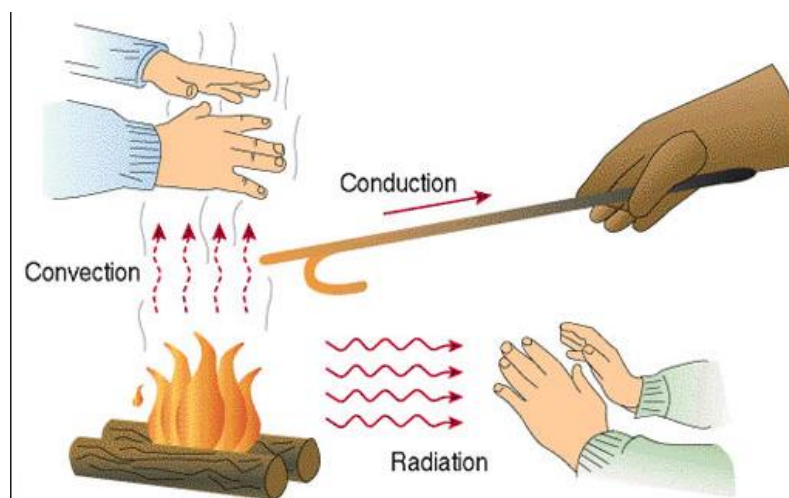


### 3. Izmjena topline i svojstva materijala

Izmjena topline je proces kojim se odvija prijenos topline s toplijeg na hladnije tijelo. Izmjena topline odvija se putem:

- toplinskog vođenja ili kondukcije (krute tvari),
- toplinskog strujanja ili konvekcije (za tekućine),
- toplinskog zračenja ili radijacije.



Slika 1. Različite vrste izmjene topline

#### 3.1. Kondukcija

Prijenos topline izravnim dodirom dva fizička materijala. Neki materijali prenose toplinu bolje od drugih. Primjer: Ako je drška tave na štednjaku izrađena od bakra, bit će topla na dodir jer bakar provodi toplinu. Ako je drška od plastike, nećemo osjetiti toplinu jer plastika loše provodi toplinu.

#### 3.2. Konvekcija

Konveksijski prijenos topline, koji se često naziva jednostavno „konvekcija“, je prijenos topline s jednog mjesta na drugo kretanjem tekućine. Konvekcija je obično dominantni oblik prijenosa topline u tekućinama i plinovima. Iako se obično o njemu govori kao o zasebnoj metodi prijenosa topline, konveksijski prijenos topline uključuje kombinirane procese nepoznate vodljivosti (difuzija topline) i advekcije (prijenos topline skupnim protokom tekućine). Primjer: Ako stavite ruku iznad vatre, osjećate toplinu jer plamen grije zrak.

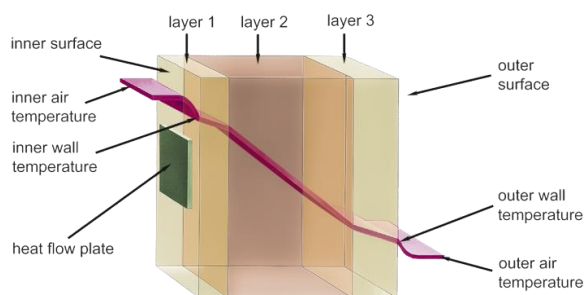
### 3.3. Radijacija

Prijenos topline elektromagnetskim valovima. Materijali manje ili više reflektiraju toplinsko zračenje koje prime. Drvo, na primjer, reflektira više zračenja od mramora. Zato je unutarnji prostor izrađen od drveta topliji od mramornog. Primjer: Sunce emitira toplinsko zračenje. Kad sunce sja, osjećate toplinu na površini kože, no kad oblak zakloni sunce, više je ne osjećate.

### 3.4. Koeficijent prolaska topline

Koeficijent prolaska topline  $\lambda$  (lambda) izražava količinu topline koja prolazi kroz materijal - 1 m<sup>2</sup> površine, 1 sekunda, 1 m debljine, 1 stupanj razlike između temperatura s obje strane materijala koji se razmatra.

Ta značajka opisuje sposobnost svakog materijala da prenese toplinsku energiju u obliku topline. Specifična toplinska vodljivost je konstanta za sve vrste materijala, osim toplinskih izolacija. Što je niža vrijednost  $\lambda$ , to bolja termoizolacijska svojstva ima odgovarajući materijal. Na pakiranju građevinskih materijala često se navodi njihova toplinska vodljivost -  $\lambda$ .



