



## 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  $U$**  ( $W/m^2K$ ).
- **Prolaz** toplote obuhvata mehanizme **provodenja** 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  $\lambda$**  ( $W/mK$ ), 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  $\alpha$**  ( $W/m^2K$ ).

## Transmisioni gubici toplote

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

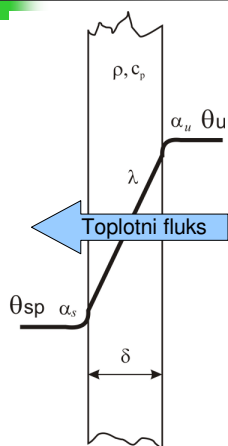
$$Q_{TRANS} = Q_T = U \cdot A \cdot (\theta_u - \theta_{sp})$$

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 pregrada 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 –

$U$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

prolaz = prelaz + provođenje + 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 spoljnog zida,

$R_k$  – otpor provođenju toplote kroz zid i

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

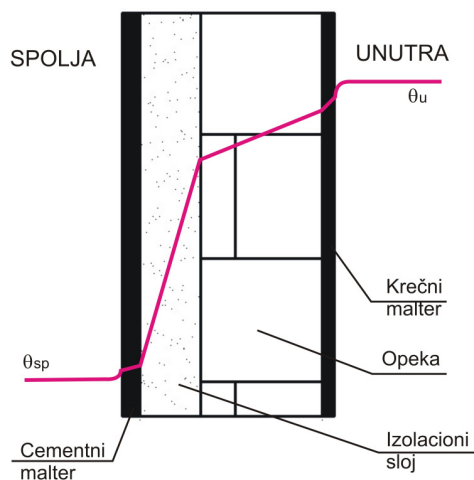
## Koeficijent prolaza toplote –

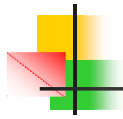
$U$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

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

Koeficijent prolaza toplote za višeslojnu pregradu:

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





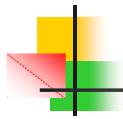
## Koeficijent prelaza toplote – $\alpha$ (W/m<sup>2</sup>K)

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 ( $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $\rho$ ,  $c$ ,  $\beta$ ),
- geometrijskih faktora (oblika čvrste površine i načina strujanja fluida preko nje)
- hrapavosti površine.



## Koeficijent prelaza toplote – $\alpha$ (W/m<sup>2</sup>K)

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:

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

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

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

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



## Koeficijent prelaza toplote – $\alpha$ (W/m<sup>2</sup>K)

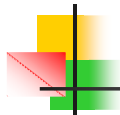
- U tehnici grejanja koriste se srednje vrednosti koeficijenata prelaza toplote – jedna vrednost važi za jednu stranu pregrade prostorije, a neka druga vrednost za drugu stranu. Pri tome se razlikuju slučajevi u zavisnosti od položaja pregrade – da li je u pitanju horizontalna (pod, tavanica) ili vertikalna 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  $\alpha$  pri prirodnoj konvekciji sa horizontalne površine, kada vektor toplotnog fluksa i sile zemljine teže zaklapaju ugao od  $0^\circ$ :

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

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

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



## 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:

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

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 – $\lambda$ (W/mK)


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

Materijal	$\lambda$ (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 tipske prozore mogu naći u priručnicima.
- Koeficijent prolaza toplote transparentnog građevinskog elementa (spoljna građevinska stolarija: spoljni prozori i balkonska vrata; krovni prozori),  $U_w$  [W/(m<sup>2</sup>·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)

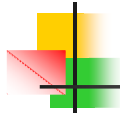
- Proračunske vrednosti  $U_g$  (staklo),  $U_f$  (okvir) i  $\psi_g$  (faktor korekcije temperature – spoj staklo / okvir), navedene su u tabelama 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 i 2.7.
- Ove vrednosti se mogu odrediti i na sledeći način:
  - a) proračunom, u skladu sa standardima SRPS EN ISO 10077-2 (okvir), SRPS 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).



