



**Graditeljska tehnička škola  
Zagreb**



**Co-funded by  
the European Union**

# Zelena gradnja II



**GREENCO**

EDUCATE | INNOVATE | TRANSFORM

**Nevenka Brajdić Hlobik  
Maja Lovrić  
Ivana Gagro  
Marko Štuhec  
Dragana Javor**

# Predgovor

Dragi čitatelji,

pred vama se nalazi priručnik Zelena gradnja II koji je nastao kao rezultat sudjelovanja nastavnika Graditeljske tehničke škole iz Zagreba u ERASMUS projektu Alliance for Education and Enterprises. Projekt je financiran sredstvima Europske unije. O projektu možete saznati više na našim školskim stranicama (<http://ss-graditeljska-zg.skole.hr/>).

Priručnik je temelj nastave fakultativnog predmeta Zelena gradnja koji je od 2024./2025. školske godine pokrenut u Graditeljskoj tehničkoj školi u Zagrebu. Ovaj priručnik namijenjen je učenicima četvrtih razreda.

Nadam se da će teme obrađene u ovom priručniku čitateljima približiti problematiku i izazove tzv. zelene transformacije u sektoru graditeljstva te da će korisnici priručnika na jednom mjestu dobiti potrebne informacije u vezi tzv. zelenih vještina kao i neizostavne digitalizacije koja je sastavni dio procesa zelene transformacije.

Priručnik Zelena gradnja II je podijeljen u sedam poglavlja koja se nastavljaju na prethodnih sedam poglavlja obrađenih u priručniku Zelena gradnja I. U osmom poglavlju se daje zanimljiv pregled materijala koji nas okružuju u prirodi, a mogu se koristiti za građenje. U devetom poglavlju obrađena je tema projektiranja u skladu s prirodom. Deseto poglavlje donosi pregled tzv. zelenih krovova i pročelja zgrada s opisom kako se oni izvode. U jedanaestom poglavlju detaljno je razrađena tema zgrada koje troše minimalnu količinu energije - gotovo nulte energije, prikazan je zakonodavni okvir, projektantske smjernice kao i korisni detalji pri gradnji takvih zgrada. Kao primjer zelene gradnje u dvanaestom poglavlju je obrađena tema gradnje bioloških bazena. U trinaestom i četrnaestom poglavlju autori čitatelje upoznaju s digitalnim vještinama koje se koriste u projektiranju zelene gradnje te su obrađene teme snimanja postojećih zgrada korištenjem 3D snimke i termokamere u svrhu budućeg projektiranja – energetske obnove.

Nadam se da će vam čitanje ovog priručnika biti ugodno i korisno te da će po završetku srednjoškolskog obrazovanja kod učenika pobuditi interes za daljnjim usavršavanjem kroz stručni rad ili za nastavak obrazovanja i produbljivanja znanja iz područja zelene gradnje.

Urednik:

Hrvoje Mostečak, dipl.ing.građ.

**SADRŽAJ**

Predgovor.....	1
8 GRADNJA PRIRODNIM MATERIJALIMA .....	6
UVOD .....	6
GRADNJA PRIRODNIM MATERIJALIMA.....	7
Prednosti gradnje prirodnim materijalima .....	7
Nedostaci gradnje prirodnim materijalima .....	8
MATERIJALI ZA PRIRODNU GRADNJU I NJIHOVE KARAKTERISTIKE TE PRIMJENA U GRADITELJSTVU .....	9
Kamen .....	9
Drvo.....	10
Nabijena zemlja.....	12
Glina .....	13
Slama .....	14
Konoplja .....	16
ZAKLJUČAK .....	18
Pitanja za ponavljanje.....	19
Istraži.....	19
9 PROJEKTIRANJE U SKLADU S PRIRODOM.....	21
UVOD .....	21
KAKO I GDJE MOŽEMO SAČUVATI PRIRODNO OKRUŽENJE .....	23
INTEGRACIJA DRVEĆA I ZELENILA U DIZAJN ZGRADA .....	23
INTEGRACIJA STIJENA U DIZAJN ZGRADA .....	28
INTEGRACIJA VODENIH POVRŠINA U DIZAJN ZGRADA .....	31
ODRŽIV DIZAJN OKUĆNICA.....	33
KORIŠTENJE RECIKLIRANIH I EKOLOŠKIH MATERIJALA .....	34
OČUVANJE POSTOJEĆIH ZELENIH POVRŠINA U URBANIM PROSTORIMA .....	34
PRIMJENA PERMAKULTURNIH PRINCIPA .....	34
ZAKLJUČAK .....	35
Pitanja za ponavljanje.....	36
Istraži.....	36
10 ZELENI KROVOVI I PROČELJA.....	37
UVOD .....	37
RAVNI KROVOVI .....	38
Podjela ravnih krovova .....	38
Zeleni krovovi .....	40

Prednosti zelenih krovova .....	43
ZELENA PROČELJA .....	46
Prednosti zelenih pročelja .....	47
ZANIMLJIVOSTI .....	48
ZAKLJUČAK .....	49
Pitanja za ponavljanje.....	50
Istraži.....	50
11 ZGRADJE GOTOVO NULTE ENERGIJE .....	51
UVOD .....	51
Definicija .....	52
Kratka povijest i razvoj niskoenergetskih kuća.....	52
Zašto su niskoenergetske kuće važne? .....	53
RAZLIKA IZMEĐU nZEB I PASIVNE KUĆE .....	53
ZAKONODAVNI OKVIR .....	54
Direktiva o energetske učinkovitosti zgrada.....	55
Standardi i certifikati .....	56
Tehnički propis .....	57
Obaveza certificiranja .....	58
Katalog dobro riješenih toplinskih mostova na zgradama .....	58
PROJEKTIRANJE I PROJEKTANTSKE SMJERNICE .....	61
Klimatske regije i lokacija .....	61
Kvaliteta ovojnice zgrade .....	63
Prozori i transparentne stijenke .....	63
Kompaktnost zgrade .....	65
Provjetravanje.....	66
Zrakotijesnost .....	67
Orijentacija otvora .....	68
Zaštita od sunca .....	69
TERMOTEHNIČKI SUSTAVI .....	69
Primarna energija .....	70
Utjecaj termotehničkih sustava i energenata na potrošnju primarne energije.....	71
Dizalica topline .....	71
OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ZGRADJE GOTOVO NULTE ENERGIJE .....	73
IZRAČUN ENERGETSKIH POTREBA .....	74
PROVJERIMO/ISTRAŽIMO ZAJEDNO (Milovanović, 2023) .....	76
PRIMJERI nZEB KUĆA U REPUBLICI HRVATSKOJ .....	77
Arhitektonsko-građevinske karakteristike zgrade .....	78

Termotehnički sustavi.....	79
Obiteljska kuća/kontinentalna hrvatska .....	81
Obiteljska kuća/primorska hrvatska .....	82
Pitanja za ponavljanje.....	83
Istraži.....	84
12 IZRADA BIOLOŠKIH BAZENA .....	86
UVOD .....	86
BIOLOŠKI BAZENI .....	87
PRINCIP RADA BIOLOŠKIH BAZENA.....	88
IZRADA BIOLOŠKIH BAZENA .....	88
PREDNOSTI I NEDOSTATCI BIOLOŠKIH BAZENA.....	92
ZAKLJUČAK .....	93
Pitanja za ponavljanje: .....	94
Istraži.....	94
13 SNIMANJE ZGRADE U 3D SNIMKU I IZRADA SNIMKA POSTOJEĆEG STANJA .....	95
UVODNO O FOTOGRAMetriJI .....	96
Povijest fotogrametrije .....	96
Moderna upotreba fotogrametrije i bespilotnih letjelica .....	97
FOTOGRAMetriJA .....	98
IZRADA 3D SNIMKI UZ POMOĆ BESPILOTNIH LETJELICA .....	100
Izrada snimki .....	103
Obrada podataka .....	105
Završni proizvod .....	106
UVODNO O SNIMANJU 3D KAMEROM POSTOJEĆEG STANJA GRAĐEVINE.....	108
OPIS RADA S OPREMOM .....	108
Pitanja za ponavljanje.....	112
Istraži.....	112
14 SNIMANJE ZGRADE TERMOKAMERAMA I PRIKAZ DOBIVENIH PODATAKA.....	113
UVOD .....	113
Osnovni princip rada .....	113
Povijest i razvoj termografije.....	114
Važnost termografije .....	114
TERMOGRAFIJA.....	114
Osnovni principi i tehnologija.....	114
Tipovi termalnih kamera .....	114
Kalibracija i točnost.....	115
Primjene termografije u pojedinim sektorima .....	115

PRIMJENA TERMOKAMERA U ARHITEKTURI I GRAĐEVINARSTVU .....	115
Energetska učinkovitost i inspekcija zgrada .....	115
Identifikacija strukturnih problema.....	116
Zelena gradnja i održive prakse .....	116
Preventivno održavanje .....	117
Pitanja za ponavljanje .....	117
Istraži... ..	118
LITERATURA .....	119

RADNA VERZIJA

## 8 GRADNJA PRIRODNIM MATERIJALIMA

### Autorica:

Nevenka Brajdić Hlobik, dipl.ing. arh.

### Ishodi učenja:

1. Opisati svojstva prirodnih materijala
2. Odrediti temeljna načela i značajke gradnje prirodnim materijalima
3. Analizirati izvedene građevine od prirodnih materijala
4. Navesti prirodne materijale za gradnju i njihovu primjenu u graditeljstvu
5. Navesti prednosti i nedostatke gradnje prirodnim materijalima
6. Opisati svojstva prirodnih materijala za gradnju

### UVOD

U tradicionalnom graditeljstvu koristili su se prirodni materijali; drvo, slama, kamen, zemlja i drugi; lokalno dostupni, jednostavni za gradnju i jeftini.

I danas, mnogo ljudi živi u takvim kućama.

U Hrvatskoj tradicionalno se najviše gradilo kamenom i drvetom. Vještina gradnje suhozida nalazi se na UNESCO-ovoj listi nematerijalne kulturne baštine Republike Hrvatske. Mnogi ni ne znaju da obližnje Turopolje krije tajne višestoljetne hrvatske drvene arhitekture; drvene crkve i kapele.

No, s razvojem tehnologije takav se način gradnje zapostavio i prednost je dobila industrijalizacija građevinskog materijala i sustava gradnje; brza gradnja, jeftini umjetni materijali, prefabrikacija. Ali sa svim prednostima pojavili su se i negativni aspekti :

- onečišćenja tijekom proizvodnje, transporta i gradnje u graditeljstvu
- povećanje cijene materijala, energenata i gradnje
- građevinski otpad i njegovo zbrinjavanje

→ nezadovoljstvo korisnika zbog građevina neugodnih za boravak i s lošim utjecajem na zdravlje ljudi

Gradnja je jedan od značajnijih uzroka klimatskih promjena. Prilikom same proizvodnje građevnih materijala velika se količina ugljičnog dioksida ispušta u atmosferu tj. ugljični otisak je ogroman.

Posljedica je povećanje interesa diljem svijeta za tradicionalne i ekološke načine gradnje pa se tradicionalna gradnja pokušava integrirati sa suvremenim rješenjima.

## **GRADNJA PRIRODNIM MATERIJALIMA**

### ***Prednosti gradnje prirodnim materijalima***

#### **1. Materijali dostupni u okruženju**

Na područjima gdje je bilo puno kamena, poput obalnih područja, gradilo se kamenom; u planinskim predjelima s mnogo šume gradilo se drvetom, a na ravničarskim područjima gradilo se zemljom, slamom i glinom koja je bila najdostupnija.

Korištenjem lokalnih prirodnih materijala  smanjuju se troškovi transporta, gradi u skladu s okruženjem i tradicijom te povećava otpornost lokalnih zajednica globalnim ekonomskim utjecajima.

#### **2. Zdrava unutarinja klima**

Konstrukcije od prirodnih materijala uz pravilnu ugradnju „dišu“; propusne su, nema pojave kondenziranja pare ni pojave plijesni; nema otpuštanja štetnih kemijskih spojeva u prostor, nema potrebe za ventilacijom. Smanjena je mogućnost pojave alergija i problema s dišnim putovima koji su nastajali, primjerice, od oslobađanja vlakana staklene vune korištene kao termoizolacije.



