



Termotehnički sistemi

Prof. dr Maja Todorović

e-mail: mtodorovic@mas.bg.ac.rs



Uvodni pojmovi (1)

- Grejanje i klimatizacija su grane tehnike i naučne discipline koje se bave ostvarivanjem i održavanjem termički pogodnih uslova za boravak čoveka u zatvorenom prostoru.
- Za razliku od sistema grejanja koji ostvaruju funkciju zagrevanja prostora i delimičnog provetravanja, sistemi klimatizacije ostvaruju daleko veći broj funkcija u cilju postizanja uslova ugodnosti tokom cele godine. Osnovne funkcije klimatizacionih postrojenja su:
 - zagrevanje prostora u zimskom periodu;
 - hlađenje prostora u letnjem periodu;
 - ventilacija;
 - održavanje relativne vlažnosti vazduha: vlaženje vazduha u zimskom periodu i sušenje (odvlaživanje) u letnjem;
 - održavanje potrebnog nivoa čistoće vazduha.



Uvodni pojmovi (2)

- Energetska kriza 70-tih godina prošlog veka uticala je na celokupan život čoveka, pa i na sisteme grejanja i klimatizacije. Međutim, primena sistema u skoro svim sferama života nije zaustavljena, ali je došlo do modifikacije i razvoja novih tehničkih rešenja grejnih i klimatizacionih postrojenja. Osnovni cilj je da se projektuju i izvedu energetske efikasni sistemi grejanja i klimatizacije.
- Kako bi se pospešila efikasnost grejnih sistema, razvijani su niskotemperaturni sistemi panelnog grejanja, primena obnovljivih izvora (biomase, Solarne energije, kao i energije tla, podzemnih voda i spoljnog vazduha) i usavršeni su sistemi automatske regulacije rada sistema. U cilju štednje energije u klimatizacionim sistemima smanjen je broj izmena svežeg vazduha na sat, ali se tada javio problem lošeg kvaliteta vazduha u klimatizovanim prostorijama – *Sick Building Sindrom* (Razvoj: IAQ – *Indoor Air Quality*).



Odavanje toplote čoveka (1)

- U čovekovom telu se neprekidno odvijaju fizičko-hemijski procesi koji se nazivaju **metabolizam**. Pri tim procesima razvija se toplota koju čovek neprekidno mora da odaje okolini da bi ostvario stanje termičke ravnoteže, odnosno da bi održao stalnu temperaturu tela.
- Količina proizvedene i odate toplote zavisi od: fizičke aktivnosti, odevenosti, temperature okoline, pola, uzrasta, mase tela, psihičko-zdravstvenog stanja, aklimatizovanosti na podneblje, ishrane, individualnosti, itd.



Odavanje toplote čoveka (2)

Toplotu stvorenu metabolizmom čovek odaje okolini na više načina – to su tzv. mehanizmi odavanja toplote. Tako se razlikuje:

- **SUVA** (osetljiva, osetna) toplota, koju čovek odaje preko površine kože – konvekcijom, zračenjem i kondukcijom i
- **LATENTNA** (vlažna) toplota, koju čovek odaje oslobađanjem vlage putem disanja i znojenja.



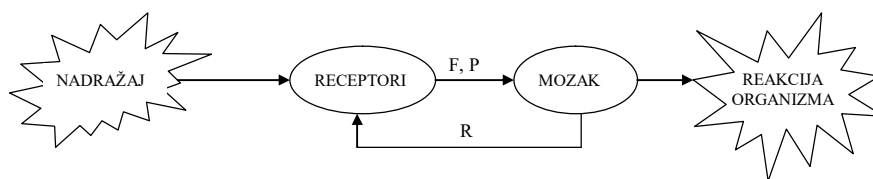
Odavanje toplote čoveka (3)

Prijem toplotnih nadražaja se odvija preko kože, koja predstavlja jedinstven omotač čovekove organske unutrašnjosti. U koži su smešteni termo-receptori, koji primaju toplotni nadražaj, transformišu ga u seriju nervnih impulsa koji se prenose nervnim sistemom do mozga. Primljena informacija se prosleđuje do hipotalamusa, centra koji predstavlja osnovni regulator telesne temperature. Nakon obrađene informacije, javlja se odgovor na nadražaj okoline u vidu odgovarajuće reakcije. Međutim, pored fiziološke komponente F, reakcija organizma određena je i psihološkom komponentom P, kao i povratnim dejstvom R.



Odavanje toplote čoveka (4)

Reakcija organizma na toplotne nadražaje



Odavanje toplote čoveka (5)

Na odavanje toplote čoveka utiču dve vrste parametara, a to su:

Uticaj sredine – TERMIČKI PARAMETRI SREDINE

- temperatura vazduha (θ_a),
- temperatura okolnih površina (θ_{is}),
- realtivna vlažnost vazduha (φ) i
- brzina strujanja vazduha (w)

Lični (subjektivni) uticaji

- stepen fizičke aktivnosti,
- odevenost,
- zdravstveno stanje,
- uzrast (starosna dob),
- pol,
- telesna težina, itd.
- Najznačajniji lični uticaji su stepen fizičke aktivnosti i odevenost.



Temperatura vazduha

Temperatura vazduha utiče na odavanje suve toplote *konvekcijom*, proporcionalno razlici temperatura tela i vazduha:

$$Q_{konv} = A_{Du} \cdot f_{cl} \cdot \alpha_c (\theta_{cl} - \theta_a)$$

gde su:

- Q_{konv} – toplota koju čovek odaje konvekcijom,
- A_{Du} – spoljna površina telesnog omotača (prema Dubois-u),
- f_{cl} – stepen odevenosti koji predstavlja odnos površine odevenog tela prema površini nagog tela,
- α_c – koeficijent prelaza toplote sa površine odeće na vazduh,
- θ_{cl} – temperatura površine odeće i
- θ_a – temperatura okolnog vazduha.

Za čoveka prosečne visine ($h = 1,73\text{m}$) i težine ($m = 70\text{ kg}$) vrednost spoljne površine telesnog omotača iznosi $A_{Du} = 1,8\text{ m}^2$.



Suvo odavanje toplote

Zbog lakšeg definisanja ovog načina prenosa toplote uvedena je veličina:

bezdimenzionalni otpor prenosu toplote kroz odeću R_{cl} ,

kao odnos ukupnog otpora prolazu toplote sa površine kože do spoljne površine odeće prema toplotnom otporu odeće od $0,155\text{ m}^2\text{K/W}$.

Jedinica ovog bezdimenzionalnog otpora prolazu toplote kroz odeću odgovara:

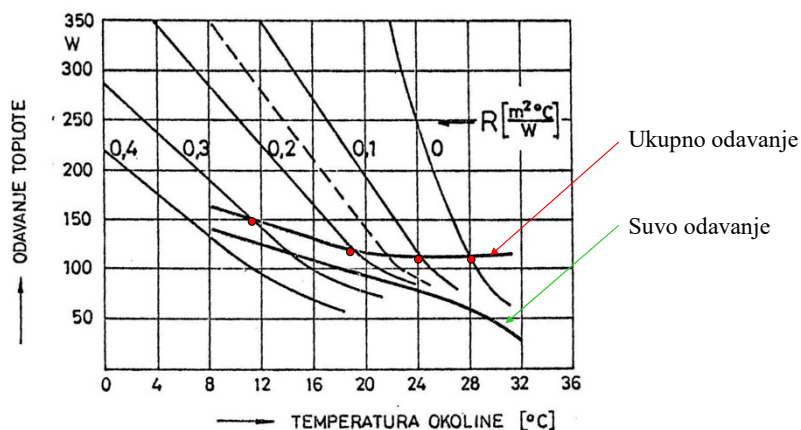
$1\text{ clo} \rightarrow 0,155\text{ m}^2\text{K/W}$.

Mera odevenosti

| Vrsta odeće | R_{cl} (clo) | f_{cl} (-) |
|--|----------------|--------------|
| Naga osoba | 0,0 | 1,00 |
| Šorts | 0,1 | 1,01 |
| Veoma laka odeća (šorts, laka košulja – kratak rukav, lake pamučne čarape i sandale) | 0,3-0,4 | 1,05 |
| Laka radna odeća (laki pamučni donji veš, tanke pantalone, pamučna košulja, pamučne ili vunene čarape i lake cipele) | 0,6 | 1,10 |
| Tipično poslovno odelo (Pamučni donji veš, košulja, pantalone, sako, kravata, čarape i cipele) | 1,0 | 1,15 |
| Tipično poslovno odelo sa lakim kaputom | 1,5 | 1,15 |
| Teška vunena odeća sa jaknom (polarna) | 3,0-4,0 | 1,30-1,50 |

Uticaj odevenosti

Odavanje toplote čoveka u zavisnosti od odevenosti i temperature vazduha





Latentno odavanje toplote

Latentno odavanje toplote (vlage) čoveka odvija se putem *disanja* i *znojenja*.

