



# OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ENERGETSKA EFIKASNOST

Priručnik za profesore i učenike građevinske struke

Amela Karahodžić, dipl.ing.građ.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra  
Swiss Agency for Development  
and Cooperation SDC



GOVERNMENT  
PRINCIPALITY OF LIECHTENSTEIN

**CARITAS**

Schweiz  
Suisse  
Svizzera  
Svizra

**cee**  
centar za ekologiju i energiju



BOSNA I HERCEGOVINA  
FEDERACIJA BOSNE I HERCEGOVINE  
FEDERALNO MINISTARSTVO PROSTORNOG  
UREĐENJA





# OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ENERGETSKA EFIKASNOST

Priručnik za profesore i učenike građevinske struke

Amela Karahodžić, dipl.ing.građ.

Tuzla, novembar 2021.

**CARITAS** Schweiz  
Suisse  
Svizzera  
Svizra

**cee**  
centar za ekologiju i energiju

 BOSNA I HERCEGOVINA  
FEDERACIJA BOSNE I HERCEGOVINE  
FEDERALNO MINISTARSTVO PROSTORNOG  
UREĐENJA

**Izdavač:**

Centar za ekologiju i energiju

**Autor:**

Amela Karahodžić, dipl.ing.građ.

**Stručna i tehnička pomoć:**

Dr.sc. Džemila Agić, dipl.ing.tehn.

Mr.sc. Vanja Rizvić, dipl.ing.tehn.

Fuad Imamović, dipl.ing.arh.

## SADRŽAJ

---

---

UVOD.....	5
<b>1. ENERGETSKA EFIKASNOST I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U ZGRADARSTVU .....</b>	<b>6</b>
1.1. EFEKTI SMANJENJA POTROŠNJE ENERGIJE .....	6
1.2. FAKTORI ZA ENERGETSKI EFIKASNU GRADNJU .....	7
1.3. MJERE ZA POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI .....	9
1.3.1. Tehničke mjere za povećanje energetske efikasnosti .....	9
1.4. ENERGETSKI CERTIFIKAT I ENERGETSKI PREGLED ZGRADE .....	10
1.4.1. Određivanje energetskog razreda .....	10
<b>2. GRAĐEVINSKO-TEHNIČKE MJERE .....</b>	<b>12</b>
2.1. TOPLOTNA ZAŠTITA U GRAĐEVINARSTVU .....	12
2.1.1. Toplotno strujanje (konvekcija) .....	12
2.1.2. Toplotno zračenje .....	12
2.1.3. Toplotna provodljivost .....	12
2.2. VLAGA I KONDENZAT .....	16
2.2.1. Vлага i zaštita od vlage .....	16
2.2.2. Stvaranje kondenzovane vode .....	16
2.2.3. Difuzija vodene pare .....	17
2.2.4. Zaštita od gubitaka/šteta uslovljenih kondenzovanom vodom .....	18
2.2.5. $S_d$ vrijednost- difuzijski ekvivalent debljine sloja zraka .....	19
2.3. TERMOIZOLACIJA OVOJNICE.....	20
2.3.1. Ovojnica zgrade .....	20
2.3.2. Stiropor - vrste i karakteristike .....	20
2.3.3. Mineralna vuna - vrste i karakteristike .....	21
2.3.4. Kontaktne fasade .....	22
2.3.5. Karakteristični detalji konstrukcije pri izvođenju fasade .....	24
2.3.6. Toplotna izolacija balkona/terase - toplotni most .....	26
2.3.7. Ventilirane fasade .....	27
2.3.8. Toplotna izolacija poda na tlu ili poda iznad otvorenog ili negrijanog prostora .....	29
2.3.9. Materijali za izolaciju poda .....	30
2.4. PROZORI I ENERGETSKA EFIKASNOST .....	31
2.4.1. Karakteristike energetski efikasnih prozora .....	32
2.4.2. Gubici toplote kroz prozore .....	32
2.4.3. Vrste prozorskih okvira .....	33
2.4.4. IZO stakla .....	34
2.4.5. Vrsta zaštite od Sunca .....	37
<b>3. KVALITET IZVOĐENJA I KONTROLA .....</b>	<b>37</b>
3.1. TERMOGRAFIJA .....	37
3.2. PROVJERA ZAPTIVANJA GRAĐEVINSKIH ELEMENATA ULTRAZVUČNIM PREDAJNIKOM..	38
3.3. MJERENJE RAZLIKE U PRITISKU (BLOWER-DOOR MJERENJE) .....	38
3.4. TIPIČNA CURENJA UNUTAR OBJEKTA .....	38
<b>4. EVROPSKI TREND ENERGETSKI EFIKASNE GRADNJE KAO PUTOKAZ ZA BIH .....</b>	<b>40</b>
4.1. VRSTE ENERGETSKI EFIKASNIH KUĆA .....	40
4.1.1. Niskoenergetske kuće .....	41

---

4.1.2.	Pasivne kuće .....	42
4.1.3.	Kuće nulte energije .....	43
4.1.4.	Energetski nezavisna ili autonomna kuća .....	44
4.1.5.	Kuće s viškom energije .....	45
4.2.	POSTIZANJE KARAKTERISTIKA NISKOENERGETSKIH I PASIVNIH KUĆA .....	45
<b>5.</b>	<b>PRIMJENA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE – USLOV ZA NISKOENERGETSKU GRADNJU .....</b>	<b>46</b>
5.1.	ENERGIJA SUNCA .....	47
5.2.	ENERGIJA IZ TLA, VODE I ZRAKA .....	48
5.2.1.	Proces kod grijanja .....	49
5.2.2.	Proces kod hlađenja .....	50
5.2.3.	Tlo kao izvor energije .....	50
5.2.4.	Voda kao izvor energije .....	50
5.2.5.	Zrak kao izvor energije .....	50
5.3.	ENERGIJA VJETRA .....	51
5.4.	REKUPERACIJA .....	52
5.4.1.	Kvalitet zraka u energetski efikasnim objektima .....	52
5.4.2.	Primjena sistema rekuperacije zraka .....	53
<b>6.</b>	<b>ZELENE FASADE I ZELENI KROVOVI, NOVI TREND OVI U GRADNJI .....</b>	<b>55</b>
6.1.	KARAKTERISTIKE ZELENIH FASADA .....	55
6.1.1.	Sistemi sadnih ploča .....	56
6.1.2.	Kasetni – modularni zeleni zidovi na fasadama .....	57
6.1.3.	Zeleni zid u eksterijeru objekta .....	57
6.2.	MAHOVINA U ENTERIJERU: PRIRODAN PREČIŠĆIVAČ ZRAKA I APSORBER ZVUKA KOJEM NE TREBA SVJETLO .....	58
6.3.	ZELENI KROVOVI .....	59
6.3.1.	Ekstenzivni zeleni krovovi .....	60
6.3.2.	Intenzivni zeleni krovovi .....	61
6.3.3.	Održivi razvoj .....	64
<b>7.</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>66</b>

---

---

## UVOD

Energetska efikasnost u osnovi znači upotrebu manje količine energije za obavljanje nekog posla ili određene funkcije (npr. grijanje ili hlađenje prostora, rasvjeta, proizvodnja proizvoda...). Kada govorimo o energetske efikasnim objektima, onda mislimo na objekte koji troše manje energije za zadovoljenje životnih potreba, a to je održavanje ugodne temperature prostora, osvjetljenje i druge potrebe neophodne za život i rad čovjeka u zatvorenom prostoru.

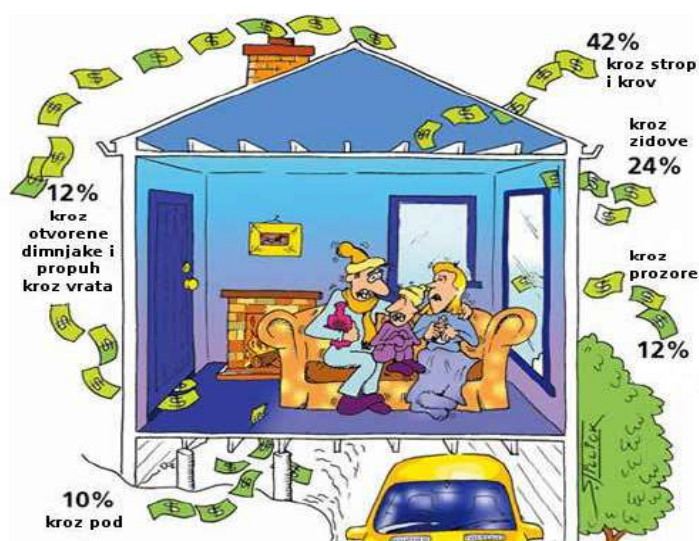
Mjerama energetske efikasnosti ne ugrožavamo kvalitet uslova za rad i život ljudi, tj. ne narušavamo osjećaj ugodnosti, već je život u takvim objektima ugodniji. Termički dobro izoliran objekat troši manje energije za zagrijavanje i hlađenje, a boravak u njemu je ugodan i kvalitetan. Energetski efikasan objekat čuva energiju, a primjena obnovljivih izvora energije prati energetske efikasnost objekta.

Potrošnja starih zgrada iznosi 150 - 300 kWh/m<sup>2</sup>, za razliku od pasivne kuće koja po novim standardima predviđa potrošnju manju od 15 kWh/m<sup>2</sup>. U zgradama se troši oko 40% od ukupne potrošnje energije.

U vrijeme energetske efikasnosti i očuvanja okoliša neophodno je ovu temu obraditi kroz sve tehnološke oblasti gradnje. U tom smislu, u priručniku su obrađene teme od kojih bi neke bile interesantne za predmet tehničkog odgoja u osnovnim školama, a neke za stručne predmete u srednjoj građevinskoj školi. To su:

1. Energetska efikasnost i obnovljivi izvori energije u zgradarstvu
2. Građevinsko-tehničke mjere
3. Kvalitet izvođenja i kontrola
4. Evropski trend energetske efikasne gradnje kao putokaz za BiH
5. Primjena obnovljivih izvora energije- uslov za niskoenergetsku gradnju
6. Zelene fasade i zeleni krovovi, novi trendovi u gradnji

Također, unapređenjem energetske efikasnosti u zgradama doprinosimo zaštiti okoliša i smanjenju emisije štetnih plinova koja nastaju sagorijevanjem energenata koje koristimo za zagrijavanje prostora.



Slika 1. Mogući gubici toplotne energije u objektu

# 1. ENERGETSKA EFIKASNOST I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U ZGRADARSTVU

Riječ energija nas često asocira na struju, snagu, grijanje i toplotu, ali ona je svuda oko nas i njene različite izvore koristimo za različite potrebe. U modernom svijetu, ovisimo o obnovljivim i neobnovljivim izvorima energije. Energija znači svi oblici komercijalno raspoložive energije (električna energija, prirodni plin, ukapljeni prirodni plin, ukapljeni naftni plin, sva goriva za grijanje i hlađenje, ugalj, treset, biomasa i gorivo za prijevoz, isključujući avionska i brodska pogonska goriva). U BiH najveća potrošnja energije otpada u sektoru zgradarstva i samim tim je tu i najveći potencijal za uštede.

Porastom standarda života raste i potrošnja, kako toplotne energije za grijanje, tako i energije za hlađenje. Obzirom da upravo zgrade troše oko 40% od ukupne potrošnje energije i odgovorne su za 36% emisija CO<sub>2</sub>, energetske efikasne stambene zgrade i kuće postaju sve zanimljivije. Zbog velike potrošnje energije u zgradama, a istovremeno i najvećeg potencijala energetskih i ekoloških ušteda, energetska efikasnost i održiva gradnja danas postaju prioritet savremene arhitekture. Ovo je područje prepoznato kao područje koje ima najveći potencijal za smanjenje ukupne potrošnje energije, čime se direktno utiče na ugodnost stanovanja s ugodnom klimom tokom cijele godine, duži životni vijek zgrade uz vrlo niske troškove za energente.

Kada govorimo o energetski efikasnim objektima, moramo ih posmatrati tokom cijelog njihovog životnog vijeka, počevši od građevinskog materijala čija proizvodnja ne opterećuje okoliš, preko njihovog efikasnog trošenja tokom gradnje, zatim racionalnog trošenja energenata tokom korištenja objekta, pa sve do zbrinjavanja građevinskog materijala nakon isteka trajanja objekata.

## 1.1. EFEKTI SMANJENJA POTROŠNJE ENERGIJE

Efekti smanjenja potrošnje energije se mogu posmatrati na nivou društva i na nivou pojedinca.

### Na nivou društva

- Smanjenje potrebe za energijom (i njeno korištenje) smanjuje efekat emisije staklenika na mnogo isplativiji način nego bilo koja druga energetska ili klimatska politika.
- Smanjenje potrebe za energijom je mnogo lakša opcija od investicije u obnovljive izvore energije. Investiranje u energetske efikasne daje nam više vremena i pomaže nam da izbjegnemo situaciju u kojoj moramo da biramo između korištenja zemlje, proizvodnje hrane, zaštite okoliša i obnovljive energije gdje ona postoji.
- Smanjenje zdravstvenog rizika. Kvalitet gradskog zraka mogao bi biti znatno poboljšan ako bi se smanjile emisije nastale korištenjem fosilnih goriva.
- Smanjiti ovisnost države da proizvodi ili uvozi energiju/struju. Energetska efikasnost je jedna od najefektivnijih načina da se poboljša energetska sigurnost – to je jeftinije i čistije od investicija u nove pogone za proizvodnju nedostajuće energije.

### Na nivou pojedinca

- Umanjuje račune za energiju po domaćinstvu – energetska efikasnost je najlakši, najjeftiniji i najefektivniji način za domaćinstva da koriste energiju mudro i uštede novac po pitanju troškova domaćinstva.



- Poboljšanje komfora – Računi za struju i grijanje mogu predstavljati veliki trošak za domaćinstva. Kao rezultat toga, mnoga domaćinstva imaju problem da se ugriju onoliko koliko bi željeli. S druge strane, neadekvatno ugrijane kuće i stanovi mogu dovesti do raznoraznih zdravstvenih problema. Energetska efikasnost omogućava smanjenje troškova grijanja i struje, uz poboljšanje životnog komfora.

## 1.2. FAKTORI ZA ENERGETSKI EFIKASNU GRADNJU

Nekoliko je faktora koji presudno utiču na to koliko će energije zgrada potrošiti za grijanje, hlađenje, ventilaciju, rasvjetu i kućanske uređaje:

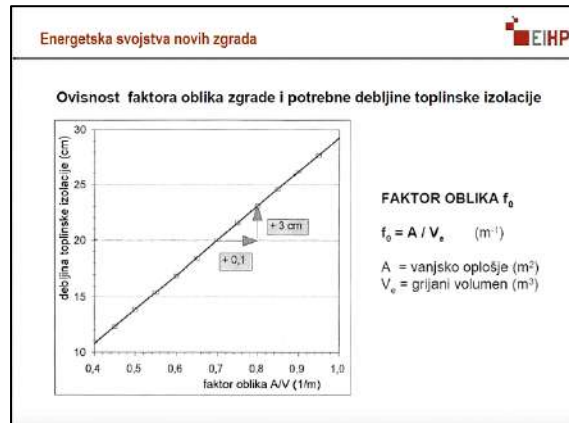
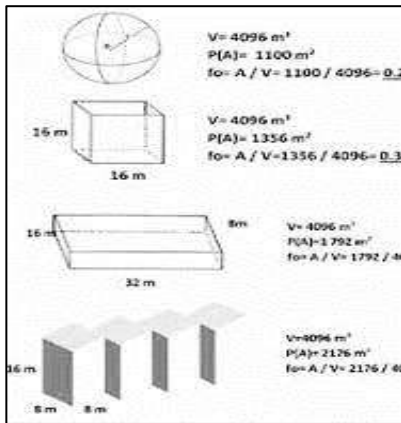
- lokacija (geografska i geomorfološka)
- orijentacija (u odnosu na strane svijeta, morfologiju terena i lokalne meteorološke specifičnosti)
- oblikovanje zgrade i okoliša (razvedenost volumena, orijentacija i veličina otvora, organizacija unutrašnjosti,...)
- karakteristike i kvalitet izvedene građevinske konstrukcije (vrsta i način primjene materijala, detalji spojeva,...)
- primjenjeni pasivni sistemi za ubiranje, pohranu i očuvanje energije
- ugrađeni aktivni sistemi za izmjenu, proizvodnju i pohranu energije
- dodatna oprema - vrsta i energetska razred rasvjete, strojeva, aparata i ostale kućanske tehnike.

**Lokacija** objekta je prvi faktor u procesu gradnje na koji se može uticati. Ako postoji mogućnost izbora lokacije objekta, postoji i mogućnost da se već na samom početku smanje kasniji troškovi u gradnji, opremanju i korištenju buduće zgrade. Iz tog razloga je vrlo korisno za investitora da pri odabiru parcele za gradnju koristi usluge arhitekta koji je dobro upoznat s principima ekološke arhitekture i dostupnom tehnologijom.

**Orijentaciji** zgrade treba posvetiti posebnu pažnju jer od nje zavisi koliko će se uspješno kasnije moći integrirati pasivni i aktivni sistemi za korištenje obnovljive energije. Loša orijentacija može u potpunosti onemogućiti primjenu nekih rješenja, dok im ispravna može povećati efikasnost i nekoliko puta. Osim na očigledne faktore, kao što su strane svijeta (jug=sunce=toplota i sjever=hlad=hladnoća), u obzir treba uzeti vrstu i karakteristike prevladavajućih vjetrova, tipologiju i morfologiju intenzivnog zelenila u neposrednoj blizini (postojećeg i buduće planiranog) i slično. U ekološkoj arhitekturi se zelenilo ne koristi samo kao metafora, nego i kao aktivan i značajan faktor za postizanje dobrih rezultata u energetskej efikasnosti i ukupnoj kvaliteti života u zgradi.

**Oblikovanjem** zgrade je moguće ostvariti dodatne uštede u količini potrebne energije za njeno korištenje. Razvedenost volumena, definiran kao Faktor oblika zgrade, pokazatelj nam je geometrijskih odlika zgrade. On se izračunava kao količnik površine  $A$  ( $m^2$ ) i neto volumena  $V$  ( $m^3$ ) zgrade. Površina grijanog dijela zgrade ( $A$ ), jest površina vanjskog omotača ili ovojnice zgrade, tj. ukupna površina svih građevnih dijelova koji razdvajaju grijani dio zgrade od vanjskog prostora, negrijanog prostora i od tla. Bruto volumen grijanog dijela zgrade ( $V_e$ ) je volumen tijela čija je površina "A". Neto volumen grijanog dijela zgrade ( $V$ ) je onaj dio zgrade u kojem se nalazi zrak. Zbog jednostavnosti, neto volumen se određuje tako da se bruto volumen pomnoži sa koeficijentima 0,76 za zgrade do 3 etaže, odnosno 0,8 za ostale slučajeve. Može se zaključiti da, što je faktor oblika manji, on je povoljniji. Mi u zgradi želimo što veću količinu zraka, a što manju površinu kroz koju bi toplotu tog zraka mogli izgubiti transmisijom.

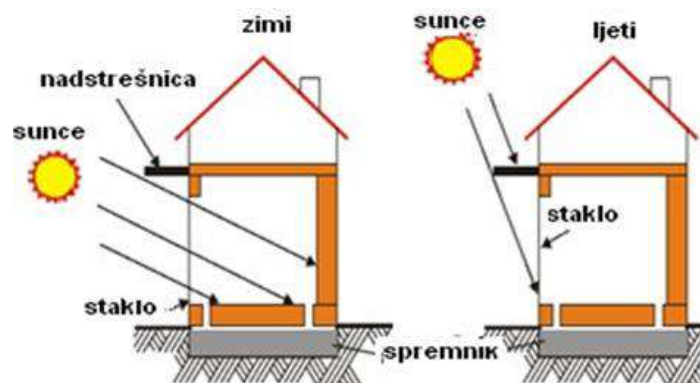
Zbog toga pažnju na sam oblik vanjske ovojnice zgrade treba posvetiti od samog početka njezinog projektiranja, jer što će zgrada na kraju biti kompaktnija i zbijenija, to će povoljniji biti faktor oblika i manja sama potreba za energijom za grijanje. Takođe primjena određenih arhitektonskih elemenata, smještaj otvora i njihova veličina, organizacija unutrašnjosti, odabir materijala, njihova tekstura i boja; sve su to faktori kojima se utiče na konačni energetski ishod.



Slika 2. Primjeri izračuna faktora oblika zgrade Slika 3. Odnos faktora oblika ( $f_o$ ) i debljine termoizolacije

**Građevinski elementi**, kao što su tipovi konstrukcije, vrsta i količina materijala, te rješenja i izvedba detalja imaju najveću zaslugu za konačno uspješno rješenje. Oni moraju biti ispravno i potpuno promišljeni, dobro dokumentirani i pažljivo izvedeni. Greške u ovom koraku se teško i skupo ispravljaju, a mogu poništiti sav ostali trud i uloženi novac. Odgovornost u ovoj fazi pada isključivo na arhitekta i izvođača.

**Pasivni sistemi** za iskorištavanje obnovljive energije koriste toplotu Sunca, prirodnu ventilaciju, toplotu/hladnoću tla ili vode i slično, a kako bi se smanjila potrošnja dodatne, vanjske energije potrebne za normalno funkcioniranje zgrade. Pasivni sistemi su potpuno i nedjeljivo integrirani u oblikovanje i konstrukciju zgrade, pa njihovo planiranje mora krenuti od samog početka projektiranja.



Slika 4. Pasivno zagrijavanje prostora zimi i ljeti

**Aktivni sistemi** se koriste prirodnim fizikalnim i hemijskim procesima, a često i naprednom tehnologijom za iskorištavanje raznih oblika energije koja nas okružuje. Efikasnost i cijena pojedinih aktivnih sistema su različiti, ne uvijek u proporcionalnom odnosu. Stoga treba uvijek oprezno

međusobno usporediti pojedina moguća rješenja kako bi se primjenila ona rješenja koja za investitora imaju ekonomski opravdani rezultat.

**Dodatna oprema** u zgradama (neugrađena) najčešće zavisi isključivo od svijesti investitora, pa je ovdje uloga arhitekta manje značajna.

Svi elementi osim lokacije zgrade i dodatne opreme ovise o vještini i znanju arhitekta da iskoristi dostupne metode, a investitoru ekonomski prihvatljive, kako bi zgrada optimalno energetske "komunicirala" s okolinom. Svi bi elementi trebali biti tako integrirani u zgradu, da konačni proizvod izgleda i djeluje kao jedinstvena cjelina. Na taj način čovjekov boravak u prostoru i njegovo održavanje daju maksimalan osjećaj prirodnog stanovanja i rada.

### **1.3. MJERE ZA POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI**

Mjere za povećanje energetske efikasnosti se mogu svrstati u tri grupe:

- Tehničke: građevinske, mašinske i elektro
- Organizacione: održavanje (zgrade, instalacije grijanja) i korištenje (navika korisnika, monitoring potrošnje energije)
- Institucionalne: pravna regulativa i tehnička regulativa - ekonomski podsticaji.

#### **1.3.1. Tehničke mjere za povećanje energetske efikasnosti**

##### Građevinsko-tehničke mjere

U pogledu primjene građevinsko-tehničkih intervencija na zgradama s ciljem smanjenja utroška toplotne energije za grijanje, na raspolaganju su slijedeće racionalne mjere i uglavnom se odnose na radove na elementima ovojnice zgrada :

- Ugradnja energetske efikasne vanjskih otvora
- Termoizolacija fasade
- Termoizolacija krova
- Termoizolacija podova
- Termoizolacija stubišta

##### Mašinske mjere:

- zamjena ili poboljšanje sistema grijanja i povećanje efikasnosti
- zamjena kotla
- zamjena energenta gdje je to ekonomski i ekološki isplativo
- hidrauličko balansiranje sistema
- izolacija cjevovoda
- zamjena pumpi sa frekventnom regulacijom
- ugradnja automatske regulacije
- ugradnja termostatskih ventila
- sanacija dimovodnih odvoda
- zamjena ili poboljšanje sistema klimatizacije, ventilacije i povećanje efikasnosti
- zamjena ili poboljšanje sistema pripreme tople vode
- uvođenje obnovljivih izvora energije (Sunčeva, geotermalna, biomasa... ).

#### Elektro mjere:

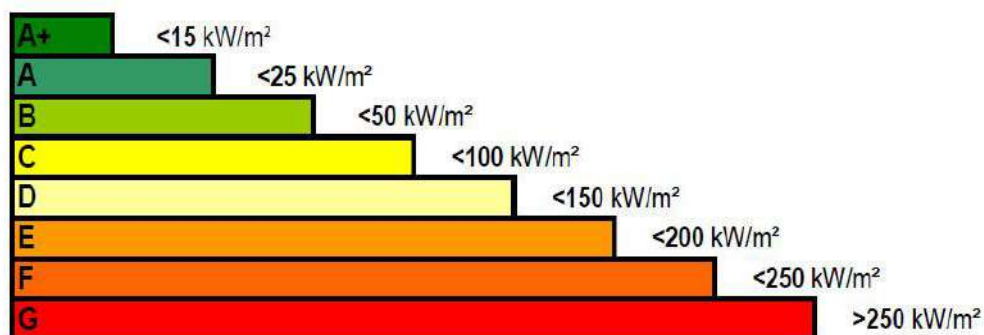
- korištenjem energetski efikasnijih potrošača,
- efikasnijom kontrolom i upravljanjem,
- smanjenjem vršne angažovane snage (ukoliko se naplaćuje),
- smanjenjem prekomjerno preuzete reaktivne energije,
- intenzivnijim korištenjem niže tarife,
- primjerenim odabirom tarifnog modela,
- kroz jeftinije održavanje usljed implementacije novih tehnologija.

### **1.4. ENERGETSKI CERTIFIKAT I ENERGETSKI PREGLED ZGRADE**

Energetski certifikat zgrade je dokument koji sadrži zapis o energetskim svojstvima zgrade, a izdaje ga ovlašteni energetski certifikator. Na svakom energetskom certifikatu nalazi se i grafički prikaz energetskog razreda i to u obliku strelice s podatkom o specifičnoj godišnjoj potrebnoj toplotnoj energiji. Zgrade koje imaju lošija energetska svojstva, tj. imaju veću specifičnu godišnju potrebnu toplotnu energiju, dobiti će lošiju ocjenu, tj. lošiji energetski razred. Stanovanje u takvim zgradama je skuplje zbog većih troškova grijanja, ali i manje ugodno zbog temperaturnih oscilacija. Cilj energetskog certificiranja je uvid u stanje zgrade, te moguće uštede, iznos ulaganja i povrat investicije.

#### **1.4.1. Određivanje energetskog razreda**

Energetski razred za zgrade određuje se na osnovu maksimalne dozvoljene godišnje potrebne finalne energije za grijanje ( $\text{kWh/m}^2$ ) koja je definirana propisom kojim se uređuju energetska svojstva zgrada, i to posebno za nove i posebno sa postojeće zgrade.



