a lábazat és az épület kerülete mentén húzódó mintegy 2 m szélességű sávban ajánlott $R=3$ m²K/W értékű hővezetési ellenállású rétege(ke)t beépíteni (itt a hőátbocsátási tényező nem értelmezhető, hiszen a szerkezet egyik oldalán nem levegő van).

Nyílászárók hőátbocsátási tényezője

A nyílászárók hőátbocsátási tényezője az üvegezés és a keret függvénye. Hagyományos kétrétegű üvegezés esetén a keretaránytól és a keret anyagától-szerkezetétől függően a jellemző érték $k=2,3-2,8$. Kis emissziós tényezőjű felületbevonatolással és gáztöltéssel ez $k=1,5-1,7$ értékre leszorítható. Hasonló megoldással háromrétegű üvegezéssel $k=1,0$ érték érhető el, egyes különleges megoldások ennél is kedvezőbb eredményt kínálnak.

Jelen esetben csak a transzmissziós veszteségáramokra jellemző hőátbocsátási tényezőről van szó. A sugárzási nyereség hatását is kifejező egyenértékű (a szakzsargonban "szoláris") hőátbocsátási tényező a tájolástól is függ és jóval kisebb, negatív is lehet.

A hőátbocsátási tényező és a hőmérsékleteloszlás számítása.

A számítás menetét példákon mutatjuk be. Tekintsünk egy többrétegű falat, amelynek rétegterve belülről kifelé: 0,02 m vakolat, 0,30 m téglá, 0,05 m hőszigetelés, 0,01 DRYVIT vakolat.

A vékony vakolatok ellenállásának elhanyagolásával az egyes rétegek hővezetési ellenállásai:

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,32 \text{ m}^2\text{K}}{0,64 \text{ W}}$$
$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,05 \text{ m}^2\text{K}}{0,05 \text{ W}}$$

A felületi - hőátadási - ellenállások:

$$\frac{1}{\alpha_i} = \frac{1}{8} = 0,125 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$
$$\frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{23} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

A sorbakapcsolt ellenállások összegezhethők (additívek). A hőátbocsátási ellenállás a vezetési és az átadási ellenállások összege:

$$R_0 = 1,665$$

a hőátbocsátási tényező pedig ennek reciproka:

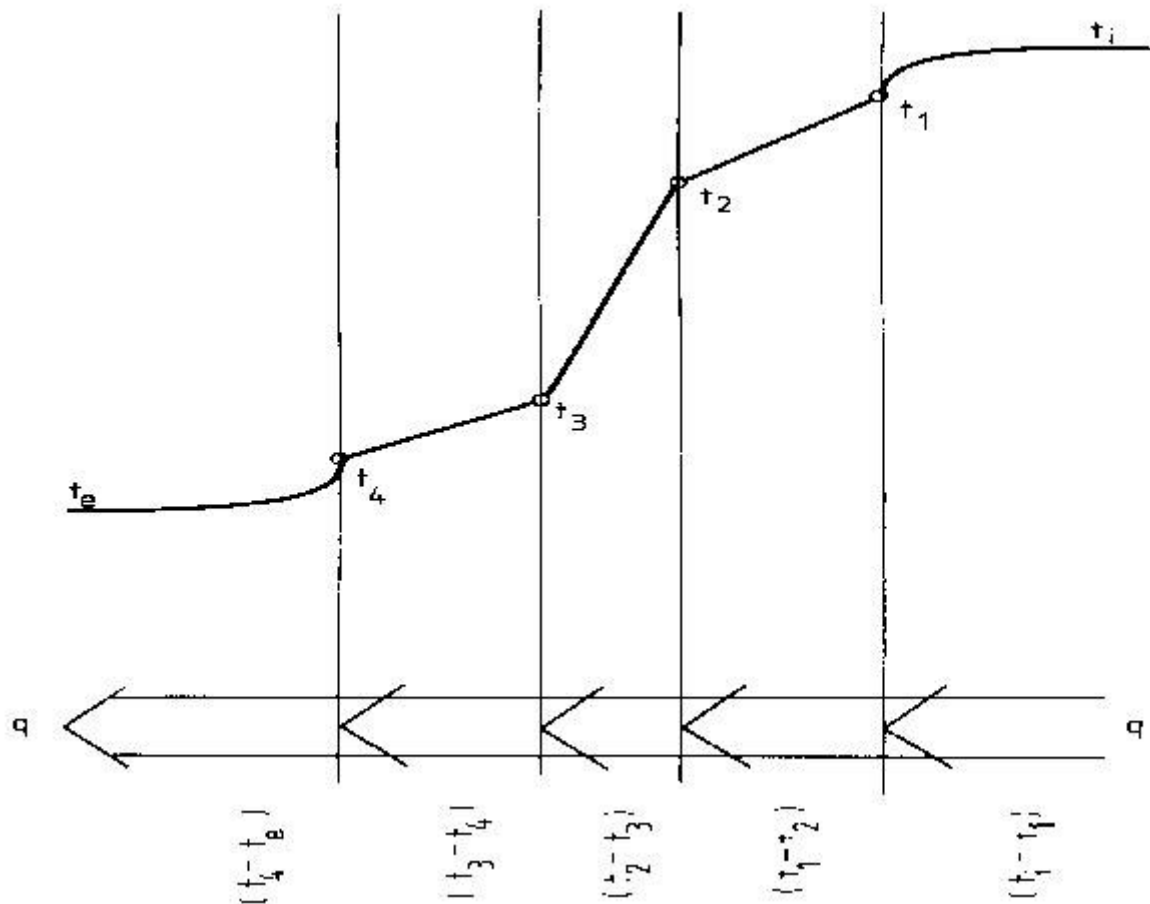
$$k = 0,60$$

Egységnyi hőmérsékletkülönbség esetén a szerkezet egységnyi homlokfelületén

$$q = k(t_i - t_e) = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$$

hőáram halad át.

A szerkezeten belüli hőmérsékleteloszlás a felületeken és réteghatárokon kialakuló hőmérsékletek alapján meghatározható, hiszen állandósult állapotban egy-egy rétegen belül a hőmérséklet-vonal meredeksége állandó, azaz a vonal egy-egy rétegben egyenes. Ezek a hőmérsékletek az egyensúlyi feltételekből számíthatók, nevezetesen a szerkezeten átmenő hőáram



A szerkezeten belüli hőmérsékleteloszlás a felületeken és réteghatárokon kialakuló hőmérsékletek alapján meghatározható, hiszen állandósult állapotban egy-egy rétegben belül a hőmérséklet-vonal meredeksége állandó, azaz a vonal egy-egy rétegben egyenes. Ezek a hőmérsékletek az egyensúlyi feltételekből számíthatók, nevezetesen a szerkezeten átmenő hőáram $q = k(t_i - t_e)$ Ugyanez a hőáram lép a belső levegőből a belső felületre, azaz $\alpha_i(t_i - t_{\text{sf}}) = k(t_i - t_e) = 0,6$

amiből t_{sf} elemi úton kifejezhető $t_{\text{sf}} = t_i - \frac{k}{\alpha_i}(t_i - t_e) = 1 - \frac{0,6}{8} * 1 = 0,925$

De ugyanez a hőáram halad át az első (tégla+vakolat összevonva) rétegen

$$\frac{\lambda_1}{d_1}(t_{\text{sf}} - t_r) = 0,6 \quad \text{amiből } t_{\text{sf}} - t_r = 0,3 \text{ vagyis } t_r = t_{\text{sf}} - 0,3 = 0,925 - 0,3 = 0,625$$

E lépések ismétlésével a hőmérséklet valamennyi réteghatára és felületre számítható.

A példában $t_e = 0$, $t_i = 1$ értékekkel számoltunk. (Ez a sajátléptékben mért hőmérséklet esetével is megegyezik, az eredmények pedig jól mutatják, hogy **az egyes rétegekben kialakuló hőmérsékletesés úgy aránylik a teljes hőmérsékleteséshez, ahogyan az egyes rétegek ellenállásai aránylanak a teljes hőátbocsátási ellenálláshoz.**) A számítást ugyanígy kell végeznünk bármilyen t_i és t_e értékre.

Ha egy adott hőátbocsátási tényezőjű szerkezetet kívánunk tervezni, az eljárás menete a következő:

kiszámítjuk a szükséges hőátbocsátási ellenállást ($1/k$),

kiszámítjuk a hőátadási ellenállásokat ($1/\alpha$),

kiszámítjuk azon rétegek hővezetési ellenállásait, amelyek anyaga és vastagsága egyéb (például statikai) okokból adott (d/λ),

összegezzük az eddig kiszámított ellenállásokat és meghatározzuk, még mekkora R vezetési ellenállás hiányzik ahhoz, hogy a szükséges hőátbocsátási ellenállást elérjük,

A hőszigetelő réteg anyagának és vastagságának olyannak kell lennie, hogy d/λ vezetési ellenállása ΔR értékével legyen egyenlő (avagy annál nagyobb legyen, ha valamilyen okból - például gyártási méretválaszték miatt - a vastagsági méretet kerekítenünk kell).

Légrétegek

Ha a szerkezetben légréteget alakítunk ki, azon át nemcsak vezetéssel jut át hőáram. A hőmérsékletkülönbségek okozta sűrűségkülönbségek miatt a levegő áramlik, tehát hőátadás (konvekció) is lejátszódik. A légréteget határoló két szembenéző felület között sugárzásos hőcsere is kialakul (ennek törvényeit később tárgyaljuk). Bonyolítja még a helyzetet az, ha a légréteg nem teljesen zárt, hanem a környezettel összeköttetésben van.

E tényezők együttes hatását a légréteg egyenértékű ellenállásával fejezzük ki. Értékeit a mellékletekben táblázatosan közöljük.

Légrétegek egyenértékű – téli – hővezetési ellenállása

A légrétegek egyenértékű hővezetési ellenállása a légréteget határoló felületek hőmérsékletétől is függ, ezért szerepel a címben a „téli” jelző.

A légréteg és a külső környezet közötti kapcsolat szempontjából három esetet különböztetünk meg:

Nem, vagy gyengén kiszellőztetett a légréteg akkor, ha

- vízszintes helyzetben a légréteg és a külső levegő közötti nyílások felülete kisebb, mint 5 cm^2 az egységnyi, 1 m^2 homlokfelületre
- függőleges helyzetben ezen felül a nyílások felülete kisebb, mint 5 cm^2 az egységnyi, 1 m hossza

Közepesen kiszellőztetett a légréteg akkor, ha az előző viszonyszámok értéke $5-15 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, illetve $5/15 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Intenzíven kiszellőztetett a légréteg akkor, ha a nyílások fajlagos felülete 15 cm^2 -nél nagyobb. A légréteg felületképzése szokványos, ha a légréteget határoló felületek infravörös tartományra jellemző emissziós tényezőire az $\varepsilon > 0,8$ feltétel teljesül. A szokványos felületképzések ilyenek) A légréteg felületképzése visszaverő, ha a légréteget határoló felületek legalább egyikének az infravörös tartományra jellemző emissziós tényezőjére az $\varepsilon \leq$

0,2 feltétel tartósan teljesül.(Alufólia)

A gyengén és közepesen szellőztetett légrétegek egyenértékű hőellenállási tényezőit az alábbi táblázat tartalmazza. Az intenzíven szellőztetett légrétegekre részletes energiamérleg számítandó, vagy közelítésként feltételezhető, hogy az abban uralkodó hőmérséklet a külső léghőmérséklettel megegyezik.

A ferde síkú szerkezetekre a függőleges szerkezetek adatai használhatók.

A légréteg fajtája	A légréteg felületképzése	A légréteg vastagsága mm	A hőáram iránya		
			vízszintes	alulról felfelé	felülről lefelé
Nem vagy gyengén szellőztetett	Szokványos	1	0,035	0,035	0,035
		5	0,11	0,11	0,11
		10	0,15	0,13	0,15
		20	0,17	0,14	0,20
		50	0,17	0,14	0,21
	Visszaverő	1	0,07	0,07	0,07
		5	0,22	0,22	0,22
		10	0,30	0,25	0,30
		20	0,35	0,28	0,40
		50	0,35	0,28	0,42
Közepesen szellőztetett	Szokványos	1	0,017	0,017	0,017
		5	0,05	0,05	0,05
		10	0,07	0,06	0,07
		20	0,08	0,07	0,10
		50	0,08	0,07	0,10
	Visszaverő	1	0,035	0,035	0,035
		5	0,10	0,10	0,10
		10	0,14	0,12	0,14
		20	0,16	0,14	0,20
		50	0,16	0,14	0,20

Vasbetétekkel átszúrt hőszigetelés

Az egyetlen olyan eset, ahol az "oldalirányú", a homlokfelületekkel párhuzamos hőáramoktól eltekinthetünk, a vasbetétekkel átszúrt hőszigetelő réteg esete.

A homlokfelületet nézve a vasbetétek keresztmetszete csak néhány ezrelékét teszi ki a teljes felületnek. Ne feledjük azonban, hogy a vas hővezetési tényezője egy-két ezerszerese a szokásos hőszigetelések hővezetési tényezőjének! Ezért e karcsú hőhidak igen nagy hőáram átvezetésére képesek.

A vasbetétek palástján oldalirányban elhanyagolhatóan kevés hő áramlik át a környező szigetelőanyag nagy ellenállása miatt. Ezért erre az esetre a hőáram súlyozott átlaggal számítható, amiből a vasbetétekkel átszúrt hőszigetelő réteg eredő hővezetési tényezője

$$\lambda_v = \frac{A_v \lambda_v + A_s \lambda_s}{A_v + A_s}$$

ahol A -a felület,

λ - hővezetési tényező

az indexek közül "v" a vasra, "s" a szigetelőanyagra utal.

Többdimenziós, állandósult, forrásmentes hővezetés

A valódi épületszerkezeteket nemcsak párhuzamos síkok határolják, a sarkok, csatlakozások, nyílások geometriai formája bonyolultabb, esetenként a befoglaló formán belül további határolások vannak, mert az adott csomópont különböző (különböző hővezetési tényezőjű) anyagokból készül. Ezeken a helyeken a hőáram is két- vagy háromdimenziós.

Ha szemléltetni kívánjuk a hőáramok "útvonalait" egy ilyen csomópontban, akkor abból kell kiindulnunk, hogy az áramok (általában) az útjukba eső ellenállások leküzdésével munkát végeznek (diszipációs munka), az áramkép úgy alakul, hogy ez a munka minimális legyen. Másként szólva: az áramok a "legrövidebb" utat keresik, amit azonban nem hosszúságban, hanem a legyőzendő ellenállások nagyságában kell érteni. Ez a legyőzendő ellenállás nemcsak a geometriai értelemben vett úthossz, hanem a hővezetési tényezőtől és a rendelkezésre álló (az áram irányára merőleges) keresztmetszettől is függ, ezért sokszor a geometriai értelemben hosszabb út a diszipációs munka szempontjából rövidebb.

Hőmérsékleteloszlás

A "hőáramutak" alapján a hőmérsékleteloszlás szemléltetése is lehetséges. Egy többdimenziós hőmérsékleteloszlást az azonos hőmérsékletű pontokat összekötő vonalakkal (az izotermákkal) adhatunk meg (hasonlóan az azonos geodetikus magasságú pontokat összekötő szintvonalakhoz). Az áram a "legmeredekebb irányban" folyik, a hőmérsékletgradiens az izotermákra merőleges, vagyis az "áramutak" és az izotermák egymást mindenhol merőlegesen metsző görbéket (ortogonális trajektóriákat) alkotnak.

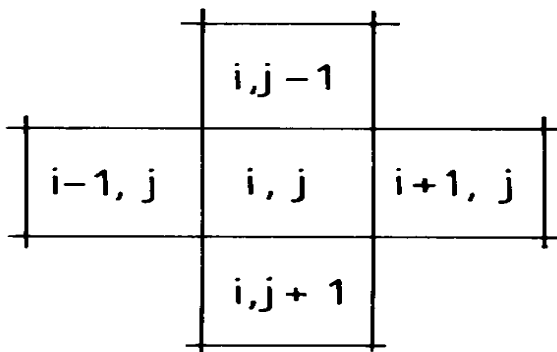
A hőáramok és a hőmérsékleteloszlás számítását úgy végezhetjük, hogy az adott rendszert képzeletben kicsiny részrendszerekre osztjuk. (Kétdimenziós esetben célszerűen kis

négyzetekre, háromdimenziós esetben kis kockára. A kétdimenziós esetben is elemi testekről, négyzetes hasábokról van szó, amelyeknek a rajzra merőleges mérete egységnyi.) Egy-egy elem olyan kicsi, hogy az egyetlen hőmérsékletadattal jellemezhető. Minden egyes rendszerre az egyensúly feltétele az, hogy a bemenő és a távozó áramok összege zérus.

Két szomszédos elem között az áram -a (kétdimenziós esetet ábrázoló) ábra jelöléseivel -

$q(i, j) \rightarrow (i, j - 1) = \frac{\lambda}{\Delta x} (1 * \Delta x) (t_{i,j} - t_{i,j-1})$ ahol $(1 * \Delta x)$ a Δx alapélű, a rajzlapra merőlegesen egységnyi magasságú hasábok érintkezési felülete. Az (i, j) elemre az egyensúly feltétele

$$\lambda(t_{i,j} - t_{i,j-1}) + \lambda(t_{i,j} - t_{i,j+1}) + \lambda(t_{i,j} - t_{i-1,j}) + \lambda(t_{i,j} - t_{i+1,j}) = 0$$



(Ha a vizsgált csomópont többféle anyagból van, az egyenletben természetesen különböző értékek szerepelnek.)