Disanjem, vodena para sa sluzokože disajnih organa prenosi se na udahnut vazduh, koji se u plućima dodatno obogaćuje vodenom parom. Izdisanjem, vazдушna masa struji kroz respiratorni trakt, gde se određena količina pare kondenzuje i vraća telu.

$$Q_{ld} = f(m_d, x_{iz}, x_{ud})$$

Prilikom **znojenja** se takođe odaje latentna toplota. Jedan deo te toplote se odaje usled difuzije vodene pare kroz kožu i proporcionalan je razlici pritiska zasićenja vodene pare na temperaturi kože i parcijalnog pritiska vodene pare u vazduhu:

$$Q_{lz, dif} = f(p_s, p_d)$$



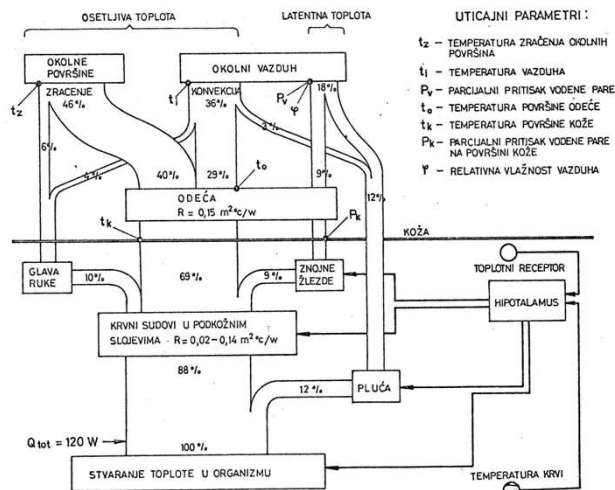
Mera fizičke aktivnosti

Kao mera fizičke aktivnosti čoveka uvedena je jedinica *met* i ona odgovara odavanju toplote čoveka od 58,2 W/m² površine tela.

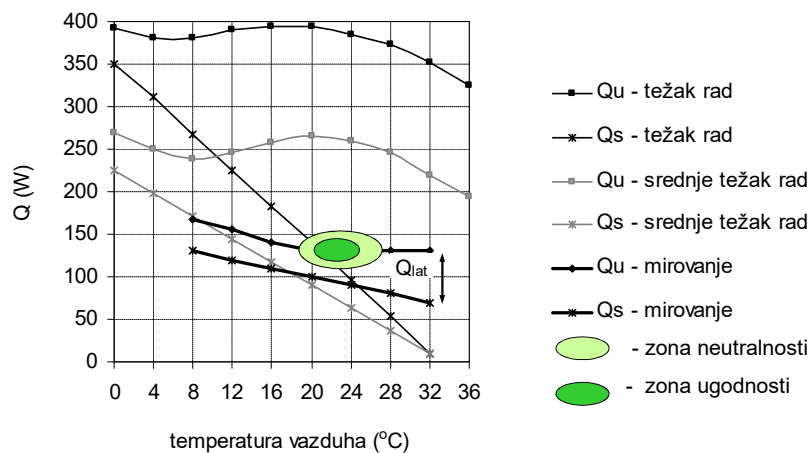
| Aktivnost | Odavanje toplote | |
|---------------------------|------------------|-----------|
| | met | W |
| spavanje | 0,7 | 75 |
| sedenje | 1,0 | 105 |
| hodanje brzinom 3,2 km/h | 2,0 | 210 |
| hodanje brzinom 6,4 km/h | 3,8 | 400 |
| kancelarijski rad | 1,0 – 1,4 | 105 – 150 |
| spremanje kuće | 2,0 – 3,4 | 210 – 355 |
| plesanje | 2,4 – 4,4 | 250 – 460 |
| košarka | 5,0 – 7,6 | 580 – 800 |
| maksimalna (kratkotrajna) | 11,5 | 1200 |



Šema odavanja toplote čoveka



Odavanje toplote čoveka u zavisnosti od temperature vazduha i aktivnosti





Temperatura okolnih površina

Temperatura okolnih površina (unutrašnje površine zidova, prozora, poda i tavanice) utiče na razmenu toplote zračenjem. Toplota razmenjena zračenjem proporcionalna je razlici četvrtih stepena apsolutne temperature tela i srednje vrednosti temperature okolnih površina:

$$Q_R = A_{ef} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot [(T_{body})^4 - (T_{is})^4]$$

gde su:

A_{ef} – efektivna površina zračenja (m^2),

f_{ef} – efektivni faktor zračenja površine koji predstavlja odnos između efektivne površine odeće i ukupne spoljne površine odeće, zavisi od položaja tela,

ε – koeficijent emisije zračenja spoljne površine odeće,

σ – Štefan-Bolcmanova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m^2K^4),

T_{body} – temperatura tela (K),

T_{is} – temperatura okolnih površina (K).



Rezultujuća temperatura

Mada temperatura vazduha i temperatura okolnih površina utiču na različite mehanizme odavanja toplote čoveka, s obzirom da se radi o istim fizičkim veličinama, uvedena je **rezultujuća temperatura** koja objedinjuje obe ove karakteristične temperature.

$$\theta_{rez} = A \cdot \theta_a + B \cdot \theta_{is}$$

Različiti autori navode različite vrednosti konstanti A i B. Najčešće se smatra da su sličnog uticaja pa se usvaja $A=B=1/2$. Generalni je stav da što je niža srednja temperatura okolnih površina, potrebna je viša temperatura vazduha (i obrnuto) za isti osećaj ugodnosti. Najbolje je kada su obe karakteristične temperature približno jednake.

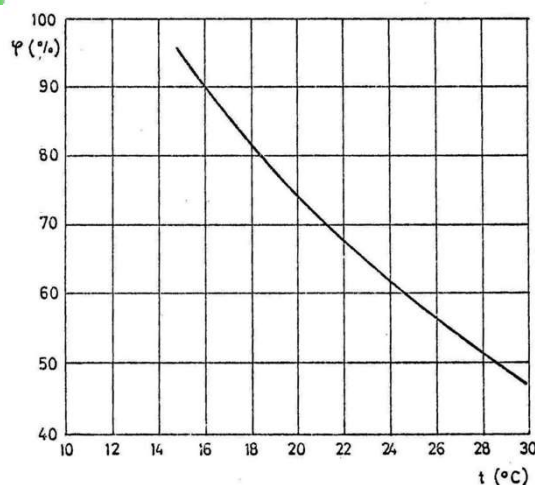


Relativna vlažnost vazduha

- Relativna vlažnost vazduha utiče, pre svega, na odavanje latentne toplote. Odavanje latentne toplote čoveka proporcionalno je razlici parcijalnog pritiska zasićenja za temperaturu površine tela i parcijalnog pritiska vodene pare u okolnom vazduhu. Naime, uobičajeno se smatra da je vazduh u neposrednom dodiru sa površinom kože, usled znojenja čoveka, primio maksimalno moguću količinu vodene pare, tj. da je zasićen.
- Uticaj relativne vlažnosti na osećaj ugodnosti čoveka treba posmatrati u "sadejstvu" sa temperaturom vazduha. Pri visokim temperaturama visoka relativna vlažnost nije dobra jer onemogućava odavanje latentne toplote (znojenjem) što je najvažniji način hlađenja tela pri visokom temperaturama okoline



Dozvoljene vrednosti relativne vlažnosti u funkciji temperature



Komforna klimatizacija

(30) $35 \leq \varphi \leq 65$ (70) %



Brzina strujanja vazduha

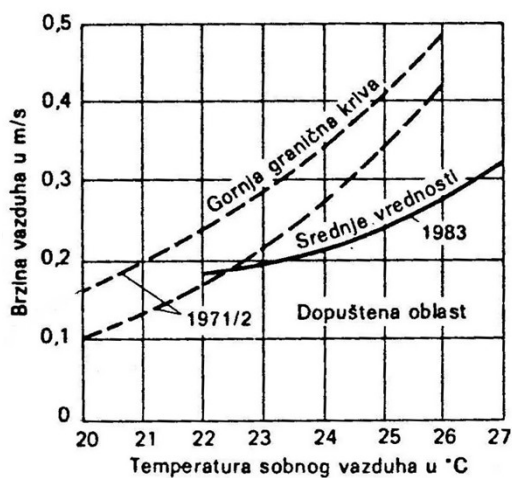
Brzina strujanja vazduha utiče na prenos toplote **konvekcijom** i odavanje latentne toplote. Povećanjem brzine kretanja vazduha raste koeficijent prelaza toplote, pa se time povećava i količina toplote predata konvekcijom.

Takođe, intenzivira se i odavanje **latentne toplote** jer se pri većoj brzini vazduha pospešuje isparavanje sa kože time što se zasićen vazduh koji je u dodiru s površinom kože brže odvodi a na njegovo mesto dolazi okolni suvlji vazduh.

Veće brzine vazduha mogu izazvati neprijatan osećaj naročito kada se radi o struji hladnog vazduha. Zbog toga se propisuju maksimalne brzine strujanja vazduha u zoni boravka ljudi



Dozvoljene brzine strujanja





Unutrašnja projektna temperatura (1)

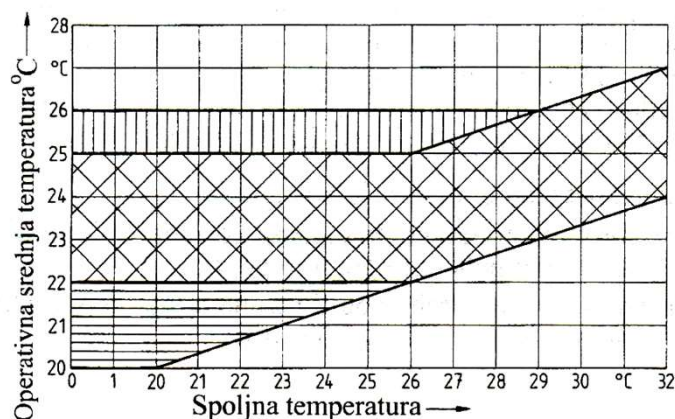
- Unutrašnja projektna temperatura se određuje prema nameni prostorija.
- Namena prostorije govori o tome kojom se aktivnosti bave ljudi u određenoj prostoriji i kakva je njihova odevenost.
- Pod unutrašnjom projektnom temperaturom se obično podrazumeva temperatura vazduha merena u sredini prostorije na određenoj visini od poda, praktično u zoni boravka ljudi (kod nas – na polovini visine). Termometar kojim se meri temperatura vazduha mora biti zaštićen od uticaja zračenja.
- Međutim, danas postoje tendencije da se unutrašnja projektna temperatura računa kao rezultujuća temperatura – što više odgovara uslovima ugodnosti (operativna temperatura). Unutrašnja projektna temperatura ima različite vrednosti za zimski i letnji period za istu prostoriju u zgradi.