Slika 5. Energetski razred ili klasa građevinskih objekata

#### Osnovni pokazatelji Energetskih razreda zgrada u BiH su:

- Energetski razred zgrade je pokazatelj energetskih svojstava zgrade.
- Zgrade se razvrstavaju u osam energetskih razreda prema skali od "A+" do "G".
- Maksimalna dozvoljena godišnja potrebna finalna energija za grijanje odgovara energetskom razredu "C".
- Energetski razred nove zgrade ili zgrade nakon veće rekonstrukcije postojeće mora biti minimum "C" ili više.
- Svi objekti koji spadaju u kategorije veće potrošnje (D E F G) su energetski neefikasni i neodrživi.



## 2. GRAĐEVINSKO-TEHNIČKE MJERE

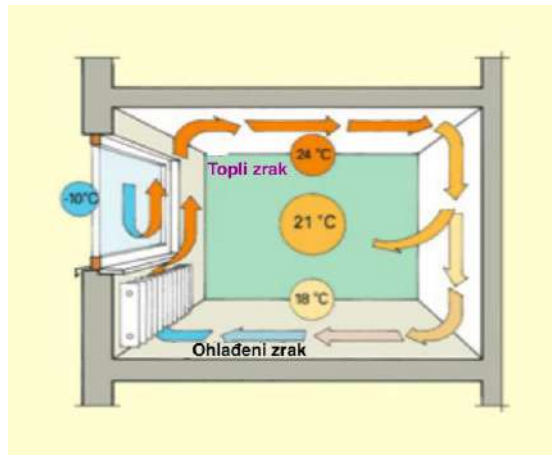
### 2.1. TOPLOTNA ZAŠTITA U GRAĐEVINARSTVU

Toplotna zaštita u građevinarstvu obuhvata sve mjere za smanjenje prenosa toplote. Postoje različite vrste prenosa toplote: strujanjem (konvekcijom), zračenjem i provodljivošću.

#### 2.1.1. Toplotno strujanje (konvekcija)

Ukoliko u jednoj prostoriji postoje temperaturne razlike, u njoj dolazi do toplotnog strujanja, pri čemu su kao nosioci toplote potrebni pokretne tečnosti ili plinovi (npr. zrak). Pri tome se toplije čestice penju prema gore i na njih se vezuje toplota, budući da su one manje guste i na taj način lakše. Na njihovo mjesto dolaze hladnije čestice, tj. nastaje kretanje.

Kod vanjskih zidova toplotna struja prolazi kroz zid, od toplije ka hladnijoj strani (zimi od unutrašnjosti prema vani, ljeti s vanjske strane prema unutrašnjosti).



Slika 8. Strujanje zraka u prostoriji oko radijatora

#### 2.1.2. Toplotno zračenje

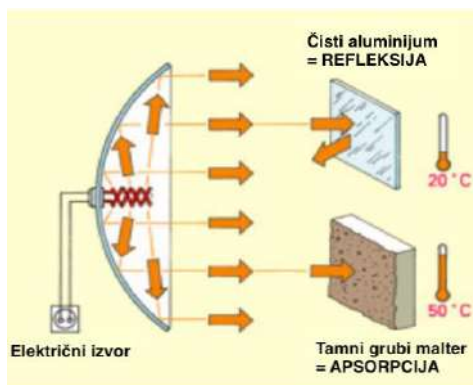
Zagrijano tijelo (npr. grejna tijela, zagrijavanje Suncem...) predaje toplotu svojoj okolini koja može preći na druge predmete. Da li ta susjedna tijela primaju (apsorbiraju) toplotu ili je ponovo predaju okolini (reflektiraju), zavisi od njihove površine. Tako npr. tamni, grubi materijali (tamni malter) apsorbiraju više toplotnog zračenja nego svijetli i ravni (aluminij).

#### 2.1.3. Toplotna provodljivost

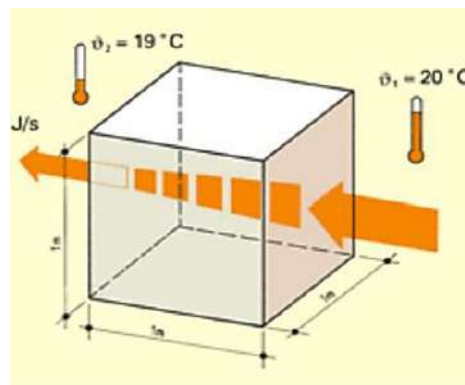
Toplotna provodljivost ima posebnu ulogu za toplotnu zaštitu, budući da putem nje omogućava provođenje značajne toplote iz zgrade zimi ili uvođenje toplote u unutrašnjost kuće ljeti. Toplotna provodljivost materijala zavisi od njegove vrste i gustine, tako će od dva istovrsna materijala veći koeficijent toplotne provodljivosti imati materijal veće gustine, a samim tim će bolje provoditi toplotu. Materijali sa malom grubom gustoćom i mnogim zračnim porama su loši provodnici toplote, pošto zrak ima samo malu sposobnost provodljivosti toplote.

Provođenje toplote nastaje kada se toplota dalje prenosi, od molekula do molekula, kao energija titranja, pri čemu je dalji prenos toplote ovisan o vrsti i svojstvu materijala:

- građevinski materijali sa velikom debljinom (npr. čelik, standardni beton, bakar) provode toplotu bolje nego laki, porozni materijali (npr. drvo, mineralna vuna, betonski blokovi sa porama).
- voda u porama materijala povećava provodnu sposobnost toplote. Zbog toga oni materijali kroz koje prolazi vlaga provode toplotu bolje nego suhi.



Slika 9. Toplotno zračenje i njeno dejstvo



Slika 10. Definiranje toplotne provodljivosti kroz materijal

Svaki građevinski materijal je označen jedinstvenim brojem sposobnosti za provodljivost toplote  $\lambda$  (W/mK), po kojem se može prepoznati da li je dobar ili loš provodnik. Vrijednost  $\lambda$  je dobijena eksperimentima u laboratoriji i u tabelarnoj formi u knjigama se može pronaći za sve normirane građevinske materijale.

Koeficijent  $\lambda$  predstavlja količinu toplote u Watt sekundi (Ws), koja u 1 sekundi prolazi po  $1\text{m}^2$ , kroz 1 metar debeli sloj nekog materijala, kada temperaturna razlika obje površine građevinskog dijela iznosi 1 Kelvin ( $^\circ\text{K}$ ). Prosječni koeficijenti  $\lambda$  za najprimjenjivnije građevinske materijale su dati u tabeli 1. Brojevi u zagradama označavaju debljinu sloja od datog materijala koji je po termoizolacionoj moći ekvivalentan sloju prosječnog termoizolacionog građevinskog materijala ( $\lambda=0,04\text{W/mK}$ ) debljine 1cm.

Tabela 1. Prosječni koeficijenti  $\lambda$

Materijal	Prosječni koeficijent toplotne provodljivosti
Beton	2,04 W/mK (51 cm)
Cementni malter	1,40 W/mK (35 cm)
Keramika	1,07 W/mK (27 cm)
Produžni malter	0,87 W/mK (22 cm)
Beton sa lakim agregatom	0,58 W/mK (14 cm)
Gips	0,58 W/mK (14 cm)
Šuplja opeka i blokovi	0,57 W/mK (14 cm)
Gas-betoni i penobetoni	0,30 W/mK (7 cm)
Drvo	0,18 W/mK (4 cm)
Mineralne vune	0,04 W/mK (1 cm)
Proizvodi od polistirena	0,038 W/mK (0,9 cm)
Poliuretani	0,035 W/mK (0,9 cm)

Kako bi se uštedjela skupa energija za zagrijavanje, trebalo bi se izbjeći da toplota brzo prolazi iz unutrašnjosti kuće, kroz dobre toplotne provodnike (kao npr. normalni beton). Trebali bi se odabirati građevinski materijali i konstrukcije koje zadržavaju toplotu u kući. Pri tome za ocjenu građevinskog dijela nije mjerodavno koliko toplote on propušta, već koji otpor ima kako bi zadržao tu toplotu.

Recipročna vrijednost koeficijentu prolaska toplote je toplotni otpor  $R$ . Ovaj otpor se označava kao otpor propusnosti toplote -  $R$  (engl. Resistance) i ima jedinicu  $m^2K/W$ . Otpor  $R$  se računa tako da se debljine slojeva pojedinačnih građevinskih dijelova podijele sa relevantnom vrijednosti provodne sposobnosti toplote tog sloja, matematički izraženo:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_n}{\lambda_n}$$

Iz formule zaključujemo da je otpor nekog građevinskog dijela, prema gubitku toplote, utoliko veći ukoliko su debljine sloja veće i ukoliko je manja sposobnost za provodljivost toplote građevinskih materijala. Što je veći toplotni otpor, to je bolja toplotna izolacija.

Otpor se računa kao:

$$R = (\text{debljina sloja} - d) / (\text{sposobnost toplotne provodljivosti} - \lambda)$$

$U$ -vrijednost (koeficijent prolaska toplote,  $k$ -vrijednost)

Kako bi se građevinski dijelovi mogli procijeniti, s obzirom na njihovu energetska uštedu, mora se ukupan toplotni transport posmatrati od jednog zračnog prostora, kroz građevinski dio, prema sljedećem graničnom zračnom prostoru.

Zbog toga su u  $U$ -vrijednosti, pored gore opisanog otpora na propusnost toplote  $R$ , sadržani otpori prelaza toplote  $R_{si}$  i  $R_{se}$ .

- $R_{si}$  - prelaz toplote od zraka iz prostorije prema građevinskom dijelu,
- $R_{se}$  - prelaz od površine građevinskog dijela prema vanjskom zraku.

Prema industrijskoj normi DIN 4108 može se pojednostavljeno računati sa vrijednostima:

- $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ , i
- $R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

(Izuzetak: na zemljište/tlo granični zidovi ( $R_{se}= 0$ ).

$U$ -vrijednost se računa na sljedeći način:

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \\ &= \frac{1}{0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K/W} + R + 0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}} \\ &= \frac{1}{0,17 \text{ m}^2\cdot\text{K/W} + R} \end{aligned}$$

Jedinica  $U$ -vrijednosti je  $W/(m^2K)$ .

Dakle, pod koeficijentima prolaznosti toplote -  $U$  smatra se količina toplotne energije ( $Wh$ ) koja se u jednom satu prenese kroz  $1m^2$  nekog građevinskog dijela, kada između obostrano graničnih temperatura zraka postoji razlika  $1^\circ K$ .

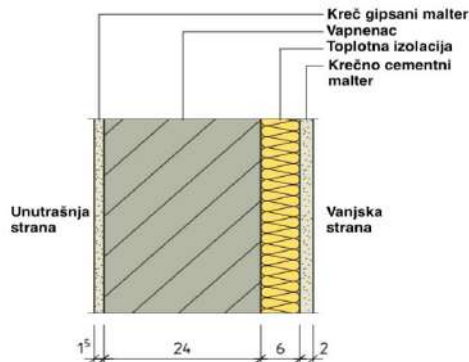
$U$ -vrijednost (koeficijent prolaznosti toplote -  $U$ ) pojedinih građevinskih dijelova određuje toplotnu zaštitu ovojnice zgrade.

Što je manja  $U$ -vrijednost, utoliko su veće uštede energije.

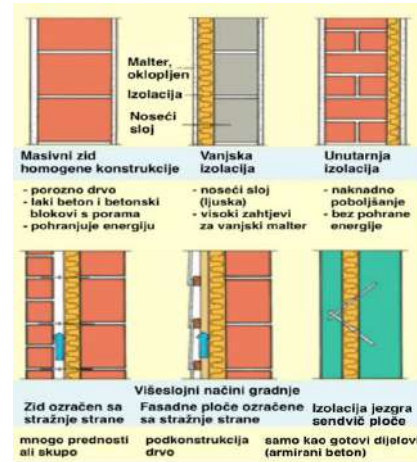


### PRIMJER 1:

Izračunati otpor propusnosti toplote  $R$  kod jednoslojnog zida datog na slici 11:



Slika 11. Jednoslojni zid



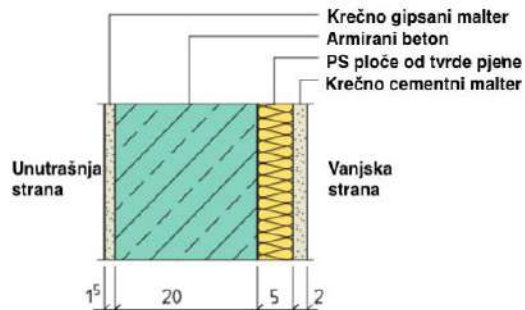
Slika 12. Toplotna izolacija zidova

### Izrada:

$$R = 0,015 \text{ m}/0,7 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) + 0,24 \text{ m}/0,7 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) + 0,06 \text{ m}/0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) + 0,02 \text{ m}/0,87 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) = 2,10 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

### PRIMJER 2:

Obračunajte koeficijente prolaznosti toplote za prikazani vanjski zid:



Slika 13. Vanjski zid

### Izrada:

Otpor propusta toplote  $R$ :

$$R = \frac{0,015 \text{ m}}{0,87 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})} + \frac{0,20 \text{ m}}{2,1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})} + \frac{0,06 \text{ m}}{0,030 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,87 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})} = 2,14 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

Koeficijent propusnosti toplote:

$$U = \frac{1}{0,17 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W} + 2,14 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}} = 0,43 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

$U$ -vrijednost vanjskog zida iznosi  $0,43 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

## 2.2. VLAGA I KONDENZAT

### 2.2.1. Vлага i zaštita od vlage

Vlaga je, hemijski i fizikalno gledano, uvijek jedan oblik vode koji ima različite pojavne forme. Ova forma je ovisna o temperaturi:

- čvrsto (< 0°C, led),
- tečno (> 0°C, voda), ili
- plinovito (> 100°C, para).

Vlaga može na različite načine dospjeti u objekat: kišom, vlagom iz tla ili vodenom parom. Pri tome vlaga može uništiti građevinske materijale (npr. korozija kod čelika, rascvjetavanja kod maltera, truljenje i gljivice kod drveta), kao i prouzrokovati napad gljivica koji može izazvati ozbiljne zdravstvene štete. Zbog toga je već u trenutku planiranja krajnje važno odabrati prikladne građevinske materijale i konstrukcije koji štite objekat od vlage. Kod izvođenja radova se od građevinara zahtjeva da sa najvećom brižljivošću realizira planove, jer male neopreznosti mogu izazvati ozbiljne građevinske štete.

Zaštita od kiše, leda i grada može biti jednostavno napravljena određenom konstrukcijom (npr. istureni dio krova ili predslaj vanjske fasade). Protiv okomite kiše i grada štite konstruktivne mjere kao što su krovne izbočine i predslajevi na zidovima. Kod zaštite od vlage iz tla i vodene pare, u obzir se moraju uzeti fizikalne okolnosti.

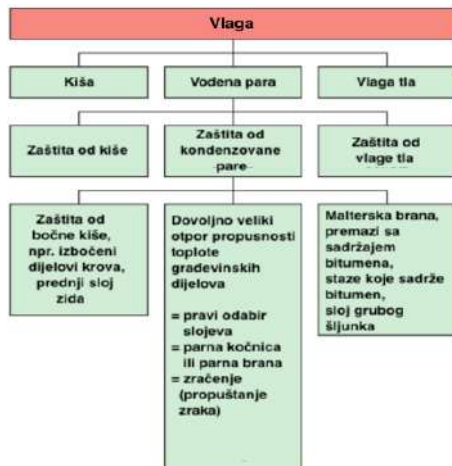
### 2.2.2. Stvaranje kondenzovane vode

Zrak koji nas okružuje sadrži uvijek određeni dio vodene pare koja se označava kao vlaga u zraku i može se mjeriti u g/m<sup>3</sup>.

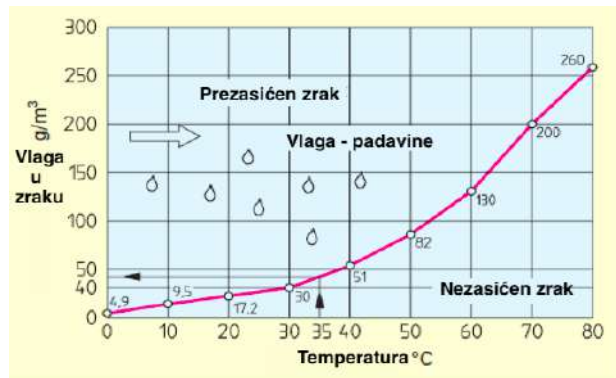
Budući da se radi o postojećoj količini vodene pare, govori se o apsolutnoj vlažnosti zraka. Ovaj udio vlage je utoliko veći što je veća temperatura. Prijem vlage putem zraka je ipak ograničen i ima maksimalnu moguću vrijednost, maksimalna vlažnost zraka. Ova vrijednost se određuje ovdje prikazanom krivuljom zasićenja na slijedećoj strani. Stavi li se apsolutna vlažnost zraka u odnos prema maksimalnoj, dobija se relativna vlažnost zraka,  $\phi$  (veliko Phi), matematički izraženo:

$$\text{Relativna vlažnost } \theta [\%] = \frac{\text{Apsolutna vlažnost zraka } \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right] \cdot 100\%}{\text{Maksimalna vlažnost zraka } \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right] \cdot 100\%}$$

Relativna vlažnost zraka se može pri istoj zadržavajućoj apsolutnoj količini vodene pare promijeniti uslijed oscilacija temperatura. Prilikom smanjenja temperature približava se maksimalna vlažnost zraka vrijednosti apsolutne. Kada su obje postigle istu vrijednost, iznosi relativna vlaga odgovarajućih 100%. Kod daljeg hlađenja zrak ne može više primiti vodu, pa se dalje razdvaja u kondenzovanu vodu. Temperatura kod koje se to dešava se označava kao temperatura kondenzovane vode. Kondenzovana voda dovodi kod građevinske konstrukcije bez odgovarajuće zaštite do stvaranja vlage pri čemu se ograničava toplotna izolacija i mogu prouzročiti teška građevinska oštećenja.



Slika 14. Vrste vlage

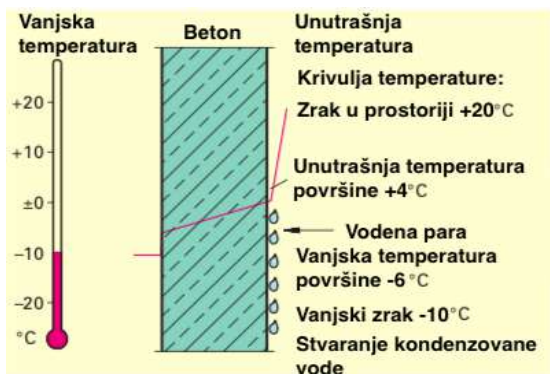


Slika 15. Sadržaj vlage u zraku, linija zasićenja

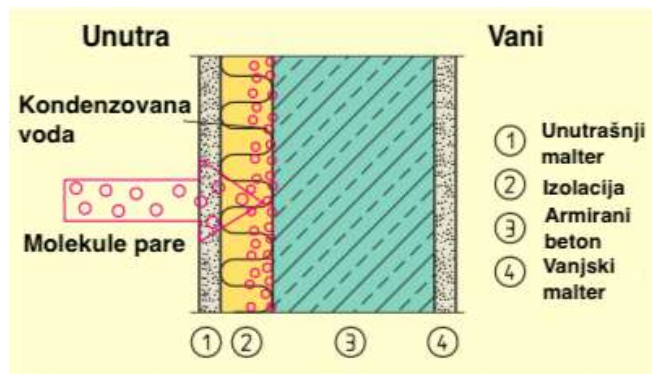
### 2.2.3. Difuzija vodene pare

Zrak posjeduje određenu masu, tako da litar zraka teži oko 1,3 g. Zrak svojom masom na površinu zemlje obavlja izvjestan pritisak. Slično se dešava sa vodenom parom. I ona ima svoju težinu u zraku i proizvodi pritisak pare na površinu. Pritisak pare je ovisan, kako od temperature, tako i od vlage zraka. Sa povećanjem temperature raste pritisak pare, tako da npr. zimi zagrijana zgrada posjeduje veći pritisak pare, nego vanjski zrak. Ovako dobiveni visoki unutarnji pritisak nastoji da se prilagodi niskom, vanjskom pritisku. Pri tom izravnavanju pritiska kreću se djelići vodene pare kroz građevinske dijelove, a ta radnja se naziva difuzija vodene pare. Koje su posljedice difuzije vodene pare? Zimi opada temperatura u građevinskom dijelu (npr. zid) iz unutrašnjosti prema vani. Istovremeno, može zbog toga relativna vlažnost zraka u građevinskom dijelu tako porasti da se postigne tačka nastanka kondenza i da dođe do neželjenih posljedica uzrokovanih kondenzovanom vodom. Kada kondenzovana voda uđe u sloj toplotne izolacije, kroz nju će proći vlaga i ista će izgubiti svoje izolacijsko svojstvo.

Količina i mjesto kondenzovane vode se mogu računarski i grafički odrediti pomoću "Glaser dijagrama". Brzina i količina sa kojom djeluje vodena para ovisi bitno o difuzionom otporu pojedinih građevinskih dijelova. Pri tome porozni materijali posjeduju vrlo mali otpor, dok su deblji materijali (prije svega nastali iz procesa topljenja) kao staklo i limovi otporni na paru.



Slika 16. Nastanak kondenzovane vode na jednoslojnom građevinskom dijelu



Slika 17. Stvaranje kondenzovane vode kod unutrašnje izolacije

## 2.2.4. Zaštita od gubitaka/šteta uslovljenih kondenzovanom vodom

Kako bi se zaštitila konstrukcija od kondenzovane vode, vrše se zahtjevni obračuni od strane inženjera koji obavljaju planiranja.

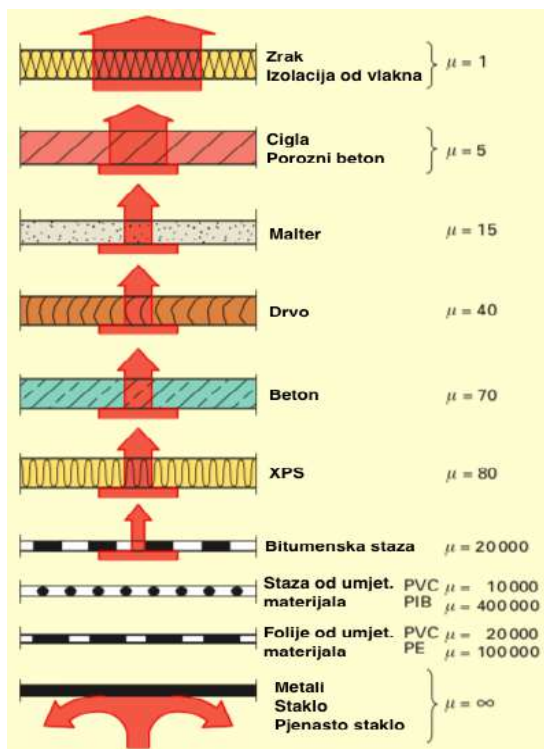
U građevinarstvu su, zbog prethodno navedenih fizikalnih procesa, definirana temeljna pravila kako se građevinske štete mogu izbjeći:

- Vodena para se parnom branom sprječava da prodre naprijed u hladnije poprečne nivoe (u kojima dolazi do gubitaka uslovljenih kondenzovanom vodom). Uz to se postavlja parna brana na unutrašnjoj strani, dakle toploj strani. Ista se može sastojati npr. od aluminijske folije ili PE folije.
- Pokretni sloj zraka, prije gustog vanjskog sloja, odvodi vodenu paru brzo prema vani.
- Difuzioni otpor -  $\mu$ , pojedinačnih građevinskih materijala, koji se koriste u jednoj konstrukciji, bi se trebao smanjivati iz unutrašnjosti prema vani, tako da vodena para može brzo izlaziti napolje (broj  $\mu$  se može pronaći za svaki građevinski materijal u tabelama).

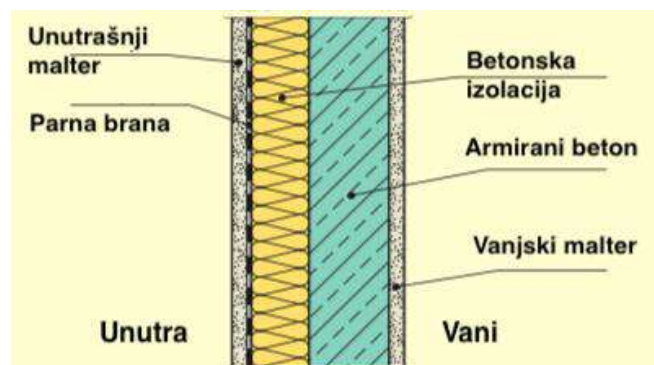
Broj  $\mu$  navodi, koliko je veći difuzioni otpor jednog građevinskog materijala spram sloja zraka iste debljine. Što je niža vrijednost  $\mu$  utoliko je manje vodene para na putu od toplije prema hladnijoj strani.

Neke tipične vrijednosti za  $\mu$ :

- $\mu = 10$  - dobra difuziona sposobnost za vodenu paru,
- $\mu = 50 \dots 500$  - ograničava se difuzija pare,
- od  $\mu = 1500$  materijal je vodootporan na paru,
- od  $\mu = 100.000$  materijal je nepropustan za paru.



Slika 18. Vrijednosti otpora difuzije vodene pare  $\mu$  za neke materijale



Slika 19. Parna brana sprječava stvaranje kondenzovane vode

### Primjeri izračunavanja vlažnosti

1. Zrak sadrži pri temperaturi od 15°C prema probnim mjerenjima 9,4g/m<sup>3</sup> vodene pare. Izračunati relativnu vlažnost? (LF = vlažnost zraka):

$$\text{Apsolutna LF} = 9,4\text{g/m}^3$$

$$\text{Maksimalna LF (iz dijagrama sadržaj vlage u zraku)} = 13,3\text{g/m}^3$$

$$\text{Relativna LF} = ((9,4\text{g/m}^3)/13,3\text{g/m}^3) \cdot 100\% = 70\%$$

Relativna LF iznosi 70%, zrak može primiti još 30% vodene pare.

2. Kada se zrak sada ohladi na 10°C, može primiti manje vlažnosti. Na 10°C je, prema dijagramu, maksimalna LF 9,4 g/m<sup>3</sup> dok je apsolutna LF ostala konstantna.

$$\text{Apsolutna LF} = 9,4\text{g/m}^3$$

$$\text{Maksimalna LF} = 9,4\text{g/m}^3$$

$$\text{Relativna LF} = ((9,4\text{g/m}^3)/9,4\text{g/m}^3) \cdot 100\% = 100\%$$

Zrak je sada, sa 100% relativnom LF u potpunosti zasićen.

