

Toplotni mostovi u konstrukcijama

**Uticaj toplotnih mostova na transmisiju toplote
Metode proračuna**

Toplotni mostovi su mjesta u konstrukciji gdje se materijali niskih termoizolacionih karakteristika koncentrišu i predstavljaju vezu (most) između spoljašnje i unutrašnje sredine.

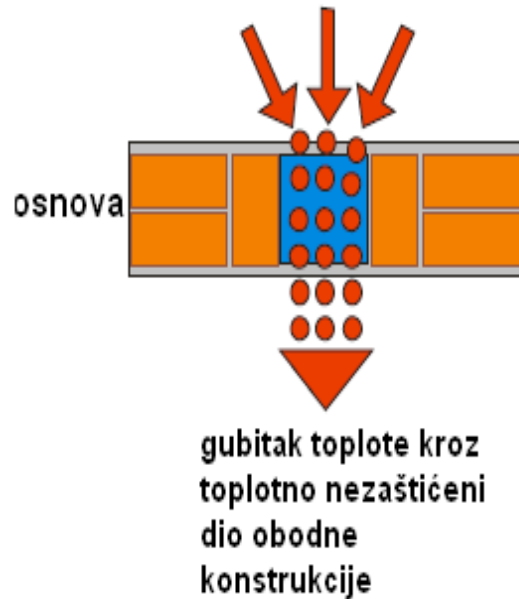
Oni imaju znatno manji toplotni otpor od prosječnog otpora za cijeli omotač zgrade.

Toplotni mostovi se javljaju na dijelu spajanja građevinskih konstruktivnih elemenata po obodu konstrukcije.

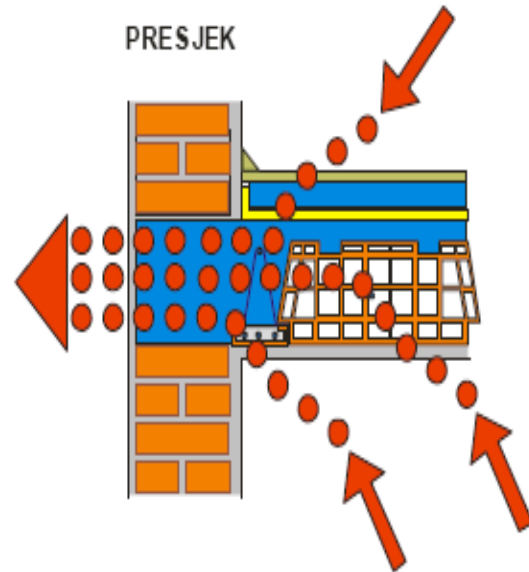
Toplotni mostovi predstavljaju mjesta kroz koja se nepotrebno gubi toplotna energija potrebna za zagrijavanje u zimskom periodu. Zbog snižene temperature unutrašnje površine toplotnih mostova može doći do pojave kondenzacije vodene pare, što će rezultirati sa više drugih negativnih posljedica.

Kod zgrade sa dobrom toplotnom izolacijom toplotni mostovi koji nijesu izolovani mogu povećati ukupne gubitke toplote za 10%. Zbog toga je neophodno je izolovati toplotne mostove u cilju poboljšanja otpornosti propuštanja toplote omotača kao cjeline.

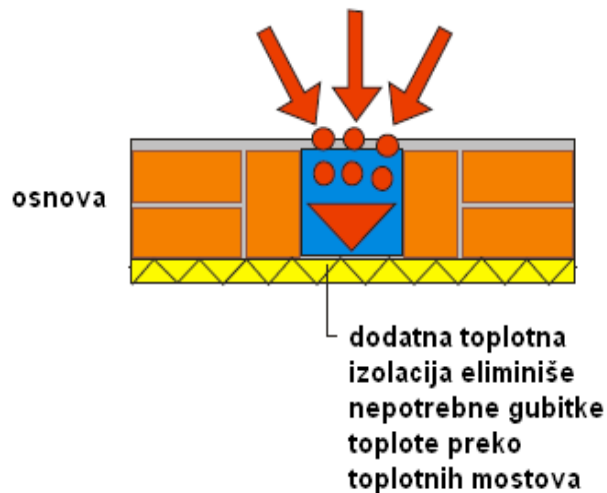
Toplotni mostovi bez termo izolacije



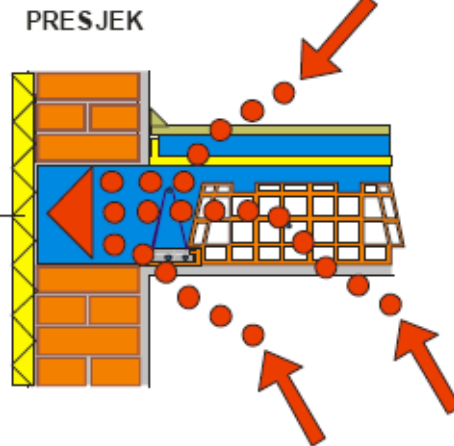
gubitak toplote kroz toplotno nezaštićeni dio obodne konstrukcije

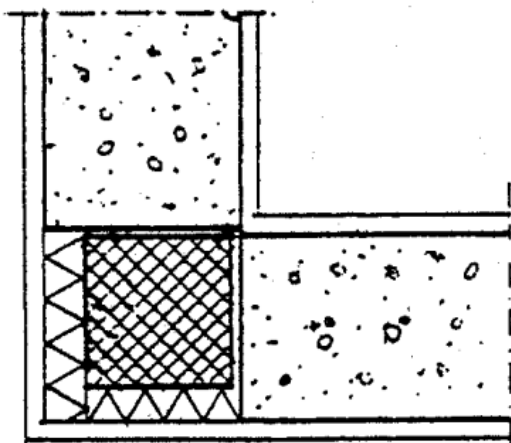


Termički izolovani toplotni mostovi

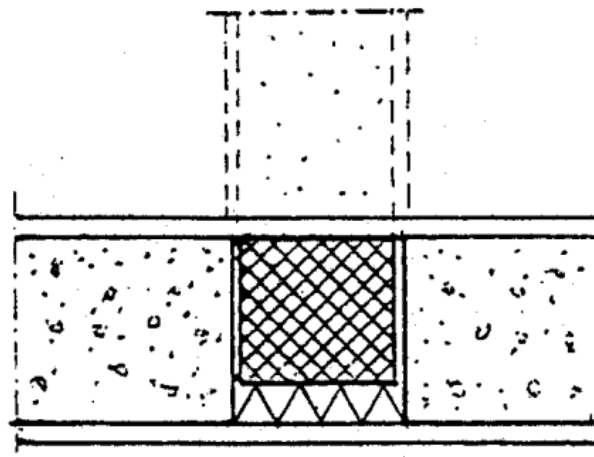


dodatna toplotna izolacija eliminiše nepotrebne gubitke toplote preko toplotnih mostova