### **3. Dobra termalna masa građevine**

Svojstvo termalne mase građevine omogućuje ugodnu temperaturu unutar građevine cijelu godinu, te usporavanje zagrijavanja građevine ljeti te usporavanje hlađenja zimi.

Dodatno orijentacija građevine, usmjeravanje i dimenzioniranje otvora, te prirodna ventilacija kroz građevinu racionaliziraju trošak grijanja/hlađenja.

### **4. Obnovljivost materijala**

Ne iscrpljuju se neobnovljivi izvori. Materijali koji se koriste imaju pozitivan CO<sub>2</sub> otisak u prirodi (prirodni materijali kao drvo i konoplja tijekom rasta proizvode kisik).

#### ***Nedostaci gradnje prirodnim materijalima***

##### **1. Ograničenja nosivosti konstrukcije** (zemlja, slama, konoplja itd.)

Koriste se kod manjih raspona i visina konstrukcije. Kod većih konstrukcija mogu se koristiti kao ispunjena nosive konstrukcije ili kao toplinska izolacija.

##### **2. Lokalna ograničenja vezana uz klimu i prirodne karakteristike**

U seizmički aktivnim područjima nije preporučljiva gradnja samo od zemlje, a u poplavnim nije preporučljiva gradnja od zemlje i gline zbog karakteristike materijala da upijaju vodi.

##### **3. Legalnost gradnje**

Klasični građevinski materijali (opeka, beton, metalne i drvene konstrukcije, staklo i dr.) ispunjavaju bitne zahtjeve da se mogu koristiti za gradnju što je dokazano prethodnim ispitivanjem njihovih tehničkih svojstava. Njihova je proizvodnja, ispitivanje i upotreba uređena normama te propisana zakonima i propisima.

Za gradnju slamom, na primjer, dobivanje građevinske dozvole za veće objekte javne, ugostiteljske ili poslovne namjene trenutno bi bilo vrlo složeno ili čak legalno neizvedivo.

Korištenje bala slame pri gradnji obiteljskih kuća do 400 m<sup>2</sup> u Hrvatskoj je legalno ako:

- i. bala slame kao proizvod ispunjava zahtjeve propisane Tehničkim propisom o građevnim proizvodima i ako je za njega izdana isprava o sukladnosti u skladu s odredbama posebnog propisa, što trenutno nije slučaj,
- ii. ako se može dokazati uporabljivost u skladu s projektom građevine i važećim tehničkim propisom

#### **4. Građevinske tvrtke nemaju iskustva s ovom vrstom gradnje**

Potrebno je pronaći stručnjake s iskustvom u tom području, a pozitivno je da se tehnike od takvih stručnjaka mogu i naučiti.

## **MATERIJALI ZA PRIRODNU GRADNJU I NJIHOVE KARAKTERISTIKE TE PRIMJENA U GRADITELJSTVU**

### ***Kamen***

Prirodni materijal u graditeljstvu je onaj materijal koji se može koristiti u više ili manje neprerađenom obliku. Određena obrada je nužna s obzirom na njegovu konačnu namjenu, ali tu se ne radi o bitnoj promjeni njegovih značajki.

Jedan od takvih, najstarijih, je kamen.

Prednosti kamena

- Vrlo otporan i trajan
- Mala poroznost (vodonepropusnost)
- Recikliranje (u agregat)

- Nedostaci kamena
- Velika težina
- Krtost (lomovi i pukotine)
- Zidovi od kamena ne ispunjavaju uvjete za postizanje energetske učinkovitosti pa se dodatno izoliraju



Slika 52 Rogač House, Vis, Hrvatska / Studio Archaos (ArchDaily, 2024)

### Drvo

Drvo se nikada nije prestalo koristiti kao građevinski materijal i čovjek je uvijek bio povezan s njim.

Prednosti drveta:

- Trajnost (do 500 godina)
- Izdržljive, energetske učinkovite građevine
- Manje emisije CO<sub>2</sub> tijekom proizvodnje i izgradnje
- Lakša konstrukcija koja olakšava i ubrzava montažu
- Zdraviji objekti koji poboljšavaju udobnost korisnika

Nedostaci drveta:

- Hidrofilnost; drvo privlači vlagu iz zraka što izaziva deformacije i truljenje

- Loše toplinske karakteristike; potrebna je značajna debljina zidova od čistog drva kako bi se postigla odgovarajuća toplinska izolacija, pa to nije uvijek ekonomski isplativo
- Niska otpornost na požar
- Utjecaj nametnika
- Skup materijal

**Primjer:****KRIŽNO-LAMELIRANO DRVO CLT**

Videozapis: *Što je to CLT - popularni materijal za montažne kuće*



<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=yihUlg6CXuQ>



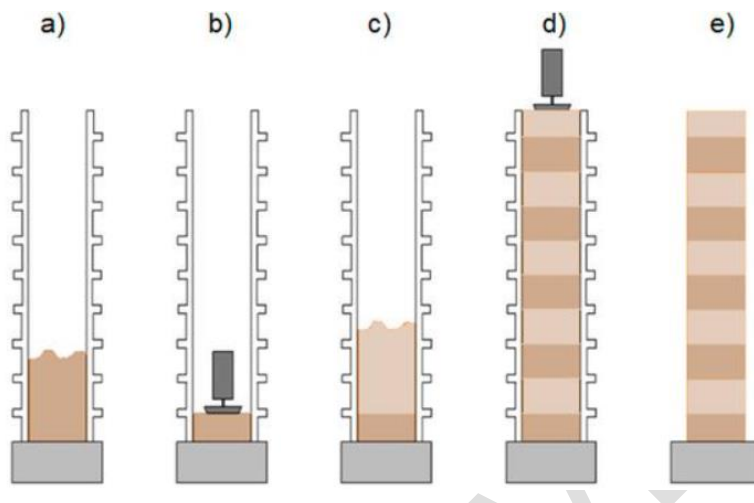
Videozapis: *Što je CLT – popularni materijal za montažne kuće* (Youtube, 2024)

- Koja je debljina CLT ploča?
- Koje su karakteristike CLT materijala?
- Može li se CLT koristiti za veće građevine?

- Koliko traje gradnja?
- Kakva je klima u kući izgrađenoj CLT pločama?

### Nabijena zemlja

Vlažna zemlja se nabija u kalupe te se ostavlja da se osuši.



Slika 21 Postupak nabijanja zemlje (MDPI journals, 2024)

Prednosti nabijene zemlje:

- Laka dostupnost, globalno
- Plastičnost (lako oblikovanje i zadržavanje oblika nakon sušenja)
- Raznolikost kolorita
- Odličan toplinski izolator, dobra regulacija vlage u prostoru
- Recikliranje

Nedostaci nabijene zemlje:

- Nije prikladna za izuzetno vlažna podneblja
- Uslijed vlage nabubri i skuplja se čime dolazi do deformacija oblika



Slika 53 Ricola, Švicarska / Herzog & de Meuron (ArchDaily, 2024)

## Glina

Glina je najstariji građevinski materijal prisutan diljem svijeta.

Prednosti gline:

- Plastičnost gline (lako oblikovanje i zadržavanje oblika nakon sušenja)
- Građevine od gline su trajne i jeftine
- Dobra toplinska i zvučna izolacija
- Otporna na požar (nezapaljiva)
- Zidovi "dišu" (apsorbiraju višak vlage iz prostora i postupno ju otpuštaju prema vanjskoj strani koja je suha)
- Recikliranje

Nedostaci gline:

- Proizvodnja pečenjem koristi velike količine energije
- Deformacije prilikom sušenja
- Kombinira se kao ispuna drvenoj nosivoj konstrukciji (u seizmički aktivnim područjima nužna je nosiva konstrukcija)



Slika 54 Gando Primary School / Kéré Architecture (ArchDaily, 2024)

### Slama

Prednosti slame:

- Bale slame proizvode se za gradnju u velikim količinama; globalno je dostupna i time jeftina
- Biorazgradivost
- Odlična toplinska svojstva, također i zvučna
- Lagan materijal (ne opterećuje konstrukciju)

Nedostaci slame:

- Slama se ne koristi samostalno kao konstrukcijski element, već kao ispunja u drvenoj nosivoj konstrukciji
- Niska otpornost na požar
- Neotpornost na vlagu; izaziva truljenje
- Štetočine

Primjeri:

Videozapis: Kuća izgrađena od gline, slame i drva pored Vrginmosta

[https://www.youtube.com/watch?v=YjDqdeBMA\\_8](https://www.youtube.com/watch?v=YjDqdeBMA_8)



*Videozapis: Kuća izgrađena od gline, slame i drva pored Vrginmosta (Youtube, 2024)*

- Kakvog je oblika kuća?
- Gdje je arhitektica/vlasnica pronašla materijale?
- Na čemu je najveća ušteda?
- Kako funkcionira bio-masa?

Videozapis: Kuća od slame kao primjer ekološke gradnje

<https://www.youtube.com/watch?v=XbjF9yHvjao>







Videozapis: Kuća od slame kao primjer ekološke gradnje (Youtube, 2024)

- Koliko je trajala gradnja kuće?
- Koji su materijali isključivo korišteni?
- Koji su problemi gradnjom slamom?
- Što je posebno kvalitetno u kući?
- Koji su problemi vezani uz namještaj?

### **Konoplja**

Koristi se kao:

- blok za gradnju
- punjenje u drvenim konstrukcijskim sustavima
- vanjska toplinska izolacija na klasičnoj gradnji opekama ili blokovima

Prednosti konoplje:

- izuzetna izolacijska svojstva
- otporna na pojavu plijesni, gljivica, insekata
- ima visoku otpornost na vatru i vlagu
- Biorazgradiva

Hempcrete („konopljin beton“) se radi tako da se industrijska konoplja miješa s nekoliko vrsta vapna i vodom, ukalupljuje se i suši. Na taj način se dobivaju elementi kuće koji se onda moraju sušiti tri mjeseca, nakon čega su spremni za gradnju.

Značajno je lakši od betona, te se koristi za gradnju manjih građevina.

Primjeri:

Videozapis: Inovativni materijal za gradnju

<https://www.youtube.com/watch?v=QfsIT6VWFkQ>



Videozapis: Inovativni materijal za gradnju (Youtube, 2024)

- Kako se izrađuje blok od konoplje?
- Od čega je sastavljena ogledna kuća u Karlovcu?
- Kako se koriste blokovi, čime se vežu?
- Kolika im je emisija CO<sub>2</sub>?
- Koji su rezultati testa na vatru ovog bloka?

## Primjeri građevina izgrađenih od HEMPCRETE blokova



Slika 1 Mobius House of Hemp Bricks and Concrete (Antony Gibbon Design, 2024)



Slika 2 Pierre Chevet Sports Center (DeZeen, 2024)



Slika 3 Flat House / Practice Architecture (ArchDaily, 2024)



Slika 4 Stambena zgrada u Parizu (DeZeen, 2024)



Slika 5 Stambena zgrada u Parizu (DeZeen, 2024)



Slika 6 Stambena zgrada u Parizu (DeZeen, 2024)

**ZAKLJUČAK**

Gradnja prirodnim materijalima ima ekološke, zdravstvene i energetske prednosti. Upotreba lokalnih materijala smanjuje potrebu za transportom, a prirodni materijali smanjuju negativni ekološki utjecaj.

Takva gradnja zahtijeva posebna znanja, stručnost i pridržavanje lokalnih zakona i regulativa.

**Kombinacija tradicionalnih tehnika i suvremenih rješenja može rezultirati izgradnjom građevina koji spajaju ekološku svijest i zahtjeve za kvalitetnom i ekonomski pristupačnom gradnjom.**

### Pitanja za ponavljanje

1. Koje su prednosti, a koji nedostaci gradnje prirodnim materijalima?
2. Navedi neke od prirodnih materijala u svom okruženju te objasni koje su njihove prednosti, a koje su im mane.