Unutrašnja projektna temperatura (2)

- Tokom zimskog perioda (trajanja grejne sezone) odevenost ljudi je prilagođena spoljnim uslovima, a tokom boravka u zatvorenom prostoru uglavnom ima vrednost koja odgovara približno 1 clo.
- Za letnji period, kada je potrebno hlađenje prostora, unutrašnja projektna temperatura ima višu vrednost, u odnosu na period grejanja, i takođe je prilagođena spoljnim uslovima i manjom odevenošću koja se kreće oko vrednosti od 0,5 clo.
- Za stambene i poslovne objekte uobičajena vrednost unutrašnje projektne temperature za period grejanja i za naše klimatsko podneblje, kreće se od 18 do 22°C.
- Za letnji period vrednost unutrašnje projektne temperature kreće se u opsegu od 22-27°C, što je uslovljeno namenom prostorije, ali i kretanjem spoljne temperature vazduha.

Granice unutrašnje temperature vazduha u prostoriji



Model toplotne ravnoteže (1)

- Prema standardu SRPS EN ISO 7730 uvode se indeksi kojima se ocenjuje ugodnost boravka u prostoriji.
- **PMV indeks** (engl. *Predicted Mean Vote*) predviđa kako će grupa ljudi oceniti ugodnost boravka u prostoriji.
- Kod određivanja PMV indeksa fiziološki odziv termoregulationog sistema osobe povezan je sa statističkim vrednovanjem termičke ugodnosti glasovima prikupljenim od najmanje 1300 ispitanika.
- Njegovo predviđanje je relativno složen matematički postupak, koji se sprovodi prema jednačinama datim u pomenutom standardu.
- Jednostavniji način određivanja PMV indeksa je očitavanjem vrednosti iz tablica za relativnu vlažnost vazduha 50% i različite temperature vazduha, brzine strujanja, nivoa fizičke aktivnosti i odevenosti.

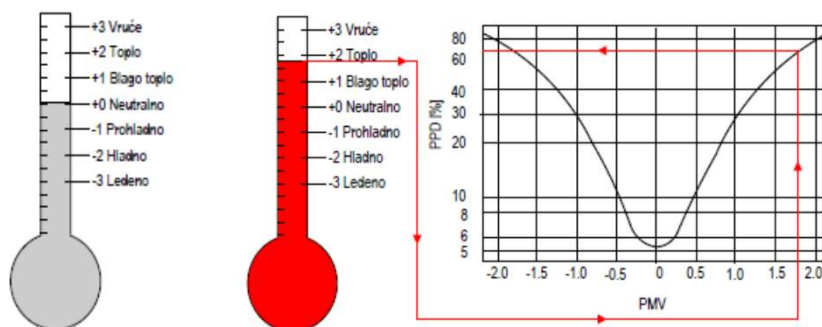
Model toplotne ravnoteže (2)

- Nivo ugodnosti vrednuje se na skali od 7 tačaka. Grupa ispitanika određuje brojevima na skali od -3 do +3 svoj subjektivan osećaj termičke ugodnosti. Osobe koje su se izjasnile brojevima ± 2 ili ± 3 spadaju u grupu nezadovoljnih stanjem u prostoriji.
- Kada je poznat PMV indeks, moguće je odrediti PPD (engl. *Predicted Percentage of Dissatisfied*) indeks koji predviđa procenat nezadovoljnih osoba u nekoj prostoriji. Određuje se pomoću jednostavnog matematičkog izraza kao funkcija od PMV indeksa:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)} [\%]$$

Model toplotne ravnoteže (3)

Skala ugodnosti prema PMV i međusobna zavisnost PMV i PPD indeksa






Model toplotne ravnoteže (4)

Tabela pokazuje različite kategorije termičkog komfora prema kriterijumima PMV i PPD indeksa, kao i oblast temperature vazduha tokom zimskog i letnjeg perioda

| Kategorija | Kriterijum ugodnosti | | Raspon osetne temperature | |
|------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | PPD [%] | PMV [-] | Zima (1,0 clo i 1,2 met) [°C] | Leto (0,5 clo i 1,2 met) [°C] |
| A | < 6 | $-0,2 < PMV < +0,2$ | $22 \pm 1,0$ | $24,5 \pm 1,0$ |
| B | < 10 | $-0,5 < PMV < +0,5$ | $22 \pm 2,0$ | $24,5 \pm 1,5$ |
| C | < 15 | $-0,7 < PMV < +0,7$ | $22 \pm 3,0$ | $24,5 \pm 2,5$ |



Klimatske karakteristike podneblja

- Postrojenja za grejanje i klimatizaciju podešavaju se prvenstveno uslovima ugodnosti ljudi pa je, prema tome, čovek osnovni faktor od koga zavisi i veličina postrojenja i njegove karakteristike.
- Međutim, ako je čovek osnovni činilac, spoljna klima sa svojim meteorološkim parametrima, uz termičke karakteristike objekta, je svakako **najuticajniji** faktor.
- Klima bitno varira od mesta do mesta, utiče direktno na investicione i eksploatacione troškove postrojenja, pa je zato važno da tu oblast inženjeri poznaju, da bi bili u stanju da uticaj klime uzmu u obzir na odgovarajući način.



Šta remeti termičke uslove sredine?

Spoljni meteorološki parametri – "spoljna" klima, koja se definiše preko sledećih osnovnih parametara:

- Temperatura spolnog vazduha t_s ,
- Vlažnost vazduha φ ,
- Brzina vetra w ,
- Sunčevo zračenje – insolacija.

Osim navedenih, tu su još: oblačnost, visina oblaka, vazdušni pritisak i padavine. Meteorološki parametri spoljne klime su promenljivi, kako tokom dana tako i u toku godine, i značajno zavise od karakteristika posmatrane lokacije, kao što su:

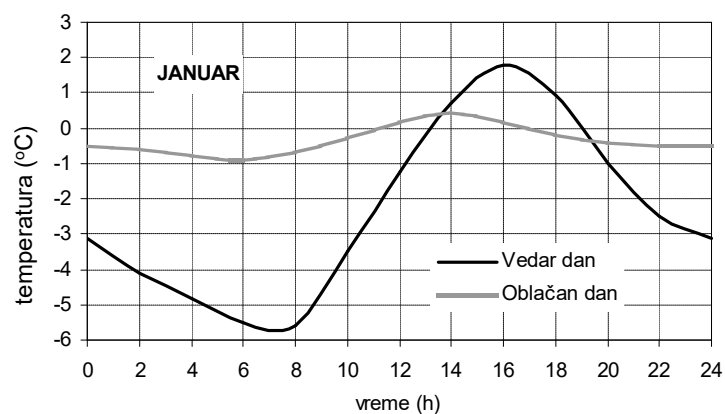
- geografska širina,
- nadmorska visina i
- konfiguracija terena (zaklonjenost, blizina vodenih površina, itd.)



Temperatura spolnog vazduha (1)

- Temperatura spolnog vazduha je sa aspekta grejanja najuticajniji parametar.
- Spoljni vazduh zagreva energija Sunčevog zračenja, indirektno preko površinskih slojeva zemlje.
- S obzirom na promenu uslova zračenja Sunca, usled rotacije i kretanja Zemlje oko Sunca, vrednosti temperature vazduha se periodično menjaju u toku dana i godine. Ta periodičnost promene može često da varira usled promene oblačnosti, promene količine padavina, kao i mešanja vazdušnih masa različitih temperatura.
- U meteorološkim osmatranjima posebno se mere i izračunavaju srednje dnevne temperature, max i min. dnevne temperature, srednje mesečne, srednje godišnje, kao i maksimalne odnosno minimalne godišnje temperature.

Dnevna promena temperature



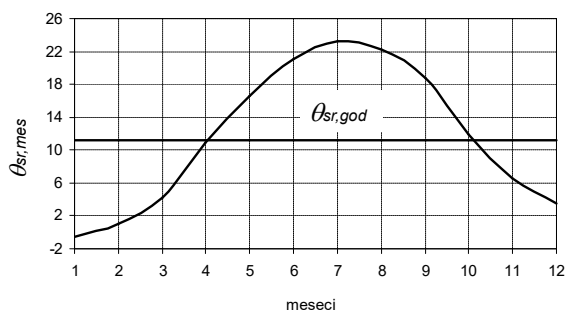
Srednje temperature

Srednja mesečna temperatura:

$$\theta_{sr,mes} = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_{m,i}}{n}$$

Srednja godišnja temperatura:

$$\theta_{sr,god} = \frac{\sum_{i=1}^{12} \theta_{sr,mes,i}}{12}$$





Godišnja promena temperature

- Godišnja promena temperature određuje dužinu grejnog perioda, odnosno broj radnih dana sistema za grejanje.
- Spoljna temperatura vazduha u korelaciji sa dužinom grejnog perioda utiče na godišnju potrebnu toplotu za grejanje, a time i na potrošnju goriva (eksploatacione troškove).
- Granice perioda grejanja određene su onom srednjom dnevnom temperaturom pri kojoj treba početi, odnosno prekinuti sa grejanjem. Temperatura granice grejanja je u vezi sa uslovima ugodnosti ljudi i iznosi 12°C.
- Prema tome, grejni period nekog mesta obuhvata broj dana čije su srednje dnevne temperature niže od temperature granice grejanja.