## Difuzija vodene pare (1)

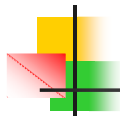
- Difuzija vodene pare izračunava se za spoljne građevinske konstrukcije i konstrukcije koje se graniče sa negrejanim prostorijama, osim za konstrukcije koje se neposredno graniče sa terenom (pod na tlu, ukopani zidovi, ukopane tavanice). Sve građevinske konstrukcije zgrade moraju biti projektovane i izgrađene na način da se vodena para u projektnim uslovima na njihovim površinama ne kondenzuje.
- Zgrada mora biti projektovana i izgrađena na način da se kod namenskog korišćenja vodena para koja zbog difuzije prodire u građevinsku konstrukciju, ne kondenzuje. U slučaju da dođe do kondenzacije vodene pare u konstrukciji, ona se nakon računskog perioda isušivanja mora sasvim osloboditi iz građevinske konstrukcije. Vлага koja se kondenzuje u konstrukciji ne sme dovesti do oštećenja građevinskih materijala (na primer korozija, pojava buđi, mehanička oštećenja izazvana smrzavanjem kondenzata, itd).





## Difuzija vodene pare (2)

- Za izračunavanje higrotermičkih karakteristika građevinskih elemenata i konstrukcija, difuzije vodene pare, kondenzacije i isušnja, kao i opasnosti od površinske kondenzacije (orošavanje), primenjuje se standard SRPS EN ISO 13788, u opcijama:
  - 1) složeni godišnji kumulativni proračun;
  - 2) *Glaser*-ov postupak.
- Ukoliko se proračun vrši na osnovu *Glaser*-ovog postupka, koristi se metod proračuna prema standardu SRPS U.J5.520



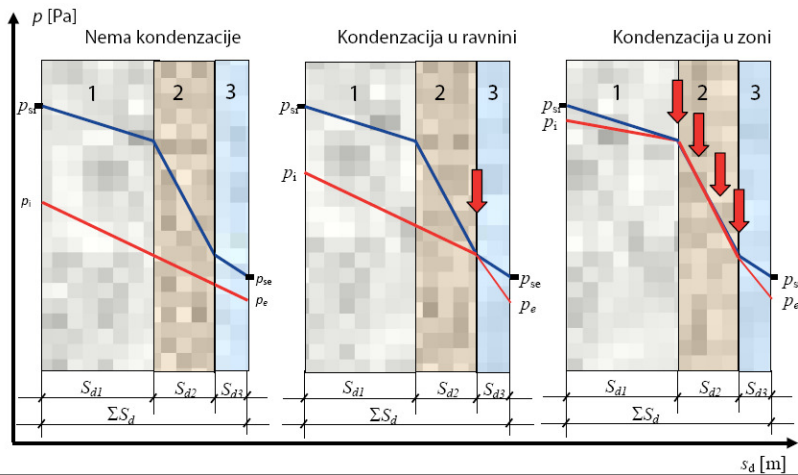
## Difuzija vodene pare (3)

- Za utvrđivanje pojave kondenzacije najpre je potrebno odrediti temperatursko polje unutar zida (u karakterističnim tačkama – na granici slojeva), a zatim raspodelu parcijalnih pritisaka vodene pare  $p_e$ , kao i raspodelu pritisaka zasićenja za datu temperaturu  $p_{se}$  po preseku zida.
- Na mestima gde parcijalni pritisak dostiže vrednosti pritiska zasićenja, doći će do pojave kondenzacije.
- Kondenzacija se može javiti u ravni ili u zoni.
- U koliko po celom preseku zida parcijalni pritisak ne dostiže vrednost pritiska zasićenja, kondenzacija se neće javiti.



