

Utjecaj izbora materijala na toplinsku izolaciju prozora Influence of the material choice to thermal performance of windows

Copak, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:105624>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-15**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

PREDIPLOMSKI STUDIJ
DRVNE TEHNOLOGIJE

ANTONIO COPAK

UTJECAJ IZBORA MATERIJALA NA TOPLINSKU IZOLACIJU
PROZORA
ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, rujan, 2016.

AUTOR:	Antonio Copak 31.01.1995. Bjelovar 0068220790
NASLOV:	Utjecaj izbora materijala na toplinsku izolaciju prozora
PREDMET:	Drvo u graditeljstvu
MENTOR:	Doc. dr. sc. Vjekoslav Živković
IZRADU RADA JE POMOGAO:	
RAD JE IZRAĐEN:	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu Zavod za namještaj i drvene proizvode
AKADEMSKA GODINA:	2015/2016
DATUM OBRANE	23.09.2016.
RAD SADRŽI:	Stranica: 37 Slika: 25 Tablica: 4 Navoda literature: 21
SAŽETAK:	<p>Rad donosi pregled tipičnih načina prenošenja topline i proračuna toplinske izolacije prozora, obilježja pojedinog materijala i njegova toplinska svojstva (drvo, pvc, aluminij, staklo, plinovi, brtve,...), pregled zahtjeva na toplinsku zaštitu zgrada, pregled toplinsko izolacijskih svojstava tipičnih proizvoda (prozorskih okvirnica s obzirom na materijal, vrstu ostakljenja, vrstu brtve, načina ugradnje prozora u objekt),... u svrhu detaljnijeg upoznavanja s mogućnostima izbjegavanja tipičnih toplinskih mostova.</p>

PREDGOVOR

Ušteda energije u novije vrijeme postaje jedna od svakodnevnih tema. Prilikom kupnje određenih proizvoda čovjek sve više obraća pažnju na njihovu energetske učinkovitost. Energija nije jeftina, stoga smanjenjem njene potrošnje jedno kućanstvo može znatno uštedjeti. Toplinska energija čini više od 50% sveukupnih troškova nekog kućanstva ili zgrade. Iz tog podatka jasno je da će se najveća pažnja posvetiti upravo toplinskoj izolaciji.

Prozori su jedno od osjetljivijih pitanja kada govorimo o toplinskoj izolaciji zgrade. Napretkom prozorske industrije dolazi do znatnih promjena na prozorima, pa tako i na njihovoj energetske učinkovitosti. Današnji prozori proizvode se iz različitih materijala koji imaju različita tehnička svojstva.

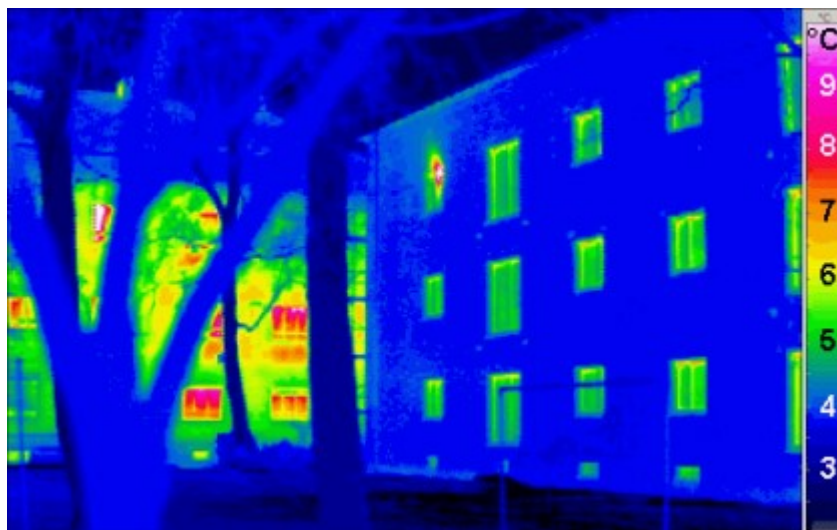
Stoga je cilj ovog rada je prikazati kakav utjecaj određeni materijal ima na toplinsku izolaciju prozora.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZAHTJEVI NA TOPLINSKU IZOLACIJU ZGRADA.....	2
3. NAČINI PRENOŠENJA TOPLINE I PRORAČUNI.....	5
3.1. PRIJENOS TOPLINE VOĐENJEM	5
3.2. PRIJENOS TOPLINE STRUJANJEM	7
3.3. PRIJENOS TOPLINE ZRAČENJEM	8
3.4. FAKTOR PROLASKA TOPLINE PROZORA.....	8
3.4.1. IZRAČUN KOEFICIJENTA TOPLINSKE VODLJIVOSTI PROZORA	9
4. OBILJEŽJA POJEDINOG MATERIJALA I NJEGOVA TOPLINSKA SVOJSTVA.....	11
5. PREGLED TOPLINSKO IZOLACIJSKIH SVOJSTAVA TIPIČNIH PROIZVODA.....	12
5.1. PROZORSKI OKVIRI	12
5.1.1. DRVENI PROZORSKI OKVIRI	13
5.1.2. ALUMINIJSKI PROZORSKI OKVIR.....	14
5.1.3. PLASTIČNI PROZORSKI OKVIRI	15
5.1.3. KOMPOZITNI PROZORSKI OKVIRI	16
5.2. VRSTE OSTAKLJENJA	19
5.2.1. STAKLA NISKE EMISIJE (LOW-E).....	21
6. PRAVILNA UGRADNJA PROZORA.....	22
6.1. RAL UGRADNJA I DVA SUSTAVA BRTVLJENJA.....	24
6.3. SPOJNA FUGA	27
6.4. KONDENZACIJA VODENE PARE.....	27
7. TOPLINSKI MOSTOVI	29
7.1. PODJELA TOPLINSKIH MOSTOVA	29
7.2. POSLJEDICE I NAČINI SMANJENJA UTJECAJA TOPLINSKIH MOSTOVA	30
ZAKLJUČAK.....	31
8. LITERATURA.....	32

1.UVOD

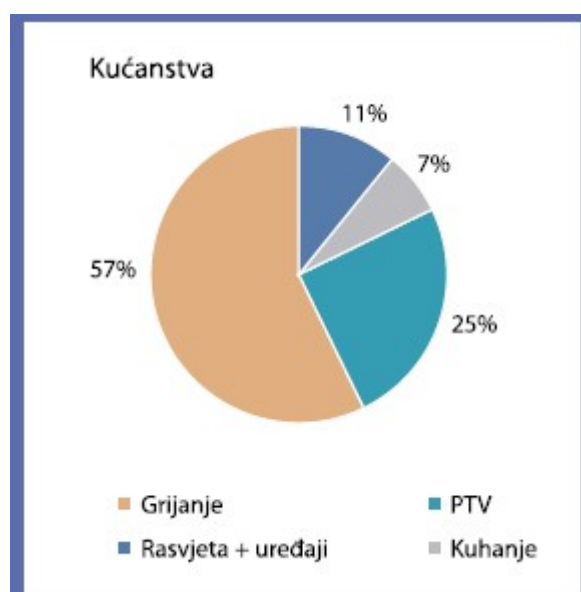
Energija pokreće svijet. Ona je sposobnost obavljanja rada. Energija je u ljudima i oko njih. Energija daje ljudima snagu, mogućnosti, pokreće njihove automobile, osvjetljava gradove i domove. Izvori energije dijele se na obnovljive i neobnovljive. Neobnovljivi izvori kao što su nafta i plin svojim izgaranjem zagađuju okoliš. Njihove zalihe su ograničene, a cijene relativno visoke. Iz tog razloga toplinska zaštita i štednja energije, korištenje obnovljivih izvora i zaštita okoliša postaju temeljem održivog razvoja. Zato ne čudi da ljudi sve više obraćaju pozornost na toplinsku izolaciju svojih kuća i zgrada. Osim uštede na grijanju i hlađenju te toplinskoj i električnoj energiji, ljudi dobivaju ugodniji prostor za život i stanovanje. Prema Vodiču za energetske efikasne gradnje (2005.), kroz prozore se gubi i do 70 % ukupnih toplinskih gubitaka zgrade (Slika 1.). Najbolji način da se to smanji je dobra stolarija i izolacija vanjskih zidova, odnosno dobra izolacija vanjske ovojnice zgrade.