3. Kada se zrak dalje ohladi na 5°C onda on ne može više akumulirati/čuvati vlažnost, pošto je zasićen sa 100% relativnom vlažnošću. Zrak odvaja višak vode kao kondenzovanu vodu. Količina kondenzovane vode se može izračunati:

$$\text{Apsolutna LF iznosi i dalje } 9,4 \text{ g/m}^3, \text{ maksimalna LF pri } 5^\circ\text{C} \text{ prema dijagramu } 7,2 \text{ g/m}^3 \text{ iz čega slijedi: } 9,4 \text{ g/m}^3 - 7,2 \text{ g/m}^3 = 2,2 \text{ g/m}^3$$

Pri temperaturi od 5°C se pri apsolutnoj LF od 9,4g/m<sup>3</sup> ukupno odvaja 2,2g kondenzovane vode po 1 m<sup>3</sup> zraka.

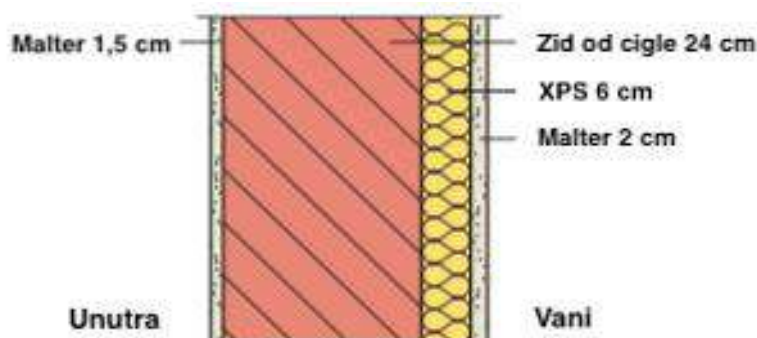
### **2.2.5. S<sub>d</sub> vrijednost- difuzijski ekvivalent debljine sloja zraka**

Propusnost vodene pare kod građevinskih materijala se opisuje brojem otpornosti na vodenu paru (μ). Za građevinske dijelove važi da sposobnost difuzije ovisi od korištenih materijala i debljine sloja. U teoriji se definira i difuzijski ekvivalent debljine sloja zraka S<sub>d</sub>, tzv. S<sub>d</sub>-vrijednosti. S<sub>d</sub> vrijednost definira koliko vodene pare difundira kroz građevinski dio.

Ona se može izračunati kao:  $S_d = \mu \cdot d$  (m).

Kod višeslojnih građevinskih dijelova se dodaju S<sub>d</sub>-vrijednosti.

### Primjer: Vanjski zid



Slika 20. Vanjski zid-slojevi

Difuziono ekvivalentna debljina sloja zraka  $S_d$  iznosi 6,53m (Za zidove važe  $S_d$  vrijednosti između 4m i 7m kao posebno povoljni).

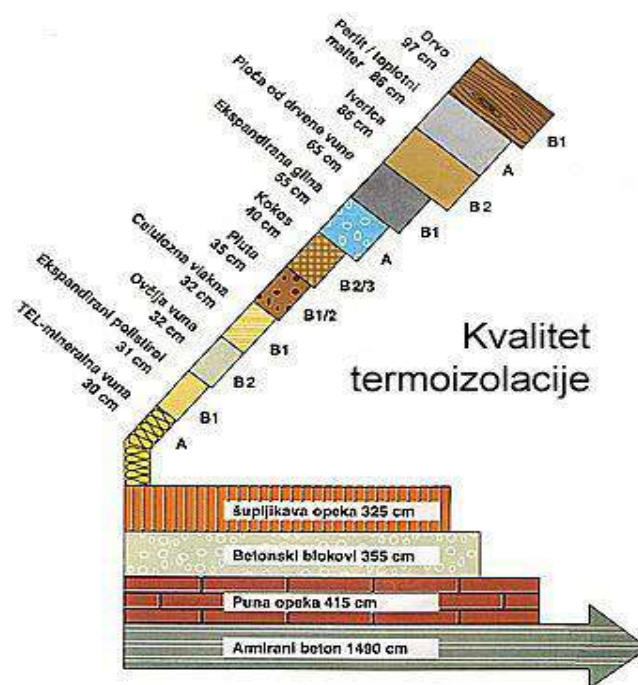
$S_d$  vrijednost za zid se računa kao:

$$S_d = 15 \cdot 0,015 \text{ m} + 5 \cdot 0,24 \text{ m} + 80 \cdot 0,06 \text{ m} + 15 \cdot 0,02 \text{ m} = 6,53 \text{ m}$$

## 2.3. TERMOIZOLACIJA OVOJNICE

### 2.3.1. Ovojnica zgrade

Efekti energetske efikasnosti građevinsko tehničkim mjerama u najvećem dijelu se ostvaruju na ovojnicama zgrada, kako novogradnje tako i prilikom većih rekonstrukcija objekata. Materijali za toplotnu izolaciju imaju mnogo niže vrijednosti koeficijenata toplotne provodljivosti od ostalih materijala i njihovim ugrađivanjem u pregradu se značajno smanjuje prolazak toplote kroz nju.



Slika 21. Kvalitet izolacije

Svi termoizolacioni materijali funkcionišu tako što u sebi sadrže mnogo malih mjehurića zarobljenog zraka. Upravo je taj zrak ono što se suprotstavlja prolasku toplote kroz materijal.

### 2.3.2. Stiropor - vrste i karakteristike

Stiropor, ekspaniranog polistirena EPS je hemijski neutralan materijal, dobar izolator prije svega zato jer ga polistiren (plastika) sastavlja u samo dva postotka, a 98 % u njemu je zrak. Zato je iznimno lagan i dostupan materijal. Također, paropropusan je, bez mirisa, negorljiv, iako je topiv u dodiru s vatrom. Njegovo paljenje je iznimno opasno jer se u dodiru EPS-a s vatrom stvaraju štetni plinovi. Kod dugotrajne izloženosti vodi, s njom se spaja i potaje neupotrebljiv. Tađer se počinje raspadati i pod

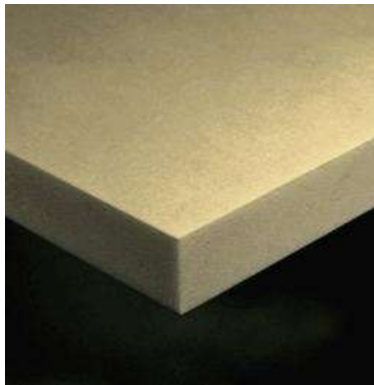
uticajem UV zraka. Toplotna provodljivost EPS-a je od  $\lambda = 0,035$  do  $0,04$  W/mK. Gustoća ( $\text{kg/m}^3$ ) najviše utiče na svojstva stiropora. Proizvodi se različitih gustoća od  $12 \text{ kg/m}^3$  do  $30 \text{ kg/m}^3$  (čak i do  $40 \text{ kg/m}^3$ ).

Ekstrudirani polistiren ili XPS - stirodur je tvrdo presovani stiropor. To je materijal po termoizolacionim svojstvima vrlo sličan prethodnom materijalu, toplotna provodljivost  $\lambda = 0,025$  do  $0,033$  W/mK, s tim što je potpuno paronepropusan i može da podnese veliko opterećenje (po podacima proizvođača i do  $70 \text{ t/m}^2$ ). Najčešće se upotrebljava za izolaciju podova, zidova i međuspratnih konstrukcija u zemlji, ravnih krovova, i tamo gde se želi izbjeći pojava vlage unutar pregrade. Prodaje se u tablama dimenzija  $125 \times 60$  cm, debljine  $2,3...20$  cm i više, sa ravno ili stepenasto isječenim ivicama. Spada u materijale koji mogu da gore.

Fasadna termoizolaciona ploča od ekspaniranog polistirena EPS obogaćena grafitom (grafitni stiropor, poznat i kao "neopor") je grafitni stiropor, gdje prisustvo grafita obezbjeđuje i do 20% bolja termoizolaciona svojstva u odnosu na ekvivalentni "bijeli" stiropor. Karakteristike su joj: postojanost oblika i forme, vrhunska toplotna izolacija, dobre ekološke osobine i jednostavna za obradu.



Slika 22. Stiropor



Slika 23. Stirodur



Slika 24. Grafitni stiropor

### 2.3.3. Mineralna vuna - vrste i karakteristike

Mineralna vuna se sastoji od vlakana presovanih u ploče standardnih dimenzija  $100 \times 60$  cm, debljine od 2 do 20 centimetara. Pored termoizolacionih, ovaj materijal posjeduje i dobra svojstva izolacije od zvuka. Potpuno je paropropustan (otpor koji pruža prolasku vodene pare kroz sebe je najmanji mogući), može se reciklirati, otporan je na vlagu i nezapaljiv, pa se koristi tamo gde je povećana opasnost od požara.

Ploče mineralne vune se proizvode u različitim gustinama prema njihovoj namjeni, od  $30$  do  $200 \text{ kg/m}^3$ . Ploče gustine  $30 \text{ kg/m}^3$  su namijenjene za zvučnu izolaciju, a gustine  $60-75 \text{ kg/m}^3$  za izolaciju potkrovlja ispod kosih krovova. Za izolaciju zidova koriste se ploče gustine  $100 \text{ kg/m}^3$  i više, za podove od  $150 \text{ kg/m}^3$ , dok ploče gustine  $200 \text{ kg/m}^3$  svoju primjenu nalaze kao termoizolacioni slojevi u ravnim krovovima.

Karakteristike kamene mineralne vune:

- kratka vlakna,
- veće gustine proizvoda od  $30$  do  $200 \text{ kg/m}^3$ ,
- visoka čvrstoća na pritisak,

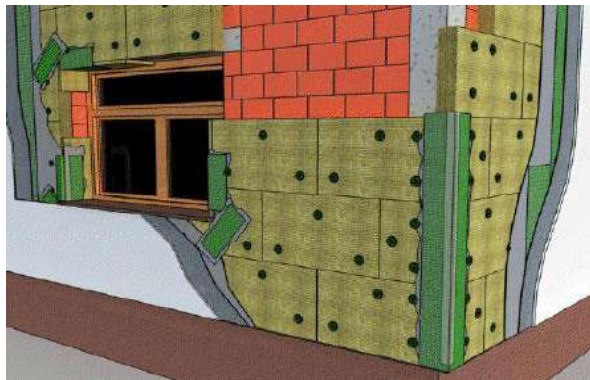
- $\lambda$  u granicama od 0.035 do 0.039 w/mK,
- odličan apsorber zvučne energije,
- negoriv materijal, klasa negorivosti A1,
- maksimalna radna temperatura 750°C,
- veća otpornost na požar,
- visoka temperatura topljenja, preko 1000°C,
- niža elastičnost materijala,
- niska zatezna čvrstoća,
- veoma otporna na eventualna mehanička oštećenja prilikom rukovanja.

#### Karakteristike staklene mineralne vune:

- dugačka vlakna,
- manje gustine proizvoda od 11 do 45 kg/m<sup>3</sup>,
- niža čvrstoća na pritisak,
- $\lambda$  u granicama od 0.032 do 0.044 w/mK,
- odličan apsorber zvučne energije,
- negoriv materijal, klasa negorivosti A1,
- maksimalna radna temperatura 230°C,
- otpornost na požar,
- niža tačka topljenja, oko 700°C,
- visoka elastičnost materijala,
- visoka zatezna čvrstoća,
- otporna na eventualna mehanička oštećenja prilikom rukovanja.



Slika 25. Mineralna vuna



Slika 26. Izolacija objekta mineralnom vunom

#### **2.3.4. Kontaktne fasade**

Najčešće primjenjivana termoizolacija fasada u BiH izvodi se ugradnjom EPS-a (stiropora). Prednosti ugradnje EPS-a su:

- istovremena toplotna izolacija i izgled fasade,
- izvodi se sa vanjske strane objekta, te nema gubitka stambenog prostora,
- pravilnim izvođenjem izbjegavaju se toplotni mostovi,
- debljina ploče EPS-a prema potrebi,
- dobro akumuliranje toplote u zidovima i zidovi su topli iznutra,
- primjenjiv na sve pologe.



Sistem ugradnje sastoji se iz ugradnje polistirenskih ploča kao toplotnog sloja i pokrivnog paropropusnog sloja otpornog na atmosferilije (mase za izravnavanje, PVC mrežice i završnog maltera po mogućnosti na disperzivnoj bazi). Podloga mora biti čvrsta, suha i nosiva. Sve eventualno labave dijelove fasade prije početka radova treba u potpunosti otkloniti i oštećenja popraviti. Nikakvo naknadno kvašenje fasade nije dozvoljeno

Sa postavljanjem termoizolacije se može početi tek kada:

- su sve površine koje se ne trebaju obložiti kao staklo, drvo, aluminij, okapnice itd. propisno zaštićene odgovarjućom folijom,
- podloga ne pokazuje na oko vidljivu vlagu (unutrašnji malter i estrih trebaju većim dijelom biti suhi. Ti radovi trebaju biti izvedeni najmanje 3 sedmice prije nanošenja termoizolacije.
- je provedena provjera kompatibilnosti podloge,
- su kod starih građevina uklonjeni uzroci za pojačano vlaženje, izbijanje soli i sl.,
- su otvorene fuge i šupljine u zidovima zatvorene i zaštićene od vjetra,
- su instalacije za vodu i struju u zgradi odgovarajuće postavljene od strane stručnjaka.

Pričvršćivanje početnog, soklenog profila raditi na razmaku od 30 cm diblovima. Kod neravnih zidova treba upotrijebiti distancere. Kod velikih izolacijskih debljina treba obratiti pažnju na to da aluminijski profili za podnožja mogu stvoriti toplotne mostove. Zato se kod izvedbe uvučenog podnožja trebaju koristiti plastični profili ili profili za okapnice.



Slika 27. Postavljanje početnog, soklenog profila



Slika 28. Nanošenje ljepila na stiropor ploče

Nanošenje ljepila se postavlja tako da ljepilo bude raspoređeno na rubovima i tačkasto u sredini. Debljina ljepila može biti 1-2 cm i važno je da ljepilo pokrije najmanje 40% površine ploče. Na rubovima fasadnih ploča ljepilo se postavlja u trakama od 5 cm širine i tri tačke u sredini. Svježi malter ugraditi u roku od 2 sata. Na uglovima objekta ploče treba postaviti nazubljeno. Ako nastanu fuge veće od 2 mm, ispuniti ih istom masom kako ne bi u njih prodrla masa za armiranje.

Dijelovi kao što su kutije za roletne ili čeonu dio stropa, moraju se premostiti bez preklopa ploče. Pri tome se sa zadnje strane izolacijske ploče smije odrezati višak materijala. Preostala debljina trebala bi iznositi 1/3 početne debljine izolacijske ploče. Prije ankerisanja i nakon što je ljepilo stvrdnuto (poslije 24 do 36 sati, ovisno o proizvođaču) spojeve i bridove ploča izbrusiti i ukloniti prašinu. Ravne površine učvrstiti pričvrstnicama, posebno na novim i starim malterima, betonu (min 6 kom/m<sup>2</sup>).

Nanijeti naredni sloj ljepila nehrđajućom nazubljenom lopaticom, širine zuba 10 mm. PVC mrežicu utisnuti u okomitom smjeru u svježju masu sa međusobnim preklopom od najmanje 10 cm. Debljina

mase sa mrežicom je 2-3 mm. Struktura mrežice se ne smije vidjeti. Vrijeme sušenja mase prije grundiranja je 5- 7 dana, ovisno o vremenu.

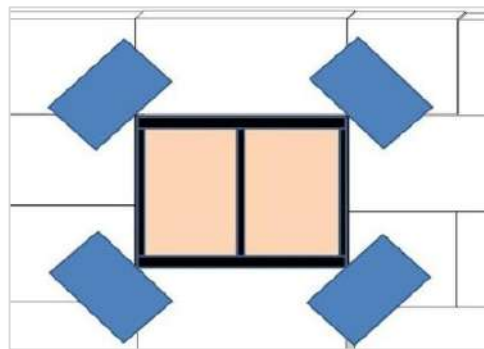
Grund ili predpremaz koji se postavlja prije plemenitog maltera treba nanijeti ravnomjerno valjkom. Vrijeme sušenja ovog namaza je između 12 i 24 sata. Nanošenje sloja plemenitog maltera ravnomjerno u jačini granulacije nanijeti čistom, nehrđajućom čeličnom zidarskom gladilicom. Zaribati, ovisno o željenoj strukturi, pomoću gladilice.

### 2.3.5. Karakteristični detalji konstrukcije pri izvođenju fasade

Na uglovima objekta, sa obje strane postaviti ugaone lajsne ili kao alternativu moguće je postaviti i preklope mrežice najmanje 20 cm sa obje strane.

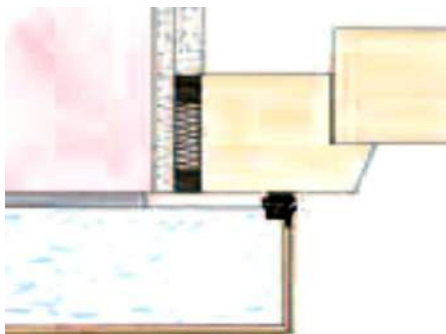


Slika 29. Postavljanje ugaone lajsne

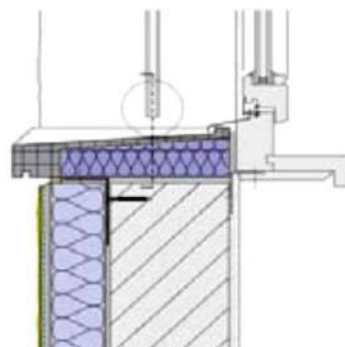


Slika 30. Dodatno armiranje mrežicom na uglovima

U području uglova vrata i prozora izvršiti dodatno armiranje dijagonalnim postavljanjem trake mrežice (najmanje 20x40cm) i to prije nego je postavljena mrežica na cijelu površinu (slika 51). U uglovima unutrašnjeg prostora objekta kod vrata i prozora, također dodatno armirati dijagonalnim postavljanjem trake mrežice. Za završetke oko vrata i prozora po mogućnosti staviti lajsnu sa dihtujućom trakom.



Slika 31. Lajsna sa dihtujućom trakom



Slika 32. Postavljanje prozorske klupice

U pravilu se koriste kamene ili limene klupice koje se montiraju bez šupljina, odnosno moraju se ispuniti izolacijskim materijalom. Kako bi se površinska voda sigurno uklonila sa konstrukcije, potreban je nagib prozorske klupčice od  $>5^\circ$ . Za vrijeme kompletne faze obrade i sušenja, temperatura okoline, podloge i materijala mora iznositi minimalno  $+5^\circ\text{C}$ . Isto tako nepovoljni vremenski uticaji, kao što su temperature iznad  $+30^\circ\text{C}$ , vjetar i izravna izloženost Suncu mogu promijeniti svojstva obrade. U tom

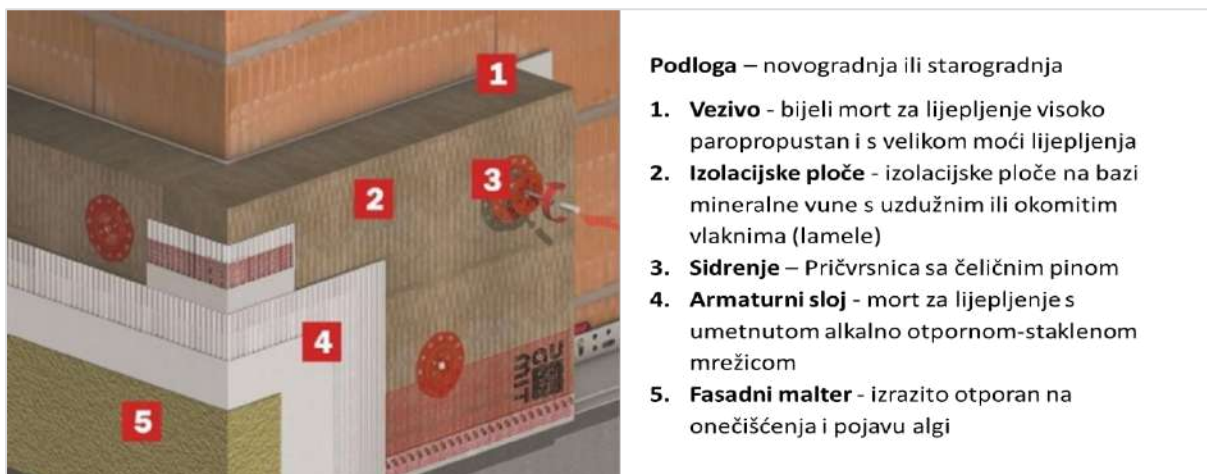
slučaju se moraju poduzeti dodatne mjere, kao npr. stvaranje sjene uz pomoć odgovarajućih mreža za zaštitu konstrukcije. Osigurati se mora i hladna voda za miješanje materijala (kvaliteta pitke vode). Ljeti se ne smije koristiti voda koja se zagrijala u crijevu (maksimalno 30°C).



Slika 33. Toplotno-izolacijski sistem povezan polistirenom



Slika 34. Sistem toplotne izolacije podnožja- sokla

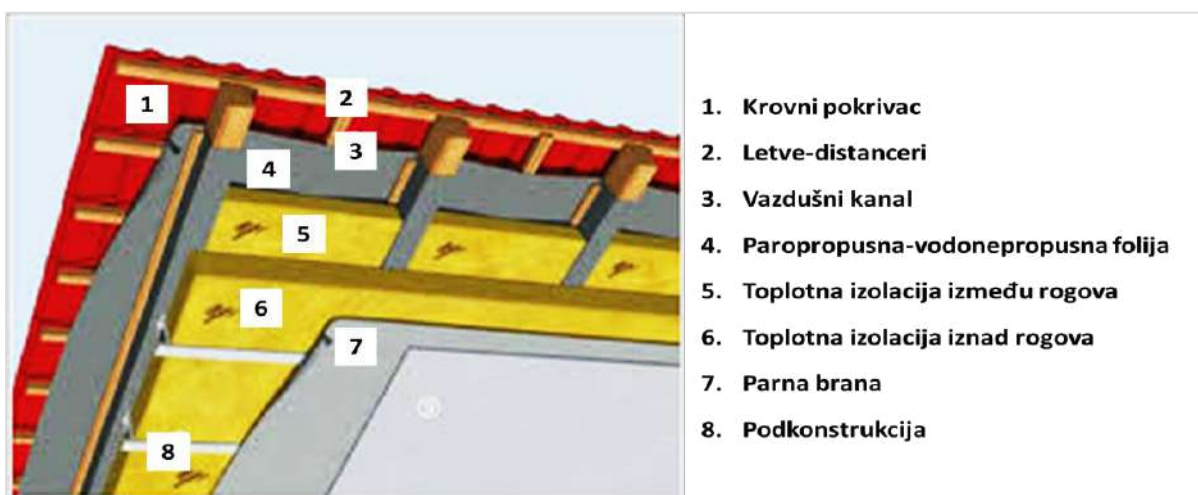


Slika 35. Povezani toplotno-izolacijski sistem s mineralnom vunom



1. Podkonstrukcija
2. Parna brana
3. Toplotna izolacija
4. Letva- drugi sloj toplotne izolacije
5. Paropropusna- vodonepropusna folija
6. Letva
7. Kontra-letva
8. Pokrov

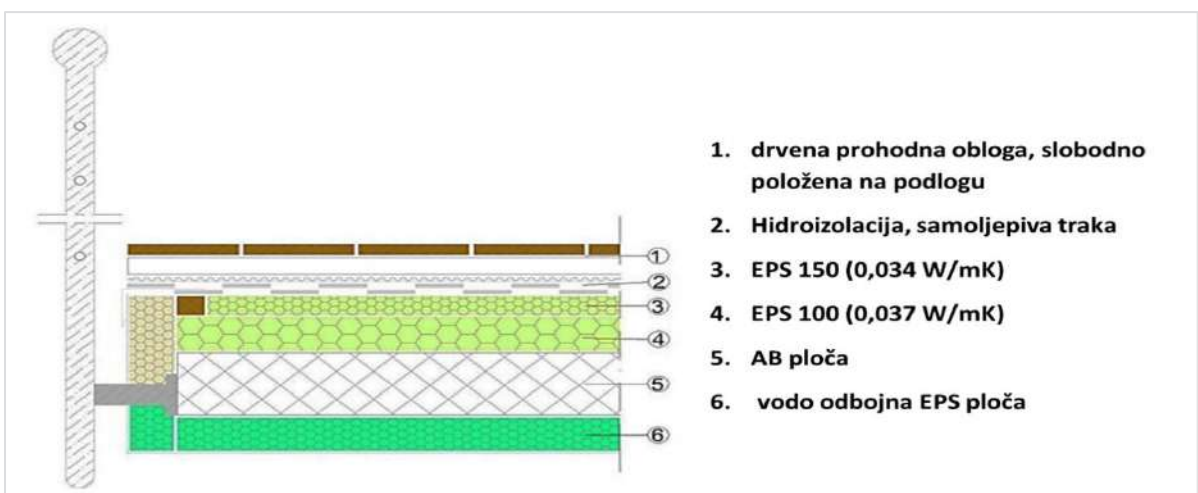
Slika 36. Izolacija kosog krova sa vanjske strane



1. Krovni pokrivač
2. Letve-distanceri
3. Vazdušni kanal
4. Paropropusna- vodonepropusna folija
5. Toplotna izolacija između rogova
6. Toplotna izolacija iznad rogova
7. Parna brana
8. Podkonstrukcija

Slika 37. Izolacija kosog krova sa unutrašnje strane

### 2.3.6. Toplotna izolacija balkona/terase - toplotni most



1. drvena prohodna obloga, slobodno položena na podlogu
2. Hidroizolacija, samoljepiva traka
3. EPS 150 (0,034 W/mK)
4. EPS 100 (0,037 W/mK)
5. AB ploča
6. vodo odbojna EPS ploča

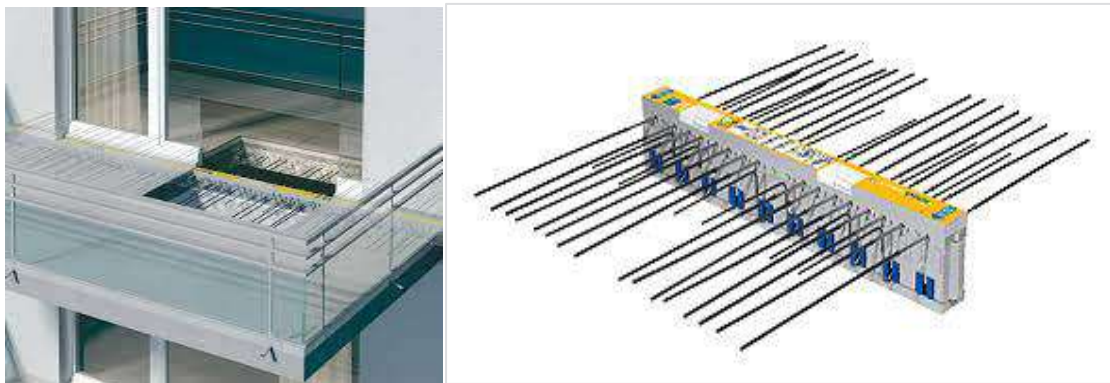
Slika 38. Toplotni most na balkonu

Toplotno odvajanje vanjskih armiranobetonskih građevinskih dijelova od ostatka zgrade sastoji se od armaturnog modula koji prenosi momente i poprečne sile, a temelji se na tzv. “analogiji s rešetkastim nosačima“, izolatora i HTE modula. Smanjuje toplotne gubitke na minimum zahvaljujući inovativnoj izvedbi tlačnih ležajeva (HTE-modul), garantira nesmetano gibanje konstrukcija zahvaljujući plastičnom omotaču betonskog pritiskajućeg ležaja.