Az egyenletrendszert minden elemi részre felírva egy összefüggő egyenletrendszert kapunk, ennek megoldásával határozhatjuk meg a hőmérsékleteloszlást és a hőáramokat.

3.5. Az elemi mérlegek sémája

Háromdimenziós esetben az eltérés annyi, hogy az egyes elemeknek nem négy, hanem hat szomszédja van.

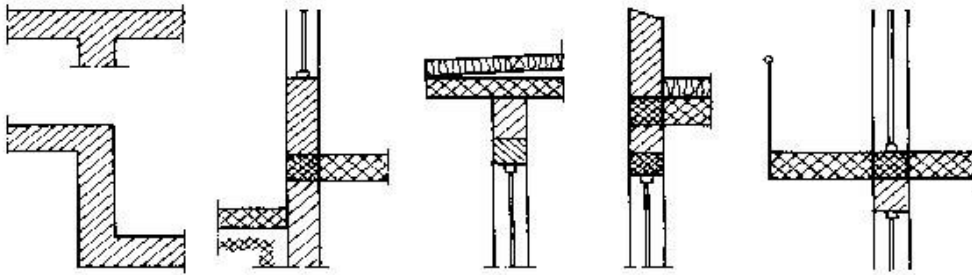
Kielégítő pontosságú számításhoz az elemi részek számának nagyságrendje a többszáz és a néhány ezer között kell, hogy legyen.

Hőhidak

A határolószervezetek azon helyeit, ahol többdimenziós hőáramlás és hőmérsékleteloszlás alakul ki, megállapodás szerint hőhidaknak nevezzük.

- A többdimenziós hőáramlás kialakulásának többféle oka lehet, nevezetesen
- a geometriai forma önmagában,
- a különböző hővezetési tényezőjű anyagok - nem párhuzamos rétegek formájában való alkalmazása,
- a felületi hőmérséklet egyenlőtlen eloszlása például a hőátadási tényező változása miatt, amit a felület árnyékolása, a légmozgás akadályozása (bútorozás) okoz,

- az előző hatások kombinációja.



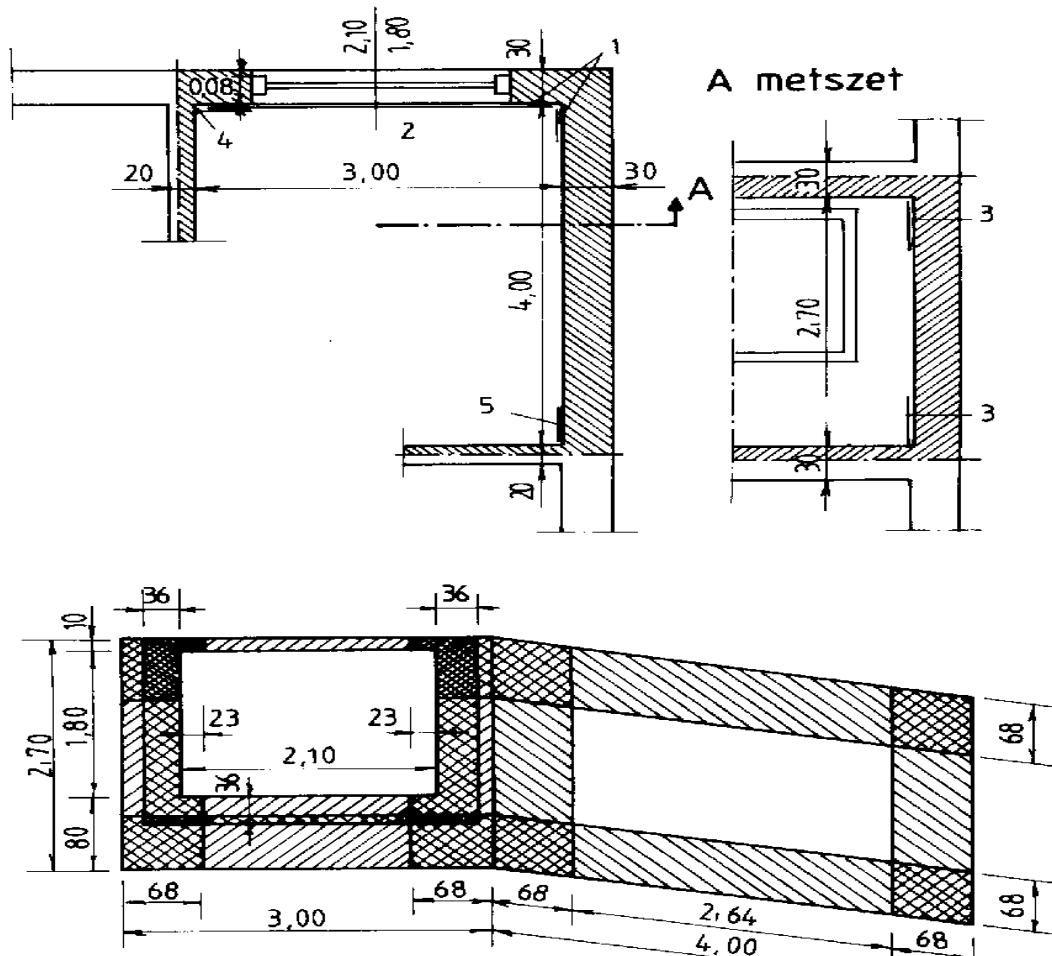
Az eddigiekből nyilvánvaló, hogy *hőhidmentes szerkezet nincs!* Legfeljebb a különböző anyagok kombinációja által okozott hőhidak elkerülését lehet megkísérelni, a geometriai forma által okozottakat aligha.

A szabatos méretezés idő- és eszközigenyes, ezért a gyakorlati munka során gyakran alkalmazunk más eljárásokat.

A hőmérsékleteloszlást illetően a legegyszerűbb az úgynevezett "hőhídkatalógusok" használata, amelyek - részletes számítások és ellenőrző mérések alapján - sajátléptékben ábrázolják az izotermákat. Ezeket megvizsgálva láthatjuk, hogy a hőhidak zavaró hatása (az egydimenziós hőmérsékleteloszlás "torzulása", - több dimenzióssá válása) a szerkezet elég széles sávján érvényesül - ökölszabályként jegyezzük meg, hogy *e sáv szélessége a zavarás helyétől mindkét irányban a falvastagság kétszerese.*

Tekintsünk egy lakószobához tartozó, szokványos méretű, ablaknyílással áttört homlokzati falszakaszt. Minden hőhid mentén rajzoljuk fel ezeket a sávokat - megállapíthatjuk, hogy egyetlen négyzetcentiméternyi olyan felület sem marad, ahol a hőáram egydimenziós lenne!

A hőáramvonalak a hőhidak környékén sűrűsödnek, e helyeken - a rétegtervhez viszonyítva - az áramok értéke nagyobb. A hőhidaknál kialakuló hőáramok értékét egy fizikailag értelmetlen, de gyakorlatilag hasznos fogalom, a "*vonalmonti hőátbocsátási tényező*" segítségével számíthatjuk.



3.13. ábra

A hőhidak általában vonalak mentén húzódnak (pillér, koszorú, csatlakozási élek, nyílások kerülete, stb.). A vonalmenti (lineáris) hőátbocsátási tényező (k_l) azt fejezi ki, hogy egységnyi hőmérsékletkülönbség mellett mekkora hőáram alakul ki. Mértékegysége W/mK, a hőáram

$$Q = l k_l (t_i - t_e)$$

ahol l a vonal hossza,

t_i a belső, t_e a külső hőmérséklet,

k_l a vonalmenti hőátbocsátási tényező.

Eredő hőátbocsátási tényező

Korábban említettük, hogy egyes homlokzati szakaszokon nem is található olyan foltot, ahol a hőáram egydimenziós. Ha egy ilyen mezőn át távozó összes hőáramot ki akarjuk számítani, akkor a $Q = (A k_n + \sum_j l_j k_{l,j})(t_i - t_e)$ összefüggést alkalmazhatjuk. Ebben A - a (belső oldali méretek szerint vett) homlokfelület, k_n - a rétegterv hőátbocsátási tényezője, l_j - egy

hőhídfeleség hossza (például egy csatlakozási élé), k_{ij} - ennek vonalmenti hőátbocsátási tényezője (ahány féle hőhíd van, azok mindegyikére az $l_j k_{ij}$ szorzatokot számítjuk és egymással összegezzük), t_i a belső, t_e a külső hőmérséklet.

Ha a vizsgált mezőt *egyetlen* olyan k_e eredő hőátbocsátási tényezővel kívánjuk jellemezni, amellyel a

$$Q = Ak_y(t_i - t_e)$$

összefüggés ugyanazt az eredményt adja, akkor a két egyenlet jobboldalait egyenlővé téve, átrendezés után

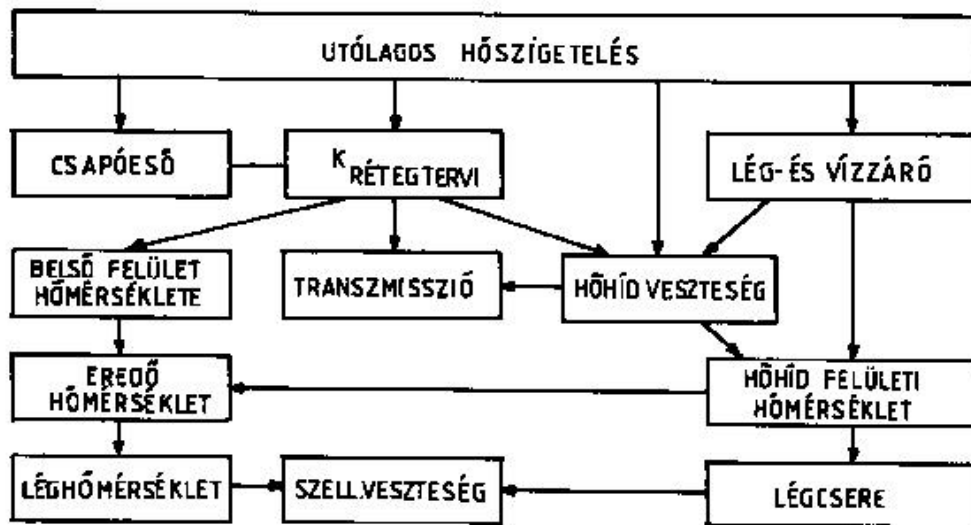
$$k_y = \frac{Ak_n + \sum l_j k_{ij}}{A}$$

Tájékoztató vonalmenti k adatok

Hőhíd fajtája	Vonalmenti hőátbocsátási tényező k_l W/mK	
Nyílászárók kerülete mentén általában	0,15	
Nyílászárók kerülete mentén, ha a tokszerkezet hőszigetelő réteg síkjában van	0	
Falazott szerkezet sarokél	0,10	
Külső oldalán hőszigetelt szerkezet sarokél	0,15	
Falazott szerkezet, külső és belső fal T csatlakozása	0,06	0,12
Külső oldalán hőszigetelt szerkezet T csatlakozása	0,03	0,06
Falazott szerkezet, (hőszigetelt koszorú)	0,15	0,30
Külső oldalán hőszigetelt külső fal és földem csatlakozása	0,03	0,06
Párkány, attika	0,20	
Erkélylemez, loggia pofafal	0,25	0,50

Egyéb hőhidakra, ha a külső szerkezet eredeti rétegterve 10 cm-nél keskenyebb sávon szakad meg, $k_l \cong 0,25$ krt, ha 10 cm-nél keskenyebb sávon szakad meg $k_l \cong 0,5$ krt, ahol krt az eredeti rétegtervre számított hőátbocsátási tényező.

Az utólagos hőszigetelés közvetlen és közvetett hatásai és ezek kereszthatásai



Lábazati hőszigetelés

A talajra fektetett padló hőveszteségének zöme az épület kerülete mentén alakul ki, ezért a méretezést a kerület hossza és a lábazat vonalmenti hőátbocsátási tényezője alapján végezzük. A talajjal érintkező padlószervezeteknek az épület külső kerülete mentén húzódó 1 m széles sávjában szükséges hőszigetelés

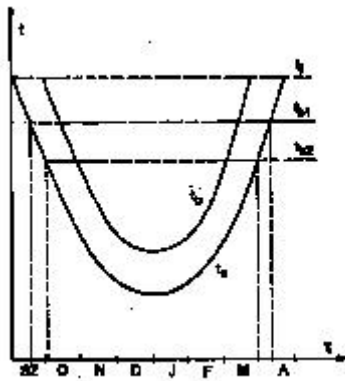
Z	m	1,0	0,51-1,0	0,21-0,5	-0,3..40,20
R	m ² K/W	1,3	1,0	0,7	0,4

A táblázatban a Z a padló alsó szintje és a terepszint geodetikus magasság szintkülönbsége. A padló alsó szintje annak a legelső rétegnek az alsó síkjáig értendő, amely réteg hővezetési tényezője kisebb, mint a talaj hővezetési tényezője.

Az 1 m-es szigetelősáv a lábazon is elhelyezhető.

Az utólagos hőszigetelés közvetlen és közvetett hatásai

Az utólagos hőszigetelés többféle közvetlen és közvetett módon befolyásolja az épület energiamérlegét és számos közvetett épületfizikai és hőérzeti következményekkel bír. Más szavakkal: az utólagos hőszigetelés hatása számos módon *begyűrűzik* több olyan folyamatba, amelyek első pillantásra a hőszigeteléstől magától ugyancsak távolinak tűnnek. Ezek a begyűrűző hatások azonban igen erősen függenek az utólagos hőszigetelés rétegtervi helyzetétől és csomópontjainak kialakításától. Ha egy bizonyos falszerkezetet ugyanakkora hővezetési ellenállású hőszigetelő rétegekkel látunk el, azaz ugyanakkora rétegtervi hőátbocsátási tényezőjű szerkezeteket hozunk létre, az említett tényezők függvényében **helyes megoldás esetén a begyűrűző mellékhatások miatti energiamegtakarítás akár meg is haladhatja a hőszigetelés közvetlen hatásából származó megtakarítást**, míg helytelen - vagy (például műemléki, városképvédelmi okokból) a kényszerítő körülményekhez igazodó - megoldás esetén az összehatás kedvezőtlenebb lehet, mint amit pusztán csak a rétegtervi hőátbocsátási tényező javítása alapján várhatnánk.



Az egyensúlyi hőmérséklet vonala a két görbe közötti területet két részre osztja: a hőnyereségek által fedezett (felső rész) és a fűtési rendszer által fedezett (alsó rész) hővesztésekre. Az egyensúlyi hőmérséklet vonala a külső hőmérséklet vonalát a határhőmérséklet értékénél metszi - ennél kell a fűtési üzemet indítani, illetve leállítani. Ez az érték az átlagos hőszigetelésű hazai épületeknek + 12 oC. A jobb hőszigetelés miatt a nyereségek a belső és a külső hőmérséklet között nagyobb különbséget fedeznek. Ennek következtében az egyensúlyi a *határhőmérséklet értéke csökken*. Ez lényegében annyit jelent, hogy a fűtési idény *megrövidül*, a hőfokhíd értéke csökken.

A csapóeső hatásával összefüggő energetikai kérdések

A vakolat nedvességmérlege az esős időben felvett víz és a száraz időszakban elpárologtatott nedvesség mennyiségétől függ. Ez kapcsolatban van a vakolat hordozórétegének minőségével is. A repedésmentesség különösen fontos a jó hőszigetelőképeségű falak esetében, amelyeknél a felületi hőmérséklet ingadozása nagyobb.

A csapóeső hatására a mintegy hat napos *száradási időszak* alatt a szerkezetből párologtatással is távozik hő. Ez a "normál transzmissziós" veszteségáram akár *100%-os* növekedésével egyenértékű. Ebből következik, hogy külső szerkezeti rétegeként olyan anyag kedvező, amely a külső felületképzés alatt kapillárisan nem veszi fel a vizet. Ilyenek a különböző műanyaghabok. Kézenfekvő védelemnek mutatkozik a külső felület víztaszító anyaggal való kezelése, ún. hidrofóbizálása.

A hidrofóbizálás hatása egyenértékű lehet a hőátbocsátási tényező $k: 0,1-0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ mértékű javításával

Légzárás

A meglévő szerkezetek csomópontjai számos esetben kedvezőtlen kialakításúak és/vagy gondatlanul kivitelezettek, ahol a nedvesség behatolása és a légzárás is problémát jelent. A homlokzatok légáteresztése önmagában véve nem kívánatos jelenség, ugyanis a szélnyomás és a felhajtóerő következtében kialakuló ellenőrizhetetlen, spontán légcserre adott esetben a szükségesnél nagyobb mértékű és ezért felesleges szellőzési hővesztésekhez vezet. Az utólagos külső hőszigeteléssel az illesztési hézagokat betakarva ez a kedvezőtlen hatás megszűnik.

Falfelület légáteresztése.

A falfelületek légáteresztése elsősorban a NO-FINES rendszer egyszemcsés betonnal készített homlokzati falainál fordul elő. Infiltráció esetén a befelé áramló külső levegő a

felmelegedéshez szükséges hőt a szerkezetből vonja el, ezért a szerkezet keresztmetszetében a hőmérséklet csökken (a csökkenés mértéke a beáramló levegő mennyiségétől függ), a hőátbocsátási tényező látszólagos értéke nő. Külső oldali utólagos hőszigeteléssel ez a jelenség kiküszöbölhető.

Az eredő hőátbocsátási tényező

Az utólagos hőszigetelésnek a rétegterv hőátbocsátási tényezőjére gyakorolt kedvező hatása egyértelmű. Az energiamegtakarítás azonban a hőátbocsátási tényezők arányánál kedvezőbb mértékben változik, ha az utólagos hőszigetelést a falszerkezet külső oldalán helyezzük el. Ennek oka a hőhidak miatti veszteségek csökkentése.