Slika 1. Toplinska ovojnica zgrade i njena energetska učinkovitost (Anonymus 1, 2013)

2. ZAHTJEVI NA TOPLINSKU IZOLACIJU ZGRADA

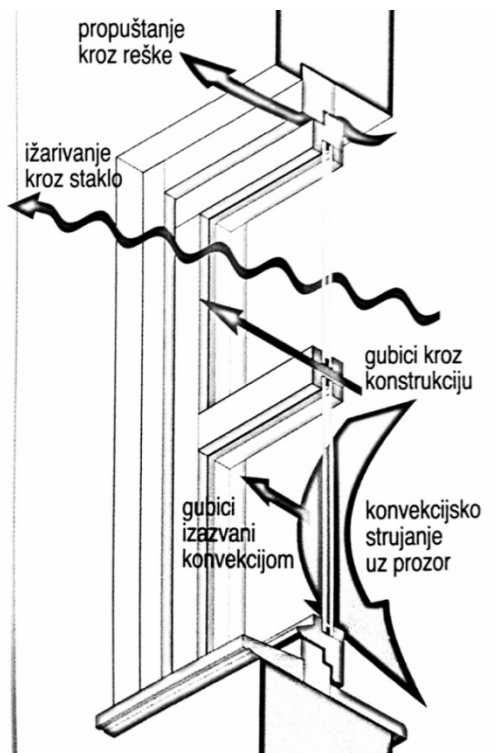
U novije vrijeme čovjek se sve više okreće uštedi energije. Energija omogućava ljudski život i napredak, ali s druge strane ima i štetan utjecaj po čovjeka i njegov okoliš. Stvaranjem i korištenjem energije stvaraju se mnoge nuspojave, kako pozitivne tako i negativne. Energija ima svoju cijenu koju korisnik mora platiti. Iz tog razloga uštedom energije čovjek zapravo štedi svoj novac. Najveći postotak u kućanstvu upravo odlazi na toplinsku energiju, stoga ne čudi što se u novije vrijeme toliko govori o toplinskoj izolaciji kako prozora tako i ostalih dijelova zgrade.



Slika 2. Prosječna raspodjela energije u kućanstvu (Hrs - Borković i dr., 2005)

Vanjska ovojnica zgrade dijeli unutarnji prostor od okoline. Jedan od glavnih zadataka vanjske ovojnice jest da zadrži temperaturu koja je čovjeku ugodna za život. Prozori su dio vanjske ovojnice zgrade koji imaju ulogu puštanja Sunčevog svjetla u zgradu, provjetravanje prostora, zaštita od atmosferilija, pogled i doticaj s okolinom. Kroz njega se propušta dnevna svjetlost i njegova energija dok istovremeno služi kao zaštita od vanjskih utjecaja. Prozori prenose toplinu vođenjem, strujanjem, zračenjem. Pri tome se prijelaz topline ostvaruje kroz reške između

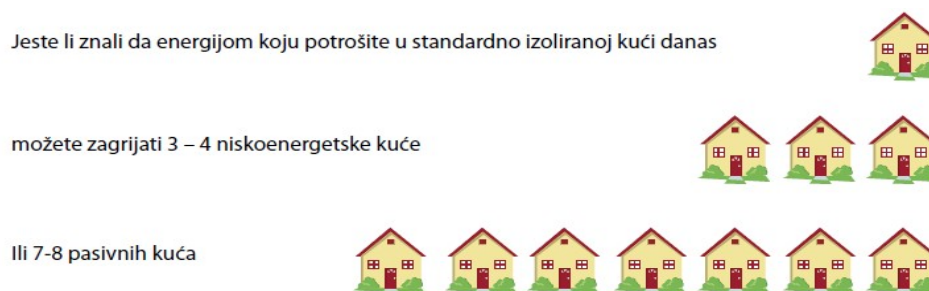
okvirnica doprozornika i krila, sljubnicu doprozornika i zida, kroz materijal okvirnice i staklo (slika 3.).



Slika 3. Prolazak topline kroz prozor (Toth, 2009)

Gubici kroz prozore dijele se na transmisijske i ventilacijske. Transmisijski gubici nastaju prolaskom topline kroz prozor, a ventilacijski nastaju prilikom provjetravanja. Ukupni gubici jednaki su zbroju transmisijskih i ventilacijskih, a u prosjeku njihov zbroj je preko 50 % ukupnih toplinskih gubitaka zgrade.

Kroz prozore se gubi oko deset puta više topline nego kroz zidove, stoga je jasno kolika je uloga prozora u energetskej učinkovitosti zgrade. Energijom koja se koristi u standardno izoliranim kućama može se pokretati i grijati nekoliko niskoenergetskih i pasivnih kuća (slika 4.).



Slika 4. Isplativost energetske efikasne gradnje kuća (Vodič kroz energetske efikasne gradnje, 2005)

3. NAČINI PRENOŠENJA TOPLINE I PRORAČUNI

Toplina je energija koja prelazi s toplijeg tijela na hladnije do izjednačenja temperature. Temperatura je fizikalna veličina kojom se iskazuje toplinsko stanje odnosno toplina. Oznaka za toplinu je Q dok je mjerna jedinica džul (J), odnosno ranije se koristila jedinica kalorija (cal). Osim temperature kod izračuna topline bitno je poznavati masu (m) i specifični toplinski kapacitet (c). Masa je vjerojatno najpoznatija fizikalna veličina a označava količinu neke tvari sadržane u tijelu. Mjerna jedinica za masu je kilogram (kg), a oznaka je m . Specifični toplinski kapacitet je količina topline potrebna da se jediničnoj masi nekog tijela povisi temperatura za jedan stupanj (Šimetin, 1983). Mjerna jedinica u SI sustavu je (J/kgK). Specifični toplinski kapacitet različit je od tvari do tvari. Osim toga ovisi i o temperaturi pri kojoj je izmjeren. Prijenos topline je prirodni proces do kojeg dolazi prilikom razlike u temperaturama u nekom sustavu. Toplina se može prenositi na tri načina, a to su :

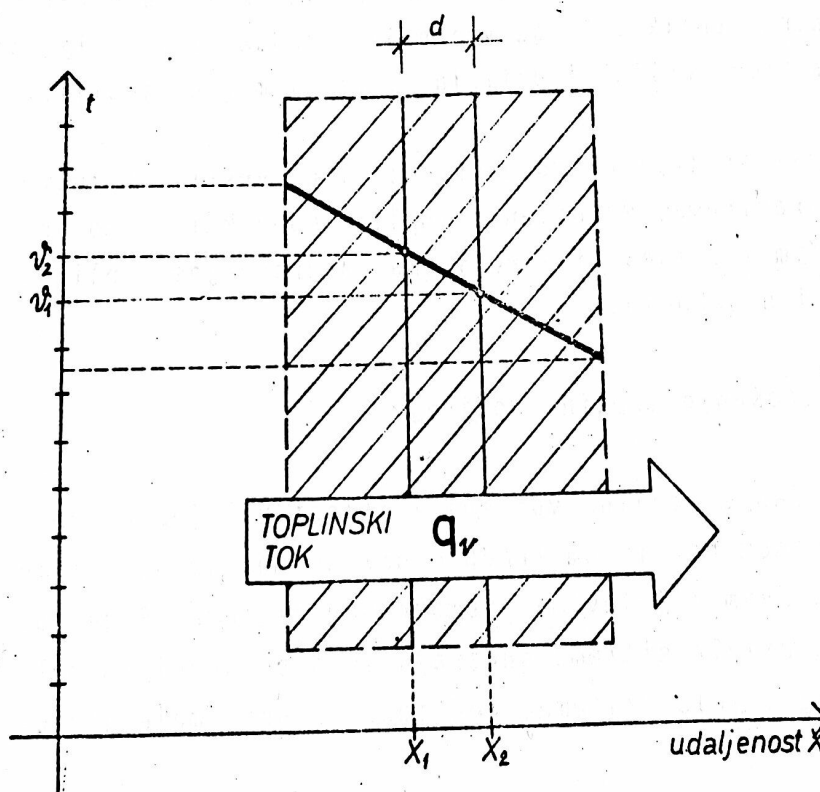
- vođenje (kondukcija)
- strujanje (konvekcija)
- zračenje (radijacija)

3.1. PRIJENOS TOPLINE VOĐENJEM

Do prijenosa topline vođenjem dolazi uslijed prirodne težnje za homogenom razdiobom srednje brzine molekula, a time i temperature u svim dijelovima promatranog sustava (Šimetin, 1983). Brže molekule iz toplijeg dijela sustava sudaraju se sa sporijim molekulama hladnijeg dijela sustava. Dolazi do izjednačavanja brzina molekula u sustavu. Jednostavnije rečeno vođenje je prienos topline na način da se dio nekog tijela zagrijava izravnim dodiranjem s izvorom topline, a susjedni se redom zagrijavaju. Primjerice ako se dio nekog metala nalazi u peći, zbog vođenja topline dio koji je izvan peći također će se zagrijati. Vođenjem se toplina može prenositi kroz čvrste, tekuće i plinovite sredine.