Pritiskujući ležajevi (HTE-moduli), integrirani tako da čine glatku ravninu, olakšavaju ugradnju bilo na gradilištu ili u proizvodnji gotovih elemenata. HTE modul (High Thermal Efficiency) se sastoji od mikroarmiranog betona s čeličnim vlaknima visoke tvrdoće. Omogućava kombinaciju visoke nosivosti i optimalne toplotne izolacije.

Toplotno izolacijski materijal: Neopor. Snižena toplotna provodljivost ( $\lambda = 0,031 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )

80 mm – standardni element i 120 mm – element za pasivnu gradnju, doprinosi smanjenju troškova grijanja i emisije CO<sub>2</sub> te zaštiti prirodnih izvora energije. Jednostavna ugradnja i montaža na gradilištu.



*Slika 39. Nosivi toplotno izolacijski element za prekid toplotnih mostova kod isturenih konzolnih dijelova građevine*

### 2.3.7. Ventilirane fasade

Ventilirane fasade pomažu kontroliranju vlage u svakoj klimi. Bez obzira na to u kojoj ste klimi, vlaga uvijek predstavlja problem i može ozbiljno uticati na sveukupno izvođenje i životni vijek zgrade. Odgovor je ventilirana fasada koja je dizajnirana da diše. Kiša koja uđe i kondenzirana vodena para odvode se kroz ventilirani zračni prostor koji ima nekoliko funkcija. Zrak unutar projektiranog ventiliranog prostora cirkulirat će zbog razlike pritiska zraka i razlike temperature kroz visinu zgrade.

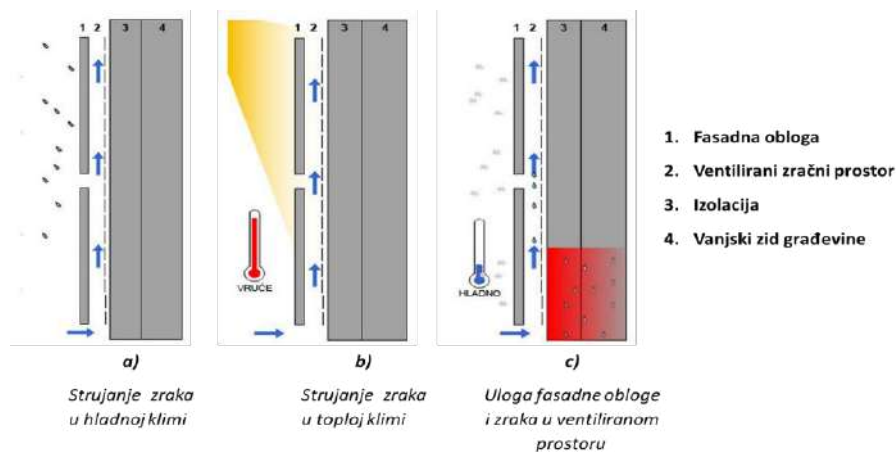
Ventilirane fasade spadaju među najpopularnije fasadne sisteme. Osim njihove funkcionalne sigurnosti, arhitekti uglavnom cijene dizajnerske mogućnosti koje pruža korištenje ventiliranih fasada. Sistem omogućuje razne vrste fasadnih obloga. Dizajn se na taj način može individualno uskladiti s karakteristikama zgrade. Također se mogu lako izvesti kombinacije različitih materijala. Bitna tehnološka prednosti ventiliranih fasadnih sistema je u tome što su strukturno razdvojeni elementi izolacije i elementi za zaštitu od vremenskih uslova. Ti sistemi su stoga manje osjetljivi na oštećenja od ostalih fasadnih sistema. Osim toga, zahtjevi zaštite od požara, zaštite od buke i zaštite od udara munje mogu se provesti jednostavno i kreativno. Za obloge ventiliranih fasada na raspolaganju je široki spektar raznovrsnih materijala. Trajnost, otpornost na svjetlo i otpornost na smrzavanje osnovni su uslovi za zadovoljavanje sve većih zahtjeva dugovječnosti fasada. Isprobani i testirani materijali su HPL (High pressure laminates-laminat pod visokim pritiskom) i vlaknima ojačane kompozitne ploče, ploče iz

vlaknima ojačanog cementa, keramika i keramički kamen, bakar, titan-cink, aluminij kompozitni paneli, aluminijske ploče i cigle. Nadalje, mogu se koristiti sistemi viseći za individualne zahtjeve za obloge iz maltera, stakla, prirodnog kamena, keramike ili metala.

Ventilirane fasade imaju prostor između fasadne obloge i vanjskog zida – idealno mjesto za izolacijske materijale. Eventualne kapljice kiše i kondenzirane vodene pare suše se pod uticajem strujanja zraka u ventiliranom zračnom prostoru, tako da izolacijski materijal ostaje u dobrom stanju i efikasan kroz dugi niz godina. Preporučena minimalna širina ventiliranog zračnog prostora iznosi 40 mm, no preferirana širina je 60 mm. Izolacijske komponente (toplotna izolacija, protupožarna zaštita) i vanjska obloga (zaštita od vremenskih uslova) u sistemu ventiliranih fasada su strukturalno razdvojene. Ventilirani prostor između komponenti regulira vlažnost unutar građevinskih konstrukcija (vlaga iz građevinskih elemenata i vlaga koja nastaje kod korištenja prostora). Vlažni vanjski zidovi osuše se u najkraćem mogućem vremenu. Dvoslojni sistem ventilirane fasade konstruktivno razdvaja funkciju zaštite od vremenskih uslova od funkcije toplotne izolacije. Kod ventiliranih fasada, za bilo koje zgrade, visine i namjene, obično se koriste mineralni izolacijski materijali skupine toplotne provodljivosti 032 ili 035.

Podkonstrukcija je statična veza između strukture vanjskog zida i obloge pročelja. Aluminij i drvo, ili njihova kombinacija, potencijalni su materijali za noseće konstrukcije. Podkonstrukcije od aluminija koriste se u većini slučajeva. Aluminijske konstrukcije mogu se podesiti u tri smjera i vežu se na nosivi vanjski zid bez dodatnih unutarnjih naprezanja. Neravnine i kvрге na zidovima mogu se ispraviti uz savršeno vodoravno i okomito poravnanje. Aluminijske podkonstrukcije također se mogu efikasno integrirati u sistem zaštite od udara munje, pa čak i ako fasadna obloga nije vodljiva.

U hladnoj klimi, zrak koji struji kroz ventilirani prostor grije se pod uticajem temperature zgrade što uzrokuje sušenje kondenzirane vodene pare nakupljene na stražnjem dijelu fasadnih ploča. Vanjski zidovi uvijek su suhi, a količina energije potrebne za grijanje unutarnjih prostora se minimizira (sl. 40a). U toploj klimi, vrući zrak se diže prema vrhu zgrade stvarajući vakuum koji omogućava ulaz svježeg i hladnijeg zraka. Hladni zrak potom struji kroz ventilirani zračni prostor i hladi vanjske stijenke zgrade. Time se smanjuje potrošnja energije potrebne za hlađenje unutarnjih prostora zgrade se (slika 40 b). Fasadna obloga dozvoljava odvodnju kišnih kapi i kondenzirane vodene pare kroz reške (fuge), a zrak koji cirkulira kroz ventilirani prostor pomaže u sprečavanju kondenzacije. Vanjski zidovi uvijek su suhi što doprinosi njihovoj trajnosti kroz dugi niz godina (slika 40 c).

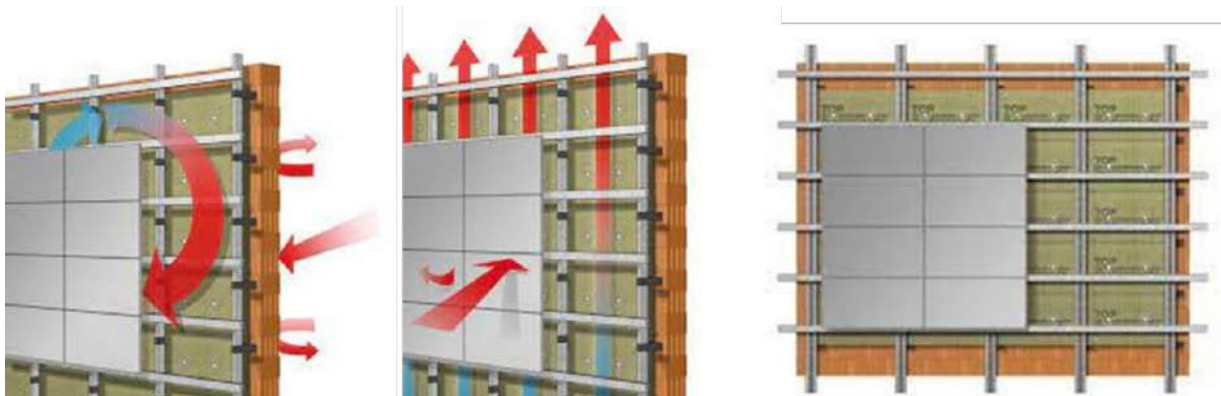


Slika 40. Strujanje zraka kod ventiliranih fasada

Upotrebom ovješanih ventiliranih fasada, postižu se zadani ekološki ciljevi i kod izgradnje novih zgrada i kod renoviranja već postojećih: mjerljivo smanjenje energije potrebne za grijanje minimizira emisije CO<sub>2</sub>, jednog od najvećeg zagađivača okoliša.

Ekonomski aspekti:

- dugoročno zadržavanje vrijednosti i respektabilnosti zgrade,
- dugački intervali održavanja i niski prateći troškovi,
- tačna procjena troškova, čak i u slučaju renoviranja,
- izrada pod bilo kakvim vremenskim uslovima,
- uštede na angažiranju skela zbog brzine izrade,
- nema troškova odlaganja otpada tokom faze izrade,
- mogućnost recikliranja.



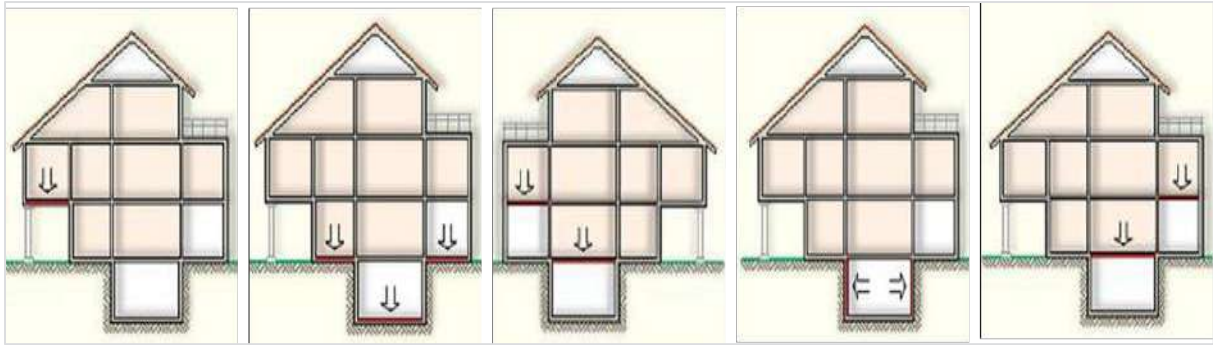
Slika 41. Konstrukcija ventiliranih fasada

### 2.3.8. Toplotna izolacija poda na tlu ili poda iznad otvorenog ili negrijanog prostora

Toplotni gubici kroz pod čine 10% od ukupnih toplotnih gubitaka kuće, a postavljanjem toplotne izolacije moguće ih je smanjiti i za 60%. Preporuka je da se pod izolira sa 10 cm toplotne izolacije. Ako je temperaturna razlika između zagrijanog i umjereno zagrijanog prostora mala, tj. manja od 4-5 °C, toplotna izolacija se gotovo i ne isplati, stoga se samo znatno hladnije prostorije toplotno izoliraju.

Toplotna izolacija hladnih podova je jednostavan način da se smanje gubici toplote i da se poboljša komfor stanovanja. Ako kod podnog grijanja ne postoji adekvatna toplotna izolacija, dolazi do velikih gubitaka toplote. Na novim građevinama gubici iznose oko 6% ukupnih toplotnih gubitaka, ali i tada se preporučuje ugradnja izolacije. U tom slučaju je posebno djelotvorna toplotna izolacija podrumskog plafona. Debljina izolacije poda zavisi od temperature hladne prostorije, a trebala bi biti 8 cm za podove iznad prostorija koje se griju i 10 cm za podove prema spoljnjem zraku. Ako postoji sistem podnog grijanja, te veličine treba uvećati za 3 cm.

Toplotno izolacione ploče ekspaniranog polistirena-stiropora toplotne provodljivosti  $\lambda = 0,036$  W/(mK) (gustine 20 – 30 kg/m<sup>3</sup>, zavisno od opterećenja) se polažu na hidroizolaciju ili betonsku podlogu. Debljinu toplotne izolacije treba posebno izračunati (ne bi trebala biti tanja od 6 cm). Prije nanošenja armiranog betonskog estriha, na postavljene ploče se polaže PE – folija. Sanacija poda prema tlu u već sagrađenoj kući često nije ekonomski opravdana, zbog relativno malog smanjenja ukupnih toplotnih gubitaka u poređenju sa velikom investicijom koja je potrebna za takvu sanaciju.



Slika 42. Izolacija dijelova objekta koji su u kontaktu sa tlom

### 2.3.9. Materijali za izolaciju poda

Izolacijom poda postiže se zaštita od hladnoće i smanjuju se toplotni gubici. Za to se koristi mineralna vuna ili stiropor, čija se gornja strana zaštićuje cementnom košuljicom. Na cementnu košuljicu se postavlja podna obloga, parket ili patos. Između mineralne vune i betonske ploče postavlja se hidroizolacija.

Ekspandirani i ekstrudirani polistiren je jedan od najtrajnijih, izdržljivih i vodootpornih toplotnih izolatora. Izrađuje se u pločama, lako se reže na potrebne komade pogodne za ugradnju. Ekspandirana glina je jedan od mogućih materijala za primjenu izolacija podova.



Slika 43. Izolacija poda ekspandiranim polistirenom



Slika 44. Izolacija poda ekspandiranom glinom

Pluto je prirodan i ekološki prihvatljiv izolator. Eko pamuk je rastresit materijal na bazi drvene mase. Kod nas je manje u primjeni.



Slika 45. Izolacija poda plutom



Slika 46. Izolacija poda eko pamukom



Mineralna (staklena ili kamena vuna) ima izvrsna izolacijska svojstva i dug vijek trajanja, nije zapaljiva i ne ispušta štetne tvari. Postoji u obliku ploča ili u rolama. Mineralna vuna gubi svojstva toplotne izolacije kada vlaga uđe u nju, te mora biti kvalitativno hidroizolirana od vanjskog okruženja i izolirana od unutrašnjosti.



Slika 47. Izolacija poda mineralnom vunom

## 2.4. PROZORI I ENERGETSKA EFIKASNOST

Prozori su izuzetno važan element kada govorimo o energetske efikasnosti svakog objekta. Njihova osnovna funkcija je da propuštaju dnevnu svjetlost i omogućavaju provjetravanje, ali i da omoguće korisniku prostora vizuelnu komunikaciju sa spoljnim svijetom. Na svakom objektu, najdinamičnija, a po nekim istraživanjima i najslabija tačka kad je toplota u pitanju, su upravo prozori.

Tokom grejne sezone, prozori predstavljaju glavni “izlaz” za neželjeni gubitak toplote, izvor neprijatnosti ukoliko ne dihtuju dobro, kao i uzrok problema sa kondenzacijom i samim tim i plijesni u prostoriji. Tokom ljeta, Sunce preko prozora dodatno zagrijava prostorije, ukoliko na njima ne postoji adekvatna zaštita, bilo u obliku premaza na prozorskom staklu, zavjese ili roletne.

Istraživanjima je utvrđeno da se preko prozora može gubiti i do 36% energije potrebne za zagrijavanje objekta. Do toplotnih gubitaka dolazi uslijed kondukcije– prenosa toplote kroz materijal prozora i uslijed ventilacije– strujanja zraka kroz otvoren ili zatvoren prozor. Kondukcijom se gubi oko 22%, a ventilacijom oko 14% energije. Za stanove iznad desetog sprata, ukupni gubici energije mogu biti i do 47%. Ovako veliki gubici toplote kroz fasadnu stolariju dešavaju se zbog lošeg kvaliteta izabrane stolarije, kao i zbog loše ugradnje uslijed koje se javljaju dodatni procjepi i povećava ventilacija, a samim tim i toplotni gubici. Ove brojke govore da su prozori dobra prilika za poboljšanje energetske efikasnosti i termičkih performansi objekata.

**Gubici uslijed kondukcije** odvijaju se kroz ram i staklo prozora. Dakle, može se reći da ovi gubici zavise od termičkih karakteristika prozora. Veličina kojom se izražavaju ovi gubici zove se koeficijent toplotne provodljivosti, označava se sa „U“.

Koeficijent prolaska toplote (oznaka: U) je količina toplote koju građevni element gubi u 1 sekundi po m<sup>2</sup> površine, kod razlike temperature od 1 K, izraženo u W/m<sup>2</sup>K. Koeficijent U je bitna karakteristika vanjskog elementa konstrukcije i igra veliku ulogu u analizi ukupnih toplotnih gubitaka (kWh/m<sup>2</sup>), a

time i potrošnji energije za grijanje. Što je koeficijent prolaska toplote manji, to je toplotna zaštita zgrade bolja.

Tipične vrijednosti koeficijenta prolaska toplote U za uobičajene strukture zgrada:

- jednostruko staklo (4 mm): 5,81 W/m<sup>2</sup>K;
- dvostruko staklo (4 + 8 + 4): 3,0 W/m<sup>2</sup>K;
- dvostruko izo staklo (4 + 16 g + f4): 1,1 W/m<sup>2</sup>K;
- trostruko izo staklo (4 f + 12 g + 4 + 12 g + f4): 0,5 W/m<sup>2</sup>K;
- neizolirani zid od šuplje opeke debljine 19 cm: 1,67 W/m<sup>2</sup>K;
- izolirani zid od opeke 19 cm sa 10 cm mineralne vune: 0,32 W/m<sup>2</sup>K;
- izolirani zid od opeke 19 cm sa 10 cm stiropora: 0,31 W/m<sup>2</sup>K;
- slabo izolirani krov: 1,0 W/m<sup>2</sup>K;
- dobro izolirani krov: 0,15 W/m<sup>2</sup>K;
- dobro izolirani pod: 0,2 W/m<sup>2</sup>K;
- slabo izolirani pod: 1,0 W/m<sup>2</sup>K.

#### 2.4.1. Karakteristike energetski efikasnih prozora

Dvostruko ili trostruko ostakljenje sa zračnim prostorom od najmanje 16 mm. Umjesto zraka kao izolatora, prostor između stakala može biti ispunjen inertnim plinom argonom čime se povećava efikasnost prozora. Low-e premaz na unutrašnjoj strani unutrašnjeg stakla sprječava gubitak toplote reflektujući je nazad u prostor. Toplotni gubici se događaju kako kroz staklo, tako i kroz okvir prozora. Okvir može biti PVC (s čeličnim ojačanjem), aluminijski (sa prekinutim toplotnim mostovima), drveni i kombinacija drvo- aluminij. Ukupni koeficijent prolaska toplote bi prema novom propisu trebao biti U < 1,8 W/m<sup>2</sup>K. Ovi prozori su, u odnosu na obično IZO, skuplji 20%, ali su im toplotni gubici za 50% manji.

Prozori ili vrata koji slabo dihtuju su glavni uzrok gubitaka toplote. U skladu sa novim Tehničkim propisom, koeficijent prolaska toplote za prozore i balkonska vrata može iznositi maksimalno U=1,50 W/m<sup>2</sup>K. Dok se na starim zgradama koeficijent U prozora kreće oko 3,00-3,50 W/m<sup>2</sup>K i više (gubici toplote kroz takav prozor iznose prosečno 240-280 kWh/m<sup>2</sup>K, evropska zakonska regulativa propisuje sve niže i niže vrednosti i one se danas najčešće kreću u rasponu od 1,40-1,80 W/m<sup>2</sup>K. Na savremenim niskoenergetskim i pasivnim kućama, taj se koeficijent kreće između 0,80-1,40 W/m<sup>2</sup>K.

U ukupnim toplotnim gubicima prozora učestvuje i prozorski profili koji nezavisno od vrste materijala od kojeg se izgrađuju moraju osigurati: dobru zaptivenost, prekid toplotnog mosta u profilu, jednostavno otvaranje i nizak koeficijent prolaska toplote.

Preporuka za izgradnju savremene energetski efikasne zgrade je korištenje prozora s koeficijentom U manjim od 1,40 W/m<sup>2</sup>K. Također se kao prozorski profil preporučuje moderni visoko efikasni drveni profil koji je i ekološki i energetski prihvatljiv.

#### 2.4.2. Gubici toplote kroz prozore

Gubici kroz prozore su transmisioni (oni kroz zatvoren prozor) i ventilacioni (oni kroz otvoren prozor). Kada se saberu jedni i drugi, kroz prozore se ostvaruje preko 50% ukupnih toplotnih gubitaka zgrade.

Prozora ima mnogo različitih vrsta, a njihov koeficijent prolaza toplote kreće se od 0,8 W/m<sup>2</sup>K kod najboljih prozora s trostrukim staklima i plinskim punjenjem pa sve do 3,5 W/m<sup>2</sup>K kod starih jednostrukih prozora. Kvalitetniji prozori smanjuju transmisionu gubitke, dok se gubici ventilacijom mogu smanjiti ugradnjom ventilacionog sistema ili pomoću senzora otvorenosti prozora koji se povezuje direktno sa kontrolom grijanja/hlađenja i isključuje sistem kada se prozor otvori. Na taj način se smanjuju gubici ventilacijom.

Na transmisionu gubitke utiče više detalja. Osnovni je svakako koeficijent prolaza toplote staklene površine i profila prozora. Koeficijent prolaza toplote na staklima se smanjuje ugradnjom dvostrukih i trostrukih stakala, čiji su među prostori punjeni zrakom, ili bolje inertnim plinom (argonom) koji djeluje kao toplotni izolator. Na spoljnoj površini svakog stakla trebao bi postojati tzv. Low-E premaz (premaz niske emisivnosti), koji smanjuje zračenje toplote preko prozora. Postavljanjem tog sloja samo sa spoljnih površina stakala dozvoljava se ulaz toplote ali ne i izlaz, tako da staklo deluje poput toplotnog ventila. Low-E premaz je bezbojan i ne utiče na prolazak svetla.

Prozor kao građevinski element ima funkciju da osigura zadovoljavajuću zvučnu i toplotnu izolaciju, kao i funkciju prirodnog provjetravanja prostora, što se postiže primjenom adekvatnih materijala i konstrukcijskih profila.

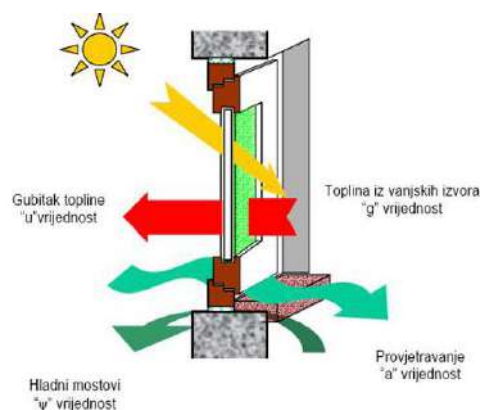
U-vrijednost-koeficijent prolaza toplote

Ψ-vrijednost-prolaz toplote kroz spojne detalje-toplotni mostovi

a-vrijednost-provetravanje

g-vrijednost-toplotni tok iz spoljnih izvora

Zbir ovih vrijednosti određuje ukupne toplotne gubitke prozorskog elementa.



Slika 48. Gubici prozorskog elementa

### 2.4.3. Vrste prozorskih okvira

Prozorski okviri mogu biti: aluminijski, plastični (PVC) i drveni.

Aluminijski prozorski okviri - Aluminijski je konstrukcijski materijal i aluminijske prozore karakteriše velika čvrstina, odnosno postojanost oblika. To je od izuzetne važnosti kod velikih dimenzija prozorskih okvira

i upravo zato su najčešći izbor u poslovnim objektima koje često krase veće prozorske površine. Takođe, posjeduju i veliku postojanost na vremenske uticaje, ne stare i laki su za održavanje. Prednost Alu stolarije je što je dugotrajna. Pokazalo se da se čak 30-50 godina može osloniti na njenu postojanost, bez ikakvih promjena i čak i bez posebnog održavanja. Međutim, kako metali dobro provode toplotu, odnosno loši su toplotni izolatori, aluminijski prozori imaju lošija izolacijska svojstva. Poboljšanje toplotnih i zvučnih karakteristika i energetska efikasnost vrši se uvođenjem aluminijskog profila sa termo-prekidom, tzv. termo mostom.

Plastični (PVC) prozorski okviri imaju bolju toplotnu zaštitu od aluminijskih, cijena im je niža od aluminijskih i drvenih. Važna osobina PVC-U profila je i njihova fleksibilnost. Proizvode se u različitim oblicima i veličinama i praktično je moguće proizvesti svaki oblik prozora, bilo pravougaoni, trouglasti, lučni, ovalni ili okrugao. Zahvaljujući većem broju komora (5-6 komora), PVC-U profili zajedno sa kvalitetnim niskoemisionim staklom, kvalitetnim zaptivkama i okovom, postižu odličnu termo i zvučnu izolaciju. PVC-U profili su vodeći materijal za izradu građevinske stolarije u razvijenom svijetu uz visoku energetska efikasnost. Samo u Njemačkoj je, tokom posljednjih pet godina, oko 55% prozora napravljeno od PVC-U profila, 20% od drveta, isto toliko od aluminijuma i 5% od kombinacije raznih materijala. PVC-U je zahvalan materijal, neosjetljiv na vlagu, uz odlične termoizolacione osobine.