Az utólagos hőszigetelés a *geometriai formák* okozta vagy bordahatás miatti többlet hőveszteséget (a külső sarkok kivételével) egyértelműen csökkenti. Emellett a felületen folytonosan végighúzódnó külső hőszigetelés minden esetben csökkenti az anyagok *inhomogenitása* miatti többlet hőveszteséget.

Miután a meglévő homlokzatok hőveszteségében a hőhidak miatti veszteségek többször tíz százalékot tesznek ki, az utólagos hőszigeteléssel elérhető, a hőhidak, csomópontok módosulásának betudandó megtakarítás is hasonló mértékű.

Egy homlokzati szakasz *eredő hőátbocsátási tényezője* azt fejezi ki, hogy az egydimenziós hőáramok, valamint a hőhidak okozta transzmissziós többlet hőveszteségek eredőjeként mennyi az egységnyi homlokzati felületen egységnyi idő alatt és egységnyi hőmérsékletkülönbség mellett átlagosan áthaladó hőáram.

Az eredő hőátbocsátási tényező a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$k_{er} = \frac{Ak_{rt} + \sum_{j=1}^n l_j k_{\delta j}}{A}$$

ahol

A a homlokzat felülete;

k_{rt} a rétegtervi hőátbocsátási tényező;

l_j a j típusú csatlakozási él, hőhíd hossza;

$k_{\delta j}$ a j típusú csatlakozási él vonalmenti hőátbocsátási tényezője.

Felújítás, utólagos hőszigetelés esetén a kérdés az, hogy a korábbi és a felújítás utáni *eredő* hőátbocsátási tényezők aránya

$$\frac{k_{er}}{k'_{er}}$$

hogyan viszonyul az eredeti és a felújítás utáni *rétegtervi* hőátbocsátási tényezők

$$\frac{k_{rt}}{k'_{rt}}$$

arányához. (A kifejezésekben ' jelzi a felújítás utáni állapotot.)

Az előbbi kérdés más szavakkal megfogalmazva úgy hangzik, hogy az eredő hőátbocsátási tényező javulása eléri-e, meghaladja-e a rétegtervi hőátbocsátási tényező javulását vagy alatta marad annak.

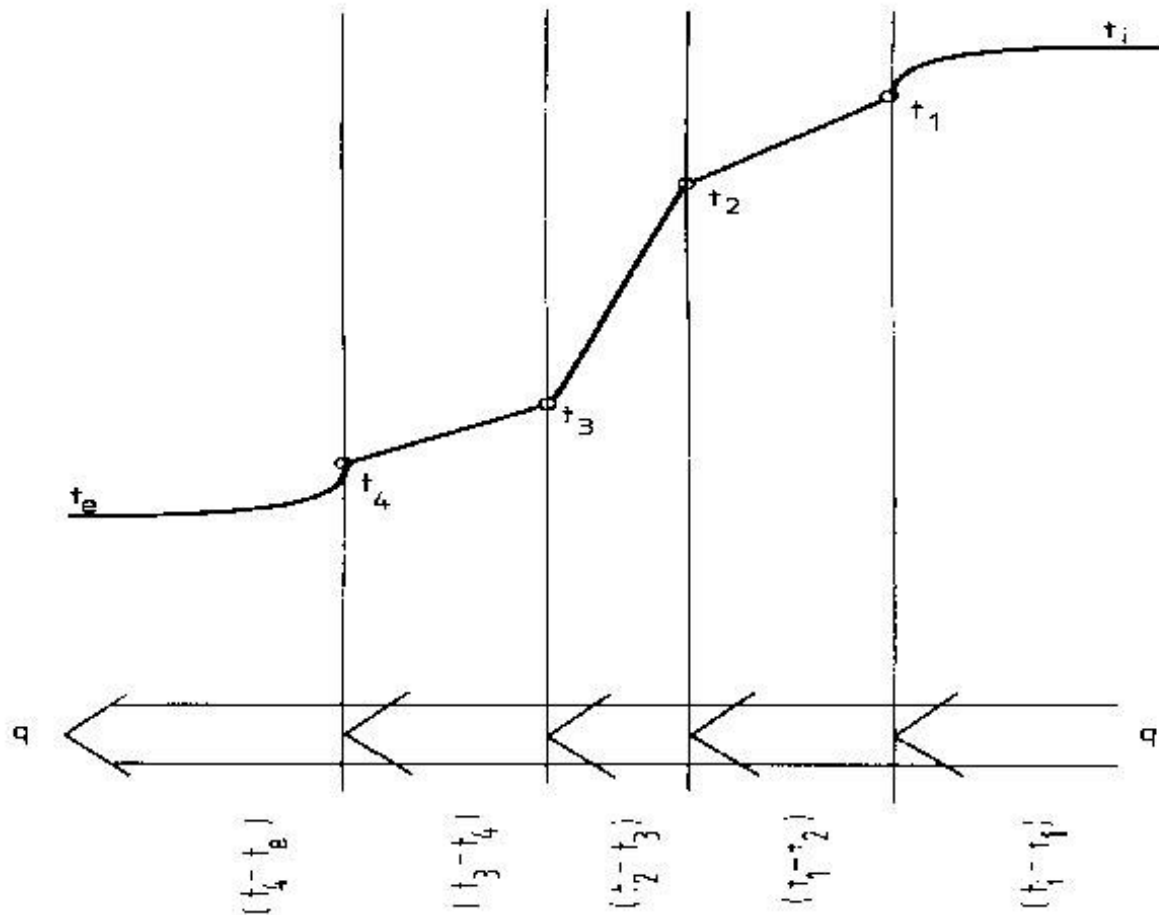
A válasz több tényező függvénye. Ezek a tényezők a kiegészítő hőszigetelés helyzete a rétegtervben; az eredeti csomópontok kialakítása;

a különféle típusú csomópontok élhossza az adott homlokzaton.

Az utóbbi magában foglalja az épület abszolút méretét, belső térosztását, nyílászáróinak számát és méretét, a homlokzati tagozatokat, az épület kompakt vagy tagolt tömegformálását.

A számos tényező miatt a felvetett kérdésre általános érvényű válasz nem adható.

Bizonyos, hogy ha a kiegészítő hőszigetelés a homlokzati fal *belső* oldalára kerül, akkor az eredő hőátbocsátási tényező *nem* javul olyan mértékben, mint a rétegtervi. Ha ehhez hozzávesszük egyrészt a vízgőz résznyomás kedvezőtlen alakulását a keresztmetszetben, másrészt a helyiség hőtárolókéességének csökkenését, akkor ismételten megállapíthatjuk, hogy belső oldali utólagos hőszigetelést csak kivételes esetben, például műemléki, városképi szempontból védett, megőrzésre méltó homlokzatok esetében célszerű alkalmazni, különös gondot fordítva a vízgőz diffúziójával összefüggő kérdésekre.



A külső oldali hőszigetelés hatása az egyes csatlakozási éltípusokra különböző. Különösen kedvező a helyzet a **T** típusú csatlakozások esetén, kevésbé jó a külső sarokéleknél, és nem

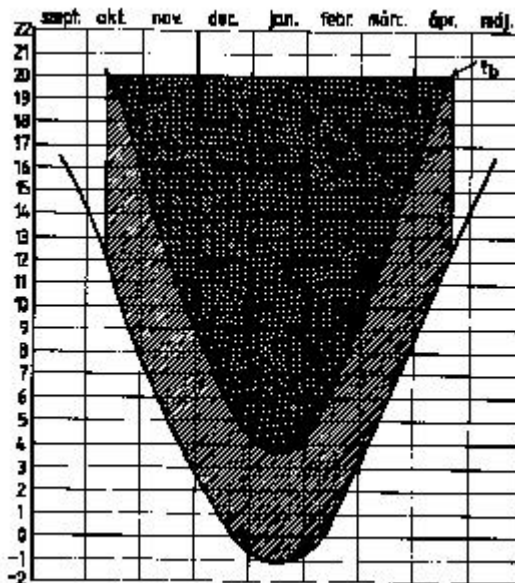
igazán hatásos az erkélylemezek esetében és a bütüfelület kialakításától függő az ablakok kerülete mentén. A végeredmény mindig kedvező, de hogy mennyire, az attól függ, hogy az adott homlokzaton melyik éltípus milyen össz-hosszúságban fordul elő.

Az adott szempontból a nagy abszolút méretű, többszintes, közép magas, építészeti almas tömegű és homlokzatú lakóépületeknél várható a legkedvezőbb eredmény, ahol a homlokzatoknál a **T** jellegű csatlakozások dominálnak.

Az erkélylemezek, loggiák miatti fajlagos élhossz természetesen alapvetően függ az építészeti kialakítástól.

A külső sarok-élek, párkányok és attika-falak hatása az épület tömegének és tagoltságának függvénye.

Az ablakok kerülete mentén kialakuló hőhidak hossza a homlokzati üvegezési aránytól és az ablakoztatás jellegétől függ.



Az épületek fűtési energiafogyasztása arányos a hőfokhíddal.

A hőfokhíd eredeti értelmezés szerint a belső és a külső hőmérséklet különbségének időbeli integrálja, ami az idő függvényében felrajzolt két hőmérsékletgörbe közötti területtel arányos. Az épület és a környezet közötti hőáramok a belső és a külső hőmérséklet különbségével és az idővel arányosak. Ezeknek a hőáramoknak egy részét a fűtési rendszer fedezi, más részét az épület sugárzási és belső hőnyereségei.

KÜLSŐ FALAK HŐSZIGETELÉSE

Külső oldali hőszigetelés

A külső határoló falszerkezetek pótlólagos, kiegészítő hővédelmére a műszaki-építészeti állapot és igény szint mérlegelése alapján az alábbi elvi rendszerek állnak rendelkezésre:

Hőszigetelő vakolatok.

A hőszigetelő vakolatokkal a kissé tagolt homlokzati felületek még követhetők, bár az eredeti architektúra teljesen nem tartható meg. A piaci választékból elérhető előregyártott, hőszigetelt tagozati idomok, amelyek jelentősen megkönnyítik a párkányok, ablakkeretek, stb. geometriai követését. Alakíthatósági előnyei mellett a szilikátbázisú hőszigetelő vakolati rendszer nyújtotta hőszigetelő érték korlátozott az anyag közepesnek mondható hővezetési tényezője (0,09-0,14 W/mK) és a technológiailag felhordható csekély maximális rétegvastagság (5 cm) következtében. Alkalmazása ezért elsősorban tagolt, építészetileg igényesebb homlokzatok esetén, a kisebb hőszigetelés-növekedés kompromisszumát elfogadva javasolható. Előnye a rendszernek ugyanakkor a páradiffúzióval szembeni viszonylag kisebb ellenállása és "lélegző-képessége".

Külső hőszigetelés kéregvakolattal

A "Dryvit-rendszerű" vagy "Thermohaut" hőszigetelő kéregvakolatokban elhelyezhető hőszigetelő műanyaghab-, üveghab- vagy szálanyag tábla vastagsága sem elvileg, sem gyakorlatilag nem korlátozott, az alkalmazott vastagság függvényében legfeljebb a szerkezet rögzítési megoldásai változnak. Ezen típus betervezésekor gondolni kell a beépített rendszer páratechnikai jellemzőire, a páratranszportban esetlegesen kialakuló kedvezőtlen vagy káros változások elkerülésére.

Külső hőszigetelés légréssel

Az átszellőztetett háthézaggal kialakított új burkolati rendszer mögött elhelyezett (célszerűen szálanyagú) hőszigetelés vastagsága nem korlátozott, az átszellőztetett háthézag a páradiffúzió szempontjából kedvező és a külső héj mögötti átszellőző légrés a nyári hőterheléssel szemben is véd. A rendszer ott alkalmazható célszerűen, ahol a homlokzat nem tagolt vagy meglévő tagoltságát nem kell megtartani. Bizonyos tömegtagoltságra természetesen ezek a homlokzati rendszerek is biztosítanak lehetőséget, azonban elsődleges építészeti eszközként a felület struktúrájának, anyagának és színének megválasztása említendő.

Belső oldali utólagos hőszigetelés

A belső oldali hőszigetelés lehet lécváz között elhelyezett hőszigetelő anyag, légréssel és gipszkarton szárazvakolattal, előregyártott panel, amely a hőszigetelést, a páraféket és a felületképzést biztosítja, ritkábban a belső oldalon könnyű elemekből felfalazott további réteg. A T alakú csatlakozásoknál továbbra is megmaradó hőhidak, valamint a páradiffúzió különös figyelmet igényelnek.

Tetőszerkezetek utólagos hőszigetelése

Olyan esetekben, amikor a hőszigetelés nedves, a szerkezetet úgy kell kialakítani, hogy abból a víz eltávozása a szerkezet károsodása nélkül játszódjék le.

Abban az esetben, ha a "régi" hőszigetelés és gőznyomáslevezető rendszer tönkrement, ezek visszabontása után új egyenes rétegrendű tető alakítandó ki.

Abban az esetben, ha a "régi" hőszigetelés alatt hatékony párafékező réteg van elhelyezve, az egyenes rétegrend további hőszigetelés hozzáadásával megtartható. A száradási folyamat segítése céljából a meglévő vízszigetelő réteget perforálni kell. E perforációs rendszer nem lehet ötletszerű, azt méretezni kell.

Abban az esetben, ha a meglévő hő- és nedvességszigetelés jó állapotban van, azon (az IRMA tetőkhöz hasonlóan) kívül extrudált polisztirol hőszigetelés helyezhető el, így "duo" rétegrend alakul ki (régii hőszigetelés a vízszigetelés alatt, az új fölött).

Ha a tető jó állapotban van és az egyéb feltételek is adottak, hőtechnikai tulajdonságai zöldesítéssel is javíthatók. A zöldesítés csekély mértékben javítja a hőátbocsátási ellenállást, jelentősen növeli a hőtárolóképességet, nedvességmegtartó hatása és a növények által elpárologtatott víz (evaporatív) hűtőhatása mérsékli a nyári hőterhelést.

Ha a meglévő hő- és vízszigetelés jó állapotban van, további hőszigeteléssel duo rendszerű zöld tető alakítható ki (régii hőszigetelés a vízszigetelés alatt, az új fölött).

PINCE- ÉS ÁRKÁDFÖDÉMEK

Az alulhőszigetelt pincefödémek utólagos hőszigetelése energetikai szempontból kevésbé hatékony, mint a külső légtérrel érintkező épülethatároló szerkezeteké, ám állagvédelmi és hőérzeti szempontból igen fontos (az előírt padló felületi hőmérséklet biztosítása érdekében). A pincefödémek utólagos hőszigetelése az esetek túlnyomó többségében a födém-szerkezet alsó oldalán lehetséges. A hőszigetelés rögzítési módja többek között a hőszigetelő anyag vagy termék fizikai tulajdonságaitól, a födém-szerkezet fajtájától és az alsó oldali felületképzés vagy burkolat megválasztásától is függ.

Ezeknek megfelelően a hőszigetelés beépítése történhet mechanikai rögzítéssel, ragasztással, vagy a kettő kombinációjával, új monolit vasbeton födémeknél pedig a hőszigetelő réteg „benmaradó zsálat”-ként kerülhet a szerkezetbe.

Az alsó oldali felületképzésre ilyenkor általában igénytelenebb megoldások is alkalmasak, például a hőszigetelő termék kasírozó rétege, hálóerősítésű- műanyagalapú vékonyvakolatok, de nemritkán elegendő a hőszigetelő réteg felületképzés nélküli („csupasz”) beépítése is.

Az alulhőszigetelt árkádfödémek utólagos hőszigetelése energetikai, állagvédelmi és hőérzeti szempontból egyaránt fontos. Az árkádfödémek utólagos hőszigetelése az esetek túlnyomó többségében a födém-szerkezet alsó oldalán lehetséges. A hőszigetelés rögzítési módja többek között a hőszigetelő anyag vagy termék fizikai tulajdonságaitól, a födém-szerkezet fajtájától és az alsó oldali felületképzés, burkolat, vagy álmennyezet megválasztásától is függ.

Árkádfödém utólagos hőszigetelésének kialakítása

Ha a teherhordó szerkezethez rögzített (illetve arról „függesztett”) álmennyezet készítése az igény, a hőszigetelés a két szerkezeti réteg közé kerül. Gyakori megoldás, amikor a hőszigetelő táblákat vagy paplanokat az álmennyezetre fektetik, de hő- és nedvességtechnikai szempontból előnyösebb megoldás, ha a hőszigetelést a födém alsó síkján rögzítik (általában ragasztással vagy mechanikai rögzítéssel, az álmennyezet rögzítésétől függetlenül).

Ha nem álmennyezet, hanem alsó oldali építőlemez-burkolat készítése az igény, a hőszigetelés vastagságának megfelelő magassági méretű, a teherhordó födémhez rögzített tartóbordákat kell a burkolat fogadására beépíteni. Fa bordák beépítése célszerűbb, mivel a fémszerkezetek hőhídhatása ezekénél jóval nagyobb.

Padlásfödémek

A padlásfödémek - úgy is, mint kéthéjú „hidegetők” alsó héjszerkezetei - a legegyszerűbben és leggazdaságosabban hőszigetelhető épületszerkezetek. Erre utal az egyszerű rétegfelépítés és az, hogy a hőszigetelő táblákat felülről és külön rögzítés nélkül lehet beépíteni, ami itt egyszerű elhelyezést, fektetést jelent. A kis rétegszám abból is adódik, hogy páravédelmi rétegekre nincs szükség - hiszen a padlástér átszellőztetett. A hőszigetelő réteg vastagságával ezért nem célszerű „takarékoskodni”, de ajánlott a hőszigetelő táblák két rétegben való fektetése - rétegenként kötésben és soronként „eltolt” lemezcsatlakozási hézagokkal.

