

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek

OSNOVE ENERGETIKE I FIZIKE ZGRADE

dr. sc. Mihaela Domazetović, mag. ing. aedif.

• FIZIKA ZGRADE



- Toplinska zaštita zgrada
- Ušteda toplinske energije
- Propisi o toplinskoj zaštiti zgrada
- Kondenzacija vodene pare
- Difuzija vodene pare
- Djelovanje sunčevog zračenja
- Korištenje sunčevog zračenja
- Rekonstrukcije i sanacije
- Akustika prostorija
- Zaštita od buke
- Zaštita od zračnog zvuka
- Zaštita od udarnog zvuka ili topota
- Temperaturna naprezanja
- Temperaturna stabilnost ljeti

OSNOVE ENERGETIKE I FIZIKE ZGRADE

TOPLINA – nekog tijela jednaka je zbroju kinetičkih energija nesređenog gibanja svih molekula tog tijela.
– oblik energije

TEMPERATURA – fizikalno svojstvo svih tijela

Promjena fizikalnih svojstava nekog tijela uslijed promjene njegove temperature može se uzeti kao osnova za mjerenje temperature.

temperaturne ljestvice – fizikalna svojstva vode (**C**elzsius i **K**elvin)

$$1^{\circ} \text{ K} = 1^{\circ} \text{ C}$$

$$273,15^{\circ} \text{ K} = 0^{\circ} \text{ C}$$

SPECIFIČNI TOPLINSKI KAPACITET (c)

Pokusima je dokazano da između količine topline (Q) dovedene nekom tijelu, mase tijela (m) i porasta temperature (T) postoji linearna veza.

$$Q = c * m * \Delta T$$

$$c = Q / m * \Delta T \text{ [J/kg*K]}$$

Vrijednost veličine c ovisi o temperaturi pri kojoj je mjerena, a različita je od tvari do tvari.

U građevinskoj praksi koristi se srednja vrijednost za svaki materijal.

PRENOŠENJE TOPLINE

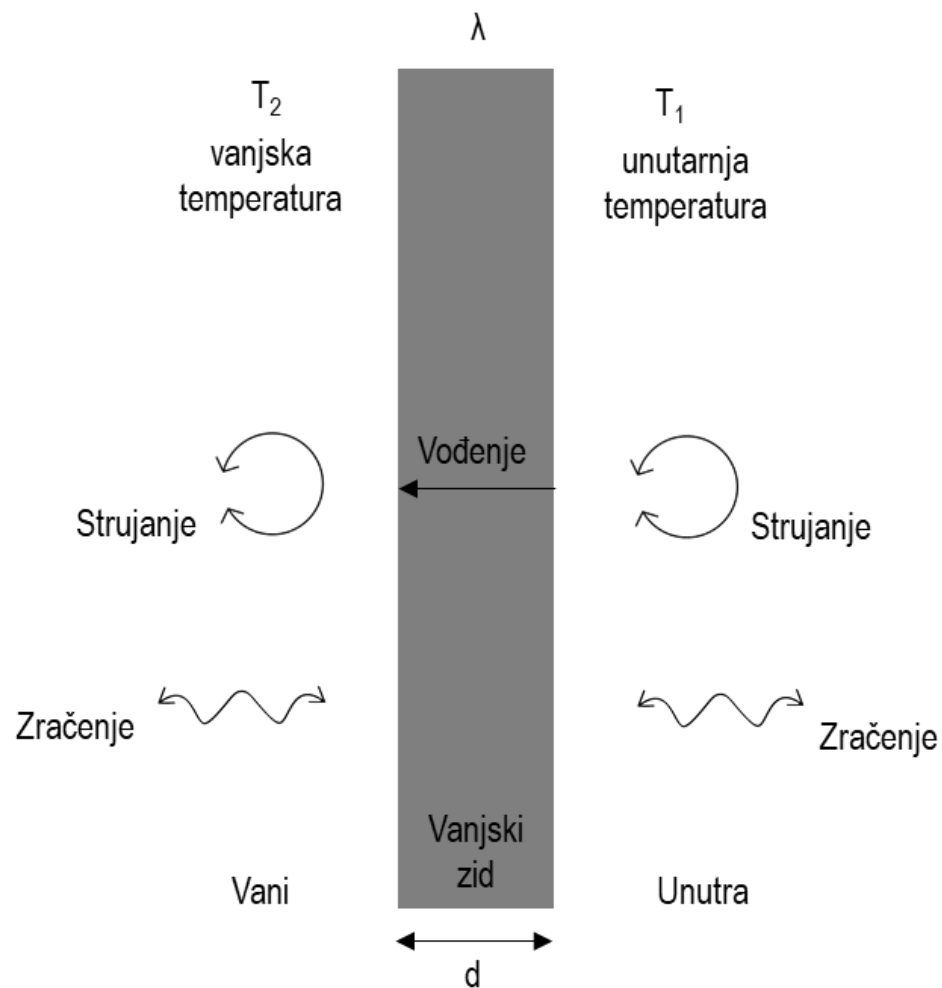
To je prirodni proces koji se događa uvijek kad postoji razlika temperatura.

Prenošenje topline može biti na 3 načina :

1. **vođenje ili kondukcija** (u čvrstim, tekućim i plinovitim sredstvima)
2. **prijelaz strujanjem ili konvekcija** (u tekućim i plinovitim sredstvima)
3. **prijelaz zračenjem ili radijacija** (u plinovitim sredstvima i vakumu)

Prijenos topline kroz vanjski zid

$$T_1 > T_2$$



RAZLOZI IZVEDBE TOPLINSKE ZAŠTITE ZGRADA:

- zaštita zdravlja korisnika zgrade, stvaranjem pretpostavki za ugodnu odnosno čovjeku promjerenu mikroklimu u prostoru zgrade,
- zaštita elemenata zgrade od građevinskih šteta uslijed djelovanja vlage i topline,
- smanjenje potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade (racionalna uporaba energije),
- doprinos smanjenju opterećenja okoliša stakleničkim i drugim štetnim plinovima.

TOPLINSKA PROVODLJIVOST GRAĐEVINSKIH MATERIJALA

KOEFICIJENT TOPLINSKE PROVODLJIVOSTI λ [W/mK]

služi kao mjera toplinske vodljivosti

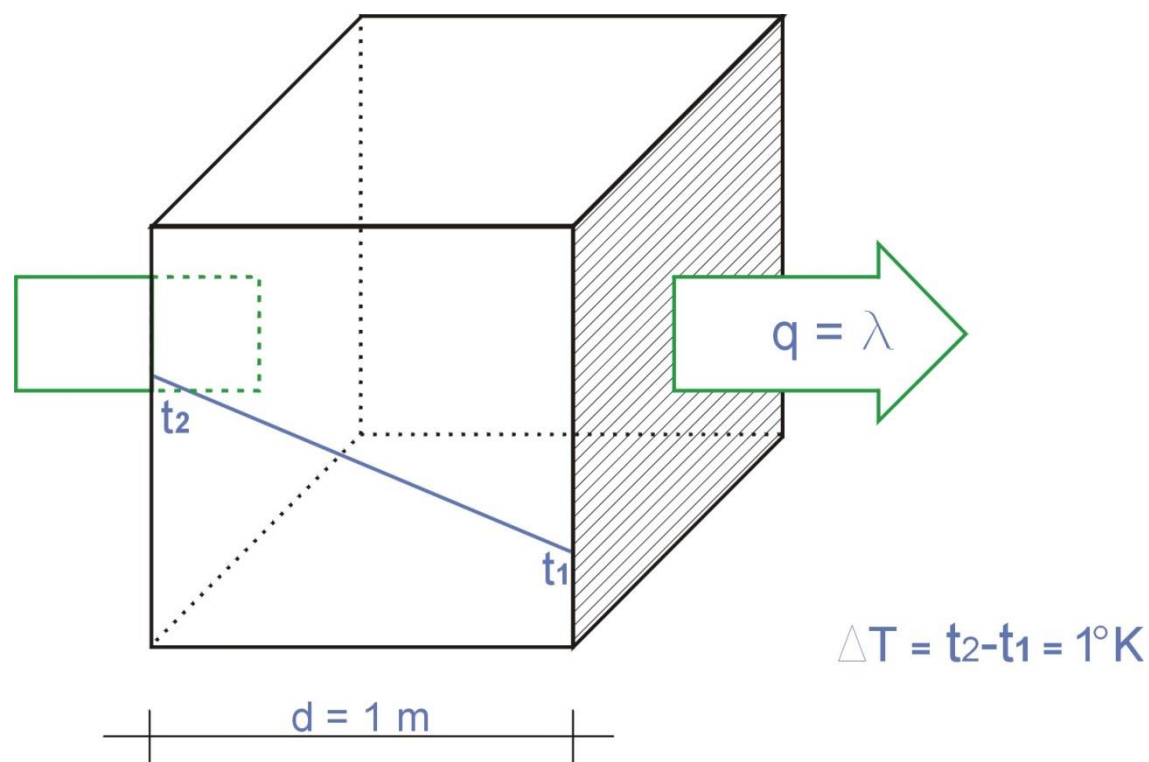
$$\lambda = q \cdot d / \Delta T \text{ [W/mK]}$$

q = gustoća toplinskog toka (W/m²)

d = debljina materijala (m)

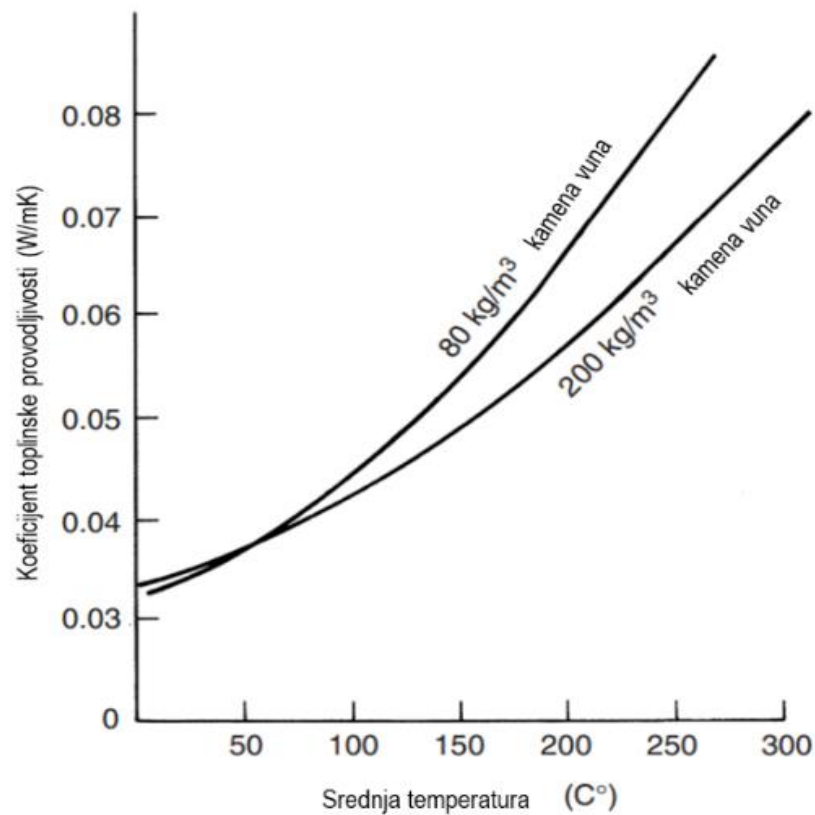
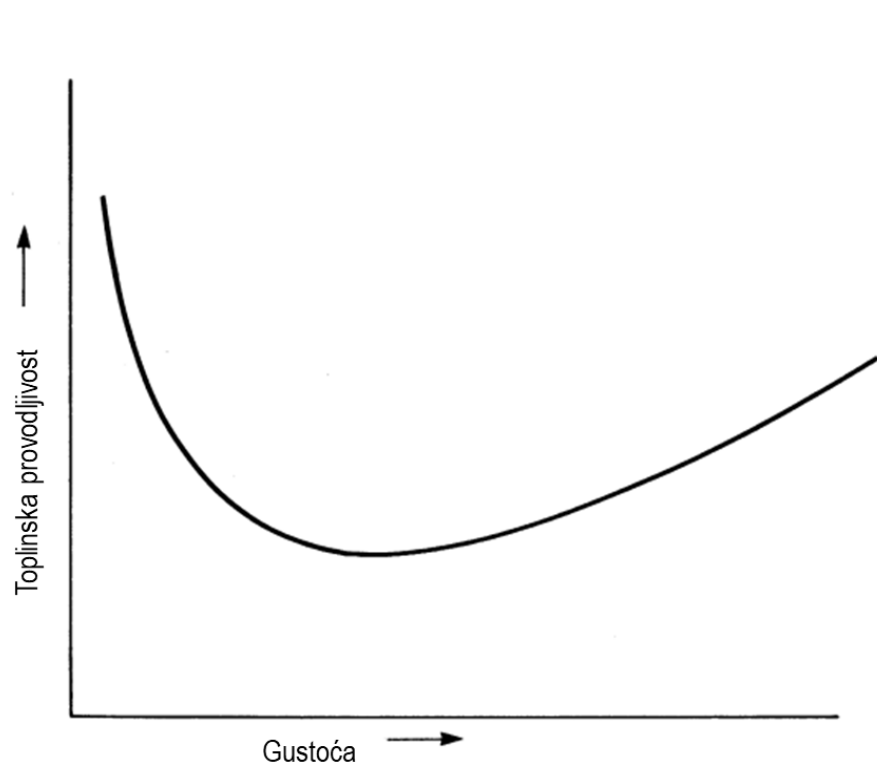
ΔT = razlika u temperaturi (°K)

ako je : $d=1$ i $t_2-t_1 = \Delta T = 1^\circ\text{K}$ tada je $\lambda = q$



Vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti (λ) je vrlo promjenljiva čak i za isti materijal, a ovisi o :

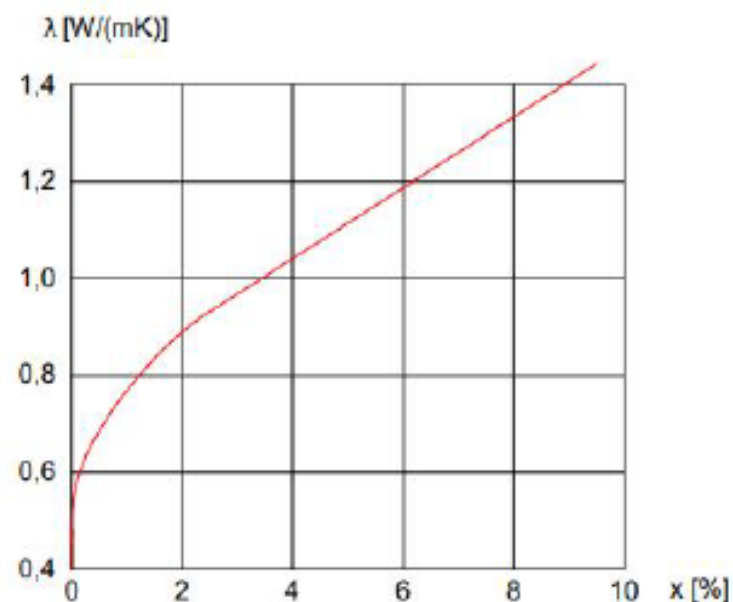
- a) obujamskoj masi tj. poroznosti materijala
- b) kemijskom sastavu materijala
- c) vlažnosti materijala
- d) temperaturi materijala



Podjela materijala na :

- vodiče
- izolatore

- Dobar primjer međusobne ovisnosti prijenosa topline, zraka i vlage je ovisnost toplinske provodljivosti o vlažnosti materijala što direktno utječe na kvalitetu vanjske ovojnice zgrade.
- Na slici je prikazana ovisnost toplinske provodljivosti zida od opeke o vlažnosti opeke.
- Povećanjem vlažnosti materijala naglo raste vrijednost njegove toplinske provodljivosti.
- Razlog tome je što povećanjem vlažnosti materijala voda zamjenjuje zrak u porama, a voda ima vrijednost toplinske provodljivosti $0,57 \text{ W/(mK)}$, što je preko 20 puta više od vrijednosti za zrak.
- Smrzavanjem vode u porama nastaje led čija toplinska provodljivost iznosi oko $2,3 \text{ W/(mK)}$, što je oko 4 puta veća vrijednost u odnosu na vrijednost za vodu, odnosno čak 100 puta više od vrijednosti toplinske provodljivosti zraka.
- Povećanjem toplinske provodljivosti materijala dolazi do povećanja toplinskih gubitaka kroz građevne dijelove zgrade koji su izgrađeni od tog materijala.
- Povećanje toplinskih gubitaka dovodi do povećanja potrošnje energije za grijanje, odnosno dolazi do narušavanja energetske učinkovitosti zgrade.