### Istraži...

- Pažljivo pogledajte kratke filmove: *Što je to CLT - popularni materijal za montažne kuće*, *Kuća izgrađena od gline, slame i drva pored Vrginmosta*, *Kuća od slame kao primjer ekološke gradnje* te *Inovativni materijal za gradnju* i pokušajte odgovoriti na pitanja. Zatim pokušajte u razgovoru u razredu uočiti sličnosti i razlike između zgrada u kojima vi živite i boravite s ovim kućama od prirodnih materijala.
- Aktivno pratite PowerPoint prezentaciju *Gradnja prirodnim materijalima* i sudjelujte u razgovoru odgovarajući na kratka pitanja ili postavljajući pitanja nastavniku/ci. Upoznajte osnovne pojmove: ugljični otisak, obnovljivost materijala, kamen, drvo, nabijena zemlja, glina, slama, konoplja, hempcrete. Uočite razlike i sličnosti prirodnih materijala za gradnju te ih usporedite sa svojim dosadašnjim spoznajama. Stvorite i iznesite svoje mišljenje o gradnji prirodnim materijalima te njihovom utjecaju na prirodu i okoliš.
- Radeći u grupi, obradite prirodni materijal koji nije spomenut u predavanju. Istražite na internetu ili literaturi te primijenite stečene spoznaje i vještine u prezentaciji koju ćete zajednički izraditi. Nakon prezentiranja grupno vrednujte ispunjavajući list za procjenu. Svaka

grupa vrednuje sve ostale grupe osim vlastite. Svi članovi grupe dobivaju istu ocjenu što se unaprijed najavljuje, a voditelj grupe ima zadatak pratiti i poticati aktivnost svih članova jer je grupa uspješna onoliko koliko i njezina najslabija karika.

- Napravite projekt sjenice/vrtnog paviljona koristeći prirodne materijale. Prikažite projekt maketom/modelom. Radite u parovima. Projekt nacrtajte u tlocrtu, presjecima i pogledima. Izaberite materijal/materijale i proučite načine izvedbe. Istražite dostupnost materijala i izračunajte okvirnu cijenu izvedbe. Na izložbi svih radova prezentirajte rad te vrednujte radove ostalih parova.

Za one koji žele znati više

- Udruga ZMAG bavi se prirodnim graditeljstvom, održavaju tečajeve, radionice i druge vrste edukacija. Objavili su i iscrpan priručnik: *Matko Šišak i Daniel Rodik*; ZELENI ALATI: GRADIMO SLAMOM priručnik.

## 9 PROJEKTIRANJE U SKLADU S PRIRODOM

### Autorica:

Maja Lovrić, dipl.ing.arh.

### Ishodi učenja:

1. objasniti ključne koncepte održivog dizajna i važnost integracije prirodnih elemenata u arhitekturi
2. kategorizirati obnovljive i neobnovljive izvore energije
3. analizirati postojeće prirodne elemente (drveće, vodene tokove, stijene) na gradilištu i planirati njihov očuvanje u sklopu dizajna zgrada
4. kreirati manje objekte koji uključuju unutarnje i vanjske zelene površine
5. objasniti kako različiti prirodni elementi mogu poboljšati energetska učinkovitost zgrade i kvalitetu života korisnika
6. razviti osjećaj etičke odgovornosti prema okolišu i razumjeti važnost održivog razvoja za buduće generacije

### UVOD

Od samih početaka ljudske civilizacije, naši preci su živjeli u skladu s prirodom, gradeći svoje nastambe koristeći resurse koje su pronašli u neposrednom okruženju. U poplavnim područjima, ljudi su gradili kuće na drveću kako bi se zaštitili od vode, dok su u stjenovitim predjelima koristili prirodne pećine ili izrezbarili svoje domove u stijenama. U područjima s ekstremnim klimatskim uvjetima, ukopane kuće su pružale izolaciju i stabilnost.

Ovaj način gradnje, prilagođen prirodnim uvjetima, omogućavao je skladan suživot s okolišem. Nisu se posijecala stabla niti se betoniralo plodno tlo; umjesto toga, koristilo se ono što je već bilo prisutno, uz minimalnu intervenciju u prirodni ekosustav. Priroda i čovjek su bili u simbiozi, a gradnja se odvijala na način koji je poštivao i očuvao prirodni okoliš.

U suvremenom svijetu sve se više koristi pojam „rješenja temeljena na prirodi“ (eng. nature-based solutions) kako bi se opisali pristupi koji koriste prirodne procese, materijale i ekosustave za rješavanje društvenih i ekoloških izazova. Ovaj koncept obuhvaća širok spektar primjena, od obnove degradiranih krajolika i zaštite od poplava do stvaranja održivih urbanih prostora.

Rješenja temeljena na prirodi nisu samo zaštita okoliša; ona koriste prirodne resurse kao saveznike za poboljšanje kvalitete života i smanjenje utjecaja ljudskih aktivnosti na planet. Primjerice, stvaranje urbanih zelenih površina za regulaciju temperature ili usmjeravanje kišnice u prirodne vodene sustave može imati dugoročne koristi za okoliš i zajednice. Takvi projekti često nadilaze tehnička rješenja, nudeći rješenja koja su estetski privlačna, ekološki održiva i financijski isplativa.

S modernizacijom i tehnološkim napretkom, čovjek je počeo graditi na način koji često zanemaruje prirodne resurse i okoliš. Beton, čelik i staklo postali su dominantni materijali, a prirodni pejzaž često je mijenjan ili potpuno uništavan kako bi se prilagodio ljudskim potrebama i željama. Posljedica takvog pristupa je uništenje prirodnih staništa, gubitak biološke raznolikosti i degradacija okoliša.

Danas, suočeni s ekološkom krizom i globalnim klimatskim promjenama, sve više se vraćamo ideji održivog projektiranja koje poštuje prirodu. Ideja očuvanja okoliša i smanjenja negativnog utjecaja na prirodu postaje sve važnija. Moderna arhitektura i građevinarstvo sve više prihvaćaju koncept projektiranja u skladu s prirodom, nastojeći integrirati zelene površine, očuvati drveće i smanjiti upotrebu betona i drugih štetnih materijala.

Primjeri ovakvog pristupa su zeleni krovovi, vertikalni vrtovi, korištenje recikliranih materijala te integracija postojećih prirodnih elemenata u dizajn građevina. Cilj je stvoriti domove i zgrade koje ne samo da smanjuju negativan utjecaj na okoliš, već i aktivno pridonose njegovom očuvanju i obnovi.

Projektiranje u skladu s prirodom nije samo trend, već nužnost u borbi za očuvanje našeg planeta. Kroz promišljeni dizajn i odgovornu gradnju, možemo stvoriti održiva staništa koja poštuju prirodni okoliš i omogućuju nam zdraviji i skladniji život.

U ovom poglavlju probat ćemo pokazati **kako se prirodni okoliš može uklopiti u suvremeni dizajn i suvremenu arhitekturu.**

## **KAKO I GDJE MOŽEMO SAČUVATI PRIRODNO OKRUŽENJE**

Projektiranje i dizajniranje zgrada, okućnica i urbanih javnih prostora u skladu s prirodom zahtijeva promišljeni pristup koji poštuje i čuva postojeći okoliš. Postoji nekoliko metoda i pristupa koji omogućuju očuvanje prirodnog zelenila i pridonose stvaranju harmoničnih prostora:

Integracija drveća i zelenila u dizajn zgrada, integracija stijena i vodenih površina u dizajn zgrada, održiv dizajn okućnica, primjena permakulturnih principa, korištenje recikliranih materijala, očuvanje prirodnog zelenila prilikom uređenja urbanih površina, očuvanje i revitalizacija postojećih zelenih površina u urbanim prostorima.

## **INTEGRACIJA DRVEĆA I ZELENILA U DIZAJN ZGRADA**

Integracija drveća i zelenila u dizajn zgrada predstavlja ključni korak prema stvaranju održivih i ekološki prihvatljivih stambenih i poslovnih prostora. Ovaj pristup ne samo da doprinosi očuvanju okoliša već poboljšava kvalitetu života, povećava biološku raznolikost i stvara estetski privlačne prostore. U nastavku ćemo se detaljnije osvrnuti na različite aspekte integracije zelenila u arhitekturi, uključujući interijer, eksterijer i načine izvedbe.

### **Integracija drveća i zelenila u interijer**

Integracija zelenila unutar zgrada može značajno poboljšati kvalitetu zraka, smanjiti stres i povećati produktivnost.



## 1. Unutarnji vrtovi i zeleni zidovi

- **Unutarnji vrtovi:** Kreiranje unutarnjih vrtova omogućuje unošenje prirodnih elemenata u zatvorene prostore. Ovi vrtovi mogu biti smješteni u atrijima, hodnicima ili čak unutar prostorija, stvarajući ugodan i zdrav okoliš.
- **Zeleni zidovi:** Postavljanje vertikalnih vrtova ili zelenih zidova u interijerima može poboljšati kvalitetu zraka, smanjiti buku i povećati estetsku vrijednost prostora. Ovi zidovi mogu biti ukrašeni različitim vrstama biljaka koje se prilagođavaju unutarnjim uvjetima.

## 2. Drveće kao dio interijera

- **Centralni elementi:** Drveće može biti integrirano kao centralni elementi interijera, pružajući prirodnu ljepotu i hladovinu. Korištenjem staklenih okvira ili otvorenih prostora, drveće može postati središnji dio unutrašnjeg dizajna.
- **Zelene prostorne barijere:** Biljke i manja stabla mogu biti korištena za kreiranje prirodnih pregrada unutar otvorenih prostora, čime se postiže privatnost bez potrebe za čvrstim zidovima.

## 3. Integracija drveća i zelenila u eksterijer

Vanjski prostori mogu biti dizajnirani tako da maksimalno iskoriste postojeće zelenilo i stvore nove zelene površine koje će doprinijeti održivosti i estetici zgrade.

### 3.1. Korištenje postojećeg zelenila

- **Očuvanje postojećeg drveća:** Umjesto sječe drveća prilikom gradnje, zgrade mogu biti dizajnirane tako da se prilagode položaju postojećih stabala. Zgrade mogu imati zakrivljene ili nepravilne oblike kako bi se drveće uklopilo u dizajn, čime se stvara sklad s prirodnim okruženjem.
- **Krovni vrtovi i terase:** Krovni vrtovi omogućuju stvaranje dodatnih zelenih površina na vrhu zgrada, pružajući izolaciju, smanjujući efekt urbanog toplinskog otoka i poboljšavajući estetski izgled zgrade.

Terase također mogu biti uređene biljkama, stvarajući ugodne vanjske prostore za stanare ili korisnike.

### 3.2. Stvaranje novih zelenih površina

- **Zeleni krovovi:** Instalacija zelenih krovova može značajno povećati količinu zelenila u urbanim područjima. Osim estetske vrijednosti, zeleni krovovi pružaju izolaciju, smanjuju odvodnju kišnice i poboljšavaju kvalitetu zraka.
- **Vertikalni vrtovi:** Vanjski zidovi zgrada mogu biti prekriveni vertikalnim vrtovima, što dodatno povećava zelene površine i doprinosi ekološkoj održivosti. Ovi vrtovi mogu biti dizajnirani s različitim vrstama biljaka koje pomažu u smanjenju temperature zidova i filtraciji zraka.

## 4. Načini izvedbe integracije zelenila

Integracija zelenila u dizajn zgrada zahtijeva pažljivo planiranje i izvedbu kako bi se osiguralo da su biljke zdrave i da se prostor koristi na najbolji mogući način.

- **Analiza lokacije:** Prilikom planiranja integracije zelenila, važno je analizirati lokaciju kako bi se odabrale odgovarajuće vrste biljaka koje će uspješno rasti u određenim uvjetima. Uzimanje u obzir klimatskih uvjeta, dostupnosti svjetla i kvalitete tla ključno je za uspjeh zelenih projekata.
- **Koordinacija s arhitektima i pejzažnim dizajnerima:** Arhitekti i pejzažni dizajneri trebaju surađivati kako bi se osiguralo da su zgrade i zelene površine međusobno usklađene i funkcionalne.