Slika 2. Koeficijent prolaska topline kroz slojeve zida

Materijal	$\lambda$ Bτ/(m*K)	Materijal	$\lambda$ Bτ/(m*K)	Materijal	$\lambda$ Bτ/(m*K)
cryl	0,2	EPS (stiropor)	0,032 – 0,053	Mineralna vuna	0,032 – 0,050
Azbest, slobodno pakiranje	0,15	Stiropor	0,033	Najlon	0,25
Asfalt	0,75	Izolacija sijenom	0,09	Pamuk	0,03
Beton	2,1	Koža	0,14	Izolacija od pamučne vune	0,029
Voda	0,58	Plutena ploča	0,043	Staklena vuna	0,04
Val	0,04	Bakar	401	Izolacija niklom	0,048
Gips ili žbuka	0,48	Cigla	0,5 - 1,4	Pjenasto staklo	0,045

Granit	2,8	Papir	0,05	Čelik	48 - 58
Drvo	0,09 - 0,19	Polietilen	0,42-0,51	Staklo	1,05
Željezo	80,2	Polipropilen	0,10-0,22	Ekspandirani polistiren	0,03
Suhi pijesak	0,35	Gips, žbuka, mort	0,17	PVC	0,19
Rašpa	0,06	Iverica	0,15		
Šperploča	0,13	Štukatura	1,4		

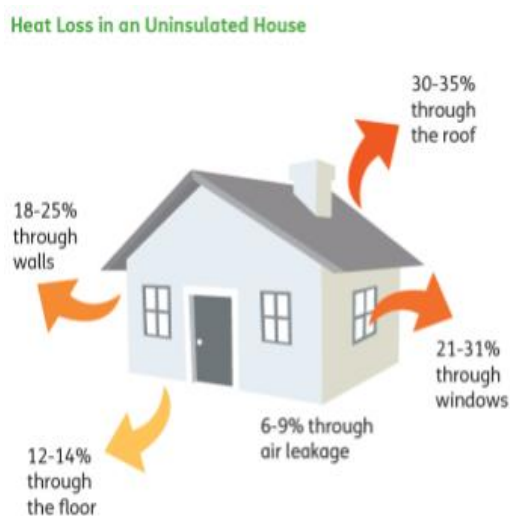
### 3.5. Ovojnica zgrade

#### Glavni izvori gubitaka u neizoliranim zgradama

Gubitci topline u neizoliranim zgradama:

- Krov: oko 25 do 30 % gubitka topline;
- Zidovi: oko 20 do 25 % gubitka topline;
- Ventilacija i infiltracija: oko 20 do 25 % gubitka topline;
- Prozori: oko 10 do 15 % gubitka topline;
- Toplinski mostovi: oko 5 do 10 % gubitka topline.

Danas se, uz primjenu određenih arhitektonskih načela, postiže smanjenje gubitaka topline kroz ovojnicu zgrade, ovisno o lokalnoj klimi i lokalnim energetske potrebama, čime se također osigurava visoka energetska učinkovitost i visoki standard vizualne, toplinske i zdravstvene ugone u prostorima gdje ljudi obavljaju različite aktivnosti. Većina topline gubi se putem krova (više od 30 %) i kroz zidove (više od 20 %).



Slika 3. Gubitak topline u neizoliranoj kući

### 3.6. Varijacije potrošnje energije ovisno o izolaciji zidova

Najučinkovitija mjera uštede energije je optimizacija toplinske izolacije. U stambenim zgradama u Hrvatskoj većinski udio zgrada ne zadovoljava važeće propise o toplinskoj izolaciji. To je termoizolacija od čvrstih ploča, mehanički pričvršćenih za fasadne zidove. Staklena vuna ili druga mrežica postavlja se na toplinsku izolaciju, a površinski sloj je žbuka - silikat, polimer, itd.

Termoizolacijski materijali imaju sljedeće važne značajke:

- **Toplinska vodljivost ( $\lambda$ )** - svojstvena za kvalitetu materijala kao provodnik topline.  $\lambda$  je vrijednost neovisna o debljini i načinu primjene materijala. Koeficijent toplinske vodljivosti je  $W / mK$  i naznačuje koliko topline ( $W$ ) provodi element debljine 1 m pri temperaturnoj razlici od 1 Kelvina ( $K$ ). Što je niža toplinska vodljivost materijala, to je materijal bolji izolator.