Izračun za toplinski tok : $Q = \lambda * A * \frac{T_1 - T_2}{d}$

Simbol λ oznaka je za koeficijent toplinske vodljivosti i različit je za različite vrste materijala. Materijali koji imaju manju vrijednost slabije provode toplinu odnosno bolji su izolatori. Mjerna jedinica u SI sustavu je W/m^2K . Simbol A označava površinu koja se izražava u m^2 . Debljina stjenke označena je s malim slovom d , a mjerna jedinica je m .



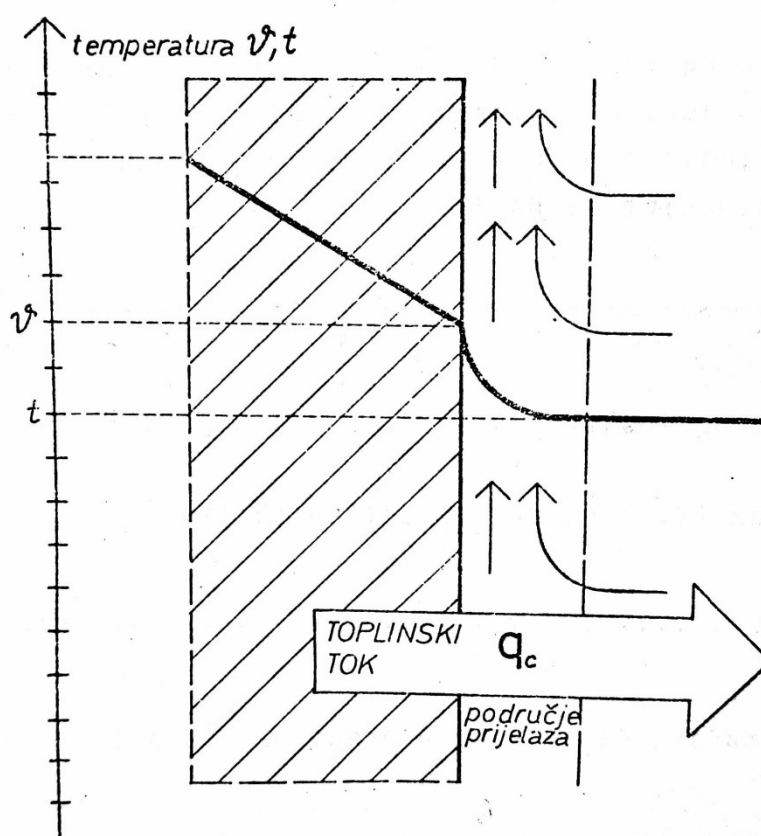
Slika 5. Vođenje topline kroz ravnu ploču homogenog materijala (Šimetin, 1983)

3.2. PRIJENOS TOPLINE STRUJANJEM

Prenošenje topline konvekcijom moguće je samo u tekućim i plinovitim sredstvima. Konvekcija ili strujanje prema uzroku gibanja može biti prirodna, odnosno prisilna. Kod prisilne konvekcije gibanje fluida postiže se nekim mehaničkim uređajem, dok se kod prirodne gibanje događa zbog razlike u temperaturi dijelova fluida.

$$\text{Izračun : } q = \alpha * (T_1 - T_2)$$

Simbol α je oznaka za koeficijent prijelaza topline konvekcijom, T_1 označava termodinamičku temperaturu nekog elementa, a T_2 okolnog zraka.



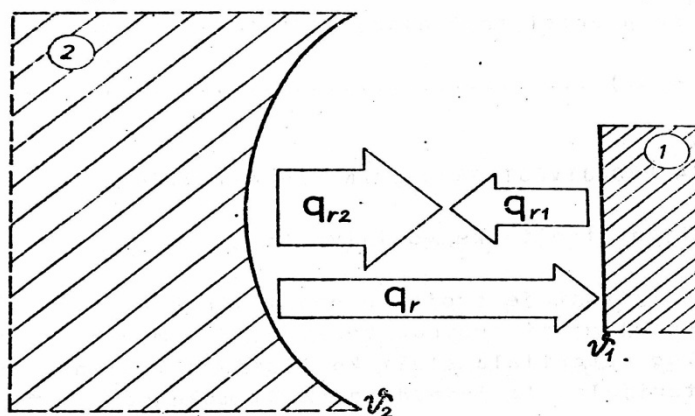
Slika 6. Prijenos topline konvekcijom (Šimetin, 1983)

3.3. PRIJENOS TOPLINE ZRAČENJEM

Zračenjem se toplina može prenositi isključivo u plinovitom sredstvu i vakuumu. Ukupna energija zračenja dobije se kao razlika između energije što je emitira površina nekog tijela i energije koju je ta ista površina apsorbirala pri dozračivanju.

Izračun : $q = \alpha * (T_1 - T_2) * f$

Simbol f označava faktor oblika , α označava koeficijent prijelaza topline zračenjem, dok je T oznaka za termodinamičke temperature.



Slika 7. Prijenos topline zračenjem (Šimetin, 1983)

3.4. FAKTOR PROLASKA TOPLINE PROZORA

Za energetska učinkovitost prozora najvažniji je faktor prolaska topline prozora (U_w). U_w pokazuje koja količina topline prolazi kroz prozor površine 1 m^2 kod razlike u temperaturi između dva prostora od 1° K . Svaka komponenta ima svoj faktor prolaska topline, no najvažniji je U_w jer on pokazuje vrijednost za cijeli prozor. Europska unija kroz zakonsku regulativu propisuje sve niže vrijednosti za koeficijent prolaska topline. Prilikom zamjene stolarije preporučuje se vrijednost niža od $1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ do $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ za hladnije krajeve, odnosno za toplije od $2,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ do $2,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, 2015). Kod pasivnih

kuća koeficijent prolaska topline bi se trebao kretati oko 0,80 W/m²K. Na starim zgradama sa starom stolarijom koeficijent prolaska topline kreće se od 3,00 W/m²K do 3,50 W/m²K.

Faktor prolaska topline prozora ovisan je o mnogim parametrima u prozoru. Može se izračunati mjerenjem pri kontroliranim uvjetima u laboratoriju ili se može izračunati iz koeficijenata prijelaza topline okvira i stakla, i utjecaja rubne brtve.

3.4.1. IZRAČUN KOEFICIJENTA TOPLINSKE VODLJIVOSTI PROZORA

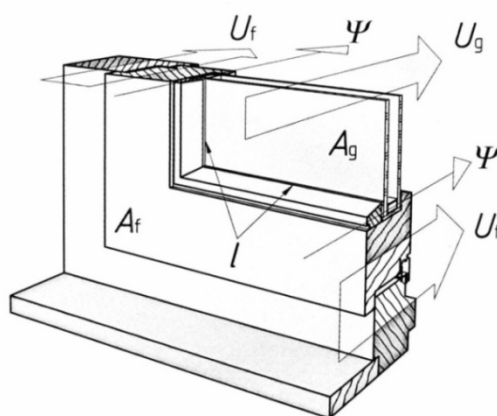
Izračun koeficijenta toplinske vodljivosti jednostrukog prozora prema normi (HRN EN ISO 10077-1) :

$$U_w = \frac{(U_g * A_g) + (U_f * A_f) + (\Psi_g * L)}{A_g + A_f}$$

U_g - koeficijent prolaska topline ostakljenja, U_f - koeficijent prolaska topline okvira

Ψ_g - koeficijent dužinskog prolaska topline

A_g - površina stakla , A_f - površina okvira, L - dužina



Slika 8. Koeficijent prolaza topline prozora temelji se na područje okvira i prozora te njihovu zajedničku duljinu (Heidsieck i dr., 2007)

Tablica 1. Toplinska izolacija prozora izrađena od različitih vrsta materijala i različitim ostakljenjem (Pech, Pommer, Zeininger, 2005)

Vrsta materijala okvirnice	Vrsta ostakljenja	U_w (W/m ² K)h
Drveni prozor s razmaknutim krilima	2x1 jednostruko staklo	~2,5
Drveni prozor sa spojenim krilima	2 x Izolirajuće staklo	<1,0
Drveni prozor s izolirajućim staklima	2 x 1 jednostruko staklo	~2,0
Drvoaluminijски prozor s izolirajućim staklima	2 x Izolirajuće staklo	<1,5
Aluminijски prozor s izolirajućim staklima	2 x Izolirajuće staklo	<1,0
Plastični prozor s izolirajućim staklima	2 x Izolirajuće staklo	<1,5
Čelični prozor s izolirajućim staklima	2 x Izolirajuće staklo	<1,5

4. OBILJEŽJA POJEDINOG MATERIJALA I NJEGOVA TOPLINSKA SVOJSTVA

Kao što je već ranije spominjano u prijašnjim poglavljima, prolazak topline kroz neku tvar ovisi o materijalu iz koje je ta tvar izgrađena. Najčešći materijali u industriji prozora za izradu prozorskih okvira su: drvo, PVC, aluminij te kombinacija drva i aluminija. Svaki prozor sadrži staklo kako bi dnevna svjetlost mogla prolaziti u prostoriju. Sljedeća bitna stvar kod prozora jesu brtve. One osiguravaju dovoljno dobre spojeve između različitih materijala i ploha, poboljšavaju izolaciju prozora.