## Odsustvo i pojava kondenzacije

Različiti slučajevi pojave kondenzacije unutar građevinskog elementa



## Dozvoljena temperatura unutrašnje površine

- Dozvoljena temperatura unutrašnje površine spoljne građevinske konstrukcije na bilo kom mestu (i na mestima toplotnih mostova) mora da bude veća od temperature tačke rose,  $\theta_s$  [°C], za date projektne uslove (temperatura i relativna vlažnost vazduha u prostoriji).
- Minimalna toplotna otpornost za sprečavanje orošavanja unutrašnje površine,  $R_{min}$  [m<sup>2</sup>K/W], građevinske konstrukcije izvan zone toplotnog mosta (osnovni deo građevinskog elementa) izračunava se za uslove perioda grejanja (zimski period), na sledeći način:

$$R_{min} \geq R_{si} \cdot \frac{\theta_i - \theta_e}{\theta_i - \theta_s} - (R_{si} - R_{se})$$


pri čemu je otpor prelazu toplote sa spoljne strane  $R_{se} = 0,04$  m<sup>2</sup>K/W, a vrednost otpora prelazu toplote sa unutrašnje strane  $R_{si}$  se, zbog mogućnosti pojave sprečenog strujanja vazduha (nameštaj, zakloni i sl.) usvaja sa (najmanje)  $R_{si} = 0,25$  m<sup>2</sup>K/W. Za transparentne građevinske elemente primenjuje se uobičajena vrednost:  $R_{si} = 0,17$  m<sup>2</sup>K/W.



## Proračun transmisionih gubitaka toplote

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:

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



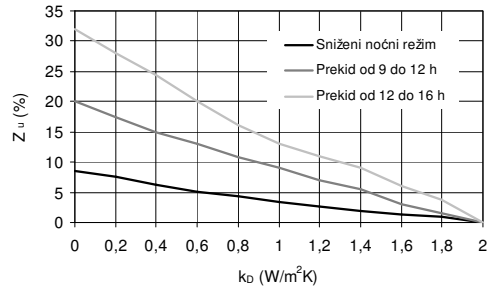
## DIN 4701 iz 1959. (2)

### 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" (čovek 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/m <sup>2</sup> K)	< 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 utricaj Sunčevog zračenja.

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

## 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 ISO 13789:2007 (1)

- Ukupan transmisioni gubitak kroz termički omotač sa računa tako što se prvo odredi koeficijent transmisionog gubitka, a on se zatim množi razlikom temperatura unutrašnjeg i spoljnog vazduha (u projektnim uslovima).
- Koeficijent transmisionog gubitka toplote zgrade (ili dela zgrade),  $H_T$  [W/K], izračunava se po obrascu:

$$H_T = \sum_i (F_{xi} \cdot U_i \cdot A_i) + H_{TB}$$

gde je

$F_{xi}$  - faktor korekcije temperature za  $i$ -ti građevinski element, koji se usvaja prema Tabeli 2.11;

$U_i$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] - koeficijent prolaza toplote  $i$ -tog građevinskog elementa, površine  $A_i$  [m<sup>2</sup>].



## SRPS EN ISO 13789:2007 (2)

Transmisioni toplotni gubitak zgrade (ili dela zgrade) usled uticaja toplotnih mostova u termičkom omotaču zgrade (ili dela zgrade),  $H_{TB}$  [W/K], iznosi:

$$H_{TB} = \Delta U_{TB} \cdot A$$

gde je  $A$  [m<sup>2</sup>] zbirna površina spoljnih građevinskih elemenata (termički omotač objekta – spoljne mere).

**Usvaja se vrednost  $\Delta U_{TB} = 0,10$  W/(m<sup>2</sup>·K)**

Ukoliko je uticaj toplotnih mostova već uzet u obzir pri proračunu koeficijenta prolaza toplote  $U$ , građevinskog elementa, granična površina kroz koju se toplota prenosi  $A$ , kod uvažavanja uticaja toplotnog mosta može se umanjiti za površinu građevinskog elementa za koji je koeficijent prolaza toplote na taj način određen. Transmisioni toplotni gubitak usled uticaja toplotnog mosta,  $H_{TB}$  [W/K], tada iznosi:

$$H_{TB} = \Delta U_{TB} \cdot A_{cor}$$

gde je  $A_{cor}$  [m<sup>2</sup>] zbirna površina spoljnih građevinskih elemenata umanjena za površine građevinskih elemenata za koje ueti u obzir toplotni mostovi.