- **Toplinski otpor** je vrijednost suprotna toplinskoj vodljivosti ( $1 / K$ ) i mjeri se u  $mK/W$ . To je temperaturni otpor po jedinici debljine (po metru). Kad se tako utvrdi, taj razmjer ovisi o naravi i debljini materijala, pa je vrijednost specifična.

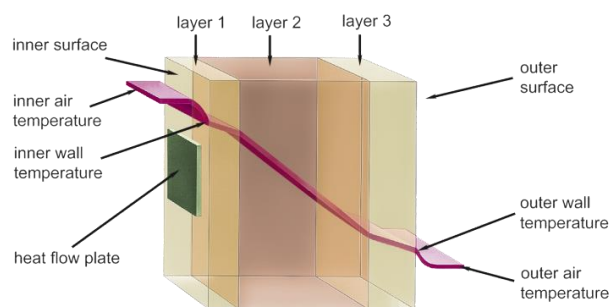
- **Koeficijent prolaska topline (U-vrijednost)** - količina gubitaka topline kroz element utvrđuje se koeficijentom prolaska topline  $U$  ( $U$  vrijednost). Opisuje količinu topline koja teče kroz  $1m^2$  elementa kad je razlika u temperaturi između unutarnje i vanjske površine  $1K$ . Jedinica je  $W/m^2K$ .

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + R_{se}}, W / m^2 K$$

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, m^2 K / W$$

Računa se uzimajući u obzir zasebno debljinu i koeficijent vodljivosti topline svih materijala od kojih su izgrađeni ti elementi. Što je niža  $U$  vrijednost, to su bolja termoizolacijska svojstva odgovarajućeg elementa.

Postojeći moderni standardi energetske učinkovitosti u zgradama zahtijevaju ugradnju minimalno 10 cm izolacije kako bi se postigao normativni koeficijent prolaska topline  $<0,28 W / (m^2K)$ .



Slika 4. Koeficijent prolaska topline kroz slojeve zida

Vrste višeslojnih elemenata	Ukupna debljina	Koeficijent U W / (m <sup>2</sup> K)	
Vanjski zid - beton bez izolacije	30 cm	3,3	
Vanjski zid - cigla, bez izolacije	30 cm	1,40	
Vanjski zid - cigla s 5 cm EPS-a	35 cm	0,47	
Vanjski zid - beton s 5 cm EPS-a	35 cm	0,65	
Vanjski zid - cigla s 8 cm EPS-a	38 cm	0,33	
Vanjski zid - cigla s 10 cm EPS-a	40 cm	0,28	
Konstrukcija drvenog okvira s 22 cm izolacije	25 cm	0,19	

Različite vrste toplinske izolacije ovise o korištenim izolacijskim materijalima. Postoje razlike između pojedinačnih izolacijskih materijala i područja u kojima je njihova upotreba prikladna.

Neki od najčešće korištenih izolacijskih materijala su:

#### a) Ekspandirana polistirenska pjena (EPS)

Umjetni polimer sa zatvorenom rešetkastom strukturom zrakom punjenih okruglih čestica - mikroporozni umjetni organski materijal. 95 % obujma EPS-a je zrak zatočen u okruglim česticama polimerne mreže. EPS sustavi poznati su i kao stiropor koji se danas najčešće koristi u građevinarstvu. EPS izolacijski sustavi zadržavaju svoja fizička svojstva nepromijenjenima tijekom razdoblja od 15-20 godina pri radnim temperaturama od -20 °C do +50 °C i cikličkom zamrzavanju i otapanju.

Prednosti: čvrstoća, minimalna deformabilnost, ograničena paropropusnost i otpornost na požar (razred B1).

EPS se upotrebljava:

- za lijepljenu izolaciju vanjske fasade;
- za čelne pozadinsko prozračne fasade;
- kao srednji sloj u dvostrukim zidovima;
- za krovove: ravne, invertirane i kose;
- ispod podrumskih pločica i drugo.

EPS IZOLACIJSKI SUSTAVI			
Debljina, d, mm	Koeficijent prolaska topline	Debljina, d, mm	Koeficijent prolaska topline
	$\lambda$ , W/(m*K)		$\lambda$ , W/(m*K)
d < 20 mm	0.032	40 < d < 100 mm	0.032

	0.035		0.035
	0.040		0.040
	0.043		0.045
20 < d < 40 mm	0.032	d > 100 mm	0.032
	0.035		0.035
	0.040		0.040
			0.053

### b) Ekstrudirana polistirenska pjena-XPS

Ekstrudirana polistirenska ploča je termostvrdnjavajući materijal (XPS) koji se proizvodi iz polistirena i odgovarajućih pjenila postupkom kontinuirane ekstruzije u kojem se materijal ekstrudira ili povlači kroz boju željenog presjeka i kontinuiranu ploču željene debljine (20-100 mm).