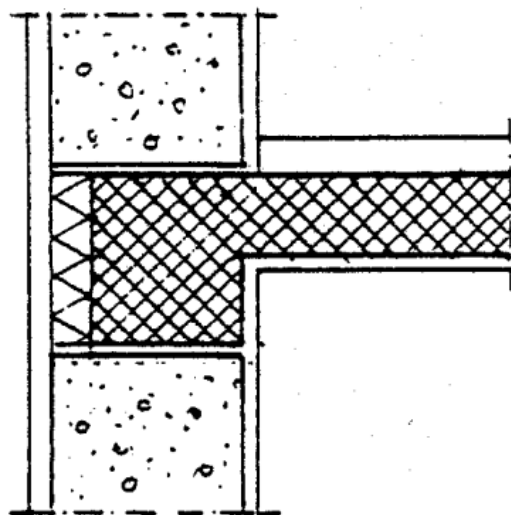




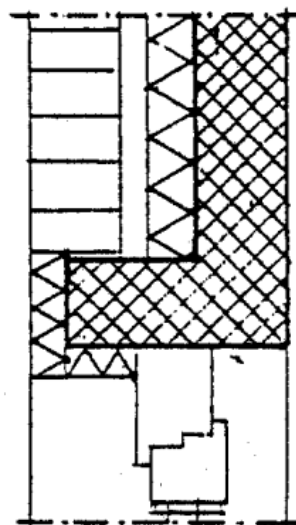
SUSTICANJE NA UGLU



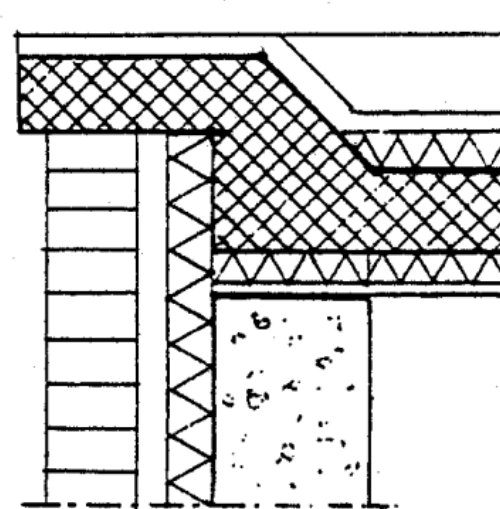
STUB U ZIDU ILI BET. ZID



SUSTICANJE NA SERKLAŽU

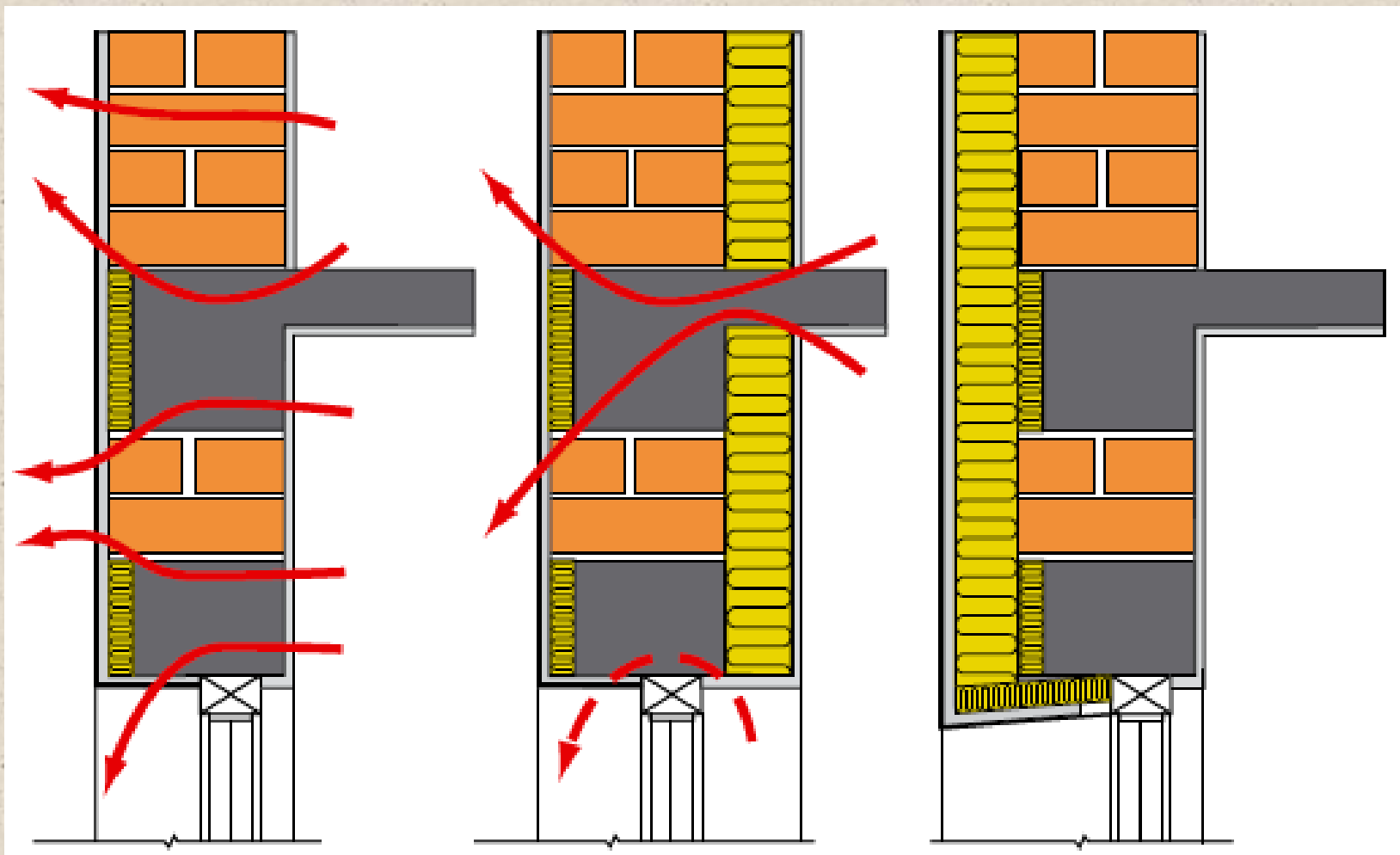


KOD NADPROZORNIKA



KOD KROVA

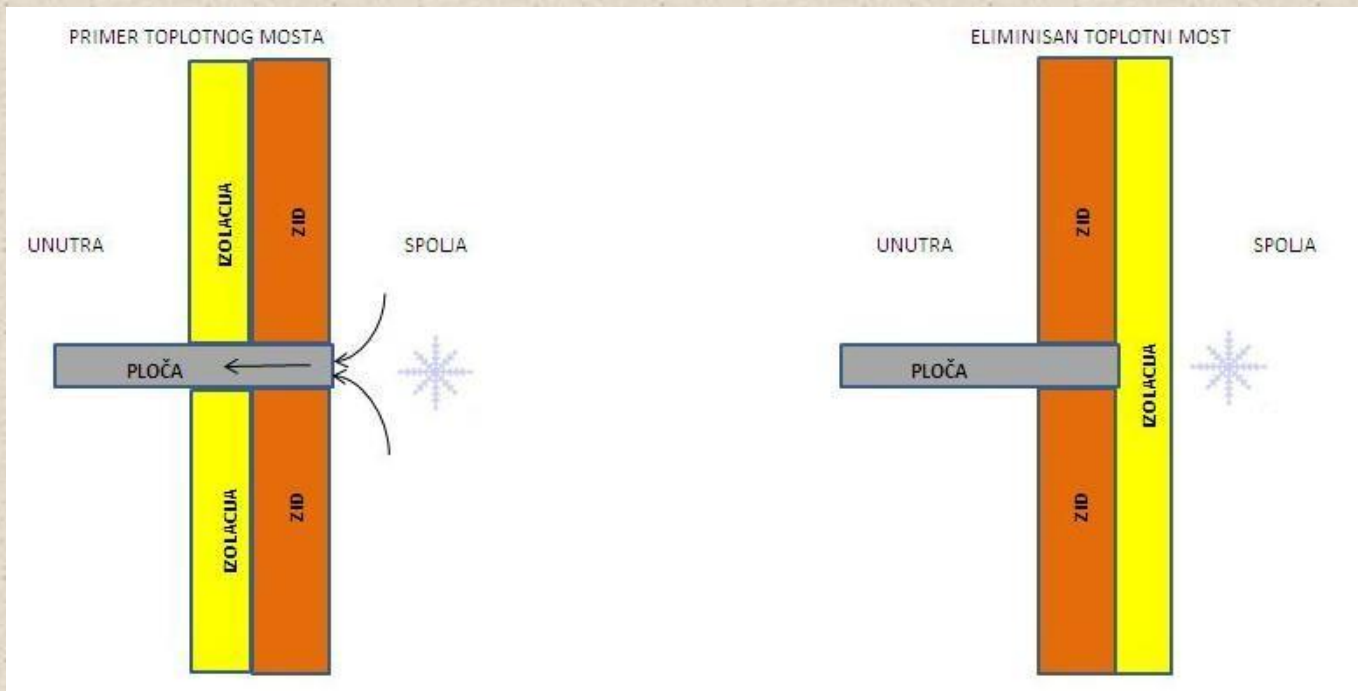
Toplotni mostovi – različiti slučajevi i rješenja za izolaciju



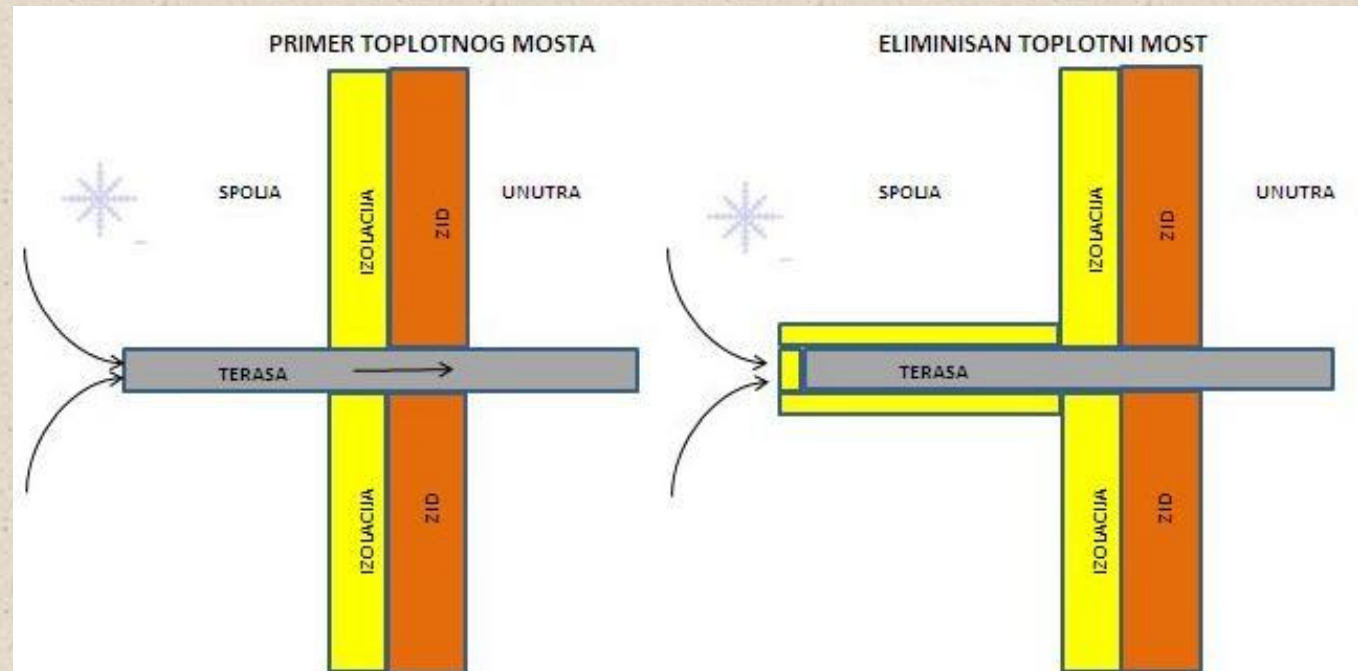
Prednosti vanjske u odnosu na unutrašnju izolaciju za eliminisanje termičkih mostova.

Primjeri rješenja

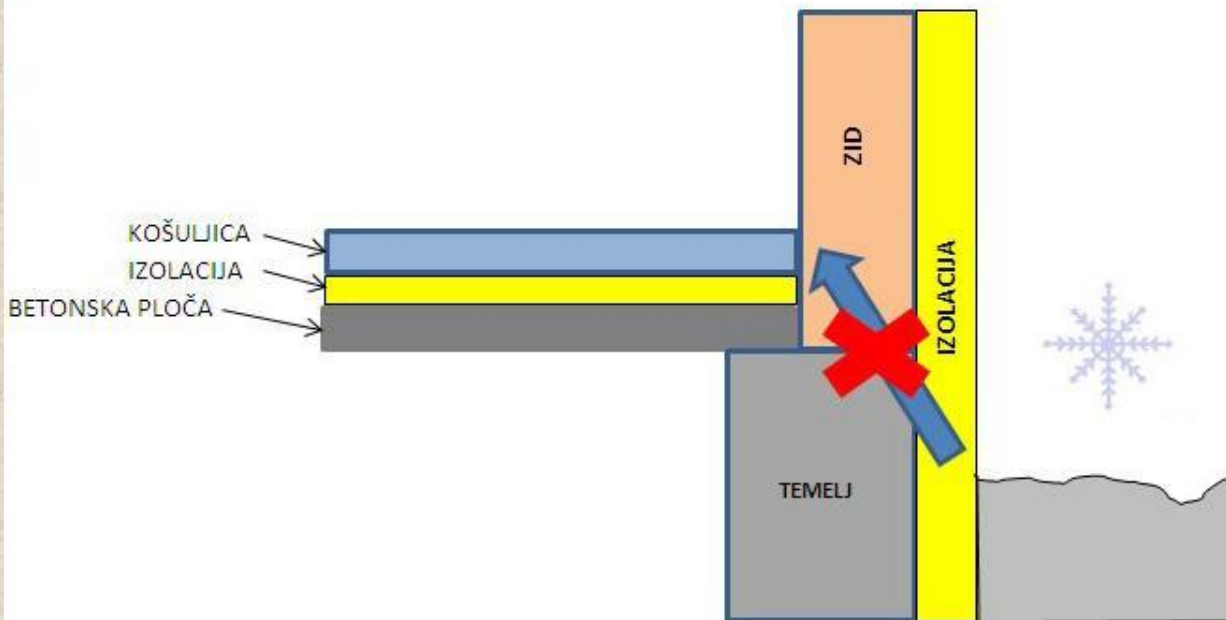
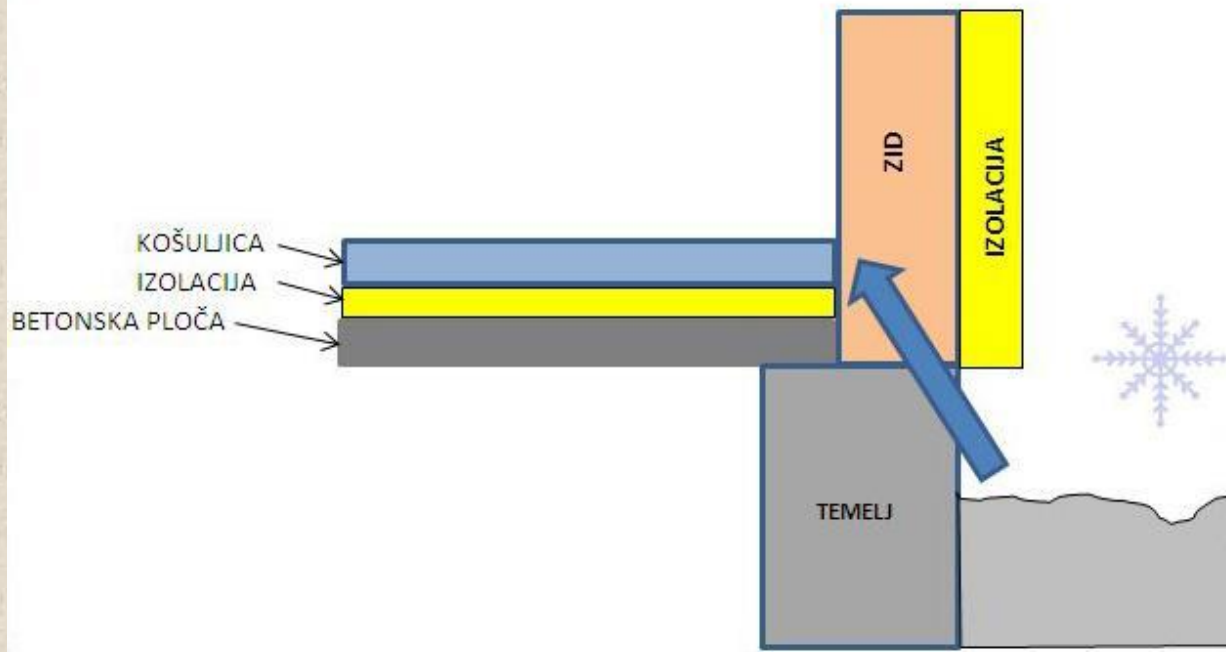
Međuspratna ploča