Drveni prozorski okviri imaju udio na tržištu od oko 40%. Drvo je klasični materijal za prozore i ako se pravilno održava može trajati i do 100 godina, a prihvatljiv je i sa ekološke strane jer je drvo materijal koji se obnavlja. Drvo ima najbolji stepen toplotne i zvučne izolacije. Kao prirodan materijal, drvo karakteriše velika sposobnost upijanja vlage, a vlaga intenzivno oštećuje drvo. Dobar drveni prozor mora biti veoma dobro impregniran, što ga čini i skupljim. Prilikom požara, njegova konstrukcija ostaje postojana i ne proizvodi nikakve otrovne plinove. Važan je i izbor ispravnog zaštitnog sredstva za njih, a ekološki najpovoljnije su zaštite na bazi smola i firnajza. Takođe se mora omogućiti i nesmetan prodor vlage, a da bi prozori bili otporni na vremenske uticaje, moguće je oblaganje aluminijem.



*Slika 49. Presjek aluminijskog, plastičnog i drvenog okvira*

#### **2.4.4. IZO stakla**

Kako bi smanjili toplotne gubitke, obični jednostruki prozori se zamjenjuju kvalitetnijim IZO staklima boljih izolacionih svojstava. Izo staklo je stakleno tijelo sastavljeno od najmanje dvije staklene površine a međuprostor je ispunjen suhim zrakom sa tačkom rose  $-30^{\circ}\text{C}$  ili nekim drugim plinom, najčešće argonom, ksenonom ili kriptonom. Navedeni plinovi se stavljaju zbog smanjenja koeficijenta prolaza

toplote odnosno kako bi smanjili toplotne gubitke kroz prozor. Bitna svojstva IZO stakala su: izolacija prolazu toplote, uticaj na prolaz svjetlosti, bistrina i čistoća stakala, pravilan odraz slike okoline i ne smije doći do rošenja u međuprostoru.

Kvalitet IZO stakla zavisi od svakog sastavnog dijela IZO stakla, od kvaliteta materijala i načina izrade pojedinog dijela. Stakla koja se koriste pri izradi IZO stakala su:

- FLOAT STAKLO - ravno prozirno staklo koje se standardno ugrađuje u IZO staklo i to u debljinama od 3 do 10mm.
- LAMINIRANO STAKLO - sastavljeno od više float stakala zalijepljenih folijom. Ovo staklo se koristi i zbog sigurnosnih razloga jer ne puca u male komadiće prilikom oštećenja.
- KALJENO STAKLO - termički obrađeno float staklo zbog poboljšanja mehaničkih svojstava, čvrstoće na udar i zatezne čvrstoće na savijanje. U slučaju razbijanja, raspada se na veliki broj malih komadića tupih rubova pa je iz sigurnosnih razloga pogodno za korištenje.
- ORNAMENT STAKLA - površina im je ukrašena različitim uzorcima.
- REFLEKTUJUĆE STAKLO - premazano metalnim filmom koji dio svetlosti reflektuje, a deo apsorbuje.

Na niski U-faktor kod IZO stakala utiče:

- debljina i broj međuprostora (U- faktor smanjujemo većim brojem međuprostora i što većom širinom međuprostora)
- punjenje međuprostora (IZO stakla se pune zrakom ili inertnim plinovima - argon, kripton, xenon ili SF6, koji bitno smanjuju U- faktor)
- izbor stakla (debljina stakla vrlo malo utiče na U- faktor, ali ga upotreba stakla niske emisije ili Low-e stakla značajno smanjuje. Low-e stakla su sa strane međuprostora premazana posebnim metalnim filmom koji propušta talase kratkih talasnih dužina odnosno Sunčevu svetlost, dok zračenje dugih talasnih dužina reflektuje (IC zračenje).

Na slici 51. je prikazan značaj u izboru kvalitetnijeg stakla na području toplotnog komfora i uštede energije. Pri spoljnim uslovima  $-10^{\circ}\text{C}$  i unutrašnjim uslovima od  $+20^{\circ}\text{C}$ , IZO stakla pokazuju daleko bolja svojstva od običnih jednostrukih stakala.



Slika 50. Dijelovi IZO stakla

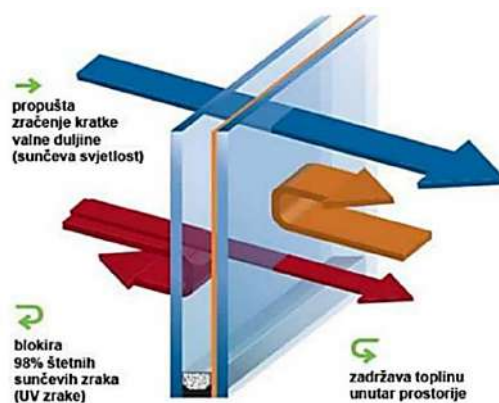
Slika 51. Odnos temperatura korištenjem raznih vrsta stakala

Prema novom Tehničkom propisu o uštedi toplotne energije i toplotnoj zaštiti u zgradama, **prozori sa low-e staklima** su obavezni u novim zgradama. Prozori s ovakvim staklima imaju koeficijente prolaza toplote oko  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , što je svakako preporuka pri kupovini novih prozora prilikom renoviranja starih zgrada.

Princip low-e stakala je da se na staklo nanese tanak sloj na bazi vanadijum dioksida, koji u zimskim uslovima potpuno propušta infracrvene zrake, a tokom ljetnjih mjeseci sprječava prolaz toplotnog

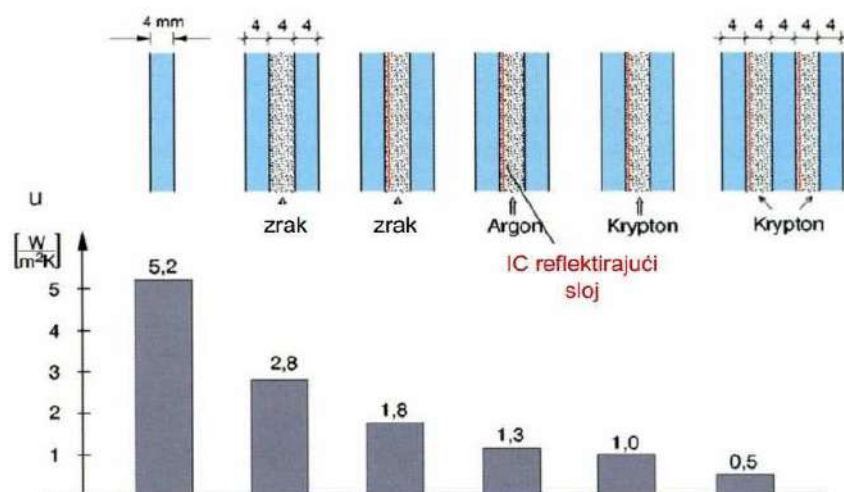
zračenja kroz staklo. Kako pritom potpuno propušta svjetlost, u nekim slučajevima prozoru ne treba nikakvo sjenilo. Hemijskim sastavom i postupkom nanošenja tog sloja na staklo se unaprijed određuje granica na kojoj filter postaje propusan, a podesiva je između 0°C i 70°C. Primjenom ovih stakala u građevinarstvu, uštede na energiji su značajne, a mogu dostići i do 50% energije za klimatizaciju.

Prednost low-e stakla je i to da se može u proizvodnji, mijenjanjem udjela nanešenih materijala, proizvoditi staklo tačno za određena klimatska područja. Razlika u cijeni običnog i pametnog stakla je 20%, no energetska ušteda bi mogla brzo nadoknaditi povećane troškove ulaganja. Ako se prostorije žele zagrijati Sunčevom energijom (npr. zimski vrt) tada se low-e premaz nanosi s unutarnje strane stakla, čime u potpunosti propušta svjetlosni spektar, a zadržava toplotno zračenje unutar prostorije. U suprotnom, ako želite izbjeći pretjerano zagrijavanje prostorija s velikim ostakljenim površinama, low-e premaz se stavlja s vanjske strane stakla.



Slika 52. Dejstvo low-e premaza

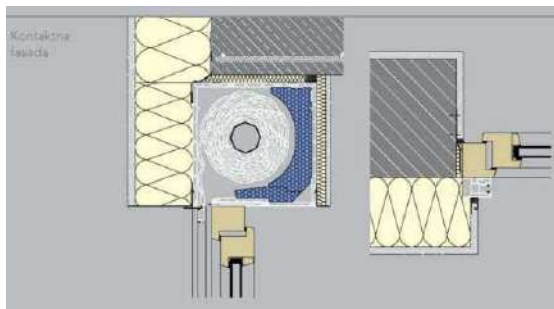
Drugi nivo pametnih stakala zahteva još jedno svojstvo - samočišćenje. Ako se nanese na staklo tanak sloj titanijum oksida, na površini će se odvijati redox-proces, pri čemu se organske nečistoće na površini stakla uglavnom razlažu na CO<sub>2</sub> i vodu. Debljina sloja vanadijum dioksida je oko 100 nanometara, a njegovo nanošenje na staklenu površinu tokom proizvodnje stakla garantuje mu isti vijek trajanja. Sa stakla ga neće ukloniti nikakvi vremenski uticaji, može ga uništiti samo razbijanje stakla.



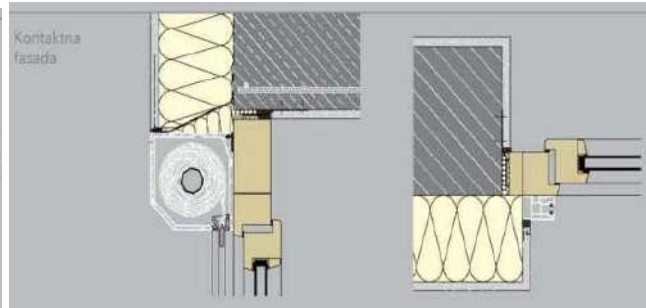
Slika 53. Put razvoja ostakljenja s ciljem poboljšanja koeficijenta prolaska toplote stakla

## 2.4.5. Vrsta zaštite od Sunca

Kao dodatna zaštita od vanjskih uticaja najčešće se ugrađuju roletne. One nam služe kao zaštita od pregrijavanja ljeti, a njihovom pravilnom upotrebom može se uštedjeti između 25 -30 % energije. Roletne se mogu postaviti izvana ili iznutra. Idealno bi bilo da je roletna smještena kompletno s vanjske strane objekta te da nema doticaja s interijerom. U svakom slučaju je vrlo bitno da je kutija roletne izolirana te da se adekvatno izvede ugradnja, kako ne bismo imali neželjenih toplotnih gubitaka preko kutije roletne.



Slika 54. Poprečni presjek roletne ugrađene s unutarnje strane- kod zida sa kontaktnom fasadom



Slika 55. Poprečni presjek roletne ugrađene s vanjske strane - kod zida sa kontaktnom fasadom

## 3. KVALITET IZVOĐENJA I KONTROLA

### 3.1. TERMOGRAFIJA

Termografija je mjerna metoda koja snima toplotno zračenje koje je za ljudsko oko nevidljivo običnim posmatranjem. Ovom metodom se na veoma brz način dobije potpuna slika termičke situacije i moguće je u veoma kratkom roku odrediti nedostatke, prije nego što oni postanu ozbiljan problem. Ovakvi snimci se nazivaju **termogrami**. Kvalitetno tumačenje toplotnih snimaka pruža važne informacije. Snimanjem infracrvenom kamerom je moguće prikazati problematična područja i na taj način će se ostvariti veće uštede novca i vremena.



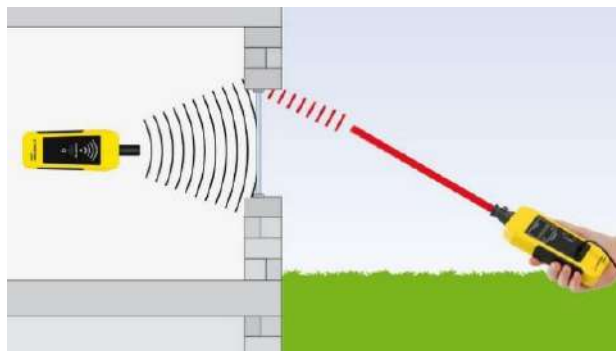
Slika 56. Snimak objekta IC kamerom

IC – termografija je postupak kojim se raspodjela temperature u određenoj površini objekta sa veoma visokom preciznošću može prikazati grafički. Na ovako nastalim snimcima moguće je ustanoviti nedostatke u toplotnoj izolaciji ili građevinsko fizikalna problematična područja, koji onda podliježu

dodatnoj provjeri. Potrebno je prvo napraviti snimak kuće tokom dana. U tom terminu se također ustanovi da li je moguća izvodljivost termografije. Stvarni termin termografije se provodi u noći ili rano ujutro, kada su povoljni vremenski uslovi, što znači da ne bi trebalo biti vjetra, kiše ili snijega. Najviša dozvoljena temperatura zraka bi trebala biti 5°C, jer je potrebno da razlika temperature unutar i izvan objekta bude najmanje 10°C.

### 3.2. PROVJERA ZAPTIVANJA GRAĐEVINSKIH ELEMENATA ULTRAZVUČNIM PREDAJNIKOM

Za kontrolu zaptivenosti otvora na objektima služe ultrazvučni predajnik koji se jednostavno instalira iza ispitnog objekta. Ultrazvuk koji se zatim probije ispred objekta prikazuje nezaptiveno mesto.



Slika 57. Ultrazvučni predajnik

### 3.3. MJERENJE RAZLIKE U PRITISKU (BLOWER-DOOR MJERENJE)

Zrakopropusnost predstavlja strujanje zraka kroz omotač objekta koje u velikoj mjeri utiče na energetska karakteristika objekta. Mit je da zgrada treba da ima pukotine i spojeve kako bi mogla da "diše prirodno". Mogućnost većeg protoka zraka kroz ovojnicu za posljedicu ima i veći dotok hladnog zraka u sam objekat. Što je veća količina hladnog zraka koji uđe, to je potrebno više toplote kako bi se održala ista unutarnja temperatura. Time se zagrijava veća količina zraka i troši više energije za zagrijavanje što u konačnici uzrokuje veću potrošnju energije za grijanja i hlađenje odnosno veće troškove. Uslijed neprimjerene zrakopropusnosti omotača objekta, pored veće potrošnje energije, narušava se i toplotni komfor, dolazi do pojave vlage, lošeg kvaliteta zraka u prostoru te povećanja buke. Zgrada se treba provjetravati čestim otvaranjem prozora ili preko sistema za ventilaciju. Zgrada se smatra zaptivenom kada se količina zraka u objektu u uslovima testiranja nerazmjenjuje više od tri puta na sat. Stoga "zaptiven" ne znači hermetički zatvoren objekat, već izbegavanje neželjenih curenja kroz omotač objekta. Ovo je veoma važno jer topao zrak koji odlazi kroz spojeve predstavlja gubitak skupocene energije. U isto vreme, topao zrak transportuje i vlagu koja se hladi na spoljnjem zidu zgrade i kondenzuje se. Ova kondenzacija može prouzrokovati ozbiljna strukturna oštećenja. Spoljašnji zrak koji prodire u zgradu preko spojeva transportuje alergene iz izolacije kao i čestice prašine unutar objekta, što može narušiti zdravlje njegovih korisnika.

### 3.4. TIPIČNA CURENJA UNUTAR OBJEKTA

Curenja ili propuštanja u objektu se često javljaju na konstrukcijskim vezama i prodorima. Kada se planira zračna barijera, ta područja bi trebalo pažljivo razmotriti kako bi se izbjegle kasnije skupe



prepravke. Tipična curenja obično se javljaju u sljedećim zonama:

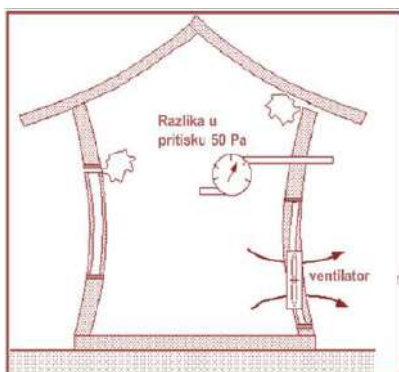
- spojevi komponenata zgrade,
- prodori cijevi i kablova kroz zračnu barijeru,
- spojevi poda i vrata,
- veze različitih građevinskih materijala (npr. masivna/laka konstrukcija),
- nadogradnje i ispusti na fasadama objekta,
- spojevi prozora i spoljnih vrata sa otvorima na zidovima,
- krovni prozori i badže,
- otvori u podu.

Najčešća mjesta propuštanja u zračnom omotaču objekta su okovi prozora i vrata, prodori za instalacije, ventilacijski otvori i sl. (slika 58).

Mjerenje zrakopropusnosti preporučuje se izvršiti neposredno prije završetka vanjske ovojnice objekta. Mjerenje prije završnih fasadnih radova omogućava jednostavnije i jeftinije popravke te brtvljenje mjesta infiltracije u odnosu na popravke nakon završetka završnih radova ili nakon dobivanja upotrebne dozvole za korištenje objekta. Primjeri iz prakse pokazuju da je mjerenje zrakopropusnosti omotača objekta preporučljiva i korisna metoda kako bi se utvrdilo stvarno stanje omotača objekta.

**“Blower door” test** preporučuje se investitorima i izvođačima radova u građevinskom sektoru kao i proizvođačima stolarije u svrhu provjere izgrađenih objekata, odnosno ugrađene stolarije. Postupkom mjerenja razlike u pritisku se može ispitati nepropusnost zraka ovojnice zgrade. Pri ovom postupku mjerenja se zatvaraju svi vanjski otvori, dok npr. unutrašnja vrata u zgradi ostaju otvorena. Na ulaznim vratima postavljen je veliki ventilator koji usisava zrak iz prostora (ispitivanje podpritiska). Pri tome se mjeri koliko zraka struji iznutra prema vani. Mjerna vrijednost (“N50-vrijednost”) navodi koliko se često izmjenjuje volumen zraka zgrade pri razlici pritiska od 50Pa na sat. Vrijednost N50 se ne smije prekoračiti i kod zgrada sa zračenjem prozora 3/h (3-struka zamjena zraka na sat) odnosno 1,5h kod zgrada sa klima uređajima.

Ispitivanje zrakonepropusnosti ovojnice zgrade postavljanjem platna i “Blower door” ventilatora u otvor na fasadi (prozor ili vrata), uz automatsko mjerenje zrakopropusnosti objekta, data je Pravilnikom o tehničkim zahtjevima za toplotnu zaštitu objekata i racionalnu upotrebu energije (“Službene novine FBiH”, br. 49/09, član 23). Ispunjavanje zahtjeva o zrakonepropusnosti dokazuje se ispitivanjem na izgrađenom objektu prema **standard BAS EN ISO 9972:2016** metoda određivanja A.



Slika 58. Curenja ili propuštanja u objektu



Slika 59. “Blower door” ventilator

## 4. EVROPSKI TREND ENERGETSKI EFIKASNE GRADNJE KAO PUTOKAZ ZA BIH

U Evropi je sve zastupljeniji standard gradnje objekata koji troše minimalne količine energije, a takođe se teži i izgradnji objekata koji će biti energetske neovisni ili će čak imati viška energije. Ovakvi objekti rađeni su po principima tzv. zelene gradnje gdje je efikasna upotreba energije s minimalnim uticajem na okoliš, a da se pri tome ne narušava postojeći standard stanovanja i rada.

Direktive EU koje se tiču ove problematike se vrlo sporo transponiraju u BiH zakonodavstvo i bit će potrebno mnogo vremena da ih sustignemo. U Evropskoj uniji svi novoizgrađeni objekti do kraja 2020. godine moraju biti objekti gotovo nulte potrošnje (0 kWh/m<sup>2</sup>).

### 4.1. VRSTE ENERGETSKI EFIKASNIH KUĆA

Energetski efikasna kuća je objekat koji u odnosu na prosječan objekat troši manje energije za hlađenje i grijanje prostora, kao i za pripremu tople vode.

Proces oblikovanja energetske efikasne kuće se razlikuje u modernijem pristupu i spremnosti korištenja novih materijala i tehnologija. Tačne mjerne vrijednosti za utrošak energije za grijanje i pripremu tople vode, kao i tačni tehnički zahtjevi u pogledu izolacije prozora, odzračivanja i hlađenja moraju biti ispunjeni prema odgovarajućim standardima.

Cilj ovakve zelene gradnje nije u prvom redu štednja, već efikasno korištenje energije s najmanjim mogućim uticajem na okoliš, a da se u isto vrijeme ne naruši standard života.


Energetski efikasnim kućama se nazivaju:

1. niskoenergetske kuće (low energy house)
2. pasivne kuće (passive house, ultra-low energy house)
3. kuće nulte energije (zero-energy house or net zero energy house)
4. nezavisne ili autonomne kuće (autonomous building, house with no bills)
5. kuće s viškom energije (energy-plus house)

Najvažniji faktori energetske efikasnosti kuće su:

- izgradnja spoljnih zidova kuće sa materijalima visokih termoizolacionih karakteristika,
- termoizolacija spoljnih zidova od trajnih materijala, visokih termoizolacionih karakteristika,
- termoizolacija podova,
- termoizolacija najviše spratne konstrukcije (betonske ploče) ili krova,
- prozori i staklene površine visokih termoizolacionih karakteristika sa minimalno tri stakla,
- ventilacioni sistemi sa upotrebom rekuperatora toplote,
- štedni (niskotemperaturni) grejni sistemi sa inteligentnim upravljanjem,
- upotreba OIE, toplotne pumpe sa visokim energetske karakteristika i visokim stepenom uštede energije,
- upotreba OIE, solarna energija - Termalna i fotonska energija Sunca za dobijanje toplotne i električne energije.

Tabela 2. Energetski efikasna kuća

Tipologija	Potrebna toplotna energija za grijanje	Slika objekta
<b>Niskoenergetska kuća</b> (low energy house)	40-60 kWh/m <sup>2</sup> a	
<b>Pasivna kuća</b> (passive house, ultra-low energy house)	15 kWh/m <sup>2</sup> a	
<b>Kuća nulta energije</b> (zero-energy house or net zero energy house)	Energija za grijanje i pripremu tople vode se dobija iz Sunčeve energije, iako nije nezavisna od javne elektroenergetske mreže.	
<b>Energetski nezavisna kuća</b> (autonomous building, house with no bills)	Potrebna energija (grijanje, priprema tople vode, električna energija) se dobija iz Sunčeve energije i nezavisna je od javne elektroenergetske mreže.	
<b>Ključa s viškom energije</b> (energy-plus house)	Uz proizvodnju potrebne energije, dobija se i višak električne energije koja se predaje (prodaje) javnoj elektroenergetskoj mreži.	

#### 4.1.1. Niskoenergetske kuće

Niskoenergetska ili "trolitarska" kuća je naziv za objekat koji troši 30% manje energije od klasično građene kuće, ali više od tzv. pasivne kuće. Ovakva kuća na grijanje godišnje troši otprilike 3 lit/m<sup>2</sup> lož ulja ili 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> prirodnog plina ili 6 kg/m<sup>2</sup> drvenih peleta. Zato se takve kuće nazivaju još i "trolitarske kuće". Ovakav tip kuća pruža visok stambeni komfor s ugodnom klimom tokom cijele godine bez standardnih sistema grijanja i hlađenja, uz vrlo niske troškove na račun energenata. Niskoenergetske kuće u pravilu koriste najefikasniju toplotnu izolaciju, energetski efikasnu stolariju, niske nivoe propuštanja zraka i toplotnu obnovu u ventilaciji za manje energije potrebne za grijanje i hlađenje.

Mogu se također koristiti i standardi prema pasivnim solarnim tehnikama dizajna ili aktivne solarne tehnologije (ugradnja solarnih kolektora i fotonaponskih ćelija), kao i tehnologije za recikliranje toplote

iz vode koja je korištena kod tuširanja ili u stroju za pranje posuđa. Ne postoji globalno prihvaćena definicija niskoenergetske kuće. Razlog tome su značajne varijacije u nacionalnim standardima. Kuće koje su izgrađene u sjevernijim, hladnijim krajevima imaju drukčije raspoređenu potrošnju energije, zimi više griju, ali ljeti ne moraju hladiti.

Niskoenergetska kuća napravljena po standardima jedne države ne mora biti niskoenergetska po standardima druge države. Primjerice, u Njemačkoj niskoenergetska kuća ima ograničenje u potrošnji energije za grijanje prostorija od 50 kWh/m<sup>2</sup> godišnje, dok se u Švicarskoj za grijanje prostorija ne smije se koristiti više od 42 kWh/m<sup>2</sup> godišnje. U ovome trenutku se kod prosječne niskoenergetske kuće u spomenutim državama dostiže otprilike polovica tih iznosa, odnosno između 30 kWh/m<sup>2</sup> godišnje i 20 kWh/m<sup>2</sup> godišnje za grijanje prostorija. U Hrvatskoj se prilikom definiranja niskoenergetske kuće uzima vrijednost od 30 kWh/m<sup>2</sup> godišnje za grijanje prostorija jer je klima povoljnija od one u Njemačkoj i Švicarskoj. Ova vrijednost bi u praksi trebala na jugu biti i znatno niža zbog većeg broja sunčanih dana.



*Slika 60. Niskoenergetska kuća troši 30% manje energije od klasično građene kuće*

#### **4.1.2. Pasivne kuće**

Pasivna kuća je vodeći standard kod energetske efikasne gradnje. I samo ime joj otkriva princip funkcioniranja – toplom se održava “pasivno“, dakle bez aktivnog sistema zagrijavanja i klimatizacije.

Osnovna svojstva pasivne kuće:

- objekat treba biti kompaktan u svome obliku,
- nastojati objekat orijentirati prema jugu,
- velike staklene frontalne površine okrenute prema jugu i relativno mali prozori okrenuti prema sjeveru,
- izbjegavati složene oblike konstrukcije,
- temperatura unutar kuće je jednaka u svim prostorijama,
- velik je otpor toplotnom toku (radi kvalitetne izolacije) pa nema hladnih vanjskih zidova,
- građen je vanjski zrakonepropusni omotač visokog kvaliteta, superzabrtvljenost građevine,
- zrak je čist i svjež, sofisticirani sistemom ventilacije sa rekuperacijom zraka rekuperacija toplote zraka >75%,
- unutar kuće temperatura se sporo mijenja, s ugađenim sistemom ventilacije i grijanja,
- temperatura pada manje od 0,5 °C dnevno, stabilizirajući se na 15°C u klimi srednje Europe,
- otvaranje vrata i prozora na kratko vrijeme ima izrazito mali uticaj, a nakon zatvaranja se vrlo brzo vrati na “normalnu“ temperaturu,

- prozori su sa troslojnim staklima punjenima plinom, Prozori  $U_w < 0.8W/m^2K$ ,
- ne smije biti toplotnih mostova.