Prednosti:

- snažna i dugotrajna izolacija;
- minimalna apsorpcija vode;
- visoka tlačna čvrstoća i dimenzijska stabilnost;
- teško zapaljiv, visoko kompatibilan s građevinskim materijalima kao što su cement, gips, vapno i pijesak, dobro prianja uz obloge od betona i morta te uz žbuku.

XPS se koristi za:

- toplinsku izolaciju pod temeljnim pločama;
- toplinsku izolaciju ispod maziva, industrijskih podova ili krovova
- toplinsku izolaciju sendvič zidova;
- unutarnju izolaciju zidova i dasaka;

XPS IZOLACIJA	
Vrsta	Koeficijent prolaska topline
	$\lambda$ , W/(m*K)
Nepokriven	0.025
	0.030
	0.040
Proizvodi od pjene bez premaza	0.025
	0.030
	0.035
S vodootpornim premazom	0.025

	0.030
	0.035
	0.040

**(c) Mineralna vuna:**

Mineralna vuna je prirodan, neorganski i mineralni proizvod baziran na bazaltnim mineralima. Vlaknasta struktura mineralnoj vuni daje odlična termoizolacijska svojstva: visoki stupanj apsorpcije buke i manje odbijanja buke.

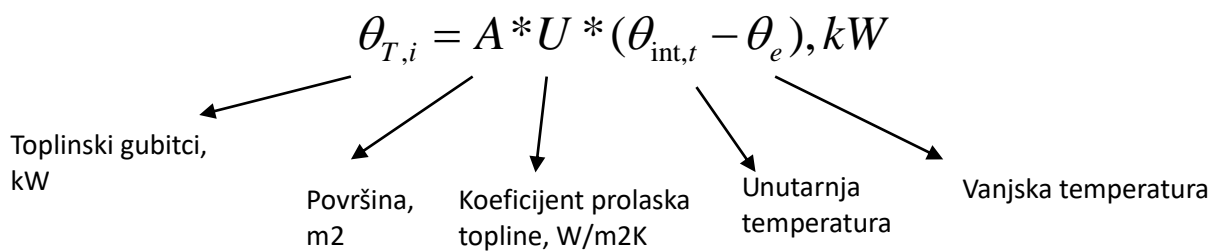
Prednosti primjene toplinske izolacije:

- veća udobnost tijekom ljetnih i zimskih mjeseci;
- niži računi za električnu energiju;
- ujednačena raspodjela temperature;
- bolja akustika i smanjenje vanjske buke;
- bolja vizualna kontrola;
- veća vrijednost imovine;
- smanjenje emisija u okoliš.

**3.7. Gubitci topline kroz zidove**

Energetska ravnoteža zgrade odnosi se na zbroj gubitaka topline (npr. toplina koja izlazi kroz krov, vanjske zidove i prozore) koji je jednak zbroju toplinskih dobitaka (npr. pasivni solarni dobitci, interni dobitci i aktivno grijanje).

Toplinski gubitci utvrđuju se množenjem površine zida s koeficijentom prolaska topline i zatim s razlikom između unutarnje i vanjske temperature:



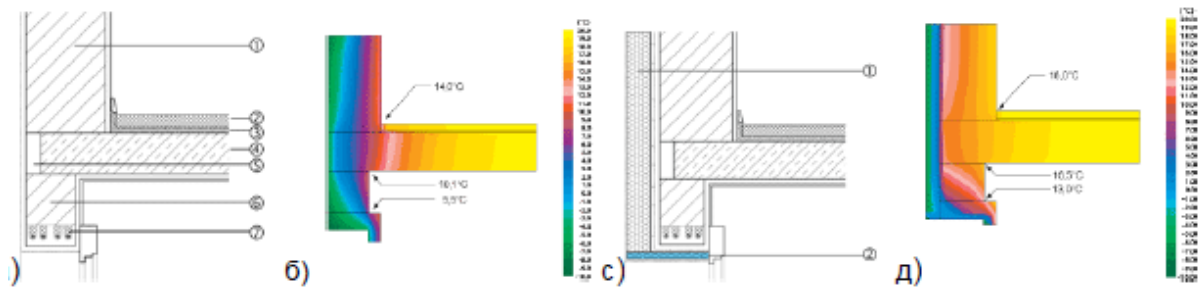
**3.8. Infiltracija i toplinski mostovi**

U konstrukciji koja zatvara svaku zgradu postoje elementi veće toplinske vodljivosti. Postavljaju se u fazi projektiranja ili se pojavljuju u postupku gradnje.