Ovisnost toplinske provodljivosti zida od opeke o vlažnosti opeke



Red-ni broj	Građevni materijal	Gustoća ρ kg/m ³	Toplinska vodljivost λ W/(m·K)
1.	ZIDOVI, uključivo mort u reškama		
1.01	puna opeka od gline	1800	0,81
1.02	puna opeka od gline	1600	0,68
1.03	klinker opeka	1900	0,85
1.04	klinker opeka	1700	0,80
1.05	puna fasadna opeka od gline	1800	0,83
1.06	puna fasadna opeka od gline	1600	0,70
1.07	šuplja fasadna opeka od gline	1200	0,55
1.08	šuplji blokovi od gline	1100	0,48
1.09	šuplji blokovi od gline	1000	0,45
1.10	šuplji blokovi od gline	900	0,42
1.11	šuplji blokovi od gline	800	0,39
1.12	puna vapneno silikatna opeka	1800	0,99
1.13	puna vapneno silikatna opeka	1600	0,79
1.14	vapneno silikatni šuplji blokovi	1200	0,56
1.15	prirodni kamen	2000	1,40
1.16	šuplji blokovi od betona	1000	0,70
1.17	šuplji blokovi od betona	1200	0,80
1.18	šuplji blokovi od betona	1400	0,90
1.19	šuplji blokovi od betona	1600	1,10
1.20	šuplji blokovi od betona	1800	1,20
1.21	šuplji blokovi od betona	2000	1,40
1.22	šuplji blokovi od laganog betona	500	0,30
1.23	šuplji blokovi od laganog betona	700	0,37
1.24	šuplji blokovi od laganog betona	900	0,46

Projektne vrijednosti toplinske vodljivosti, λ
[W/(m · K)]

Red-ni broj	Građevni materijal	Gustoća ρ kg/m ³	Toplinska vodljivost λ W/(m·K)
2.	BETON I ARMIRANI BETON		
2.01	armirani beton	2500	2,60
2.02	teški beton	3200	2,60
2.03	beton	2400	2,00
2.04	beton	2200	1,65
2.05	beton	2000	1,35
2.06	beton s laganim agregatom	2000	1,35
2.07	beton s laganim agregatom	1800	1,30
2.08	beton s laganim agregatom	1600	1,00
2.09	beton s laganim agregatom	1500	0,89
2.10	beton s laganim agregatom	1400	0,79
2.11	beton s laganim agregatom	1300	0,70
2.12	beton s laganim agregatom	1200	0,62
2.13	beton s laganim agregatom	1100	0,55

Red-ni broj	Građevni materijal	Gustoća ρ kg/m ³	Toplinska vodljivost λ W/(m·K)
7.	TOPLINSKO-IZOLACIJSKI MATERIJALI		
7.01	mineralna vuna (MW)	10 do 200	0,035 do 0,050
7.02	ekspandirani polistiren (EPS)	12 do 30	0,032 do 0,042
7.03	ekstrudirana polistirenska pjena (XPS)	25 do 50	0,033 do 0,040
7.04	tvrda poliuretanska pjena (PUR) ili polizocijanuratna pjena (PIR)	≥ 25	0,023 do 0,040
7.05	fenolna pjena (PF)	≥ 25	0,020 do 0,045
7.06	čelijasto (pjenasto) staklo (CG)	100 do 150	0,045 do 0,060
7.07	drvena vuna (WW)	360 do 460	0,065 do 0,09
7.08	drvena vuna (WW), debljina ploča 15 mm $\leq d \leq$ 25 mm	550	0,150
7.09	ekspandirani perlit (EPB)	140 do 240	0,040 do 0,065
7.10	ekspandirano pluto (ICB)	80 do 500	0,045 do 0,055
7.11	drvena vlakanca (WF)	50 do 450	0,035 do 0,070
7.12	porobeton ploče	115	0,045




Građevni dijelovi

 Dodaj
 Obriši

 Kopiraj
 Spremi kao predložak


Slojevi

 Dodaj
 Obriši


Materijali


Proračun U


Difuzija


Dinamičke karakteristike


Ispravi i dodaj


Građevni dio


Sloj


Troškov. opisi

Gradjevni dijelovi

Slojevi

Proračuni

Dodatna svojstva

Popis građevnih dijelova

Gradjevni dijelovi

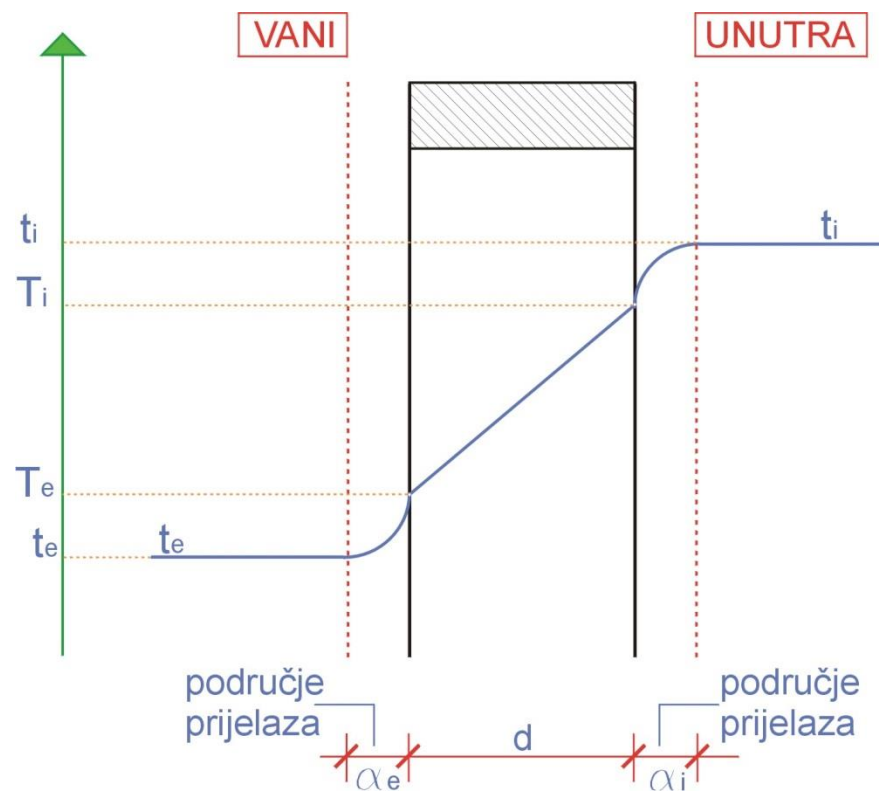
#	Naziv	Vrsta	Agd	U	U(max)	fRsi	fRsi(max)	
1	Z1	Vanjski zidovi	152,23	0,45	0,30	0,78	0,89	✗
2	Z2	Vanjski zidovi	10,84	0,45	0,30	0,78	0,89	✗
3	Z3	Vanjski zidovi	29,85	1,26	0,30	0,78	0,68	✗
4	Z4	Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika	42,74	0,38	0,60	-	-	✓
5	POD NA TLU	Podovi na tlu	28,00	0,55	0,40	0,86	0,86	✗
6	POD IZNAD NEGRIJANOG PODRUMA	Stropovi prema negrijanim prostorijama	55,49	0,47	0,40	0,78	0,88	✗
7	KROV	Kosi krovovi iznad grijanog prostora	19,20	0,28	0,25	0,63	0,93	✗
8	STROP PREMA PROVJETRAVANOM TAVANU	Stropovi prema provjetravanom tavanu	70,82	0,23	0,25	0,78	0,94	✓
9	Z5	Zidovi prema negrijanim prostorijama	29,85	1,29	0,40	0,78	0,68	✗

Slojevi

Rbr.	Materijal	Debljina	R	
1	3.03 Vapneno-cementna žbuka	2,500	0,025	✓
2	1.09 Šuplji blokovi od gline	25,000	0,556	✓
3	3.03 Vapneno-cementna žbuka	2,500	0,025	✓
4	1.15 Prirodni kamen	2,500	0,018	✓

TOPLINSKA IZOLACIJA GRAĐEVINSKIH ELEMENATA

PRENOŠENJE TOPLINE KROZ OBODNE GRAĐEVINSKE ELEMENTE



α = koeficijent prijelaza topline

α_i = koeficijent unutarnjeg prijelaza topline = količina topline koja u jedinici vremena prijeđe sa zraka u prostoriji na jedinicu površine građevinskog elementa pri jediničnoj razlici temperature zraka i površine elementa kada je postignuto stacionarno stanje. $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$

$$1/\alpha_i = R_i \quad R_i = \text{otpor unutarnjeg prijelaza topline}$$

$$\Lambda = \lambda/d = \text{koeficijent toplinske propustljivosti} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$$

$$1/\Lambda = d/\lambda = R \quad R = \text{otpor toplinskoj propustljivosti ili toplinski otpor} \quad [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$$

Λ = količina topline koja u jedinici vremena prođe okomito kroz jedinicu površine građevinskog elementa pri jediničnoj razlici temperatura graničnih površina elementa, kada je postignuto stacionarno stanje.

α_e = koeficijent vanjskog prijelaza topline = količina topline koja u jedinici vremena prijeđe s jedinice vanjske površine građevinskog elementa na vanjski zrak pri jediničnoj razlici temperatura, kada je postignuto stacionarno stanje.

$$1/\alpha_e = R_e$$

$$R_e = \text{otpor vanjskog prijelaza topline} \quad [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$$

R_i i R_e – plošni otpori prijelaza topline

- definirani u Algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790

Za vanjske zidove:

- $\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $\alpha_e = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tablica 3.2 (temeljem HRN EN Tablica 1) Plošni otpori prijelaza topline ($\text{m}^2\text{K/W}$) za određene građevne dijelove iznose:

Smjer toplinskog toka	Građevni dijelovi:	R_{Si} $\text{m}^2\text{K/W}$	R_{Se} $\text{m}^2\text{K/W}$
- prema gore	Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema tavanu	0,10	0,04
- vodoravan	Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu	0,13	0,04
	Zidovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C	0,13	0,13
	Zidovi prema tlu	0,13	0,00
	Zidovi između grijanih radnih prostorija različitih korisnika	0,13	0,13
- prema dolje	Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže	0,17	0,04
	Stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C	0,17	0,10
	Podovi na tlu	0,17	0,00
	Stropovi između stanova, stropovi između grijanih radnih prostorija različitih korisnika	0,17	0,10

* za građevne dijelove koji graniče s tlom uzima se da je $R_{se} = 0$;

** U slučaju proračuna otpora unutarnjih građevnih dijelova (pregradnih zidova i sl.), ili građevnih dijelova između unutarnjeg i negrijanog prostora, R_{Si} se primjenjuje na obje strane.

R_i i R_e – plošni otpori prijelaza topline

Ovisni o:

- temperaturi površine
- koeficijentu emisije površine
- brzini strujanja zraka
- smjeru toplinskog toka

Tablica 3.A.2 (HRN EN Tablica A.2) Vrijednosti R_{se} pri raznim brzinama vjetra

Brzina vjetra m/s	R_{se} (m ² K)/W
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,04
7	0,03
10	0,02

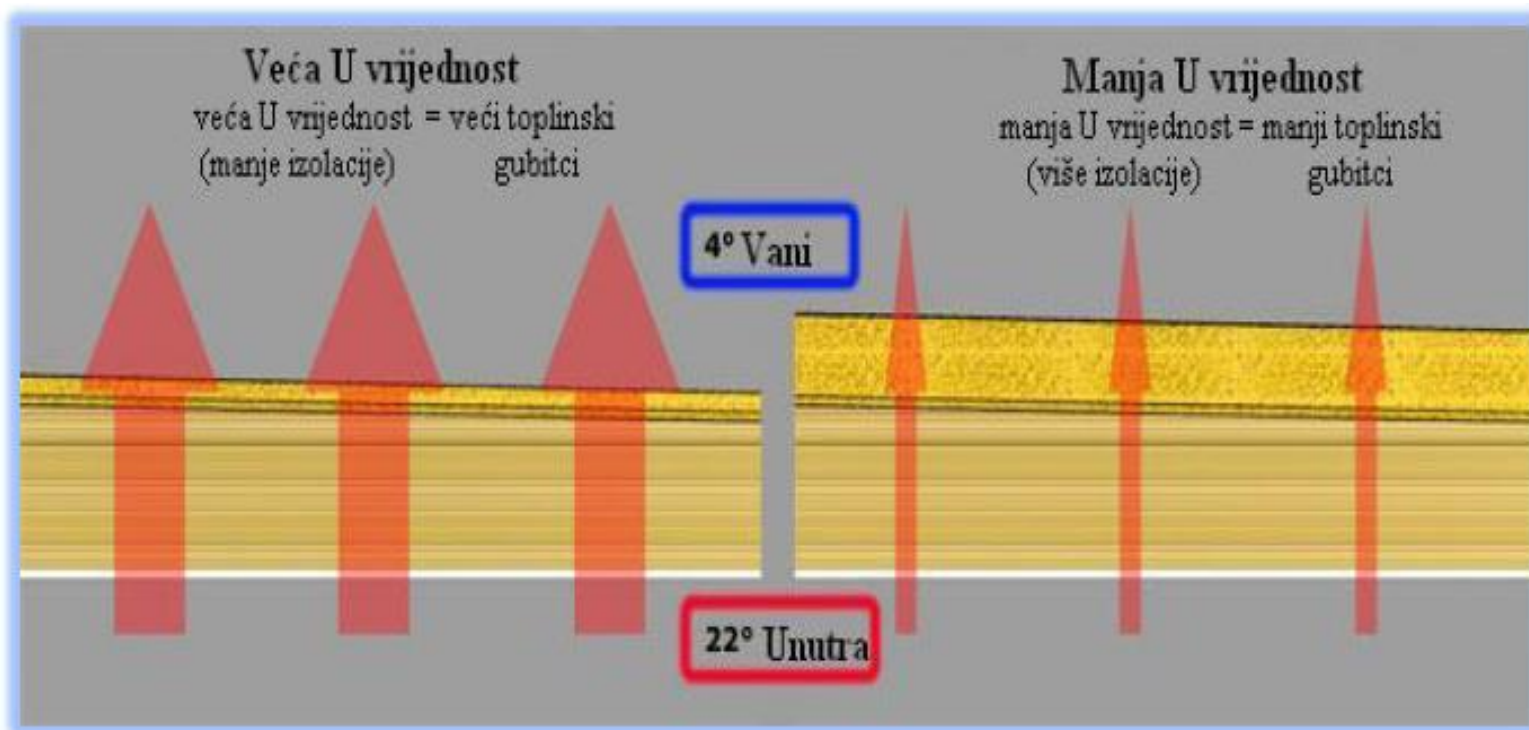
KOEFICIJENT PROLASKA TOPLINE GRAĐEVINSKIH ELEMENATA “U”

(PO STARIM PROPISIMA : KOEFICIJENT PROLAZA TOPLINE “k”)

Toplinska zaštita elemenata zgrade (zid, strop, krov,...)
karakterizira se koeficijentom prolaska topline U [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$].