## 5. Izvedba i održavanje

- **Izbor odgovarajućih biljaka:** Odabir biljaka koje su prilagođene lokalnim uvjetima i koje zahtijevaju minimalno održavanje može značajno smanjiti troškove i trud potreban za održavanje zelenih površina.

- **Sustavi navodnjavanja:** Instalacija sustava navodnjavanja, kao što su kapilarni sustavi ili sustavi za skupljanje kišnice, može osigurati da biljke dobiju dovoljno vode bez prekomjernog trošenja resursa.
- **Održavanje:** Redovito održavanje, uključujući zalijevanje, gnojidbu, obrezivanje i kontrolu štetočina, ključno je za zdravlje i dugovječnost zelenih površina.

Integracija drveća i zelenila u dizajn zgrada predstavlja put prema održivoj i ekološki prihvatljivoj arhitekturi. Kroz pažljivo planiranje i izvedbu, moguće je stvoriti prostore koji su ne samo funkcionalni i estetski privlačni, već i u skladu s prirodom, čime se poboljšava kvaliteta života i doprinosi očuvanju okoliša.

Na Slika 7 i Slika 8 vidljivo je kako se postojeće drveće uklopilo u arhitekturu samih zgrada.



Slika 7 Prikaz kuće na drvetu (Artistree home, 2024)



Slika 8 Biosphere treehouse u hotelu: Treehotel, Finska (ArchDaily, 2024)

Na Slika 9 i Slika 10 vidljivo je kako se drveće i unutarnje zelenilo uklapa u interijer.



Slika 9 Casa Terra (ArchDaily, 2024)



Slika 10 Casa Terra, tlocrt (ArchDaily, 2024)

## INTEGRACIJA STIJENA U DIZAJN ZGRADA

Kao što drveće može biti integrirano u dizajn zgrada, stijene i stjenoviti prostori također mogu postati sastavni dio arhitektonskih rješenja, pružajući jedinstvenu estetsku i funkcionalnu vrijednost.

### 1. Korištenje prirodnih stijena kao dijela interijera

Umjesto uklanjanja stijena, arhitekti mogu dizajnirati zgrade tako da postojeće stijene postanu ključni elementi interijera. Korištenjem staklenih stijenki ili otvorenih prostora, stijene mogu postati centralni element prostorija, stvarajući impresivan vizualni dojam i dodajući prirodnu ljepotu unutrašnjosti.

- **Otvoreni prostori i staklene stijene:** Stakleni zidovi mogu omogućiti pogled na stijene, stvarajući osjećaj povezanosti s prirodom. Otvoreni prostori unutar kuće mogu obuhvatiti stijene kao dekorativne ili funkcionalne elemente, poput prirodnih zidova ili dijelova namještaja.
- **Integracija stjenovitih površina:** Stjenovite površine mogu biti integrirane u unutarnji dizajn kao dijelovi podova, zidova ili stropova, pružajući jedinstvenu teksturu i prirodan izgled prostorijama.

### 2. Prilagođavanje oblika zgrade stjenovitom terenu

Oblik zgrade može se prilagoditi postojećim stjenovitim formacijama na parceli. Umjesto pravolinijskih oblika, zgrada može imati zakrivljene ili nepravilne linije koje slijede prirodne konture terena, stvarajući sklad s okruženjem.

- **Zakrivljeni i nepravilni oblici:** Arhitekti mogu dizajnirati zgrade s nepravilnim tlocrtima koji se prilagođavaju obliku stijena, čime se smanjuje potreba za iskapanjem i uklanjanjem prirodnih formacija.
- **Podzemne i poluukopane strukture:** Korištenjem podzemnih ili poluukopanih konstrukcija, moguće je maksimalno iskoristiti prirodnu

izolaciju stijena, čime se povećava energetska učinkovitost zgrade i smanjuje njen vizualni utjecaj na okoliš.

### 3. Korištenje stijena kao zaštitnih elemenata

Stijene mogu pružati prirodnu zaštitu i izolaciju, čineći zgrade otpornijima na klimatske uvjete i energetske učinkovitijima.

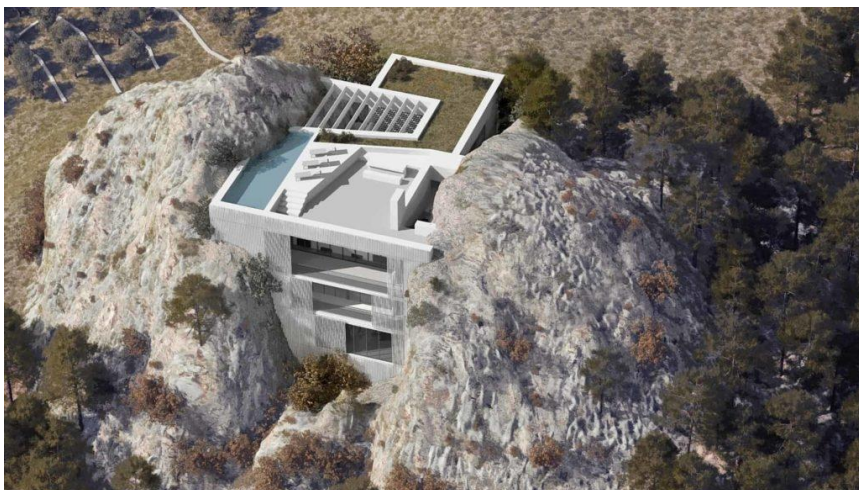
- **Termalna masa:** Prirodne stijene imaju visoku termalnu masu, što znači da mogu apsorbirati i zadržavati toplinu tijekom dana te je otpuštati tijekom noći, pomažući u regulaciji unutarnje temperature.
- **Zaštita od vjetra i buke:** Stijene mogu djelovati kao prirodne barijere protiv vjetra i buke, poboljšavajući udobnost i mir unutar zgrade.

### 4. Estetski i funkcionalni elementi

Korištenjem stijena i stjenovitih prostora u dizajnu, zgrade mogu dobiti jedinstvene estetske i funkcionalne elemente koji obogaćuju prostor.

- **Prirodne pećine i niše:** Prirodne šupljine i udubine u stijenama mogu se iskoristiti kao skladišni prostori, vinski podrumi ili čak udobni dnevni boravci.
- **Vodeni elementi:** Kombinacija stijena i vode može stvoriti impresivne vodopade ili ribnjake unutar i oko zgrade, čime se dodatno naglašava prirodna ljepota prostora.

Integracija stijena i stjenovitih prostora u dizajn zgrada omogućuje stvaranje jedinstvenih i ekološki održivih domova koji poštuju prirodni okoliš i pružaju izvanredne estetske i funkcionalne prednosti. Ovakav pristup arhitekturi potiče skladan suživot s prirodom, čineći našu svakodnevicu bogatijom i povezanijom s prirodnim svijetom.



Slika 11 Villa Kuk, Hrvatska; Arhitektura: Branka Juras (Društvo arhitekata Zagreb, 2024)



Slika 12 Casa Pierre, USA (ArchDaily, 2024)



Slika 13 Casa Pierre, interijer, USA (ArchDaily, 2024)

## INTEGRACIJA VODENIH POVRŠINA U DIZAJN ZGRADA

Integracija vodenih površina u dizajn zgrada omogućuje očuvanje prirodnih vodenih tokova i stvaranje harmoničnih prostora koji povezuju arhitekturu s prirodom. Ovakav pristup ne samo da doprinosi očuvanju okoliša, već i poboljšava estetsku i funkcionalnu vrijednost zgrada.

### 1. Sačuvanje i integracija postojećih vodenih tokova

Pri projektiranju zgrada u blizini prirodnih vodenih tokova, važno je sačuvati i integrirati ove elemente u sam dizajn.

- **Stakleni podovi i zidovi:** Korištenjem staklenih podova i zidova, prirodni vodeni tokovi mogu biti vidljivi unutar zgrade, stvarajući dojam da voda teče kroz prostor. Ovo pruža jedinstveno vizualno iskustvo i povezanost s prirodom.
- **Platforme i mostovi:** Dizajniranje platformi i mostova koji prelaze vodene tokove omogućuje uživanje u prirodnim ljepotama vode bez narušavanja njezinog toka. Ove strukture mogu biti integrirane u unutrašnjost ili eksterijer zgrade, stvarajući dodatne prostore za relaksaciju i uživanje.

### 2. Korištenje vode kao estetskog i funkcionalnog elementa

Voda može biti korištena kao centralni estetski i funkcionalni element unutar i oko zgrade.

- **Unutarnji ribnjaci i vodopadi:** Postavljanje unutarnjih ribnjaka ili vodopada može stvoriti smirujuću atmosferu i dodati prirodni element interijeru. Zvuk tekuće vode može imati umirujući efekt, poboljšavajući kvalitetu boravka.
- **Vanjski bazeni:** Vanjski bazeni ne samo da pružaju prostor za rekreaciju, već i dodatno naglašavaju prirodnu ljepotu okoliša. Prirodni, biološki bazeni mogu stvoriti impresivne vizualne efekte, odražavajući okolnu prirodu i arhitekturu.



### 3. Održivi vodeni sustavi

Integracija održivih vodenih sustava u dizajn zgrada može dodatno poboljšati ekološku učinkovitost i smanjiti negativan utjecaj na okoliš.

- **Skupljanje kišnice:** Instalacija sustava za skupljanje i korištenje kišnice može osigurati održiv izvor vode za navodnjavanje, sanitarije i druge potrebe, smanjujući potrošnju pitke vode.
- **Recikliranje vode:** Korištenje tehnologija za recikliranje sive vode omogućuje ponovno korištenje otpadne vode iz kućanstava za navodnjavanje i druge nepitke svrhe, čime se smanjuje ukupna potrošnja vode.

Integracija vodenih površina i vode u dizajn zgrada omogućuje stvaranje prostora koji su estetski privlačni, funkcionalni i u skladu s prirodom. Sačuvanjem prirodnih vodenih tokova i korištenjem održivih praksi, možemo razvijati arhitekturu koja poštuje i poboljšava okoliš, stvarajući harmonična i održiva staništa.

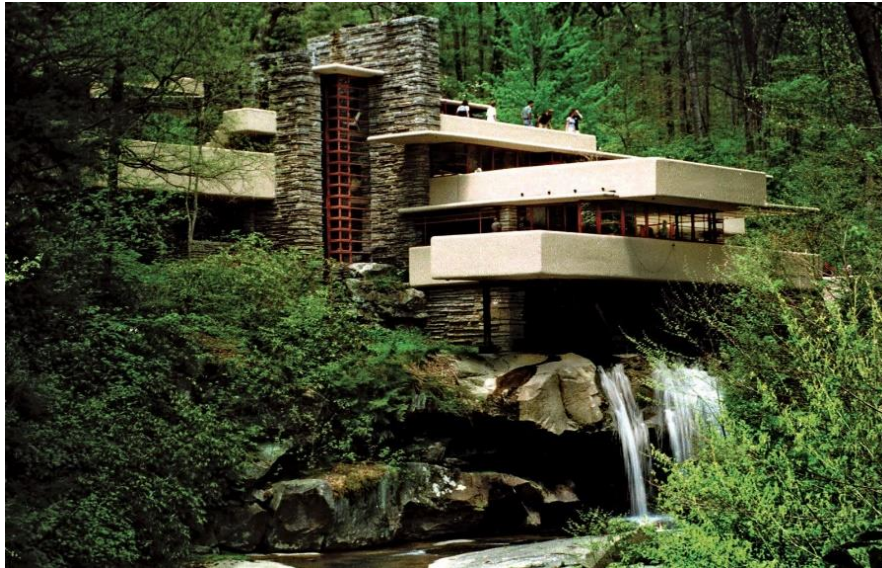


Slika 14 Plutajuća kuća; Autor: Carl Turner Architects (DeZeen, 2024)



Slika 15 River House, Autor: Joeb Moore & Partners (Joeb Moore & Partners, 2024)

Jedan od najpoznatijih primjera integracije vode u dizajn zgrada je Fallingwater, remek-djelo arhitekta Franka Lloyd Wrighta. Smještena iznad vodopada, ova kuća savršeno pokazuje kako arhitektura može biti u skladu s prirodom.