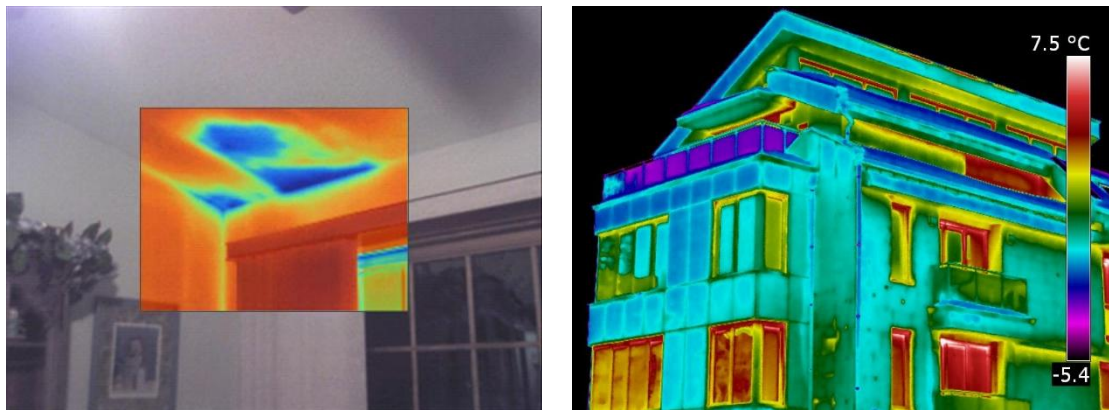
- Toplinski mostovi pojavljuju se: na uglovima i rubovima, spojevima između zidova i stropova, spojevima između dva zida ili spojevima između zidova i podova;
- Toplinski mostovi povećavaju troškove grijanja kao i štetne emisije u atmosferu;

- Povećavaju rizik od: kondenzacije, plijesni i gljivica; oštećenja konstrukcije; estetskih nedostataka;
- Toplinski gubitci: oko 5 do 10 % toplinskih gubitaka.

Toplinski mostovi nastaju kad materijali koji su loši izolatori dođu u dodir sa zrakom i omogućuju protok zraka kroz nastali zračni „put“. Toplinske mostove treba ukloniti profilima smanjenog presjeka, materijalima boljih izolacijskih svojstava ili umetanjem dodatnog izolacijskog elementa.



Slika 5. Elementi s termalnim mostovima



Slika 6. Infracrvena snimka toplinskih mostova i infiltracije

Infiltracijski zrak je namjerno nekontrolirani ulazak vanjskog zraka u zatvoreni prostor. Do infiltracije dolazi kroz pukotine u ovojnici zgrade zbog razlika u tlaku između unutarnjeg i vanjskog prostora. Vanjski zrak koji ulazi kroz otvorena vrata i prozore smatra se infiltracijom čak i ako je svrha otvaranja vrata ili prozora prozračivanje. Do infiltracije dolazi uglavnom zimi kad je vanjski zrak hladniji i teži od unutarnjeg. Ovisi o brzini vjetra, smjeru vjetra i zrakonepropusnosti ovojnice zgrade.

### 3.9. Ostakljenje

Površina prozora najčešće je 25 % površine stambenog prostora. Ako se tih 25 % prekrije energetski učinkovitim prozorima, temperatura u stambenom prostoru može porasti za 4-5 °C, a razina buke može se smanjiti za oko 40 dB. Prozori uvelike utječu na gubitak topline u stambenom prostoru. Površina stakla je između 70 % i 90 % površine prozora i njihova svojstva značajno utječu na sveukupne termo-tehničke parametre prozora. Pokrov stakla je od ključne važnosti. Staklo niske razine emisija (K staklo) sadrži naročito mikroskopski, praktički nevidljiv, premaz, koji smanjuje



koeficijent prolaska topline (U) i smanjuje toplinske gubitke kroz prozor na 20 %. To olakšava održavanje prostorija toplijima zimi i hladnijima ljeti.