U = količina topline koja u jedinici vremena prođe okomito kroz
jedinicu površine građevinskog elementa pri jediničnoj razlici
temperatura zraka sa obje strane elementa, kada je postignuto
stacionarno stanje.

Mjerna jedinica : [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]



Određivanje koeficijenata prolaska topline, U

PREMA TEHNIČKOM PROPISU O RACIONALNOJ UPORABI ENERGIJE I
TOPLINSKOJ ZAŠTITI U ZGRADAMA (**NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20**)

Koeficijenti prolaska topline, U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$], određuju se:

- za neprozirne građevne dijelove prema HRN EN ISO 6946:2008, s tim da se za građevne dijelove koji graniče s tлом uzima da je $R_{se} = 0$
- za prozore, balkonska i ostakljena vrata prema HRN EN ISO 10077-1:2008 i HRN EN ISO 10077-1:2008/Ispr.1:2010, s tim da se mogu koristiti izmjerene U vrijednosti okvira prema HRN EN 12412-2:2004 i ostakljenja prema HRN EN 674:2012, ili prema tehničkim specifikacijama za proizvode, odnosno mjerenjem prema HRN EN ISO 12567-1:2011;
- za ostakljenje prema HRN EN 673:2011, ili prema tehničkim specifikacijama za proizvode.



Podaci o otvorima										
Otvori										
Naziv otvora	Ug1	Ug2	Ug	Uf	Uw1	Uw2	ΔR	n	Uw [W/m² K]	
O1	0,00	0,00	1,10	1,40	0,00	0,00	0,00	3,00	1,40	✓
O2	0,00	0,00	2,40	3,40	0,00	0,00	0,00	1,00	2,60	⚠
O3	0,00	0,00	2,10	2,40	0,00	0,00	0,15	3,00	2,00	⚠
O4	0,00	0,00	2,10	2,40	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	⚠
O5	0,00	0,00	1,10	3,40	0,00	0,00	0,00	1,00	1,70	⚠
O6	0,00	0,00	2,10	2,40	0,00	0,00	0,15	1,00	2,00	⚠
O7	0,00	0,00	2,10	2,40	0,00	0,00	0,15	1,00	2,00	⚠
O8	0,00	0,00	2,10	2,40	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	⚠
O9	0,00	0,00	0,70	1,40	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	✓

01. Osnovni podaci	
Id	1
Naziv	O1
Tip otvora	Prozori, balkonska vrata, k
Materijal okvira	PVC
Tip ostakljenja	Jednostruko staklo (bezbo
ε	0,89
g [⊥]	0,87
Kut nagiba	90
Približna plošna masa	12,50
Uf	1,40
Ug (max)	1,10
Ug	1,10
Uw (max)	1,60
I lw	1 40

Brzi unos

Unos otvora:

Novi otvor

Novi otvor - proračun

Naziv: O1

Aw: 0,88 Ug: 1,10 Uw: 1,40

Broj otvora:

I: 0,00 Z: 0,00 S: 0,00 J: 0,00

SI: 2,00 SZ: 0,00 JI: 1,00 JZ: 0,00

NAČINI IZRAČUNA KOEFICIJENTA PROLASKA TOPLINE “U”

1. za homogene građevinske elemente

$$\frac{1}{1/\alpha_i + d/\lambda + 1/\alpha_e}$$

2. za višeslojne građevinske elemente

$$\frac{1}{1/\alpha_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + d_n/\lambda_n + 1/\alpha_e}$$

3. građevinski elementi sa zatvorenim slojem zraka

$$\frac{1}{1/\alpha_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + R_z + d_n/\lambda_n + 1/\alpha_e}$$

d = debljina pojedinog sloja (u metrima)
 α_i = koeficijent unutarnjeg prijelaza topline (**W/m²K**)
 α_e = koeficijent vanjskog prijelaza topline (**W/m²K**)
 λ = koeficijent toplinske provodljivosti (**W/m K**)
R_z = toplinski otpor zatvorenog zračnog sloja (**m²K/W**)

Tablica 3.3 (HRN EN Tablica 2) Toplinski otpor R [$\text{m}^2\text{K/W}$] neprovjetravnih slojeva zraka: površine velike emisivnosti

Debljina sloja zraka (mm)	Smjer toplinskog toka		
	Prema gore	Vodoravan	Prema dolje
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23
Napomena: međuvrijednosti se mogu odrediti interpolacijom			

R_i i R_e – plošni otpori prijelaza topline

- definirani u Algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790

Za vanjske zidove:

- $\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $\alpha_e = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tablica 3.2 (temeljem HRN EN Tablica 1) Plošni otpori prijelaza topline ($\text{m}^2\text{K/W}$) za određene građevne dijelove iznose:

Smjer toplinskog toka	Građevni dijelovi:	R_{Si} $\text{m}^2\text{K/W}$	R_{Se} $\text{m}^2\text{K/W}$
- prema gore	Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema tavanu	0,10	0,04
- vodoravan	Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu	0,13	0,04
	Zidovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C	0,13	0,13
	Zidovi prema tlu	0,13	0,00
	Zidovi između grijanih radnih prostorija različitih korisnika	0,13	0,13
- prema dolje	Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže	0,17	0,04
	Stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C	0,17	0,10
	Podovi na tlu	0,17	0,00
	Stropovi između stanova, stropovi između grijanih radnih prostorija različitih korisnika	0,17	0,10

* za građevne dijelove koji graniče s tlom uzima se da je $R_{se} = 0$;

** U slučaju proračuna otpora unutarnjih građevnih dijelova (pregradnih zidova i sl.), ili građevnih dijelova između unutarnjeg i negrijanog prostora, R_{Si} se primjenjuje na obje strane.

Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, U [$W/(m^2 \cdot K)$]

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20

Tablica 1. Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, U [$W/(m^2 \cdot K)$], građevnih dijelova novih zgrada, i nakon rekonstrukcije postojećih zgrada

Redni broj	Građevni dio	U [$W/(m^2 \cdot K)$]			
		$\theta_{\text{int,ext}} \geq 18^\circ\text{C}$		$12^\circ\text{C} < \theta_{\text{int,ext}} < 18^\circ\text{C}$	
		$\theta_{\text{e,mj,min}} \leq 3^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{e,mj,min}} > 3^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{e,mj,min}} \leq 3^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{e,mj,min}} > 3^\circ\text{C}$
1.	Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, zidovi prema provjetravanom tavanu	0,30	0,45	0,50	0,60
2.	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, ostali prozirni elementi ovojnice zgrade	1,60	1,80	2,50	2,80
3.	Ostakljeni dio prozora, balkonskih vrata, krovni prozori, prozirni elementi ovojnice zgrade (U)	1,10	1,40	1,40	1,40
4.	Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema provjetravanom tavanu	0,25	0,30	0,40	0,50

5.	Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže	0,25	0,30	0,40	0,50
6.	Zidovi i stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C	0,40	0,60	0,90	1,20
7.	Zidovi prema tlu, podovi na tlu	0,40 ¹⁾	0,50 ¹⁾	0,65 ¹⁾	0,80 ¹⁾
8.	Vanjska vrata, vrata prema negrijanom stubištu, s neprozirnim vratnim krilom i ostakljene pregrade prema negrijanom ili provjetravanom prostoru	2,00	2,40	2,90	2,90
9.	Stjenke kutija za rolete	0,60	0,80	0,80	0,80
10.	Stropovi i zidovi između stanova ili između različitih grijanih posebnih dijelova zgrade (poslovnih prostora i sl.)	0,60	0,80	1,20	1,20
11.	Kupole i svjetlosne trake	2,5	2,5	2,5	2,5
12.	Vjetrobrani, promatrano u smjeru otvaranja vrata	3,0	3,0	3,0	3,0

Napomena:
 $\theta_{\text{e,mj,min}}$ je
srednja
mjesečna
temperatura
vanjskog zraka
najhladnijeg
mjeseca na
lokaciji zgrade



Građevni dijelovi

Dodaj

Obriši

Kopiraj

Spremi kao predložak

Slojevi

Dodaj

Obriši

Materijali

Proračun U

Difuzija

Dinamičke karakteristike

Ispravi i dodaj

Gradjevni dio

Sloj

Troškov. opisi

Dodatna svojstva

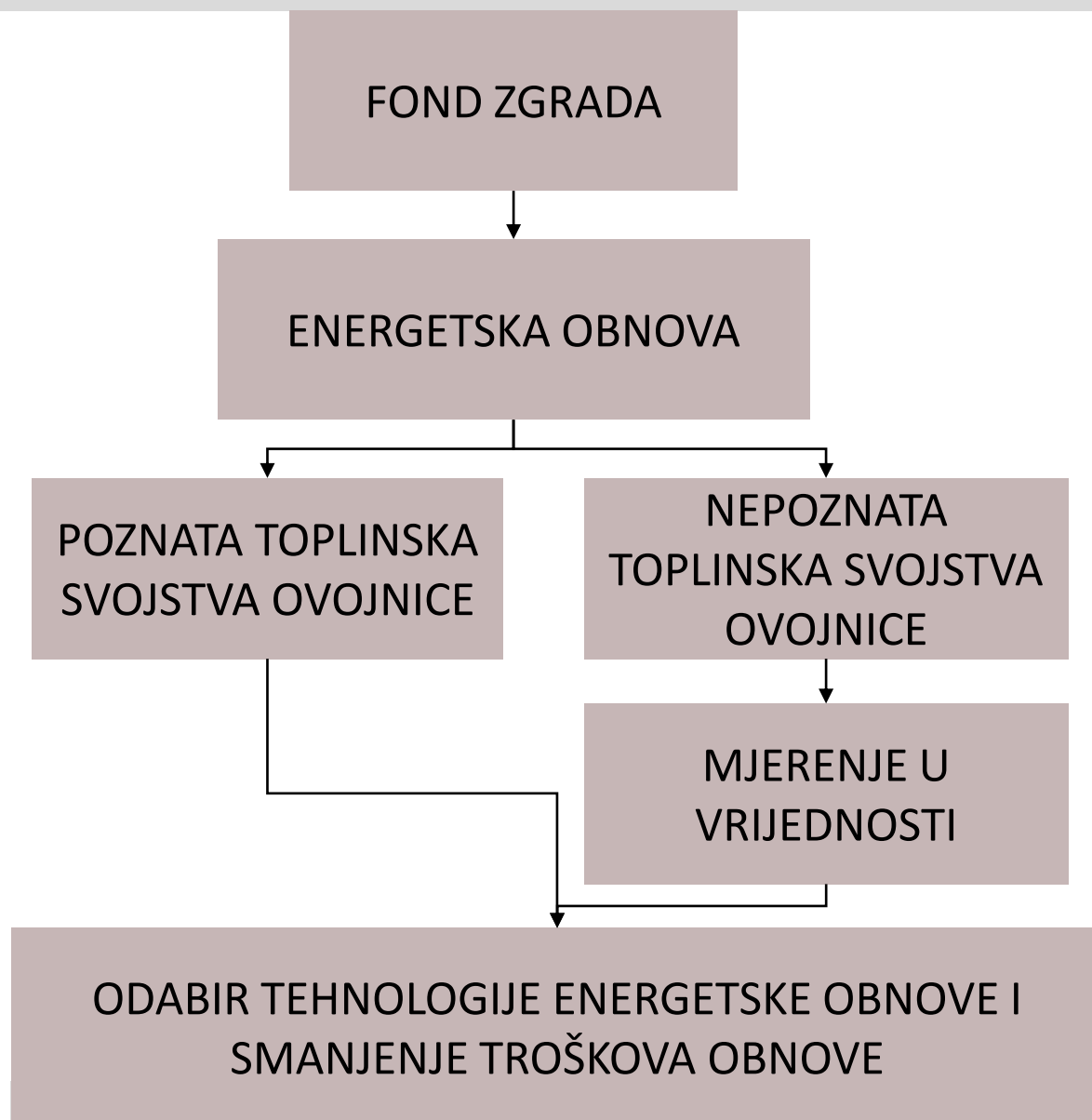
Popis građevnih dijelova

Građevni dijelovi

#	Naziv	Vrsta	Agd	U	U(max)	fRsi	fRsi(max)	
1	Z1	Vanjski zidovi	152,23	0,45	0,30	0,78	0,89	✗
2	Z2	Vanjski zidovi	10,84	0,45	0,30	0,78	0,89	✗
3	Z3	Vanjski zidovi	29,85	1,26	0,30	0,78	0,68	✗
4	Z4	Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika	42,74	0,38	0,60	-	-	✓
5	POD NA TLU	Podovi na tlu	28,00	0,55	0,40	0,86	0,86	✗
6	POD IZNAD NEGRIJANOG PODRUMA	Stropovi prema negrijanim prostorijama	55,49	0,47	0,40	0,78	0,88	✗
7	KROV	Kosi krovovi iznad grijanog prostora	19,20	0,28	0,25	0,63	0,93	✗
8	STROP PREMA PROVJETRAVANOM TAVANU	Stropovi prema provjetravanom tavanu	70,82	0,23	0,25	0,78	0,94	✓
9	Z5	Zidovi prema negrijanim prostorijama	29,85	1,29	0,40	0,78	0,68	✗

Slojevi

Rbr.	Materijal	Debljina	R	
1	3.03 Vapneno-cementna žbuka	2,500	0,025	✓
2	1.09 Šuplji blokovi od gline	25,000	0,556	✓
3	3.03 Vapneno-cementna žbuka	2,500	0,025	✓
4	1.15 Prirodni kamen	2,500	0,018	✓



40 % potrošnje energije
36 % emisije CO₂

U vrijednost

EKSPERIMENTALNE IN SITU METODE

In situ mjerenja U vrijednosti
vanjskih zidova

In situ mjerenje s **uređajem**
za mjerenje **protoka** topline

Heat Flow
Meter (**HFM**)
Method

Temperature Control
Box-Heat Flow Meter
(**TCB-HFM**) Method

Simple Hot Box-Heat
Flow Meter (**SHB-
HFM**) Method

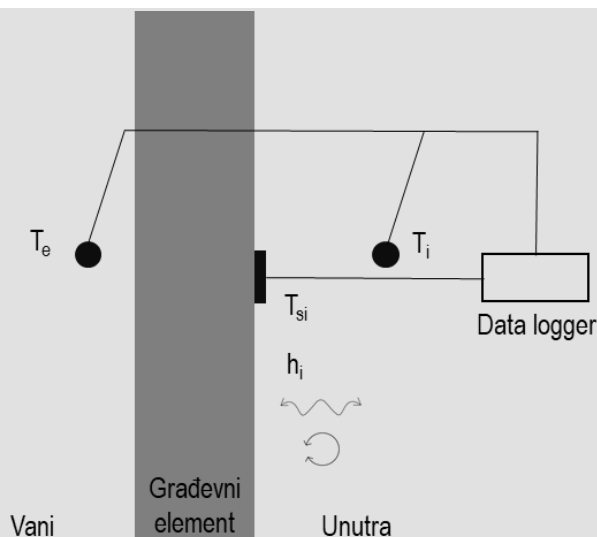
In situ mjerenje **bez uređaja** za
mjerenje **protoka** topline