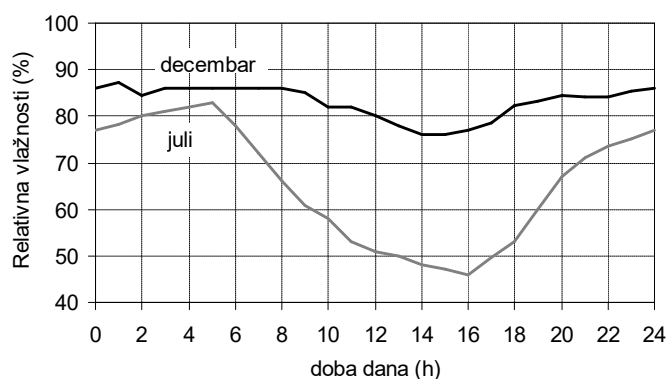
Vlažnost spoljnog vazduha

- **Vlažnost spoljnog vazduha** neprekidno varira u zavisnosti od količine vodene pare koja isparava sa površine zemlje.
- Pri višim temperaturama vazduha on može da primi više vlage, pa sa povećanjem sadržaja vlage raste i parcijalni pritisak vodene pare p_d , sve do dostizanja pritiska zasićenja p_s na posmatranoj temperaturi.
- Kada je dostignut $p_s(t)$ tada vazduh na posmatranoj temperaturi sadrži maksimalnu količinu vodene pare, i tada je vrednost relativne vlažnosti 100%. Dakle, relativna vlažnost vazduha se definiše kao:

$$\varphi = \frac{p_d}{p_s}$$



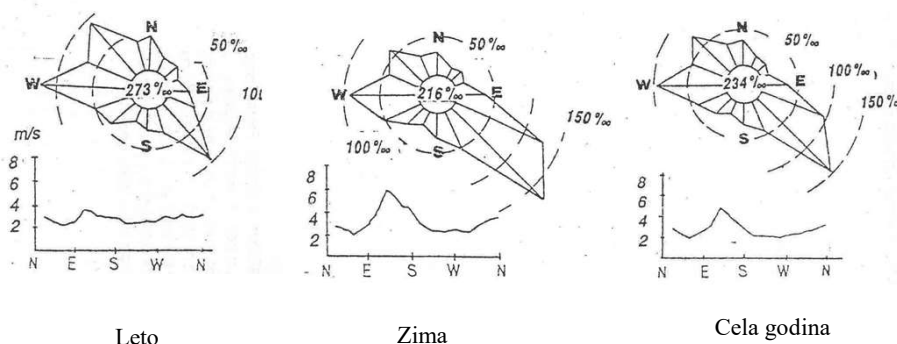
Dnevni tok relativne vlažnosti



Brzina vetra

- **Brzina vetra** je stohastička veličina. U atmosferi, usled nejednakog zagrevanja zemljine površine dolazi do stvaranja temperaturskih razlika i razlika pritiska u susednim vazдушnim masama, što prouzrokuje njihovo kretanje u svim pravcima. Strujanje vazduha u pretežno horizontalnom pravcu naziva se vetar, koji predstavlja meteorološki element definisan pravcem i brzinom strujanja.
- Statističkom obradom podataka došlo se do dijagrama koji se naziva RUŽA VETROVA, dge se prikazuje pravac i učestanost. Pravac je predstavljen u obliku duži koja je u srazmeri sa učestanošću duvanja i ima odgovarajući pravac prema strani sveta. Uz ružu vetrova daje se i dijagram sa prosečnim brzinama vetra za različite pravce. U centralnom krugu, u promilima, upisan je podatak o trajanju tišine, tj. o dužini perioda bez vetra.

Ruža vetrova



Sunčevo zračenje (1)

- Sunce zrači energiju kao crno telo čija je temperatura površine 6000°C , dok je u centru Sunca, prema teorijskim proračunima, temperatura reda veličine $40 \cdot 10^6^{\circ}\text{C}$.
- Sunčevo zračenje na ulazu u Zemljinu atmosferu nazivamo **ekstraterestijalnim** zračenjem. Kako se udaljenost Zemlje od Sunca menja tokom godine i ekstraterestijalno zračenje (iradijansa) se menja od najmanje vrijednosti 1321 W/m^2 do najveće 1412 W/m^2 .
- Ekstraterestijalno zračenje za srednju udaljenost Zemlje od Sunca naziva se Sunčeva (Solarna) konstanta. Svetska meteorološka organizacija je 1981. godine standardizovala Sunčevu konstantu čija vrednost iznosi $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$.
- Na putu kroz zemljinu atmosferu Sunčevo zračenje slabi zbog sudaranja zraka sa česticama prašine i zbog apsorpcije od strane troatomnih i višeatomnih molekula gasova.



Sunčevo zračenje (2)

- Sunčevo zračenje koje dospeva na zemljinu površinu sastoji se od **direktnog i difuznog**:

$$I_{uk} = I_{DIR} + I_{dif}$$

- Ako se posmatra ukupno Sunčevo zračenje koje dospeva na horizontalnu površinu, onda se ono još naziva **globalno** zračenje.

$$I_{uk,HOR} = I_{GL}$$

- Intenzitet Sunčevog zračenja na površini Zemlje zavisi od geografske širine i nadmorske visine za određenu lokaciju, a takođe se menja tokom dana i tokom godine.

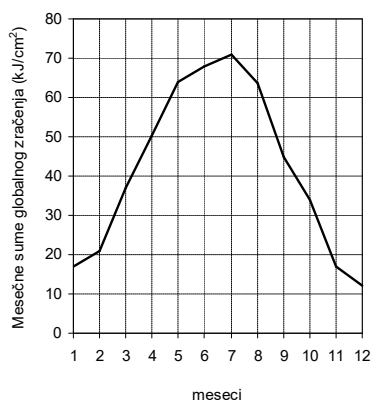


Sunčevo zračenje (3)

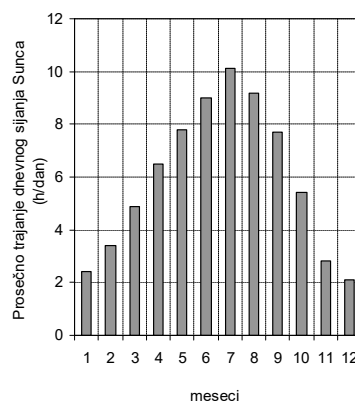
- Zbog deklinacije Zemlje (ugla nagiba ose rotacije Zemlje u odnosu na putanju oko Sunca) tokom godine se menjaju uglovi položaja Sunca na nebu, kao i putanja Sunčevih zraka do površine Zemlje.
- Samim tim, značajno se razlikuje intenzitet Sunčevog zračenja leti i zimi.
- Sunčevo zračenje koje dospe na površinu fasadnog zida zgrade zagreva ga, na taj način smanjujući količinu toplote koju treba zimi dovesti za grejanje.
- S druge strane, Sunčevo zračenje značajno doprinosi toplotnom opterećenju prostorija u zgradi tokom letnjeg perioda, posebno komponenta koja potiče od prodora Sunčevih zraka kroz transparentni deo omotača.



Sunčevo zračenje (4)



Srednje mesečne sume globalnog zračenja Sunca u Beogradu



Prosečno trajanje dnevnog sisanja Sunca za Beograd



Spoljna projektna temperatura (1)

Grejanje zgrada počinje kada spoljna temperatura padne ispod neke određene granice, koju obično nazivamo temperaturom **granice grejanja** (θ_{gg}). Koja će to temperatura biti zavisi od:

- termičkih karakteristika objekta i
- individualnih zahteva korisnika.

Za **spoljnu projektnu temperaturu** t_{sp} nekog mesta ne uzima se najniža temperatura koja se javila u nekom periodu u posmatranom mestu, jer se ona javlja jako retko i kratko vremenski traje. Postrojenje za grejanje, koje bi bilo projektovano na osnovu takvog **apsolutnog** minimuma, bilo bi predimenzionisano – investiciono skupo i eksploataciono neekonomično, jer bi jako retko radilo punim kapacitetom. Zato se za vrednost spoljne projektne temperature usvaja neka viša vrednost, ali „**dovoljno niska**“.

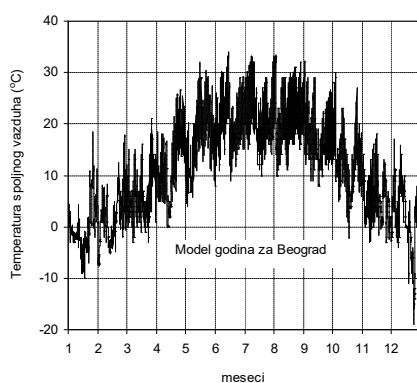


Spoljna projektna temperatura (2)

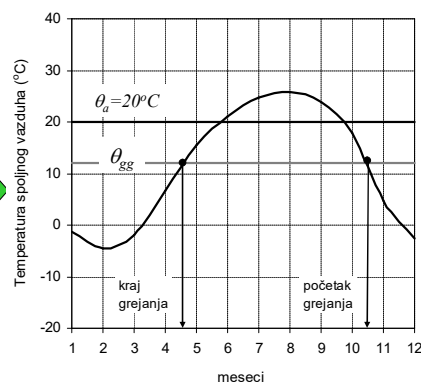
- Kada je $\theta_s > \theta_{sp}$ – sistem mora da zadovolji ostvarivanje željene unutrašnje temperature;
- Kada je $\theta_s < \theta_{sp}$ – sistem ne mora da održava željenu unutrašnju temperaturu, ali obično može – forsiranim radom, bez noćnog prekida.