Slika 16 Fallingwater house; Autor: Frank Lloyd Wright (ArchDaily, 2024)

**Dizajn koji slijedi prirodu:** Wright je dizajnirao Fallingwater tako da kuća ne samo da se uklapa u prirodni okoliš, već ga i naglašava. Vodopad teče ispod kuće, stvarajući dojam da je zgrada organski povezana s okolišem.

**Korištenje lokalnih materijala:** Wright je koristio lokalno kamenje i druge prirodne materijale kako bi stvorio zgradu koja se savršeno stapa s prirodnim okruženjem. Time je dodatno naglasio ideju da arhitektura treba poštivati i reflektirati prirodne ljepote lokacije.

## ODRŽIV DIZAJN OKUĆNICA

Umjesto betoniranja travnjaka, okućnice se mogu urediti korištenjem prirodnih materijala poput kamena i drva, čime se zadržava prirodni izgled i osjećaj prostora. Hortikulturalni dizajn može uključivati autohtone biljke koje su prilagođene lokalnoj klimi i tlu, smanjujući potrebu za navodnjavanjem i održavanjem. Ovakav pristup ne samo da štedi resurse, već doprinosi i očuvanju lokalne biološke raznolikosti. Kreiranjem zelenih

krovova i vertikalnih vrtova, povećava se ukupna zelena površina, što doprinosi boljoj izolaciji zgrada, smanjenju efekta urbanog toplinskog otoka i poboljšanju kvalitete zraka.

### **KORIŠTENJE RECIKLIRANIH I EKOLOŠKIH MATERIJALA**

Upotreba recikliranih materijala za gradnju, poput recikliranog drva, metala i stakla, smanjuje potrebu za novim sirovinama i minimizira negativan utjecaj na okoliš.

Ekološki prihvatljivi materijali, kao što su glina, bambus i konoplja, mogu se koristiti za gradnju i izolaciju, pružajući održiva rješenja koja su također estetski privlačna.

### **OČUVANJE POSTOJEĆIH ZELENIH POVRŠINA U URBANIM PROSTORIMA**

Pri projektiranju urbanih javnih prostora, važno je očuvati postojeće parkove i zelene površine te ih integrirati u nove projekte. Umjesto izgradnje na zelenim površinama, mogu se koristiti već izgrađena područja koja su napuštena ili neiskorištena.

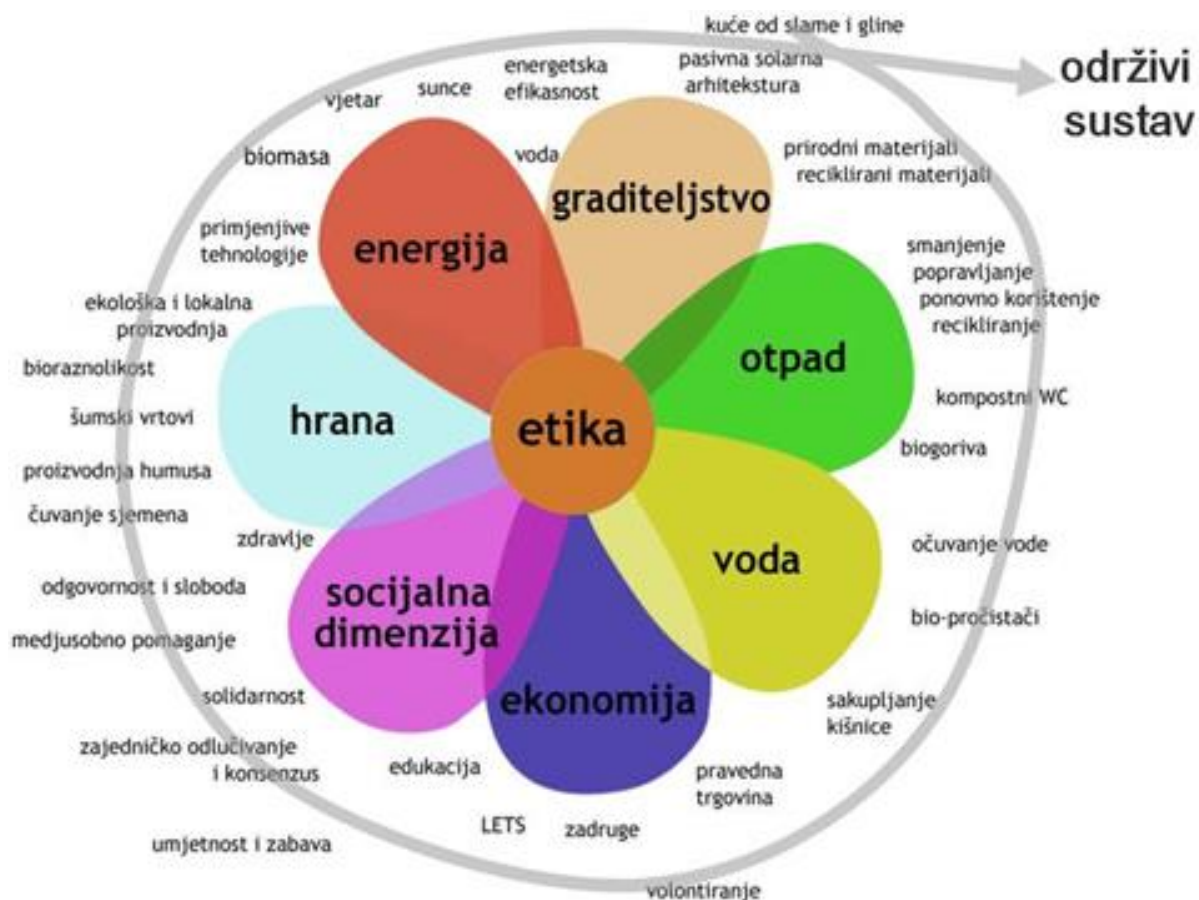
Postavljanje zelenih zidova i krovova na postojećim zgradama može povećati ukupnu površinu zelenila u urbanim sredinama, doprinoseći ekološkoj ravnoteži i estetskoj vrijednosti prostora.

### **PRIMJENA PERMAKULTURNIH PRINCIPA**

Permakultura, koja se temelji na stvaranju održivih i samoodrživih ekosustava, može se primijeniti na dizajn okućnica i urbanih prostora. To uključuje korištenje biljaka koje međusobno podržavaju rast i zdravlje, stvaranje vrta bez kopanja tla te korištenje kišnice za navodnjavanje.

Kroz promišljeno projektiranje i dizajn, možemo sačuvati postojeće zelenilo i stvoriti prostore koji su u skladu s prirodom. Održivost i očuvanje okoliša trebaju biti ključni prioriteti u suvremenoj arhitekturi i urbanizmu,

omogućujući nam da živimo u harmoniji s prirodom dok gradimo i razvijamo svoje zajednice.



Slika 17 Permakulturni cvijet ilustrira osnovne elemente permakulture (Društvo arhitekata Zagreb, 2024)

## ZAKLJUČAK

Integracija drveća, stijena, vodenih površina i zelenila u dizajn zgrada omogućuje stvaranje harmoničnih odnosa između izgrađenog i prirodnog okoliša. Korištenjem prirodnih materijala, prilagođavanjem oblika zgrada prirodnim elementima i implementacijom održivih sustava, arhitekti mogu kreirati prostore koji su ekološki prihvatljivi i funkcionalni.

Sačuvanjem postojećih stabala i uključivanjem zelenih zidova, unutarnjih vrtova, zelenih krovova te vodenih tokova, moguće je stvoriti prostore koji ne samo da smanjuju ekološki otisak, već i obogaćuju svakodnevno iskustvo korisnika. Primjeri poput Fallingwater-a Franka Lloyd Wrighta pokazuju kako uspješna integracija prirodnih elemenata može rezultirati remek-djelima arhitekture koja su u potpunom skladu s prirodnim okruženjem.

Za postizanje ovih ciljeva, ključno je usvojiti interdisciplinarni pristup, gdje arhitekti, pejzažni dizajneri, inženjeri i ekolozi surađuju kako bi osigurali da svaki projekt maksimalno koristi prirodne resurse uz minimalan utjecaj na okoliš. Održavanje ovih prostora također zahtijeva pažljivo planiranje i kontinuiranu brigu kako bi se osiguralo dugoročno očuvanje i funkcionalnost zelenih elemenata.

Kroz obrazovanje i podizanje svijesti o važnosti održivog dizajna, možemo osigurati da buduće generacije arhitekata i dizajnera nastave razvijati inovativna rješenja koja poštuju i čuvaju prirodni okoliš. Na taj način možemo graditi bolje i zdravije zajednice, osiguravajući da naš urbanizirani svijet ostane u skladu s prirodnim ljepotama koje nas okružuju.

### Pitanja za ponavljanje

1. Kako i gdje možemo sačuvati prirodno okruženje?
2. Koje su prednosti integriranja zelenih površina u interijer?
3. Na koje sve načine možemo vodene površine uklopiti u interijeru?
4. Kako možemo iskoristiti kišnicu u kući?

### Istraži...

- Na zamišljenoj parceli s drvećem postavljenim tako da vam onemogućuje pravilne tlocrtno površine kuća, kreirajte vlastiti manji objekt na način da u potpunosti sačuvate zelene površine na parceli i da primjenite ostale smjernice za projektiranje u skladu s prirodom. Prezentirajte vlastiti projekt ostalim polaznicima. Procijenite prednosti i mane stare i novonastale situacije.
- Pronađite i analizirajte 10 različitih primjera obiteljskih kuća ili višestambenih zgrada gdje se prirodno okruženje uklopilo u dizajn interijera.
- Pokušaj primijeniti neke od ovih koncepata na postojećim građevinama i dijelovima svoga grada/naselja. Prezentirajte i diskutirajte svoj prijedlog ostalim polaznicima.

## 10 ZELENI KROVOVI I PROČELJA

### Autorica:

Ivana Gagro, dipl.ing.arh.

### Ishodi učenja:

1. imenovati osnovne pojmove o strukturama ravnih krovova, zelenih krovova i pročelja
2. razlikovati obnovljive izvore energije, energetske učinkovite instalacije zgrade
3. istražiti izvedene zgrade sa zelenim pročeljima i zelenim krovovima
4. kreirati vlastito zeleno pročelje kuće i zeleni krov na postojećem objektu koji ima standardni krov i pročelje
5. prezentirati vlastiti projekt ostalim polaznicima
6. procijeniti prednosti i mane stare i novonastale situacije

### UVOD

Krovovi su završni gornji dio zgrade koji ju štiti od vanjskih atmosferskih utjecaja (padalina, topline, hladnoće, vlage), mehaničkih oštećenja, požara, buke. Krov nazivamo petim pročeljem zgrade. S obzirom na podjelu prema nagibu razlikujemo kosi krov iznad 5° nagiba i ravni krov do 5° nagiba. Kosi krov se sastoji se od krovne konstrukcije koja preuzima opterećenje pokrova (roženička i podroženička krovništa – stolica i visulja), elemenata za oblikovanje krovnih ploha i krovnog pokrova.

Ravni krov je u današnje vrijeme sve više prisutan u gradnji stambenih zgrada vodeći se razvojem suvremenih materijala za oblikovanje i odvodnju ravnih krovova. Prateći razvoj ekološke svijesti i potrebom za

ozelenjavanjem urbaniziranih područja povećava se broj zelenih krovova, a s njime polako i razvoj te sve veća potreba za zelenim pročeljima.