Infrared
Thermography
(**IRT**) Method

Temperature
Based Method
(**TBM**)

Natural Convection
and Radiation
(**NCaR**) Method

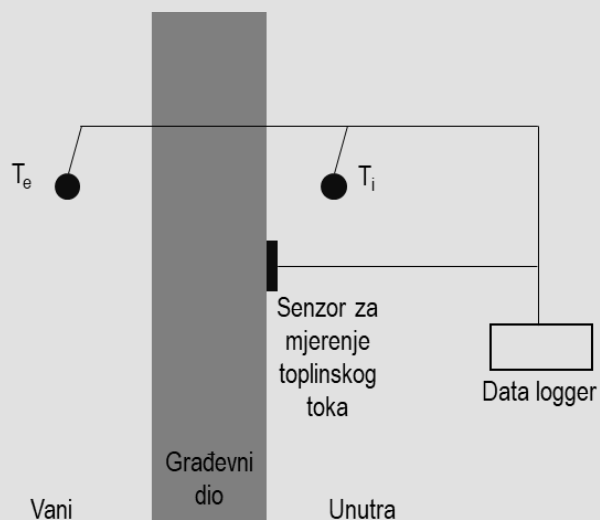
Temperaturna metoda (TBM)



$$U = h_i \frac{T_i - T_{si}}{T_i - T_e}$$

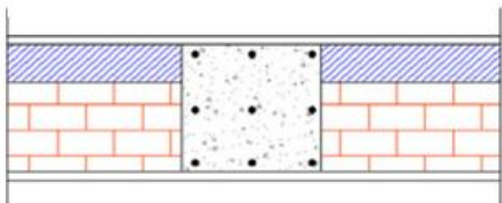
Heat Flow Meter (HFM) Method ISO 9869-1

$$U \left[\frac{W}{m^2 K} \right] = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_{ej})}$$

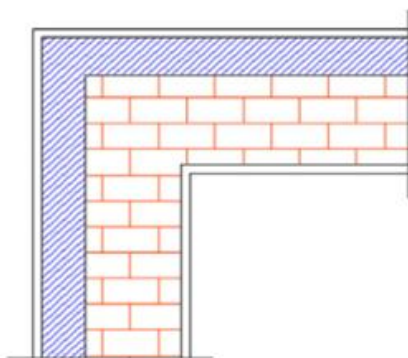


TOPLINSKI MOSTOVI

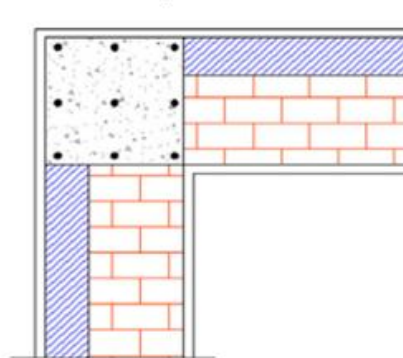
A) Konstrukcijski toplinski most



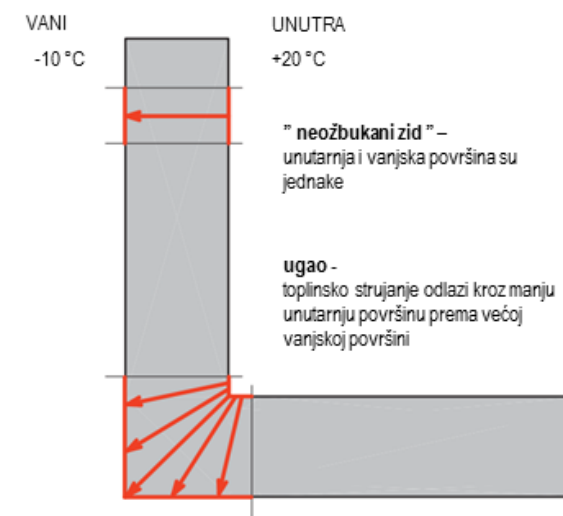
B) Geometrijski toplinski most



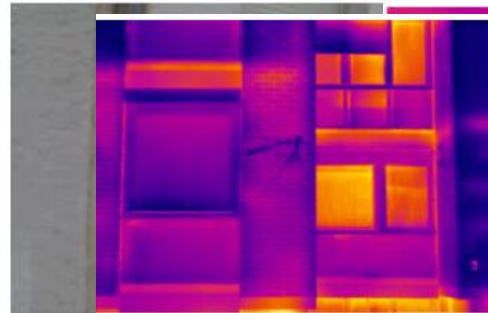
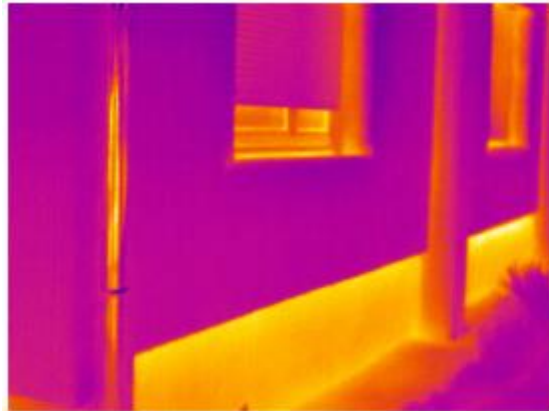
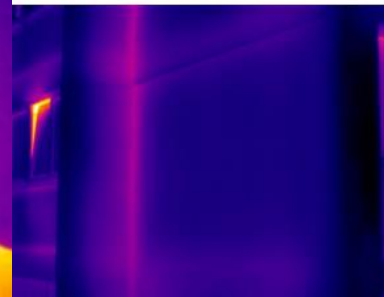
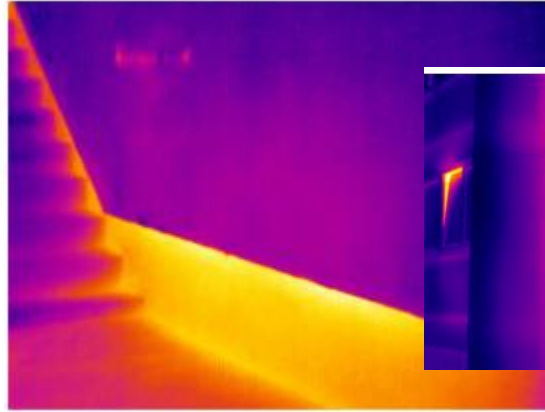
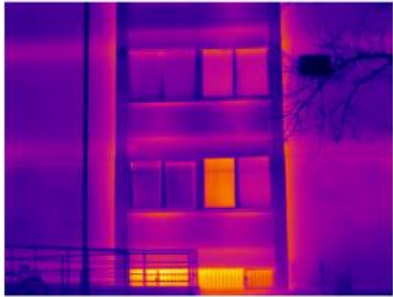
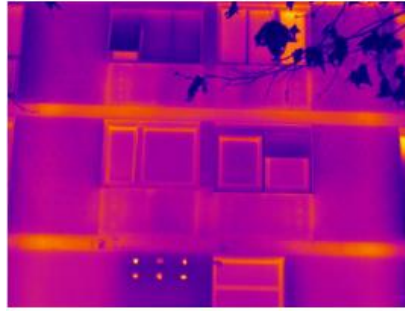
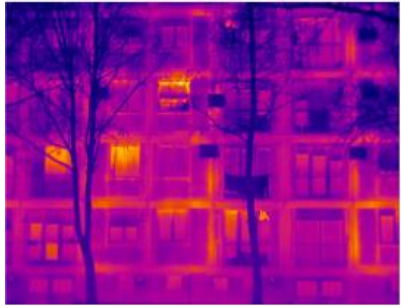
C) Konstrukcijsko – geometrijski toplinski most



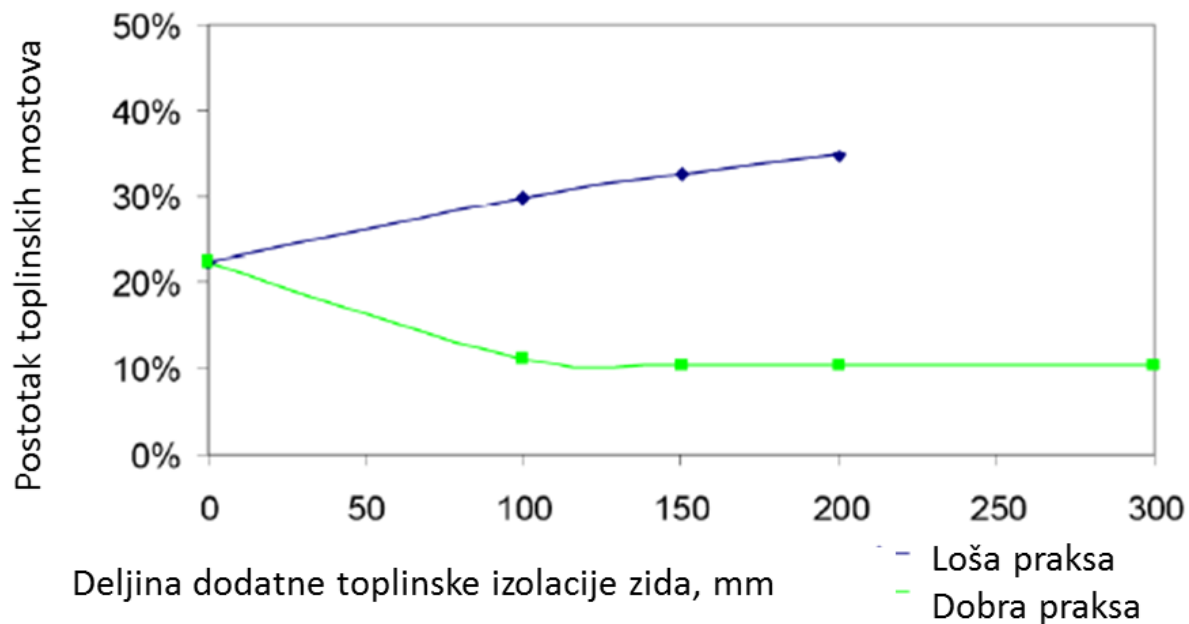
Karakteristični toplinski mostovi u zgradama



Princip djelovanja
geometrijskoga
toplinskog mosta na
uglu vanjskoga zida



TOPLINSKI MOSTOVI



Graf 1. Postotak toplinskih mostova u prijenosu gubitka topline (preko cijele vanjske ovojnice grijanog dijela zgrade, uključujući toplinske mostove)

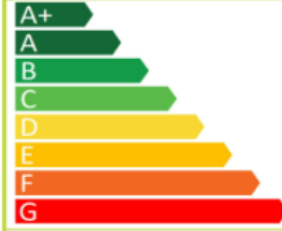
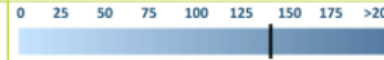
Ilomets, S., et al., *Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings*. Journal of Civil Engineering and Management, 2017. **23**(1): p. 96-104.

- Velik dio bezrazložnih toplinskih gubitaka zimi te dobitaka ljeti posljedica je postojanja toplinskih mostova
- Povećanjem izoliranosti ovojnice zgrade povećava se i utjecaj toplinskih mostova na globalne toplinske gubitke, a samim tim i na energetske potrebe za grijanje zgrade



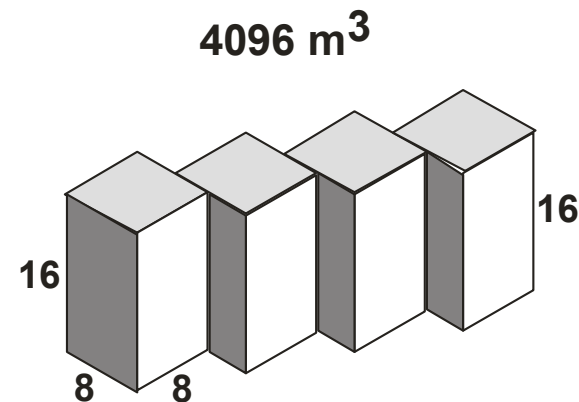
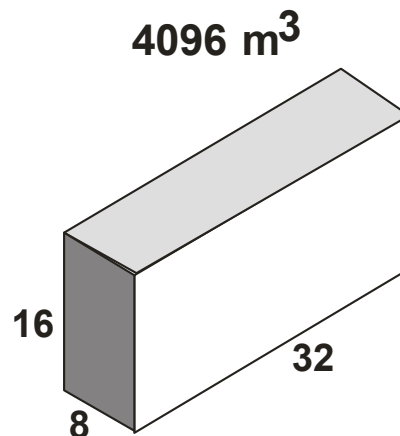
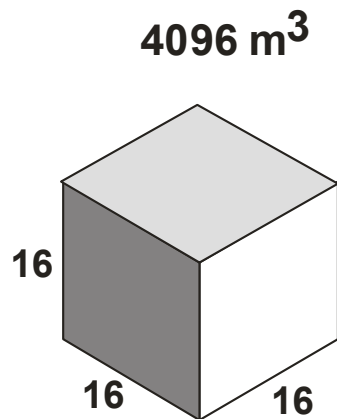
Odnos volumena neke zgrade i površine njenog omotača može imati bitnu ulogu u količini potrošene energije potrebne za zagrijavanje zgrade.

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama utvrđuje faktor oblika zgrade $f_o = A/V_e$ (m^{-1}). To je omjer oplošja A (m^2) i obujma V_e (m^3) grijanog dijela zgrade.

ENERGETSKI CERTIFIKAT ZGRADE			
prema Pravilniku o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju (NN)			
Naziv zgrade			
Naziv samostalne uporabne cjeline zgrade			
Ulica / kućni broj	Politički broj	Mjesto	
PODACI O ZGRADI ☐ nova ☐ postojeća ☐ rekonstrukcija			
Vrsta zgrade (prema Pravilniku) odaberi vrstu zgrade prema Pravilniku iz padajućeg izbornika			
Vrsta zgrade prema složenosti tehničkih sustava odaberi iz padajućeg izbornika			
Vlasnik / investitor			
k.č.br.		k.o.	
Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade A_k		Godina izgradnje / rekonstrukcije	
Građevinska (bruto) površina zgrade l_m^2		Mjerodavna meteorološka postaja	
Faktor oblika f_o [m^{-1}]		Referentna klima	
ENERGETSKI RAZREDI ZGRADE		Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$ [$kWh/(m^2 \cdot a)$]	Specifična godišnja primarna energija E_{prim} [$kWh/(m^2 \cdot a)$]
		D 128,88	C 82,81
Upisati „nZEB“ ako zgrada zadovoljava zahtjeve za zgrade gotovo nulte energije propisane važećim TPRUETZZ2 ¹		nZEB	
Pojedinačno zaštić. kulturno dobro/unutar zaštić. kult.-povijes. cjeline		unutar zaštićene kulturno – povijesne cjeline	
Specifična godišnja emisija CO_2 [$kg/(m^2 \cdot a)$] ¹	146		
ROK VAŽENJA CERTIFIKATA / PODACI O OSOBI KOJA JE IZDALA ENERGETSKI CERTIFIKAT			
Oznaka energetskog certifikata		Datum izdavanja	Datum važenja
Naziv ovlaštene pravne osobe		Registarski broj	
Ime i prezime imenovane osobe u ovlaštenoj pravnoj osobi ili ime i prezime ovlaštene fizičke osobe / potpis			
PODACI O OSOBAMA KOJE SU SUDJELOVALE U IZRADI ENERGETSKOG CERTIFIKATA			
Dio	Građevinski	Strojarski	Elektrotehnički
Ime i prezime ovlaštene osobe			
Naziv pravne osobe			
Registarski broj			
Potpis			

¹ Za stvarne klimatske podatke i Algoritmom propisan režim korištenja prostora i rada tehničkih sustava

VOLUMEN ZGRADE



POVRŠINA OMOTAČA ZGRADE

1536 m²

$f_o = 0,375$

1792 m²

$f_o = 0,437$

2176 m²

$f_o = 0,531$

Zgrade razvedenih oblika mogu imati i do 35 % veću površinu omotača zgrade od zgrada pravilnih geometrijskih oblika. Razvedene zgrade troše više energije potrebne za zagrijavanje, pa moraju imati kvalitetniji omotač u toplinskom smislu.

Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu zgradde **(Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20)** **(TPRUETZZ)**

Tehnički zahtjev za **racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu** zgrade utvrđuje se:

- najvećom dopuštenom godišnjom potrebnom toplinskom energijom za grijanje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m² ·a)] i
- najvećom dopuštenom godišnjom primarnom energijom po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade E_{prim} [kWh/(m² ·a)] na temelju troškovno optimalnih razina.

Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu za nove zgrade **(Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20)** **(TPRUETZZ)**

Stambena zgrada i nestambena zgrada gotovo nulte energije je zgrada kod koje:

- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade, $Q'_{H,nd}$ [kWh/(m² · a)], nije veća od dopuštenih vrijednosti utvrđenih u Tablici 8. iz Priloga B ovoga propisa;
- godišnja primarna energija po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade E_{prim} [kWh/(m² · a)], koja uključuje energije navedene u Tablici 8.a, nije veća od dopuštenih vrijednosti utvrđenih u Tablici 8. iz Priloga B ovoga propisa za zgrade gotovo nulte energije.

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20 (TPRUETZZ)

Tablica 8.a – Definirani tehnički sustavi* za proračun isporučene i primarne energije

	Vrsta zgrade	SUSTAV GRIJANJA	SUSTAV HLAĐENJA	SUSTAV PRIPREME PTV-a	SUSTAV MEH. VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE	SUSTAV RASVJETE
1	Obiteljske kuće	DA	NE	DA	Uzima se u obzir ukoliko postoji	NE
2	Višestambene zgrade	DA	NE	DA		NE
3	Uredske zgrade	DA	DA	NE		DA
4	Zgrade za obrazovanje	DA	NE	NE		DA
5	Bolnice	DA	DA	DA		DA
6	Hoteli i restorani	DA	DA	DA		DA
7	Sportske dvorane	DA	DA	DA		DA
8	Zgrade trgovine	DA	DA	NE		DA
9	Ostale nestambene zgrade	DA	NE	NE		DA

* Za izračun udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji mogu se koristiti isporučene energije svih tehničkih sustava ugrađenih u zgradi

Uvjeti koje treba zadovoljiti u projektiranju gotovo nula energetskih zgrada G0EZ (nZEB)



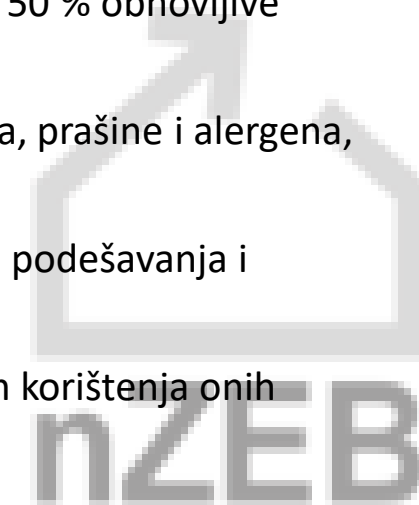
- potrebna energija za grijanje $Q_{H,nd} / m^2$ i niska primarna energija E_{prim} / m^2
- niska zrakopropusnost
- udio OIE > 30%

Tablica 8. – Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade (nZEB) grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili višu

ZAHTJEVI ZA NOVE ZGRADE	$Q''_{H,nd} [kWh/(m^2 \cdot a)]$						$E_{prim} [kWh/(m^2 \cdot a)]$	
	nZEB						nZEB	
	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3 \text{ °C}$			primorje, $\theta_{mm} > 3 \text{ °C}$			kont $\theta_{mm} \leq 3 \text{ °C}$	prim $\theta_{mm} > 3 \text{ °C}$
VRSTA ZGRADE	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$		
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_0$	57,50	45	35
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_0$	37,34	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_0$	31,13	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_0$	67,60	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_0$	32,65	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_0$	58,82	210	150
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_0$	35,08	170	150
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	/	/

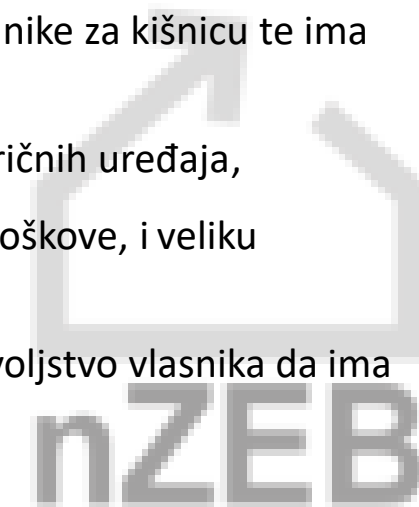
Zgrada gotovo nulte energije (nZEB) ima neke od sljedećih prednosti u odnosu na ostale zgrade:

- doprinosi **očuvanju klime te koristi obnovljive izvore energije** (sunca, vode, tla, zraka...) za svoje energetske potrebe,
- projektirana je **prema specifičnim klimatskim i lokacijskim uvjetima**, s mogućim **najpovoljnijim oblikom zgrade** za uštedu energije, te relativne **orijentacije prema suncu** kojom može povećavati ili ograničavati količinu sunčeve svjetlosti i topline,
- ima znatno **niže troškove za korištenje energije**,
- **minimalno 30% godišnje isporučene energije se proizvodi iz obnovljivih izvora energije**, najbolje na samoj zgradi ili u njezinoj blizini, i u slučaju kad je najmanje 60 % godišnje isporučene energije za rad tehničkih sustava u zgradi podmireno iz učinkovitog sustava centraliziranog grijanja, odnosno učinkovitog sustava centraliziranog grijanja i hlađenja, koji upotrebljava: najmanje 50 % obnovljive energije, 50 % otpadne topline, 75 % topline dobivene kogeneracijom ili 50 % kombinacije takve energije i topline,
- sadrži **energetski vrlo učinkovite sustave** za zagrijavanje/hlađenje svježeg/filtriranog zraka bez vanjskih zagađivača, prašine i alergena, izuzetne ugone zraka, a radi čega nema zdravstvenih problema, niti potrebe za čestim čišćenjem,
- koristi **pametne tehnologije upravljanja tehničkim sustavima zgrade**, dakle automatizacije i upravljanja zgradom, podešavanja i nadzora, za tehničke sustave ili njihove dijelove,
- za njenu gradnju se **primjenjuju optimalni standardni ili najsuvremeniji građevni materijali i elementi**, te s ciljem korištenja onih koji zadovoljavaju kriterije zelene i održive gradnje (kružnog gospodarstva),
-



Zgrada gotovo nulte energije (nZEB) ima neke od sljedećih prednosti u odnosu na ostale zgrade:

- zahtijeva **manje održavanja i ima duži životni vijek** nego ostale, jer su građevni materijali i uređaji pažljivije odabrani i ugrađeni,
- osigurana su **rješenja za kontrolu insolacije**, osunčavanja unutrašnjosti zgrade (korištenja upada sunčevih zraka), te treba biti pažljivo projektirana da koristi prirodnu dnevnu svjetlost za energetske potrebe prema principima projektiranja pasivne kuće,
- koristi **energetski učinkovite potrošače električne energije** (uređaje i rasvjetu),
- **razina buke u interijeru je vrlo niska** jer ima vrlo dobro izolirane zidove, zgrada je odgovarajuće zrakopropusnosti, te ima adekvatnu stolariju (obzirom na tražene karakteristike i način ugradbe),
- **potrošnja vode je manja**, jer je zgrada opremljena kontrolama protoka vode na izljevnim mjestima, ima spremnike za kišnicu te ima neprekidno toplu vodu,
- **višak proizvedene energiju se može koristiti** za punjenje električnih automobila, bicikala ili dodatnih električnih uređaja,
- **pametna je investicija u slučaju prodaje**, jer je sagrađena prema najsuvremenijim zahtjevima, te uz male troškove, i veliku klimatsku udobnost koju pruža, će postizati više cijene na tržištu nekretnina,
- **vrhunskog dizajna**, vrhunske tehnologije, visoke energetske učinkovitosti i održivosti, nZEB sigurno znači zadovoljstvo vlasnika da ima zgradu budućnosti.



Pravilnik o energetske pregledu zgrade i energetske certificiranju NN broj [88/17](#), [90/20](#), [1/21](#), [45/21](#)

Tablica 2. Energetski razred grafički se prikazuje na energetske certifikatu zgrade slovom (A+, A, B, C, D, E, F, G) s podatkom o specifičnoj godišnjoj primarnoj energiji, E_{prim} izraženoj u kWh/m²a.

E_{prim} (kWh/m ² a)	STAMBENA		OBITELJSKA		UREDSKA		OBRAZOVNA		BOLNICA		HOTEL I RESTORAN		SPORTSKA DVORANA		TRGOVINA		OSTALE NESTAMBENE	
	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P
A+	≤ 80	≤ 50	≤ 45	≤ 35	≤ 35	≤ 25	≤ 55	≤ 55	≤ 250	≤ 250	≤ 90	≤ 70	≤ 210	≤ 150	≤ 170	≤ 150	≤ 80	≤ 50
A	> 80	> 50	> 45	> 35	> 35	> 25	> 55	> 55	> 250	> 250	> 90	> 70	> 210	> 150	> 170	> 150	> 80	> 50
	≤ 100	≤ 75	≤ 80	≤ 55	≤ 55	≤ 50	≤ 60	≤ 58	≤ 275	≤ 275	≤ 110	≤ 75	≤ 305	≤ 160	≤ 310	≤ 210	≤ 115	≤ 75
B	> 100	> 75	> 80	> 55	> 55	> 50	> 60	> 58	> 275	> 275	> 110	> 75	> 305	> 160	> 310	> 210	> 115	> 75
	≤ 120	≤ 90	≤ 115	≤ 70	≤ 70	≤ 70	≤ 65	≤ 60	≤ 300	≤ 300	≤ 130	≤ 80	≤ 400	≤ 170	≤ 450	≤ 280	≤ 150	≤ 100
C	> 120	> 90	> 115	> 70	> 70	> 70	> 65	> 60	> 300	> 300	> 130	> 80	> 400	> 170	> 450	> 280	> 150	> 100
	≤ 265	≤ 220	≤ 280	≤ 230	≤ 100	≤ 90	≤ 125	≤ 120	≤ 345	≤ 325	≤ 160	≤ 95	≤ 465	≤ 225	≤ 475	≤ 290	≤ 280	≤ 225
D	> 265	> 220	> 280	> 230	> 100	> 90	> 125	> 120	> 345	> 325	> 160	> 95	> 465	> 225	> 475	> 290	> 280	> 225
	≤ 410	≤ 350	≤ 445	≤ 385	≤ 125	≤ 110	≤ 175	≤ 175	≤ 395	≤ 350	≤ 190	≤ 110	≤ 530	≤ 280	≤ 495	≤ 340	≤ 410	≤ 350
E	> 410	> 350	> 445	> 385	> 125	> 110	> 175	> 175	> 395	> 350	> 190	> 110	> 530	> 280	> 495	> 340	> 410	> 350
	≤ 515	≤ 435	≤ 560	≤ 485	≤ 155	≤ 140	≤ 220	≤ 220	≤ 495	≤ 440	≤ 240	≤ 140	≤ 665	≤ 350	≤ 620	≤ 425	≤ 515	≤ 435
F	> 515	> 435	> 560	> 485	> 155	> 140	> 220	> 220	> 495	> 440	> 240	> 140	> 665	> 350	> 620	> 425	> 515	> 435
	≤ 615	≤ 520	≤ 670	≤ 580	≤ 190	≤ 165	≤ 265	≤ 265	≤ 590	≤ 525	≤ 290	≤ 165	≤ 795	≤ 415	≤ 745	≤ 510	≤ 615	≤ 520
G	> 615	> 520	> 670	> 580	> 190	> 165	> 265	> 265	> 590	> 525	> 290	> 165	> 795	> 415	> 745	> 510	> 615	> 520

K- kontinentalna Hrvatska;
P- primorska Hrvatska

ENERGETSKI CERTIFIKAT ZGRADE	
prema Pravilniku o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju (NN)	
Naziv zgrade	
Naziv samostalne uporabne cjeline zgrade	
Ulica i kućni broj	Politički broj
Mjesto	
PODACI O ZGRADI	
☐ nova ☐ postojeća ☐ rekonstrukcija	
Vrsta zgrade (prema Pravilniku)	
Vrsta zgrade prema složenosti tehničkih sustava	
Vlasnik / investitor	
k.č.br.	k.o.
Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade A_k	Godina izgradnje / rekonstrukcije
Građevinska (bruto) površina zgrade $[m^2]$	Mjerodavna meteorološka postaja
Faktor oblika f_o $[m^{-1}]$	Referentna klima
ENERGETSKI RAZREDI ZGRADE	
Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$ $[kWh/(m^2 \cdot a)]$	
Specifična godišnja primarna energija E_{prim} $[kWh/(m^2 \cdot a)]$	
A+ A B C D E F G	
Upisati „nZEB“ ako zgrada zadovoljava zahtjeve za zgrade gotovo nulte energije propisane važećim TPRUETZZZ ¹	
nZEB	
Pojedinačno zaštić. kulturno dobro/unutar zaštić. kult.-povijes. cjeline	
unutar zaštićene kulturno – povijesne cjeline	
Specifična godišnja emisija CO_2 $[kg/(m^2 \cdot a)]$ ¹	
146	
ROK VAŽENJA CERTIFIKATA / PODACI O OSOBI KOJA JE IZDALA ENERGETSKI CERTIFIKAT	
Oznaka energetskog certifikata	Datum izdavanja
Naziv ovlaštene pravne osobe	Datum važenja
Ime i prezime imenovane osobe u ovlaštenoj pravnoj osobi ili ime i prezime ovlaštene fizičke osobe / potpis	Registarski broj
PODACI O OSOBAMA KOJE SU SUDJELOVALE U IZRADI ENERGETSKOG CERTIFIKATA	
Dio	Građevinski
Dio	Strojarski
Dio	Elektrotehnički
Ime i prezime ovlaštene osobe	
Naziv pravne osobe	
Registarski broj	
Potpis	

¹ za stvarne klimatske podatke i Algoritmom propisan režim korištenja prostora i rada tehničkih sustava