## SRPS EN ISO 13789:2007 (3)

**Specifični transmisioni gubitak toplote zgrade,  $H'_T$  [W/(m<sup>2</sup>·K)]**

Specifični transmisioni gubitak toplote zgrade (ili dela zgrade),  $H'_T$  [W/(m<sup>2</sup>·K)], izračunava se po obrascu:

$$H'_T = \frac{H_T}{A}$$

Najveći dopušteni specifični transmisioni toplotni gubitak kroz termički omotač zgrade,  $H'_T$  [W/(m<sup>2</sup>·K)], usvaja se prema tabeli u zavisnosti od faktora oblika i udela transparentnih površina u omotaču zgrade.

Faktor oblika:  $f_o = A/V_e$





## SRPS EN ISO 13789:2007 (4)

Faktor oblika $A/V_e$ ( $m^{-1}$ )	Nestambene zgrade sa udelom transparentnih površina $\leq 30\%$ i stambene zgrade $H'_T$ ( $W/m^2K$ )	Nestambene zgrade sa udelom transparentnih površina $> 30\%$ $H'_T$ ( $W/m^2K$ )
$\leq 0.2$	1.05	1.55
0.3	0.80	1.15
0.4	0.68	0.95
0.5	0.60	0.83
0.6	0.55	0.75
0.7	0.51	0.69
0.8	0.49	0.65
0.9	0.47	0.62
1.0	0.45	0.59
$>1.05$	0.44	0.58



## 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 pritisa (mehanička neravnoteža). Razlika pritisa može da proistekne iz dva uzroka.

## Infiltracija vazduha (2)

### 1. DEJSTVO VETRA

Zaustavni pritisak proporcionalan je kvadratu brzine vetra:

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

gde su:

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

$w$  – srednja brzina vetra i

$\rho$  – srednja gustina vazduha.

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

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

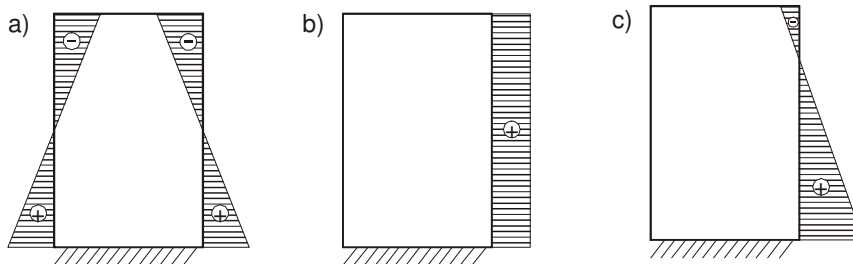
## Infiltracija vazduha (3)

Uticiji 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 1Pa,

$\Delta p$  – razlika pritisaka između vazduha u prostoriji i spoljnog 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 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$\rho$  – gustina vazduha [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],

$c_p$  – specifični toplotni kapacitet vazduha [ $\text{kJ}/\text{kgK}$ ],

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

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

## 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 [ $\text{WhPa}^{2/3}/\text{m}^3\text{K}$ ],

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

$\theta_{sp}$  – 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 pritiska 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	$A_s/A_u$	$R$
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 <sup>2/3</sup> /m <sup>3</sup> 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

## Ventilacioni gubici prema SRPS EN ISO 13789:2007

Slično kao kod proračuna ukupnih transmisionih gubitaka toplote, i ovde se prvo pristupa proračunu koeficijenta ventilacionog gubitka, koji se zatim množi razlikom temperatura unutrašnje i spoljašnje sredine.