## **RAVNI KROVOVI**

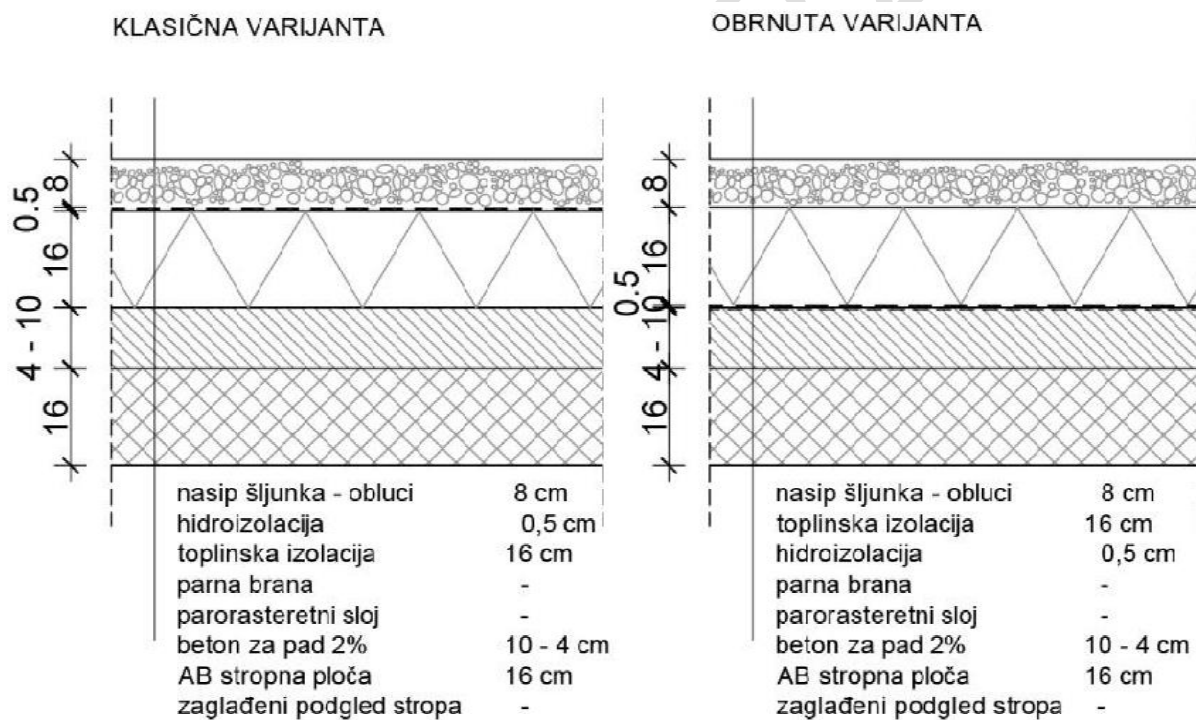
Ravan krov, kao i kosi krov, ima svoju prvotnu zadaću da štiti zgradu od vanjskih utjecaja, međutim on u svojoj konstrukciji nikad nije u potpunosti ravan iz razloga što je njegov najveći problem a ujedno i zahtjev – pravilna odvodnja krova.

### **Podjela ravnih krovova**

1. Prema prozračivanju
  - neprozračivani jednostruki krovovi ("topli")
  - prozračivani dvostruki krovovi ("hladni")
  - kombinirani
2. Prema nagibu
  - s malim nagibom (0,5 do 1 %)
  - s normalnim nagibom (1 do 2,5 %)
  - s većim nagibom (2,5 do 4 %)
  - s velikim nagibom (4 do 15 %)
  - nagnuti (15 do 40 %)
3. Prema namjeni
  - prohodni
  - neprohodni
  - zeleni
4. Prema položaju slojeva u konstrukciji
  - klasični
  - obrnuti

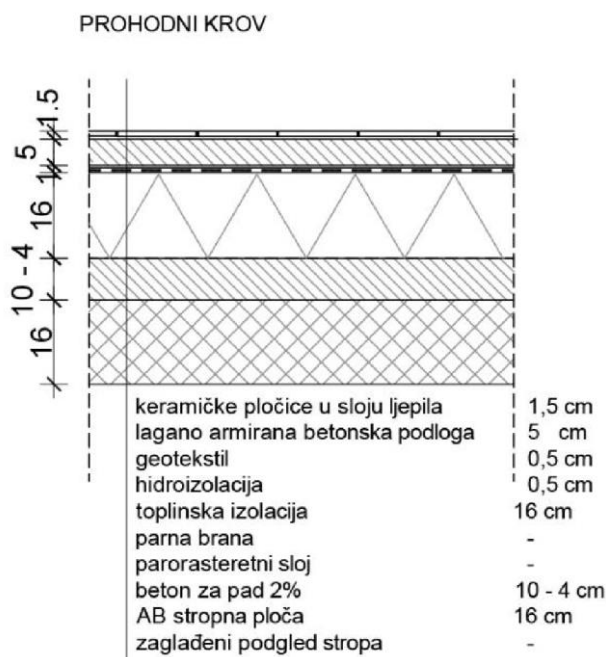
U klasičnoj varijanti na vrhu je zaštita hidroizolacije (npr. sloj oblutaka ili šljunka), a zatim prema dolje slijede hidroizolacija koja sprečava prodor vode odozgora, zatim toplinska izolacija koja služi sprečavanju prolaska topline, parna brana i parorasteretni sloj koji sprečavaju, odnosno usporavaju prodor vlage iz unutrašnjosti zgrade koja bi mogla naštetiti toplinskoj izolaciji. Ispod parne brane je beton za pad koji se izvodi u kosini, odnosno njime se regulira nagib ravnog krova zbog odvodnje oborinske vode te na kraju nosiva konstrukcija.

Kod obrnute varijante, toplinska izolacija je iznad hidroizolacije pa treba odabrati toplinsku izolaciju koja je otporna na utjecaj vode. U ovom slučaju hidroizolacija ujedno vrši i funkciju parne brane, a ostali slojevi su isti.



Slika 73 Presjeci ravnih krovova s obzirom na položaj slojeva s opisom ispod (Sladoljev, 2023)





Slika 74 Presjek kroz prohodni krov s opisom slojeva (Sladoljev, 2023)

### Zeleni krovovi

Potreba za ozelenjavanjem urbanih područja je postepeno dovela i do uvođenja živih biljaka na krovove. Kroz povijest gledano, prvi poznati su bili upravo Semiramidini vrtovi (Slika 75), a danas je to luksuz koji polako postaje standard u gradovima. U sjevernom dijelu Europe, gdje vladaju hladne i vlažne klimatske prilike i pogodan biljni materijal, rezultirali su krovom prekrivenim travnatim busenom, poznatim kao "grassoden" (Slika 76). Takvi krovovi još uvijek možete pronaći na pastirskim kolibama u Švedskoj i Norveškoj.



Slika 75 Semiramidini viseći vrtovi Babilona (Cetina, 2016)



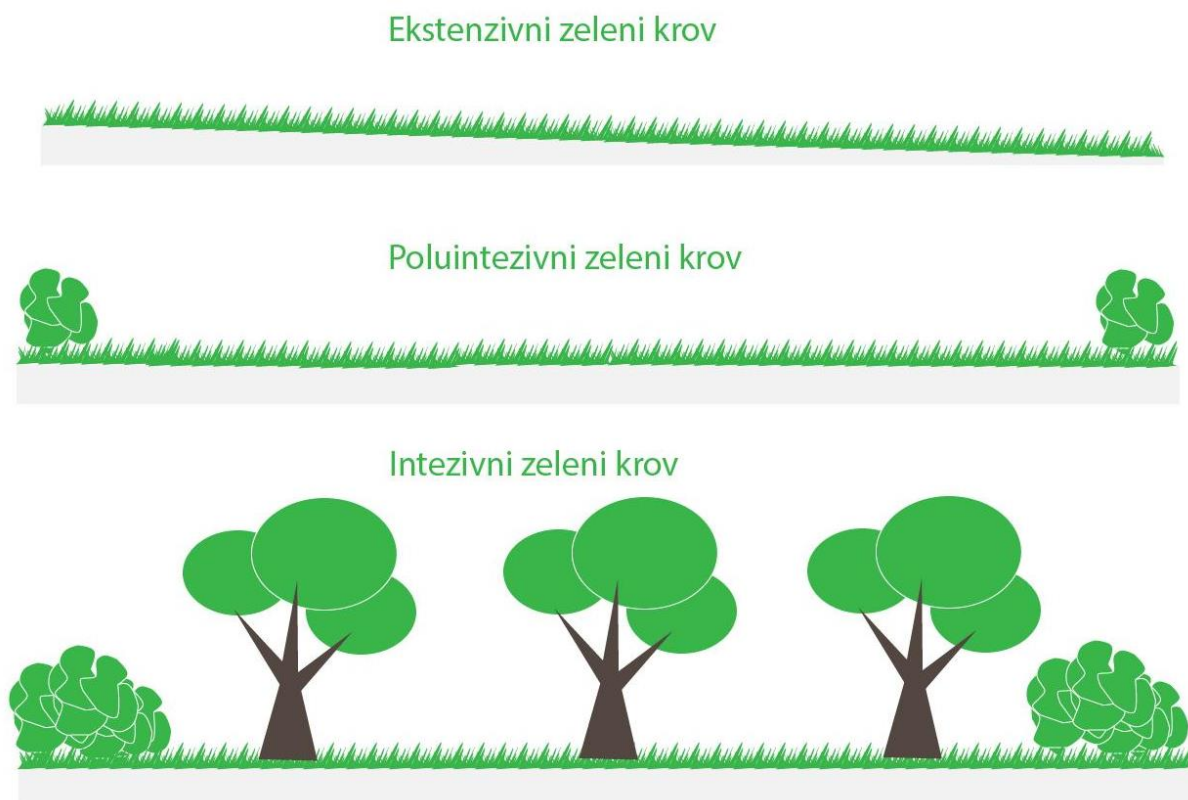
Slika 76 Grassoden, Švedska (HIDROGREEN d.o.o. , 2024)

Razdoblje oko 1920. godine, s ravnim krovovima u arhitekturi „Bauhaus“, obnovilo je i proširilo ideju krovnih vrtova. Otprilike od 1980. godine, ekološka svijest sve više utječe na razvoj prvih zelenih krovova. U 20.stoljeću Njemački institut za istraživanje razvoja gradnje okoliša (FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) donio je Smjernice za projektiranje, izvođenje i održavanje zelenih krovova. Ove smjernice predstavljaju ključni dokument koji pruža strukturu i smjernice za optimalno planiranje, izvođenje i dugotrajno održavanje zelenih krovova, osiguravajući da krajnji rezultat zadovoljava visoke standarde kvalitete.

Važnost zelenih krovova je u sposobnosti da smanje otjecanje oborinskih voda, reguliraju temperaturu zraka te pruže niz drugih ekoloških, društvenih i ekonomskih koristi. Osim toga, zeleni krovovi predstavljaju estetski privlačnu zamjenu tradicionalnim krovovima, pridonoseći tako i vizualnom identitetu urbanog izgleda.

Vrste zelenih krovova:

1. Ekstenzivni,
2. Intenzivni,
3. Poluintenzivni.



Slika 77 Vrste zelenih krova (Zeleni krovovi, 2024)

**Ekstenzivni zeleni krov** predstavlja jednostavan i lagan sustav, s minimalnom potrebom za održavanjem i upravljanjem nakon postavljanja. Ovaj tip zelenog krova često se koristi na krovovima koji nisu pristupačni ili imaju vrlo ograničenu namjenu u javne ili rekreacijske svrhe. Za razliku od intenzivnih zelenih krovova, ekstenzivni krovovi zahtijevaju godišnje održavanje, a karakterizira ih određeni nagib površine.

**Intenzivni zeleni krov** označava složeniji i teži sustav ozelenjivanja koji zahtijeva znatne napore prilikom postavljanja, održavanja i upravljanja, uključujući redovito navodnjavanje i gnojidbu. Ovi krovovi imaju veće zahtjeve i stoga nose veće troškove u usporedbi s ekstenzivnim zelenim krovovima. Često se instaliraju na stambenim zgradama, hotelima ili podzemnim parkiralištima.