GRAĐEVINSKI DIJELOVI ZGRADE				
Koeficijent transmisije toplinskog gubitka $H'_{t,adj}$ $[W/(m^2 \cdot K)]$				
KOEFICIJENT PROLASKA TOPLINE	U $[W/(m^2 \cdot K)]$ ²	U_{adj} $[W/(m^2 \cdot K)]$	Ispunjeno	
Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, provjetravanom tavanu			☐ DA ☐ NE	
Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema provjetravanom tavanu			☐ DA ☐ NE	
Zidovi prema tlu, podovi prema tlu			☐ DA ☐ NE	
Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže			☐ DA ☐ NE	
Zidovi i stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C			☐ DA ☐ NE	
Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozirni elementi pročelja			☐ DA ☐ NE	
Vanjska vrata s neprozirnim krilom			☐ DA ☐ NE	
Zidovi i stropovi između samostalnih uporabnih cjelina zgrade			☐ DA ☐ NE	
Izmjereni protok zraka prilikom ispitivanja zrakopropusnosti prema važećem TPRUETZZZ na izgrađenoj novoj ili rekonstruiranoj postojećoj zgradi prije tehničkog pregleda zgrade, n_{50} $[h^{-1}]$				
PODACI O TEHNIČKIM SUSTAVIMA ZGRADE				
Način grijanja zgrade	☐ lokalno ☐ centralno ☐ nema			
Način pripreme potrošne tople vode	☐ lokalno ☐ centralno ☐ nema			
Izvor energije za grijanje zgrade	☐ prirodni plin ☐ ukapljeni naftni plin ☐ nema			
	☐ loživo ulje ☐ električna energija			
	☐ drvo (cjepanice) ☐ drvna biomasa			
	☐ daljinski izvor			
Izvor energije za pripremu potrošne tople vode	☐ prirodni plin ☐ ukapljeni naftni plin ☐ nema			
	☐ loživo ulje ☐ električna energija			
	☐ drvo (cjepanice) ☐ drvna biomasa			
	☐ daljinski izvor			
Način hlađenja zgrade	☐ lokalno ☐ centralno ☐ nema			
	☐ etažno			
Izvori energije koji se koriste za hlađenje zgrade	☐ električna energija ☐ nema			
Vrsta ventilacije	☐ prisilna bez sustava povrata topline ☐ prisilna sa sustavom povrata topline ☐ prirodna			
Vrsta i način korištenja sustava s obnovljivim izvorima energije	☐ dizalica topline ☐ solarni kolektori ☐ nema			
	☐ biomasa ☐ fotonapon			
	☐			
Postoji sustav automatizacije i upravljanja zgradom (SAUZ)	☐ DA ☐ NE			
Postoji sustav samoregulacije	☐ DA ☐ NE			
Zgrada ima dizalo	☐ DA ☐ NE			
ENERGETSKE POTREBE				
	REFERENTNI KLIMATSKI PODACI ³		STVARNI KLIMATSKI PODACI ¹	
	Ukupno $[kWh/a]$	Specifično $[kWh/(m^2 \cdot a)]$	Ukupno $[kWh/a]$	Specifično $[kWh/(m^2 \cdot a)]$
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$				
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje $Q_{C,nd}$				
Godišnja potrebna energija za rasvjetu E_l				
Godišnja isporučena energija E_{del}				
Godišnja primarna energija E_{prim}				
OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE NA LOKACIJI ZGRADE				
Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade $E_{EL,RES}$ $[kWh/a]$				
Godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade $E_{HK,RES}$ $[kWh/a]$				
Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava [%]				

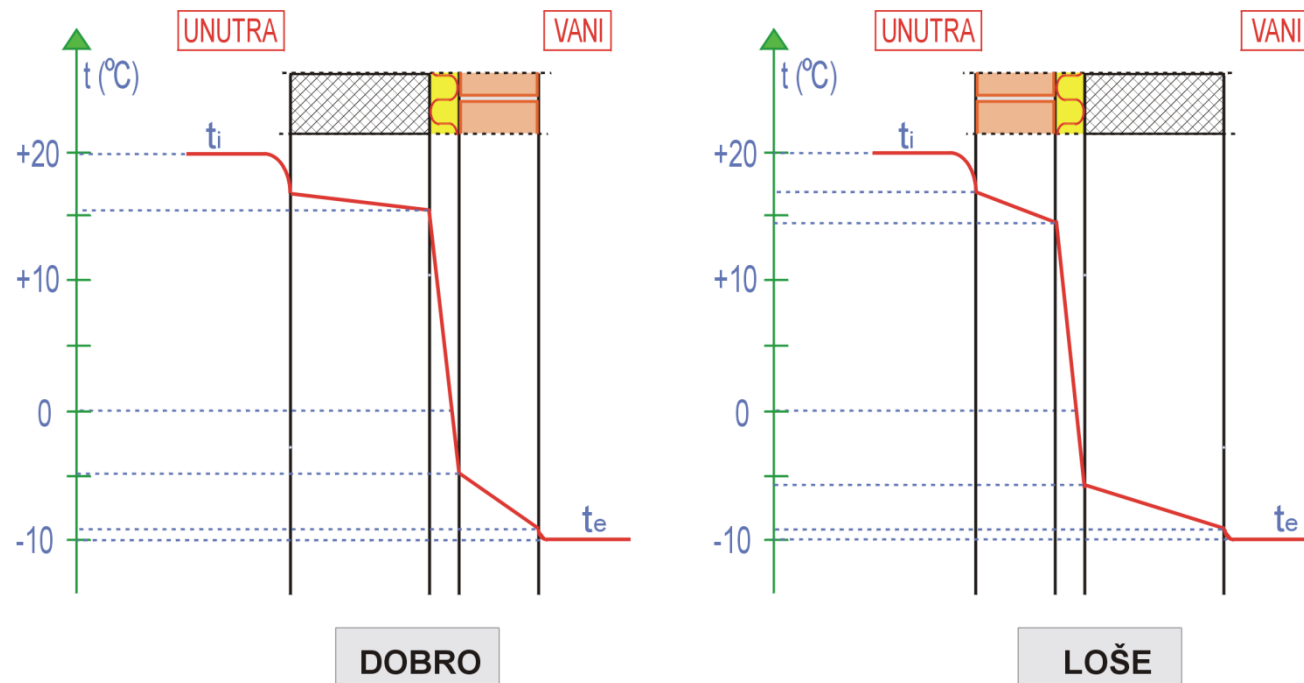
² upisuju se U vrijednosti za pretežite građevne dijelove zgrade (najvećih ukupnih ploština)

³ za referentne klimatske podatke i Algoritmom propisan režim korištenja prostora i rada tehničkih sustava

Izgled i
sadržaj
energetskog
certifikata

TEMPERATURNNA KRIVULJA

Ako u crtežu presjeka građevinskog elementa u nekom mjerilu nanesimo proračunate temperature na granicama pojedinih slojeva i spojimo ih pravcima dobit ćemo **temperaturnu krivulju**. Ta krivulja pokazuje temperaturu svake točke presjeka elementa za stacionarni toplinski tijek.

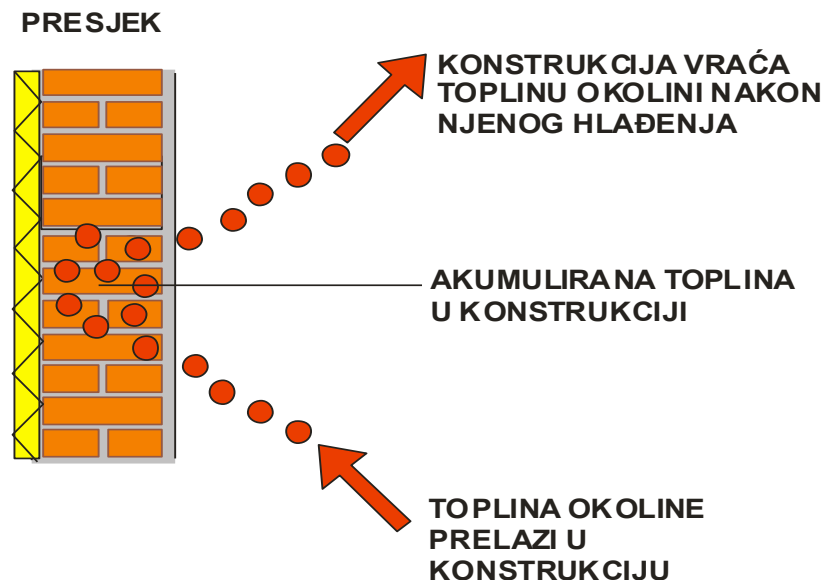


AKUMULACIJA TOPLINE ELEMENATA ZGRADE

Akumulacija topline je svojstvo građevnih dijelova zgrade da mogu prihvatiti dovedenu im toplinu, u sebi je akumulirati (sačuvati) i kod hlađenja okoline ponovo je predavati okolini.

Ova karakteristika vrlo je bitna u zgradama tijekom zimskog perioda kada grijanje ne radi kontinuirano cijeli dan, već se u pravilu prekida preko noći. Akumulirana toplinska energija omogućuje da se temperatura u prostorijama bitno ne smanji tijekom noći.

Količina toplinske energije koja se akumulira u građevinskom elementu ovisi najviše o razlici temperatura elementa i okolnog zraka, te o specifičnom toplinskom kapacitetu i masi elementa.



W = koeficijent akumulacije topline = količina topline koju građevinski element akumulira po jedinici površine, za jediničnu razliku temperatura unutarnjeg i vanjskog zraka, kada je postignuto stacionarno stanje.

$$W = U [d_1 * \rho_1 * c_1 (1/\alpha_e + d_1/2\lambda_1) + d_2 * \rho_2 * c_2 (1/\alpha_e + d_1/\lambda_1 + d_2/2\lambda_2) + \dots + d_n * \rho_n * c_n (1/\alpha_e + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + d_n/2\lambda_n)] \text{ (kJ/m}^2\text{K)}$$

d = debljina pojedinog sloja (**u metrima**)

ρ = gustoća (obujamska masa) materijala u (**kg/m³**)

c = specifični toplinski kapacitet (**J/kg K**)

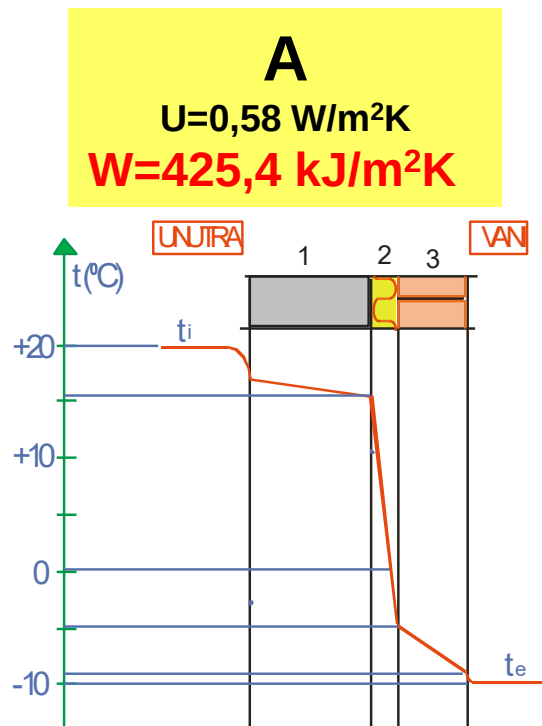
λ = koeficijent toplinske provodljivosti (**W/m K**)

Da bi se ostvarili što bolji preduvjeti za akumulaciju topline potrebno je materijale sa većom specifičnom težinom u višeslojnim pregradama postaviti sa unutrašnje tople strane. To znači da se toplinsku izolaciju obodnih konstrukcija uvijek treba postavljati sa vanjske strane.

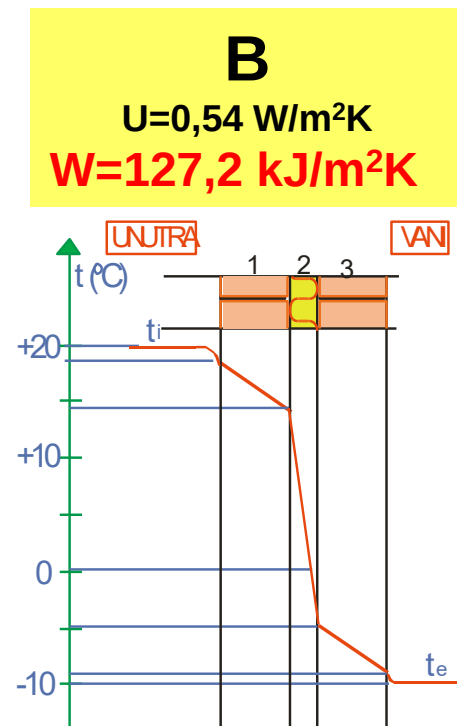
Ovaj način postave toplinske izolacije u zgradama nužno je ostvariti jer nepostojanje akumulirane topline u obodnim konstrukcijama loše se odražava na ostvarivanje toplinskog komfora i racionalnu potrošnju energije.

Primjeri zidova sa približno jednakim koeficijentima prolaska topline “U” , ali sa bitno različitim koeficijentima akumulacije topline W (kJ/m²K).

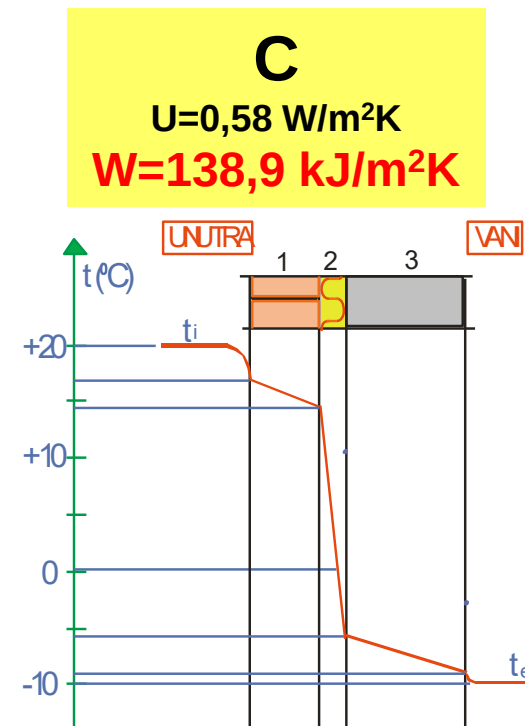
Temperaturna krivulja na ovim primjerima pokazuje na kojoj temperaturi pojedini sloj zida akumulira toplinu.



MASIVNA AB
KONSTRUKCIJA
DOPRINOSI DOBROJ
AKUMULACIJI
TOPLINE



AKUMULACIJA TOPLINE
JE SMANJENA ZBOG MALE
MASE KONSTRUKCIJE SA
UNUTRAŠNJE STRANE
PREGRADE



AKUMULACIJA TOPLINE
JE SMANJENA ZBOG MALE
MASE KONSTRUKCIJE SA
UNUTRAŠNJE STRANE
PREGRADE

- Iz temperaturnih krivulja i zona zamrzavanja vanjskih dijelova zida vidi se da postavljanje toplinske izolacije sa vanjske strane obodne konstrukcije predstavlja **imperativ sa stajališta akumulacije topline**.
- Pored ovog zahtjeva postava toplinske izolacije sa vanjske strane građevinskih elemenata potrebna je i zbog **pravilne difuzije vodene pare**, ali i zbog smanjenja **temperaturnih naprezanja** konstrukcije koja bi u suprotnom mogla biti izložena velikim temperaturnim amplitudama.
- Vrlo veliki problem s akumulacijom topline postoji u **zgradama sa drvenim konstrukcijama**.
- Drvo kao materijal je dobar toplinski izolator, ali nedovoljno dobro akumulira toplinu zbog svoje male specifične težine.
- Zbog toga se kod takvih zgrada sposobnost akumulacije topline treba povećati pomoću dodatnih konstruktivnih ili pregradnih elemenata koji mogu preuzeti funkciju uskladištenja topline.