Ha a padlásfödém terhelése, igénybevétele számottevő mértékű és/vagy a meglévő tetőfedés nem fokozottan vízzáró (pl. nincs alátét-héjazat és a tetőfedés elemcsatlakozásai hézagosak), a hőszigetelés felett polietilén fólialepedő technológiai szigetelés és betonpadozat készítése lehet megbízható megoldás. A betonburkolat a tetőhéjaláson keresztül bejutó csapadék és porhó „megtartására” szolgál a nedvesség elpárolgásáig, a technológiai szigetelés pedig megakadályozza a hőszigetelés elnedvesedését a betonozás során és egyben egy „utolsó” vízszigetelést is képez.

Ha a padlásfödém terhelése, igénybevétele megengedi és a meglévő tetőfedés fokozottan vízzáró, padlásfödém-burkolatként elegendő lehet építőlemez járóréteg beépítése a hőszigetelés felett.

Ha a járóréteget külön nem támasztjuk alá, akkor „terhelhető” minőségű hőszigetelő anyag, illetve termék beépítése szükséges, az építőlemez járóréteg pedig csak „nagyablás” kialakítású lehet (pl. cementkötésű fagyapot, márkanevén BETONYP, esetleg - az igénybevétel módjától és mértékétől függően - fagyapot, vagy pozdorjalemez).

Ha a padlásfödém terhelése, igénybevétele megengedi és a meglévő tetőfedés fokozottan vízzáró, padlásfödém-burkolatként elegendő lehet építőlemez járóréteg beépítése a hőszigetelés felett.

Ha a járóréteg megtámasztására külön bordázatot építünk be (célszerűen impregnált fenyőfa zárlecekből vagy pallókból), olcsóbb, kisebb nyomószilárdságú (az ásványgyapot kategóriában jellemzően „nem terhelhető” minőségű) hőszigetelő anyagok, illetve termékek is alkalmasak. Az építőlemez járóréteg ez esetben - a bordák távolságától függően - szegezett fenyőfa deszkázat, vagy pallóterítés is lehet.

Tetőterek hőszigetelése

A megoldások lényege, hogy a szarufák közé helyezett hőszigetelést a belső oldalon egy szerelt könnyűszerkezettel lezárják, vagy egy megfelelő aljzatra normál vakolatot készítenek belső felületképzésként. A szarufák jelentette hőhidak hatását, -a gondosabb esetekben-, a szarufák előtt vezetett 2-4 cm vtg. többlet hőszigeteléssel szüntetik meg. A párafékezés szükségességét látszólag azzal cáfolhatnánk, hogy a szigetelés feletti szellőző légréteg úgy is elszállítja párát, így a párafékezésnek nincs jelentősége. Ez a vélekedés téves. A szellőző légréteg teljesítménye néhány cm-es légréteg vastagságoknál korlátozott, hiszen a gravitációs nyomáskülönbség csak néhány Pa.

A tetőszerkezet alkotó faanyagok esetén a kondenzáció előtti "dunasztos állapot" is igen kedvezőtlen. A szellőző légrétsben a hossz mentén (a levegő áramlási irányában) a relatív páratartalom nő és a felső szakaszon tartósan elérheti a kritikus értéket is, függetlenül attól, hogy az átlagos érték még a megengedhető érték alatt van. A felső szinti helyiségekből a levegő a réseken át általában belülről kifelé mozog, így fennáll annak a kockázata, hogy a réseken, tömítetlenségeken át a levegővel együtt vízgőz is jut a szerkezetbe.

Figyelembe véve a fentieket, vastagabb hőszigetelő rétegek és jobban kiszellőztetett, bővebb légrétegek kialakítása célszerű.

A tetőterek hőszigetelését kétféle szempontból is lehet értelmezni. Egyrészt magát a tetőteret körülvevő szerkezetet hőszigeteljük, amely az ottani lakóteret választja el a külső környezettől, másrészt az épület alsó lakószintjei felett hozunk létre egy fűtött teret, amely felé az alsó szintről a továbbiakban nem alakul ki hőveszteség. Amennyiben korábban lakótérként nem használt padlás beépítéséről van szó, mindkét értelmezés helytálló. Az új lakótér létrehozásának költségeiből a hőszigetelés csak egy kis hányadot képvisel.

A padlásteret utólagos beépítése során viszonylag „olcsó”, kisebb szilárdságú hőszigetelő anyagok használhatók a beépített tetőteret határoló szerkezetekben, ezért ez a hőszigetelési mód gazdaságosnak minősíthető.

A szarufák között és alatt elhelyezett hőszigetelő réteg esetén a fa szerkezetek (a szarufák és az alsó síkjukon rögzített lécz, vagy zárlécz vázelemek) csak „pontonként” keresztezik egymást, így hőhid-hatásuk nem számottevő.

A hőszigetelés és a tetőhéjazat között szellőztetett légréteget kell kialakítani, mivel ez a szerkezet és a belső tér nyári hőterhelése, a szerkezeten átdiffundáló pára „elszállítása” és a határoló szerkezet hőátbocsátásának csökkentése szempontjából egyaránt előnyös és szükséges. A tetőhéjazat alatti alátét héjazat (mint másodlagos csapadékvíz szigetelés) elhelyezése kötelező !

A tetőtérbeépítést határoló szerkezetek belső oldali burkolata a helyiségek funkciójától, a tűzvédelmi követelményektől és az esztétikai igényektől is függően többféle lehet: pl. lécvázra rögzített építőlemezekből (leggyakrabban gipszkartonlemezekből), deszkázatra felhordott nádvakolatból, vagy fa- illetve kPVC sávelemekből („lambéria”) készülhet. A burkolat és a hőszigetelés között műanyagfólia légzáró-párafékező réteget kell beépíteni.

A hőszigetelés és a tetőhéjazat között szellőztetett légréteget kell kialakítani, mivel ez a szerkezet és a belső tér nyári hőterhelése, a szerkezeten átdiffundáló pára „elszállítása” és a határoló szerkezet hőátbocsátásának csökkentése szempontjából egyaránt előnyös és szükséges. Még előnyösebb két szellőztetett légréteg kialakítása, amely szinte minden esetben lehetséges a másodlagos csapadékvíz szigetelésként funkcionáló alátét héjazat alatt és felett - viszonylag csekély többletköltség árán.

Új fedélszék létesítése esetén, vagy ha a felújítás a meglévő tetőhéjalás és az azt alátámasztó aljzat (lécezés vagy deszkázat) elbontásával jár, lehetőség van a tetőtérbeépítést határoló szerkezetek („ferde fal”, illetve födém) olyan kialakítására, amelynél a „komplett” szerkezet (tetőfedés, hőszigetelés és belső burkolat a kiegészítő rétegekkel együtt) a tartószerkezet (szaruzat, torokgerendák vagy fogópárok) külső oldalára kerül. Így lehetőség nyílik az új, vagy meglévő, jó állapotú fa tartószerkezet „megmutatására”, ami esetenként építészeti igény.

A határoló szerkezetet ezúttal is kéthéjű, azaz a tetőhéjalás és a hőszigetelő réteg között legalább egy szellőztetett légréteget kell kialakítani. A hőszigetelés egy- vagy két rétegben kerülhet beépítésre. Előbbi esetben a nagyobb testsűrűségű és nyomószilárdságú, körben csaphornyos szegélykialakítású expandált vagy extrudált polisztirolhab lemezek használhatók a megszakítatlan, „hőhidmentes” hőszigetelő réteg kialakításához, míg két hőszigetelő réteg esetén kettős, kétirányú zárléc- vagy pallóváz beépítése szükséges.

A tetőtérbeépítést határoló szerkezetek belső burkolata ilyenkor leggyakrabban és értelemszerűen felületkezelt fa lambéria.

Új fedélszék létesítése esetén, (például ha a felújítás nemcsak a meglévő tetőhéjalás, hanem a teljes tetőszerkezet elbontásával jár), lehetőség van a tetőtérbeépítést határoló szerkezetek („ferde fal”, illetve födém) monolit (ritkábban előregyártott elemekből készített) vasbeton lemez teherhordó szerkezetes kialakítására. Ez a szerkezetkialakítás elsősorban a határoló szerkezetek jelentős hőtároló képessége révén előnyös, ami a nyári hőterhelés hatékony csökkentésében, illetve a szoláris hőnyereségek jobb hasznosításában mutatkozik meg.

A határoló szerkezetet ezúttal is kéthéjű, azaz a tetőhéjalás és a hőszigetelő réteg között legalább egy szellőztetett légréteget kell kialakítani, amely a szerkezet és a belső tér nyári hőterhelése, a szerkezeten átdiffundáló pára „elszállítása” és a határoló szerkezet hőátbocsátásának csökkentése szempontjából egyaránt előnyös és szükséges. A hőszigetelés ilyen esetben egy- vagy két rétegben kerülhet beépítésre. Előbbi esetben a nagyobb testsűrűségű és nyomószilárdságú, körben csaphornyos szegélyképzésű expandált vagy extrudált polisztirolhab lemezek használhatók a megszakítatlan, „hőhidmentes” hőszigetelő réteg kialakításához, míg két hőszigetelő réteg esetén kettős, kétirányú zárléc- vagy pallóváz beépítése szükséges.

A tetőtérbeépítést határoló szerkezetek belső felületkiegyenlítő rétegeként ilyenkor leggyakrabban vakolat vagy simítás, felületképzésként pedig festés vagy tapétázás készül.

ÁLLAGVÉDELEM

Átnedvesedett szerkezetek

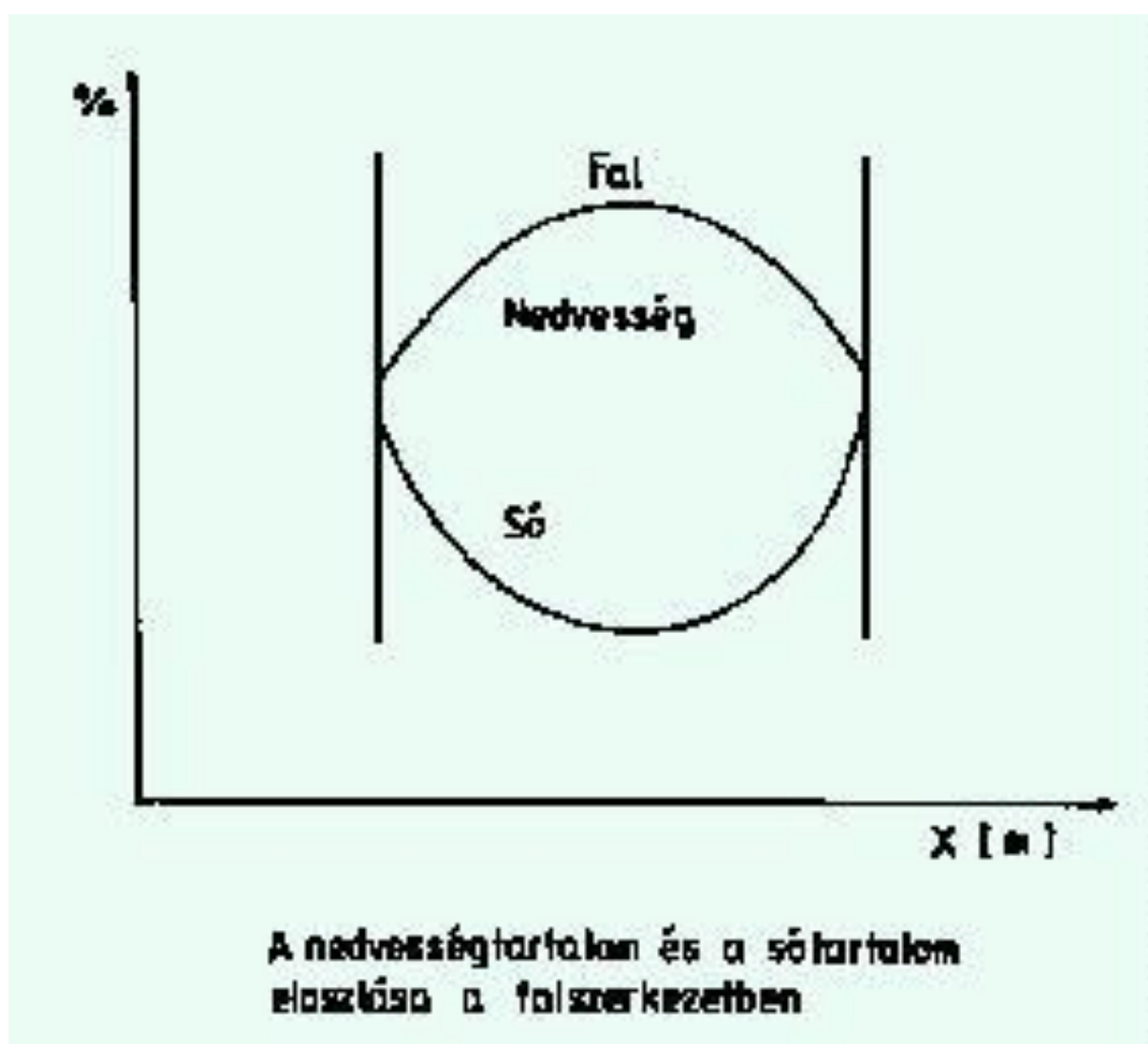
Számos felújítandó épület falszerkezete a sérült vízszigetelés, lecsapódás, beázás, stb. miatt átnedvesedett. Gyakran előfordul, hogy az előzetes helyszíni bejárások idején nedvesnek ítélt szerkezetek a feltárások során vagy a kivitelezés első szakaszában kedvező változást mutatnak. Ez annak tudható be, hogy a kivitelezésből adódóan általában jól megnyitott és az előzőekhez képest intenzívebben szellőztetett terekben a nedves felületek megszáradnak, s azt a látszatot sugallják, hogy nincs is szükség különösebb beavatkozásokra.

A látszat csalóka és hibás döntésekhez vezethet.. Egy 38 cm vastag kisméretű téglafal 60-70 kg, egy 20 cm vtg. vasbeton réteg 20-30 kg, egy 10 cm vtg. perlitbeton réteg 40-50 kg, egy 60 cm vtg. kőfal 90-100 kg, egy 30 cm vtg. gázbeton fal 60-70 kg vizet is tartalmazhat m²-enként, miközben a *felülete szemrevételezéssel száraznak mutatkozik.*

A falszerkezetek utólagos külső oldali hőszigetelésével kapcsolatosan az alábbi két tényezőre kell figyelni:

ha a meglévő szerkezet nedves, annak maximális nedvességtartalmát legalább a szorpciós telítettségi értékre kell szárítani. Ha a szerkezet vastagsága az 50 cm -t nem haladja meg, kitakart állapotban, jó szellőztetés mellett 4 - 5 hónap alatt szárad ki. Ha a szerkezet vastagabb avagy ennyi ideig nem hagyható kitarva, akkor fűtésre, forró levegős szárításra van szükség, ennek időigénye egy - két hét.

Abban az esetben, ha a belső térből a pára a meglévő szerkezetben kis nyomáseséssel diffundálhat, esetleg konvekcióval közvetlenül a hőszigeteléshez juthat, a téglafalra közvetlenül nem célszerű a hőszigetelést felragasztani, a külső oldalra egy párafékező és tárolási funkciót ellátó vakolatot kell készíteni, s az utólagos hőszigetelést erre a vakolatra kell felragasztani.



A nedvességviszonyok megítéléséhez a szerkezetből vett minták nedvesség- és só tartalom-vizsgálata szükséges

A talajban lévő nedvesség egy híg oldat, amelyben különböző sók találhatók. A talajból felhúzódó víz ezeket a sókat magával viszi. A víz a falszerkezet két határoló síkja felé vándorol, a felületen, vagy annak közelében elpárolog, a sók azonban visszamaradnak.

Számos esetben a vakolat, vagy a festék réteg alatti sókristályosodás leválasztja a felületi réteget vagy a párolgási sík a külső felületre esik, s így az általánosan ismert "sókivirágzások" keletkeznek.

Két jellegzetes nedvességátvitel, a kondenzációs és felszívódó nedvesség viszonylag egyszerűen megkülönböztethető egymástól.

A kondenzációs nedvesség esetén alacsony, felszívódó nedvesség esetén magas a nedvességtartalom érték. Só kivirágzás a fal felületén kondenzációs nedvesség esetén nincs, felszívódó nedvesség esetén van.

Kondenzációs nedvesség esetén penészesedés kialakul, felszívódó nedvesség esetén nagyon ritka. A belső felületen fokozatos az átmenet a nedves és száraz részek között, ha a nedvesedés kondenzációból származik. Hirtelen átmenet a felszívódó nedvességre jellemző.

A csapóeső hatásával összefüggő állagvédelmi kérdések

A vakolat nedvességmérlege az esős időben felvett víz és a száraz időszakban elpárologtatott nedvesség mennyiségétől függ. Ez kapcsolatban van a vakolat hordozórétegének minőségével is.

Ebből következik, hogy külső szerkezeti rétegeként olyan anyag kedvező, amely a külső felületképzés alatt kapillárisan nem veszi fel a vizet. Ilyenek a különböző műanyaghabok. Kézenfekvő védelemnek mutatkozik a külső felület víztaszító anyaggal való kezelése, ún. hidrofóbizálása.

A repedésmentesség különösen fontos a jó hőszigetelőképes falak esetében, amelyeknél a felületi hőmérséklet ingadozása nagyobb és hidrofóbizálás esetén, amikor a vakolat mögé beszivárgó víz távozási akadályozott.