Balkon



Spoj temelja, zida i poda



Negrijan tavan

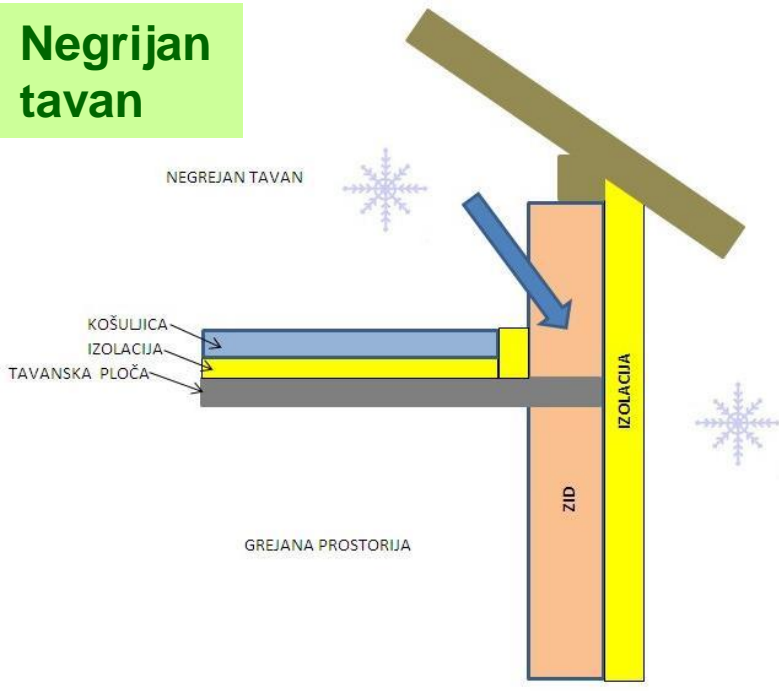
NEGRIJAN TAVAN

KOŠULJICA
IZOLACIJA
TAVANSKA PLOČA

GREJANA PROSTORIJA

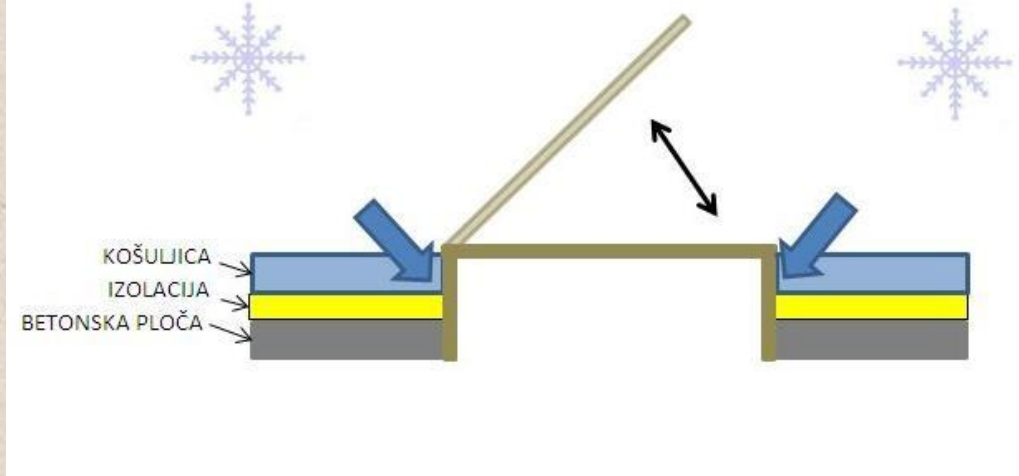
ZID

IZOLACIJA



Tavanski otvor

KOŠULJICA
IZOLACIJA
BETONSKA PLOČA



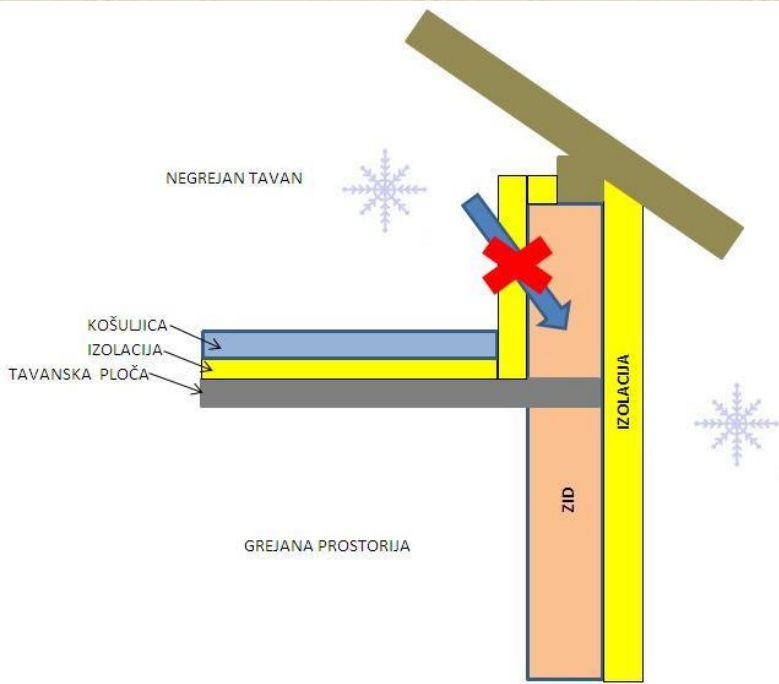
NEGRIJAN TAVAN

KOŠULJICA
IZOLACIJA
TAVANSKA PLOČA

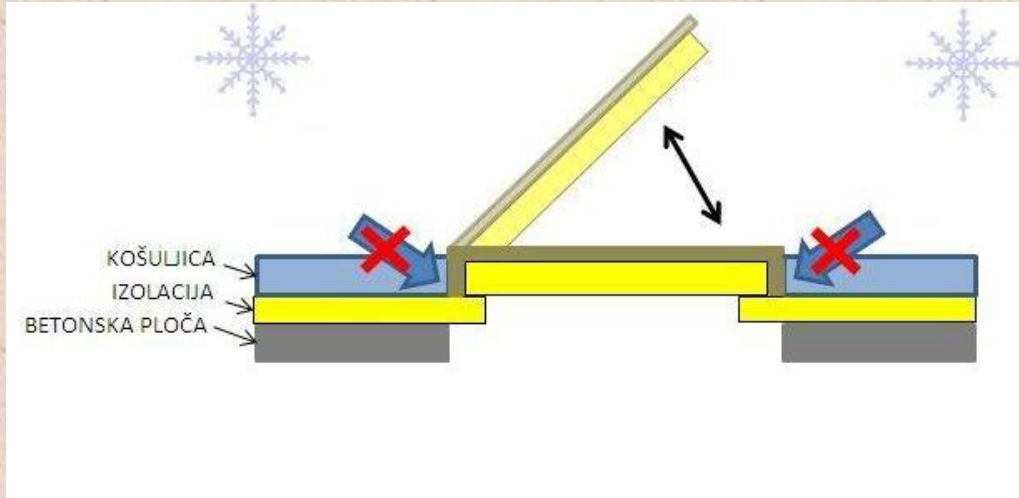
GREJANA PROSTORIJA

ZID

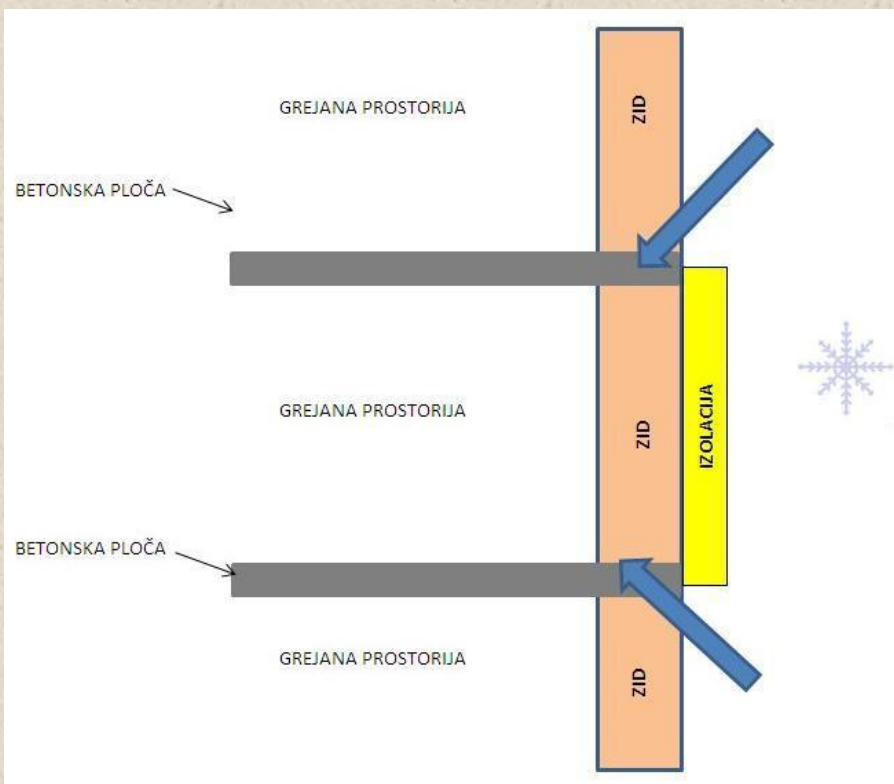
IZOLACIJA



KOŠULJICA
IZOLACIJA
BETONSKA PLOČA



Primjer pogrešnog rješenja



Uticaj toplotnih mostova na taransfer toplote

prema EN ISO 14683

Ukupan transfer toplote kroz građevinske elemente se proračunava kao zbir direktnog transfera H_D , transfera preko tla H_g i transfera preko negrijanih prostora H_U .

$$H_T = H_D + H_g + H_U \quad (1)$$

Za proračun koeficijenta direktnog toplotnog transfera se primjenjuje izraz (2)

$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j \quad (2)$$

gdje su:

A_i – površina elementa dijela omotača i (m^2)

U_i – toplotni transfer kroz element dijela omotača i ($W/(m^2K)$)

l_k – dužina linearnog termičkog mosta k (m)

Ψ_k – linearni toplotni transfer linearnog termičkog mosta ($W/(mK)$)

χ_k – tačkasti toplotni transfer tačkastog termičkog mosta (W/K)

Linearni termički mostovi se javljaju na sljedećim mjestima na omotaču zgrade:

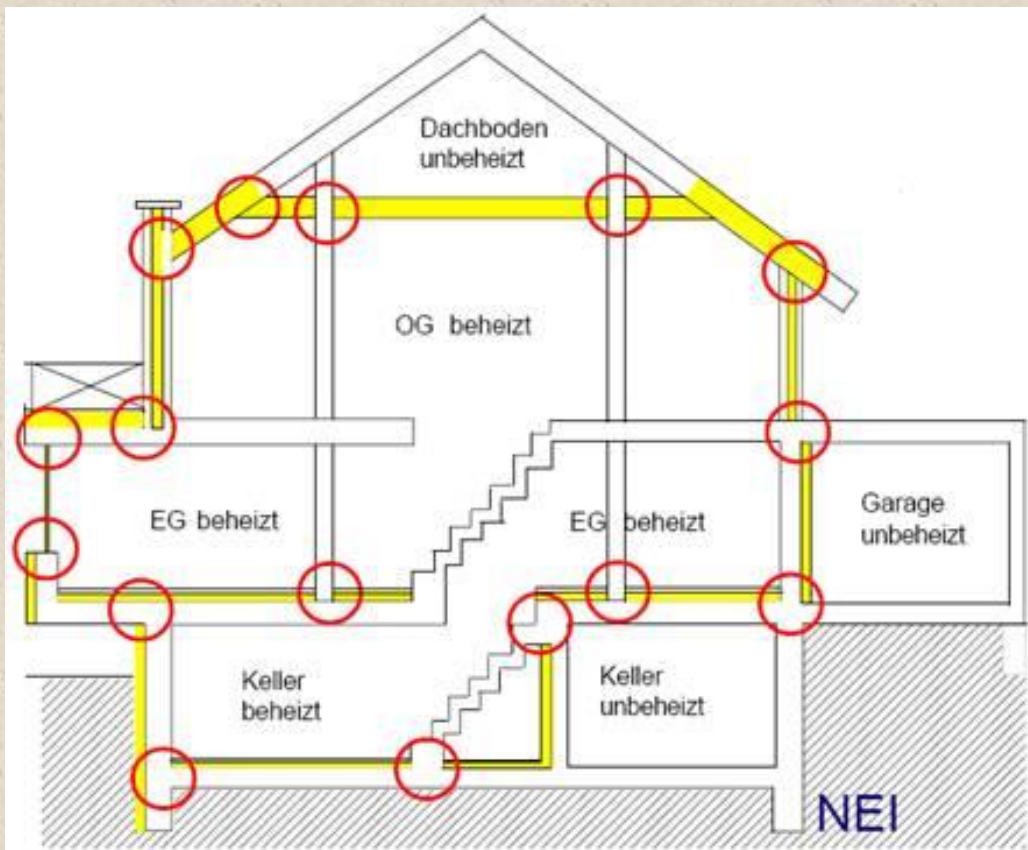
- u čvorovima spoljašnjih elemenata (uglovima zidova, spojevima zida sa krovom i zida sa podom)
- u čvorovima unutrašnjih zidova sa spoljašnjim zidovima i krovom
- u čvorovima međuspratnih tavanica sa spoljašnjim zidovima
- u stubovima spoljašnjih zidova
- u okolini prozora i vrata

Dužine (unutrašnje i spoljašnje)

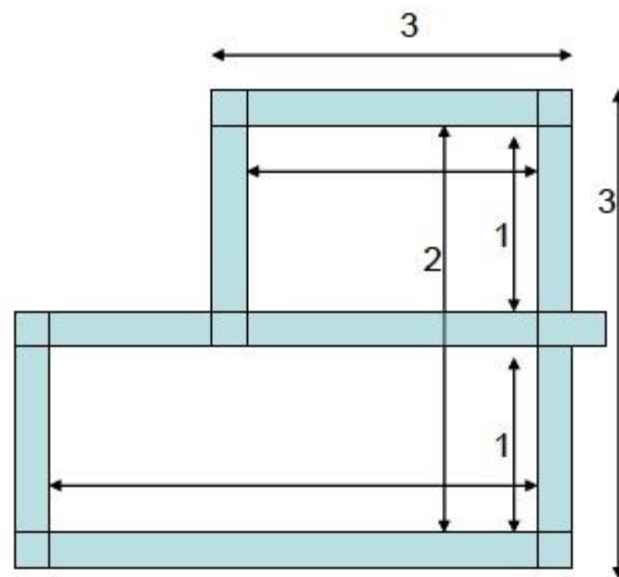
Pri proračunu u obzir se mogu uzeti tri systemske dužine:

1. unutrašnje dimenzije, mjerene između unutrašnjih završnih površina u svakoj sobi (**subscript "i"**)
2. ukupne unutrašnje dimenzije mjerene između završenih unutrašnjih površina spoljašnjih elemenata uzimajući u obzir debljinu unutrašnjih dijelova (**subscript "oi"**)
3. spoljašnja dimenzija mjerena između spoljašnjih završenih površina spoljašnjih elemenata zgrade (**subscript "e"**)

Najčešće lokacije toplotnih mostova u zgradi



Definisane dužine prema EN ISO 13789



- 1 internal dimension
- 2. overall internal dimension
- 3. external dimension.

Moguće metode za proračun (usvajanje) koeficijenta linearnog toplotnog transfera ψ obuhvataju:

- numerički proračun (tipične tačnosti $\pm 5\%$)
- pomoću kataloga termičkih mostova (tipične tačnosti $\pm 20\%$)
- manuelni proračun (tipične tačnosti $\pm 20\%$)
- usvajanje standardnih (dioletnih) vrijednosti (tipične tačnosti 0 – 50%)

Ukoliko detalji zgrade nijesu još uvijek projektovani, već se samo znaju oblik i dimenzije zgrade može se napraviti samo gruba procjena uticaja termičkih mostova na ukupne gubitke toplote.

Ako se raspoložuje sa dovoljno informacija o detaljima može se primijeniti tačniji metod za proračun koeficijenta ψ – katalog termičkih mostova ili manuelni proračun.

Za potpuno poznate detalje može se primijeniti numerički proračun najveće tačnosti.

Numerički proračun linearnog termičkog koeficijenta se vrši prema ISO 10211.

Katalog termičkih mostova

Primjeri građevinskih detalja dati u katalogu termičkih mostova imaju fiksirane parametre (dimenzije i materijal) tako da je njihova primjena manje fleksibilna od proračuna.