Spoljna projektna temperatura (3)



*Tok spoljne temperature prema
Model godini za Beograd*



*Granica grejanja i dužina trajanja
grejne sezone*

Metode za određivanje spoljne projektne temperature (1)

- Postoji više grupa metoda za određivanje spoljne projektne temperature. One se uglavnom zasnivaju na statističkoj obradi spoljnih temperatura u dužem vremenskom periodu – 20 godina ili duže od toga. Ovde će biti reči o 3 različite grupe metoda za određivanje θ_{sp} :
- I GRUPA → *Metode na bazi različitih kombinacija minimalnih godišnjih temperatura.*
- II GRUPA → *Metode na bazi časovnih vrednosti spoljne temperature.*
- III GRUPA → *Metode na bazi dinamičkog ponašanja zgrada u termičkom smislu.*

I GRUPA

1.
$$\theta_{sp} = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_{GOD,min,i}}{n}$$
 , gde je n – broj godina (20, 30...)

Po ovoj metodi je definisana spoljna projektna temperatura po ranijem Nemačkom normativu 4701, da bi u danas važećem normativu uveo novi način njenog određivanja.

2. Formula Rusa Čaplina

$$\theta_{sp} = 0,4 \cdot \theta_{sr,mes} + 0,6 \cdot \theta_{aps,min}$$

gde su:

$\theta_{sr,mes}$ – srednja temperatura najhladnijeg meseca u godini i

$\theta_{aps,min}$ – „apsolutni“ minimum za posmatrani vremenski period.



II GRUPA

Kriterijum: *procenat pojavljivanja* časovne vrednosti temperature vazduha iznad neke referentne vrednosti u dužem vremenskom periodu. Ta referentna temperatura je spoljna projektna temperatura.

U izdanju *ASHRAE Fundamentals* iz 1997. navode se novi kriterijumi za određivanje *tsp*:

- „*Oštriji*“ kriterijum je 99,6%, ali računato prema časovnim vrednostima za celu godinu (8760 h), a ne za 3 najhladnija meseca, a to znači da je u 35 h/god spoljna temperatura niža od *tsp*, što približno odgovara ranijem kriterijumu 99%.
- „*Blaži*“ kriterijum je 99% računato prema časovnim vrednostima za celu godinu, a to znači da je u 88 h/god spoljna temperatura niža od *tsp*, što približno odgovara ranijem kriterijumu 97,5%.



III GRUPA

- Umesto izdvojenih časovnih temperatura analiziraju se nizovi sa sukcesivnim vrednostima spoljne temperature – onako kako su se stvarno pojavile u prirodi. Suština je u tome da se temperatura vazduha u prostoriji održava kroz određeni period daleko duži od 1 h, što je posledica akumulacione sposobnosti zgrade (toplota se akumulira u masi zidova prostorije, tako da je toplotna inercija izražena).
- Po ovoj metodi je definisana spoljna projektna temperatura po novom Nemačkom normativu. Kao projektna se usvaja srednja dvodnevna temperatura, koja je u poslednjih 20 godina bila dostignuta ili podbačena 10 puta.



Prenos toplote kroz omotač zgrade

- U toku zimskog perioda, kada je spoljna temperatura vazduha niža od željene temperature u prostorijama zgrade, dolazi do odavanja toplote prostorije kroz građevinski omotač zgrade. Odato količina toplote okolini **nadoknađuje** se sistemom za grejanje. Potrebna količina toplote za grejanje se dovodi prostoriji da bi se u njoj održala **željena temperatura** unutrašnjeg vazduha.
- Potrebna količina toplote za grejanje **jednaka** je odatoj toploti u okolinu. Ta količina toplote se u terminologiji koja se koristi u praksi inženjera termotehnike naziva **GUBICI TOPLOTE** ili **TOPLOTNI GUBICI**.



Prenos toplote transmisijom

- Prenos toplote transmisijom (ili samo **transmisija**) podrazumeva razmenu toplote kroz građevinski omotač zgrade mehanizmom **prolaza toplote**, koji se karakteriše preko **koeficijenta prolaza** (prolaženja) **toplote U** ($\text{W/m}^2\text{K}$).
- **Prolaz** toplote obuhvata mehanizme **provođenja** i **prelaza** toplote. **Provođenje** toplote (ili **kondukcija**) je mehanizam razmene toplote kroz čvrste materije, prilikom čega je toplotni fluks usmeren od toplije ka hladnijoj strani. Karakteriše se preko **toplotne provodljivosti λ** (W/mK), koja predstavlja termo-fizičku osobinu materijala.
- **Prelaz** (ili **prelaženje**) toplote je mehanizam prenosa toplote koji nastaje prilikom **strujanja (konvekcije)** nekog fluida preko čvrste površine. Pri tome se razlikuju dva slučaja: kada toplota prelazi sa toplijeg fluida na hladniju čvrstu površinu i kada toplota prelazi sa toplije čvrste površine na hladniji fluid koji preko nje struji. Ovaj mehanizam razmene toplote se karakteriše preko koeficijenta **prelaza toplote α** ($\text{W/m}^2\text{K}$).



Transmisioni gubici toplote

- Transmisioni gubici kroz građevinski omotač prostorije (zid, pod, tavanica, prozor, vrata) računaju se preko jednačine:

$$Q_{TRANS} = Q_T = U \cdot A \cdot (\theta_u - \theta_{sp})$$

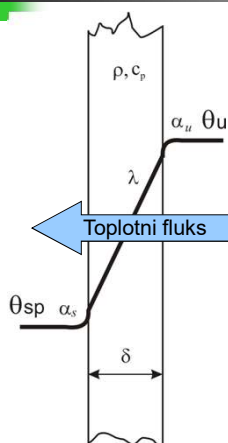
kada je u pitanju jedna pregrada; transmisioni gubici za celu prostoriju su:

$$Q_T = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \cdot (\theta_u - \theta_{sp})$$

gde je n broj pregada posmatrane prostorije kojima se ona graniči sa okolinom.



Transmisija kroz zid



Transmisija toplote kroz jednoslojni spoljni zid

Prilikom proračuna gubitaka toplote u zimskom periodu uvode se sledeće pretpostavke:

1. Stacionarni uslovi prenosa toplote

- smatra se da spoljna projektna temperatura vlada dovoljno dugo da se uspostavi stacionarni prenos toplote,
- temperatura vazduha u prostoriji je uniformna po celoj zapremini prostorije.

2. Jednodimenzioni prenos toplote

- smatra se da je toplotni fluks usmeren u pravcu maksimalnog gradijenta temperature, tj. njegov pravac je normalan na posmatranu pregradu.

3. Sve fizičke veličine su konstantne

- smatra se da se fizičke osobine materijala pregrada ne menjaju u zavisnosti od temperature materijala, kao i da je materijal homogen, tako da u svakoj svojoj tački ima nepromenljivu vrednost fizičkih osobina.



Koeficijent prolaza toplote – U ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

$$\text{prolaz} = \text{prelaz} + \text{provođenje} + \text{prelaz}$$

Ukupan otpor prolazu toplote:

$$R = R_u + R_k + R_s$$

gde su:

R_u – otpor prelazu toplote sa unutrašnjeg vazduha na unutrašnju površinu spolnog zida,

R_k – otpor provođenju toplote kroz zid i

R_s – otpor prelazu toplote sa spoljašnje površine zida na spoljni vazduh.

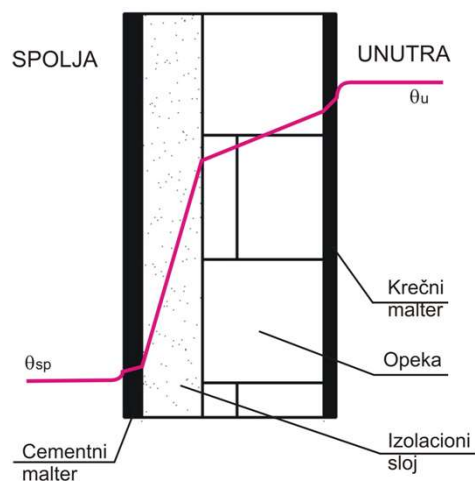


Koeficijent prolaza toplote – U ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

$$R = \frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_s}$$

Koeficijent prolaza toplote za višeslojnu pregradu:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}}$$





Koeficijent prelaza toplote – α (W/m²K)

Količina toplote koja se razmeni prelazom toplote je:

$$Q_k = \alpha \cdot A \cdot (\theta_{zid} - \theta_{fluid})$$

Koeficijent prelaza toplote zavisi od:

- temperaturskog polja,
- brzinskog polja,
- termo-fizičkih svojstava fluida (λ , ν , ρ , c , β),
- geometrijskih faktora (oblika čvrste površine i načina strujanja fluida preko nje)
- hrapavosti površine.



Koeficijent prelaza toplote – α (W/m²K)

Koeficijent prelaza toplote određuje se preko Nuseltovog broja :

* Lokalna vrednost $Nu_x = \frac{\alpha \cdot x}{\lambda_{fluida}}$,

* Srednja vrednost $Nu_{sr} = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda_{fluida}}$,

gde su x i l karakteristične dužine za konkretne uslove i geometriju strujanja.

$$Nu = K \cdot Re^a \cdot Pr^b \cdot Gr^c, \quad (2.8)$$

gde su:

$$Re - \text{Rejnoldsov broj, } (Re = \frac{w \cdot l}{\nu})$$

$$Pr - \text{Prandtlov broj, } (Pr = \frac{\nu}{a}, \quad a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho})$$

$$Gr - \text{Grashofov broj } (Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3 \cdot \Delta T}{\nu^2}) \text{ i}$$

K, a, b, c – konstante koje se određuju eksperimentalno za konkretne uslove strujanja.



Koeficijent prelaza toplote – α (W/m²K)

- U tehnici grejanja koriste se srednje vrednosti koeficijenata prelaza toplote – jedna vrednost važi za jednu stranu pregrade prostorije, a neka druga vrednost za drugu stranu. Pri tome se razlikuju slučajevi u zavisnosti od položaja pregrade – da li je u pitanju horizontalna (pod, tavanica) ili vertikalna površina (zid, prozor, vrata), i usmerenosti toplotnog fluksa – da li je usmeren naviše ili naniže.
- U standardima za proračun gubitaka toplote date su projektne vrednosti koeficijenata prelaza toplote za određene slučajeve, i mada se nazivaju koeficijentima prelaza toplote, oni ustvari obuhvataju dve komponente: komponentu usled prelaza toplote i komponentu usled razmene toplote zračenjem.



