

# Mehanizem prehoda toplote skozi konstrukcijske sklope v stavbah (1. del)

V zadnjem času smo priča poplavam informacij na temo pasivna hiša, nizkoenergijska hiša, eko hiša, bio hiša, naravni in bio materiali, toplotna zakasnitev, dušenje temperature, fazni zamiki, zadrževanje vlage, paropropustnost, odvajanje vlage skozi konstrukcijske sklope, slikoviti opisi dihanja sten, celo prezračevanje notranjih prostorov skozi paropropustne materiale kot sestavne dele konstrukcijskih sklopov sten in stropov ... Katere informacije so v pomoč investitorjem, samograditeljem in laikom? Katere karakteristike materialov in celotnih konstrukcijskih sklopov so pomembne za prehod toplote in vlage? Kje je resnica?

dr. Roman Kunič, univ. dipl. inž. grad., roman.kunic@alumni.clemson.edu

## Prehod toplote

Toplota je oblika energije, katera zaradi razlike v temperaturi prehaja iz enega telesa na drugo. O toploti govorimo, kadar imamo opravka s spreminjanjem notranje energije telesa. Ker je merilo za notranjo energijo temperatura, se z dovajanjem toplote (segrevanjem telesa) notranja energija in s tem temperatura povečuje, z odvajanjem toplote (ohlajanjem telesa) pa zmanjšuje. Če snov sprejme toploto, se poveča njena notranja energija, če snov odda toploto, se njena notranja energija zmanjša. Toplota je del notranje energije, ki se pretaka z mesta z višjo temperaturo na mesto z nižjo temperaturo. Z medsebojnimi trki molekul toplejši del oddaja, hladnejši del pa sprejema notranjo energijo. Skladno s prvim zakonom termodinamike je sprememba notranje energije toplotno izoliranega telesa enaka vsoti prejetega ali oddanega dela in toplote.

Da bi zagotovili primerne bivalne in delovne pogoje, želimo v stavbah porabiti čim manj energije. Za ta namen moramo celoten ovoj stavbe dobro toplotno zaščititi s primerno debelino toplotnoizolacijskega materiala, s pomočjo katerega bistveno zmanjšamo pretok in s tem izgube toplote.

## Kondukcija ali prevajanje

Pretežni del in na srečo tudi najlažje predstavljen prenos toplote se odvija skozi ovoj stavbe s prevajanjem ali kondukcijo, to je ob stiku toplejšega s hladnejšim telesom. Toplotni tok je tem manjši, čim manjša je toplotna prevodnost in čim večja je debelina določenega materiala ali konstrukcijskega sklopa. Oziroma drugače, če želimo zmanjšati toplotni tok iz notranjosti v zunanje okolje in obratno, stremimo predvsem k zmanjšanju toplotne prevodnosti in povečanju debeline snovi.

## Konvekcija ali prenos toplote z mešanjem plinov

Zaradi mešanja zračnih mas prihaja do prenosa toplote med trdnim telesom in plinom ter obratno. Torej toplota preide iz notranjega zraka na steno s konvekcijo, nato preko stene s kondukcijo in končno iz stene na zunanji zrak ponovno s konvekcijo.

## Radiacija ali elektromagnetno sevanje

Radiacijska ali sevalna toplota je tista, ki se prenaša med dvema telesoma, ki nista v neposrednem stiku. Prenos elektromagnetnega sevanja se

lahko odvija tudi brez medija - tudi po vakuumu. Sam mehanizem je težje predstavljen, a kljub temu ima velik vpliv na toplotno bilanco stavb. Naj naštejemo najpomembnejše: sončno sevanje, sevanje grelnih teles, sevanje razgretih protisončnih zaščit, radiacijsko podhlajevanje v nočnem času in podobno. Z radiacijo so povezani tudi primeri kondenzacije pod kritinami.

Vsi trije prenosni toplote so v tesni povezavi s človekovim toplotnim ugodjem. Kondukcija z dotikom hladnih površin, konvekcija z neugodjem ob močnem strujanju zraka (veter, ventilacija, preprih) in radiacijsko ohlajevanje proti hladnim površinam zunanjih sten ali steklenih površin ter radiacija v drugi smeri; grelna telesa sevajo in ogrevajo človeško telo. Zato toplotno ugodje

človeka še zdaleč ni odvisno samo od temperature zraka.