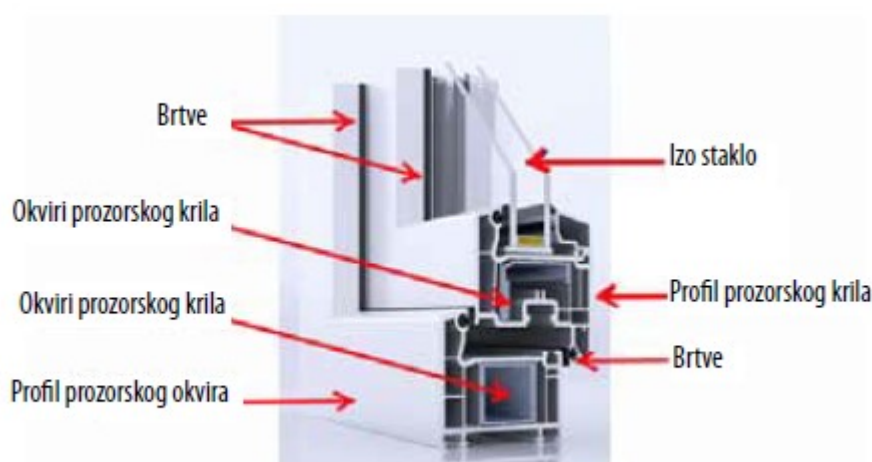
Tablica 2. Koeficijent toplinske vodljivosti određenih materijala (Kraut, 1988)

Materijal	Koeficijent toplinske vodljivosti ($\lambda = W/mK$)
Drvo	0,04 - 0,30
PVC	0,09
Aluminij	229
Staklo	0,76
Guma	0,16
Zrak	0,0251
Čelik	59

U Tablici 2. se vrlo dobro može vidjeti razlika između toplinske vodljivosti pojedinih materijala. Drvo je materijal dobiven iz drvenastih biljaka. Prosušeno drvo slabo provodi toplinu, odnosno ponaša se kao izolator. Staklo, guma, zrak, i PVC također su dobri izolatori jer u vrlo maloj mjeri prenose toplinsku energiju. Metali aluminij i čelik imaju velike koeficijente toplinske vodljivosti što znači da dobro provode toplinsku energiju, naročito aluminij. Metali su općenito poznati kao vodiči toplinske energije.

5. PREGLED TOPLINSKO IZOLACIJSKIH SVOJSTAVA TIPIČNIH PROIZVODA

Najveći utjecaj na izolacijska svojstva prozora imaju okviri, vrsta ostakljenja i brtvljenja prozora. Staklo i okviri čine najveći dio sveukupne površine prozora. Kao što je navedeno u ranijim poglavljima, količina prolaska topline proporcionalna je površini kroz koju prolazi, a obrnuto proporcionalna debljini materijala kroz koji prolazi.



Slika 9. Komponente prozorskog sustava (Banay i dr., 2013)

5.1 PROZORSKI OKVIRI

Jedan od najvećih utjecaja na kvalitetu toplinske izolacije prozora imaju prozorski okviri. Prozorski okviri najčešće su aluminijski, drveni, PVC i kombinacija tih materijala. Odabir materijala okvira individualna je odluka kupca. Podrazumijeva se da osim kvalitete materijala vrlo veliku ulogu igra cijena. Tako primjerice kvadrat plastičnog (PVC) prozora košta od 1800 do 2000 kuna, dok cijena kod drvo-aluminijskih prozora je od 2500 do 3000 kuna. S ekološkog aspekta najprihvatljiviji su drveni prozori jer je drvo prirodan materijal koji svojom preradom ne zagađuje okoliš kao neki drugi materijali.

5.1.1. DRVENI PROZORSKI OKVIRI

Drvo je tradicionalan materijal za proizvodnju prozora, međutim pojavom novih materijala u industriji njegova upotreba u nekim europskim državama se smanjila. Najveće prednosti drva za izradu prozora su njegova tehnička svojstva i estetska vrijednost (Turkulin i dr., 2005).

Kod izrade prozora koristi se lamelirano drvo zato što je masivno drvo sklono dimenzijskoj nestabilnosti. Prozori izrađeni od drva uz pravilno održavanje mogu biti dugovječni. Imaju najbolji stupanj toplinske i zvučne izolacije. U prosjeku koeficijent prolaska topline drvenih okvira (U_f) kreće se od 1,1 do 1,8 W/m²K. Razlike su ovisne o debljini okvira i vrsti materijala, odnosno drva.



Slika 10. Drveni prozorski okvir (Anonymus 2, 2016a)

5.1.2 ALUMINIJSKI PROZORSKI OKVIR

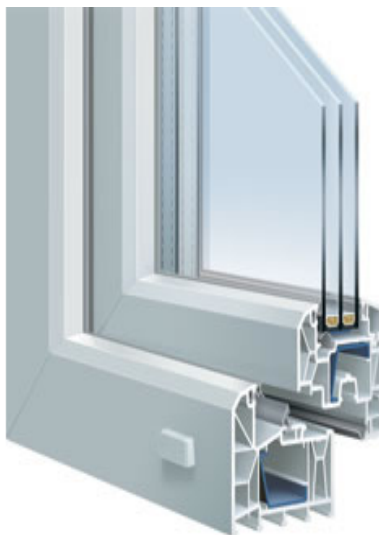
Aluminij je najčešći metal koji se koristi za izradu prozora. Glavna prednost ovih prozorskih okvira je velika čvrstoća, krutost i postojanost na vremenske utjecaje. Otporan je na koroziju i može se površinski obrađivati. Takvi prozori nisu zahtjevni za održavanja, a usprkos tomu mogu biti dugovječni (Turkulin i dr., 2005). Mana je što je aluminij loš toplinski izolator, stoga je i prolazak topline kroz njega veći. Zbog toga je na unutarnjoj plohi moguća pojava kondenzacije. Rješenje je da ispunjena ispod aluminija bude dobar toplinski izolator kako bi se prekinuo toplinski most. U prosjeku koeficijent prolaska topline drvenih okvira (U_f) kreće se od 1,5 do 3,2 W/m²K.



Slika 11. Aluminijski prozorski okvir (Anonymus 3, 2016b)

5.1.3 PLASTIČNI PROZORSKI OKVIRI

Danas se plastični prozori najčešće izrađuju od polivinil klorida (PVC), iz tog razloga vrlo često primjenjuje se naziv "PVC stolarija". Naravno mogu se koristiti neke druge plastične mase, poput poliuretana (PU). Kako je konstrukcija takvih prozora vrlo skupa i rijetka, najčešće se pod plastičnim prozorima podrazumijevaju oni koji su izrađeni od PVC-a. Takvi prozori dobri su toplinski izolatori i jednostavni za održavanje. Proizvode se vrlo jednostavno, od industrijski gotovih profila koji se vare u kutevima. Najveći problem kod plastičnih prozora tiče se ekologije jer se proizvodnjom i reciklažom ovih prozora zagađuje okoliš. Prema Turkulinu i dr. (2005), najveći nedostatak plastične stolarije je u tome što se ona ne može popravljati. Kada jednom dođe do kredanja, pucanja ili nekog drugog oštećenja, stolarija se može jedino promijeniti. U prosjeku koeficijent prolaska topline plastičnih okvira (U_f) kreće se od 0,9 do 1,4 W/m²K.