Koeficijent prelaza toplote – spoljna strana zida

- Najčešće se smatra da sa spoljašnje strane zgrade zbog uticaja vetra prevladava prinudna konvekcija. U literaturi, Kimura na osnovu merenja vršenih na fasadama zgrada daje izraz za a u funkciji brzine vazduha i pri tome pravi razliku između neporemećene brzine vetra W i brzine vazduha u neposrednoj blizini fasade w .
- Za vetrom napadnute fasade (kada su vektor brzine vetra i normala na površinu fasadnog zida kolinearni):
 - za $W > 2$ $\rightarrow w = 0.25W$,
 - a za $W \leq 2$ $\rightarrow w = 0.5$.
- Za vetrom nenapadnutne fasade $w = 0.3 + 0.05W$.
- Koeficijent prelaza toplote je:

$$\alpha_s = 3.5 + 5.6 \cdot w$$

Koeficijent prelaza toplote – unutrašnja strana – horizontalne površine

- Prilikom razmatranja mehanizma prenosa toplote konvekcijom u prostoriji, može se zaključiti da na unutrašnjoj strani omotača prostorije preovladava prirodna konvekcija. Postoji čitav niz izraza različitih autora koji su konstante izraza za Nuseltov broj odredili za karakterističnu geometriju i tip strujanja.
- Došlo se do osrednjene vrednosti za α pri prirodnoj konvekciji sa horizontalne površine, kada vektor toplotnog fluksa i sile zemljine teže zaklapaju ugao od 0° :

$$\alpha_h = 0.74 \cdot |t_v - t_z|^{0.229}$$

- Za slučaj prirodne konvekcije sa horizontalne površine, kada vektor toplotnog fluksa i sile zemljine teže zaklapaju ugao od 180° :

$$\alpha_h = 1.41 \cdot |t_v - t_z|^{0.326}$$

Koeficijent prelaza toplote – unutrašnja strana – vertikalne površine

- U literaturi je analiziran niz izraza za prirodnu konvekciju sa vertikalne površine što odgovara slučaju konvekcije sa unutrašnje strane zidova i prozora.
- Ovde izabran je izraz Alamdari i Hammond-a koji važi za opseg $10^4 < Gr.Pr < 10^{12}$ i koji je izveden za uslove koji najbliže odgovaraju razmeni toplote u grejanim i klimatizovanim prostorijama:

$$\alpha_v = \left\{ 1.5 (\Delta t / h)^{1/4} \right\}^6 + \left\{ 1.23 (\Delta t)^{1/3} \right\}^6 \Bigg\}^{1/6}$$

| | | |
|--|--|----|
| Unutrašnji koeficijent prelaza toplote | Za zidove i unutrašnje prozore, kao i za podove i tavanice pri prelazu toplote odozdo naviše | 8 |
| | Za podove i tavanice pri prelazu toplote odozgo naniže | 6 |
| | Za spoljne prozore | 12 |
| Spoljni koeficijent prelaza toplote | Pri srednjoj brzini vetra | 25 |
| | Za slučaj dodatnih visećih fasada, kao i za ravan krov | 11 |

Toplotna provodljivost – λ (W/mK)


- Toplotna provodljivost predstavlja termo-fizičku osobinu materijala – to je svojstvo materijala i bitno se razlikuje za različite materijale.

| Materijal | λ (W/mK) |
|--------------------|------------------|
| Metal (aluminijum) | 203 |
| Beton | 1 do 2 |
| Opeka | 0,5 do 0,8 |
| Drvo | 0,15 do 0,2 |
| Toplotna izolacija | 0,032 do 0,041 |

Koeficijenti prolaza toplote za transparentne površine (1)

- Koeficijenti prolaza toplote za prozore zavise od:
 - materijala rama prozora (drvo, aluminijum, plastika),
 - konstrukcije rama (prekid toplotnih mostova ili ne),
 - vrste ostakljenja (jednostruko, dvostruko, trostruko staklo, niskoemisiono staklo, razmak između stakala, ispunjena međuprostora...)
- Konkretni vrednosti koeficijenata prolaza toplote za prozore dobijaju se od proizvođača prozora, ali se za neke tipse prozore mogu naći u priručnicima.
- Koeficijent prolaza toplote transparentnog građevinskog elementa (spoljna građevinska stolarija: spoljni prozori i balkonska vrata; krovni prozori), U_w [W/(m²·K)], određuje se proračunom, saglasno standardu SRPS EN ISO 10077-1:

$$U_w = \frac{A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \psi_g}{A_g + A_f}$$



Koeficijenti prolaza toplote za transparentne površine (2)

- Proračunske vrednosti U_g (staklo), U_f (okvir) i ψ_g (faktor korekcije temperature – spoj staklo / okvir), navedene su u tabelama 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 i 2.7.
- Ove vrednosti se mogu odrediti i na sledeći način:
 - a) proračunom, u skladu sa standardima SRPS EN ISO 10077-2 (okvir), SRPS EN 410 (staklo) i SRPS EN 673 (staklo), ili
 - b) ispitivanjem prozora istog sastava i mera, u skladu sa važećim standardima i propisima.
- Vrednosti U_g (staklo) i U_f (okvir) odnose se na koeficijent prolaza toplote bez uticaja toplotnog mosta. Toplotni mostovi u transparentnim građevinskim elementima se dodatno obračunavaju i potiču od: spoja staklo-staklo u termoizolacionom staklu (različita rešenja: aluminijumska spojnica, sintetička spojnica, specijalno termički poboljšana spojnica); spoja staklo-okvir; spoja okvir-građevinska konstrukcija (ugradnja).



Infiltracija vazduha (1)

- Količina toplote potrebna da se vazduh, koji u prostoriju dospe **infiltracijom**, zagreje od spoljne temperature do unutrašnje predstavlja **ventilacione gubitke toplote**. Spoljni vazduh infiltracijom prodire u prostoriju kroz procepe (fuge) prozora i vrata i/ili kroz posebne otvore namenjene za prirodnu ventilaciju (provetravanje).
- Da bi se toplota prenela sa jednog tela na drugo potrebno je da postoji razlika temperatura (termička neravnoteža). Da bi došlo do strujanja vazduha potrebno je da postoji razlika pritisaka (mehanička neravnoteža). Razlika pritisaka može da proistekne iz dva uzroka.

Infiltracija vazduha (2)

1. DEJSTVO VETRA

Zaustavni pritisak proporcionalan je kvadratu brzine vetra:

$$p_{VET} = K_p \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}$$

gde su:

K_p – koeficijent pritiska, koji zavisi od strujne slike oko zgrade,

w – srednja brzina vetra i

ρ – srednja gustina vazduha.

2. RAZLIKA U GUSTINI VAZDUHA prouzrokovana razlikom temperatura unutrašnjeg i spoljnog vazduha

$$\theta_u > \theta_s \Rightarrow \rho_u < \rho_s \quad \longrightarrow \quad \Delta p = h \cdot g \cdot \Delta \rho$$

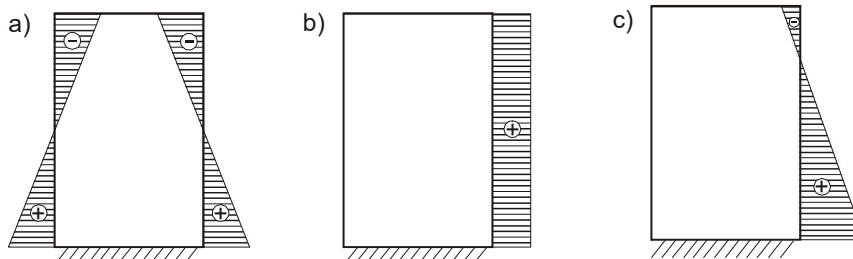
Infiltracija vazduha (3)


Uticaji nastanka razlike pritiska:

a) *usled razlike gustina vazduha,*

b) *usled dejstva vetra i*

c) *usled kombinovanog uticaja razlike gustina i dejstva vetra*





Infiltracija vazduha (4)

Količina vazduha u jedinici vremena koja dospe u prostoriju iznosi:

$$\dot{V} = K \cdot (\Delta p)^n \quad [\text{m}^3/\text{s}],$$

gde su:

K – koeficijent strujanja – pokazuje količinu vazduha koja prodre u prostoriju pri razlici pritisaka od 1 Pa,

Δp – razlika pritisaka između vazduha u prostoriji i spolnog vazduha,

n – eksponent koji zavisi od vrste (režima) strujanja, i njegove vrednosti su:

- $n = 1$ za turbulentno strujanje,
- $n = 0,5$ za laminarno strujanje,
- $n = 2/3$ za strujanje vazduha kroz procepe prozora i vrata.



Ventilacioni gubici

Potrebna količina toplote za zagrevanje vazduha koji je infiltracijom dospeo u prostoriju je:

$$Q_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_u - \theta_{sp})$$


\dot{V} – zapreminski protok vazduha [m^3/s],

ρ – gustina vazduha [kg/m^3],

c_p – specifični toplotni kapacitet vazduha [kJ/kgK],

θ_u – temperatura unutrašnjeg vazduha [$^{\circ}\text{C}$],


θ_{sp} – spoljna projektna temperatura [$^{\circ}\text{C}$],



Proračun gubitaka toplote u cilju dimenzionisanja sistema grejanja

U velikom broju zemalja postoje standardi i norme koji propisuju metode za proračun gubitaka toplote, što podrazumeva njihovu obaveznu primenu. Neki od najpoznatijih standarda su:

- NEMAČKA DIN 4701 (iz 1959. i 1983.) DIN 12831
- ENGLESKA CIBSE Guide iz 1986., BS EN 12831:2003
- SAD ASHRAE iz 1993.
- RUSIJA SNIP
- HOLANDIJA NEN 5066 iz 1988.
- BELGIJA NBN B62-003 iz 1986.
- ŠVAJCARSKA, ŠVEDKA, DANSKA...