Belső oldali utólagos hőszigetelés

Az állagkárosodások megelőzése végett a következőket kell figyelembe venni:

- a szigetelést hordozó belső felületre a hőszigetelés tökéletes érintkezéssel csatlakoztatható legyen, a hőhidak felületére ne essenek a szigetelés csatlakozó élei,
- a hőszigetelő rendszer hővezetési ellenállása ne legyen olyan nagy, hogy az esetleges csatlakozási élénél bejutó pára a nagy ellenállás miatt a teherhordó réteg felületén lecsapódjék,
- páravezetési tényezője kicsi legyen, mert ennél fogva párafékezőként működik.
- megfelelő mélységben (a keresztmetszet még elég meleg síkjában, de a mechanikai sérülésektől (villamos szerelvények, kábelek, rögzítő elemek) már elég védetten felületfolytonos párazáró réteget, fóliát építsünk be,

Az előzőekből következik, hogy a belső oldali hőszigetelésnél inkább az állagvédelmi szempontok a meghatározóak, s háttérbe szorulnak az energetikai szempontok, annál is inkább, mivel az állagvédelmi problémák megoldása a kisebb ellenállású belső oldali hőszigetelések irányában várható.

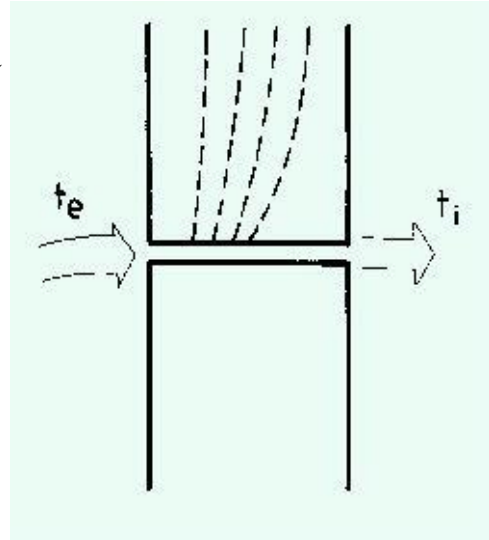
Légzárás

A meglévő szerkezetek csomópontjai számos esetben kedvezőtlen kialakításúak és/vagy gondatlanul kivitelezettek, ahol a nedvesség behatolása és a légzárás is problémát jelent. A homlokzatok légáteresztése önmagában véve nem kívánatos jelenség, ugyanis a szélnyomás és a falhajtóerő következtében kialakuló ellenőrizhetetlen, spontán légsere adott esetben a szükségesnél nagyobb mértékű és ezért felesleges szellőzési hőveszteségekhez vezet. Ezen felül a légáteresztés állagkárosodással is jár, amelynek magyarázata az egyes esetekben a következő:

Illesztési hézagok légáteresztése.

Ha a levegő árama kívülről befelé irányul, (infiltráció) a résben áramló levegő felmelegszik, az ehhez szükséges hőáram a rést határoló felületeken (az elemek bütüfelületein) jut a levegőbe. E hőelvonás következtében a rés mentén az elemek lehűlnek, alacsony belső felületi hőmérsékletük a hőhidakhoz hasonlóan a kapilláris vagy felületi kondenzáció kockázatával jár.

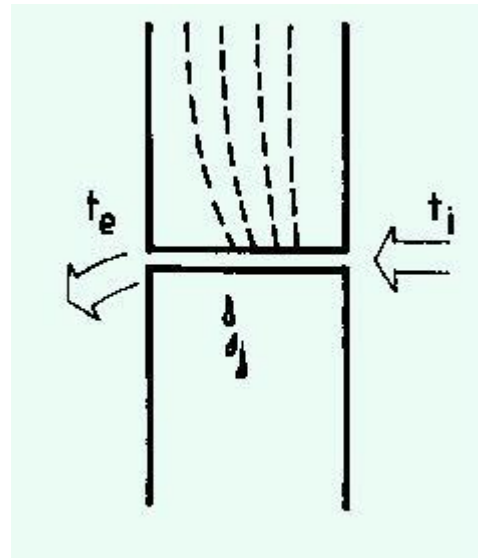
Ezeket a csomópontokat, hézagokat, repedéseket az utólag felhordott összefüggő hőszigetelő réteg mintegy betakarja és így az ilyen jellegű gondok megszűnnek.



Illesztési hézagok légáteresztése.

Ha a levegő áram belülről kifelé irányul (exfiltráció), a magas nedvességtartalmú belső levegő egy bizonyos úthossz után olyan felületelemekkel érintkezik, amelyek hőmérséklete a belső levegő harmatponti hőmérsékleténél kisebb. Itt a felesleges nedvességtartalom a résben kicsapódik, ami egyrészt a szerkezetet közvetlenül károsítja, másrészt az átnedvesedett szerkezet hőszigetelőképességét rontva öngerjesztő módon a jelenséget erősíti.

Ezeket a csomópontokat, hézagokat, repedéseket az utólag felhordott összefüggő hőszigetelő réteg mintegy betakarja és így az ilyen jellegű gondok megszűnnek.



A csillapítási tényező

Annak érdekében, hogy a külső határolószervezeteknek a periódikus hőhatásokra adott válasza könnyebben legyen jellemezhető, a tervezési gyakorlat speciális fogalmakat használ. Ha egy periódus első felében hőáram hatol be a szerkezetbe, annak egy része az útjába eső rétegek felmelegítésére fordítódik, azokban tárolódik (és ezzel azok hőmérsékletét megemeli), a mélyebben fekvő rétegekbe csak a hőáram maradványa jut. Minél nagyobb tömegű és fajhőjű rétegeken halad át a hőáram, annál nagyobb hányada "marad le útközben" e rétegek felmelegítésére, minél nagyobb ellenállásúak e rétegek, annál nagyobb lesz a hőmérsékletesés. Ha most egy külső határolást vizsgálunk, ennek az a következménye, hogy a szerkezet belső síkját és arról a helyiséget egy kívülről induló, időben változó hőáramnak csak egy tört része éri el. Mielőtt a szerkezet teljes keresztmetszetében átmelegedne, a periódus második felében a külső hőhatás megszűnik, a szerkezet a környezethez viszonyítva "meleggé" válik és most a szerkezetből indul meg kifelé, a környezet felé az eddig feltárolt hő

visszaáramlása, és pedig először a legkülső, majd az egyre mélyebben fekvő rétegekből. A Nap járása és a külső hőmérséklet napi periódusú ingadozása miatt a vizsgált jelenség a gyakorlat egyik alapesetének számít. A külső szerkezetek viselkedésének jellemzésére használt egyik jelzőszám a csillapítási tényező.

A csillapítási tényező értelmezése a hazai irodalomban és számos európai országban a következő:

A hőáram periódikus változását az okozza, hogy a környezet hőmérséklete egy napi középérték körül periódikus lengéseket végez. Ez a lengés amplitudójával ($A_{t,e}$) jellemezhető.

A szerkezet belső síkját a környezetből behatoló hőáramnak csak egy maradványa éri el a periódus egyik felében. A periódus másik részében ez a hőáram visszafolyik a környezetbe. Ez a szerkezet belső síkján hőmérsékletingadozást okoz, amely ugyancsak amplitudójával jellemezhető. ($A_{t,bf}$).

Csillapítási tényezőnek megállapodás szerint e két amplitudó hányadosát nevezzük:

$$\nu = \frac{A_{t,e}}{A_{t,bf}}$$

A csillapítási tényező annál nagyobb, minél nagyobb tömegű és fajhőjű rétegekből áll a szerkezet, továbbá minél nagyobb e rétegek hővezetési ellenállása. A rétegsorrend hatása is jelentős.

Bármely szerkezetre igaz az, hogy csillapítási tényezője nagyobb, mint a belső oldali

hőátadási tényező és a hőátbocsátási tényező hányadosa: $\nu \approx \frac{\alpha_i}{k}$

Ez nem más, mint az a csillapítás, amely egy 0 tömegű szerkezetben, kizárólag a hőátbocsátási ellenállás miatt alakulna ki.

Ennek megfelelően a csillapítási tényező felírható két tényező szorzataként is

$$\mu = \mu_R * \mu_M,$$

ahol μ_R az elenállás miatti, μ_M a hőtároló tömeg miatti csillapítást fejezi ki.

Az angolszász irodalomban csak ez utóbbi tényezőt adják meg csillapítási tényező gyanánt.

Ha ilyen adatunk van, az amplitudók hányadosát úgy kapjuk, hogy az angolszász értelmezésű csillapítási tényezőt szorozzuk az α_i / k hányadossal.

További zavart már csak az okozhat, hogy néhány forrás a reciprok adatot (belső oldali amplitudó / külső oldali amplitudó) adja meg: ezek könnyen felismerhetők, mert értékük egynél kisebb.

Padló hőelnyelése

A nem állandósult folyamatok egyik különös és érdekes esete akkor áll elő, ha két különböző hőmérsékletű testet egy adott pillanatra érintkezésbe hozunk.

A gyakorlatban ezzel a problémával találkozunk, ha azt az esetet tekintjük, hogy egy ember a padlóra lép (a két test a láb és a padló.)

Ha két különböző hőmérsékletű testet érintkezésbe hozunk, nyilván egy hőáram indul meg közöttük, a magasabb hőmérsékletű testből az alacsonyabb hőmérsékletűbe. A két test érintkezési síkján egy közös érintkezési hőmérséklet alakul ki. A hőáram mindaddig folyik,

amíg mindkét testben ki nem alakul egy új, közös hőmérséklet. A hőáram a két test összeérintésének pillanatában a legnagyobb, - amikor még mindkét testben az eredeti hőmérséklet uralkodik, az idő előrehaladtával - ahogyan az eredetileg melegebb test lehül, a hidegebb pedig felmelegszik - a hőáram fokozatosan csökken.

Azt, hogy a közös érintkezési hőmérséklet és a két test közötti hőáram mekkora lesz, több tényező befolyásolja. Minél nagyobb hővezetési tényezőjű (minél kisebb ellenállású) testekről van szó, annál nagyobb a hőáram, továbbá minél nagyobb egy test sűrűsége és fajhője, ugyancsak annál nagyobb (és időben tartósabb, lassabban csökkenő) a hőáram, hiszen annál nagyobb hőmennyiséget kell leadni, illetve felvenni a majdani közös (nemcsak az érintkezési síkra, de a teljes testre nézve közös) új egyensúlyi hőmérséklet eléréséhez.

A folyamatot leíró összefüggésben ezek az anyagjellemzők a

$$b = \sqrt{\lambda \rho c} \quad (3.40.)$$

hőelnyelési tényezőnek nevezett, vagy az

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}$$

"hőmérsékletelvezetési tényező" kifejezés formájában szerepelnek.

Az emberi lábra ez adott érték, a padlóra - annak felépítésétől függően - különböző lehet. Minél nagyobb a padló hőelnyelési tényezője, annál közelebb lesz a közös érintkezési hőmérséklet a padló eredeti hőmérsékletéhez, annál nagyobb lesz a padlóba irányuló hőáram. Szokványos esetben a láb hőmérséklete 28 °C, a padlófelületé 20 °C, a közös érintkezési hőmérséklet e kettő között alakul ki, ha "b" nagy, a 20 °C-hoz, ha "b" kicsi, a 28 °C-hoz közelebb, vagyis **azonos eredeti hőmérsékletű padlókat különböző hőmérsékletűnek érzünk**. Ilyen alapon beszélünk "meleg" és "hideg" padlóról.

Hogy a közös érintkezési hőmérséklet hogyan alakul, azt az első pillanatban csak a padló szerkezet legfelső rétege befolyásolja. Ha ez a réteg nem túl vastag, egy bizonyos idő után a hőáramok elérik ennek alsó síkját és most már a második réteg anyagjellemzői is befolyásolják a folyamatot, további idő elteltével a még mélyebben fekvő rétegek is szerephez juthatnak. A gyakorlati méretezési összefüggéshez feltételeket adnak arra nézve, hogy mikor kell a második és esetleg a további rétegek hatását is figyelembe venni.

Megjegyezendő, hogy a "meleg" burkolatok igénye értelmét veszti, ha a padló szerkezetben beágyazott fűtés van, ekkor ugyanis a padló felületi hőmérséklete megközelíti vagy meghaladja a láb hőmérsékletét.

A nedves levegő állapotjellemzői

A száraz levegőből és vízgőzből álló gázkeveréket jellemezhetjük azzal, hogy a keverék össznyomásán belül mekkora a vízgőz résznyomása.

A levegőben lévő vízgőz résznyomása nem nőhet minden határon túl. Azt a határt, ameddig a vízgőz résznyomása nőhet, *telítési résznyomás*nak nevezzük. A telítési résznyomás értéke a levegő hőmérsékletének függvénye: a melegebb levegő több vízgőzt tud felvenni, tehát a melegebb levegőben a vízgőz telítési résznyomása nagyobb.

A vízgőz résznyomása alapján számíthatjuk a vízgőz tömegáramát.

E fontos szerepe ellenére azonban a vízgőz résznyomása önmagában nem érzékelteti a levegő szárazabb vagy nedvesebb voltát, hiszen a résznyomás mellett a hőmérsékletet is ismernünk kell ahhoz, hogy a levegő nedvességtartalmát meg tudjuk ítélni.

Egyszerűbben és érzékletesebben fejezi ki a levegő nedvességtartalmát egy másik állapotjelző, a *relatív nedvességtartalom*. Ezt százalékban fejezik ki, 0 % a teljesen száraz, 100 % pedig a vízgőzzel telített levegőt jelzi.

A relatív nedvességtartalom a levegőben pillanatnyilag uralkodó vízgőz résznyomás és (az

$$\varphi = \frac{P}{P_s} * 100\%$$

adott hőmérséklethez tartozó) telítési résznyomás hányadosa $\frac{P}{P_s}$. (Megjegyzendő, hogy néha a relatív nedvességtartalmat nem százalékban, hanem 0 és 1 közötti nevezetlen számmal adják meg.)

Amikor azt vizsgáljuk, hogy a különböző nedvességforrásokból a levegőbe mennyi vízgőz jut, a levegő mennyit vesz fel, akkor tömegáramokkal számolunk és egy további állapotjellemző, a levegő *abszolút nedvességtartalma* használható előnyösen. Ez azt fejezi ki, hogy 1 kg tömegű száraz levegőhöz hány g tömegű vízgőz tartozik. Szokásos betűszimbóluma x . Az abszolút nedvességtartalom ugyanúgy korlátozott a hőmérséklet függvényében, mint a résznyomás, az utóbbihoz hasonlóan beszélhetünk az abszolút nedvességtartalom telítési értékéről (x_i).

Megjegyzendő, hogy ez a megállapítás a levegőben gőzhalmazállapotban jelen lévő H₂O-ra vonatkozik. Az abszolút nedvességtartalom telítési értéket meghaladó mennyiségű H₂O jelenléte esetén a többlet folyékony halmazállapotban, mint köd, vagy szilárd halmazállapotban, mint dér, megfagyva kicsapódik (kondenzálódik).

A kicsapódás nemcsak amiatt következhet be, hogy a levegőbe fölös mennyiségű H₂O jut. Ha a kezdetben telítetlen levegőt hűteni kezdjük, relatív nedvességtartalma nőni fog. (Hiszen a hűtéstől az abszolút nedvességtartalom és vele együtt a vízgőz résznyomása még nem változik, de mindkettő egyre közelebb kerül a (x_i , illetve p_i) telítési értékhez. A hűtés folyamán egy adott hőmérsékleten elérjük a telítési határt, a = 100 % relatív nedvességtartalom értékét. Ez a hőmérséklet a *harmatponti hőmérséklet*. Ha a levegőt tovább hűtjük, az már csak az új, alacsony hőmérséklethez tartozó telítési nedvességtartalmat képes gőz halmazállapotban magában tartani, a fölösleg kicsapódik (a hőmérséklettől függően köd, azaz folyadék vagy dér, azaz szilárd halmazállapotban).

Az eddig felsorolt állapotjellemzők közül csak a hőmérséklet mérhető szabatosan, a relatív nedvesség mérésére használt hajszálas hygrométerek pontatlanok. Szabatos adatot a levegő nedvességtartalmáról a *nedves hőmérséklet* ad. Ezt olyan hőmérővel mérjük, amelynek érzékelője benedvesített textiliával van burkolva. Ebből a víz párolog és pedig annál intenzívebben, minél alacsonyabb a levegő nedvességtartalma. A párolgás a hőmérő érzékelőjéről hőt von el, a hőmérő lehűl. Minél nagyobb a *száraz* és a *nedves* hőmérőkkel mért hőmérsékletek különbsége, annál szárazabb a levegő. Telített levegőben nem alakul ki különbség, mert nincs párolgás.

A száraz és a nedves hőmérőket egybeépítve tartalmazó műszer a *pszichrométer*. A hőmérők érzékelői mentén a levegőt kis óramű meghajtású ventilátor biztosítja.

Egyes esetekben célszerűen használható a *vízgőz koncentrációjának* fogalma, amely azt fejezi ki, hogy hány g vízgőz van egységnyi térfogatú levegőben.