**Koeficijent ventilacionog gubitka** toplote zgrade (ili dela zgrade),  $H_V$  [W/K], izračunava se po obrascu:

$$H_V = \rho_a \cdot c_p \cdot V \cdot n$$

gde je

$V$  – zapremina grejanog prostora [m<sup>3</sup>];

$n$  – broj izmena vazduha na čas [h<sup>-1</sup>]

$\rho_a \cdot c_p = 0,33$  [Wh/(m<sup>3</sup>·K)] ili [J/(m<sup>3</sup>·K)]



## Broj izmena vazduha na čas prema SRPS EN ISO 13789:2007 (1)

*Broj izmena vazduha na čas u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) – Stambene zgrade sa više stanova i prirodnom ventilacijom*

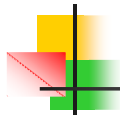
	Broj izmena vazduha $n$ [h <sup>-1</sup> ]			Broj izmena vazduha $n$ [h <sup>-1</sup> ]		
	Više od jedne fasade			Samo jedna fasada		
Zaptivenost	Loša	Srednja	Dobra	Loša	Srednja	Dobra
Izloženost fasade vetru						
Otvoren položaj zgrade	1,2	0,7	0,5	1,0	0,6	0,5
Umereno zaklonjen položaj	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5
Veoma zaklonjen položaj	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5



## Broj izmena vazduha na čas prema SRPS EN ISO 13789:2007 (2)

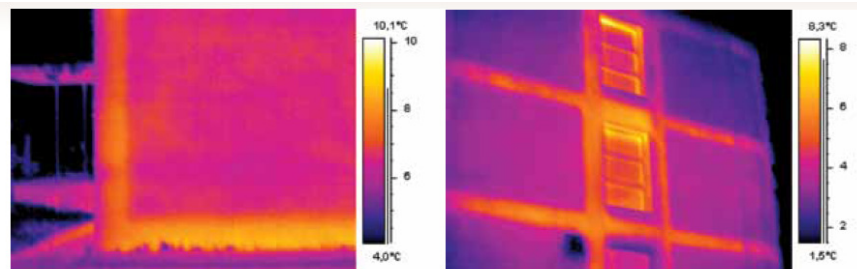
*Broj izmena vazduha na čas u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) – Pojedinačne porodične kuće sa prirodnom ventilacijom*

	Broj izmena vazduha $n$ [h <sup>-1</sup> ]		
	Loša	Srednja	Dobra
Zaptivenost			
Otvoren položaj zgrade	1,5	0,8	0,5
Umereno zaklonjen položaj	1,1	0,6	0,5
Veoma zaklonjen položaj	0,76	0,5	0,5

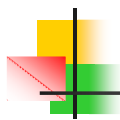


## Toplotni mostovi (1)

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.



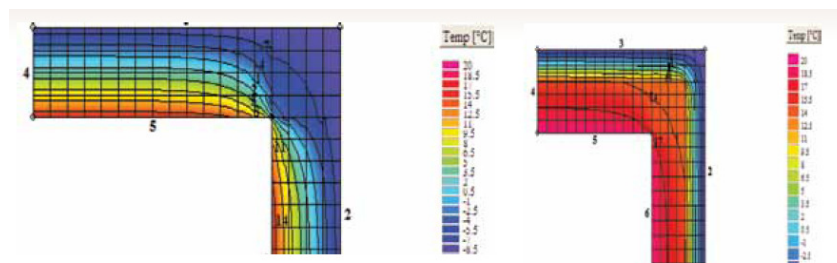
*Prikaz termovizijskog snimka fasade na kome se uočava toplotni most*



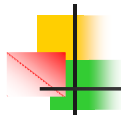
## Toplotni mostovi (2)

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

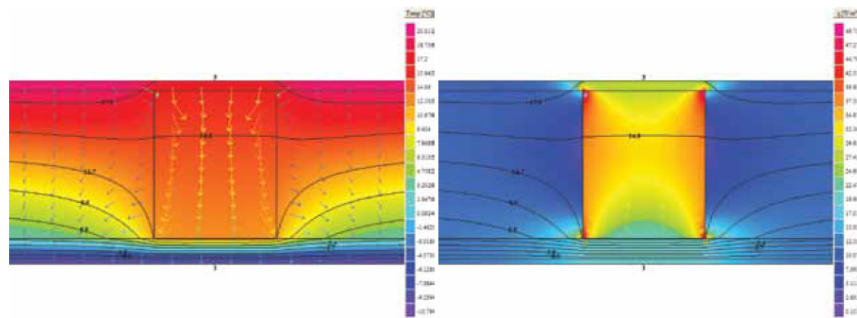
- konstruktivni toplotni most (promena vrste materijala u konstrukciji)
- geometrijski toplotni most (promena oblika konstrukcije, na primer uglovi, žljebovi, ispupčenja...)