Slika 12. PVC prozorski okvir (Anonymus 4, 2016c)

Tablica 3. Koeficijent prolaza topline prozora (Tomšić, 2008)

OKVIR			OSTAKLJENJE				
Materijal	Tip krila		jednoslojno	dvoslojno	troslojno	Dvoslojno+low-e+argon	Dvoslojno+low-e+mješavina plinova
DRVO		U	5,5 - 5,9	2,9 - 3,4	2,0 - 2,5	1,1 - 1,3	0,9
	Spojni			2,3	1,7		
	Standardni jednostruki		4,6	2,4 - 2,9	1,9	1,4 - 1,7	1,0-1,4
PVC	Spojni jednostruki			2,5	1,9		
	Spojni višekomorni			2,6	2,0		
	Standardni jednokomorni	2,4 - 2,6		2,8 - 3,1			
	Standardno višekomorni	1,2 - 1,8		1,7 - 2,5	2,0	1,3 - 1,8	1,1 - 1,3
METALNI	Spojni			3,7			
	Spojni-prekinut toplinski most			2,9	2,3		
	Standardni	6,0-10		3,7 - 4,0			

5.1.3. KOMPOZITNI PROZORSKI OKVIRI

Prozorski okviri izrađuju se i od kombinacija različitih materijala. Najbolji primjer vrlo dobre kombinacije materijala je drvo aluminijski prozor. U njemu se dobro sjedinjene prednosti oba materijala. Drvo služi za estetiku, toplinsku i zvučnu izolaciju, čvrstoću i krutost, dok aluminij štiti od vanjskih utjecaja i smanjuje rizik od navlaživanja (Turkulin i dr., 2005). Postoje dvije kombinacije drvoaluminijskih prozora.

Prva kombinacija je da se na standardni drveni okvir stavi aluminijska obloga s vanjske strane. Kod ovog načina aluminij se sustavom kopči pričvršćuje za drveni okvir. Između sloja drva i aluminijske obloge omogućena je ventilacija. Ako se ovaj detalj ne izvede pravilno na prozoru može doći do ozbiljne štete.

Druga kombinacija je da se na aluminijski okvir stavi drvena obloga s unutarnje strane. Prednost ovog prozora je što vanjsku stranu nije potrebno dodatno zaštititi budući da je izrađena od aluminijske obloge. Unutarnja strana daje prostoru prirodnost i

svježinu jer je izrađena od drva. Aluminij i drvo spojeni su plastičnim profilom koji prekida toplinski most.

Od ostalih kombinacija koriste se još drvo - pluto, drveno - poliuretan, PVC - poliuretan, aluminij - poliuretan, PVC - aluminij, i drugo. Takve kompozitne konstrukcije imaju izrazito veliki potencijal u prozorskoj industriji. Većina tih kombinacija još je u početnim fazama, odnosno u razvoju.



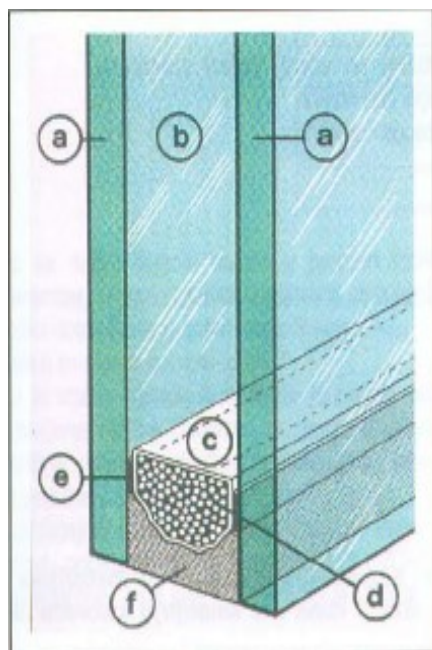
Slika 13. Drvo aluminijski prozor (Anonymus 5, 2016d)

Tablica 4. Prednosti i nedostaci prozorskih okvira izrađeni od različitih materijala (Turkulin i dr., 2005)

Vrsta materijala	Prednosti	Mane
Drvo	<ul style="list-style-type: none"> - povoljna cijena - mogućnost popravaka - estetska prihvatljivost - dobra zvučna i toplinska izolacija - dobra trajnost 	<ul style="list-style-type: none"> - potrebno održavanje i zaštita svakih nekoliko godina - drvo je pod vanjskim utjecajima podložno biološkoj razgradnji
Aluminij	<ul style="list-style-type: none"> - velika čvrstoća i krutost okvirnica - velika otpornost na vremenske utjecaje - lako održavanje 	<ul style="list-style-type: none"> - velika toplinska vodljivost aluminija - potrebno kombiniranje s nekim materijalima koji su dobri toplinski izolatori (npr. drvo) - visoka cijena - problematična površinska obrada
PVC (plastika)	<ul style="list-style-type: none"> - dobra toplinska zaštita - lako održavanje - brza i jednostavna obrada profila 	<ul style="list-style-type: none"> - niska vrijednost modula elastičnosti - nemogućnost popravka - velika toplinska dilatacija - upitna površinska postojanost

5. 2 VRSTE OSTAKLJENJA

Ostakljenje ima najveću ulogu kod toplinske izolacije prozora zbog njegove veličine. Na smanjenje koeficijenta ne utječe toliko debljina stakla, nego broj stakala i međuprostora između njih. Danas se kod ostakljivanja najčešće koriste dvostruka ili trostruka IZO stakla, umjesto relativno loših jednostrukih stakala. IZO staklo je staklena jedinica sastavljena od dvije ili više staklenih ploča, odvojenih najmanje jednim međuprostorom. Hermetički zatvoren prostor je ispunjen suhim zrakom ili nekim inertnim plinom. Prilikom punjenja određenim plinovima poboljšavaju se izolacijska svojstva stakla, pa tako i prozora. Najkorišteniji plin za poboljšanje toplinske izolacije je argon. Uz njega koristi se u puno manjoj mjeri plin kripton. Njegovo dobro svojstvo je što poboljšava zvučnu i toplinsku izolaciju, ali zbog ograničenih količina uvelike podiže cijenu IZO stakala.



- a / staklo
- b / međuprostor (zrak ili plin)
- c / alu-profil (okvir)
- d / upijač vlage - molekular
- e / 1. zaptivač : butil
- f / 2. zaptivač : thikol, silikon, hot-melt...

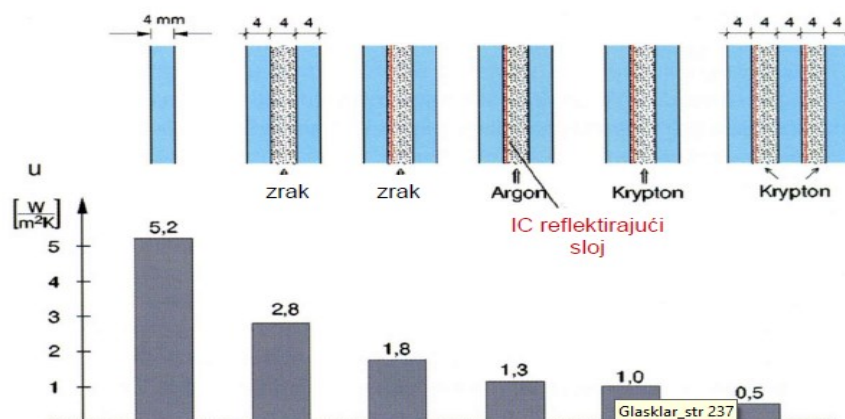
Slika 14. Građa IZO stakla (Veršić, 2014)

- a) staklo; b) međuprostor; c) alu-profil (okvir) ; d) upijač vlage – molekular; e) 1. zaptivač : butil;
- f) 2. zaptivač : thikol, silikon, hot-melt...

Značajna svojstva IZO stakala su:

- bolja izolacija od prolaska topline
- bistrina i čistoća stakala
- pravilan odraz slike okoliša
- nema rošenja između stakala
- utjecaj na prolaz svjetlosti

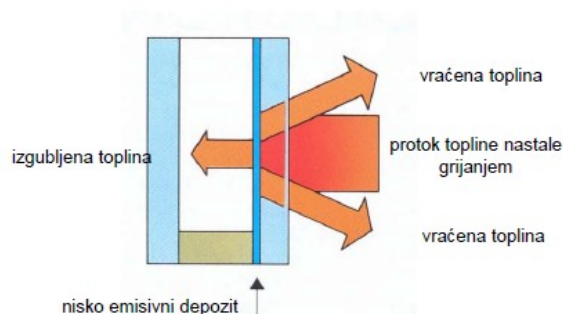
Na slici 15. se može vidjeti usporedba različitih vrsta stakla preko koeficijenta prolaska topline. Najnepovoljnije je jednostruko staklo koje vrlo slabo izolira toplinu za razliku od drugih. Kod dvostrukih se vidi da je prilikom korištenja inertnog plina bolja izolacija nego prilikom korištenja zraka kao ispunu međuprostora između dvije ploče. Kod dvostrukog ostakljenja razlika u koeficijentu prolaska topline može biti od 0,3 W/m²K do 0,8 W/m²K, ovisno o plinu koji je između. Stakla s premazima (Low-e) još su bolji izolatori i slabije provode toplinu od stakla bez premaza. Najbolja izolacijska svojstva ima trostruko staklo s ispunom od inertnog plina. Iz tog prikaza vrlo jasno se može zaključiti zašto se danas isključivo koriste dvostruka ili trostruka IZO stakla, umjesto jednostrukih stakala.