Energetikailag fontos állapotjelző a levegő *hőtartalma* (entalpiája). Ez három részből tevődik össze: az 1 kg száraz levegő hőtartalmából és az x g ($x \cdot 10^{-3}$ kg) vízgőz ún. érezhető hőtartalmából, amelyek a tömeg, a fajhő és a hőmérséklet szorzatával arányosak, valamint az x g vízgőz ún. rejtett hőjéből, amely e vízmennyiség elpárologtatásához szükséges és amely e tömeg és a párolgási hő szorzatával arányos. Képlettel kifejezve:

$$i = (1 \cdot c_i + x \cdot 10^{-3} c_v) t + x \cdot 10^{-3} r$$

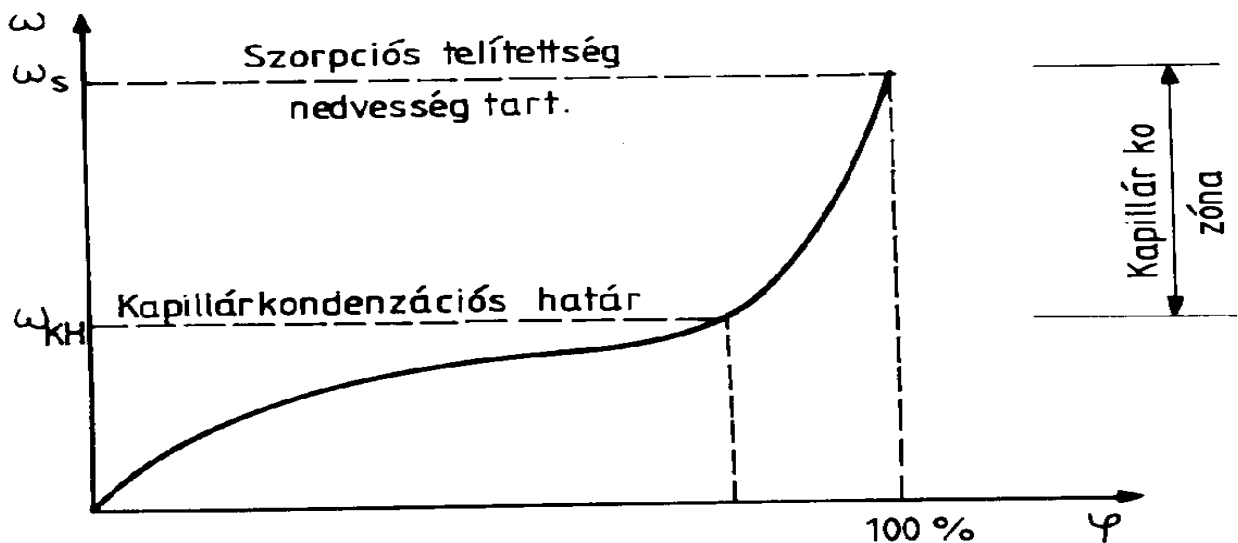
ahol a jelölések a szöveges magyarázatból egyértelműek.

Szorpció

Az építő- és szigetelőanyagok túlnyomó többsége pórusos szerkezetű. E pórusok összesített felülete rendkívül nagy lehet, aminek fontos szerepe van a nedvesség felvételében és megkötésében.

Az anyagok nedvességfelvételére a szorpció izoterma jellemző. A görbék általában az. ábra szerinti alakot mutatják.

A görbéket állandó hőmérsékleten (általában 20 °C) veszik fel úgy, hogy az adott



hőmérsékletű és relatív nedvességtartalmú levegőbe helyezett próbatestek egyensúlyi nedvességtartalmát mérik meg. (Ez azt jelenti, hogy bevárjuk amíg a próbatest tömege állandósul.)

A szorpció izoterma vízszintes tengelyén a próbatesttel érintkező levegő relatív nedvességtartalma, a függőleges tengelyen az anyag (tömeg, vagy térfogatszázalékban kifejezett) nedvességtartalma szerepel.

A szorpció izoterma görbéjének általában van egy inflexió pontja, ahol a görbe meredeksége hirtelen megnő. Ez a pont jelzi a kapilláris kondenzáció kezdetét, amikor is a

nedvesség már nemcsak a pórusok felületét borítja, hanem a kapilláris járatok teljes keresztmetszetét kezdi kitölteni. Ez az ún. kapilláris kondenzáció az építőipar szokványos anyagi esetében általában $\varphi = 75\%$ levegő relatív nedvességtartalom mellett alakul ki.

A másik nevezetes pont a $\varphi = 100\%$ relatív nedvességtartalom és az anyagnak az ahhoz tartozó telítési nedvességtartalma.

Megengedhető nedvességtartalom

A szerkezetek, anyagok *megengedhető nedvességtartalma* alatt azt a maximális nedvességtartalmat értjük, amelynél a nedvességtartalomtól függő fizikai-kémiai hatások a rendeltetészerű használatot még nem akadályozzák vagy zavarják (korhadás, korrózió) és amely mellett az anyagok hővezetési tényezője még nem nő meg olyan mértékben, ami az elfogadhatónál nagyobb hőáramokat okozna.

Ez utóbbi szempontból a megengedhető érték sok esetben a szorpciós telítettséghez tartozó nedvességtartalom, vagy akár attól valamelyest nagyobb érték is lehet, a megengedhető határt a nedvességtartalom függvényében változó hővezetési tényező mérése alapján állapíthatjuk meg.

Állagvédelmi szempontból a megengedhető nedvességtartalom értéke néhány anyagnál a kapilláris kondenzációhoz tartozó érték. Ezt a határt a fa és egyes szálás szigetelőanyagok esetében érdemes betartani, amelyek a nedvességre különösen érzékenyek.

A *kezdeti nedvességtartalom* alatt a szerkezetépítés, a használatbavétel utáni első fűtési idény kezdetén fennálló nedvességtartalmat értjük. A kezdeti nedvességtartalom (az építési folzamat alatt bevitt nedvesség miatt) számos esetben nagyobb a szorpciós telítettségénél, tehát a nedvességvezetéssel (a folyékony halmazállapotú víz mozgásával) is számolnunk kell. Az anyag kezdeti nedvességtartalma visszahat a diffúzió folyamatára

Megengedhető relatív páratartalom φ_M és ahhoz tartozó nedvességtartalom ω_M értékek a szerkezet keresztmetszetében

Megnevezés	Megengedett páratartalom %	Megengedett nedvességtartalom Tömeg%
Fenol formaldehid hab (39 kg/m ³)	100	13
Poliuretán lágy hab (35 kg/m ³)	100	2
Polisztirolhab (16-49 kg/m ³)	100	2
Kőzetgyapot lemez (100-160 kg/m ³)	75	1,7
Perlitbeton (400 kg/m ³)	100	15
Perlitbeton (500 kg/m ³)	100	14
Perlitbeton (600 kg/m ³)	100	10

A megengedhető relatív páratartalom, illetve nedvességtartalom értékek a felületek állagvédelmi méretezésénél nem vehetők figyelembe!

Egydimenziós stacioner páradiffúzió falszerkezetekben

Ha egy egységnyi homlokfelületű, egyrétegű fal két felületén a vízgőznyomások különbözőek, akkor vízgőzárak alakul ki a szerkezeten át, amelynek nagysága (a hővezetés egyenletéhez hasonló formájú)

$$g = \delta(p_1 - p_2) / x$$

összefüggéssel számítható, ahol

- δ_a páravezetési tényező,
- g - a gőzárak sűrűsége,
- P - a vízgőz résznyomása ("párányomás"),
- x - a helykoordináta,
- $P_1 - P_2$ - a vízgőz résznyomások különbsége.

A fenti összefüggésből látható, hogy a párányomásgradiens és a vízgőzárak között fennálló arányosságot a *páravezetési tényező* fejezi ki. Ez a hővezetési tényezővel analóg mennyiség.

$$\delta = \frac{D}{\mu R T}$$

A páravezetési tényezőt több irodalmi forrásban $\delta = \frac{D}{\mu R T}$ alakban felírva is megtaláljuk, ahol

- D - a diffúziós együttható a levegőben,
- μ - ellenállástényező,
- R - univerzális gázállandó,
- T - abszolút hőmérséklet.

$$D = 0,083 \frac{P_o}{P} \left(\frac{T}{273} \right)^{1,81} \quad \text{ahol}$$

A fenti tényezők közül D az alábbi összefüggéssel adható meg:

- P_o - barometrikus nyomás,
- P - a levegő össznyomása.

$$\mu = \frac{\Delta x}{\Delta x_o} * \frac{A_o}{A} \quad \text{ahol}$$

Az ellenállásfaktor az alábbi módon számítható:

- x_o - a vizsgált anyag vastagsága,
- x - kapillárisoknak, mint áramcsövek hossza,
- A_o - a vizsgált anyag keresztmetszete,
- A - a diffúzióban résztvevő felület.

Ez az eljárás gyakorlatilag azt jelenti, hogy egy réteg diffúziós ellenállását azzal jellemezzük, hogy milyen vastag légréteg diffúziós ellenállásával lenne egyenlő. (Ez az eljárás a német nyelvterületen szokásos)

A levegő és a fal felülete között a hőátadáshoz hasonló *páraátadási* folyamat ugyan létezik, de az átadási ellenállás oly kicsiny, hogy *elhanyagolható*. A levegőben uralkodó vízgőz résznyomás gyakorlatilag megegyezik a felületen uralkodó résznyomással.

A hővezetési ellenálláshoz hasonlóan beszélhetünk páravezetési ellenállásról (a rétegvastagság és a vezetési tényező hányadosa). Többrétegű szerkezet esetén az egyes rétegek ellenállásai összegződnek.

$$g = \frac{P_i - P_e}{R_e}$$

Ezzel a vezetési törvény: $g = \frac{P_i - P_e}{R_e}$ ahol

- P_i - a belső oldali részpáranyomás,
- P_e - a külső oldali részpáranyomás,
- R_e - a szerkezet páravezetési ellenállása (az egyes rétegek páravezetési ellenállásainak összege).

Az egyes réteghatárokon a vízgőz résznyomása azon az elven számítható, hogy a rétegbe bejutó áram egyenlő a rétegből távozó árammal.

$$g = \frac{P_i - P_e}{R_e}$$

A szerkezetre már felírtuk, hogy

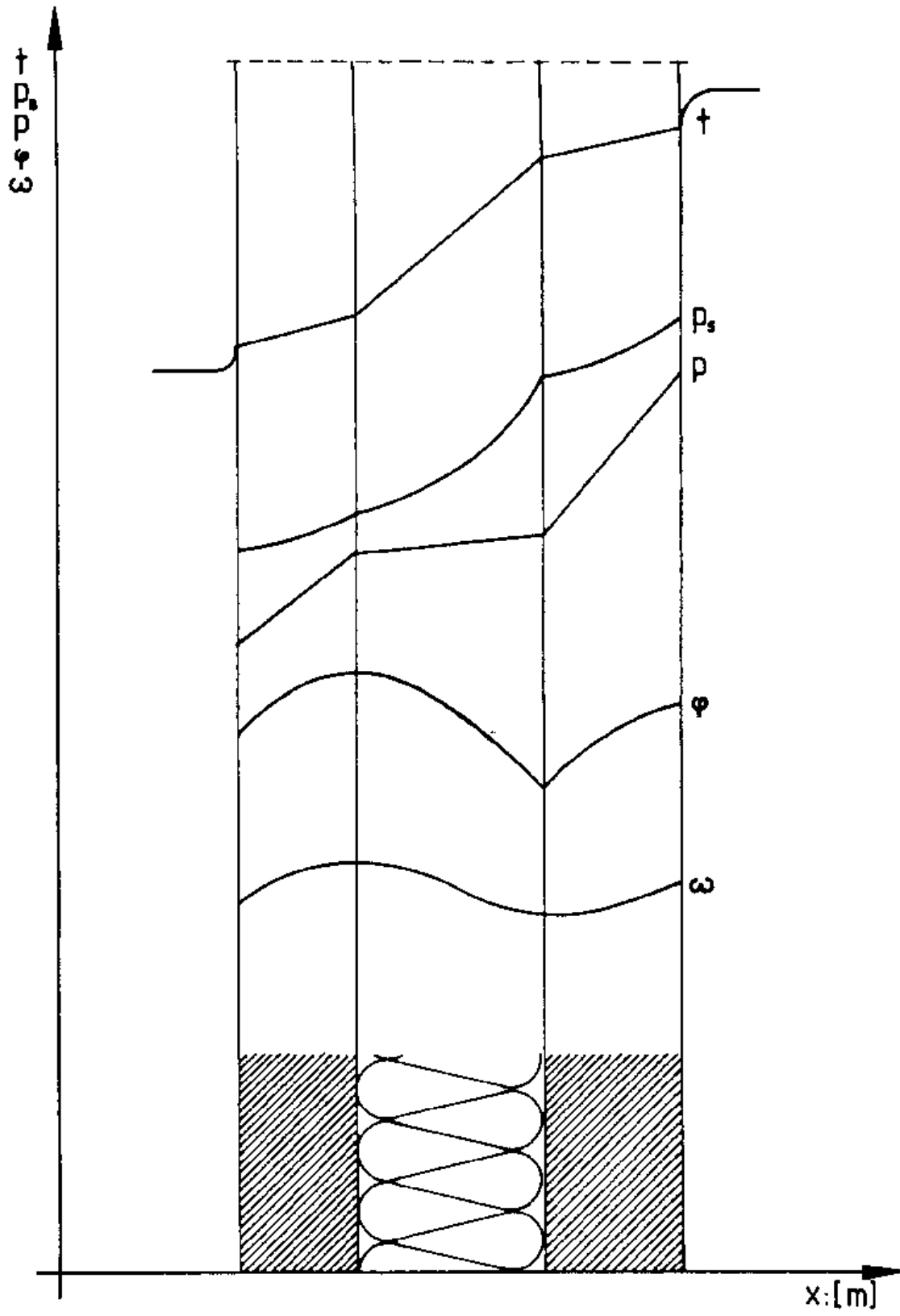
Az első rétegre $g = \frac{P_i - P_1}{R_1}$ és a feltételből $\frac{P_i - P_1}{R_1} = \frac{P_i - P_e}{R_e}$ amiből formális

$$P_1 = P_i - \frac{R_1}{R_e}(P_i - P_e)$$

átrendezéssel

ahol P_1 - a réteghatáron kialakuló vízgőz résznyomás, R_1 - az első réteg páravezetési ellenállása.

Hasonló módon lépésről-lépésre a többi réteghatárra is számítható a vízgőz résznyomás. Ezeket rajzoljuk be a réteghatárookra és egy-egy rétegen belül egyenes vonallal kössük össze.



A két érték hányadosa a relatív nedvesség: $p/p_t = \varphi$. A relatív nedvesség pedig meghatározza az anyag nedvességtartalmát, a két érték kapcsolatát a szorpciós izoterma fejezi ki. Így a keresztmetszeten az anyag nedvességtartalmának eloszlása is feltüntethető.

A szorpciós izoterma a relatív nedvességtartalom és az anyag nedvességtartalma közötti kapcsolatot fejezi, a relatív nedvességtartalom adatok alapján tehát az anyag nedvességtartalmának értékeit is ábrázolhatjuk a keresztmetszetben.

Ezt az utóbbi számítást akkor célszerű elvégezni, ha a szerkezetben olyan anyagok (például fa, egyes salakgyapotfajták) vannak, amelyek a nedvességre érzékenyek és lecsapódás nélkül is, pusztán a 70-90 % relatív nedvességtartalmú környezet miatt károsodnának. Az ellenőrzés, a döntés alapja akár a relatív nedvességtartalomra megadott határérték, akár az ebből a szorpciós izoterma alapján meghatározott megengedhető nedvességtartalom lehet.

A hőmérséklet - résznyomás lépték használata

Annak érdekében, hogy a későbbiekben grafikusán megoldandó feladatrészek szerkesztéseit pontosabban és gyorsabban végezhesük (főleg, hogy a telítési görbe esetenkénti szerkesztését megtakaríthassuk), a szerkezeteket nem vastagságukkal arányosan fogjuk ábrázolni. .

A vízgőz telítési résznyomása a hőmérséklet függvényeként megrajzolható.

Egy szerkezet határolófelületei és réteghatárai ebben a koordináta-rendszerben azonosíthatóak, éppen a felületek és réteghatárok számított hőmérséklete alapján.

Két-két pont között a hőmérséklet-eloszlás egyenes. Ez a következő gondolatmenet alapján látható be:

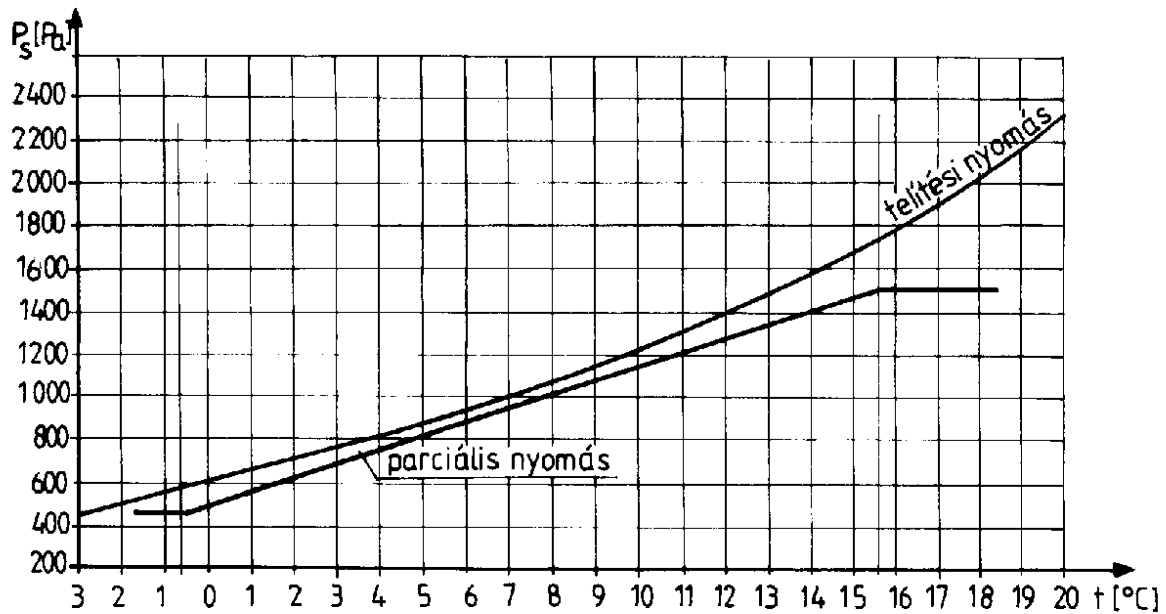
A hővezetés egyenleted (állandósult, forrásmentes, egydimenziós jelenség

esetében): $q = \lambda \frac{\Delta t}{\Delta x}$.