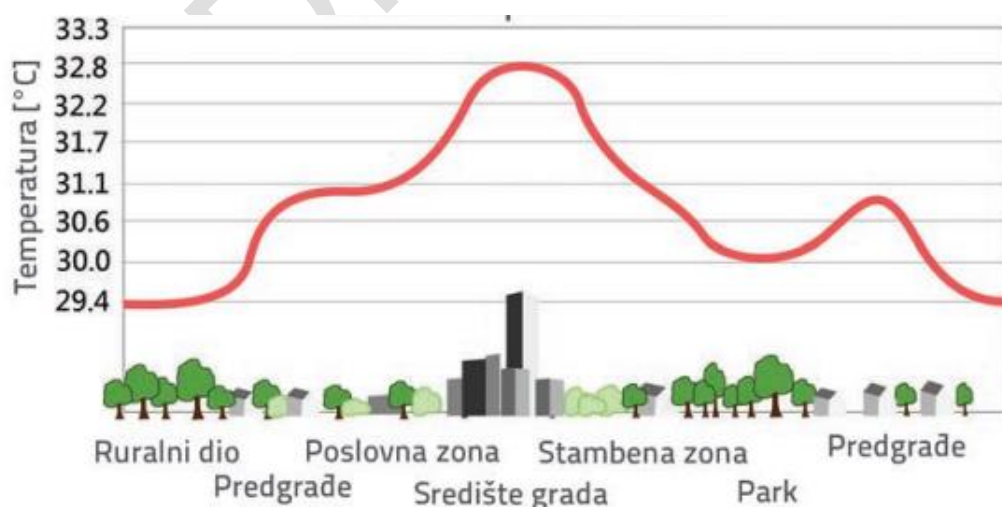
Intenzivna zelena vegetacija obično nalazi svoje mjesto na krovovima s pristupom koji se koriste u javne ili rekreacijske svrhe, zahtijevajući redovito održavanje.

**Poluintenzivni zeleni krov** nudi srednji pristup između jednostavnih i složenih varijanti. Karakterizira ih umjerena složenost i težina u usporedbi s intenzivnim krovovima. Debljina supstrata na poluintenzivnim krovovima varira obično između 15 do 25 centimetara, prilagođavajući se potrebama pojedinih biljaka koje se na njima uzgajaju. Engleski travnjak predstavlja najtipičniji primjer poluintenzivnog zelenog krova. Za razliku od livade, koja obuhvaća manje zahtjevne trave i cvijeće, poluintenzivni travnjaci zahtijevaju dodatnu brigu poput navodnjavanja, gnojidbe, provjetravanja i, prije svega, redovite košnje.

### **Prednosti zelenih krovova**

#### **1. Ublažavanje efekta urbanog toplinskog otoka**

Zeleni krovovi su jedan od najučinkovitijih načina za smanjenje temperature zraka u urbanim područjima. Tokom ljeta temperature u gradovima su zbog nakupljanja vrućine na cestama i zgradama približno 5 do 7 °C više nego u ruralnim područjima, dok temperatura na klasičnom krovu može biti i do 40 °C viša nego na zelenom krovu. Prema istraživanju koje je proveo Tyndall Centar za klimatske promjene potrebno je 10% ili više zelenila u gradovima kako bi se ublažio efekt urbanog toplinskog otoka.



Slika 78 Efekt "temperaturnog otoka" (Bogdan, 2019)

## **2. Zadržavanje oborinskih voda**

Ogromna prednost zelenih krovova je smanjenje odljeva oborinskih voda, što ljeti vodi do smanjenja opterećenja kanalizacijskih sistema za 70-95%. Zeleni krovovi pozitivno utiču na smanjenje troškova jer smanjuju ili poništavaju potrebu za spremištima za kišnicu i sličnom opremom, koja je uobičajena u upravljanju oborinskim vodama. Sposobnost zadržavanja oborinskih voda pomaže u sprječavanju nesreća uzrokovanih obilnim kišama (urbane poplave).

## **3. Pročišćivanje kišnice**

Prirodnom biofiltracijom zeleni krovovi sprečavaju da kontaminanti i toksini završe u vodenim tokovima i vodenim putevima. Prema istraživanju koje su proveli Kohler i Schmidt 1990., 95% olova, bakra i kadmijevog sulfida te 19% cinka koji dolazi kišnicom zadržava se u substratu, što doprinosi poboljšanju kvalitete lokalne vode.

## **4. Smanjenje ugljičnog dioksida**

Zeleni krovovi pomažu u smanjivanju udjela ugljičnog dioksida u zraku, koji se smatra jednim od glavnih uzroka globalnog zatopljenja. 1 m<sup>2</sup> zelenog krova može godišnje apsorbirati 5 kg ugljičnog dioksida. Osim toga, zbog učinka smanjenja potrošnje energije dodatno se smanjuje količina ugljičnog dioksida za 3.2 kg godišnje.\* Radi ilustracije, 1 m<sup>2</sup> zelenog krova u stanju je apsorbirati istu količinu ugljičnog dioksida koju prosječan automobil ispusti za vrijeme vožnje od 80 km.

## **5. Čišći zrak**

Bilje zelenog krova zadržava iz lokalne atmosfere čestice nošene zrakom poput smoga, teških metala i organskih spojeva, što ima pozitivan učinak na kvalitetu zraka i na zdravlje stanovništva. Znanstvenici procjenjuju da 1 m<sup>2</sup> zelenog krova svake godine može apsorbirati 0.2 kg letećih čestica.

## **6. Prirodno stanište**

Porastom urbanizacije osiguranje prirodne raznolikosti postaje jednim od glavnih zahtjeva za lokalne zajednice. Zeleni krovovi mogu pružati stanište raznim vrstama te obnoviti ekološki ciklus koji je urbana infrastruktura poremetila.

## **7. Produženi životni vijek krova**

Zeleni krovovi dokazano utrostručuju životni vijek krova. Krovni materijali ispod zelenog krova zaštićeni su od mehaničkih oštećenja, ultraljubičastog zračenja i ekstremnih temperatura, što rezultira smanjenim troškovima održavanja i obnove.

## **8. Energetska učinkovitost**

Zeleni krovovi pomažu u smanjenju potrošnje energije do 25% na grijanje i do 75% na hlađenje. Porastom cijene energije smanjeni troškovi grijanja i hlađenja postaju sve privlačnijima.

## **9. Smanjenje buke**

Zeleni krov pruža dobru zvučnu izolaciju, životni prostor čini tišim te stvara ugodnije okruženje u urbanoj okolini. Doprinosi smanjenju buke u velikim gradovima, u blizini industrijskih zona i zračnih luka.

## **10. Prirodni izgled**

Prirodni izgled zelenih krovova čini odmak od betonskih struktura u urbanim područjima i uvodi značajne promjene u modernu arhitekturu. Nekoliko istraživanja je pokazalo da prisutnost zelenih područja ima opuštajući psihološki učinak, doprinosi sniženju krvnog tlaka te snižava puls. Zbog različitih vrsta koristi koje donose, zeleni krovovi značajno povišuju vrijednost stambenih i poslovnih nekretnina.

## 11. Korisne zelene površine

Zeleni krovovi povećavaju dodatan zeleni prostor u urbanim područjima s ograničenim otvorenim prostorom i povećavaju vrijednost građevina. Zeleni krovovi mogu biti osmišljeni kao javni vrtovi, komercijalni ili rekreacijski prostori koji pružaju mnoštvo mogućnosti za različite javne namjene.



Slika 79 3LHD, Grand Park Rovinj (ArchDaily, 2024)

### ZELENA PROČELJA

Zelena pročelja su zidovi, okomito izgrađene samostalne strukture prekrivene vegetacijom. Biljke disperziraju zvuk i tako smanjuju buku, a ujedno proizvode kisik i kući daju atraktivan izgled. Često su izgrađena od modularnih ploča ili drugih konstruktivnih okvira koje služe za smještaj različitih vrsta medija za uzgoj, o čemu pak ovisi odabir vegetacije koja posljedično nalaže i modalitete potreba za održavanjem.

Biljke koje rastu na zidovima, rastu iz supstrata koji je postavljan u unutrašnjost zidnog modula. Zelenilom i biljkama mogu se obložiti cijele zidne površine, ali one mogu biti ugrađene i na manje prostore kao što su

to stupovi. Postoje i zidni paneli koji se mogu pomicati po prostoru ovisno o potrebi. Zelena fasada predstavlja inovativno rešenje koje spaja prirodu i arhitekturu, pružajući brojne prednosti u smislu održivosti, estetike i funkcionalnosti. Uvođenje zelenih fasada u urbana područja može poboljšati kvalitetu života stanovnika, smanjiti negativne utjecaje urbane sredine i pridonijeti održivoj budućnosti.



Slika 80 Stefano Boeri, Vertikalne šume u Milanu (Jutarnji list, 2021)

### **Prednosti zelenih pročelja**

Vertikalno uzgojena vegetacija doprinosi:

1. boljoj toplinskoj izolaciji prostora (zimi grije, ljeti hladi)
2. pomaže u smanjenju ugljičnog dioksida i prašine (tipični za urbane sredine u strogom centru grada)
3. učinkovita zaštita od znatiželjnih pogleda
4. smanjenje buke
5. proizvodnja kisika
6. zdrava klima za stanovanje
7. psihološki utjecaj na mentalno zdravlje ljudi (smanjenje stresa i poboljšavanje koncentraciju i produktivnost)



UN predviđa da će do 2050. godine 68 % svjetskog stanovništva živjeti u gradovima, pa trend zelene arhitekture dobiva sve više na značaju. Gradnja urbanih šuma oko Pariza, s ciljem smanjenja zagađenja zraka, i primjer Singapura koji se suočava s nedostatkom hrane 'zračnim farmama', pokazuje koliko daleko zelena arhitektura može ići.



Slika 81 Hotel Parkroyal on Pickering, Singapur (Dennis, 2018)

## ZANIMLJIVOSTI

Novi primjer zelenog krova je biosolarni zeleni krov. Jednostavno je dizajniran za održavanje bioraznolikosti, dok u isto vrijeme povećava količinu sunčeve energije iz zelenih krovova. Na [web stranici](#) istražite više o detaljima i primjeni panela na ravnom krovu.





*Slika 82 Primjer krova sa biosolarnim panelima na krovu, Daramu House, Barangaroo, Sidney (Tzannes, 2024)*

## ZAKLJUČAK

Zgrade s ravnim krovom najčešće svoj krov ne koriste jer je nedostupan te je zbog toga najbolje rješenje upravo projektirati objekte na način da imaju izlaz na krov te zeleni krov koji u tom slučaju može biti djelomično izveden kao terasa. Time se dobiva dodatan prostor koji je iskorišten na najbolji mogući način, a osim što izgleda atraktivno, podiže i vrijednost same zgrade.

Zeleni krovovi u Hrvatskoj označavaju korak prema održivijem urbanom razvoju, a stanovništvo sve više cijeni njihovu estetiku i funkcionalnost.

Ekološke prednosti uključuju smanjenje toplinskih otoka, bolju kvalitetu zraka i apsorpciju oborinskih voda. Potiču raznovrsnost biljnog i životinjskog svijeta te funkciju proizvodnje hrane. Napredak u tehnologiji i materijalima

smanjuje troškove izgradnje, čineći ih pristupačnijima za različite vrste zgrada.

Hrvatska ima potencijal za transformaciju slobodnih površina u zelene oaze na krovovima, pridonoseći energetske uštedama i poboljšanju kvalitete života u gradovima.

### Pitanja za ponavljanje

1. Koje su razlike između ekstenzivnog i intenzivnog zelenog krova?
2. Koje su prednosti zelenog krova?
3. Koje su prednosti biosolarnih panela na zelenom ravnom krovu?
4. Što su zelena pročelja i gdje je moguća njihova primjena?

### Istraži...

- Kreirajte vlastito zeleno pročelje kuće i zeleni krov na postojećem objektu koji ima standardni krov i pročelje. Prezentirajte vlastiti projekt ostalim polaznicima. Procijenite prednosti i mane stare i novonastale situacije.
- Na web stranici <https://www.architecturaldigest.com/gallery/green-roof-living-roof-designs> pogledajte primjere arhitekture zelenih krovova u svijetu.



## 11 ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE

### Autor:

Marko Štuhec, mag.ing.arch.