Slika 15. U vrijednosti različitih tipova stakla (Veršić, 2014)

5.2.1. STAKLA NISKE EMISIJE (LOW-E)

Jednaki prozori s jednakim brojem stakala mogu imati dosta veliku razliku u koeficijentu toplinske vodljivosti, odnosno u samoj izolaciji prozora. To se događa zbog razvijanja novih ideja i materijala kojima se staklo može oplemeniti. Osim već spomenutih plinova koji se koriste kao izolatori u međuprostoru, koriste se razni spojevi kojima se može oplemeniti unutarnja, odnosno vanjska strana. Karakteristika takvog stakla je da ono bitno slabije propušta toplinu. Takva stakla nazivaju se "Low-e" stakla. (slika 16.). Nastaju tako da se na površinu stakla deponira jedan sloj molekula oksida (vanadijev dioksid, titanov oksid) . Uloga tih molekula je da reflektiraju toplinsko zračenje. Time se postiže da se dio topline vraća u smjeru iz kojeg je došla. Vanadijev dioksid zimi potpuno propušta IC zrake, dok ih u ljeti filtrira i sprječava njihov prolaz. Na staklu ne utječe na prolaz svjetlosti kroz njega, a primjenom ovakve vrste stakala u zgradarstvu uštede za klimatizaciju mogu dosezati 50 %. Korištenjem titanovog oksida, na površini će se odvijati redoks-proces (organske nečistoće na površini stakla razlažu se na CO₂ i vodu). Na taj način omogućen je proces samočišćenja što je vrlo značajna odlika "Low-e" stakla. Mogućnost mijenjanja udjela nanesenih materijala u proizvodnji od velike je važnosti jer se tako proizvodi staklo za točno određeno klimatsko područje. "Low-e" staklo je 20-ak % skuplje od običnog stakla, no uštedom energije ta razlika se nadoknađuje (Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj - UNDP-EE, 2012).

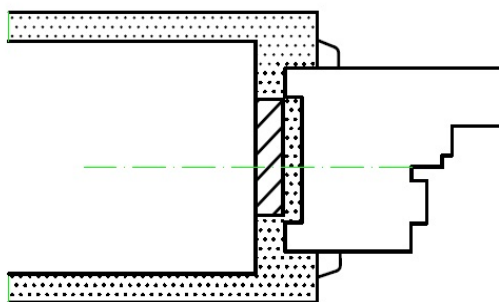


Slika 16. LOW-E staklo (Veršić, 2014)

6. PRAVILNA UGRADNJA PROZORA

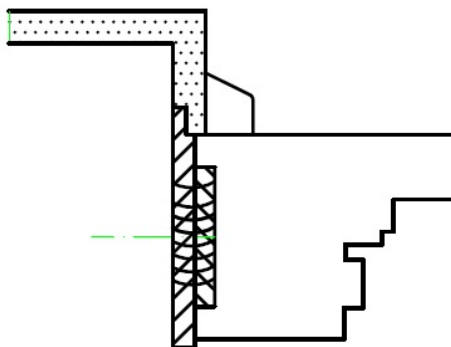
Kronološki gledano kroz noviju povijest ugradnju prozora možemo podijeliti na mokru, polusuhu i suhu.

Mokra ugradnja podrazumijeva ugradnju prozora prije završnih građevinskih radova. Prozorski okvir postavi se u otvor te se žicom pričvrsti za zid. Nakon pričvršćivanja prozora spoj se prekrije žbukom (slika 17.). Taj način ugradnje nije preporučljiv zato što se lako može oštetiti prozor prilikom vanjskih građevinskih radova, elementi dolaze u doticaj s mokrim i lužnatim građevinskim tvarima, te stražnji dio prozorskog okvira nije više obnovljiv.



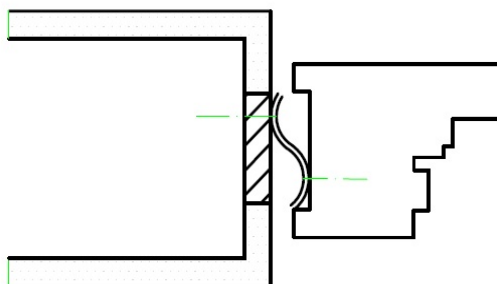
Slika 17. Skica mokre ugradnje prozora

Polusuha ugradnja nešto je kompliciranija jer se prije nje mokro mora ugrađivati slijepi profil. Nakon ugradnje profili se žbukaju, postavljaju se prozori u ravninu gradnje i učvršćuju s klinovima. Nakon postavljanja prozora rešetka se zapuni izolacijskim materijalom, rubovi se zakitaju, te se postavi ukrasna letvica (slika 18.).

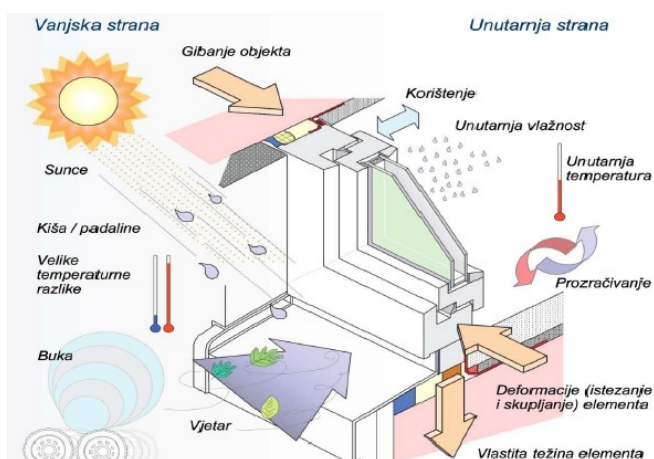


Slika 18. Skica polusuhe ugradnje prozora

Suha ugradnja danas je najprisutnija zbog svoje jednostavnosti i brzine ugradnje. Prilikom suhe ugradnje prozorski elementi pričvršćuju se u zid limenim sidrima i vijcima. Međuprostor između prozora i zida popunjava se izolirajućim materijalom, najčešće poliuretanskom (PUR) pjenoj. Prednost PUR pjene je u tome što ona osim izolacije i brtvljenja dodatno učvršćuje prozor za zid. Spoj se na kraju pokriva ukrasnim letvicama.



Slika 19. Skica suhe ugradnje prozora



Slika 20. Materijali za pravilnu ugradnju prozora (Veršić, 2014)

6. 1. RAL UGRADNJA I DVA SUSTAVA BRTVLJENJA

Kako bi prozori osigurali uštedu energije, potrebno ih je pravilno ugraditi. Pravilna ugradnja prozora i vrata definirana je smjernicama koje se nazivaju RAL ugradnja. To su upute za pravilnu ugradnju postavljanje od strane njemačke Udruge za osiguranje kvalitete prozora i vrata (RAL Gutegemeinschaft Fenster und Turen e. V.) zajedno s Institutom za prozorsku tehniku (IFT) iz Rosenheima.

RAL-smjernice preporučuju ugradnju stolarije na sljedeći način :

- spoj stolarije i zida (međuprostor) treba održavati suhim
- prozor treba postaviti na pravilnu liniju izoterme
- s unutarnje strane treba spriječiti protok vodene pare u izolaciju, vodonepropusnost i paronepropusnost iznutra prema međuprostoru
- s vanjske strane treba spriječiti ulazak tekuće vode ili proboj kiše, vodonepropusnost izvana prema međuprostoru
- osigurati nesmetani izlazak vodene pare iz međuprostora u atmosferu, paropropusnost iz međuprostora prema van.



Slika 21. RAL ugradanja prozora (Anonymus 6, 2016e)

U skladu s navedenim smjernicama, razvijena su dva načina brtvljenja:

Na prozor se iznutra lijepi vodo- i paronepropusna traka, dok se izvana lijepi vodonepropusna i/ili paronepropusna traka. PUR-pjenu postavljamo oko ugrađene stolarije, a nakon sušenja ona se odreže. PUR-pjena se štiti pomoću poliuretanskog kita kojim se trake koje su na elementu lijepe na grubo ožbukani zid poprskan primerom (slika 21.).