Takva kuća treba čak 90% manje energije od uobičajenog objekta i 75 % manje od današnje vrste prosječnog novosagrađenog objekta. Ona koristi izvore energije u svojoj unutrašnjosti, kao što su toplota Sunca, toplota tijela ljudi koji u njoj žive te toplota električnih uređaja. Sa najvećom dopuštenom potrošnjom za grijanje i hlađenje (prema propisima) do  $15 kWh/m^2$  godišnje toplotne energije po jedinici korisne površine, potrebe za toplotom grijanja višestruko su ispod onih kod niskoenergetske kuće. Pasivna kuća otplaćuje samu sebe, ona nije zaštićeni proizvod, već građevinski koncept, koji svima stoji na raspolaganju.



Slika 61. Pasivna kuća troši do  $15 kWh/m^2$  godišnje

#### 4.1.3. Kuće nulte energije

Kuća nulte energije (eng. *zero-energy house*) je objekat s nultom energetsom potrošnjom i nultom emisijom ugljendioksida godišnje. To znači da bi takva kuća mogla biti nezavisna od energetske mreže. Međutim, praksa pokazuje da se u nekim periodima energija dobiva iz energetske mreže, a u drugima se vraća u energetska mrežu. Kuća koristi obnovljive izvore energije koji su u svome djelovanju većinom sezonski. Kako bi se postigao ovakav standard energija se mora generirati unutar kompleksa koristeći obnovljive izvore energije koji ne zagađuju okoliš. Kuće nulte energije zanimljive su i zbog zaštite okoliša jer se zbog obnovljivih izvora energije ispušta vrlo malo stakleničkih plinova.

Postoji više različitih kuća nulte energije:

- Kuća sa nultom potrošnjom unutar kompleksa je kuća koja energiju proizvodi koristeći obnovljive izvore energije što je jednako energiji koja je potrošena unutar kompleksa.
- Kuća sa nultom potrošnjom izvorne energije označava kuću koja proizvodi istu količinu energije koju i potroši, a uz to mora proizvesti i energiju koja se troši prilikom transporta energije do kuće. U kalkulaciju se ubrajaju i gubici prilikom prijenosa električne energije. Ova vrsta kuće nulte energije mora generirati više električne energije od kuće s nultom potrošnjom energije unutar kompleksa.
- Kuća sa nultom energetsom emisijom je kuća bez ugljičnog otiska ili kuća bez emisija. Pod ovom definicijom podrazumijeva se balansiranje ugljičnih emisija koje su generirane upotrebom fosilnih goriva unutar ili izvan kompleksa s količinom energije koja je unutar kompleksa proizvedena koristeći obnovljive izvore energije. Ostale definicije ne uključuju samo emisije ugljika u fazi korištenja kuće, već se dodaju i emisije nastale prilikom konstruiranja i izgradnje kuće. Postoje još i

debate oko toga trebaju li se u kalkulaciju uzeti i emisije nastale zbog prijenosa energije prema kući i iz kuće natrag u mrežu.

- Kuća sa nultom cijenom energije je kuća koja cijenu kupovanja energije balansira s cijenom energije koja se prodaje mreži, a generirana je unutar kompleksa. Ovakav status ovisi o tome kako distributer energije nagrađuje generiranje energije unutar kompleksa (isplata, kompenzacija, ili nešto drugo).
- Kuća sa nultom potrošnjom energije van kompleksa se smatra kućom nulte energije i u slučaju kad je 100% energije koju kupuje generirano pomoću obnovljivih izvora energije, čak i ako su ti izvori energije van kompleksa.
- Kuća odvojena od mreže označava kuće nulte energije koje nisu priključene ni na kakav izvor energije koji nije unutar kompleksa. Takve kuće zahtijevaju distribuiranu proizvodnju energije iz obnovljivih izvora i pripadajuće kapacitete za pohranu te energije (za slučaj kad Sunce ne sija, vjetar ne puše i slično).



*Slika 62. Kuća s nultom energetsom potrošnjom koristi obnovljive izvore energije*

#### **4.1.4. Energetski nezavisna ili autonomna kuća**

Nezavisna kuća u osnovi je vrsta zgrade koja bi trebala normalno funkcionirati autonomno od infrastrukturne podrške izvana. Ona nema priključka na mrežu za distribuciju električne energije, vodovod, kanalizaciju, odvodnju, komunikacijsku mrežu, a u nekim slučajevima nema ni priključka na javne prometnice. Takav objekta svu potrebnu energiju za grijanje, hlađenje, potrošnu toplu vodu, rasvjetu i ostala trošila dobiva pretvorbom i pohranom solarne energije ili nekog drugog obnovljivog izvora energije. Dakle, energetski nezavisne kuće, za razliku od ostalih nultih energetskih kuća, višak proizvedene energije ne puštaju u mrežu jer nisu spojeni na nju, nego pohranjuju tu energiju kako bi je mogli koristiti zimi kada se proizvodi manje energije.



*Slika 63. Nezavisna kuća*

#### 4.1.5. Kuće s viškom energije

Kuća s viškom energije ima luksuz proizvodnje energije, odnosno ona u prosjeku tokom cijele godine proizvede više energije koristeći obnovljive izvore energije nego što je uzme iz vanjskih sistema.

To je moguće ostvariti upotrebom malih generatora električne energije, niskoenergetskih tehnika gradnje poput pasivnog solarnog dizajna kuće te pažljivog odabira lokacije za kuću. Većinom je takvu kuću s viškom energije teško razlikovati u odnosu na tradicionalne kuće jer jednostavno koriste najefikasnija energetska rješenja (aparati, grijanje...) kroz cijelu kuću. U nekim razvijenim državama firme za distribuciju električne energije kupuju višak energije iz takvih kuća tako da ovakav tip kuće, umjesto troška, predstavlja izvor prihoda za vlasnika.



Slika 64. Kuća s viškom energije

## 2.2. POSTIZANJE KARAKTERISTIKA NISKOENERGETSKIH I PASIVNIH KUĆA

Već poznati preduslovi za dobru niskoenergetsku ili pasivnu kuću su visoko kvalitetne komponente, odlična toplotna izolacija ovojnice, vrhunska stolarija, građevinska zračna nepropusnost, odgovarajuće grijanje i ventilacija.

1. Izolirajući vanjske zidove minimiziramo gubitke toplote kroz omotač zgrade. Prosječni koeficijent prijelaza toplote vanjskih zidova pasivne kuće je manje od  $0,100 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Pri tome ugrađuje se u zidove izolacija koja ima bolje karakteristike od klasične koja se ugrađuje na ovim prostorima.
2. Ugradnja prozora sa troslojnim izolacijskim staklom (ili dvoslojnim low-e), što omogućava iskorištavanje Sunčevog zračenja. Tim dobivamo besplatno najviše unutarnje površinske temperature i tako utičemo na veću udobnost stanovanja.
3. Zrakotijesnost vanjskih zidova ( $N50 < 0,6/h$ ) - sprečavamo gubitak toplote na štetu nekontrolirane ventilacije, ali i sa odličnom izolacijom smanjujemo potrošnju energije.
4. Kontrolirani ventilacijski sistem, energetski efikasan. Izvana dolazi svjež zrak kroz filtere koji zadržavaju prašinu i pelud kroz dobro izolirane cijevi do naprave za upuhivanje. Iz kuhinje, kupaonice i WC-a se isisava topli, istrošeni i vlažni zrak koji u protustrujnom izmjenjivaču toplote u ventilacijskom uređaju predaje svoju toplotu hladnom svježem zraku. Tako svjež zrak dolazi do prostora bez dodatnog zagrijavanja. Za smanjenje buke ventilacija je u cijelom sistemu opremljena prigušivačima zvuka.
5. Sistemom kontrolirane ventilacije s povratom toplote izduvnog zraka dobija se na svim mjestima uvijek svjež zrak, bez neugodnih mirisa i osjećaja propuha.

6. Ugradnjom toplotne pumpe zadovoljavamo minimum energije koji je potreban u pasivnoj kući za grijanje i toplu vodu. Toplotna pumpa crpi toplotu iz zemljanog kolektora koji se sastoji od sistema ukopanih cijevi ispunjen mješavinom vode i glikola. Pored tradicionalnog horizontalnog zemljanog kolektora sve se više ugrađuju kompaktni zemljani kolektori u obliku košare i geosonde. Tako dobivena toplotna energija se akumulira u spremnik toplote i koristi se za niskotemperaturno grijanje i grijanje tople vode.
7. Solarna fotonaponska energija i grijanje vode putem solarnih kolektora - solarnu energiju već na našim kućama koristimo za grijanje kroz staklene površine. Odgovarajućom ugradnjom solarnih modula – fotonaponskih sistema, solarnu energiju koristimo za proizvodnju električne struje i tako dobivamo besplatan i neiscrpan izvor energije. Solarna energija u solarnim ćelijama koje su rađene od amornog silicija elementa kojeg ima najviše na zemaljskoj kugli, direktno se pretvara u istosmjerni napon koju pretvarač pretvara onda u izmjenični napon koji je prosljeđuje u instalacije struje. Panele ugrađujemo pod ispravnim uglom okrenute što je moguće bliže pravom jugu.

## 5. PRIMJENA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE – USLOV ZA NISKOENERGETSKU GRADNJU

Obnovljiva energija je energija koja se dobiva iz prirodnih izvora kao što su Sunce, vjetar, geotermalna energija, rijeke, mora i drugi, a koji su obnovljivi (samonadopunjivi). Moguće je razdvojiti obnovljive izvore energije na one čijim se iskorištavanjem stvara CO<sub>2</sub> (glavni staklenički plin i glavni krivac za globalno zagrijavanje) i one koji ga ne stvaraju. Neki od obnovljivih energenata koji svojim korištenjem (sagorijevanjem) stvaraju CO<sub>2</sub> su npr. bioetanol i biodizel. Ono što ih čini ekološki prihvatljivim je činjenica da se proizvode od biljaka (koje ponovo mogu izrasti) i što se njihovim izgaranjem ispušta upravo onoliko CO<sub>2</sub> koliko su biljke od kojih se proizvode generirale u sebe tokom svog rasta.

Osim oranica za uzgoj kultura za biogoriva, BiH je bogata i izvorima obnovljivih energija koje uopće ne stvaraju CO<sub>2</sub> i koje se mogu komercijalno koristiti: Sunce, potencijalna geoenergija, geotermalna energija, vjetar i hidroenergija. Veliki dio njih je moguće koristiti u zgradarstvu. Pri tome se ne misli na korištenje ekološke energije koja je negdje drugdje proizvedena, već na integraciju sistema za njenu aktivnu proizvodnju u samoj zgradi, na način da zgrada i energija postanu jedan nedjeljivi sistem.

Zgrade se mogu projektirati tako da energiju koriste pasivno i aktivno. Pasivni sistemi koriste energiju, uglavnom toplotnu (dobivenu iz Sunca ili tla), bez pretvaranja i dodatne potrošnje na distribuciju. Jednostavno rečeno – automatski, koristeći jedino zakone fizike i mudro oblikovanu arhitekturu. Aktivno korištenje energije podrazumijeva sisteme za manipulaciju, pretvaranje, transport i regulaciju raznih oblika energije.

Tako se od prije navedenih izvora energije na aktivan način u zgradarstvu koriste:

- **Sunce** → solarni toplotni i fotonaponski kolektori
- **potencijalna energija zemlje, vode i zraka** → toplotne pumpe
- **geotermalna energija** → izdvojeni sistemi za zagrijavanje vode i grijanje
- **vjetrovi** → vjetrenjače i vjetroturbine (da, u zgradarstvu).



## 5.1. ENERGIJA SUNCA

Sunce se kao izvor energije u arhitekturi koristi od njenih početaka, naravno na pasivan način. Tek u 20. vijeku, razvojem tehnologije i svijesti, počinje i aktivna primjena Sunčeve energije u zgradama. Danas su dva osnovna načina korištenja njegove energije: toplotni i fotonaponski.

Kod toplotnog načina se koristi toplotni spektar Sunčevog zračenja kako bi se zagrijao tečni medij u solarnim toplotnim kolektorima. Tim se medijem (kroz cjevovode i preko izmjenjivača toplote) zagrijava potrošna topla voda i voda u sistemima centralnog grijanja. Toplotni način ima jednostavniji princip dobivanja energije, ali složeniji sistem transporta i pretvorbe, kao i ograničenje da se ta energija može koristiti jedino za grijanje vode ili zraka. Toplotni solarni kolektori se proizvode u dva osnovna tipa: pločasti i s vakuumskim cijevima. Kolektori s vakuumskim cijevima su efikasniji, ali i skuplji.

Kod fotonaponskog principa se koristi sposobnost svjetlosti da u određenim materijalima izazove izbijanje elektrona, tj. da stvori električnu struju. Ovdje solarni fotonaponski kolektori proizvode istosmjernu električnu struju koja se dovodi do akumulatorske stanice na pohranu. Takva se energija zatim može koristiti za razne namjene, bilo kao originalno proizvedena istosmjerna struja (6, 12 ili 24V), bilo pretvorena u izmjeničnu struju napona 220V.

Cijeli sistem za solarno grijanje vode čine:

- solarni kolektori (pločasti ili cijevni),
- spremnik tople vode,
- programabilna automatika za upravljanje,
- spojni cjevovod s ekspanzionom posudom.



*Slika 65. Komplet za solarno grijanje vode*

Postoje i manji integrirani, tzv. termosifonski sistemi za solarno zagrijavanje tople vode, kod kojih se spremnik tople vode nalazi na krovu, neposredno uz kolektor. Ti sistemi su jeftiniji od sistema sa spremnikom tople vode u kotlovnici, ali imaju brojne druge nedostatke: povećana težina na krovu, veliki gubici toplote spremnika, manji kapacitet, kraća trajnost sistema, povećani troškovi održavanja i vizualna neprivlačnost. Primjenjivi su isključivo za pripremu potrošne tople vode, pa su preporučljivi samo kod manjih objekata za povremeno korištenje u toplim mjesecima (vikendice i sl.).

Pločasti solarni kolektori se sastoje od površine koja upija Sunčevo toplotno zračenje, prozirne mehaničke zaštite s gornje strane i toplotne izolacije s donje strane kolektora. Apsorpcijska površina je

crne boje kako bi što efikasnije prenijela toplotu na radni medij (zrak ili tečnost) koji uz nju cirkulira. S gornje strane se stavlja staklena ili plastična ploča velike prozirnosti koja ima ulogu mehaničke zaštite i očuvanja visoke temperature unutar kolektora.

Sistem rada pločastog solarnog kolektora je vrlo jednostavan. Radni medij prelazi preko ugrijane apsorpcijske površine u kolektoru i tako se zagrijan odvodi do mjesta gdje je potreban (klima komore, spremnici tople vode, izmjenjivači toplote i sl). Pločasti solarni kolektori su vizuelno dopadniji i cjenovno povoljniji od vakuumskih kolektora, ali imaju manju iskoristivost, naročito kod položenijeg ugla upada Sunčevih zraka.

Cijevni solarni kolektori se sastoje od niza staklenih cijevi pod vakuumom (zato se ti kolektori nazivaju i vakumskim). Unutar njih je metalna cijev (najčešće bakarna) u kojoj se nalazi tečnost koja uslijed zagrijavanja isparava, diže se kao vrući plin do izmjenjivača gdje grije prenosni medij (najčešće vodu). Tu se hladi, prelazi u tečno stanje i curi na dno cijevi za ponovni ciklus.



*Slika 66. Pločasti solarni kolektori*



*Slika 67. Cijevni solarni kolektori*

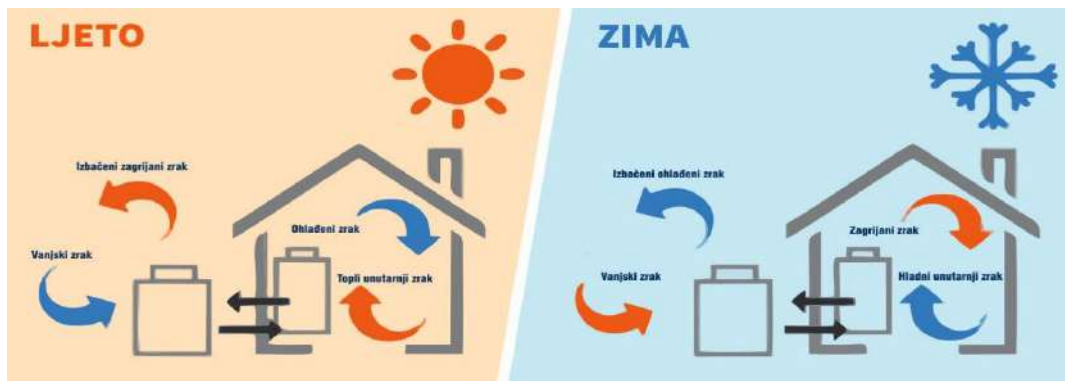
Cijevni solarni kolektori se mogu postaviti pod bilo kojim uglom, a da njihova djelotvornost ne bude znatnije narušena. Naročito su podesni za područja ili periode slabijeg Sunčevog zračenja. Imaju i do 30% veću efikasnost od pločastih kolektora, ali i puno veću cijenu. Zbog toga je njihova primjena isplativa uglavnom na objektima s malom slobodnom površinom krova za montažu kolektora, u krajevima sa slabim osunčanjem, ili niskom vanjskom temperaturom (npr. u planinama).

Solarni sistemi za grijanje su jednostavan, povoljan i široko primjenjiv sistem iskorištavanja obnovljive i besplatne energije u zgradarstvu. Isplativi su u svim područjima naše zemlje, kako za individualne objekte, tako i za višestambene zgrade, te poslovne i industrijske objekte.

## **5.2. ENERGIJA IZ TLA, VODE I ZRAKA**

Potencijalna energija tla, vode i zraka je karakteristika pojedinog medija da zbog svoje velike količine služi kao neiscrpan spremnik stalne temperature. Zemljana kora već na malim dubinama ima gotovo nepromjenjivu temperaturu, bez obzira na temperaturu zraka iznad. Tako već na dubini od 2m temperatura zemlje varira između 7 i 13°C, a temperatura podzemnih voda je od 8 -12°C i zavisi od dubine sa koje se voda crpi. Na isti je način, kao izvor stalne temperature, moguće koristiti i riječnu, jezersku ili morsku vodu, premda su ti primjeri rjeđi zbog zahtjeva za povoljnom lokacijom (blizinom

vode). Tehnički i ekonomski najpristupačniji način korištenja potencijalne energije je iz zraka. Razlog je dostupnost vanjskog zraka u svim krajevima, na svim dijelovima zemljišta i etažama. Sve spomenute oblike potencijalne energije moguće je iskoristiti u zgradarstvu uz pomoć toplotnih pumpi. To su uređaji koji koriste termodinamičke principe izmjene energije između gore spomenutih izvora i cirkulirajućeg medija, i u konačnici griju ili hlade prostore.



Slika 68. Toplotna pumpa zrak-zrak

Glavna prednost toplotne pumpe je njihova efikasnost jer proizvode i preko 3 puta više energije nego što je utroše. Taj se odnos naziva faktor učinka i označava sa COP (Coefficient Of Performance), a predstavlja odnos dobivene energije naspram uložene. Prema tome, COP 4 bi označavao uređaj koji uz 1kW potrošene električne energije proizvodi 4kW toplotne energije za grijanje ili hlađenje. Razlika od 3kW je besplatno dobivena iz obnovljivih izvora (tla, vode ili zraka).

Kako za svoj pogon koriste električnu energiju, toplotne pumpe se često kombinuju s fotonaponskim solarnim kolektorima, te tako mogu postati potpuno neovisan sistem za grijanje/ hlađenje na čistu, obnovljivu i besplatnu energiju.

### 5.2.1. Proces kod grijanja

Kod grijanja se u toplotnoj pumpi odvija tzv. Carnotov fizikalni proces koji se sastoji od četiri osnovne faze:

- Faza 1 – Toplotna pumpa uzima toplotu od izvora (tlo, voda ili zrak) i prenosi je na tečni radni medij niske temperature. Radni medij se zagrijava i prelazi iz tečnog u plinovito stanje. Zbog toga se mjesto gdje se to dešava zove isparivač.
- Faza 2 - Plinoviti radni medij se dovodi u električni kompresor gdje se stješnjuje, čime mu se dodatno povećava temperatura.
- Faza 3 - Plinoviti radni medij visoke temperature se zatim dovodi u kondenzator gdje prenosi toplotu na prenosni medij (vodu ili zrak).
- Faza 4 - Na kraju se radni medij propušta kroz ekspanzijski ventil gdje mu se naglo povećava volumen, a smanjuje pritisak i temperatura. Time se radni medij pothlađuje i ukapljuje (prelazi nazad u tečno stanje), i spreman je za novi ciklus.

Rezultat procesa je zagrijani prijenosni medij (voda ili zrak) koji se koristi za grijanje prostorija i potrošne tople vode.

### 5.2.2. Proces kod hlađenja

U ciklusu hlađenja se koriste iste faze kao i kod grijanja, ali u suprotnom smjeru, a postupak je principijelno jednak onom u običnom frižideru ili klima uređaju. Veliku efikasnost ovdje pokazuju sistemi koji za izvor energije koriste tlo ili vodu, jer ti mediji imaju stalnu i relativno nisku temperaturu. Tada nema potrebe za dodatno hlađenje radnog medija električnom energijom, već se koristi isključivo besplatna i obnovljiva energija izvora. Rezultat je ohlađeni prenosni medij (voda ili zrak) koji se koristi za hlađenje prostorija. Zavisno od toga šta se koristi kao izvor energije (tlo, voda ili zrak), a šta kao medij za prijenos energije (voda ili zrak), razlikuju se i sistemi toplotnih pumpi.

### 5.2.3. Tlo kao izvor energije

Tlo predstavlja vrlo dobar izvor energije za toplotne pumpe (COP faktor učinka iznad 4). Za zahvat energije iz tla (sistemi tlo-zrak i tlo-voda) postoji nekoliko načina na koje je moguće ugraditi mrežu cijevi ili kanala. Glavni oblici su: sonde, bunari, registri, razni oblici mreža i dr. O odabiru ispravnog oblika uvelike ovisi i cijena cijelog sistema, ali je izbor često uvjetovan veličinom parcele i sastavom tla. Plitko postavljanje (nekoliko metara u dubinu) je ekonomski povoljnije, ali zahtijeva veću površinu terena. Sonde i bunari se izvode u većim dubinama (sonde od 60m pa i do 200m), ali su manje zahtjevni za površinom, iako i oni traže međusobni razmak barem 10-15m.

Toplotne pumpe koje kao izvor energije koriste tlo imaju jedan nedostatak - vrlo visoke troškove ugradnje sistema zbog skupih geomehaničkih radova i količine ugrađenog materijala. Stoga je izuzetno važno prethodno izraditi studiju isplativosti i na temelju nje odabrati sistem i način ugradnje.

### 5.2.4. Voda kao izvor energije

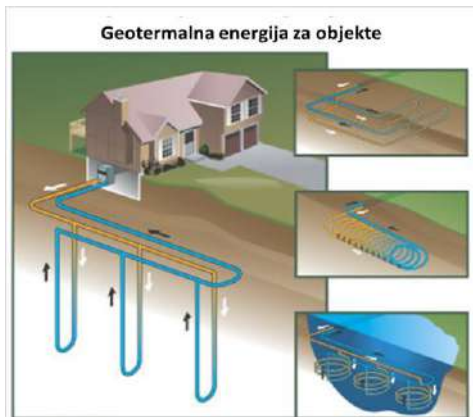
Voda kao izvor toplote daje najveću efikasnost (COP faktor učinka veći od 5) uz relativno male troškove instalacije (sistemi voda-zrak i voda-voda). Međutim, ovi sistemi zahtijevaju povoljan položaj, tj. pristupačnost izvora, pa su nažalost rijetko primjenjivi.

### 5.2.5. Zrak kao izvor energije

Gotovo univerzalno primjenjiv izvor je zrak (COP faktor učinka iznad 3), pa su danas sistemi zrak-zrak i zrak-voda najrašireniji i imaju sve brži trend primjene. Samim time, tehnologija im je sve jednostavnija, efikasnija i jeftinija. Po cijeni su sve više konkurenti standardnim rješenjima plinskog grijanja, a da se o električnom grijanju niti ne govori. Toplotne pumpe u savremenoj izvedbi su gotov industrijski proizvod koji se može kombinirati s drugim sistemima (solarnim toplovodnim sistemima, fotonaponskim kolektorima, konvencionalnim grijanjem i dr).

Sistemi grijanja/ hlađenja prostora toplotnim pumpama su niskotemperaturni sistemi. To znači da je voda u sistemu grijanja na nižoj temperaturi (oko 40°C) od konvencionalnog načina (oko 80°C). Da bi niskotemperaturni sistemi bili efikasni potrebna je puno veća površina grijaćih tijela, pa se najčešće izvode kao podna grijanja. Moguća je i izvedba zidnih i stropnih sistema grijanja, ali oni imaju više spornih nego kvalitetnih karakteristika. Drugi uslov za optimalno korištenje toplotne pumpe je dobar energetska razred zgrade, jer je u suprotnom potrebno njihovo predimenzioniranje, pa se gubi

ekonomska isplativost. Toplotne pumpe, u kombinaciji s podnim grijanjem i ventilokonvektorskim hlađenjem, trenutno predstavljaju optimalno rješenje za energetske ravnotežu prosječne zgrade.



Slika 69. Načini postavljanja instalacija u tlu

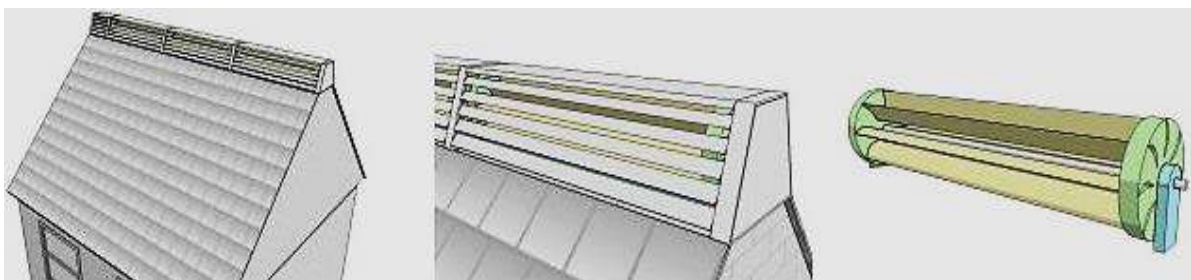


Slika 70. Unutrašnja i vanjska jedinica  
Toplotne pumpe zrak-voda

### 5.3. ENERGIJA VJETRA

Vjetar je do sada vrlo malo korišten kao izvor energije u arhitekturi. Razlog tome su problemi koji nastaju kada se velike vjetroelektrane pokušaju instalirati na zgrade. Zbog velike mase i brzina elisa dolazi do vibracija i buke koje nisu prihvatljive u prostoru gdje borave ljudi.

U svijetu postoje brojni proizvođači koji inovativnim dizajnom i materijalima nastoje povećati efikasnost malih vjetroelektrana. Nažalost, iako energija iz vjetra trenutno predstavlja najpovoljniji oblik obnovljive energije, sa smanjenjem vjetroelektrana na veličinu podesnu za primjenu u arhitekturi drastično opada njihova iskoristivost. Posljedica toga je veliki rast cijene po proizvedenoj jedinici energije.