Primjeri dati u katalogu ne odgovaraju u potpunosti razmatranim detaljima. Koeficijent ψ dobijen iz kataloga se može primijeniti pod uslovom da prema toplotnim karakteristikama i dimenzijama razmatrani element odgovara primjeru iz kataloga ili da se prema primjeru iz kataloga dobijaju nepovoljniji parametri u pogledu toplotnih karakteristika.

Numeričke vrijednosti koje su date u katalogu su bazirane na proračunu prema ISO 10211.

Katalog treba da pruži sljedeće informacije:

1. Jasno uputstvo kako se vrijednosti ψ dobijaju iz kataloga
2. Dimenzije detalja i vrijednost prolaza toplote za termički homogene djelove detalja
3. Toplotna otpornost unutrašnjih i spoljašnjih površina na bazi kojih je izvršen proračun vrijednosti datih u katalogu

Metod manualnog proračuna

Ovaj metod treba da obezbijedi sljedeće informacije:

1. Tipove konstrukcionih detalja na koje se primjenjuje
2. Granične dimenzije za koje je metod validan
3. Graničnu toplotnu provodljivost primijenjenih materijala
4. Vrijednosti površinskog otpora koji se koriste
5. Procjenu tačnosti (maksimalnu grešku)

Postoji više proračunskih metoda od kojih neke predviđaju upotrebu kalkulatora, dok je za neke potrebna primjena kompjuterskog softvera. Tačnost ovih metoda može biti različita. Ukoliko se primjenjuju u okviru definisanog opsega za koji su namjenjeni mogu biti vrlo velike tačnosti, dok se primjenom izvan opsega za koji su namijenjeni mogu dobiti netačni rezultati.

Standardne (difoltne) vrijednosti linearnog toplotnog transfera

Standardne vrijednosti koeficijenta linearnog prenosa toplote su date u tabeli A2, ISO 14683.

Tabele treba da daju jasne informacije o primjenljivosti vrijednosti koje se u njima sadrže i da se zasnivaju na proračunima kojima se ne podcjenjuje uticaj toplotnih mostova.

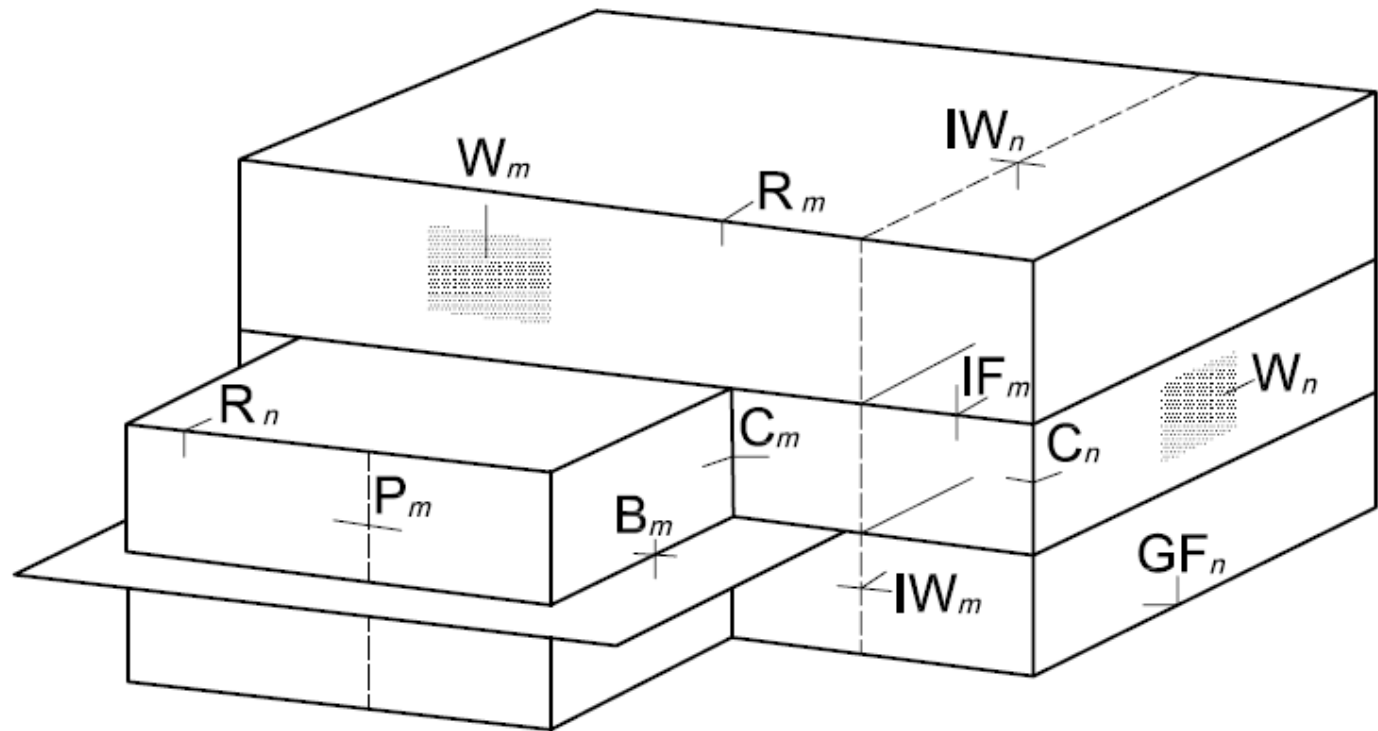
Tabela A2 obezbjeđuje standardne vrijednosti, proračunate za parametre koji predstavljaju najnepovoljniji slučaj. Ove vrijednosti su prihvatljive u nedostatku preciznijih podataka o termičkom mostu.

Standardne vrijednosti ψ se zasnivaju na dvodimenzionalnom numeričkom modelu u skladu sa ISO 10211.

Standardne vrijednosti su validne samo za razmatranje toplotnog transfera, a ne i za razmatranje kritične površinske temperature kojom se izbjegava površinska kondenzacija.

Na slici je prikazana notacija toplotnih mostova prema lokaciji u konstrukciji R, B, C, GF, IF, IW, P, W.

Potencijalni termički most u konkretnoj konstrukciji se može identifikovati pomoću referenci sa slike A.1.



Key

$B_m, C_m, C_n, GF_n, IF_m, IW_m, IW_n, P_m, R_m, R_n, W_m, W_n$ locations of the thermal bridge

Slika A.1: Skica zgrade koja pokazuje lokaciju i tip toplotnih mostova prema šemi 17 koja je data u tabeli A.2

U priloženoj tabeli su prikazani parametri koji su iskorišćeni pri proračunu vrijednosti koeficijenta linearnog transfera toplote u tabeli A.2.

Vrijednosti koeficijenata transmisije toplote dati u tabeli A.2 odgovaraju različitim postupcima mjerenja dimenzija.

Korišćene su oznake:

ψ_i – zasnovano na unutrašnjim dimenzijama

ψ_{oi} – zasnovano na ukupnim unutrašnjim dimenzijama






ψ_e – zasnovano na spoljašnjim dimenzijama

For all details:	R_{si}	= 0,13 m ² ·K/W
	R_{se}	= 0,04 m ² ·K/W
For external walls:	d	= 300 mm
For internal walls:	d	= 200 mm
For walls with an insulation layer:		
— thermal transmittance	U	= 0,343 W/(m ² ·K)
— thermal resistance of insulation layer	R	= 2,5 m ² ·K/W
For lightweight walls:	U	= 0,375 W/(m ² ·K)
For ground floors:		
— floor slab	d	= 200 mm
—	λ	= 2,0 W/(m·K)
— thermal resistance of insulation layer	R	= 2,5 m ² ·K/W
For intermediate floors:	d	= 200 mm
	λ	= 2,0 W/(m·K)
For roofs:		
— thermal transmittance	U	= 0,365 W/(m ² ·K)
— thermal resistance of insulation layer	R	= 2,5 m ² ·K/W
For the frames in openings:	d	= 60 mm
For columns:	d	= 300 mm
	λ	= 2,0 W/(m·K)

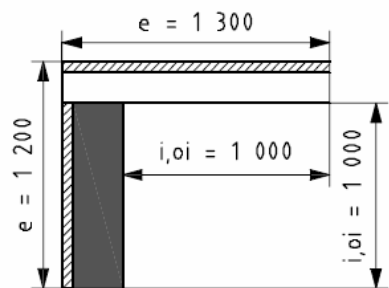
Nekoliko primjera standardnih vrijednosti ψ prema Tabeli A2

Table A.2 — Default values of linear thermal transmittance

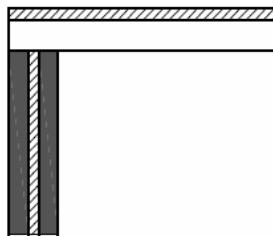
Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

 Wall	 Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	 Insulating layer	 Slab/pillar	 Window frame
--------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------

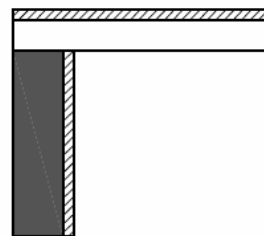
Roofs



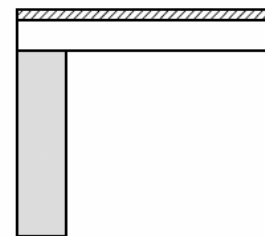
R1	$\psi_e = 0,55$
	$\psi_{oi} = 0,75$
	$\psi_i = 0,75$



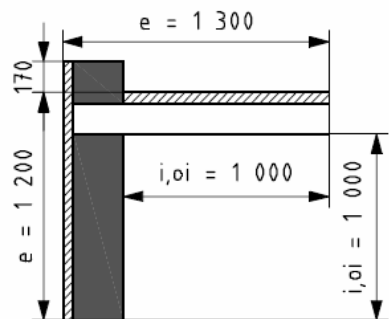
R2	$\psi_e = 0,50$
	$\psi_{oi} = 0,75$
	$\psi_i = 0,75$



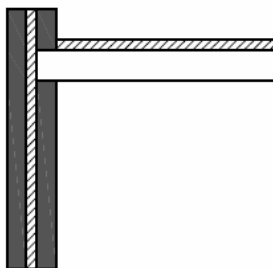
R3	$\psi_e = 0,40$
	$\psi_{oi} = 0,75$
	$\psi_i = 0,75$



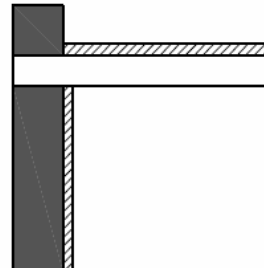
R4	$\psi_e = 0,40$
	$\psi_{oi} = 0,65$
	$\psi_i = 0,65$



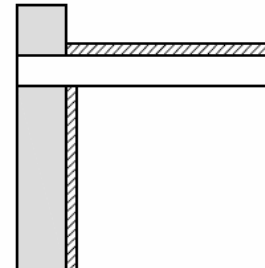
R5	$\psi_e = 0,60$
	$\psi_{oi} = 0,80$
	$\psi_i = 0,80$



R6	$\psi_e = 0,50$
	$\psi_{oi} = 0,70$
	$\psi_i = 0,70$








R7	$\psi_e = 0,65$
	$\psi_{oi} = 0,85$
	$\psi_i = 0,85$



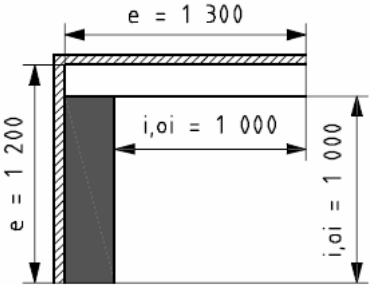
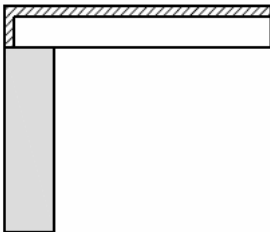
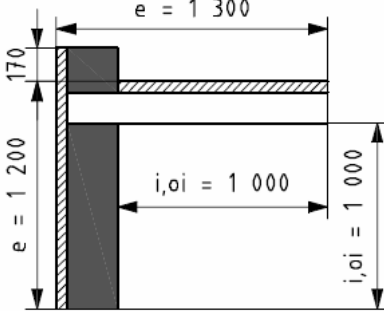
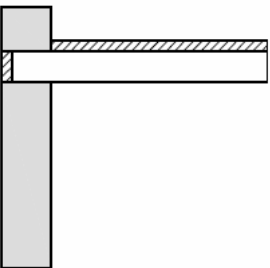
R8	$\psi_e = 0,45$
	$\psi_{oi} = 0,70$
	$\psi_i = 0,70$

Table A.2 (continued)

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

	Wall		Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)		Insulating layer		Slab/pillar		Window frame
---------------------------------------------------------------------------------	------	-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-------------	-------------------------------------------------------------------------------------	--------------

Roofs (continued)

 <p>R9</p> $\psi_e = -0,05$ $\psi_{oi} = 0,15$ $\psi_i = 0,15$	 <p>R10</p> $\psi_e = 0,00$ $\psi_{oi} = 0,20$ $\psi_i = 0,20$	 <p>R11</p> $\psi_e = 0,05$ $\psi_{oi} = 0,25$ $\psi_i = 0,25$	 <p>R12</p> $\psi_e = 0,15$ $\psi_{oi} = 0,40$ $\psi_i = 0,40$
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Balconies