Drugi sustav brtvljenja predstavljen je korištenjem brtvene trake s „3 u 1" u rješenjem. Pomoću te trake moguće je postići zadane vrijednosti unutarnjeg i vanjskog brtvljenja. Na stranicu okvira stolarije koja je okrenuta prema građevinskom elementu postavlja se traka. Traka osigurava željenu vodonepropusnost, paronepropusnost i toplinsku izolaciju (slika 22.).



Slika 22. Primjer pričvršćivanja unutarnjih paronepropusnih traka na građevinski element – A) način brtvljenja. (Anonymus 7, 2016f)



Slika 23. Primjer pričvršćivanja brtvenih traka „3 u 1“ na građevinski element - B) način brtvljenja. (Anonymus, 2016g)

Brtvljenje prozora u samo jednom koraku lijepljenjem. Vanjski sloj štiti od vremenskih utjecanja, otporan je na kišu, paronepropustan i UV stabilan. Srednji sloj služi za mehaničko učvršćivanje, toplinsku i zvučnu izolaciju. Unutarnji sloj odvajanja vanjsku i prostornu klimu, štiti od kiše i paronepropustan je.



Slika 24. Primjer nepravilne ugradnje prozora (Veršić, 2014)

6. 3. SPOJNA FUGA

Pravilnom ugradnjom prozora treba se spriječiti prodor pare s unutarnje strane prozora u spojnu fugu, dok vanjska strana treba osigurati vodonepropusnost i paronepropusnost.

Spojna fuga je prostor između otvora i okvira prozora. Taj prostor obično se ispunjava izolacijskom pjenom. Kako bi se spriječilo stvaranje toplinskog mosta, kondenzacija na "špaleti", ljuštenje boje i stvaranje plijesni, treba izbjegavati kontakt spojne fuge s vodom. Na tržištu postoji više vrsta traka kojima se sprječava prodor pare ili vlage u spojnu fugu. Trake se mogu koristiti u kombinaciji s izolacijskom pjenom, mogu biti izolacijske te tako zamijeniti samu izolacijsku pjenu ili mogu biti trake za sprečavanje prodora vlage u spojnu fugu.

6. 4. KONDENZACIJA VODENE PARE

Dobra "zabrtvljenost" zgrada osigurava bolje čuvanje topline i slabije prirodno provjetranje. U suprotnom, velika razina vlage u zraku vodi ka kondenzaciji vodene pare. Kao posljedice kondenzacije vodene pare, nastaju dvije tipične situacije: slijevanje vode na prozorsku klupicu ili parket s mokrih prozorskih stakala ili pak vlaženje zidova. Vlaženje zidova posljedica je loše ugrađenih zidova, greške u spoju prozora i zida ili pucanja fasade. Kako ne bi došlo do kondenzacije, potrebno je prostore pravilno provjetravati i to na sljedeći način: svi prozori širom se otvore, a zrak se izmjenjuje bez hlađenja zidova i namještaja.

Zimi se treba izbjegavati otvaranje prozora na otklop ("na kip") kako ne bi došlo do kondenzacije vodene pare i nastanka prethodno opisanih posljedica.



Slika 25. Kondenzacija vodene pare na prozoru (Anonymus 9, 2016h)

7. TOPLINSKI MOSTOVI

Toplinski most je pojam koji se koristi u graditeljstvu i strojarstvu. Predstavljen je manjim područjem u omotaču grijanog dijela građevine kroz koji je povećan toplinski tok radi promjene debljine, materijala ili geometrije građevnog dijela zgrade. Toplinski mostovi mogu dovesti do gubitka u prijenosu energije, ali i do nakupljanja kondenzata i posljedičnog stvaranja plijesni. Izbjegavanje jakih toplinskih mostova postiže se kvalitetnom toplinskom izolacijom i glavni je preduvjet uštede energije.

7.1. PODJELA TOPLINSKIH MOSTOVA

Toplinski mostovi mogu se podijeliti u dvije skupine, geometrijski uvjetovani toplinski mostovi i toplinski mostovi uvjetovani materijalima. Geometrijski uvjetovani toplinski mostovi mogu biti točkasti, dvodimenzionalni i trodimenzionalni. Najčešće se oba oblika preklapaju. Vanjski ugao klasični je primjer geometrijskog toplinskog mosta. Vanjska površina koja predaje toplinu i unutrašnja koja toplinu prima, jednake su veličine. Suprotni slučaj ima vanjsku površinu veću od unutrašnje. Posljedica toga je povećani toplinski tok u uglu. Kod materijalima uvjetovanih mostova postoje bitne razlike u toplinskoj vodljivosti. Spoj stropa na vanjski zid, prolazna ploča od armiranog betona u području balkona ili nosači od armiranog betona u zidu kod skelne konstrukcije neki su od primjera materijalima uvjetovanih mostova. Duž spoja dva građevinska dijela javljaju se dvodimenzionalni ili linijski toplinski mostovi. Nastaju zbog promjene vrste materijala, njegove debljine ili zbog promjene geometrije. Na mjestu promjene geometrije građevnog dijela ili debljine sloja materijala, formira se geometrijski toplinski most. Kod geometrijskog toplinskog mosta postoji razlika između vanjske i unutrašnje površine, odnosno površine koja prima i predaje toplinu. Konstrukcijske mostove karakteriziraju različiti tokovi topline kao posljedica spajanja materijala različitih svojstava. Na spoju vanjskog zida s krovom, stropom iznad negrijanog ili otvorenog prostora, prodorom stropa kroz vanjski omotač, formiraju se trodimenzionalni toplinski mostovi.

Toplinski mostovi najčešće se pojavljuju na spojevima unutrašnjih i vanjskih zidova, spoju drvenih področnica i rogova s armiranim betonskim serklažama, uglovima zgrada, spojevima zida i krova ili zida i plohe poda ili stropa podruma, spojevima prozora i vrata.

7.2. POSLJEDICE I NAČINI SMANJENJA UTJECAJA TOPLINSKIH MOSTOVA

Kao posljedica formiranja toplinskih mostova, dolazi do povećanog gubitka topline, temperatura unutrašnje plohe koja prima toplinu niža je od vanjske koja ju daje, pojavljuje se površinska kondenzacija, razvijaju se gljivice i plijesni i konačno nastaje šteta na samoj građevini. Izbjegavanje stvaranja toplinskih mostova moguće je ako se projekt razradi tako da se obuhvate rješenja mogućih toplinskih mostova. Toplinsku izolaciju postaviti kontinuirano i ako je potrebno i s vanjske strane. Treba se osigurati dobro brtvljenje svih spojeva. Ako postoji vanjska izolacija, prozori se ugrađuju u ravnini nje. Kutije za rolete potrebno je toplinski izolirati. Kod prodora građevnih dijelova slabih toplinsko-izolacijskih svojstava kroz vanjski omotač, predlaže se ugradnja elemenata za prekid toplinskih mostova. Podnožje zidova potrebno je toplinski izolirati. Toplinsku izolaciju dobro je provući dijelom i preko samih temelja. Zidove koji se ne griju ili se nalaze u otvorenom prostoru, a vezani su za grijanje prostore, potrebno je toplinski izolirati u dužini najmanje 50cm od spoja konstrukcija.

ZAKLJUČAK

Kvaliteta toplinske izolacije prozora ima značajnu ulogu na sveukupnu toplinsku izolaciju zgrade. Iz tog razloga današnji prozori imaju puno bolja toplinska izolacijska svojstva od nekadašnjih prozora. Prozorska tehnologija se razvija, neprestano se isprobavaju i uvode novi materijali u cilju što boljih karakteristika proizvoda. Vrsta materijala prozora individualna je odluka kupca. Svaki materijal ima neke svoje prednosti i nedostatke te je prema dosadašnjim istraživanjima vrlo teško reći koji je najbolji za proizvodnju prozora. Drvo je ekološki najpodobnije rješenje, PVC je jednostavan za održavanje, dok aluminij ima veliku čvrstoću, krutost te otpornost na vremenske utjecaje. Od svakog materijala imamo primjere kvalitetnih prozora koji su dobri toplinski izolatori, odnosno loše izrađenih koji nemaju tako dobre karakteristike. Vrlo važnu ulogu ima kvaliteta izrade prozora i propisna ugradnja. Kvalitetnom izradom i dobrim konstrukcijskim rješenjima od sva tri materijala može se napraviti prozor sa vrlo dobrim izolacijskim svojstvima i koeficijentom prolaska topline daleko manjim od $1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vrlo veliku ulogu, gotovo presudnu ima cijena prozora. Prozori nisu mala investicija na nekoj zgradi, stoga se teži rješenjima koji zadovoljavaju određena svojstva i propise, ali uz prihvatljivu cijenu koštanja. Na kraju, ne smije se zaboraviti da je osnovna funkcija prozora propuštanje dnevne svjetlosti i prozračivanje, a ne toplinska izolacija zgrade.