A vízgőz-áramra ugyanilyen esetben $g = \delta \frac{\Delta p}{\Delta x}$.

A két egyenletet egymással elosztva az alábbi összefüggéshez jutunk: $g = \frac{\delta \Delta p}{\lambda \Delta t} q$,

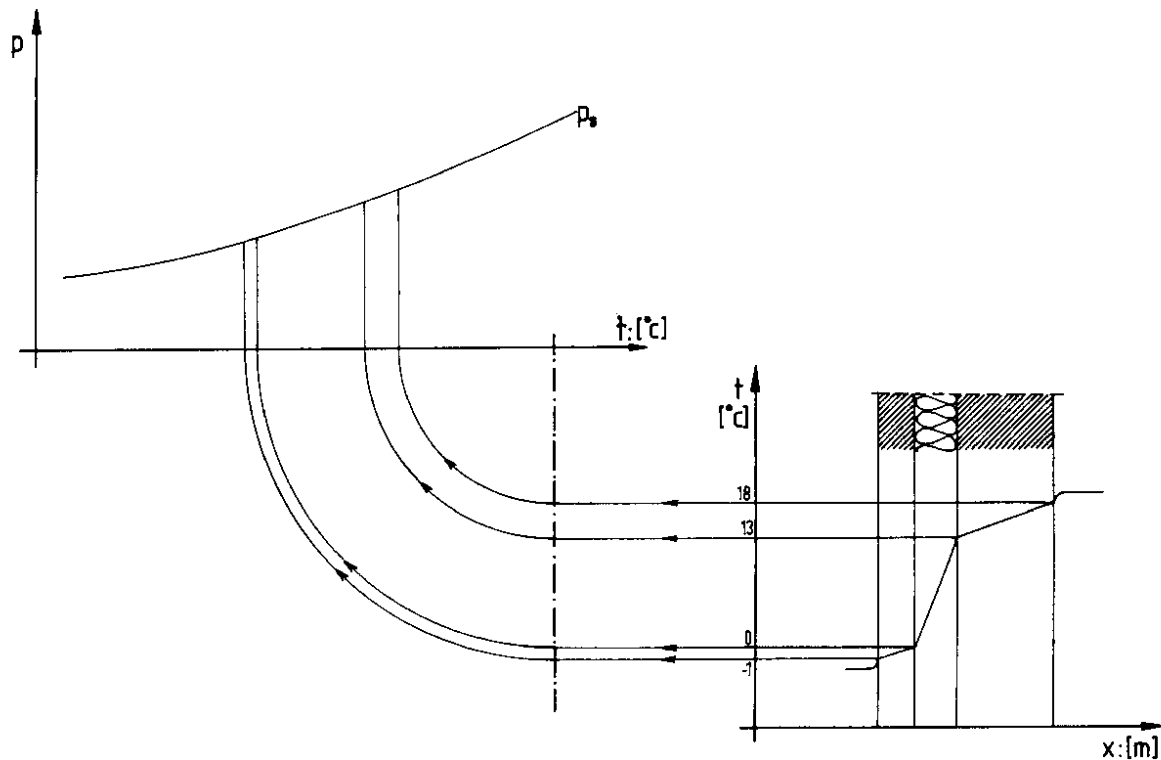
ahol q - hőáramsűrűség.



Kiszámítva a felületek és a réteghatárok hőmérsékletét, a megfelelő hőmérsékleteknél jelölni tudjuk a tengelyen, hogy "hol van" (mekkora hőmérsékletéhez tartozik) egy-egy felület, illetve réteghatár. Minden hőmérsékletéhez hozzárendelhető a telítési vízgőznyomás értéke. Kiszámítva a réteghatárokon kialakuló vízgőzrésznyomásokat, a számított nyomáseloszlás vonala is megrajzolható.

Így megkapjuk a szerkezetben kialakuló vízgőznyomás eloszlását. A 3.42. ábrán példaként egy háromrétegű szerkezet nyomásviszonyait rajzoltuk meg. Az ábrán látható, hogy a számítással meghatározott vízgőznyomás mindenhol kisebb, mint a telítési nyomás, tehát a szerkezet belsejében kicsapódással nem kell számolni.

A geometriai léptékről a hőmérsékletléptékre való áttérés egy geometriai transzformációként is elképzelhető.



Leccsapódás a szerkezetben

A következőkben vizsgáljunk meg egy olyan szerkezetet, amelynél a számítással meghatározott parciális vízgőznyomás a telítési nyomásnál helyenként nagyobb értékűre adódik.

Ebben az esetben kérdésként merülnek fel a kondenzációs zóna határai, illetve a kondenzáció megszüntetésének lehetőségei.

A kondenzáció ugyanis nem kívánatos jelenség a szerkezetek belsejében.

A tervezés első szakaszában olyan rétegtervekre kell törekednünk, amelyekben lehetőleg nincs leccsapódás, különösen a nedvességre érzékeny anyagú rétegekben.

A leccsapódás megelőzésének lehetőségei

A kondenzáció feltételei a rétegrend változásával befolyásolhatók.

A gyakorlatban háromféle lehetőség van:

- a meglévő rétegrend egy vagy több rétegének a cseréje,
- a meglévő rétegrend kiegészítése egy megfelelő helyre épített páraszellőző réteggel,

- a meglévő rétegrend kiegészítése egy megfelelő helyre épített párafékező réteggel.

Az éves mérleg

Az eddigiekben bemutatott vizsgálati módszer időben állandósult állapotra vonatkozott, vagyis feltételeztük, hogy a méretezési állapot (a külső levegő január havi középhőmérsékletének és közepes relatív nedvességtartalmának megfelelő állapot) már elég hosszú ideje állt fenn ahhoz, hogy a keresztmetszetben kialakuló hőmérséklet- és nyomáseloszlást az egyszerű stacioner egyensúlyi feltétel alapján számítsuk. A külső légállapotok évszakonkénti változása miatt a szokványos szerkezetek a nyári félév végén szárazabbak, mint a téli félév végén. Ahhoz, hogy a keresztmetszetben a téli állapotokra jellemző nedvességtartalom kialakuljon, bizonyos időre van szükség. Ezt az időt a stacioner állapot kialakulásához szükséges időnek, vagy átmeneti időszaknak is nevezhetjük. Jelöljük ezt az időtartamot T_A -val.

A téli stacioner állapothoz tartozó nedvességtartalomeloszlást egyensúlyi nedvességtartalomeloszlásnak fogjuk nevezni. A nyárvégi nedvességtartalomeloszláshoz viszonyítva ehhez a szerkezetnek valamennyi nedvességet fel kell vennie. Ha az ehhez szükséges töltési idő hosszabb, mint a fűtési idő, akkor a szerkezet megfelel, hiszen a lecsapódás kialakulására nincs idő.

Határolószerkezetek felületeinek állagvédelmi méretezése

A méretezés célja

A határolószerkezetek belső felületével kapcsolatban hő- és páratechnikai szempontból a következő követelmények teljesülését kell ellenőrizni, illetve helyes méretezéssel és üzemeltetéssel biztosítani:

- a) a belső felület hőmérséklete elegendően magas legyen a helyiségben tartózkodó emberek elfogadható vagy kellemes hőérzetének biztosításához,
- b) a belső felület hőmérséklete elegendően magas legyen a felületi páralecsapódás elkerülése szempontjából,
- c) a belső felület hő- és páratechnikai tulajdonságai csökkentsék a penészképződés kockázatát.

A felsorolt követelmények általában érvényesek, természetesen kivétel lehetséges: egy raktárban vagy hűtőtárolóban mellőzhetők a hőérzeti szempontok, egy zuhanyzóban esetleg megengedhető a felületi páralecsapódás. A továbbiakban nem a kivételes, hanem a szokványos, általános esetekről lesz szó.

Az a) alatti követelmény nemcsak hőérzeti, hanem energetikai szempontból is fontos: az alacsony belső felületi hőmérséklet egyrészt rosszul hőszigetelt szerkezetet jelez, másrészt - a sugárzásos hőcsere miatti - hatását a belső levegő hőmérsékletének megemelésével kell ellensúlyozni.

A b) alatti követelménynek a felület legkedvezőtlenebb részein is teljesülnie kell, azaz a rétegterv mellett a csomópontok környékére különös figyelmet kell fordítani.

A c) alatti követelmény szempontjából nemcsak a hőmérsékleteloszlás, hanem a belső

felületképzés szorpciós tulajdonságai, pórusméret eloszlása is meghatározó szerepet játszik, ez esetben is érvényes, hogy a követelménynek a felület legkedvezőtlenebb részein is teljesülnie kell.

A belső felületek hő- és páratechnikai kérdései nem vizsgálhatók önmagukban, kiragadott rész kérdésként, csak az épület egészének, a használati feltételeknek az ismeretében, azok mérlegelésével! Nyilvánvaló az összefüggés a felületi hőmérséklet és a rétegterv, a felületi hőmérséklet és a csomópontok között. A felületi lecsapódás és a szorpciós nedvességfelvétel függ a belső levegő nedvességtartalmától, utóbbi függ a helyiségben fejlődő pára mennyiségétől és a szellőzéstől, az utóbbitól viszont a fűtési hőigény függ, ez azonban a hőérzeti feltételektől is függ, stb. Bárhol, bármilyen változtatás, beavatkozás a hatások láncolatát indítja meg, amit nyomon kell követnünk, ha a súlyos állagvédelmi, energetikai, egészségügyi károsodásokat meg akarjuk előzni. A tervező és az üzemeltető legfontosabb feladata az, hogy a felsorolt fizikai mennyiségek közötti összhangot biztosítsa, azokat egymáshoz igazítsa.

Méretezési alapadatok

A felület páratechnikai ellenőrzése esetében a méretezés alapjául szolgáló külső hőmérséklet értéke te: $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ez utóbbit a vizsgált folyamatok lassúsága magyarázza. A $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti középhőmérsékletű napok száma kevés és ezek nagyon ritkán alkotnak hosszabb, összefüggő időszakot. A nedvességfelvételhez, a gombásodás kialakulásához tehát egyszerűen nincs elegendő idő.

Magasabb külső hőmérséklet ($+5 \sim +10\text{ }^{\circ}\text{C}$) mellett a felület nedvességfelvételének, gombásodásának kockázata nő (!), mert a környezetből a helyiségbe belépő levegő abszolút nedvességtartalma nagyobb. Ezt a hatást - pontosabban: a nagyobb szellőzési hőigényt - a belső és külső hőterhelések ellensúlyozzák. (A hőterhelések szerepe viszonylagosan annál nagyobb, minél magasabb a külső hőmérséklet, azaz minél kisebbek a hőveszteségek.)

A méretezési állapot kiválasztását ezek a tények támasztják alá.

A méretezéshez ismernünk kell a határoló szerkezet rétegtervét, csomópontjait, az azok alapján számított felületi hőmérsékletet, sőt az épületre vagy helyiségre vonatkozó egyéb adatokat is. Ez utóbbiak közül az egyik a szellőző levegő térfogatárama. (Ennek mértékegysége célszerűen $\text{m}^3/\text{ó}$, szokásos a "légcsereszám" fogalmának használata is, amely a szellőző térfogatáram és a helyiségtérfogat hányadosa.) A másik fontos adat a helyiségen belüli nedvességfejlődés, mértékegysége célszerűen g/h . A nedvességfejlődés a rendeltetés szerű használat velejárója. Nyilvánvaló, hogy a túlzottan nagy nedvességfejlődés az állagkárosodás kockázatát növeli, jó ha erről az épület üzemeltetői, lakói tudnak, de az is természetes, hogy egy bizonyos érték alá a nedvességfejlődés nem szorítható, hiszen az már a rendeltetés szerű használat korlátozását jelentené.

Felületi páralecsapódás

A felületi páralecsapódás akkor lép fel, ha a felület hőmérséklete a harmatponti hőmérséklettel megegyezik, vagy alá csökken.

Más szavakkal: felületi páralecsapódás akkor alakul ki, ha a felületével azonos hőmérsékletű levegő relatív nedvességtartalma eléri a 100 %-ot.

Ha ismerjük a belső levegő hőmérsékletét és relatív nedvességtartalmát, akkor (az $i-x$ diagramból) azt is megtudjuk határozni, hogy mennyi a belső levegő abszolút nedvességtartalma (x g vízgőz 1 kg száraz levegőhöz). A kérdés (amely ugyancsak az $i-x$ diagram alapján válaszolható meg) ezek után az, hogy az adott x gramm abszolút nedvességtartalmú, a felülettel megegyező hőmérsékletű levegőnek mekkora a relatív nedvességtartalma. Ha a levegő abszolút nedvességtartalma nagyobb, mint amennyi azt

telítene (amennyi 100 %-os relatív nedvességtartalmat jelentene), a többlet nem marad a levegőben, gőzhalmazállapotban, a vízgőz a felületen kicsapódik.

A felületi páralecsapódás általában károsodáshoz vezet. Kivételt képeznek a nyílászárók belső felületei, ahol a páralecsapódás eltűrt jelenség és károsodást sem okoz, valamint egyes nagy nedvességterhelésű helyiségek határolószerveiteinek felületei, amelyeknek belső felületképzése eleve vízálló (pl. csempe, műanyag).

A görbéket állandó hőmérsékleten (általában 20 °C) veszik fel úgy, hogy az adott hőmérsékletű és relatív nedvességtartalmú levegőbe helyezett próbatestek egyensúlyi nedvességtartalmát mérik meg. (Ez azt jelenti, hogy bevárjuk amíg a próbatest tömege állandósul.)

A szorpciós izoterma vízszintes tengelyén a próbatesttel érintkező levegő relatív nedvességtartalma, a függőleges tengelyen az anyag (tömeg, vagy térfogatszázalékban kifejezett) nedvességtartalma szerepel.

A szorpciós izoterma görbéjének általában van egy inflexiós pontja, ahol a görbe meredeksége hirtelen megnő. Ez a pont jelzi a kapilláris kondenzáció kezdetét, amikor is a nedvesség már nemcsak a pórusok felületét borítja, hanem a kapilláris járatok teljes keresztmetszetét kezdi kitölteni. Ez az ún. kapilláris kondenzáció az építőipar szokványos anyagi esetében általában $\varphi = 75\%$ levegő relatív nedvességtartalom mellett alakul ki.

A másik nevezetes pont a $\varphi = 100\%$ relatív nedvességtartalom és az anyagnak az ahhoz tartozó telítési nedvességtartalma.

A penészképződés hő- és páratechnikai feltételei

A penészképződés feltételei a következők:

- spóra vagy más szaporodásra képes elem jelenléte a levegőben (szinte elkerülhetetlen),
- tápanyag jelenléte (ugyancsak szinte elkerülhetetlen),

- nedvesség jelenléte (az egyetlen tényező, amely épületszerkezeti és épületgépészeti eszközökkel befolyásolható).

Nem említettük a hőmérséklet- és fényviszonyokat. E tekintetben ugyan az egyes fajok válogatóságok, de bármilyen helyiséghőmérséklethez és megvilágításhoz találhatunk olyanokat, amelyek számára az megfelelő.

A nedvesség jelenléte azért döntő, mert a gombák a tápanyagokat csak vízben oldva képesek felvenni. Nedvességként a penészképződésnek szükséges előfeltétele a kapilláris kondenzáció létrejötte és huzamosabb fennállása.

A huzamosabb fennállás azt jelenti, hogy a tapasztalat szerint három-öt egymásra következő nap folyamán kell a kapilláris kondenzációnak fennállnia ahhoz, hogy a penészképződés folyamata beinduljon.

Ha a kapilláris kondenzációt megakadályozzuk, akkor a penészképződés kockázatát érdemben csökkentjük. A kapilláris kondenzáció megakadályozása végett a helyiségben olyan

légállapotot kell biztosítani, hogy még a felületi hőmérséklet mellett is teljesüljön a $\varphi < \varphi_{kk}$ feltétel. Ehhez az szükséges, hogy ne engedjük a helyiség levegőjének nedvességtartalmát egy bizonyos érték fölé nőni.

A helyiség nedvességmérlege

A helyiségben keletkező nedvesség döntő többségét a szellőző levegővel távolítjuk el. Van természetesen páradiffúzió is a határolószervezeten keresztül és annak ismerete nagyon fontos a keresztmetszetek állagvédelme szempontjából, a helyiség nedvességmérlegét illetően azonban a diffúzióval távozó mennyiség elhanyagolhatóan kicsiny.

Ezzel az elhanyagolással a helyiség nedvességmérlege: $W = m_t - m_b$ ahol

- W - a nedvességfejlődés, g/h ,
- m_t - a szellőző levegővel távozó nedvesség mennyisége, g/h ,
- m_b - a szellőző levegővel behozott nedvesség mennyisége g/h .

Bevezetve a vízgőz-koncentráció fogalmát: $W = Lc_t - Lc_b = L\Delta c$ ahol

- c - az egységnyi térfogatú levegőben lévő vízgőz mennyisége g/m^3 ,
- L - a szellőző levegő térfogatárama $m^3/ó$,

$$\Delta c = \frac{W}{L} \frac{g/h}{m^3/h} = g/m^3$$

értelemszerűen azt fejezi ki, hogy a helyiség átöblítése során mennyivel gyarapodott az egységnyi szellőző levegő térfogatáram nedvességtartalma: ez az elszállított mennyiség.