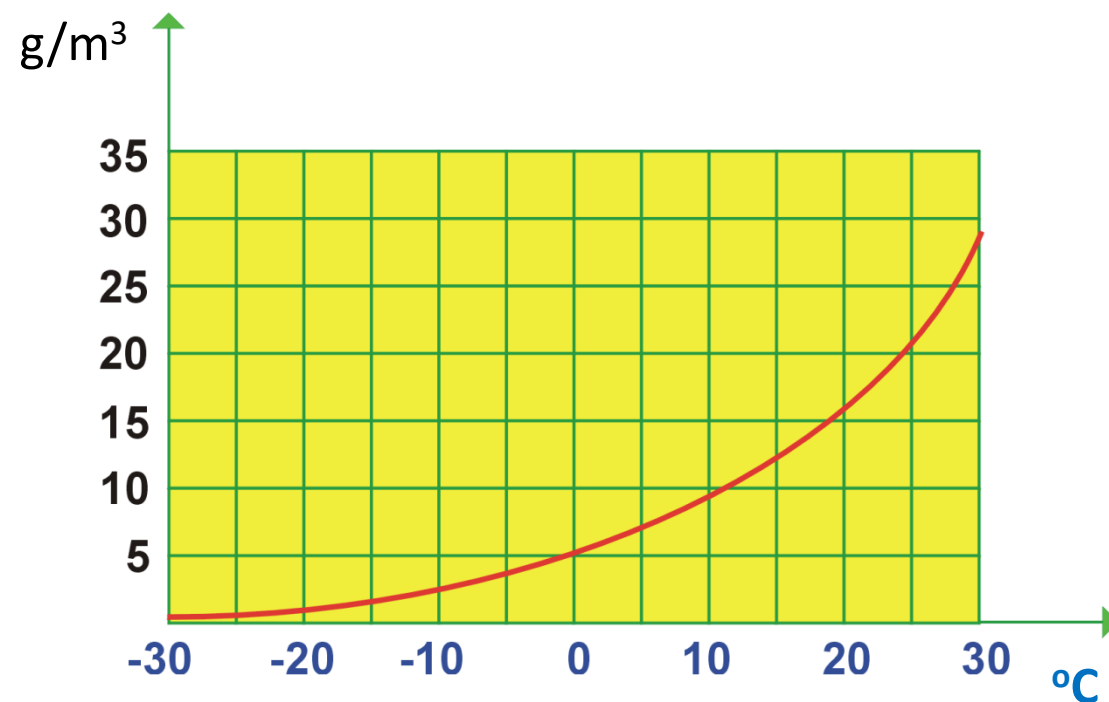
Najveći utjecaj na racionalnu potrošnju energije i ostvarivanje dobrog toplinskog komfora u zgradama ima toplinska kvaliteta omotača zgrade.

- Ostala tri elementa na koja čovjek može utjecati imaju bitno manju ulogu.
- Izraženije djelovanje jednog od elemenata može značajno smanjiti utjecaj drugih elemenata.
- Na sljedećem crtežu vidi se međusobni odnos elemenata koji najviše određuju racionalnu potrošnju energije i toplinski komfor u zgradama.



SVOJSTVA VLAŽNOG ZRAKA

- Vlažan zrak – smjesa suhog zraka i vodene pare.
- Zrak uvijek sadrži određenu količinu vodene pare.
- Količina vodene pare u zraku ograničena je, a ovisi o njegovoj temperaturi.
- Što je veća temperatura zraka to on može primiti veću količinu vlage.
- Zrak najčešće sadrži manju količinu vlage od najveće moguće i u tom slučaju on nije zasićen.
- Npr. pri 20°C zrak u zasićenom stanju sadrži 17,3 g po m³ vodene pare.



NAJVEĆI MOGUĆI SADRŽAJ VODENE PARE U ZRAKU U OVISNOSTI O TEMPERATURI ZRAKA

Zasićen zrak - ima najveću moguću količinu vlage.

Masa vodene pare u jedinici volumena zraka (m^3) zove se **apsolutna vlaga**

Omjer apsolutne vlage i najveće moguće količine vlage koju bi zrak, pri istoj temperaturi i tlaku, sadržavao, kada bi bio potpuno zasićen, zove se **relativna vlaga zraka = v (%)**.

Spuštanjem temperature zraka dolazi do temperature pri kojoj vlažan zrak postaje zasićen $\Rightarrow$ hlađenje $\Rightarrow$ suvišak vlage se kondenzira.

t_s = temperatura rosišta

$v = 100 \%$

Prisustvo vodene pare u zraku može se odrediti i njenim tlakom. Tlak vodene pare u zraku zove se **parcijalni tlak** vodene pare **(p)**.

Najveća moguća vrijednost parcijalnog tlaka vodene pare u zraku određene temperature zove se **tlak zasićenja** **(p')**.

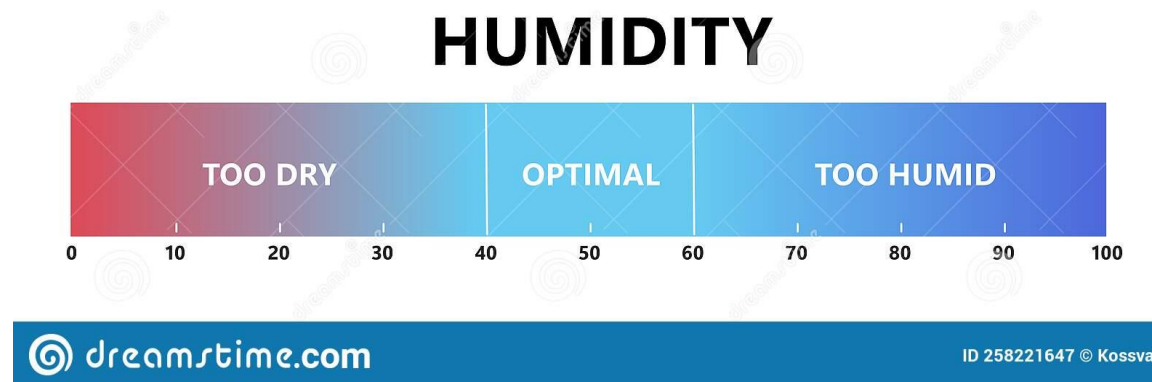
Relativna vlaga zraka može se definirati i kao odnos parcijalnog tlaka vodene pare **(p)** promatranog vlažnog zraka prema tlaku zasićenja **(p')** pri određenoj temperaturi zraka.

$$v = p/p' \text{ (%)}$$

- ISO 16814:2008(en) Building environment design — Indoor air quality — Methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy
- • HRN EN 16798-1:2019 (HR) Energijska svojstva zgrada -- Ventilacija u zgradama -- 1. dio: Ulazni mikroklimatski parametri za projektiranje i procjenu energijske učinkovitosti zgrada koji se odnose na kvalitetu zraka, toplinsko okruženje, rasvjetu i akustiku -- Modul M1-6 (EN 16798-1:2019)
- **Optimalna vlažnost propisana je, a ovisi o vrsti i namjeni prostorije, za stambene prostore iznosi između 40 % i 60 %.**



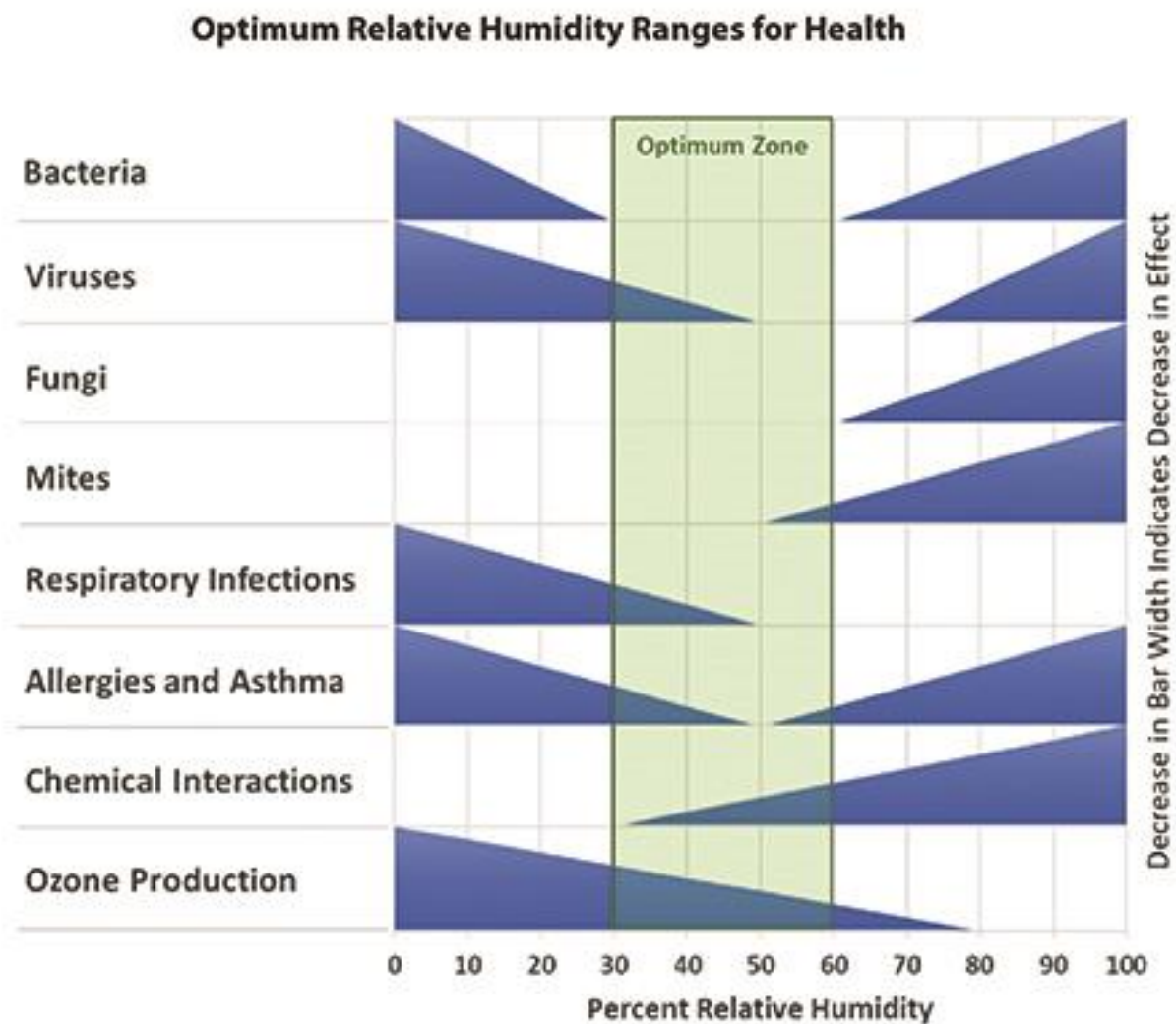
<https://sensi.emerson.com/en-us/blog/summer-indoor-humidity-levels>



TOPLINSKI MOSTOVI

- Smanjena unutarnja temperatura površine građevinskog elementa kao posljedica povećanog toplinskog toka povećava **rizik od kondenzacije vodene pare na unutarnjoj površini i unutar konstrukcije, taloženja prašine i pojave vlage** - negativan utjecaj na **ljudsko zdravlje**
- Dugotrajna pojava vlage i plijesni uzrokuje i **oštećenje konstrukcije** te je jedan od najčešćih uzroka **degradacije kvalitete građevine**
- Hladne površine zidova i podova kao posljedica toplinskih mostova direktno nepovoljno utječu na **toplinski ugođaj** korisnika u zgradi
- Toplinski mostovi uzrokuju mehanička oštećenja konstrukcije zbog smrzavanja te narušavaju **tri temeljna zahtjeva za građevinu** - mehanička otpornost i stabilnost, higijena, zdravlje i okoliš te gospodarenje energijom i očuvanje topline

- **Relativna je vlaga vrlo važna u zatvorenim prostorima**, jer utječe na psiho- fizičke funkcije čovjeka.
- Čovjek lakše podnosi **visoke temperature ako je zrak suh** jer regulira tjelesnu temperaturu znojenjem - znojenjem, odnosno isparavanjem troši se tjelesna toplina i tako tijelo hladi.
- **Ako je zrak zasićen vodenom parom** on neće moći primiti dodatnu paru stvorenu znojenjem što može dovesti do toplotnog udara.
- **Premali postotak vlage u zraku** izaziva nelagodu, smetnje u dišnim organima te pogodnost infekcijama.
- Razlog je pojačano isparavanje (tepisi, namještaj i dr.) koje stvara prašinu, a čestice prašine na vrućim grijaćim tijelima stvaraju amonijak i druge plinove što nadražuje sluznice i izaziva oboljenja.
- **KONDENZAT** nastaje kada količina vlage u zraku prijeđe količinu maksimalne vlage kod određene temperature, moguće na dva načina:
 - Ako u zasićeni zrak dodajemo nove količine vodene pare višak će se kondenzirati.
 - Ako zrak koji sadrži vodenu paru ohladimo ispod točke rosišta višak će se kondenzirati.
- **ROSIŠTE** označava onu temperaturu do koje se vlažan zrak može ohladiti da se postigne njegova puna zasićenost.



The Sterling Chart, Adapted from E.M. Sterling, 1985, Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Buildings.
(<https://hvactoday.com/0621-humidity-issues/>)

- The National Oceanic and Atmosphere Administration, Environmental Data and Information Service and National Climate Change Centre (USA) has published a table that relates a range of room air temperatures with a range of relative humidity values and assigns at each value an apparent temperature the occupant would feel. This clearly highlights the relationship between air temperature and RH (%rh)

Apparent Temperature Data									
Source National Oceanic and Atmosphere Administration, Environmental Data and Information Service and National Climate Change Centre (USA)									
Room °C	% Relative Humidity								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
24	22	22	23	24	24	24	25	26	26
23	20	21	22	22	23	23	24	24	25
22	19	19	20	21	22	22	23	23	24
21	18	18	19	19	20	21	21	22	22
20	17	18	18	19	19	20	21	21	22
19	16	17	17	18	18	19	19	19	20
18	16	16	16	17	17	18	18	18	19
17	14	14	15	16	16	16	17	17	17
16	13	14	14	14	15	15	16	16	16
No change between actual and apparent temperature									
-2	2 °C lower than actual room temperature				1	1 °C higher than actual room temperature			
-1	1 °C lower than actual room temperature				2	2 °C higher than actual room temperature			

KONDENZACIJA VODENE PARE NA UNUTRAŠNJOJ STRANI GRAĐEVINSKOG ELEMENTA

Do kondenzacije dolazi uvijek kada je temperatura te površine manja od temperature rosišta zraka koji je dodiruje. Da bi se to spriječilo građevinski element mora imati dovoljno veliku vrijednost otpora prolazu topline R_o .

Za sprečavanje kondenzacije treba zadovoljiti :

$$t_s < t_i - [(t_i - t_e)/R_o] * R_i$$

odnosno :

$$R_o > [(t_i - t_e)/(t_i - t_s)] * R_i$$

t_s = temperatura rosišta

R_o = toplinski otpor građevinskog elementa

Ako nas zanima temperatura vanjskog zraka kod koje dolazi do kondenzacije vodene pare na unutrašnjoj strani građevinskog elementa poznatog otpora prolazu topline R_o može se izračunati :

$$t_e < t_i - [(t_i - t_s)/R_i] * R_o$$

- Vodena para nije fizikalno vezana sa zrakom, ona ima svoje posebne zakone.
- **Vodena para prodire sa zrakom u sve šupljine i pore građevinskog materijala, osim nepropusnih materijala kao što su npr. metali.**
- **Vodena se para u prostoriji raspoređuje jednolično** dok se toplina ne raspoređuje jednolično.
- Topli zrak se diže pa je temperatura ispod stropa kod normalnih stropnih visina za oko 4°C viša od temperature uz pod.
- Zbog jednoličnog pritiska pare relativna vlaga će biti veća uz pod a manja uz strop.
- Kod velike razlike u vanjskoj i unutarnjoj temperaturi (zimi 15°- 30° C) nastaje i **znatna razlika u parnom tlaku.**
- Vodena para visokog pritiska unutarnje prostorije nastojat će prodrijeti prema vanjskom nižem tlaku.