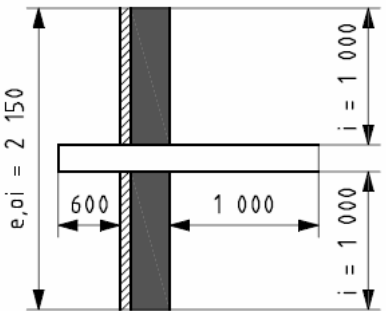
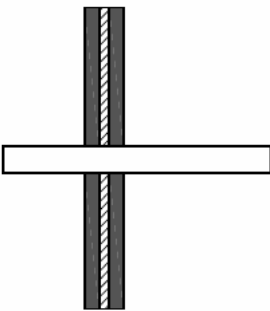
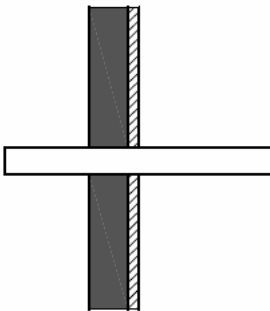
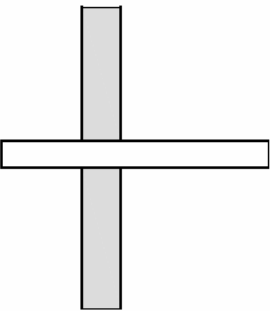





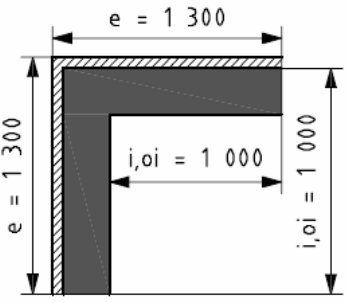
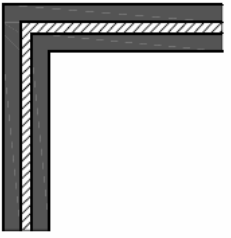
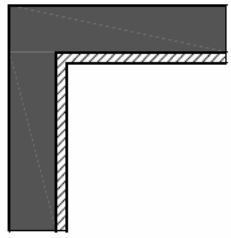
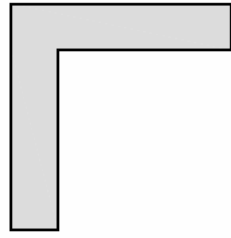
 <p>B1</p> $\psi_e = 0,95$ $\psi_{oi} = 0,95$ $\psi_i = 1,05$	 <p>B2</p> $\psi_e = 0,95$ $\psi_{oi} = 0,95$ $\psi_i = 1,05$	 <p>B3</p> $\psi_e = 0,90$ $\psi_{oi} = 0,90$ $\psi_i = 1,00$	 <p>B4</p> $\psi_e = 0,70$ $\psi_{oi} = 0,70$ $\psi_i = 0,80$
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Table A.2 (continued)

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

	Wall		Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)		Insulating layer		Slab/pillar		Window frame
---------------------------------------------------------------------------------	------	-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-------------	-------------------------------------------------------------------------------------	--------------

Corners

 <p>C1</p> $\psi_e = -0,05$ $\psi_{oi} = 0,15$ $\psi_i = 0,15$	 <p>C2</p> $\psi_e = -0,10$ $\psi_{oi} = 0,10$ $\psi_i = 0,10$	 <p>C3</p> $\psi_e = -0,20$ $\psi_{oi} = 0,05$ $\psi_i = 0,05$	 <p>C4</p> $\psi_e = -0,15$ $\psi_{oi} = 0,10$ $\psi_i = 0,10$
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

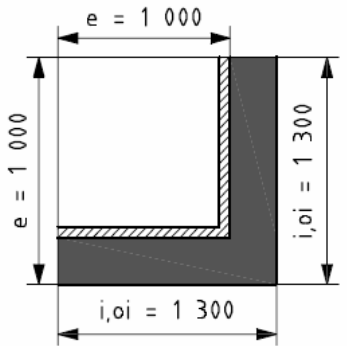
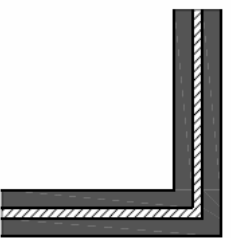
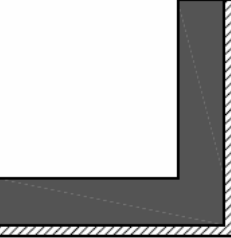
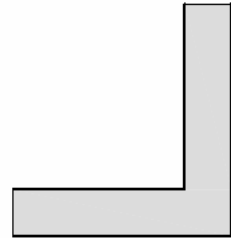





 <p>C5</p> $\psi_e = 0,05$ $\psi_{oi} = -0,15$ $\psi_i = -0,15$	 <p>C6</p> $\psi_e = 0,15$ $\psi_{oi} = -0,10$ $\psi_i = -0,10$	 <p>C7</p> $\psi_e = 0,15$ $\psi_{oi} = -0,05$ $\psi_i = -0,05$	 <p>C8</p> $\psi_e = 0,10$ $\psi_{oi} = -0,10$ $\psi_i = -0,10$
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Table A.2 (continued)

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

 Wall	 Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	 Insulating layer	 Slab/pillar	 Window frame
--------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------

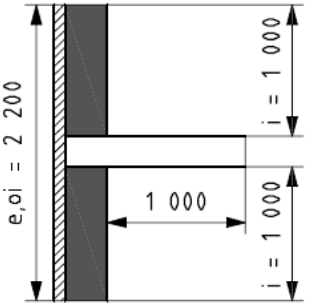
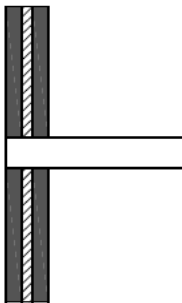
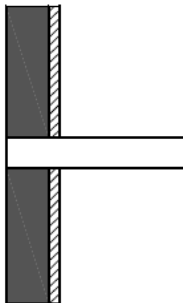
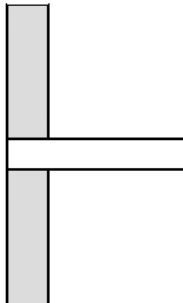
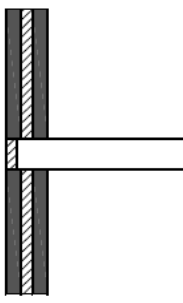
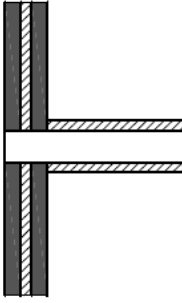
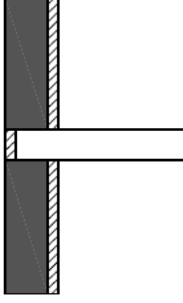
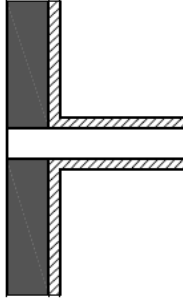





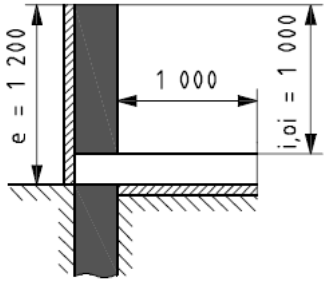
Intermediate floors				
 <p>IF1</p> $\psi_e = 0,00$ $\psi_{oi} = 0,00$ $\psi_i = 0,10$	 <p>IF2</p> $\psi_e = 0,95$ $\psi_{oi} = 0,95$ $\psi_i = 1,05$	 <p>IF3</p> $\psi_e = 0,90$ $\psi_{oi} = 0,90$ $\psi_i = 1,00$	 <p>IF4</p> $\psi_e = 0,70$ $\psi_{oi} = 0,70$ $\psi_i = 0,80$	
 <p>IF5</p> $\psi_e = 0,60$ $\psi_{oi} = 0,60$ $\psi_i = 0,65$	 <p>IF6</p> $\psi_e = 0,90$ $\psi_{oi} = 0,90$ $\psi_i = 1,00$	 <p>IF7</p> $\psi_e = 0,70$ $\psi_{oi} = 0,70$ $\psi_i = 0,80$	 <p>IF8</p> $\psi_e = 0,45$ $\psi_{oi} = 0,45$ $\psi_i = 0,60$	

Table A.2 (continued)

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

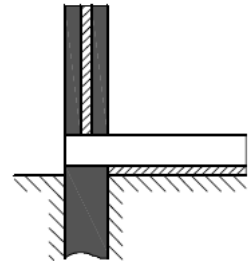
 Wall	 Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	 Insulating layer	 Slab/pillar	 Window frame
--------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------

Slab-on-ground floors



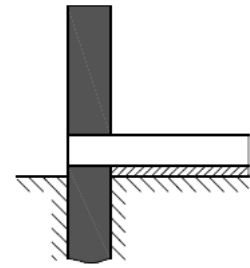
GF1

$\psi_e = 0,65$
 $\psi_{oi} = 0,80$
 $\psi_i = 0,80$



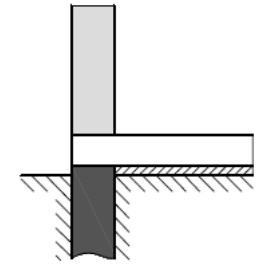
GF2

$\psi_e = 0,60$
 $\psi_{oi} = 0,75$
 $\psi_i = 0,75$



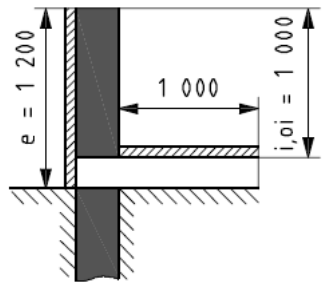
GF3

$\psi_e = 0,55$
 $\psi_{oi} = 0,70$
 $\psi_i = 0,70$



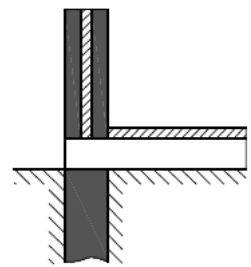
GF4

$\psi_e = 0,50$
 $\psi_{oi} = 0,65$
 $\psi_i = 0,65$



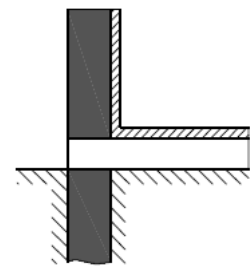
GF5

$\psi_e = 0,60$
 $\psi_{oi} = 0,75$
 $\psi_i = 0,75$



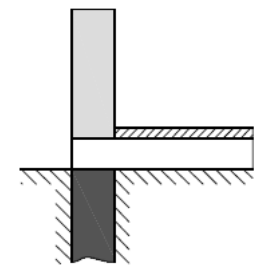
GF6

$\psi_e = 0,45$
 $\psi_{oi} = 0,60$
 $\psi_i = 0,60$



GF7

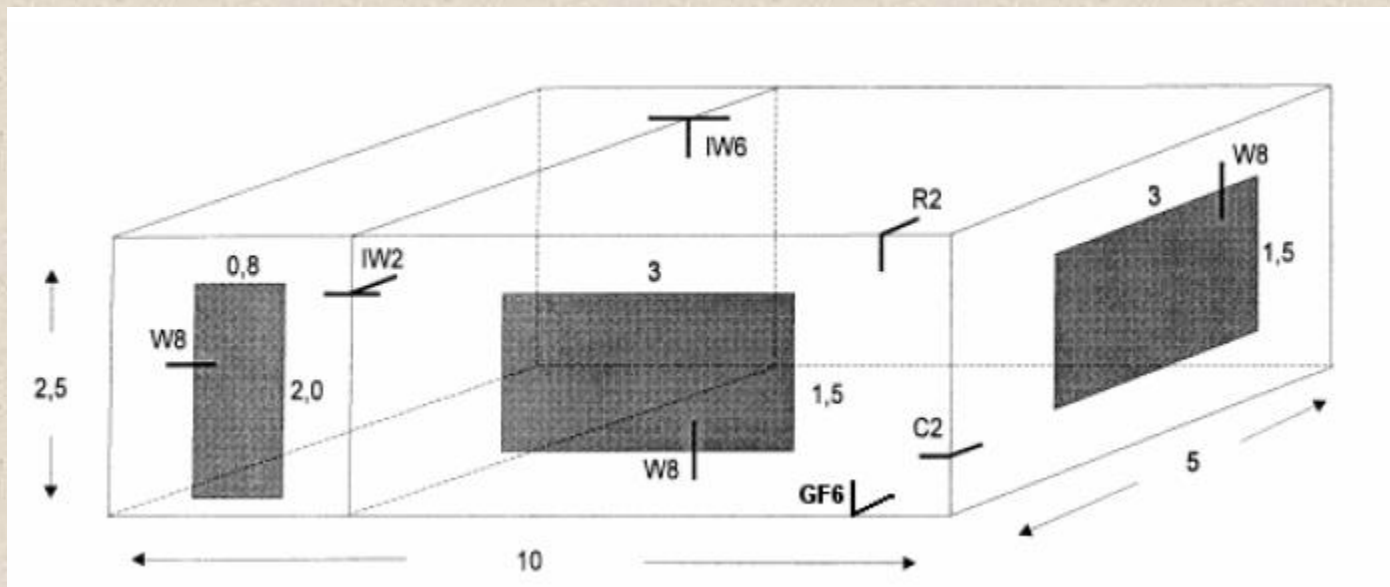
$\psi_e = -0,05$
 $\psi_{oi} = 0,10$
 $\psi_i = 0,10$



GF8

$\psi_e = 0,05$
 $\psi_{oi} = 0,20$
 $\psi_i = 0,20$

Primjer proračuna koeficijenta transmisije toplote uz upotrebu standardnih vrijednosti linearnog toplotnog transfera



Tip termičkog mosta i odgovarajući koeficijenti su određeni prema tabeli A.2 - EN ISO 14683

Rezultati su prikazani za tri različita slučaja:

- 1) Za cjelokupne unutrašnje dimenzije
- 2) Za spoljašnje dimenzije
- 3) Za ukupne unutrašnje dimenzije sa poboljšanim detaljima termičkih mostova

Direktni transfer toplote se računa primjenom izraza:

$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k$$

SLUČAJ 1)
Ukupne
unutrašnje
dimenzije

Koeficijent transfera toplote kroz ravne građevinske elemente

Građevinski element	U W/(m ² K)	A _{oi} m ²	UA _{oi} W/K
Zidovi	0,40	64,4	25,76
Krov	0,30	50,0	15,00
Pod na tlu	0,35	50,0	17,50
Prozori	3,50	9,0	31,50
Vrata	3,00	1,6	4,80
		Σ	94,56

Koeficijent transfera toplote kroz dvodimenzionalne termičke mostove

Termički mostovi	Tip termičkog mosta	ψ _{oi} W/(mK)	l _{oi} m	ψ _{oi} l _{oi} W/K
Zid/krov	R2	0,75	30,0	22,50
Zid/zid (ugao)	C2	0,10	10,0	1,00
Zid/pod na tlu	GF6	0,60	30,0	18,00
Pregrada/zid	IW2	0,95	5,0	4,75
Pregrada/krov	IW6	0,00	5,0	0,00
Nadvratnik, sims	W8	1,00	23,6	23,60
			Σ	69,85

$$H_D = \sum UA_{oi} + \sum \psi_{oi} l_{oi} = 94,56 + 69,85 = 164,41 \text{ W/K}$$

SLUČAJ 2)
Spoljašnje
dimenzije

Koeficijent transfera toplote kroz ravne građevinske elemente

Građevinski element	U W/(m²K)	A_e m²	UA_e W/K
Zidovi	0,40	86,6	34,64
Krov	0,30	59,36	17,81
Pod na tlu	0,35	59,36	20,78
Prozori	3,50	9,0	31,50
Vrata	3,00	1,6	4,80
		Σ	109,52

Koeficijent transfera toplote kroz dvodimenzionalne termičke mostove

Termički mostovi	Tip termičkog mosta	ψ_e W/(mK)	l_e m	ψ_el_e W/K
Zid/krov	R2	0,50	32,4	16,20
Zid/zid (ugao)	C2	0,10	12,0	1,20
Zid/pod na tlu	GF6	0,45	32,4	14,58
Pregrada/zid	IW2	0,95	6,0	5,70
Pregrada/krov	IW6	0,00	5,6	0,00
Nadvratnik, sims	W8	1,00	23,6	23,60
			Σ	61,28

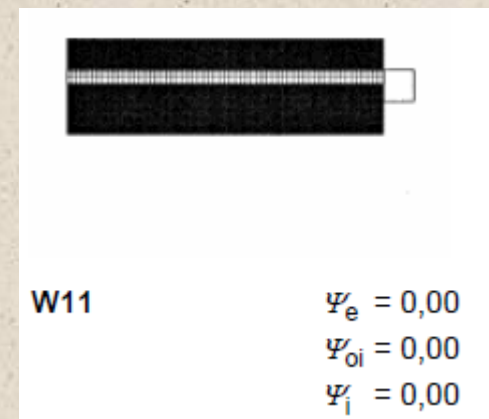
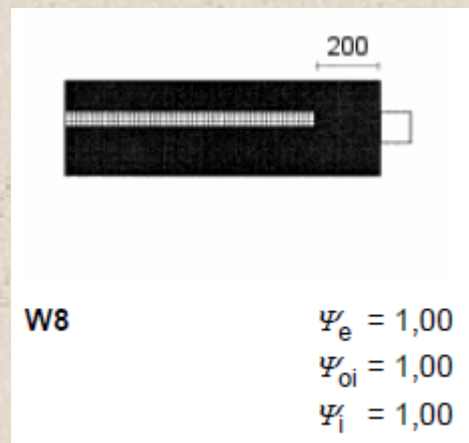
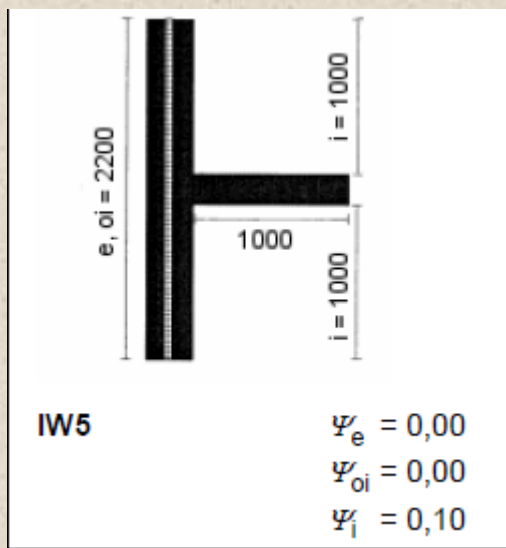
$$H_D = \sum UA_e + \sum \psi_e l_e = 109,52 + 61,28 = 170,80 \text{ W/K}$$

SLUČAJ 3)

Ukupne unutrašnje dimenzije i poboljšani detalji termičkih mostova.

Detalj IW2 je zamijenjen sa IW5, a W8 sa W11.

Termički mostovi	Tip termičkog mosta	ψ_{oi} W/(mK)	l_{oi} m	$\psi_{oi}l_{oi}$ W/K
Zid/krov	R2	0,75	30,0	22,50
Zid/zid (ugao)	C2	0,10	10,0	1,00
Zid/pod na tlu	GF6	0,60	30,0	18,00
Pregrada/zid	IW5	0,00	5,0	0,00
Pregrada/krov	IW6	0,00	5,0	0,00
Nadvratnik, sims	W11	0,00	23,6	0,00
			Σ	41,50



$$H_D = \sum UA_{oi} + \sum \psi_{oi} l_{oi} = 94,56 + 41,50 = 136,06 \text{ W/K}$$

Alternativno, umjesto detaljnog proračuna, uticaj toplotnih mostova može se uzeti u obzir povećanjem vrijednosti koeficijenta prolaza toplote, U [$W/(m^2 \cdot K)$], svakog elementa omotača grijanog/hlađenog dijela zgrade za ΔU_{TM} [$W/(m^2 \cdot K)$]:

– $\Delta U_{TM} = 0.05$ [$W/(m^2 \cdot K)$], ako su toplotni mostovi izolovani u skladu sa „dobrim“ preporučenim rešenjima,

– $\Delta U_{TM} = 0.10$ [$W/(m^2 \cdot K)$], ako toplotni mostovi nijesi izvedeni u skladu sa „dobrim“ preporučenim rešenjima.

Toplotni kapacitet konstrukcije i uticaj na energetska efikasnost

Toplotna reakcija objekta

U opštem slučaju u objektima se ne postiže stacionarno stanje provođenja toplote jer se intenzitet dovoda toplote u objekat u periodu grijanja mijenja.

Do promjene toplotnog stanja u objektu najčešće dolazi zbog:

- ✓ promjene temperature vanjskog vazduha
- ✓ promjene trajanja osunčanja objekta
- ✓ unutrašnjih dobitaka toplote od ljudi, svjetla i uređaja
- ✓ smanjenja ili prekida grijanja tokom noći ili tokom vikenda

Vrijeme u kome omotač objekta kao cjelina reaguje na promjene toplotnog stanja znatno utiče na toplotne uslove unutar objekta.

Glavni faktori od kojih zavisi brzina toplotne reakcije objekta su:

- ✓ orijentacija objekta i veličina zastakljenih površina
- ✓ gustina materijala omotača i njegov sastav
- ✓ stepen refleksije vanjskih površina objekta izloženih suncu
- ✓ stepen i mjesto toplotne izolacije u omotaču objekta

Akumulacija toplote

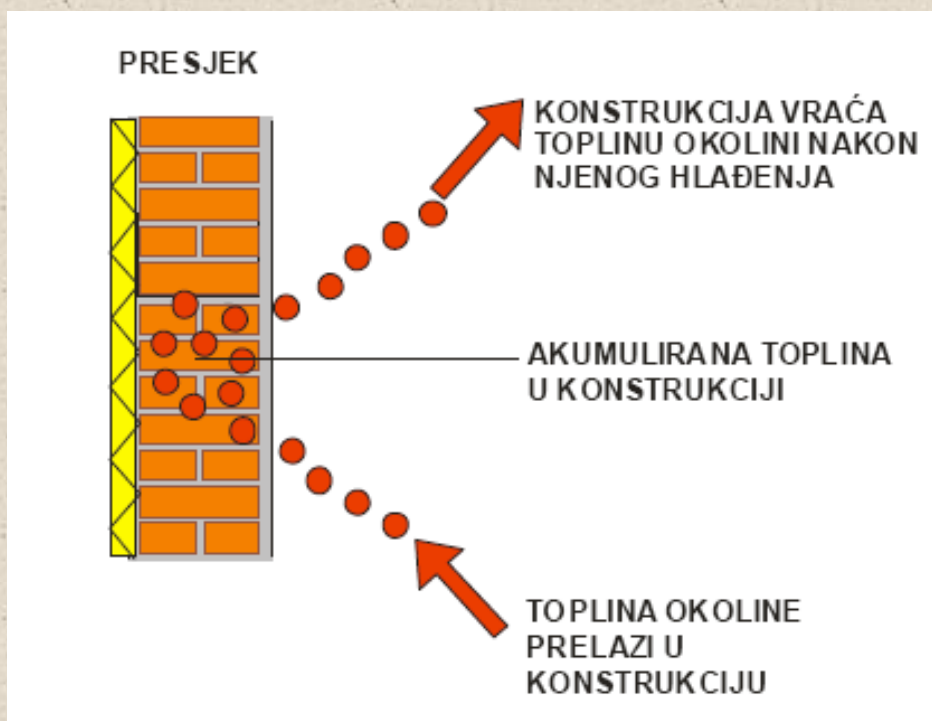
Akumulacija toplote je svojstvo građevinskih materijala da mogu prihvatiti dovedenu toplotu, akumulirati je i pri hlađenju okolnog prostora je ponovo predati okolini.

Količina toplotne energije koja se akumulira u građevinskom elementu zavisi od razlike temperature elementa i okolnog vazduha, kao i od specifičnog toplotnog kapaciteta i mase elementa.

Ovo svojstvo je bitno za zgrade koje se ne griju kontinuirano već se grijanje prekida. Akumulirana toplota se oslobađa i obezbjeđuje da se temperatura prostorije ne smanji bitno u periodu prekida.

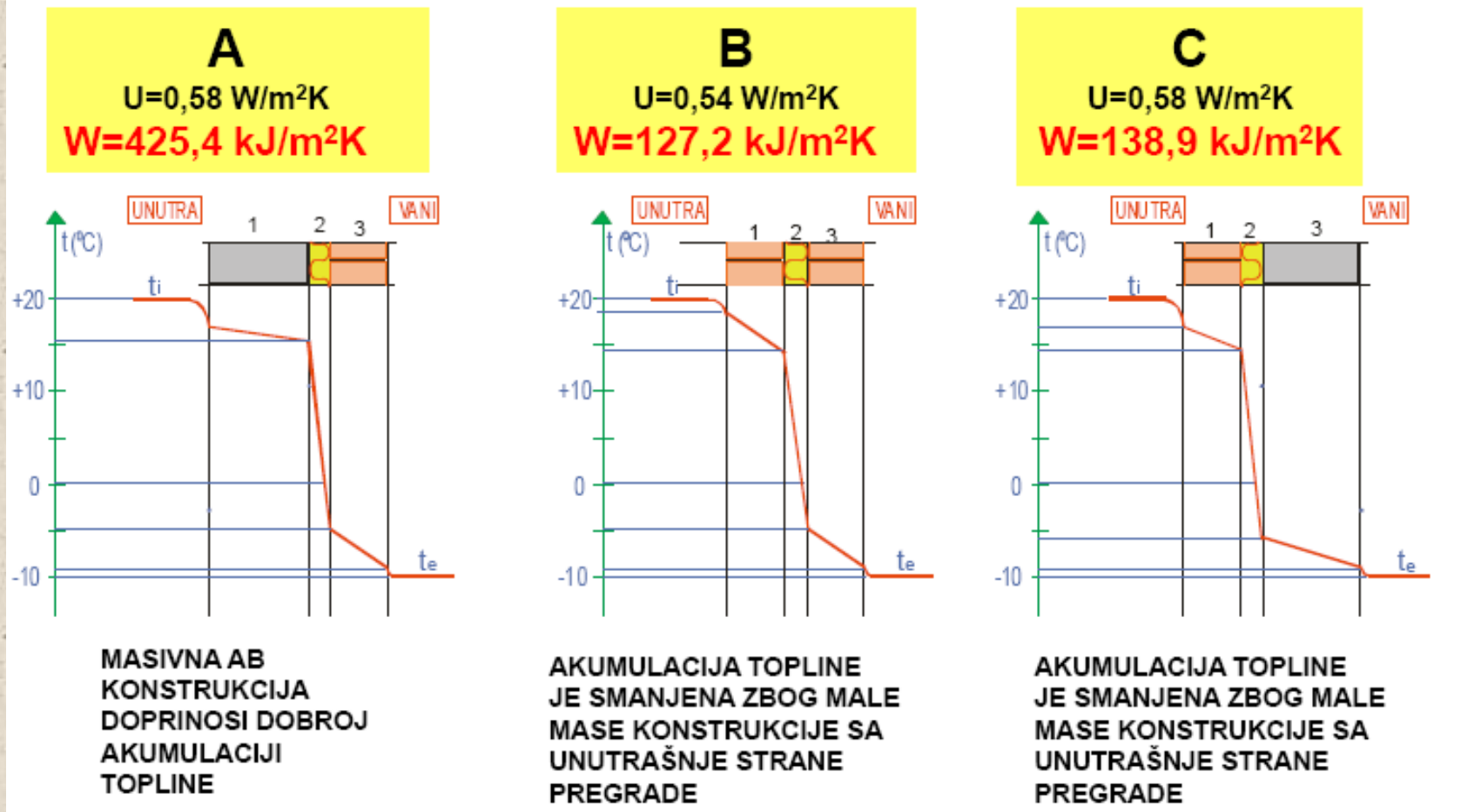
Za poboljšanje energetske efikasnosti neophodno je koristiti akumulaciju toplote za ostvarivanje toplotnog komfora kako u zimskom, tako i u ljetnjem periodu.