DIN 4701 iz 1959. (1)

$$Q_{TRANS} = U \cdot A \cdot (\theta_u - \theta_{sp})$$

$$Q_{TRANS} + Q_{DODATNO} = Q_{TRANS} \cdot (1 + Z)$$

- Dodacima se obuhvata dejstvo onih faktora koji nisu uzeti u obzir pri proračunu gubitaka toplote, a iskustvo je pokazalo da utiču na potrebnu količinu toplote za grejanje.
- Ta količina toplote, koja se uzima u obzir preko dodatka, zapravo je procentualni deo transmisionih gubitaka toplote:

$$Q_{DODATNO} = Q_{TRANS} \cdot Z$$



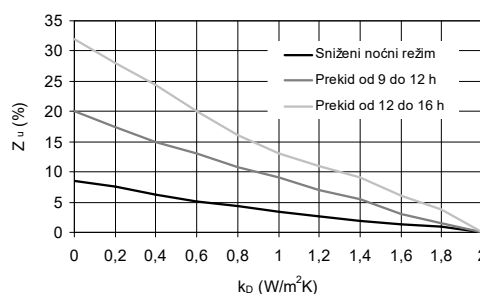
DIN 4701 iz 1959. (2)

DODATAK ZBOG PREKIDA U ZAGREVANJU Z_u

Dodatak Z_u zavisi od:

- dužine prekida u zagrevanju i
- akumulacione sposobnosti prostorije (koja se ocenjuje na osnovu **Krišerove vrednosti** k_D – koja predstavlja srednji koeficijent prolaza toplote za posmatranu prostoriju):

$$k_D = \frac{Q_T}{(\theta_u - \theta_{sp}) \cdot \sum A_i}$$



DIN 4701 iz 1959. (3)

DODATAK NA UTICAJ HLADNIH OKOLNIH POVRŠINA Z_a

- Unutrašnje površine spoljnih zidova i prozora imaju nižu temperaturu od temperature vazduha u prostoriji, pa to izaziva osećaj "hladnog zračenja" (čovjek odaje toplotu zračenjem ka tim površinama, što stvara osećaj nelagodnosti). Ovaj uticaj se kompenzuje na taj način što se dovodi veća količina toplote za grejanje i povišava temperatura vazduha u prostoriji. Vrednost ovog dodatka se takođe daje u funkciji Krišerove vrednosti, pa se često spaja sa dodatkom Z_u , iako ovi dodaci nemaju isti fizički smisao. Vrednosti za Z_a se daju tablearno ili grafički.

$$Z_D = Z_u + Z_a$$

| Z_a k_D (W/m²K) | < 0,35 | 0,35-0,80 | 0,80-0,75 | > 1,75 |
|--|--------|-----------|-----------|--------|
| 1. Nепrekidan rad sa ograničenjima u grejanju noću | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| 2. Prekid rada 9-12 h dnevno | 0,20 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 3. Prekid rada 12-16 h dnevno | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,15 |

DIN 4701 iz 1959. (4)

- DODATAK NA VISINU PROSTORIJE Z_h
- Kod prostorija čija je visina veća od 4m javlja se stratifikacija – raslojavanje toplijih i hladnijih zona vazduha u prostoriji – topliji vazduh je lakši, tako da u višim zonama prostorije dolazi do pojave viših temperatura vazduha. Kao posledica se javljaju: veći gubici toplote u gornjoj zoni prostorije, veća infiltracija vazduha i niža temperatura vazduha u zoni boravka ljudi.
- Za svaki metar visine prostorije iznad 4m dodaje se dodatak $Z_h = 0,025$ (na primer: ako je visina prostorije 7 m, onda je $Z_h = 0,075$), pri čemu je maksimalna vrednost $Z_{h,max} = 0,2$.
- DODATAK NA STRANU SVETA Z_s
- Ovaj dodatak, na neki način, uzima u obzir uticaj Sunčevog zračenja.

| Orijentacija | Z_s (-) |
|-----------------------------------|-----------|
| Jug, Jugo-istok, Jugo-zapad | -0,05 |
| Istok, Zapad | 0 |
| Sever, Severo-istok, Severo-zapad | +0,05 |

Ventilacioni gubici prema DIN 4701 (1)

$$Q_V = \sum_s (a \cdot l)_s \cdot R \cdot H \cdot (\theta_u - \theta_{sp}) \cdot Z_E$$

a – propustljivost procepa spoljnih prozora i vrata [$\text{m}^3/\text{mhPa}^{2/3}$],

l – dužina procepa [m],

R – karakteristika prostorije [-],

H – karakteristika zgrade [$\text{WhPa}^{2/3}/\text{m}^3\text{K}$],

θ_u – temperatura unutrašnjeg vazduha [$^{\circ}\text{C}$],

θ_{sp} – spoljna projektna temperatura [$^{\circ}\text{C}$],

Z_E – dodatak za prozore na uglu dva spoljna zida [-].

- Propustljivost procepa pokazuje količinu vazduha u jedinici vremena koja prođe kroz procep dužine 1m, pri razlici pritisaka od 1Pa. Njegova vrednost zavisi od materijala okvira prozora i garantovanja zaptivenosti od strane proizvođača.



Ventilacioni gubici prema DIN 4701 (2)

Karakteristika prostorije zavisi od odnosa propustljivosti procepa kroz koje vazduh ulazi u prostoriju i propustljivosti procepa kroz koje vazduh izlazi iz prostorije. Na neki način R predstavlja faktor „produvanja“ prostorije:

| Prozori | Unutrašnja vrata | As/Au | R |
|--|------------------|-------------|-----|
| Drveni prozori i prozori od veštačkih materijala | nezaptivena | < 3 | 0,9 |
| | zaptivena | $< 1,5$ | |
| Čelilni i metalni prozori | nezaptivena | < 6 | |
| | zaptivena | $< 2,5$ | |
| Drveni prozori i prozori od veštačkih materijala | nezaptivena | od 3 do 9 | 0,7 |
| | zaptivena | od 1,5 do 3 | |
| Čelilni i metalni prozori | nezaptivena | od 6 do 20 | |
| | zaptivena | od 2,5 do 6 | |

$$R = \frac{1}{\frac{\sum (a \cdot l)_s}{\sum (a \cdot l)_u} + 1}$$



Ventilacioni gubici prema DIN 4701 (3)

Karakteristika zgrade H u sebi sadrži brzinu vetra, koja je uzrok infiltraciji vazduha.

Prema DIN 4701 date su preporuke za izbor karakteristike zgrade u zavisnosti od:

- Vetrovitosti predela (normalan ili vetrovit),
- Položaja zgrade (zatvoren, otvoren ili izrazito otvoren) i
- Tipa zgrade (zgrade u bloku ili pojedinačna gradnja).

| Predeo | Položaj zgrade | H [WhPa ^{2/3} /m ³ K] | |
|-------------------|------------------|---|--------------------|
| | | Blokovska gradnja | Pojedinačne zgrade |
| Normalni predeli | Zaklonjen | 1,28 | 1,81 |
| | Otvoren | 2,18 | 3,09 |
| | Izrazito otvoren | 3,19 | 4,47 |
| Vetroviti predeli | Zaklonjen | 2,18 | 3,09 |
| | Otvoren | 3,19 | 4,47 |
| | Izrazito otvoren | 4,36 | 6,01 |



DIN 4701 iz 1983. (1)

U osnovi, novi DIN 4701 iz 1983. je sličan starom standardu, ali je dopunjen savremenim saznanjima koja su proistekla iz prakse, eksperimenata i primene računarske tehnike, koja je vremenom napredovala. Izvršno je prilagođavanje savremenim arhitektonsko-građevinskim rešenjima zgrada i materijalima koji se u izgradnji koriste.

DIN 4701 iz 1983. se primenjuje za standardne slučajeve gradnje, dok su posebni slučajevi izdvojeni, i za njih je data posebna metodologija, a to su:

- prostorije koje se retko greju (povremeno se koriste),
- prostorije veoma masivne konstrukcije,
- hale velike visine,
- staklene bašte.

Standardni (normalni) slučajevi:

$$Q_{TRANS} = \sum U_N \cdot A \cdot (\theta_{uN} - \theta_{spN})$$

standardni spoljni uslovi → standardna (QN) → standardni unutr. uslovi



DIN 4701 iz 1983. (2)


Još jedna novina je uvedena što se tiče spoljne projektne temperature, a to je da ona, pored klimatskih karakteristika, zavisi i od **akumulacione mase** zgrade, pa se vrši korekcija:

$$\theta_{sp} = \theta_{spN} + \Delta\theta_s \quad \Delta\theta_s = f\left(\frac{M}{\sum A_s}\right)$$

- za laki tip gradnje $\left(\frac{M}{\sum A_s}\right) < 600 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \Delta\theta_s = 0^\circ\text{C}$

- za srednje teški tip $\left(\frac{M}{\sum A_s}\right) \leq 1400 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \Delta\theta_s = 2^\circ\text{C}$

- za teški tip $\left(\frac{M}{\sum A_s}\right) > 1400 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \Delta\theta_s = 4^\circ\text{C}$




DIN 4701 iz 1983. (3)

Akumulaciona masa prostorije:

$$M = \sum (0,5 \cdot m_c + 2,5 \cdot m_D + m_o)_s + \frac{1}{2} \sum (0,5 \cdot m_c + 2,5 \cdot m_D + m_o)_u$$

- m_c – masa čelika,
- m_D – masa drveta,
- m_o – masa ostalih materijala.