Slika 71. Ridge Blade turbina

Vjetroelektrane se dijele na dva osnovna tipa: s vertikalnom i horizontalnom osom rotacije. Prednost vertikalne ose rotacije je u tome što hvata vjetar iz svih smjerova bez gubitka snage. Vjetroelektrane s horizontalnom osom rotacije moraju biti montirane na nosače koji se mogu sami usmjeravati prema vjetru, kako bi uvijek "lovili" njegovu maksimalnu snagu.

Na našem tržištu već danas postoji ponuda malih vjetroelektrana za dobivanje struje iz vjetra, a koje su namijenjene za obiteljske kuće i manje zgrade. Stoga je za očekivati veći porast primjene i ovog

oblika besplatne i ekološke energije i u našim krajevima, prvenstveno u primorskim područjima poznatim po buri.



Slika 72. Osnovni tipovi vjetroelektrana na zgradama

## 5.4. REKUPERACIJA

### 5.4.1. Kvalitet zraka u energetske efikasnim objektima

Današnja novogradnja sa “debelom“ toplotnom izolacijom, dobrim prozorima (i do 3 stakla) koji brtve skoro 100%, rezultat je naše želje za smanjenjem troškova grijanja/ hlađenja kuće, stana ili sl. Načini dobre gradnje idu tako daleko da se sve više grade tzv. pasivne kuće koje imaju vrlo malu godišnju potrebu za toplotnom energijom (do 15 kWh/m<sup>2</sup> prostora).

U svemu ovome pojavljuje se jedan problem. Ugradnjom vanjske stolarije koja je skoro 100% zrakonepropusna dovodimo u pitanje kvalitet zraka koji je važan faktor zdravog i udobnog življenja. Iz navedenoga slijedi da novogradnjom nastaju kuće koje možemo poistovjetiti s pojmom “termos boce“ – toplotu drže, a zrak ne propuštaju.

Svježiji zrak u navedene kuće može ulaziti otvaranjem vrata, kod ulaska ili izlaska iz kuće, i otvaranjem prozora, zbog potrebe provjetravanja prostora. Otvarati prozore zimi/ljeti (ili ih držati poluotvorene) zbog provjetravanja u direktnoj je suprotnosti s našim glavnim ciljem – da je svrha gradnje kuće s dobrom toplotnom izolacijom smanjenje troškova grijanja/hlađenja.

Unošenje vlage u zrak boravišnog prostora svakodnevno se događa, a najčešći “krivci“ su kuhanje, tuširanje, peglanje, sušenje rublja pa i ljudsko znojenje. Stručna literatura navodi da jedna prosječna obitelj u jednom danu proizvede 5 -12 kg vlage koja se integrira u boravišni zrak. Prekomjerna vlaga u prostoru negativno utiče na građevinsku konstrukciju. Može doći do stvaranja plijesni, razvoja bakterija i grinja, što sve zajedno utiče na naš respiratorni sistem.

Kako bi se spriječile navedene negativnosti potrebno je unosom svježeg zraka osigurati minimalno 0,5 izmjena zraka u jednom satu. Ovisno o namjeni prostora, broj izmjena je podložan promjenama.

Npr. prostorija 16 m<sup>2</sup> x 2,7 m visine = 43,2 m<sup>3</sup>

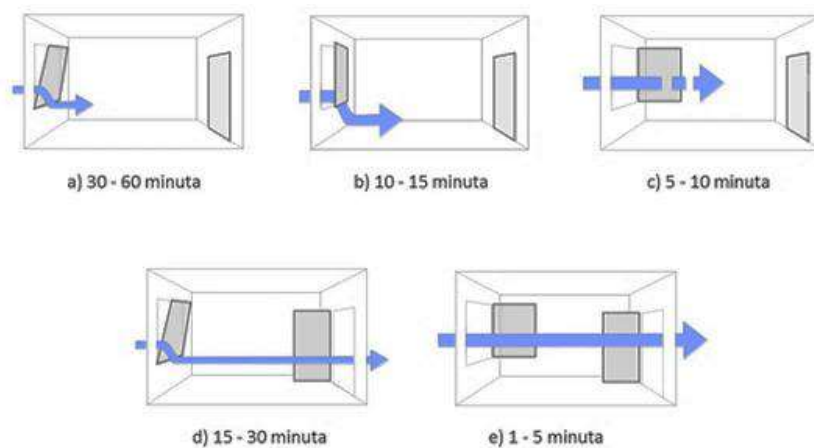
43,2 x 0,5 = potrebno 21,6 m<sup>3</sup> u jednom satu svježeg zraka.

Koliko zraka unosimo prirodnim provjetranjem?

U navedenom primjeru (u nastavku) je prikazano koliko je potrebno vremena da se zrak u jednoj prostoriji u potpunosti izmijeni. Prikazano vrijeme je orijentacijsko i ovisno je o više faktora: otvorenosti prozora, veličini prozora i prostorije, uticaja vjetra i sl.

Npr. spavaća soba, dvije osobe, prostorija  $16 \text{ m}^2 \times 2,7 \text{ m} = 42,3 \text{ m}^3$ , min. potrebna količina zraka za dvije osobe =  $2 \times 20 \text{ m}^3/\text{h} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ , iz čega slijedi da se cjelokupni volumen zraka u prostoriji treba izmijeniti u cca jednom satu.

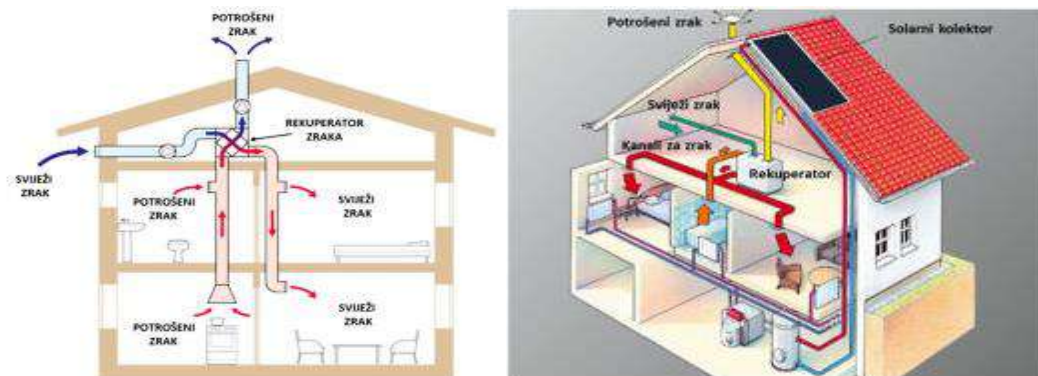
Na slici 73 je dat prikaz načina izmjene zraka provjetranjem prostorije i vremena koje je potrebno da bi se u prostoru dobila dovoljna količina svježeg zraka.



Slika 73. Načini izmjene zraka u prostoriji provjetranjem

#### 5.4.2. Primjena sistema rekuperacije zraka

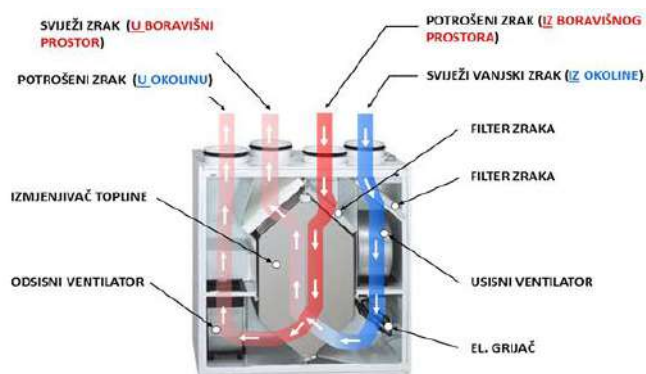
U svim tipovima niskoenergetskih kuća rezultati uštede energije za grijanje postižu se sistemima rekuperacije. Primjenom sistema s rekuperacijom zraka više ne postoji potreba za otvaranjem prozora jer se u tom slučaju kontinuirano osiguravaju dovoljne količine svježeg zraka.



Slika 74. Objekat sa sistemom rekuperacije zraka

Rekuperacija zraka je postupak izmjene "potrošenog" boravišnog zraka sa svježim zrakom iz vanjske okoline u uređaju koji se naziva - rekuperator zraka, na način da:

- U zimskom periodu, “potrošeni“ sobni topli zrak tokom svog prolaska kroz rekuperator zagrijava svježi zrak koji dolazi izvana (grije ga) i takav dogrijani svježi zrak ulazi u boravišni prostor.  
Rezultat: u prostor smo ubacili topli svježi zrak, dok bi na klasičan način izmjene zraka npr. otvaranjem prozora u prostor ubacili svježi zrak – ali hladan. Ovime smanjujemo potrebnu energiju za grijanjem prostora.
- U ljetnom periodu, “potrošeni“ klimatizirani zrak iz prostora, tokom svojeg prolaska kroz rekuperator, hladi svježi topli zrak koji dolazi izvana i ulazi u boravišni prostor.  
Rezultat: u prostor smo ubacili djelimično ohlađeni svježi zrak, dok bi na klasičan način izmjene zraka npr. otvaranjem prozora u prostor ubacili svježi zrak – ali topli. Ovime smanjujemo potrebnu energiju za hlađenjem prostora.



Slika 75. Rekuperator

Sistem je primarno namijenjen za novogradnju, jer se cijevni razvod zraka izvodi u spušenom stropu, betonskoj međuspratnoj ploči i/ili podnom estrihu. Zbog promjena u presjeku međuspratnih slojeva, visina i sl. obavezna je saradnja sa arhitektima. Rekuperatori (kao vidljivi dio) najčešće se ugrađuju u: vešeraj, ostave, podrum, potkrovlje (obavezno grijano).

Rekuperacija zraka se prilično teško primjenjuje u već izgrađenim prostorima, jer je cjelokupni cijevni razvod potrebno obložiti. Potrebno je najčešće pri stropu izraditi mnogo prodora za prolaske cijevi (problemi s postojećim razvodom struje i sl.), problem pronalaska odgovarajuće lokacije za smještaj rekuperatora i sl. Za ovakve prostore postoji rješenje ugradnje tzv. MINI rekuperatora, gdje svaka prostorija unutar stana dobiva svoj rekuperator. On se ugrađuje na vanjski zid sobe, na korisniku prihvatljivom mjestu. Iz rekuperatora je potrebno u zidu napraviti prodor promjera 200-250 mm kako bi se ostvarila izmjena zraka s okolinom. Na ovaj način izbjegava se cijevni razvod.

Sistem se sastoji od sljedećih elemenata:

- rekuperator,
- kanali za zrak,
- prigušivači buke,
- razdjelnik i sabirnik zraka,
- stropne/zidne zračne kutije i sobni zračni ventili,
- vanjske rešetke za usis i odsis zraka,
- regulacija sistema.



## 6. ZELENE FASADE I ZELENI KROVOVI, NOVI TREND OVI U GRADNJI

### 6.1. KARAKTERISTIKE ZELENIH FASADA

Zeleni zidovi su relativno novo oblikovno rješenje, koje zbog svoje atraktivnosti i ekoloških trendova nalazi sve brojniju primjenu u arhitektonskoj praksi.



Slika 76. Primjeri zelenih fasada

Prednosti biljaka i prirodnog okoliša su svima poznate, pa tako i zeleni zidovi imaju nekoliko bitnih uticaja na klimu u zgradama i prostorima.

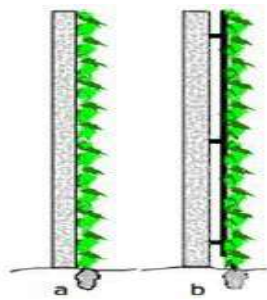
Te prednosti su:

- doprinose proizvodnji kisika
- smanjuju količinu ugljen dioksida, prašine i ostalog zagađenja u zraku
- smanjuju buku
- stvaraju zdraviju klimu i smanjuje efekat “bolesnih zgrada”
- ljeti hlade prostor, a zimi ga grijaju
- temperatura ozelenjenih fasada je i do 13°C niža, čime se smanjuje i emisija ugljendioksida.

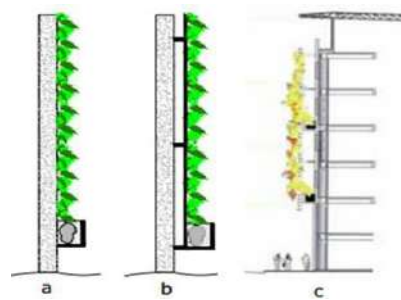
Prema definiciji Svjetske zdravstvene organizacije (SZO), **sindrom bolesne zgrade** (Sick Building Syndrome ili skraćeno SBS) je stanje karakterizirano iritacijama sluznica, vegetativnim smetnjama kao što su glavobolje i umor, a isto tako i narušavanjem mentalnog zdravlja, depresijom i iritiranošću. Treba napomenuti da ovdje ne spadaju primjeri zgrada čiji su zidovi obrasli u puzavice i slično bilje, a koje se nekontrolirano i divlje širi po fasadi, ulazi u konstrukciju i oštećuje je. Takvi primjeri su češće posljedica nemara nego želje za kvalitetom.

Sisteme zelenenih zidova možemo podijeliti na **zelene fasade** i sisteme **živućih zidova**.

Zelene fasade se sastoje od biljaka penjačica koje imaju korijenje u specijalno za njih napravljenim posudama na zidu, ili jednostavno rastu iz tla. Puze ili se penju po specijalnoj konstrukciji koja je montirana na zid (najčešće mreža od inox užadi i nosača), a koja tačno odgovara odabranoj biljnoj vrsti. Potrebno im je više vremena kako bi obuhvatile cijelu planiranu površinu, ali imaju jednostavnije održavanje i zalijevanje nasada, te nižu cijenu cijelog sistema. Zelene fasade su zapravo tehnički doraden nasljednik prije spomenutih starih zaraslih pročelja. Prema mjestu sadnje se dijele na biljke posađene izravno u tlo i biljke posađene u posude (Slike 77 i 78).

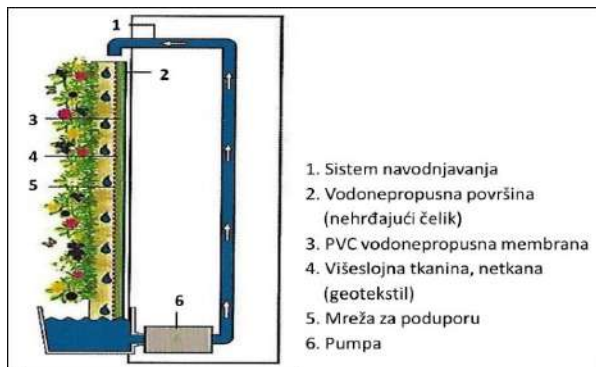


Slika 77. Biljke posađene izravno u tlo



Slika 78. Biljke posađene u posude

Živući zidovi su potpuno savremeni izum i sastoje se od konstrukcije koja je ovisna o zidu i koja sadrži hranjivi medij, biljku i sistem za navodnjavanje. Cijela površina je podijeljena na puno manjih sadnica koje se mogu montirati u već izrasloj fazi i u većim gotovim segmentima. Zato je vrijeme potrebno da cijeli zid poprimi konačan izgled puno kraće, a ponekad i trenutno.



1. Sistem navodnjavanja
2. Vodonepropusna površina (nehrđajući čelik)
3. PVC vodonepropusna membrana
4. Višeslojna tkanina, netkana (geotekstil)
5. Mreža za poduporu
6. Pumpa

Slika 79. Sistem navodnjavanja

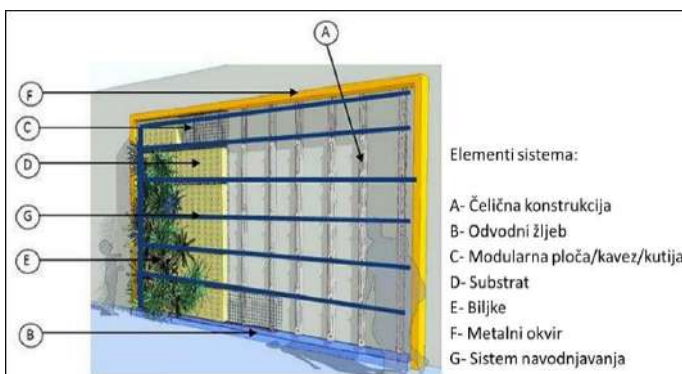


- 1- Zid zgrade
- 2- Šupljivi pravokutni čelični profil odvaja ozelenjenu površinu od zgrade
- 3- Plastični (vodonepropusni) panel-tkanina
- 4- Voda sa hranjivim tvarima
- 5- Kaplje iz crijeva za navodnjavanje na vrhu zida
- 6- Dva sloja tkanine (kokosova, jutena...) koji preuzimaju ulogu sadnog medija za korijenje
- 7- Biljke postavljene između dva sloja tkanine
- 8- Žlijeb duž dna zida prikuplja vodu koju zatim pomoću pumpe reciklira natrag u sistem

Slika 80. Šematski prikaz slojeva kontinuiranog sistema živećeg zida

### 6.1.1. Sistemi sadnih ploča

Karakteristika ovakvih sistema je anorganski supstrat u kojem se sade biljke. Najčešći materijali koji služe kao supstrat su aminoplast smola i kamena vuna. Takvi materijali za sadnju su lagani i kompaktni neutralne pH vrijednosti što pogoduje brojnim biljnim vrstama. Isto tako takvi materijali su vodopropusni pa se biljke lagano ukorjenju. Sistemi sa anorganskim medijem koji tada služe kao sadna ploča koja se postavlja u čelični okvir te se vješa na fasadnu podkonstrukciju. Automatizirani sistem za navodnjavanje je potreban kako bi svaka biljka dobila potrebne nutrijente pošto se radi o hidropnom uzgoju.



- Elementi sistema:
- A- Čelična konstrukcija
  - B- Odvodni žlijeb
  - C- Modularna ploča/kavez/kutija
  - D- Substrat
  - E- Biljke
  - F- Metalni okvir
  - G- Sistem navodnjavanja



Slika 81. Sistem sadnih ploča

### 6.1.2. Kasetni – modularni zeleni zidovi na fasadama

Najveća prednost ovog tipa zelenog zida je u tome što se biljke mogu jednostavno mijenjati i reorganizirati zahvaljujući kasetama koje se kače na potkonstrukciju.



Slika 82. Kasete za biljke okačene na metalnu potkonstrukciju

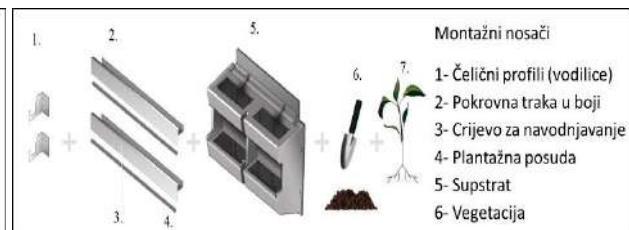


Slika 83. Montaža fasadnog kasetnog zelenog zida na metalnu potkonstrukciju

Kasetni zeleni zid, moguće je postaviti na svim tipovima potkonstrukcije. Na bilo koju postojeću fasadu izrađuje se **metalna konstrukcija** koja je zaštićena od spoljašnjih uticaja, nakon čega se postavljaju zasebne kasete zelenog zida. Ono što je prednost ovog sistema jeste da se on može primijeniti kako na spoljašnjim zidovima (fasadama), tako i u enterijeru. Važno je napomenuti da moguće napraviti i **samonoseću metalnu konstrukciju** kojom se postiže sasvim nezavisan zeleni zid u slučajevima kada je neophodno napraviti vizuelnu barijeru. Kasetni zeleni zid se sastoji iz saksija (kasete), specijalizovanog supstrata što omogućava biljkama dovoljan prostor za razvoj korjenovog sistema biljaka, dok svaka saksija dobija svoju količinu neophodne vode koja je kontrolirana **automatskim zalivnim sistemom preko telefonske aplikacije**. Najveća prednost ovog tipa zelenog zida je u tome što se biljke mogu jednostavno **mijenjati i reorganizirati**. Svaka kasete se zasebno kači za potkonstrukciju i na taj način se vrlo lako može zamijeniti u slučaju propadanja, ali i izmijeniti čitav koncept ukoliko vremenom neko poželi drugačiji raspored biljaka.



Slika 84. Kasetni zeleni zid sa žičanom potkonstrukcijom

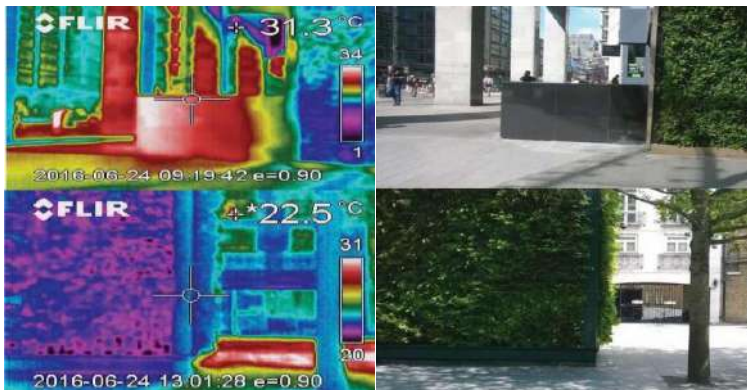


Slika 85. Kasetni zeleni zid sa vodilicama

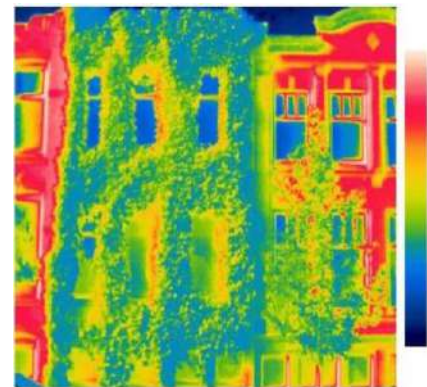
### 6.1.3. Zeleni zid u eksterijeru objekta

Kao i svaki tip zelenih površina, vremenom je moguće da zeleni zid postane stanište insekata i drugih vrsta štetočina. Zato se kroz navodnjavanje, pored prihrane biljaka, mogu rastvoriti insekticidi koji će udaljiti štetne insekte od biljaka. Priprema za zimske uslove se uglavnom svodi na reduciranje i gašenje sistema za navodnjavanje i orezivanje biljaka. U zavisnosti od orijentacije i specifičnih uslova mikroklimе koji vladaju na samoj poziciji zelenog zida, preporučuju se biljke koje najbolje tolerišu uslove na osnovu čega se pristupa održavanju prema fiziologiji svake biljke ponaosob. Prihrana se vrši

kroz sistem za navodnjavanje, dok postoji mogućnost folijarnog primjenjivanja (prihrana putem lista biljke) kroz održavanje. Redovno održavanje je veoma važno da zeleni zid dugo ostane zelen.



Slika 86. Fotografija snimljena infracrvenim fotoaparatom, usporedba površinskih temperatura



Slika 87. Snimak pročelja infra

## 6.2. MAHOVINA U ENTERIJERU: PRIRODAN PREČIŠĆIVAČ ZRAKA I APSORBER ZVUKA KOJEM NE TREBA SVJETLO

Gotovo jedini preduslov za postavljanje prirodne mahovine jeste da vlaga u prostoru ne bude ispod 50 procenata. Korištenje zelenih zidova od mahovine je sve češće, kako u privatnim tako i u poslovnim prostorima. Osim što zidovi pod mahovinom vrlo lijepo izgledaju, oni su vrlo pogodni za održavanje, a služe i kao prirodan prečišćivač zraka i apsorber zvuka. Mahovina dobro podnosi potpunu tamu ili slabo osvetljene pozicije u prostoriji.

Postoji više nijansi mahovine, pa se zanimljiv vizuelni efekat može dobiti i njihovim kombiniranjem. Osim na ravnu vertikalnu površinu, mahovinu možete postaviti i u ukrasne ramove. Najbolji efekat se dobija kada se kombiniraju sa različitim tipovima osvjetljenja – najbolje LED svjetlo koje se ne grije, kako ne bi došlo do isušivanja mahovine.

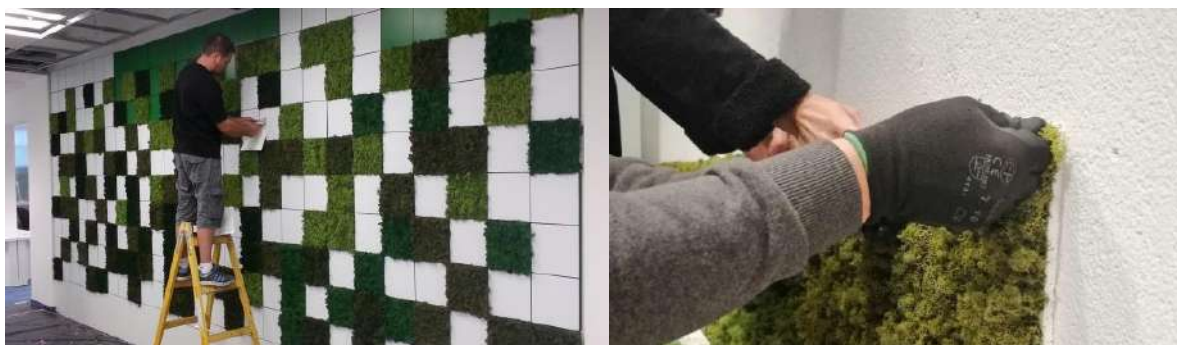


Slika 88. Mahovina u enterijeru



Slika 89. U ponudi su prirodne mahovine u više nijansi zelene boje

Prostorije koje nemaju gotovo uopće svjetlosti, a u kojima bi druge biljke teško opstale, sasvim su pogodne za mahovinu. Zidovi od mahovine zadržavaju prirodnu mekoću i elastičnost tokom dugog niza godina uz minimalno ili gotovo nikakvo održavanje. Ugradnja zelenog zida od Moschito mahovine zahtijeva podlogu koja može biti izrađena od pločica stiropora, stirodura, MDF ploča ili druge čvrste podloge. Ugradnju mahovine uglavnom izvode dobavljači.