Da bi se stvorili što bolji preduslovi za akumulaciju toplote potrebno je materijale veće gustine u višeslojnim pregradama postaviti sa unutrašnje tople strane pregrade. Shodno tome termoizolaciju treba postavljati uvijek sa spoljašnje strane.



Stvaranje preduslova za što veću akumulaciju toplote u unutrašnjim slojevima pregrada obezbeđuje povoljne uslove za ostvarivanje toplotnog komfora i povećava energetska efikasnost.

Na slici su prikazani dijelovi omotača zgrade koji imaju približno iste koeficijente prolaza toplote U , dok su im koeficijenti akumulacije toplote W različiti. Temperaturna kriva po debljini pregrade pokazuje područja akumulacije toplote



Primjeri pregrade sa približno istim koeficijentom U i različitim koeficijentima akumulacije toplote

Vremenski pomak faze oscilacije temperature

Značajan uticaj na karakter toplotnog ponašanja objekta ima priroda promjene temperature u objektu. Za određivanje uticaja termičkih promjena toplotnog toka određuje se **bazna temperatura – srednja temperatura**

Oscilacija temperature ispod ili iznad srednje temperature naziva se **temperaturna oscilacija**, a period vremena u kojem ona nastaje **vremenski pomak faze oscilacije temperature**.

Iznos promjene temperature omotača objekta iznad i ispod srednje temperature naziva se **amplituda**.

Omotač objekta izveden **od materijala velike gustine i velikog toplotnog kapaciteta**, ima svojstvo da **prigušuje (smanjuje) amplitudu** promjene temperature i ima **dug vremenski pomak** između maksimalne temperature vanjske površine omotača i unutrašnje temperature vazduha.

Omotač izveden **od materijala male gustine**, malog toplotnog kapaciteta, **nema svojstvo prigušenja** amplitude i ima vrlo **kratak vremenski pomak** između temperature vanjske površine omotača i temperature unutrašnjeg vazduha.

Toplotna stabilnost u ljetnjem periodu

Vanjska toplota zajedno sa unutrašnjim dobitcima može ljeti podići temperaturu unutrašnjeg vazduha iznad temperature vanjskog vazduha.

Promjena temperature vazduha vani može se prikazati sinusoidalnom promjenom.

Pri hlađenju objekta temperatura materijala ostaće jedno vrijeme konstantna dok toplotni talas ne stigne do površine omotača. Brzina toplotnog talasa kroz omotač zavisi od provodljivosti materijala omotača.

U slučaju hlađenja akumulirana toplota u omotaču služi kao izvor toplote.

Smjer toplotnog toka zavisi od temperaturnog gradijenta.

Pri tome je bitan položaj toplotne izolacije, koja ima mali toplotni kapacitet i usporava protok toplote iz slojeva veće temperature u slojeve niže temperature.

Zagrijavanje i akumulacija toplote u omotaču objekta zavisi od vrste materijala, boje, strane svijeta i temperature vazduha.

Toplotno - difuzni tokovi u omotaču su ljeti obrnuti od zimskih. Toplota i vlaga ljeti prolaze iz vani ka unutra. Zato treba izvršiti proračun omotača i za ljetnu toplotnu stabilnost.

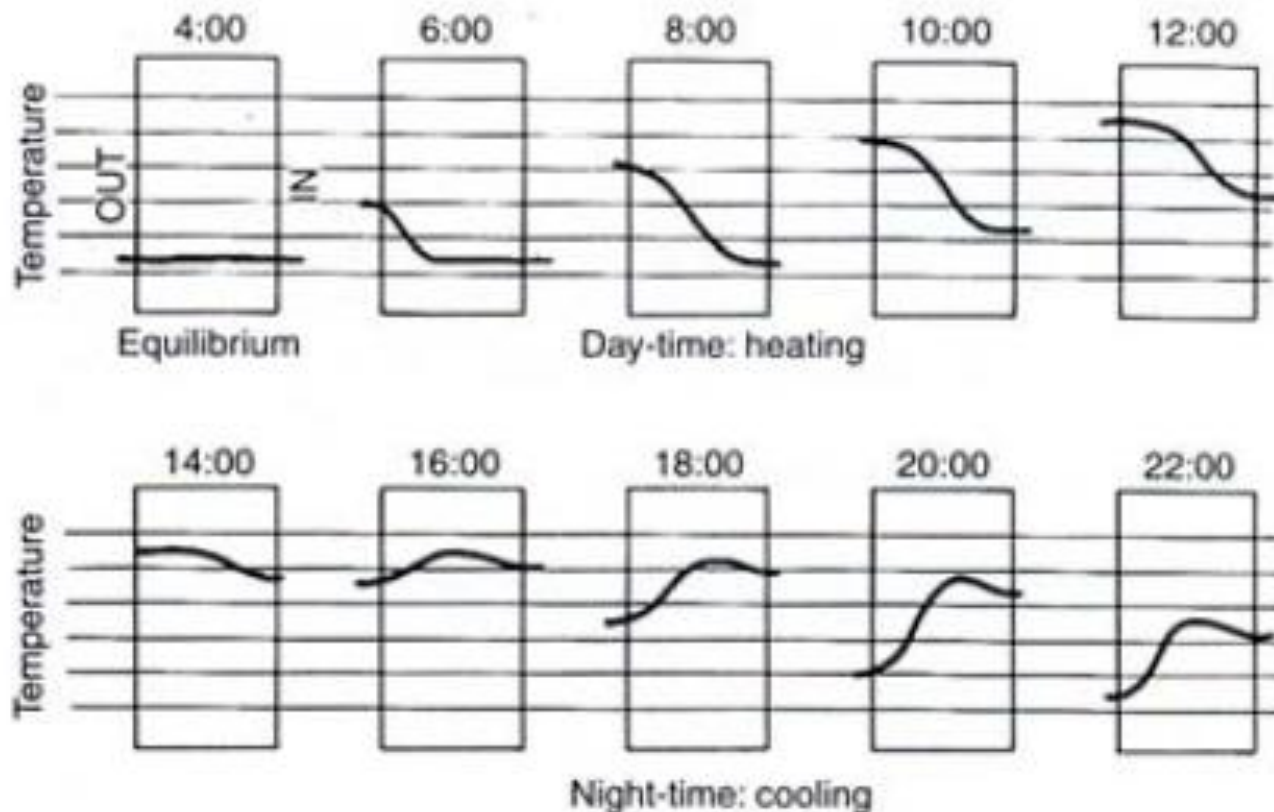
Toplota zagrijane fasade prenosi se na unutrašnju površinu pa dolazi do zagrijavanja prostorije. Zato je važno da omotač bude takav da do **zagrijavanja unutrašnje prostorije dođe što kasnije** (kad na fasadi dolazi do pada temperature - predveče), odnosno potreban je što veći vremenski razmak – **fazni pomak** – između početka zagrijavanja fasade i unutrašnje površine zida.

Omotač treba da bude takav da je temperatura unutrašnje površine zida što manja, odnosno da **omotač ima određeno toplotno prigušenje**

Minimalne vrijednosti za fazni pomak i toplotno prigušenje treba da budu propisane.

Vremenski pomak promjene temperatura u masivnom zidu

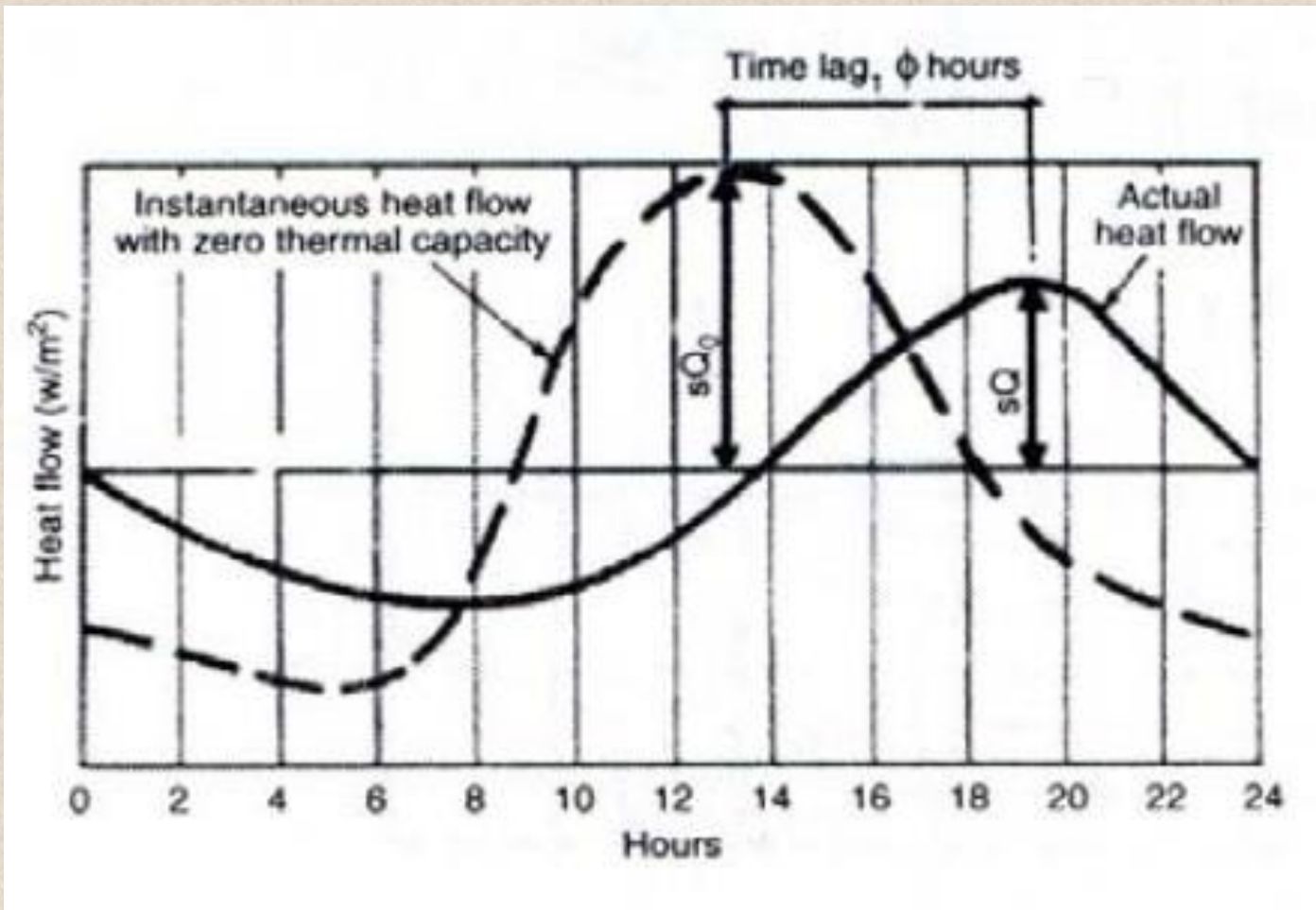
Temperaturni profil u masivnom zidu za različite vremenske sekvence prikazan je na slici.



Time sequence of temperature profiles in a massive wall (in a warm climate).

Masivni zid sa sposobnošću akumulacije toplote se najprije zagrije, a zatim prenosi toplotu na sljedeći sloj.

Postoji značajan vremenski pomak između zagrijavanja i emitovanja toplote kod masivnih zidova.



Dinamičke karakteristike građevinskih komponenti se proračunavaju u skladu sa standardom EN ISO 13786.

Ovaj standard definiše metode za proračun toplotnog ponašanja u dinamičkom režimu cjelokupnih građevinskih komponenti. Specificira podatke koji su potrebni za proračun, daje pojednostavljene metode za procjenu toplotnog kapaciteta.

Problem: Odrediti raspodjelu temperature u elementu kad temperatura površine varira periodično.