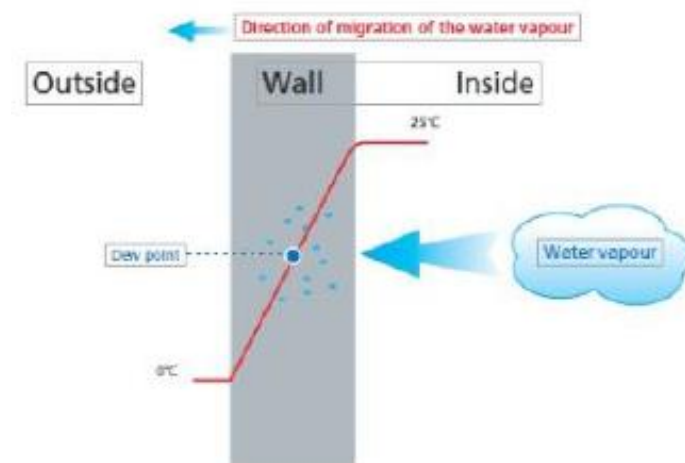
DIFUZIJA VODENE PARE KROZ GRAĐEVINSKE ELEMENTE

Ako je u mirnom zraku koncentracija vodene pare nejednolika, dolazi do kretanja molekula vodene pare s mjesta veće koncentracije ka mjestu manje koncentracije, s težnjom da koncentracija na svim mjestima bude jednaka.

Ta pojava zove se difuzija vodene pare.

Vodena para će prolaziti kroz svaki porozni građevinski element koji odjeljuje dva prostora s različitim parcijalnim tlakovima vodene pare.

Difuzija će se odvijati iz prostora s većim parcijalnim tlakom vodene pare prema prostoru s manjim tlakom.



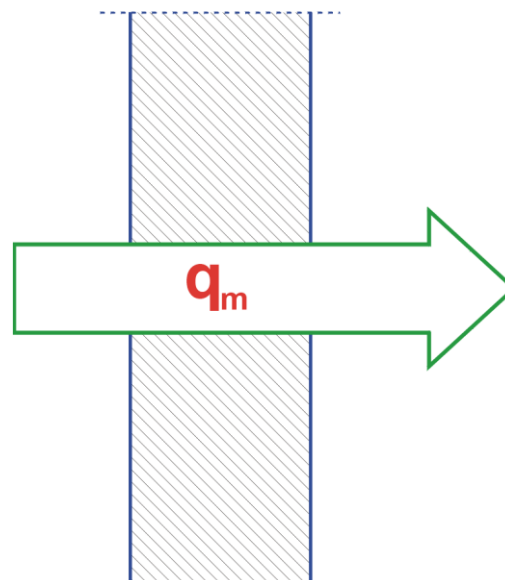
DIFUZIJA VODENE PARE KROZ GRAĐEVINSKI ELEMENT

$$t_i = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$v_i = 50 \%$$

$$p'_i = 2,337 \text{ kPa}$$

$$p_i = 0,5 * 2,337 = 1,169 \text{ kPa}$$



$$t_e = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$v_e = 90 \%$$

$$p'_e = 0,401 \text{ kPa}$$

$$p_e = 0,9 * 0,401 = 0,361 \text{ kPa}$$

Svaki građevinski element, u ovisnosti od strukture materijala, pruža određen i otpor difuziji vodene pare.

Vodena para vrlo se sporo kreće kroz građevinske elemente

q_m = gustoća difuznog toka vodene pare

$$q_m = 0,62 * \frac{p_i - p_e}{d_1\mu_1 + d_2\mu_2 + \dots} \quad [\text{g}/(\text{m}^2\text{h})] \text{ - opći izraz}$$

μ = faktor otpora difuziji vodene pare kroz građevinski element

Faktor μ pokazuje koliko puta je veći otpor difuznom prolazu vodene pare, kroz promatrani građevinski element, nego kroz sloj mirnog zraka jednake debljine i jednake temperature.

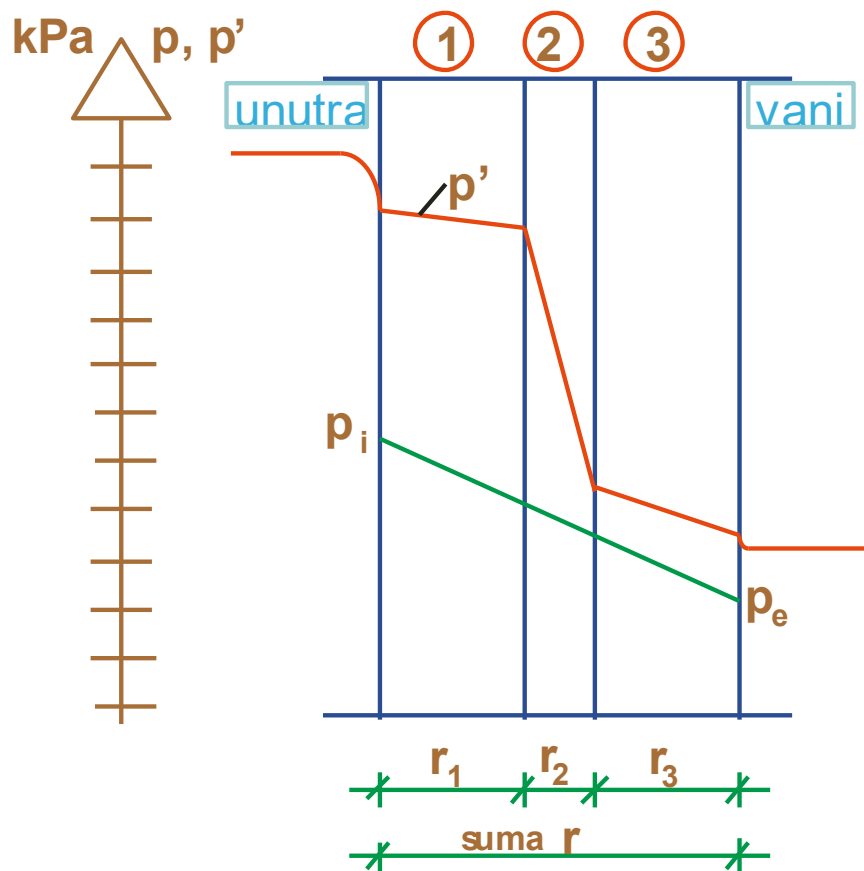
μ = karakteristika materijala, a ovisi najviše o poroznosti

μ za zrak je jednako 1,0

$$d * \mu = r$$

r = relativni otpor difuziji vodene pare pojedinog sloja građevinskog elementa (m)

d = debljina građevinskog materijala (m)



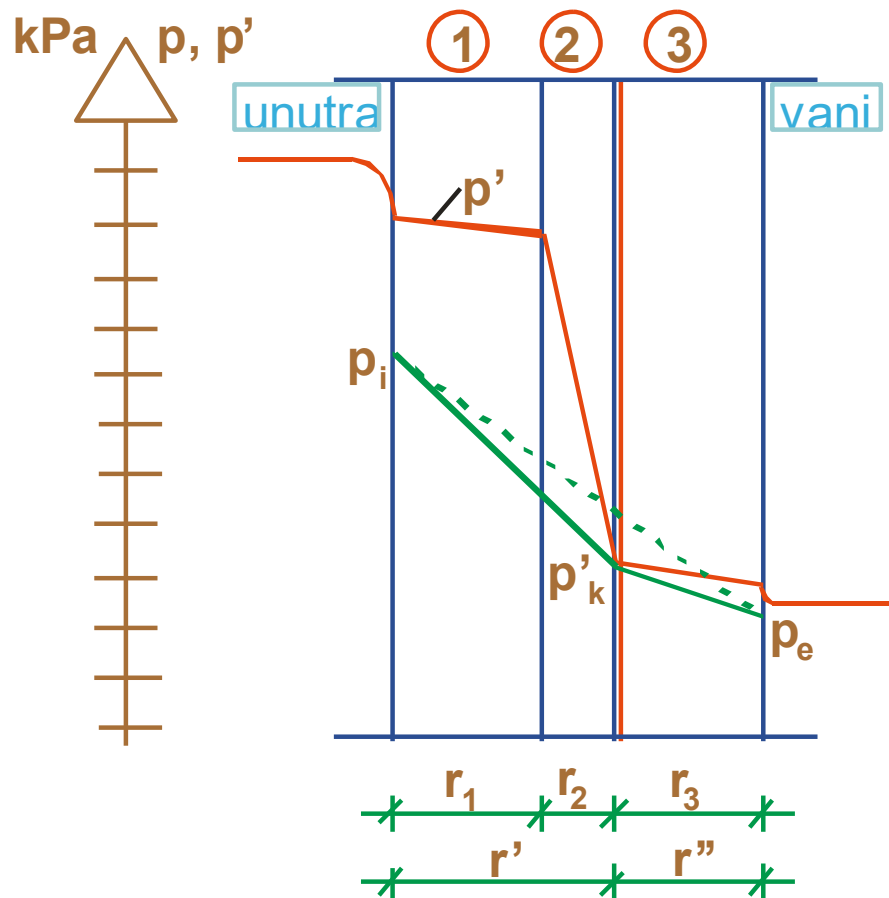
KARAKTERISTIČNE SCHEME DIFUZIJE VODENE PARE PO PRIBLIŽNOJ GLASEROVOJ METODI

p = parcijalni tlak vodene pare

p' = tlak zasićenja vodene pare

**A - NE DOLAZI DO KONDENZACIJE
VODENE PARE**

KARAKTERISTIČNE SCHEME DIFUZIJE VODENE PARE PO PRIBLIŽNOJ GLASEROVOJ METODI

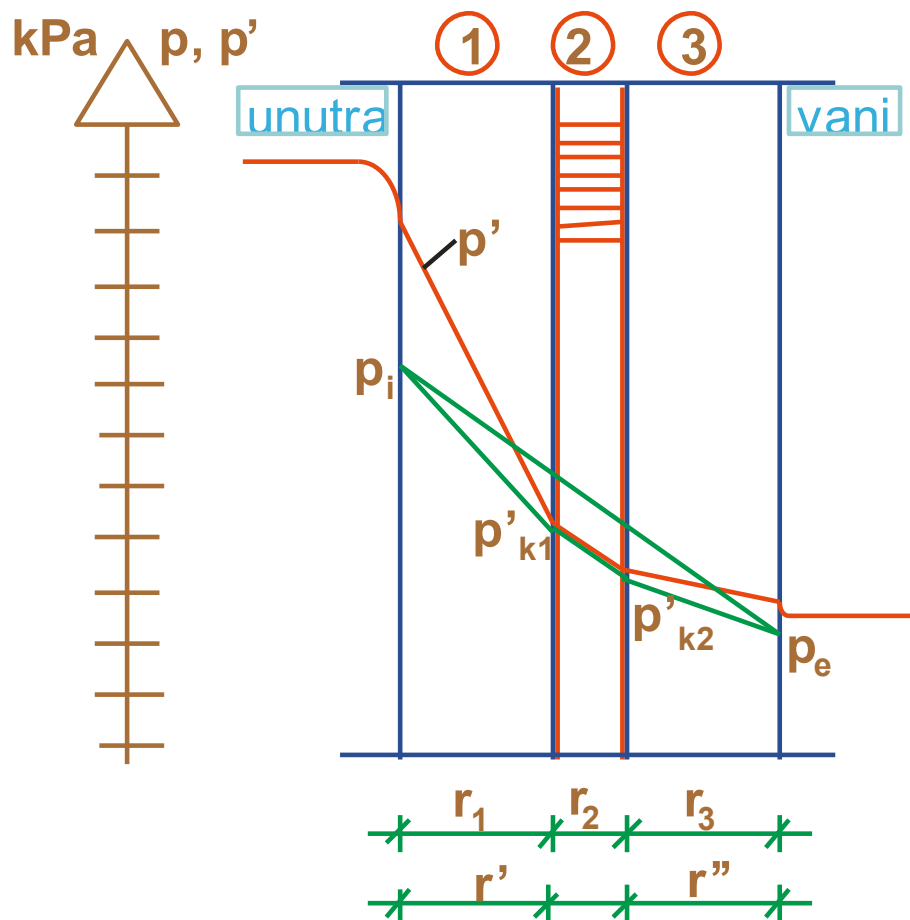


p = parcijalni tlak vodene pare

p' = tlak zasićenja vodene pare

B - KONDENZACIJA VODENE PARE U RAVNINI KONDENZACIJE

KARAKTERISTIČNE SCHEME DIFUZIJE VODENE PARE PO Približnoj GLASEROVOJ METODI



p = parcijalni tlak vodene pare

p' = tlak zasićenja vodene pare

**C - KONDENZACIJA VODENE PARE
U ZONI KONDENZACIJE**

KRITERIJI ZA OCJENU GRAĐEVINSKIH ELEMENATA U POGLEDU DIFUZIJE VODENE PARE

1. Građevni dijelovi grijane zgrade, koji graniče s vanjskim zrakom ili negrijanim prostorijama projektiraju se i izvode na način da se spriječi nastajanje građevinske štete uslijed kondenzacije vodene pare koja difuzijom ulazi u građevni dio.
2. Kondenzacija vodene pare nije dozvoljena u sloju elementa od materijala koji je osjetljiv na promjenu vlažnosti, kao na primjer drvo.

3. Za materijale koji nisu posebno osjetljivi na promjenu vlažnosti, kondenzacija je dozvoljena u određenim granicama, tako da uslijed kondenzacije ne nastane građevinska šteta.

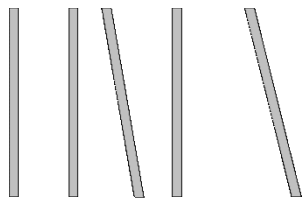
3.1. Do štete neće doći ako je ukupna vlažnost materijala u kojem se kondenzirala vodena para na završetku razdoblja difuzije vodene pare (završetak zimskog perioda) manja od najveće dozvoljene vlažnosti za taj materijal.

3.2. Građevinski element u kome se kondenzirala vodena para, mora zadovoljiti i uvjet da se ukupna količina u njemu kondenzirane vodene pare na završetku perioda difuzije vodene pare (q'_{mz}) može isušiti kroz period difuznog isušenja (ljetni period).

U tu svrhu računa se potrebno vrijeme T za isušenje elementa, koji ovisi o mjesnim klimatskim prilikama.

MJERE ZA POVEĆANJE UČINKOVITOSTI TOPLINSKE ZAŠTITE ZGRADA

- **energijski povoljno oblikovanje zgrade tj. na način da odnos oplošja i obujma grijanog dijela zgrade bude što manji (manji faktor oblika),**
- **povećanje toplinske izolacije građevnih dijelova zgrade koji su dio toplinske ovojnice zgrade, uključivo toplinske mostove,**
- **sprječavanje navlaženja građevnih dijelova zgrade uslijed kondenzacije vodene pare (na površini ili unutar građevnog dijela), uslijed oborinske vode te uslijed vlage iz tla,**
- **optimiranje sposobnosti akumulacije topline u skladu s namjenom prostora zgrade i predviđenim sustavom grijanja,**
- **povećanje zrakotjesnosti građevnih dijelova zgrade i mjesta njihovih priključaka (spojnica), u skladu s dosegnutim stupnjem razvoja tehnike i tehnologije,**
- **ograničenje ventilacije prostora zgrade na potrebe usklađene s namjenom zgrade i propisanim zahtjevima.**



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek

HVALA NA PAŽNJI!

dr. sc. Mihaela Domazetović, mag. ing. aedif.