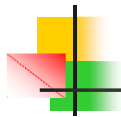
*Geometrijski toplotni most na uglu kada nema toplotne izolacije (levo) i saniran toplotni most ugradnjom izolacije sa spoljne strane (desno)*



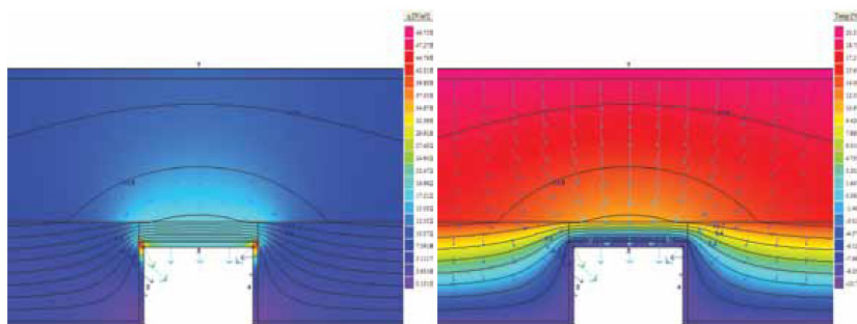
## Toplotni mostovi (3)



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

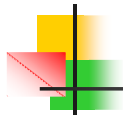


## Toplotni mostovi (4)

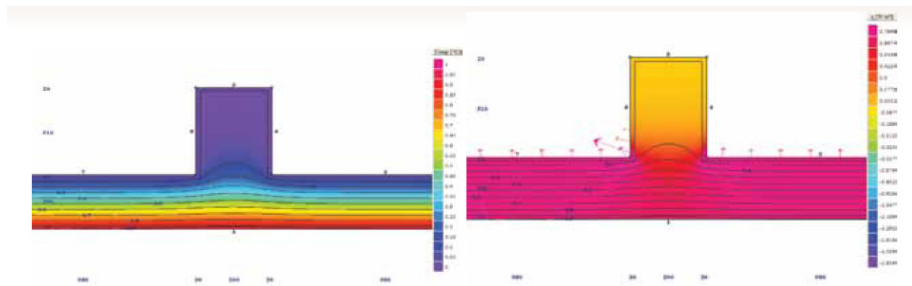


*Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta prouzrokovanog promenom debljine konstrukcije (pojava žljeba na fasadi)*

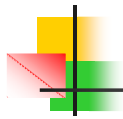




## Toplotni mostovi (5)

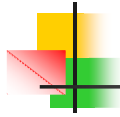


*Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta  
prouzrokovanog promenom geometrije konstrukcije  
(kod ispupčenja na fasadi)*



## 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 transmissionog gubitka toplote;
  - pojednostavljenim metodama prema SRPS EN ISO 14683:2008 (katalog toplotnih mostova)
  - detaljnim proračunom prema SRPS EN ISO 10211:2008.



## Primer: Uticaj debljine izolacije

- U primeru je razmetrana stambena zgrada u Beogradu, spratnosti P+4, ukupne korisne površine 494 m<sup>2</sup>.
- Analiziran je uticaj debljine izolacionog sloja od mineralne vune, kao i uticaj zamene starih drvenih prozora ( $U_w = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) novim PVC prozorima ( $U_w = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) na:
  - ukupne gubitke toplote zgrade (DIN 4701)
  - instalisanu snagu grejnih tela
  - godišnju potrebnu energiju za grejanje