## Toplotna prevodnost

Toplotna prevodnost ima oznako ' $\lambda$ ' v Evropi in ' $k$ ' v Ameriki z izpeljano enoto W/(mK) in je snovna lastnost materiala, določena pri srednji delovni temperaturi (običajno 20 °C) in vlažnosti (na 50-odstotni zračni vlagi) materiala, ki pove, kolikšen toplotni tok preteče pri stacionarnih pogojih v 1 uri skozi material z debelino 1 m in površino 1 m<sup>2</sup> pri temperaturni razliki 1 stopinje Kelvina (K) v smeri pravokotno na mejno ploskev. Toplotna prevodnost za trdnine se v splošnem zelo malo spreminja, za pline in tekočine pa je zelo odvisna od temperature. Prav tako je toplotna prevodnost odvisna od stopnje vlage v materia-

## Primerjava toplotne prevodnosti toplotnoizolacijskih in drugih gradbenih materialov

Material	Toplotna prevodnost ' $\lambda$ ' [mW / (m K)]	Relativna primerjava toplotne prevodnosti glede na EPS [%]
Vakuum	0,0	-
Posebne vakuumске izolacijske plošče	5-7	16
Posebni plini (tehnični plini R132, R152..)	najmanj 8	22
Ogljikov dioksid (CO <sub>2</sub> )	16	43
Povsem mirujoč zrak	26 - 27	70
Neopor® - teoretično	najmanj 29	78
Neopor® - praktično (ali Fragmat EPS Super)	32	86
Stiropor - teoretično	34	92
Stiropor namenjen fasadam	37	100

Material	Toplotna prevodnost ' $\lambda$ ' [W/(m K)]	Relativna primerjava toplotne prevodnosti glede na EPS [v faktorju]
Stiropor namenjen fasadam	0,037	1 x
Lahki izolativni ometi	0,120	3,3 x
Lahki betoni, penjeni betoni	0,140	3,8 x
Porozna votličava opeka	0,230	6,2 x
Polna opeka	0,610	16,5 x
Beton, gostote 2400 kg/m <sup>3</sup>	2,040	55 x
Jeklo	58,000	1 500 x
Aluminij (Al)	203,000	5 500 x
Baker (Cu)	380,000	10 300 x

lu. Zelo pomembno pa je, da pri tem ločimo **volumsko od težnostne** stopnje vlage, kajti v primeru izolacijskih materialov, ki so lahki na enoto prostornine, visok odstotek težnostne vlage še ne pomeni veliko zmanjšanje izolativnosti, medtem ko že majhen odstotek volumske vlage zelo poslabša toplotno izolativnost.

Boljšo izolativnost izkazujejo materiali s čim manjšo vrednostjo toplotne izolativnosti ' $\lambda$ ', saj se v tem primeru prevaja manj wattov na dolžinski meter pri enotni razliki stopinje Kelvina. V preglednici je vrednost toplotne prevodnosti za mirujoči zrak okrog 0,027 W/(mK), kar predstavlja teoretično mejo za izolacijske materiale, v katerih se zadržuje zrak. Za še boljšo izolativnost bi potrebovali polnjenje z drugimi, bolj izolativnimi plini ali celo vakuumom. Pri tem pa nastopi največja težava; kako preprečiti izmenjavo teh plinov ali vakuuma z okoliškim zrakom? V praksi so toplotne prevodnosti izolacijskih materialov večje kot pri mirujočem zraku, saj k povečanju prevodnosti doprinejo tudi prevodnost toplote po vlaknih ali stenah celic izolacijskih materialov in predvsem prevodnost zaradi lokalnega sevanja znotraj samega materiala (topla površina v delcu materiala se ohlaja proti hladni). Nadaljnja izboljšanja toplotnoizolacijskih lastnosti materialov temeljijo ravno na tem mehanizmu (primer je BASF Neopor®).