8. LITERATURA

(KNJIGA)

1. Becket, H.; Godfrey, J., 1974: Heat insulation and condensation, u: Windows. A Division of Litton Educational Publishing, New York, str. 96-106.
2. Cotterell, J., Dadeby, A., 2012: Windows, u: The passivhaus handbook. Green Books, Cambridge, str. 168-188.
3. Heckfeldt, T.; Wenk, H.-J., 2009: Klimatisch bedingte Schäden an Holzfenster (Wenk), u: Holzfenster. KG Köln, str. 101-161.
4. Heidsieck, E., Au, G., Baumgarten, R., Behre, H., Bissinger, T., Herzhenhahn, A., Kitzhofer, F., Reddig, R., Rolfes, K., Rompp, O., Roth, D., Schmale, W., Schroder, M., Urbanek, J., Wolff, E.-D., Wolff, S. 2007 : Wärmeschutz am Fenster, Anschluss Fenster und Baukörper, u: Fachwissen Holztechnik. Hamburg, str. 288-302.
5. Pech, A., Pommer, G., Zeininger, J. 2005: Bauphysik, u: Baukonstruktionen: Fenster. Springer -Verlag/Wien, str. 75-88.
6. Šimetin, V., 1983: Osnovni pojmovi nauke o toplini, Prenošenje topline, Toplinska vodljivost građevinskih materijala u: Građevinska fizika. Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, str. 1-17.
7. Toth, T., 2009: Ne bacajte novac kroz prozor, u: Majstor²(Moderna kuća). Zrinski d.d. Čakovec, str. 38-43.
8. Ulrich, A., Heckfeldt, T., Wenk, H.-J. 2012: Anforderungen der Energieeinsparverordnung, u: Holzfenster und türen (Band II). KG Köln, Köln, str. 295-316.
9. Veršić, Z., 2014: Prozori i stakla, Zahtjevi i toplinsko-izolacijske karakteristike. Tehničko veleučilište u Zagrebu, str. 1-78.

10. Kraut, B., 1988: Toplina, u: Strojarski priručnik. Tehnička knjiga, Zagreb, str. 157-221.

(ČLANCI)

11. Banay, M., Bogunović, Z., Brstilo, A., Mikočević, M., 2013: 10 najčešćih pitanja o energetske učinkovitosti. Program Ujedinjenih Naroda za razvoj (UNDP), Projekt poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj, Zagreb.

12. Hrs - Borković, Ž., Kolega, V., Krstulović, V., Prebeg, F., 2005: Vodič kroz energetske efikasnu gradnju. Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Zagreb.

13. Tanja, V., 2006: Toplinska izolacija zgrada, u: Građevinar 58. Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, str. 425-433.

14. Tanja, V., 2006: Prednosti i nedostaci PVC i drvenih prozora, u: Građevinar 60. Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, str. 181-184.

15. Tomšić, M., 2008: Prozori - Važni dijelovi građevina, u: Građevinar 60. Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, str. 461-466.

16. Turkulin, H.; Živković, V.; Jambrošić, T..

Izbor materijala za izradu prozora // Postojanost i kakvoća građevinskih proizvoda od drva / Jambrečković, Vladimir (ur.). Zagreb : Šumarski fakultet, 2005. 99-108.

17. ***2015: Toplinski mostovi, Ytong sustav gradnje, str. 13-31.

(IZVORI NA INTERNETU)

18. Narodne novine: 2015: Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti na zgradama. Zagreb: Narodne novine, br. 128.

URL: <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/438515.pdf>

19. Toplinska ovojnica zgrade i energetska učinkovitost, 2013. Mini tečaj energetske efikasnosti.

URL: <http://www.zelenaenergija.org/clanak/toplinska-ovojnica-zgrade-i-energetska-ucinkovitost/5819> . (01.08.2016.).

20. RAL montaža, SenCon.

URL: <http://www.sencon.hr/dodatna-oprema/ral-montaza> . (01.08.2016.).

21. Stolarija, Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj.

URL: <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/toplinska-zastita-objekta/stolarija> . (01.08.2016).

Slika 1. Anonymus 1, 2013 URI: <http://www.zelenaenergija.org/clanak/toplinska-ovojnica-zgrade-i-energetska-ucinkovitost/5819>.

Slika 2. Hrs - Borković, Ž., Kolega, V., Krstulović, V., Prebeg, F., 2005: Vodič kroz energetske efikasnu gradnju.

Slika 3. Toth, T., 2009: Ne bacajte novac kroz prozor, u: Majstor²(Moderna kuća).

Slika 4. Hrs - Borković, Ž., Kolega, V., Krstulović, V., Prebeg, F., 2005: Vodič kroz energetske efikasnu gradnju.

Slika 5. Šimetin, V., 1983: Osnovni pojmovi nauke o toplini, Prenošenje topline, Toplinska vodljivost građevinskih materijala u: Građevinska fizika.

Slika 6. Šimetin, V., 1983: Osnovni pojmovi nauke o toplini, Prenošenje topline, Toplinska vodljivost građevinskih materijala u: Građevinska fizika.

Slika 7. Šimetin, V., 1983: Osnovni pojmovi nauke o toplini, Prenošenje topline, Toplinska vodljivost građevinskih materijala u: Građevinska fizika.

Slika 8. Heidsieck, E., Au, G., Baumgarten, R., Behre, H., Bissinger, T., Herzhenhahn, A., Kitzhofer, F., Reddig, R., Rolfes, K., Rompp, O., Roth, D., Schmale, W., Schroder, M., Urbanek, J., Wolff, E.-D., Wolff, S. 2007 : Wärmeschutz am Fenster, Anschluss Fenster und Baukörper, u: Fachwissen Holztechnik.

Slika 9. Banay, M., Bogunović, Z., Brstilo, A., Mikolčević, M., 2013: 10 najčešćih pitanja o energetskej učinkovitosti.

Slika 10. Anonymus 2, 2016a URL: <http://www.ajm.hr/prozori/drveni-prozor-ajm-pasiv-90>

Slika 11. Anonymus 3, 2016b URL:
<http://www.sumaplast.net/proizvodi.php?lan=43&id=21>

Slika 12. Anonymus 4, 2016c URL: <http://www.webgradnja.hr/katalog/13936/pvc-prozori-i-vrata-kajfa-88/>,

Slika 13. Anonymus 5, 2016d <http://iveta-prozori-i-vrata.hr/prozori-vrata/alu-stolarija/alu-aluminijski-profil-prozori-vrata/drvo-aluminij/>

Slika 14. Veršić, Z., 2014: Prozori i stakla, Zahtjevi i toplinsko-izolacijske karakteristike.

Slika 15. Veršić, Z., 2014: Prozori i stakla, Zahtjevi i toplinsko-izolacijske karakteristike.

Slika 16. Veršić, Z., 2014: Prozori i stakla, Zahtjevi i toplinsko-izolacijske karakteristike.

Slika 17. Skica mokre ugradnje prozora

Slika 18. . Skica polusuhe ugradnje prozora

Slika 19 Skica suhe ugradnje prozora

Slika 20. Veršić, Z., 2014: Prozori i stakla, Zahtjevi i toplinsko-izolacijske karakteristike.

Slika 21. Anonymus 6, 2016e URL: <http://www.sencon.hr/dodatna-oprema/ral-montaza>

Slika 22. Anonymus 7, 2016f URL: <http://www.sencon.hr/dodatna-oprema/ral-montaza>

Slika 23. Anonymus 8, 2016g URL: <http://www.sencon.hr/dodatna-oprema/ral-montaza>

Slika 24. Veršić, Z., 2014: Prozori i stakla, Zahtjevi i toplinsko-izolacijske karakteristike.

Slika 25. Anonymus 9, 2016h URL: <http://www.betaplast.rs/pojava-kondenzacije-i-njeno-sprecavanje>

Tablica 1. Pech, A., Pommer, G., Zeininger, J. 2005: Bauphysik, u: Baukonstruktionen: Fenster.

Tablica 2. Kraut, B., 1988: Toplina, u: Strojarski priručnik.

Tablica 3. Tomšić, M., 2008: Prozori - Važni dijelovi građevina, u: Građevinar 60.

Tablica 4. Turkulin, H.; Živković, V.; Jambrošić, T..

Izbor materijala za izradu prozora // Postojanost i kakvoća građevnih proizvoda od drva / Jambreković, Vladimir (ur.). Zagreb : Šumarski fakultet, 2005. 99-108.