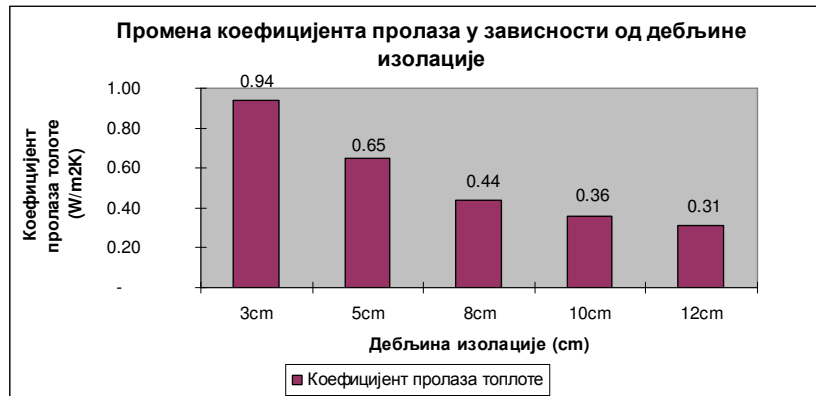
## Primer: Uticaj debljine izolacije

Tabelarni prikaz proračuna gubitaka po zonama

Општина	Страна свега	Дебљина зида	Прозорни површине					Прозорни губитак топлоте				Додаци			Потреба топлине топлоте			
			Дужина	Ширина/Висина	Површина	Број	Одбеглак	Зидови	$k$	$\Delta t$	Губитак	$Z_0$	$Z_s$	$Z$				
cm	m	m	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K	°C	W	%	%	1+%					
Простор.: 0.01 poslovni prostor							$t_{in} =$	20.00	$A_{pr} =$		28.12	$V_{pr} =$		86.61	$t_{sp} =$	-18		
ZS	IZ	20	7.445	3.08	22.93	1	-	22.93	0.94	38	819							
ZS	SZ	20	5.845	3.08	18.00	1	13.08	4.92	0.94	38	176							
IZZ	SZ	-	4.88	2.60	13.08	1	-	13.08	1.80	38	895							
ZS	S1	20	2.725	3.08	8.30	1	3.35	5.04	0.90	38	172							
VS	-	-	3.08	3.1	3.35	1	-	3.35	2.30	38	293							
ZU	-	20	6.88	3.08	21.19	1	-	21.19	1.76	23	858							
ZU	-	20	3.02	3.08	9.30	1	-	9.30	2.59	23	554							
FSF u=							3.90	R=	0.7	H=	3.09	Z=	1.20	3767	0.08	0.05	1.13	4257
I=							23.48	Qv=	695								695	
k=							0.73	q=	57								4952	
												Укупно:			4952			

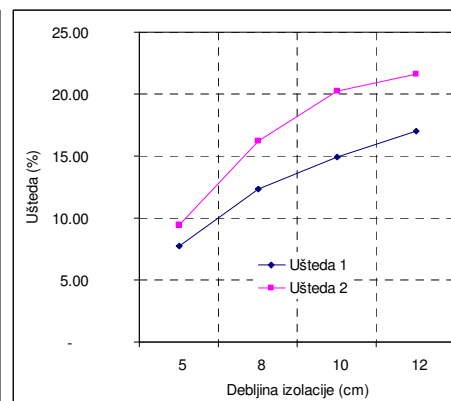
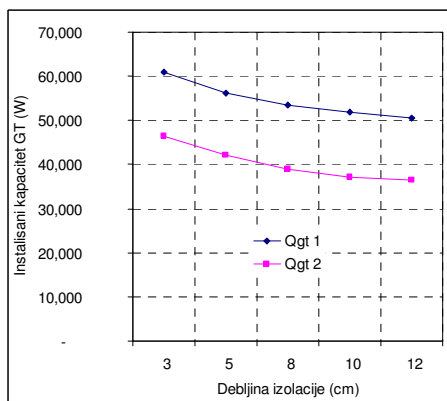