Odnos mase po površini poda se računa za najnepovoljniju prostoriju u zgradi, sa maksimalno dva spoljna zida i usvaja se za celu zgradu.



DIN 4701 iz 1983. (4)

Koeficijent prolaza toplote se koriguje zbog:

- uticaja hladnih površina i
- uticaja Sunčevog zračenja

$$U_N = U + \Delta U_a + \Delta U_s$$

$$\Delta U_a = f(U \text{ spolj elemnta} > 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}) = 0,1 - 0,3$$

$$\Delta U_s = f(\text{propustljivost za Sunčevo zračenje } g) = -0,35 \text{ g.}$$



SRPS EN 12831:2017 (1)

- Ukupni projektni toplotni gubici za grejanu prostoriju (i), Φ_i , računaju se na sledeći način:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [\text{W}]$$

- Projektni transmisioni toplotni gubici za grejanu prostoriju (i), računaju se na sledeći način:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}]$$

gde su:

H_T [W/K] - koeficijenti transmisijih toplotnih gubitaka iz grejane prostorije (i) ka negrejanim prostorima,

$(\theta_{int,i} - \theta_e)$ [K] - razlika unutrašnje i spoljne projektne temperature.



SRPS EN 12831:2017 (2)

- Pojednostavljeni metod proračuna:

$$H_T = \sum_k f_k \cdot A_k \cdot U_{kc} \quad [\text{W/K}]$$

gde su:

f_k [-] - faktor korekcije temperature za element zgrade (k), koji uzima u obzir razliku između temperature za konkretan razmatrani slučaj i spoljašnje projektne temperature;

A_k [m²] - površina elementa (k) zgrade;

U_{kc} [W/ m²·K] - korigovani koeficijent prolaza toplote kroz element (k) zgrade.

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad [\text{W/ m}^2 \cdot \text{K}]$$



SRPS EN 12831:2017 (3)

- Projektni ventilacioni toplotni gubici, za grejanu prostoriju (*i*) računaju se na sledeći način:

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \cdot V_{min,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \text{ [W]}$$

gde je:

$V_{min,i}$ [m³/h] - minimalni zapreminski protok vazduha grejane prostorije (*i*), potreban iz higijenskih razloga, koji se računa kao:

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \text{ [m}^3\text{/h]}$$

gde su:

n_{min} [h⁻¹] - minimalni broj izmena vazduha na čas;

V_i [m³] - zapremina grejane prostorije (*i*), proračunata korišćenjem unutrašnjih dimenzija.



SRPS EN 12831:2017 (4)

- Ukupni projektni gubici toplote dela zgrade ili zgrade računaju se na sledeći način:

$$\Phi_{HL} = \Sigma \Phi_{T,i} + \Sigma \Phi_{V,i} + \Sigma \Phi_{RH,i} \text{ [W]}$$

gde je:

$\Sigma \Phi_{RH,i}$ [W] – suma grejnih kapaciteta svih grejanih prostorija, potrebna da kompenzuje efekte grejanja sa prekidima.

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \text{ [W]}$$

gde su:

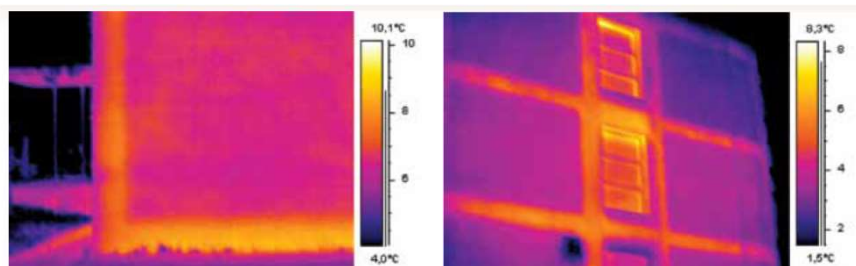
A_i [m²] - površina poda grejane prostorije (*i*);

f_{RH} [W/m²] - faktor uzgrevanja koji zavisi od tipa zgrade, konstrukcije zgrade, vremena uzgrevanja i pretpostavljenog sniženja unutrašnje temperature tokom prekida.



Toplotni mostovi (1)

Toplotni most je mesto smanjenog otpora prolazu toplote u odnosu na konstrukciju u kojoj se nalazi, odnosno mesto u termičkom omotaču na kome se javlja povećani toplotni fluks.



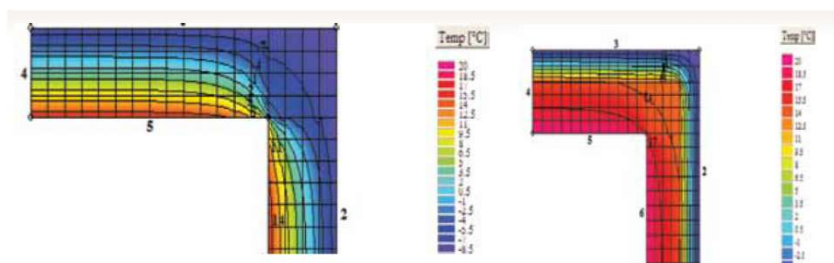
Prikaz termovizijskog snimka fasade na kome se uočava toplotni most



Toplotni mostovi (2)

U zavisnosti od toga šta prouzrokuje pojavu toplotnog mosta, razlikujemo:

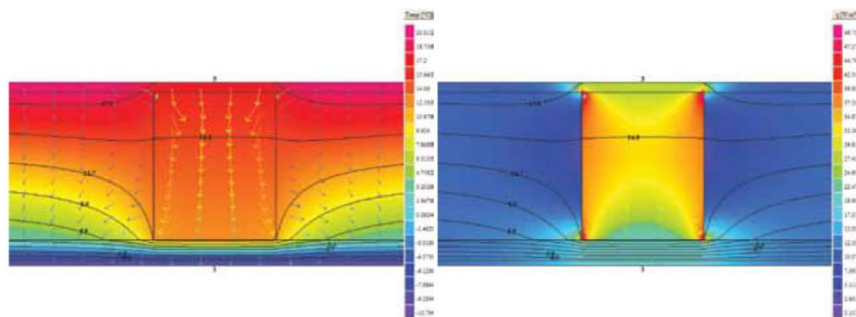
- konstruktivni toplotni most (promena vrste materijala u konstrukciji)
- geometrijski toplotni most (promena oblika konstrukcije, na primer uglovi, žljebovi, ispupčenja...)



*Geometrijski toplotni most na uglu kada nema toplotne izolacije (levo)
i saniran toplotni most ugradnjom izolacije sa spoljne strane (desno)*



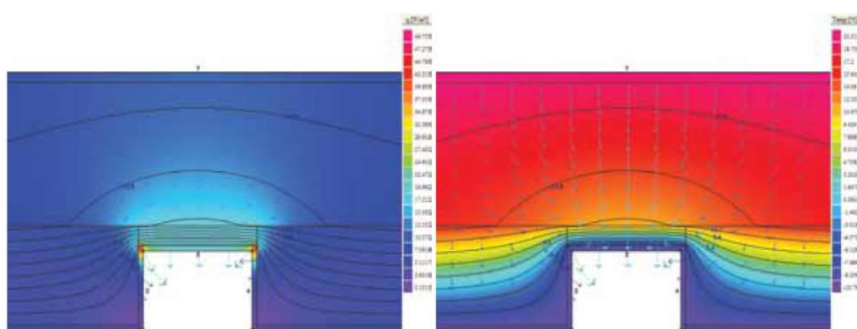
Toplotni mostovi (3)



*Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta
prouzrokovanog promenom materijala*



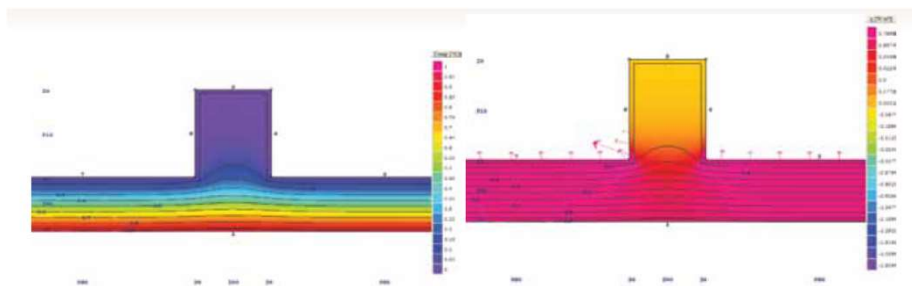
Toplotni mostovi (4)



*Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta
prouzrokovanog promenom debljine konstrukcije (pojava žljeba na fasadi)*



Toplotni mostovi (5)



*Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta
prouzrokovanog promenom geometrije konstrukcije
(kod ispupčenja na fasadi)*



Toplotni mostovi (6)

- Toplotni mostovi prouzrokuju povećane gubitke toplote, pojavu kondenzacije na unutrašnjoj površini spoljnog zida, kao i unutar same konstrukcije. Posledice koje se javljaju zbog pojave toplotnih mostova su: oštećenja konstrukcije usled pojave vlage i buđi, mehanička oštećenja materijala zida i toplotne izolacije usled pojave smrzavanja kondenzata, narušavanje mehaničke stabilnosti konstrukcije.
- Proračun toplotnih mostova moguće je izvršiti na nekoliko načina:
 - paušalnim dodatkom na koeficijent transmisivnog gubitka toplote;
 - pojednostavljenim metodama prema SRPS EN ISO 14683:2008 (katalog toplotnih mostova)
 - detaljnim proračunom prema SRPS EN ISO 10211:2008.