Ako se plin niske toplinske vodljivosti stavi u hermetički zatvoreno ostakljenje, smanjuju se toplinski gubici kroz staklo na 10 %. Plin kojim se koriste proizvođači najčešće je argon. Ostali korišteni plinovi su ugljik dioksid (CO<sub>2</sub>), kripton (Kr) i mješavina argona i kriptonu.

Ključna svojstva u pogledu energetske učinkovitosti zgrada:

- koeficijent prolaska topline (U);
- prijenos solarne energije (g);
- infiltracija zraka.

Toplinu koja prolazi kroz 1 m<sup>2</sup> površine stakla karakterizira U vrijednost, a količinu solarne energije koja prolazi kroz 1 m<sup>2</sup> predstavlja g (prijenos solarne energije). Što je niža vrijednost U, više solarne energije prolazi.

Vrste ostakljenja:

- jednostruko ostakljenje (U vrijednosti do 5,8 W/m<sup>2</sup>K) često je korištena opcija. Možemo ga naći u starim zgradama. Bilo bi korisno ugraditi dodatne prozore ili dvostruke prozore ili „zimske“ prozore s unutrašnje strane.
- energetski učinkovito ostakljenje sastoji se od dva ili tri sloja stakla odvojena slojem zraka. Toplinski gubici uslijed prolaska upola su manji u odnosu na jednostruko ostakljenje.
- visoko energetski učinkovito ostakljenje - U vrijednosti su između 0,4 i 1,6 W/m<sup>2</sup>K s izolacijskim svojstvima 50-60 % boljima od učinkovitog ostakljenja:
  - na unutarnjem sloju nalazi se vrlo tanki metalni film koji smanjuje prijenos topline reflektirajući dugovalne sunčeve zrake nazad u sobu i omogućavajući kratkovalnim zrakama da prođu kroz staklo;
  - razrijeđeni plin kojim je ispunjen prostor u staklenom oknu smanjuje toplinsku vodljivost. U većini slučajeva taj je plin argon.
- trostruko visokoučinkovito ostakljenje - trostruko ostakljenje s metalnim filmom na oba unutarnja sloja. Toplinski gubici kroz trostruko visokoučinkovito ostakljenje čine jednu osminu vrijednosti jednostrukog ostakljenja.

Vrste stolarije:

- **drveni prozori** - odlična izolacijska svojstva; među najboljim materijalima za očuvanje udobnosti doma; najjeftinija opcija - stolarija izrađena od crnogoričnog drva (bijeli bor ili smreka). Od drveća širokog lišća, najčešće se koriste hrast i jasen;
- **dvostruko ostakljeni drveni prozori** pružaju dvostruko bolju zvučnu i toplinsku izolaciju u usporedbi s tradicionalnom drvenom stolarijom i bez opasnosti od kondenzacije. Proizvodi se od troslojnih lamela što onemogućuje njihovo rolanje, skupljanje i pucanje;
- **aluminijaska stolarija** - osigurava trajnost i sigurnost, održavanje je lako i povoljno te ne zahtijeva redovno bojanje. Aluminij je kao materijal odličan provodnik topline zbog čega je toplinski gubitak kod ove vrste prozora veći. Kvalitetni aluminijски prozori zahtijevaju toplinske izolacijske mostove u profilima što dovodi do povećanja njihove cijene;

- **PVC (PVC) stolarija** - vrlo dobra toplinsko- i zvučno-izolacijska svojstva. Lako se održava. Materijal je otporan na hladnoću, toplinu, kemikalije. Veća i bolja energetska učinkovitost postiže se sa stolarijom s više unutarnjih komora;
- **kombinirana stolarija** - najskuplja opcija stolarije je kombinacija aluminijske i drvene. Drvo je zaštićeno od vanjskih utjecaja vanjskom aluminijskom oblogom na profilu. Najbolja svojstva dvaju materijala spojena su u estetskom i funkcionalnom smislu.

Važno:

- za prozore - g vrijednosti imaju veći utjecaj na smanjenje potrebe za hlađenjem od njihovih U vrijednosti;
- za izolaciju - moguće je da će izolacija povećati potrebu za hlađenjem kao rezultat toplinskih dobitaka zadržanih u zgradi;
- dodatni efekt izolacije na smanjenje potrebe za hlađenjem u danoj klimatskoj zoni najbolji je gdje su smanjene toplinske pričuve (npr. kroz vanjsku tendu, učinkovitu primjenu i učinkovitu ventilaciju);
- uz iznimku krova ili najvišeg kata, dodatni učinak izolacije na smanjenje potrebe za hlađenjem je zanemariv u umjerenim klimama.