Pri proračunu se pretpostavlja da je varijacija spoljašnje temperature sinusoidna

Problem se svodi na rješavanje diferencijalne jednačine

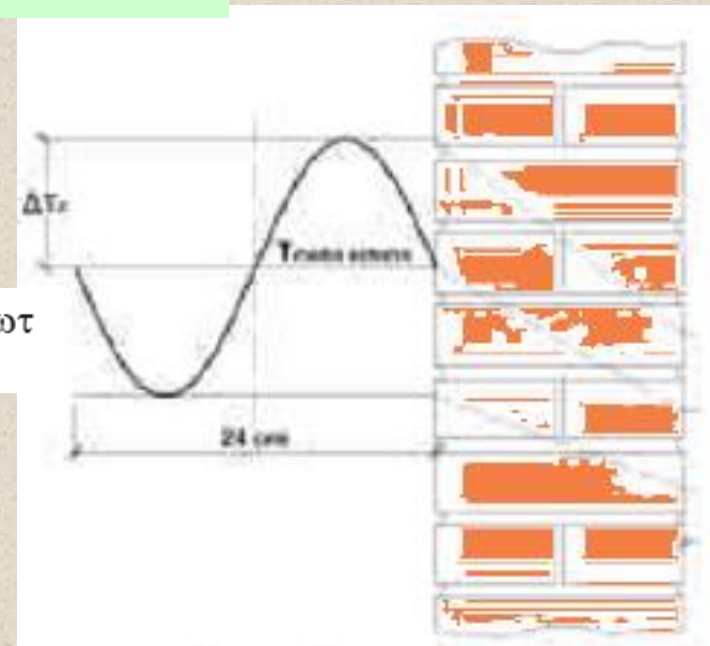
$$\frac{\partial^2 \vartheta_c}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \vartheta_c}{\partial \tau}$$

uz granični uslov:

$$\vartheta_c(0, \tau) = \Delta T_0 [\cos \omega \tau + i \operatorname{sen} \omega \tau] = \Delta T_0 e^{i\omega \tau}$$

Rješenje je oblika:

$$\vartheta_c(x, \tau) = X(x) e^{i\omega \tau}$$



Provjera toplotne stabilnosti prema važećim propisima u Crnoj Gori

Pravilnik o minimalnim zahtjevima energetske efikasnosti zgrada
("Službeni list Crne Gore", br. 075/15 od 25.12.2015)
u čl. 12 propisuje da

*„Toplotna stabilnost spoljašnjih građevinskih konstrukcija/elementa izloženih solarnom zračenju, određuje se na osnovu proračuna vrijednosti faktora prigušenja oscilacije temperature v [-] i faktora faznog pomaka oscilacije temperature η [h] prema **MEST EN ISO 13786**“.*

Izvod iz **Pravilnika o minimalnim zahtjevima energetske efikasnosti zgrada**
("Službeni list Crne Gore", br. 075/15 od 25.12.2015)

Toplotna stabilnost i dinamičke toplotne karakteristike građevinskih konstrukcija zgrade

Član 12

Toplotna stabilnost spoljašnjih građevinskih konstrukcija/elemenata izloženih solarnom zračenju, određuje se na osnovu proračuna vrijednosti faktora prigušenja oscilacije temperature ν [$-$] i faktora faznog pomaka oscilacije temperature η [h] u skladu sa MEST EN ISO 13786.

Provjera toplotne stabilnosti lakih spoljašnjih građevinskih konstrukcija (površinska masa $\leq 100 \text{ kg/m}^2$) izloženih solarnom zračenju vrši se provjerom vrijednosti koeficijenta prolaza toplote, U [$W/(m^2K)$].

Uslovi toplotne stabilnosti u slučaju lakih spoljašnjih konstrukcija smatraju se ispunjenim ako U [$W/(m^2K)$]:

- 1) za spoljašnje zidove ne prelazi $0.35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$,
- 2) za krovove ne prelazi $0.30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Neusaglašenost čl.12 Pravilnika sa standardom MEST EN ISO 13786

MEST EN ISO 13786 ne propisuje određivanje parametara navedenih u Pravilniku.

Član 12 Pravilnika o minimalnim zahtjevima energetske efikasnosti zgrada nije moguće primijeniti u tom dijelu.

Pravilnik o minimalnim zahtjevima energetske efikasnosti zgrada ("Službeni list Crne Gore", br. 075/15 od 25.12.2015) propisuje i da:

Provjera toplotne stabilnosti lakih spoljašnjih građevinskih konstrukcija (površinska masa $\leq 100 \text{ kg/m}^2$) izloženih solarnom zračenju vrši se preko provjere vrijednosti koeficijenta prolaza toplote, $U[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$.

Uslovi toplotne stabilnosti u slučaju lakih spoljašnjih konstrukcija su ispunjeni ako $U[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$:

**za spoljašnje zidove ne prelazi $0.35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
za krovove ne prelazi $0.30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.**

Vrijednosti koeficijenata prolaza toplote $U[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ koje su izračunate za posmatrani objekat treba da ispunjavaju propisane zahtjeve.

Dodatak 1

Proračun parametara ljetnje stabilnosti

Prema: SRPS U.J5.530 (JUS U.J5.530)

Faktor prigušenja oscilacije temperature se iskazuje odnosom:

$$v = \frac{t_{em}}{t_{om}}$$

gdje je:

t_{em} amplituda oscilacije temperature spoljašnjeg vazduha

t_{om} amplituda oscilacije temperature na unutrašnjoj površini pregrade

Pri proračunu se ne uzimaju u obzir slojevi pregrade tanji od 0.02 m osim ako su izrađeni od termoizolacionih materijala koeficijenta toplotne provodljivosti $\lambda < 0.1 \text{ W/mK}$.

Koeficijenti prelaza toplote koji se koriste u proračunu su:

□ za zidove $\alpha_i = 8 \text{ (W/m}^2\text{K)}$; $\alpha_e = 11.5 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

□ za krovove $\alpha_i = 6 \text{ (W/m}^2\text{K)}$; $\alpha_e = 11.5 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

Faktor prigušenja oscilacije temperature se proračunava koristeći sljedeće izraze, u zavisnosti od slojevitosti pregrade:

- једнослојна преграда

$$v = 0,9 \cdot \frac{(S + \alpha_i) \cdot (\alpha_e + U)}{(S + U) \cdot \alpha_e} \cdot e^x$$

- двослојна преграда

$$v = 0,9 \cdot \frac{S_1 + \alpha_i}{S_1 + U_1} \cdot \frac{S_2 + U_1}{S_2 + U_2} \cdot \frac{\alpha_e + U_2}{\alpha_e} \cdot e^x$$

- вишеслојна преграда

$$v = 0,9 \cdot \frac{S_1 + \alpha_i}{S_1 + U_1} \cdot \frac{S_2 + U_1}{S_2 + U_2} \cdot \dots \cdot \frac{S_n + U_{n-1}}{S_n + U_n} \cdot \frac{\alpha_e \cdot U_n}{\alpha_e} \cdot e^x$$

$$x = \frac{\sum_{j=1}^n D_j}{\sqrt{2}}$$

gdje je:

$D_j = S_{24,j} \cdot R_j$ D_j – indeks toplotne inercije j-tog sloja pregrade

$$S_{24,j} = 0.0085 \cdot \sqrt{\lambda_j \cdot \rho_j \cdot C_j} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$S_{24,j}$ – upijanje toplote od strane materijala konstrukcije tokom 24 časa 44

Koeficijent upijanja toplote

Prvi sloj:

$$D_1 \geq 1$$

$$U_1 = S_1$$

$$D_1 < 1$$

$$U_1 = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + \alpha_i}{1 + R_1 \cdot \alpha_i}$$

Drugi sloj:

$$D_2 \geq 1$$

$$U_2 = S_2$$

$$D_2 < 1$$

$$U_2 = \frac{R_2 \cdot S_2^2 + U_1}{1 + R_2 \cdot U_1}$$

j-ti sloj:

$$D_j \geq 1$$

$$U_j = S_j$$

$$D_j < 1$$

$$U_j = \frac{R_j \cdot S_j^2 + U_{j-1}}{1 + R_j \cdot U_{j-1}}$$

Kašnjenje oscilacije temperature predstavlja vremenski interval između trenutka pojave temperaturne promjene unutrašnje površine pregrade i trenutka pojave promjene temperature spoljašnjeg vazduha koja je izazvala promjenu na unutrašnjoj površini.

Proračun kašnjenja oscilacije temperature se vrši pomoću formule:

$$\eta = \frac{1}{15} \left(40,5 \cdot \sum_{j=1}^n D_j - \operatorname{arctg} \frac{\alpha_1}{\alpha_i + U_i \cdot \sqrt{2}} + \operatorname{arctg} \frac{U_n}{U_n + \alpha_e \cdot \sqrt{2}} \right)$$

Kašnjenje oscilacije temperature η se iskazuje u h .

Kašnjenje oscilacije temperature predstavlja vremenski interval između trenutka pojave temperaturne promjene unutrašnje površine pregrade i trenutka pojave promjene temperature spoljašnjeg vazduha koja je izazvala promjenu na unutrašnjoj površini.

Proračun kašnjenja oscilacije temperature se vrši pomoću formule:

$$\eta = \frac{1}{15} \left(40,5 \cdot \sum_{j=1}^n D_j - \operatorname{arctg} \frac{\alpha_1}{\alpha_i + U_i \cdot \sqrt{2}} + \operatorname{arctg} \frac{U_n}{U_n + \alpha_e \cdot \sqrt{2}} \right)$$

Kašnjenje oscilacije temperature η se iskazuje u h .

Vrijednosti koeficijenata \mathbf{v} i $\mathbf{\eta}$ proračunate prethodnim postupkom, se mogu uporediti sa minimalnim vrijednostima koje propisuje Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada Republike Srbije.

Propisane vrijednosti su prikazane u tabelama 3.2.1 i 3.2.2 (Pravilnik o EEZ Republike Srbije).

Tabela 3.2.1 - Najmanje dozvoljene vrednosti faktora prigušenja amplitude oscilacije temperature, v_{min} [-]

Građevinski element	v_{min} [-]
Ravni krovovi	25
Svi spoljni zidovi, osim onih koji su na severnoj strani	15
Spoljni zidovi na severnoj strani	10

Tabela 3.2.2 - Najmanje dozvoljene vrednosti kašnjenja oscilacije temperature, η_{min} [h]

Građevinski element	η_{min} [h]
Ravni krovovi hladnjača	14
Ravni krovovi, osim ravnih krovova hladnjača	10
Spoljni zidovi i kosi krovovi ka zapadnoj i jugozapadnoj strani	8
Spoljni zidovi i kosi krovovi ka južnoj i jugoistočnoj strani	7
Spoljni zidovi i kosi krovovi na istočnoj, severoistočnoj i severozapadnoj strani	6

Pravilnik o EEZ Srbije propisuje i sljedeće:

Ako je **faktor prigušenja oscilacije temperature** ν krovova veći od 45, a ν zidova veći od 35, ne postavljaju se zahtjevi za η .

Za spoljašnje građevinske konstrukcije koje u sastavu imaju ventilisani vazdušni sloj ili imaju zaklon, sem za slučaj sasvim slabo ventilisanih konstrukcija, ne postavljaju se zahtjevi u pogledu faktora prigušenja oscilacije temperature, s tim da površinska masa konstrukcije, bez spoljnje obloge, ne smije biti manja od 100kg/m^2 , u kom slučaju koeficijent prolaza toplote k mora biti manji od $0.35\text{ W/m}^2\text{K}$.

Kompaktnost i faktor oblika

- Parametri energetske efikasnosti -

Projektovanje zgrade - ključni faktor za energetska efikasnost - najviše parametara uticaja je pod kontrolom projektnog tima.

Kompaktnost i faktor oblika pripadaju grupi mjera za povećanje energetske efikasnosti pri projektovanju

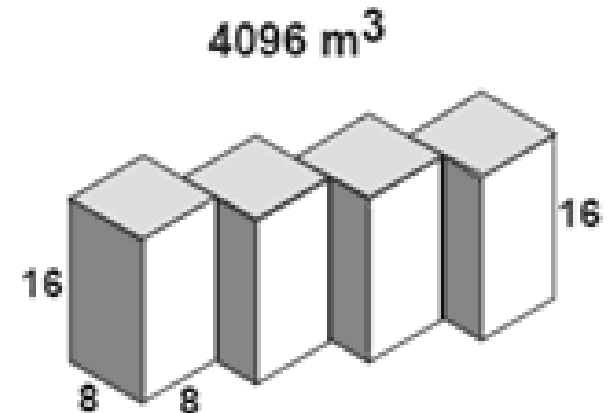
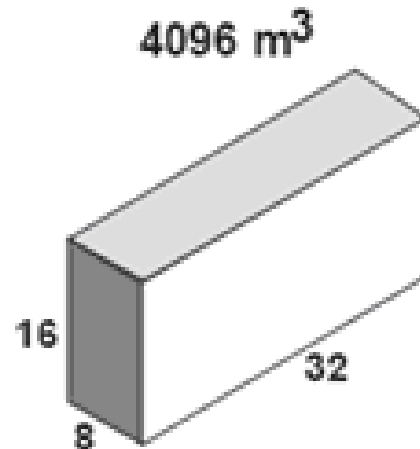
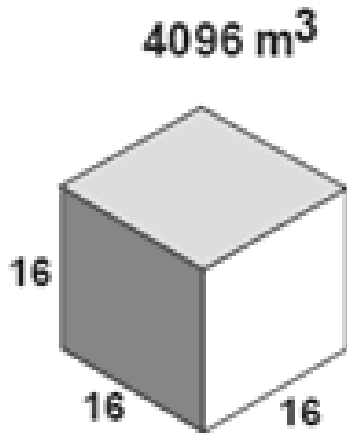
Obuhvaćena zapremina – potrebna neto energija raste sa povećanjem obuhvaćene zapremine ako su drugi parametri konstantni.

Kompaktnost – potrebna neto energija za grijanje opada sa povećanjem kompaktnosti, dok su ostali parametri konstantni. Kompaktnost (C) je jednaka odnosu obuhvaćene zapremine u m³ i površine omotača u m².

Faktor oblika je odnos između površine termičkog omotača zgrade (spoljne mjere) i njime obuhvaćene bruto zapremine zgrade. Faktor oblika se računa primjenom izraza $f_o = A/V_e$, (m⁻¹).

Kompaktnost

VOLUMEN ZGRADE



POVRŠINA OMOTAČA ZGRADE

1536 m²
C=2,667

1792 m²
C=2,286

2176 m²
C=1,882

Na slici su prikazani primjeri proračuna kompaktnosti gdje se može vidjeti da su zgrade razuđenih oblika manje kompaktnosti i imaju veću potrebnu energiju za grijanje.