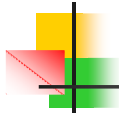
## Primer: Uticaj debljine izolacije



## Primer: Uticaj debljine izolacije

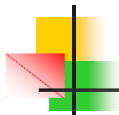
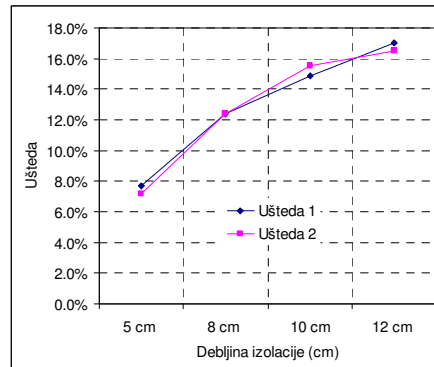
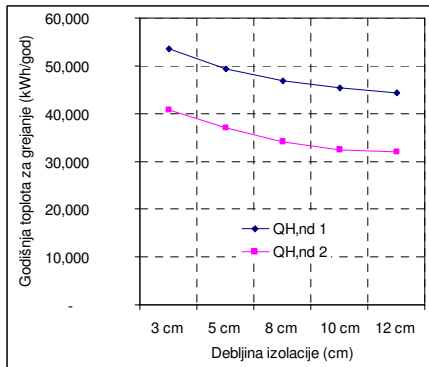
Instalisani kapacitet grejnih tela i uštede



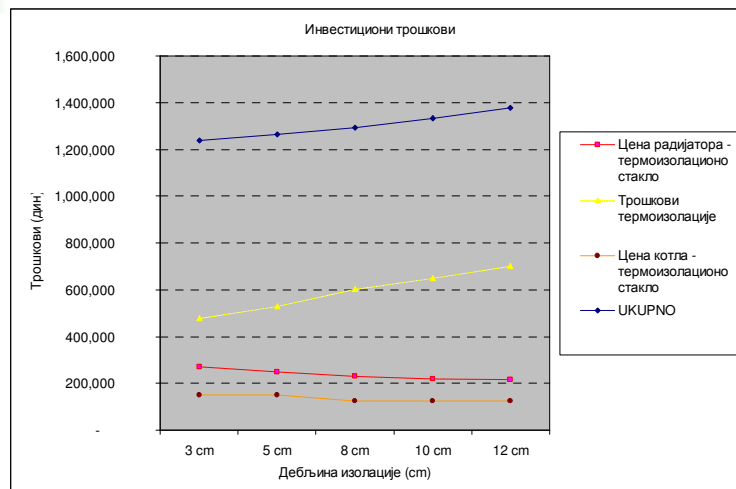


## Primer: Uticaj debljine izolacije

Godišnja potrebna energija za grejanje i uštede

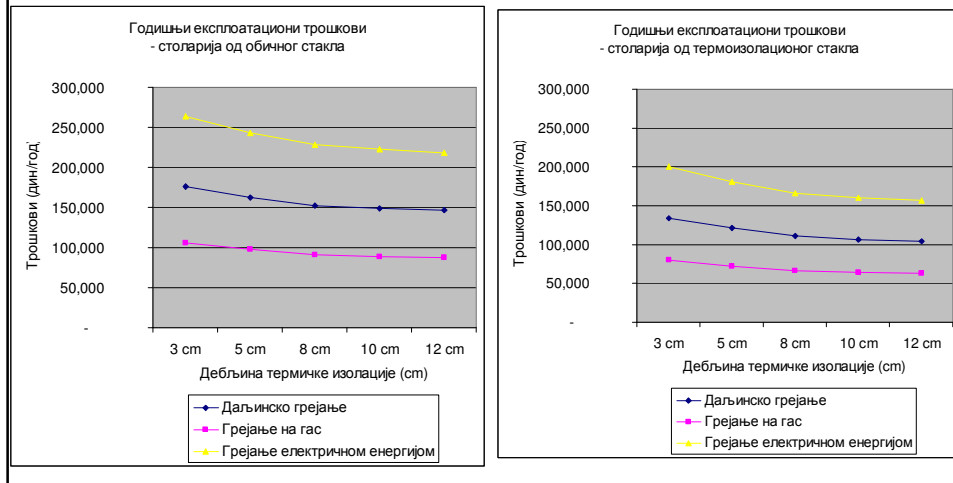


## Primer: Uticaj debljine izolacije





## Primer: Uticaj debljine izolacije



## Primer: Uticaj debljine izolacije