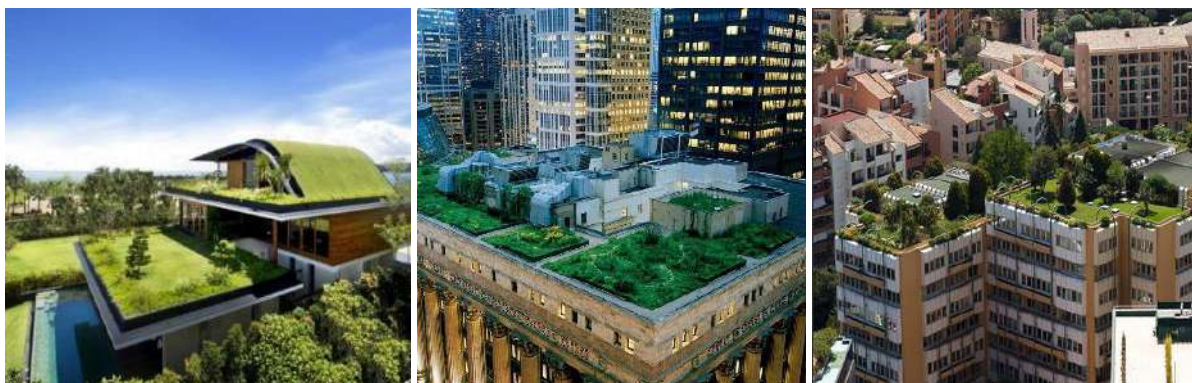


Slika 90. Ugradnja Moschito mahovine

Pripremljena pločica sa mahovinom se na zidu na koji se ugrađuje (može biti zid od gipsa, betona ili nekog drugog čvrstog pločastog materijala) postavlja tako što se na naličje pločice nanosi sloj niskoekspandirajuće pur pene, pri čemu takva pločica ostaje trajno zalijepljena za zid. Minimalni zahtjevi u održavanju mahovine, u slučaju da su ispoštovani gore navedeni parametri, ogledaju se u tome da je jednom mjesečno neophodno blago orošavanje – prskanje vodom. U slučaju da uslovi sredine nisu ispoštovani navedenim parametrima, orošavanje treba vršiti svakih 7-10 dana.

### 6.3. ZELENI KROVOVI

Zeleni ili vegetacijski krovovi se u nekim područjima tradicionalno izvode već stoljećima, ali su se i u savremenoj gradnji počeli sve češće primjenjivati. Zeleni krovovi su nova tehnologija zelene gradnje koja je prepoznatljiva po završnom sloju vegetacije. Ovakav se krov sastoji od nekoliko slojeva: zaštitni filc, sloj koji omogućuje odvod vode, filtracijski sloj, supstrat za zelene krovove i ranije spomenuti završni sloj vegetacije. Vrsta vegetacije, supstrati i ostali slojevi razlikuju se ovisno o vrsti zelenog krova.



Slika 91. Primjeri zelenih krovova

Neki podaci govore da bi se temperatura u gusto izgrađenim gradskim sredinama smanjila za 0,1-0,8°C ako bi se 50% raspoloživih krovova pretvorilo u zelene. To bi donijelo direktnu uštedu na računima za struju. Zeleni krov je jedan od prvih vizualnih identiteta ekološke arhitekture. Iako arhitektura može biti ekološka i bez zelenog krova, šteta je ne iskoristiti petu fasadu za vraćanje onog dijela prirode koji je zgrada svojim nastankom oduzela. To je naročito značajno u gusto izgrađenim dijelovima urbanih centara, gdje ionako nedostaje zelenila, pa već i male površine daju veliki doprinos.

Osnovna podjela zelenih krovova je na ekstenzivni i intenzivni.

### 6.3.1. Ekstenzivni zeleni krovovi

Ovakva vrsta krovova češće se koristi za porodične i višestambene zgrade. Najprikladnija je za one objekte kod kojih ljudi rijetko hodaju po krovnoj površini. Uglavnom se zateknu ondje radi održavanja. Zato je za ekstenzivne krovove idealna neka lagana vegetacija koja ne zahtijeva svakodnevno održavanje. Uglavnom je riječ o bilju koje je otporno na sušu. Ovi zeleni krovovi također se dobro uklapaju u šupe i garaže.

Obzirom na to da je riječ o standardno višeslojnom dizajnu, ekstenzivni zeleni krov ima više slojeva za različite funkcije poput rasta vegetacije, filtracije i drenaže. Sloj supstrata s mineralnim sastavom i neznatnim udjelom organske tvari odgovoran je za rast vegetacije, budući da supstrat zadržava vodu i hranjive tvari. Za odvodnju viška vode tu je drenažni sloj, a između supstrata i drenažnog sloja stavlja se filterski sloj.

Ekstenzivni zeleni krov odnosno njegov završni sloj u koji se sadi vegetacija treba biti debeo od 5-15cm. Obzirom na to da sedumi odnosno žednjaci toleriraju sušu, na ovim se krovovima često sadi takvo bilje i razne trave. Naime, plitko su ukorijenjene i potrebno im je malo vode. Stručnjaci cvjećari preporučuju da se izbjegava pretjerana raznolikost biljnog svijeta kako bi se pojednostavila briga oko cjelokupne vegetacije te kako bismo bili sigurni da sve biljke imaju slične potrebe za vlagom. Za vrijeme sušnog razdoblja, zeleni krovovi postat će smeđi, no s kišom će ponovno oživjeti. Ekstenzivni zeleni krovovi najjednostavniji su za postavljanje i vrlo se često postavljaju na postojeće krovove. Ovisno o ostalim karakteristikama krova, zeleni krov može dodati 4-15 kilograma dodatnog opterećenja po kvadratnom metru.



Slika 92. Sistem za ekstenzivno ozelenjavanje krova s nagibom 5 - 15°



Slika 93. Sistem za ekstenzivno ozelenjavanje krova s nagibom 15 - 25°



Slika 94. Primjeri ekstenzivnog zelenog krova

### 6.3.2. Intenzivni zeleni krovovi

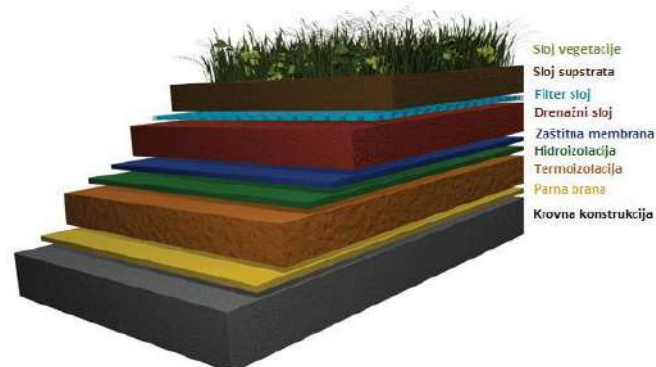
Intenzivni zeleni krovovi najčešće se koriste na poslovnim zgradama u kojima vlasnici žele imati velike zelene površine prekrivene najrazličitijim biljkama. Takvi krovovi imaju travu, zemlju, cvijeće, grmlje pa čak i drveće. Na njima ćete često pronaći staze i šetnice koje vode između različitih arhitektonskih obilježja kako bi stvorile prostor u kojem ljudi u prekrasnom i jedinstvenom prirodnom okruženju mogu komunicirati jedni s drugima. Na takve se krovove nerijetko postavljaju klupe, stolovi, posude za uzgoj bilja, staklenici pa čak i manje fontane. Intenzivni zeleni krov, koji se naziva "vrt na krovu", treba biti dublji od ekstenzivnog zelenog krova. Dublje tlo omogućuje prihvaćanje velikih biljaka i zahtjevnijih biljnih skupina i zbog toga se treba više održavati. Na ovakve krovove dobro će se uklopiti povrće i biljni vrtovi, jer manje štetočina i korova pronalazi put do većih visina. Sve će biljke zahtijevati gnojivo i vodu, a mnoge će trebati obrezivati. Ovi zeleni krovovi atraktivniji su po suhom vremenu i često se navodnjavaju.

Na intenzivnim krovovima sadnja započinje na dubini od 15 cm. Jednom kada su sve biljke posađene i kada je zemlja natopljena vodom, ovi krovovi mogu težiti i do 70 kg po kvadratnom metru. Sistem za navodnjavanje i odvodnju moraju raditi s maksimalnim efikasnošću kako bi se smanjila mogućnost preopterećenja krovne konstrukcije.

Prednosti zelenog krova u odnosu na tradicionalne krovne pokrove su višestruke:

- doprinosi proizvodnji kisika
- smanjuje količinu ugljen dioksida, prašine i ostalog zagađenja u zraku
- smanjuje buku
- stvara zdraviju klimu u neposrednom okruženju i globalno (temperatura, vlažnost zraka...)
- smanjuje vodni udar kod obilnih oborina
- ima veću trajnost od konvencionalnih krovnih pokrovova
- vraća prirodno zelenilo koje je zgrada oduzela od tla
- vraća stanište biljkama, kukcima i pticama
- omogućava veliku slobodu u oblikovanju krovne plohe
- može biti jeftiniji od klasičnog pokrova (npr. crijepom).

Zeleni krov je, sa danas dostupnim materijalima i proizvodima, samo još jedan od mogućih krovnih pokrova. Ne iziskuje nužno dodatna ulaganja ili pojačanja, a finansijski može biti i povoljniji. Može se primjeniti od ravnih krovova do strmih krovnih ploha, te od pravilnih do organskih formi.



Slika 95. Slojevi konstrukcije zelenog krova

Tipični slojevi konstrukcije zelenog krova su: nosiva konstrukcija, toplotna izolacija (prema potrebi), nosivi sloj za hidroizolaciju (prema potrebi), hidroizolacija, sloj protiv korijenja, akumulacijski sloj (sloj za zadržavanje vode), drenažni sloj, filterski sloj (propušta vodu, zadržava hranjivi sloj), hranjivi i nosivi sloj za vegetaciju (humus, supstrat ili slično) i vegetacija (slika 95).

Moguća su manja odstupanja od navedenog redoslijeda, kao i spajanja nekih susjednih slojeva u jedan, najčešće u obliku gotovih tehničkih rješenja pojedinih proizvođača. Princip ostaje isti.



*Slika 96. Spajanje nekih susjednih slojeva kao gotovih tehničkih rješenja pojedinih proizvođača*

Filterski sloj sprječava da sitne čestice budu isprane iz supstrata i nataložene u drenažni sloj, osiguravajući time da drenažni sloj ostane funkcionalan. Za filterski sloj se najčešće koristi geotekstil (slika 97.a), gustoće primjerene izboru sloja koji će se postavljati iznad. Drenažni sloj u najjednostavnijoj izvedbi može biti separat riječnog šljunka. Danas se na tržištu mogu naći razni proizvodi od umjetnih materijala, bilo kao rasuti agregat ili u modularnim pločama (slika 97.b). Čvrstoća na pritisak prilagođena je za ozelenjene površine.



*Slika 97. a) Filterski sloj; b) Drenažni sloj*

Kao akumulacijski sloj služe profilirane (čepičaste) folije, moduli (ploče) sa spremnicima (čašama), kazete i sl. Sloj protiv korijenja je vrlo bitan za cijelu konstrukciju, jer sprječava da agresivno korijenje pojedinih biljaka (npr. čičak) dođe do hidroizolacije i prodre kroz nju. Stoga je važno znati koje se biljke planiraju zasaditi i koje mogu nenamjerno zrakom ili preko životinja doći na zeleni krov. Ako takva opasnost postoji, svakako je potrebno postaviti zaštitnu foliju, a preporuka je to učiniti i iz preventivnih razloga.

Vegetacijski supstrat kao prostor za korijenje svih biljaka mora osigurati odgovarajuće uslove za rast biljaka na krovu. Supstrati za ozelenjavanje krovova su sveobuhvatni. Ključni faktori koji utiču na njihov kvalitet su kapacitet akumulacije vode, strukturna stabilnost, vodopropusnost i distribucija veličine čestica.





1	Ozelenjavanje/biljke	intenzivno ozelenjavanje
2	Supstrat	intenzivni supstrat (visina min. 20 cm)
3	Filterski sloj	Polipropilenska tkanina
4	Drenažno-akumulacijski sloj	Akumulacijske i drenažne kadice u sustavima zelenog krova
5	Zaštitni sloj	Zaštitni sloj za sintetičke i bitumenske hidroizolacijske membrane
6	Razdjelni i klizajući sloj	Polietilenska folija od recikliranog granulata, otporna na bitumen i polistiro



Slika 98. Sistem za intenzivno ozelenjavanje krova



Slika 99. Izgled intenzivnog krovnog vrta

Tabela 3. Sistemi zelenih krovova

	EKSTENZIVNI ZELENI KROV	JEDNOSTAVNI INTENZIVNI KROVNI VRT	INTENZIVNI KROVNI VRT
ODRŽAVANJE	minimalno, plijevljenje i prihrana jednom godišnje	povremeno, plijevljenje i prihrana dva puta godišnje	intenzivno
ZALIJEVANJE	nije potrebno	prema potrebi (ovisno o trajanju sušnog perioda)	redovito
BILJNE ZAJEDNICE	iz prirode: sedumi, trave i livadno bilje, začinsko i aromatično bilje	trava, livadno bilje, začinsko i aromatično bilje, niski grmovi	travnjaci ili cvjetnjaci, drveće i grmlje
DEBLJINA SUPSTRATA	5 – 12 cm	15 – 30 cm	15 – 45 cm nad podzemnim garažama ≥100 cm
TEŽINA SUSTAVA	60 – 150 kg/m <sup>2</sup>	150 – 200 kg/m <sup>2</sup>	150 – 500 kg/m <sup>2</sup>
CIJENA	NISKA	SREDNJA	VISOKA
NAMJENA	Ekološka krovna obloga = tehnički zeleni krov	Projektirano zelenilo	Projektirani vrt, sa redovitim održavanjem

ODRŽAVANJE	jednostavno održavanje	povremeno održavanje	intenzivno održavanje	
	STATIKA	mała težina	relativno povećana težina	znatna težina
	ZALIJEVANJE	nije potrebno	povremeno	redovito

Tabela 4. Ocjena različitih sistema zelenog krova

Legenda:				
<p><b>Legenda:</b></p> <p><span style="color: green;">+</span> pozitivno</p> <p><span style="color: blue;">○</span> neutralno</p> <p><span style="color: red;">-</span> negativno</p>				
<b>Karakteristike sistema</b>	<b>Jednoslojna mješavina sa vulkanskim granulatom ili ekspanziranom glinom</b>	<b>Višeslojni sistem sa drenažno-akumulacijskim toplinskim slojem</b>	<b>Višeslojni sistem sa drenažno-akumulacijskim prohodnim slojem</b>	<b>Višeslojni sistem sa drenažom od mineralnih agregata</b>
<b>Kvaliteta, vrste i samo-održivost vegetacije</b>	<span style="color: red;">-</span> Mali broj biljnih vrsta, često neujednačene kvalitete – pogodno za mahovine i sušne i sadnju u sjeni, u klimatskim uvjetima sa dovoljno vlage.	<span style="color: green;">+</span> Bogat izbor raznolike samo-održavajuće vegetacije na ekstenzivnim krovovima	<span style="color: green;">+</span> Bogat izbor raznolike samo-održavajuće vegetacije na ekstenzivnim krovovima, kao i gotovo neograničen izbor biljaka na intenzivnim krovovima.	<span style="color: green;">+</span> Bogat izbor raznolike vegetacije, drveća i grmlja. Ugrađuje se na krovovima podzemnih garaža, i krovovima koji statički mogu podnijeti veće težine i do 1000 kg/m <sup>2</sup> .
<b>Cijena/ isplativost, ekonomski i tehnički faktori</b>	<span style="color: blue;">○</span> Jeftinija postava, potrebno je redovito prihranjivanje. U slučaju dodatka organskog porijekla u mješavini i malog nagiba podloge, smanjuje se kvaliteta odvodnje.	<span style="color: blue;">○</span> Troškovi ugradnje isplativi su obzirom na kasniju uštedu energije za grijanje, male troškove održavanja. Sustav osigurava trajnu i kvalitetnu drenažu. akumulaciju voda do 13 lit/m <sup>2</sup> , značajnu uštedu energije.	<span style="color: blue;">○</span> Nešto skuplja ugradnja sa umjerenim troškovima održavanja. Pogodno za ekstenzivne i manje zahtjevne intenzivne krovne vrtove, težina lumjerena, dugotrajna drenaža u skladu sa normama.	<span style="color: green;">+</span> Skupa ugradnja sa velikim troškovima održavanja, relativno velika težina. Potrebno je osigurati navodnjavanje, i dugotrajnu drenažu uz mogućnost kontrole sliivnika kroz posebne šahlove.

### 6.3.3. Održivi razvoj

Održivi razvoj je razvoj koji zadovoljava potrebe današnjice, a pritom ne ugrožava potrebe budućih generacija. To znači da moramo upravljati resursima naše planete, biti u mogućnosti pružiti dobar život za sve ljude koji žive sada, ali i u budućnosti.

Cilj održivog razvoja je trojak i temelji se na tri glavna aspekta: ekonomskom, ekološkom i socijalnom aspektu. Okolišna komponenta uključuje razvoj strategija i planova upravljanja za očuvanje okoliša, smanjenje i zaustavljanje zagađenja okoliša, brigu za stabilnost klime, razumnu i efikasnu eksploataciju prirodnih dobara i brigu o njihovim kapacitetima te zaštitu bioraznolikosti i prirode.

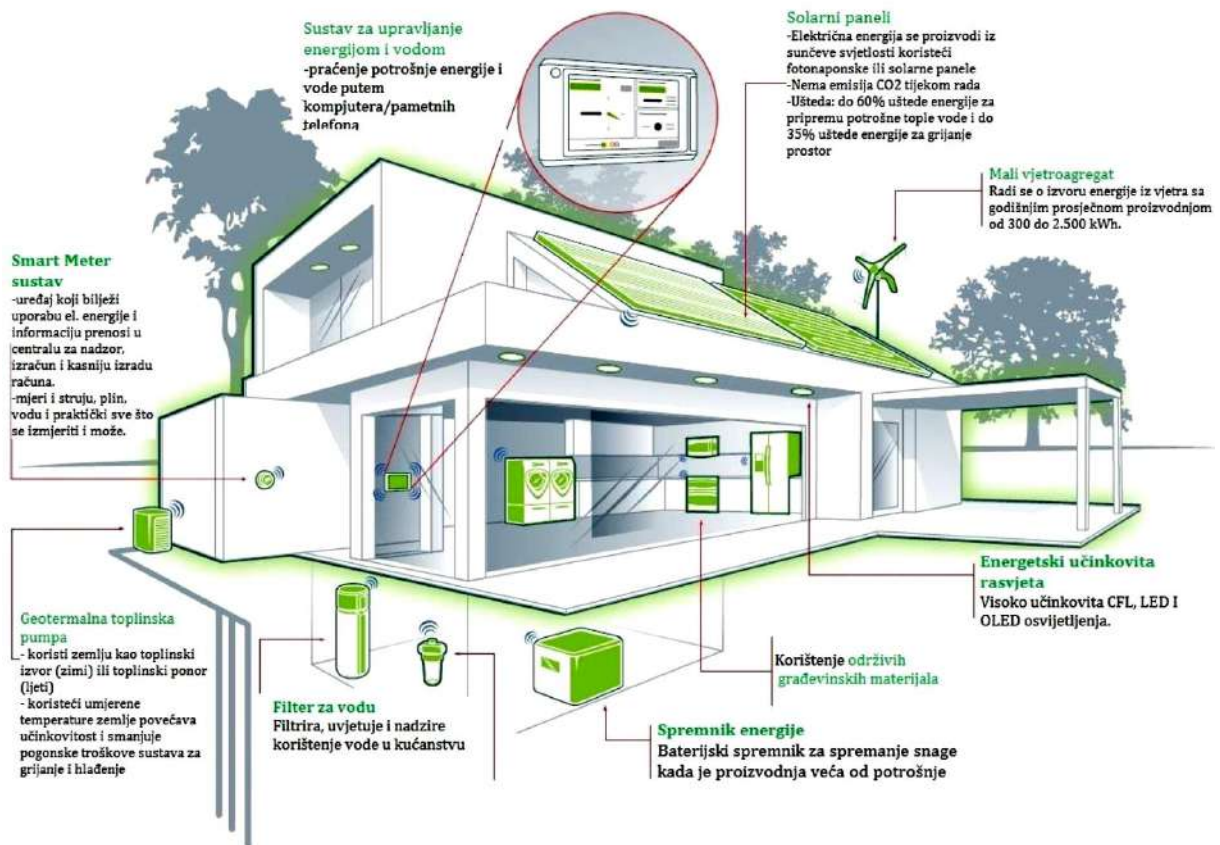
- Smanjenje efekta urbanog toplotnog otoka, poboljšanje kvaliteta zraka, povećanje biološke raznolikosti, povećanje uštede energije, te smanjenje zagađenja uzrokovano bukom.  
(Toplotni otok je gradsko područje koje je znatno toplije od okolnih ruralnih područja, a uglavnom je uzrokovano ljudskim djelovanjem. To je pojava prisutna i ljeti i zimi. Glavni uzroci su veća gustoća kuća i zgrada, oslobađanje toplote trošenjem fosilnih goriva, promet, te smanjenje prirodne ventilacije.)
- Biljke pomoću procesa evapotranspiracije konzumiraju toplotnu energiju i otpuštaju vodu u okruženje čineći ga tako ugodnijim za život povećavajući tako vlažnost zraka te smanjujući okolnu temperaturu.
- Plinoviti zagađivači kao što su CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> apsorbiraju se u procesu fotosinteze, a fine čestice prašine se vežu za lišće biljke.
- Vegetacija na zidovima pomaže pri hlađenju zgrada tokom ljeta i izolaciju tokom zime i koristi se kao barijera koja smanjuje nivo buke na saobraćajnicama i urbanim područjima.
- Društveni uticaji uključuju psihološke, estetske i zdravstvene efekte sistema zelenih zidova.

- Hortikultura ima terapijsko djelovanje koje čovjeku pruža zadovoljstvo rada sa biljkama, te umanjuje osjećaj stresa, ljutnje i straha, smanjenje krvnog pritiska i napetosti mišića.



Slika 100. Prikaz toplotnog otoka

Gradnjom održivih građevina u budućnosti se očekuje bolji urbanizam, bolja arhitektonska rješenja, ljepši životni prostor, manji troškovi života (energija, transport, i sl.), više čistog zraka, manje buke, veća udobnost boravka na otvorenom i zatvorenom prostoru, te očuvan, siguran i zdrav okoliš za buduće generacije.



Slika 101. Primjer pasivne kuće

## 7. LITERATURA

1. Babić M: *Trendovi u izgradnji zelenih krovova u Republici Hrvatskoj*, Varaždin, 2018
2. Karahodžić A, Agić Dž: *Osnove izolacije ovojnice objekta - fasade, kosi i ravni krovovi*, Priručnik za nastavnike i učenike, Centar za ekologiju i energiju, Tuzla 2019
3. Klarić S. i ostali: *Vodič energetska efikasnost u zgradarstvu kao polaznica za ostvarivanje održivog društveno-ekonomskog razvoja u Bosni i Hercegovini*, Savjet za zelenu gradnju-Green Council, Sarajevo 2016
4. Martinjak M: *Uporaba materijala za zvučnu i toplinsku izolaciju zgrada*, Sveučilište Sjever, Varaždin 2016
5. Mišćević Lj: *Pasivni energetska standard u graditeljstvu kao perspektiva održivog razvitka - prve pasivne kuće u Hrvatskoj*, Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2013
6. Morvaj Z, Čačić G, Lugarić L: *Priručnik za upravljanje energijom u gradovima, kantonima i općinama*, Sarajevo 2011
7. Štufelj A: *Vjetroelektrane*, Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet, Rijeka 2015
8. Žalac H: *Krovni vrtovi– obavezni dio moderne arhitekture– da ili ne?* Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek 2016
9. Energetska efikasnost, URL: <https://usaideia.ba/aktivnosti/energetska-efikasnost/> [pristup: 15.06.2021.]
10. Primjeri sustava za ozelenjavanje kosog krova, URL: <https://www.bauder.hr/hr/gruendach-eu/primjeri-sustava-zelenog-krova/ozelenjavanje-kosog-krova.html> [pristup: 05.06.2021.]
11. Zeleni krovovi, URL: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_zelenikrovovi.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_zelenikrovovi.html) [pristup: 05.06.2021.]
12. Vrste energetska učinkovitih kuća, URL: <https://gradnjakuće.com/energetski-ucinkovite-kuce/vrste-energetski-ucinkovitih-kuca/> [pristup: 01.07.2021.]
13. Određivanje toplotnih gubitaka kroz ovojnicu objekta, URL: <https://m-kvadrat.ba/odredivanje-toplotnih-gubitaka-kroz-ovojnicu-objekta/> [pristup: 21.07.2021.]
14. BLOWER DOOR TEST – Uređaj za mjerenje zrakopropusnosti omotača objekta i njegovih dijelova, URL: <https://m-kvadrat.ba/blower-door-test-uredaj-za-mjerenje-zrakopropusnosti-omotaca-objekta-i-negovih-dijelova/> [pristup: 01.08.2021.]
15. Okvirna energetska strategija Federacije Bosne i Hercegovine do 2035, radna verzija dokumenta, 2017, URL: [http://www.fbihvlada.gov.ba/file/20170606%20Okvirna%20energetska%20strategija%20FBiH\\_Radna%20verzija\\_v2.pdf](http://www.fbihvlada.gov.ba/file/20170606%20Okvirna%20energetska%20strategija%20FBiH_Radna%20verzija_v2.pdf) [pristup: 05.08.2021.]
16. Izrada detaljnog energijskog audita, URL: <http://ekologija.ba/wp-content/uploads/2021/09/Energetski-audit-stambenog-objekta.pdf> [pristup: 27.09.2021.]
17. Primjer energetska certifikata jednog nestambenog objekta. URL: <http://ekologija.ba/wp-content/uploads/2021/10/Energetski-certifikat.pdf> [pristup: 27.09.2021.]



Ovaj Priručnik je nastao kao aktivnost projekta: **“Inovacije u EE i OIE za bolje prilagođavanje klimatskim promjenama i smanjenje siromaštva” (EE – FAZA II)** koji realizira Caritas Švicarske, u partnerstvu sa Centrom za ekologiju i energiju, podpomognuti od strane Federalnog ministarstva prostornog uređenja. Projekat se realizira na području Federacije BiH.

Cilj projekta je da se podizanjem nivoa znanja o energetskej efikasnosti (EE) i obnovljivim izvorima energije (OIE) kroz predavanja, radionice i prezentacije u školama, poveća upotreba OIE i tehnologija EE i da se doprinese smanjenju emisija stakleničkih plinova i boljem prilagođavanju klimatskim promjenama.

Edukacija o ovim temama je prvenstveno u školama gdje će nova znanja, koja će mentorstvom edukatora iz Caritasa i Centra za ekologiju i energiju, biti prenošena profesorima pa zatim učenicima koji će dalje širiti svoje stečeno znanje.

Osim škola, edukacija je i za sve zainteresirane predstavnike javnih institucija, kao i predstavnike nevladinog sektora na području Federacije BiH.

Predavanja i radionice su obogaćeni demonstracijom prikaza rada na modelima solarnih sistema, modelima toplotnih pumpi i putem posebno rađenih brošura i materijala za obuku, kao i studijskim posjetama objektima koji primjenjuju OIE i imaju implementirane mjere EE.