Megjegyzendő, hogy a szellőzést a levegő térfogatárama mellett az úgynevezett "légcsereszám" is szokták jellemezni. Ennek mértékegysége $1/ó$, azt fejezi ki, hogy időegység alatt hányszor cserélődik ki a helyiség térfogatában lévő levegő. Például $0,5/ó$ légcsereszám azt jelenti, hogy egy óra alatt a helyiségben lévő levegő felét cseréljük friss levegővel, ami pl. egy 60 térfogatú helyiségben $30 m^3/ó$.

Vegyük észre, hogy az állagvédelmi ellenőrzés szempontjából a helyiségből "éppen távozni készülő", c_t vízgőz-koncentrációjú levegő állapota a meghatározó, ugyanakkor az, hogy az egységnyi szellőző légáram mennyi nedvességet képes felvenni, ha c_t értéke felülről korlátozott, attól is függ, hogy mekkora a környezetből belépő levegő c_b nedvességtartalma. Magasabb külső hőmérséklet ($+5+10$ °C) mellett a felület nedvességfelvételének, gombásodásának kockázata nő (!), mert a környezetből a helyiségbe belépő levegő abszolút nedvességtartalma nagyobb. Ezt a hatást - pontosan: a nagyobb szellőzési hőigényt - a belső és külső hőterhelések ellensúlyozzák. (A hőterhelések szerepe viszonylagosan annál nagyobb, minél magasabb a külső hőmérséklet.)

A nedvességterhelés méretezési értékei

Lakások helyiségeire

A helyiség megnevezése	A nedvességterhelés átlaga	g/h csúcserő
Lakószoba	200	
Félszoba	120	
Konyha	250	600-1500
Fürdőszoba	250	700-2500

A források szerint

A forrás megnevezése	A nedvességterhelés
Ember kis intenzitású tevékenység mellett (g/h,fő)	50
Ember közepes intenzitású tevékenység mellett (g/h,fő)	150
Ember nagy intenzitású tevékenység mellett (g/h,fő)	250
Tus (g/h)	2500
Cserepes szobanövény (g/h,db)	5-15
Szabad vízfelszín (g/m ² h)	40
Egy adag (4,5 kg) száradó ruha centrifugálva (g/h)	50-200
Egy adag (4,5 kg) száradó ruha centrifugálás nélkül (g/h)	100-500

A kapilláris kondenzáció feltételei

Az eddigiekben röviden bemutattuk, hogy összefüggés van a t_e, φ_e külső légállapotjelzők, az egységnyi szellőző légárammal eltávolítható nedvesség mennyisége, Δc , valamint a t_i, φ_i belső légállapotjelzők között. Ugyancsak láttuk, hogy összefüggés van a belső felület hőmérséklete, t_w és az e hőmérsékleten megengedhető relatív nedvesség, valamint a t_i, φ_i belső légállapotjelzők között.

Az említett összefüggésekkel elvégzett számítások rendszerezett eredményeit az ábra görbeserege foglalja össze.

Az ábra arra az esetre vonatkozik, amikor $t_e = -5^\circ\text{C}$ és $\varphi_{kk} = 75\%$.

A $t_e = -5^\circ\text{C}$ a felületek állagvédelmi ellenőrzésének alapjául szolgáló külső hőmérséklet.

A $\varphi_{kk} = 75\%$ azt jelenti, hogy a belső felületképző rétegben a kapilláris kondenzáció (a penészesedés feltétele) akkor kezd kialakulni, ha a felülettel megegyező hőmérsékletű levegő relatív nedvességtartalma 75 % - az ismert felületképzésekre ez a számszerű érték jellemző.

A belső felület hőmérsékletének döntő szerepe van. Jellemzésére a sajátléptékben mért hőmérsékletet (t_w) használjuk. (Egyrészt azért, hogy az eredményeket ne kelljen minden egyes konkrét belső hőmérsékletre kidolgozni, másrészt azért, mert a hőhidak, csomópontok jellemzésére is eleve ezt az értéket használtuk.)

Ezek az értékek a görbék paraméterei.

Az ábra vízszintes tengelyén a belső hőmérséklet, függőleges tengelyén az egységnyi szellőző légárammal eltávolítható nedvesség mennyisége szerepel.

Az ábra értelmezése a következő: adott belső hőmérséklethez (t_i) és adott minőségű határolószerkezethez, csomópontokhoz (t_w) tartozik egy Δc érték, egységnyi szellőző légárammal legfeljebb ennyi nedvesség távolítható el a helyiségből úgy, hogy a belső felület

hőmérsékletén a levegő relatív nedvességtartalma legfeljebb 75 % legyen (azaz a kapilláris kondenzáció még éppen ne alakuljon ki).

Ha tudjuk, hogy Δc legfeljebb mekkora lehet, akkor azt is tudjuk, hogy legalább:

$$L = \frac{W}{\Delta c}$$

szellőző légáramra van szükség a helyiségben óránként fejlődő W mennyiségű pára eltávolításához.

Vegyük észre, hogy az ábra "több irányból is bejárható". Kereshetjük - mint az előbb - adott t_i és Θ_{sz} értékhez a megengedhető Δc értéket, abból W ismeretében L adódik. De kereshetjük adott t_i és Δc értékhez (az utóbbi W és L értékhez kötött) azt, hogy milyen minőségű (Θ_{sz}) határolószervezetre van szükség. Lehetőség van arra is, hogy adott Θ_{sz} és Δc értékhez megfelelő t_i belső hőmérsékletet keressünk. Hogy mit tekintünk adottságnak és mit változtathatónak, az a konkrét feladattól függ (például új szerkezetet tervezünk vagy meglévővel építünk). A lényeg csak az, hogy az egyes fizikai mennyiségek egymással összhangban legyenek.

A csomópontok minőségének szerepe

Minél jobb a csomópontok (azaz minél magasabb azok belső felületi hőmérséklete), annál nagyobb lehet az egységnyi szellőző levegővel elszállított vízgőz, Δc mennyisége (mert annál nagyobb nedvességtartalom engedhető meg a helyiség levegőjében).

Ez azt jelenti, hogy a csomópontok minősége nemcsak állagvédelmi, hanem energiatakarékosági szempontból is nagyon fontos.

A szellőző levegővel ugyanis mindig egy megadott nedvességterhelést kell a helyiségből elszállítani, azaz

$$L \Delta c = W$$

Ha Δc nagyobb lehet, akkor L kisebb lehet! Ha kevesebb szellőző levegőre van szükség, akkor csökken a levegő felmelegítéséhez szükséges

$$Q = L \rho c (t_i - t_e)$$

szellőzési hőigény is! A szellőzési hőigény például egy lakóépület esetében az összes hőigény kb. 40 %-a, a csökkenés tehát a teljes energiafogyasztást is számottevően érinti.

A belső hőmérséklet szerepe

Minél magasabb a belső hőmérséklet, annál nagyobb lehet az egységnyi szellőző légárammal elszállítható vízgőz mennyisége, Δc .

Ha a belső hőmérséklet t_i az egységnyi szellőző légáram által felvehető pára mennyisége Δc ,

$$L = \frac{W}{\Delta c}$$

akkor a szükséges légáram $L = \frac{W}{\Delta c}$ a szellőzési hőigény pedig $Q = L \rho c (t_i - t_e)$.

Egy magasabb t_i belső hőmérséklet esetén az egységnyi szellőző légárammal elszállítható pára mennyisége is nő: $\Delta c' > \Delta c$.

Emiatt a szükséges szellőző légáram $L = \frac{W}{\Delta t}$ kisebb lesz, a csökkenés pedig olyan mértékű, hogy még a nagyobb hőmérsékletkülönbség - $(t_i - t_e) > (t_i - t_e)$ - ellenére is a szellőzési hőigény az utóbbi esetben nem lesz nagyobb.

$L \propto (t_i - t_e) < L \propto (t_i - t_e)$ A hőmérsékletkülönbség növekedését a szükséges légáram csökkenése kompenzálja.

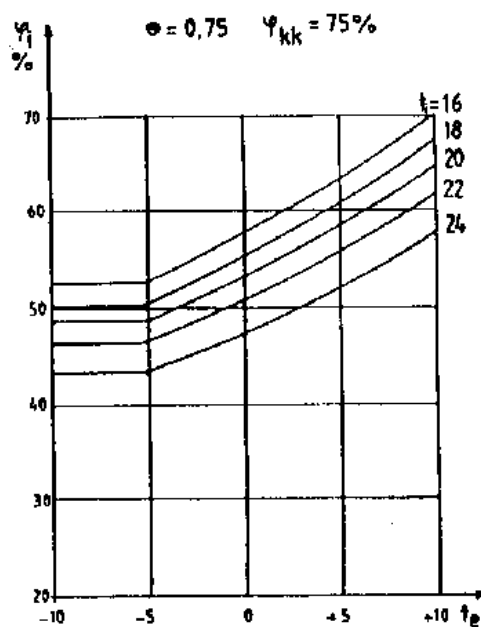
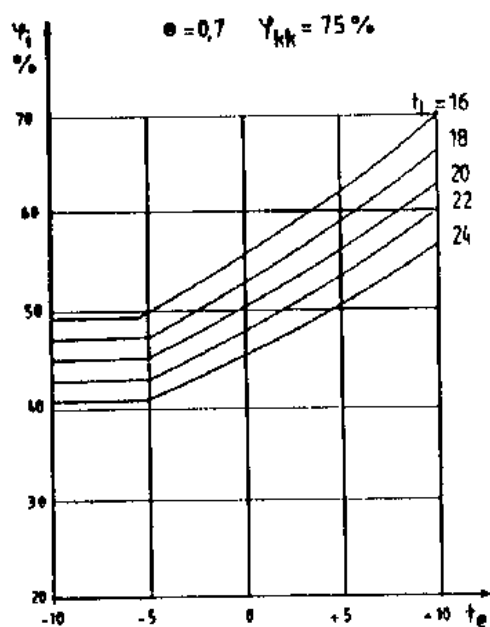
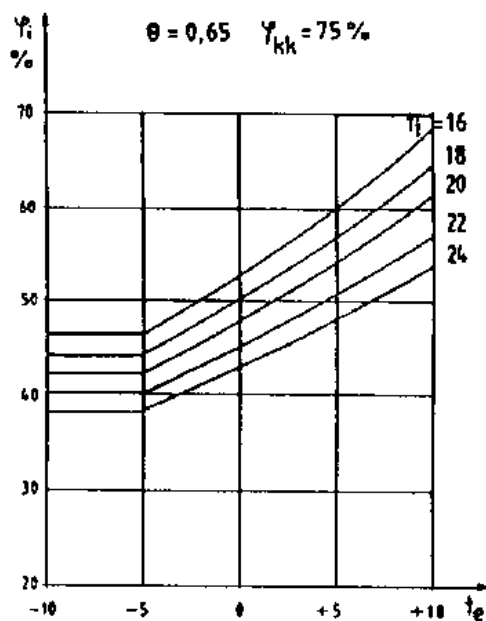
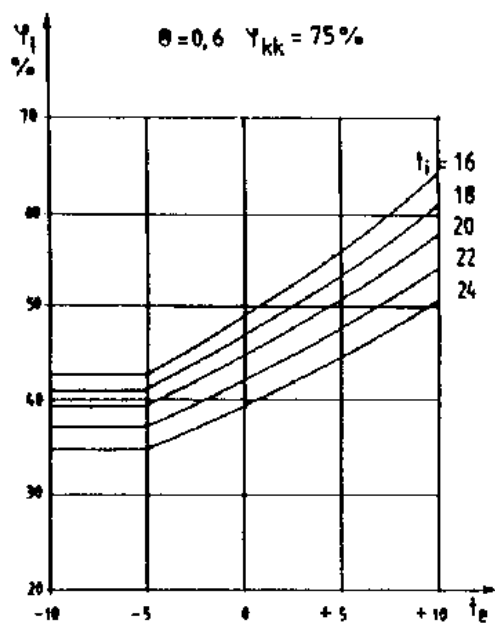
A helyiségben megengedhető légállapot

Az épület üzemeltetőinek, lakóinak olyan tájékoztató adatra van szükség, amely a helyes üzemeltetői, használói magatartásra nézve támpontot ad és egyszerűen, olcsón mérhető.

A korábbiakból már tudjuk, hogy egyértelmű összefüggés van a felületével azonos hőmérsékletű levegő relatív nedvességtartalma, valamint a belső levegő hőmérséklete és relatív nedvességtartalma között.

Megtehetjük tehát, hogy minden belső felületi hőmérséklethez és belső léghőmérséklethez kiszámítjuk, mekkora lehet a belső levegő relatív nedvességtartalma ahhoz, hogy a felületi hőmérsékletnél éppen 75 % legyen, ami a kapilláris kondenzáció határa. Ha a helyiség levegőjében az így számított relatív nedvességtartalmat tartósan nem lépjük túl, akkor állagvédelmi szempontból az üzemeltetés, a használat helyes.

A HELYSÉGEKBEN ÁLLAGVÉDELMI SZEMPONTBÓL MEGENGEDHETŐ LÉGÁLLAPOTOK



A helyiségben állagvédelmi szempontból megengedhető légállapotok

Minden egyes görbesereg egy-egy meghatározott, sajátléptékben kifejezett felületi hőmérséklethez (ϑ_{wf}) tartozik, ennek értékét az ábrán feltüntettük.

Míngegyik ábra olyan belső felületképzésre vonatkozik, amelynél a kapilláris kondenzáció $\varphi_{kk} = 75\%$ relatív nedvességtartalom mellett kezdődik (ami a felületivel azonos léghőmérséklet mellett értendő).

Az ábrák vízszintes tengelyén a külső hőmérséklet, függőleges tengelyén a belső levegő relatív nedvességtartalmának a megengedhető értéke szerepel. A görbék paramétere a belső hőmérséklet.

Ha adva van egy határolószerkezet és ismerjük a csomópontok környékén kialakuló belső felületi hőmérséklet (ϑ_{wf}), akkor ki tudjuk választani a megfelelő ábrát. Az ábrából leolvasható, hogy adott t_e és t_i mellett mekkora a belső levegő nedvességtartalmának az az értéke, amelynek tartós túllépése állagkárosodáshoz vezethet.

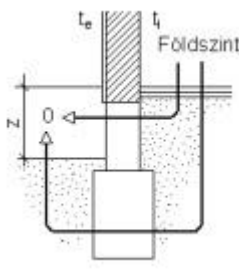
A $t_e < -5^\circ\text{C}$ külső hőmérsékletek tartományában az ábrákon vízszintes egyenes szakaszokat látunk. A korábbiaknak megfelelően itt azért nincs további korlátozás, mert az alacsony külső hőmérsékletek huzamos fennállásának valószínűsége elhanyagolhatóan kicsiny.

Lakott lakásokban hosszabb időn át végzett mérések tapasztalatai alapján a nedvességtartalom tartós túllépésének (azaz a penészképződés szempontjából veszélyes helyzetnek) az minősül, ha öt (vagy több) egymásra következő napon napi 12 vagy több órán keresztül léteznek a penészképződés feltételei (így elegendő idő áll rendelkezésre a gombák életfolyamatainak beindulására, illetve nincs idő az időszakos lecsapódás utáni kiszáradásra).

Nem szabad megfélekednünk arról, hogy a helyiségbe belépő szellőző levegő nedvességtartalma a külső hőmérséklettől függően változik. Ugyancsak természetszerű az, hogy a külső hőmérséklet függvényében a külső határolószerkezetek belső felületi hőmérséklete változik. Mindezek következtében a belső levegő relatív nedvességtartalmának megengedett értéke nem egy állandó szám, hanem a külső hőmérséklet függvényében változik.

Az ábrák alapján egyszerű és olcsó műszerekkel: hőmérővel és hajszálas nedvességmérővel ellenőrizhető, hogy a helyiség üzemeltetése, használata épületfizikai szempontból helyes-e, illetve hogy szükség van-e a fűtőtéljesítmény, a szellőztetési, használati szokások módosítására.

Az ábrák, valamint t_i és φ_i mérése alapján azt nem tudjuk megállapítani, hogy abszolút értéküket tekintve mennyi a helyiségben a nedvességfejlődés és a szellőző levegő térfogatárama, azt viszont ellenőrizni tudjuk, hogy ezek épületfizikai, állagvédelmi szempontból egymással összhangban vannak-e (figyelembe véve a többi adottságot - t_e , ϑ_{wf} - is).

	A padló szerkezet hővezetési ellenállása								
	$R = \frac{d}{\lambda} \text{ (m}^2 \text{K / W)}$								
A padló szint és a talaj szint közötti magasság- különbség z (m)	Szigete- letlen	0,20- -0,35	0,40- -0,55	0,60- -0,75	0,80- -1,00	1,05- -1,50	1,55- -2,00	2,05- -3,00	
-6,00	0	0	0	0	0	0	0	0	
-6,00...-4,05	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
-4,00...-2,55	0,40	0,40	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,30	
-2,50...-1,85	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,40	
-1,80...-1,25	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,45	
-1,20...-0,75	1,00	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,55	
-0,70...-0,45	1,20	1,05	1,00	0,95	0,90	0,80	0,75	0,65	
-0,40...-0,25	1,40	1,20	1,10	1,05	1,00	0,90	0,80	0,70	
-0,20...+0,20	1,75	1,45	1,35	1,25	1,15	1,05	0,95	0,85	
0,25...0,40	2,10	1,70	1,55	1,45	1,30	1,20	1,05	0,95	
0,45...1,00	2,35	1,90	1,70	1,55	1,45	1,30	1,15	1,00	
1,05...1,50	2,55	2,05	1,85	1,70	1,55	1,40	1,25	1,10	