Toplotna prevodnost je v splošnem odvisna od gostote materiala (ni v direktnem obratnem sorazmerju!), od oblike in velikosti celic ali vlaken, stopnje naravne vlažnosti (pri idealnih laboratorijskih pogojih je izolativnost lahko bistveno boljša!). Izolativnost izotropnih materialov je enaka ne glede na smer toplotnega toka, medtem ko predvsem vlaknasti materiali izkazujejo za približno četrtno slabše izolativne lastnosti v smeri vlaken, kakor pravokotno na vlakna. Slednje je vzrok, da so tako imenovane »lamele« slabše izolativne od običajnih plošč.

### Toplotna prestopnost

Toplotna prestopnost (oznaka ' $\alpha$ ' in enota W/(m<sup>2</sup> K)), opisuje toplotni tok, ki prestopa skozi mejno ploskev med tekočino (fluidom) in trdno snovjo na ploščinsko enoto in enoto temperaturne razlike. Toplotna prestopnost pove, kolikšen je toplotni tok, ki preide v 1 uri pri stacionarnih pogojih skozi 1 m<sup>2</sup> površine materiala v zrak, če je temperaturna razlika med zrakom in površino materiala 1 K. V skladu z mnogimi standardi privzamemo za izračun vrednosti na notranji strani 8 W/(m<sup>2</sup> K) in na zunanji strani 23 W/(m<sup>2</sup> K). Toplotna prestopnost je večja, v kolikor povečamo prehod toplote z učinkovanjem vetra, intenzivnejšim strujanjem zraka, večje višine stene, smeri prehajanja toplote (strop ali stena) in podobno.

### Toplotni upor

Toplotni upor (oznaka ' $R$ ' in enote (m<sup>2</sup> K)/W) ustreza padcu temperature med dvema obravnavanima mejnima ploskvama, ko skozi njih teče toplotni tok. Izolativnost je tem boljša, čim večji je toplotni upor. Upoštevamo tako vrednost toplotnega upora posameznih plasti materiala, sevanje toplote znotraj materiala, morebitno sevanje med plastmi konstrukcijskega sklopa in upor toplotne prestopnosti (konvekcije) na zunanji in notranji strani.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [W / (m^2 K)]$$

$d$  debelina posamezne plasti materiala v določenem konstrukcijskem sklopu [m],  
 $\lambda$  toplotna prevodnost materiala [W / (m K)].

$$R_t = R_{s,i} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{s,e} \quad [(m^2 K) / W]$$

$R_{s,i}$ ,  $R_{s,e}$  notranji oziroma zunanji upor toplotne prestopnosti [(m<sup>2</sup> K) / W],

$R_1$ ,  $R_2$ , ...,  $R_n$  toplotni upori posameznih slojev [(m<sup>2</sup> K) / W].

### Toplotna prehodnost

Za razliko od toplotne prevodnosti (' $\lambda$ '), ki je lastnost posameznega materiala, je toplot-

na prehodnost lastnost celotnega konstrukcijskega sklopa, sestavljenega lahko tudi iz več različnih materialov, vključno s toplotno prestopnostjo zaradi vpliva konvekcije in radiacije.

Toplotna prehodnost (oznaka ' $U$ ' in enota W/(m<sup>2</sup> K)) je celotna toplotna prehodnost, ki upošteva prehod toplote skozi element ovoja stavbe in vključuje prevajanje, konvekcijo in sevanje, označuje toplotni tok skozi konstrukcijo, pravokotno na ploskev, ki pri doseženem stacionarnem stanju prehaja skozi ploščinsko enoto, če je temperaturna razlika zraka na obeh straneh konstrukcije enaka enoti temperature, to je ena stopinja Kelvina. Z drugimi besedami: toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa pove, kolikšen toplotni tok preteče pri stacionarnih pogojih v 1 uri skozi 1 m<sup>2</sup> površine, če je temperaturna razlika zraka na obeh straneh sklopa 1 K.

$$U = \frac{1}{R_t} \quad [W / (m^2 K)]$$

$R_t$  skupni toplotni upor konstrukcijskega sklopa [(m<sup>2</sup> K) / W].

### Viri:

Spisek literature je dostopen pri avtorju članka.



Toplotna prehodnost je lastnost posameznega materiala, toplotna prehodnost pa je lastnost celotnega konstrukcijskega sklopa, ki je lahko sestavljen tudi iz več različnih materialov.