### Ishodi učenja:

1. opisati što je nZEB kuća
2. razumjeti razliku između nZEB i Pasivne kuće
3. prepoznati važnost gradnje prema nZEB standardu
4. prepoznati zakone vezane uz projektiranje zgrada nZEB standarda
5. nabrojiti zakone, pravilnike i priručnike koje možemo koristiti kod projektiranja zgrade nZEB standarda
6. objasniti principe projektiranja zgrada nZEB standarda
7. odabrati primjerene elemente zgrade koji su potrebni za dobivanje zgrada nZEB standarda
8. istražiti dobre primjere zgrada nZEB standarda

### UVOD

Građevinski sektor čini značajan dio globalne potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova. Prema Međunarodnoj agenciji za energiju (IEA), zgrade troše oko 40% ukupne svjetske energije i emitiraju 33% globalnih emisija CO<sub>2</sub> (Laura Cozzi, 2020). Većina ove potrošnje dolazi iz grijanja, hlađenja, ventilacije i električne energije za rasvjetu i uređaje. Uvođenje niskoenergetskih kuća može drastično smanjiti ove brojke, pružajući održivo rješenje za globalne energetske izazove.

Niskoenergetske kuće također pridonose smanjenju potražnje za fosilnim gorivima i povećanju korištenja obnovljivih izvora energije. Integracija solarnih panela, geotermalnih sustava i drugih obnovljivih tehnologija u

dizajn ovih kuća omogućuje im da proizvode vlastitu energiju, smanjujući time potrebu za vanjskim izvorima energije i doprinosi energetske neovisnosti.

### **Definicija**

Zgrade gotovo nulte energije (nZEB) definiraju se kao zgrade s vrlo visokom energetske učinkovitosti, gdje se gotovo sav potrebni energijski udio dobiva iz obnovljivih izvora energije, kako na mjestu korištenja, tako i iz blizine. Prema hrvatskim zakonodavnim propisima, nZEB standard je obavezan za sve nove javne zgrade od 2019. i za sve nove zgrade od 2021. godine.

Zgrade gotovo nulte energije su građevine dizajnirane da troše minimalnu količinu energije za grijanje, hlađenje, ventilaciju i druge potrebe (Feist, 2009). Ove kuće koriste napredne tehnike gradnje, visokokvalitetne izolacijske materijale i obnovljive izvore energije kako bi postigle visoku energetske učinkovitost. Cilj niskoenergetskih kuća je smanjiti potrošnju energije, smanjiti emisije stakleničkih plinova i pružiti ugodan životni prostor s minimalnim utjecajem na okoliš.

### **Kratka povijest i razvoj niskoenergetskih kuća**

Koncept niskoenergetskih kuća pojavio se kao odgovor na energetske krize 1970-ih godina (Lowe, 1998). S rastom cijena energije i sve većom sviješću o klimatskim promjenama, arhitekti i inženjeri počeli su tražiti načine kako smanjiti potrošnju energije u zgradama. Prvi veliki pomak u ovom smjeru dogodio se u Njemačkoj, gdje je razvijen standard Passivhaus krajem 1980-ih. (Feist, 2009). Ovaj standard postavio je visoke kriterije za energetske učinkovitost, koristeći napredne tehnike izolacije, pasivne solarne dizajne i sustave ventilacije s rekuperacijom topline. Od tada, koncept niskoenergetskih kuća proširio se diljem svijeta, uz razvoj različitih standarda i certifikata prilagođenih lokalnim uvjetima i potrebama.

### **Zašto su niskoenergetske kuće važne?**

Niskoenergetske kuće igraju ključnu ulogu u borbi protiv klimatskih promjena. Smanjenjem potrošnje energije, one direktno doprinose smanjenju emisije stakleničkih plinova, čime pomažu u ublažavanju globalnog zagrijavanja. Osim ekoloških prednosti, niskoenergetske kuće nude i ekonomske koristi (LEED v4 for Building Design and Construction, 2020). Iako je početna investicija u gradnju ovakvih kuća često veća, dugoročne uštede na troškovima energije mogu biti značajne (Crawford, 2011). Niskoenergetske kuće također pružaju zdravije i ugodnije životne uvjete zahvaljujući boljoj izolaciji, kvalitetnijoj ventilaciji i korištenju prirodnih materijala.

Nadalje, razvoj niskoenergetskih kuća potiče inovacije u građevinskoj industriji, potiče korištenje obnovljivih izvora energije i doprinosi održivom razvoju zajednica. Sve ove prednosti čine niskoenergetske kuće važnim dijelom strategija za održivu budućnost.

### **RAZLIKA IZMEĐU nZEB I PASIVNE KUĆE**

**Kuće gotovo nulte energije (nZEB)** teže smanjenju potrošnje energije te imaju izuzetno visoku energetske učinkovitost, ali je njihov cilj proizvesti onoliko energije koliko je se potroši. **Pasivne kuće** su model projektiranja visoko energetske učinkovitih kuća gdje je fokus primarno na smanjenju energetske gubitaka i „recikliranju“ toplinske energije korištenjem na primjer rekuperatora topline za ventilaciju. Proizvodnja energije nije karakteristika pasivnih kuća već se kod njih predviđa korištenje obnovljivih izvora za nadoknađivanje energetske deficita.

Ideja Pasivne Kuće je da se potrebna energija za grijanjem najvećim dijelom pokrije iz „pasivnih“ izvora poput Sunca - putem solarnih dobitaka koji ulaze u zgradu kroz prozore i zagrijavaju prostor. Važan dio je i ventilacija s

povratom topline, kojom sav zrak koji ulazi u prostor prvo predgrijemo toplim zrakom koji izbacujemo iz prostora. Tako štedimo više od 75% energije koju bi inače potrošili da ponovo zagrijemo novi zrak. Još jedan izvor zagrijavanja su unutarnji dobitci topline. Njih proizvode ljudi i oprema u prostoru. Za preostali mali dio topline koji se treba predati prostoru, kako bi održavali ugodnu temperaturu, dovoljan je mali sustav grijanja. Primjer koji je rado korišten je sušilo za kosu. Naime, s obzirom da je prosječna potrebna snaga za grijanje Pasivne Kuće oko 10W/m<sup>2</sup>, za kuću od 100m<sup>2</sup> dovoljan je sustav grijanja snage 1000W, što je otprilike snaga grijanja jednog sušila za kosu.

Kad je riječ o hlađenju primjenjuju se isti principi, ali s namjerom da se umanjí toplina koja opterećuje prostor. Jednostavan primjer bila bi horizontalna zasjenjenja prozora, poput streha ili balkona, koja umanjuju prodor sunčevog zračenja tijekom ljetnih mjeseci, a dopuštaju sunčevo zračenje tijekom zimskih dana. Ventilacijski sustavi imaju mogućnost premosnice („by-pass“), koji omogućuju da se tijekom ljetnih večeri, kada vanjska temperatura padne, vanjski zrak iskoristi za hlađenje kuće.

## ZAKONODAVNI OKVIR

Gradnja i moguća obnova zgrada prema kriterijima za zgrade gotovo nulte energije (nZEB) je obveza koja proizlazi iz EPBD (Energy Performance of Building Directive) Direktive 2010/31/EU od 19. svibnja 2010. o energetskej učinkovitosti zgrada (preinaka), koja navodi nužnost utvrđivanja konkretnih mjera.

Zakonodavni okvir koji propisuje nZEB kriterije u Republici Hrvatskoj je:

- Zakon o gradnji („Narodne novine“ broj 153/13, 20/17, 39/19, 125/19)

- Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (*„Narodne novine“ broj 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20*)
- Dugoročna strategija obnove nacionalnog fonda zgrada do 2050. godine (*Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine*)

Sve nove zgrade za koje se zahtjev za izdavanje lokacijske ili građevinske dozvole za koju se ne izdaje lokacijska podnosi od 31. prosinca 2019. godine moraju ispunjavati zahtjeve za nZEB, a nove zgrade koje kao vlasnici koriste tijela javne vlasti su već trebale biti projektirane kao zgrade gotovo nulte energije, ako je zahtjev za izdavanje lokacijske ili građevinske dozvole za koju se ne izdaje lokacijska dozvola podnesen nakon 31. prosinca 2017. godine.

### **Direktiva o energetskej učinkovitosti zgrada**

Direktiva 2010/31/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 19. svibnja 2010. o energetskej učinkovitosti zgrada / (engl. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings - EPBD II) navodi nužnost utvrđivanja konkretnih mjera kako bi se ostvario velik neiskorišteni potencijal ušteda energije u zgradama i kako bi se povećao broj zgrada koje ne samo da ispunjavaju trenutne minimalne zahtjeve energetske učinkovitosti već su i energetski učinkovitije, a sve u cilju smanjenja potrošnje energije i emisije stakleničkih plinova. U navedenoj Direktivi uvodi se pojam zgrade gotovo nulte energije (nearly zero-energy building, nZEB), što je pojam za zgradu koja ima vrlo visoku energetskej učinkovitost. (MGIPU, 2019)

Od država članica Europske unije traži se da osiguraju da od 31. prosinca 2020. godine sve nove zgrade moraju biti zgrade gotovo nulte energije, a nakon 31. prosinca 2018. godine nove zgrade koje koriste tijela javne vlasti, odnosno koje su u vlasništvu tijela javne vlasti, moraju biti zgrade gotovo nulte energije. (MGIPU, 2019)



### **Standardi i certifikati**

Niskoenergetske kuće prepoznaju se i ocjenjuju prema različitim standardima i certifikatima koji definiraju kriterije za energetske učinkovitost. Neki od najpoznatijih su:

**Passivhaus:** Njemački standard koji postavlja stroge zahtjeve za izolaciju, zrakonepropusnost i sustave ventilacije. Kuće koje ispunjavaju ove zahtjeve troše minimalnu količinu energije za grijanje i hlađenje.

**LEED (Leadership in Energy and Environmental Design):** Američki certifikacijski sustav koji ocjenjuje zgrade prema njihovoj energetske učinkovitosti, upotrebi obnovljivih izvora energije, kvaliteti zraka u zatvorenom prostoru i drugim kriterijima održivosti.

**BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method):** Britanski sustav ocjenjivanja koji procjenjuje zgrade prema njihovoj ekološkoj učinkovitosti, uključujući korištenje energije, vode, materijala i upravljanje otpadom.

U republici Hrvatskoj propisan je standard **nZEB (near Zero Energy Building)** te je za postizanje tog standarda potrebno ispuniti određene zahtjeve ovisno o vrsti (namjeni) zgrade, lokaciji zgrade i o faktoru oblika zgrade.

Zahtjevi za zgradu gotovo nulte energije određeni su:

- godišnjom potrebnom toplinskom energijom za grijanje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade,  $Q''_{H,nd}$  [kWh/(m<sup>2</sup>·a)]
- godišnjom primarnom energijom po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade  $E_{prim}$  [kWh/(m<sup>2</sup>·a)] koja ovisno o namjeni uključuje energiju za grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu potrošne tople vode i rasvjetu
- minimalnim udjelom isporučene energije podmirenim iz obnovljivih izvora energije

- ispunjavanjem zahtjeva o zrakopropusnosti koji se dokazuje ispitivanjem na zgradi prije tehničkog pregleda zgrade

### Tehnički propis

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama uspostavlja standarde za energetska učinkovitost zgrada u Hrvatskoj. Propis definira zahtjeve za toplinsku izolaciju, energetska učinkovitost i korištenje energije iz obnovljivih izvora u novogradnjama i postojećim zgradama koje se značajno renoviraju.

Na primjer, propisom se definiraju svi koeficijenti prolaska topline za različite dijelove zgrade, kao što su zidovi, krovovi i podovi (Slika 83). Najveći dopušteni koeficijent ovisi o klimatskoj regiji u kojoj se zgrada nalazi te predviđenoj temperaturi na koju zgradu grijemo/hladimo.

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

Slika 83 Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, U [W/(m<sup>2</sup> · K)], građevnih dijelova novih zgrada i nakon rekonstrukcije postojećih zgrada

### **Obaveza certificiranja**

Energetska potrošnja zgrade, tj. standard nZEB se dokazuje dokumentom koji se zove Iskaznica energetske svojstava zgrade. To je zaseban dokument koji se obvezno prilaže uz glavni projekt kada se izrađuje glavni projekt u dijelu koji se odnosi na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu.

Sam dokument se izrađuje temeljem matematičkog proračuna kojim se predviđa potrošnja energije, a njegove sastavnice su propisane Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama.

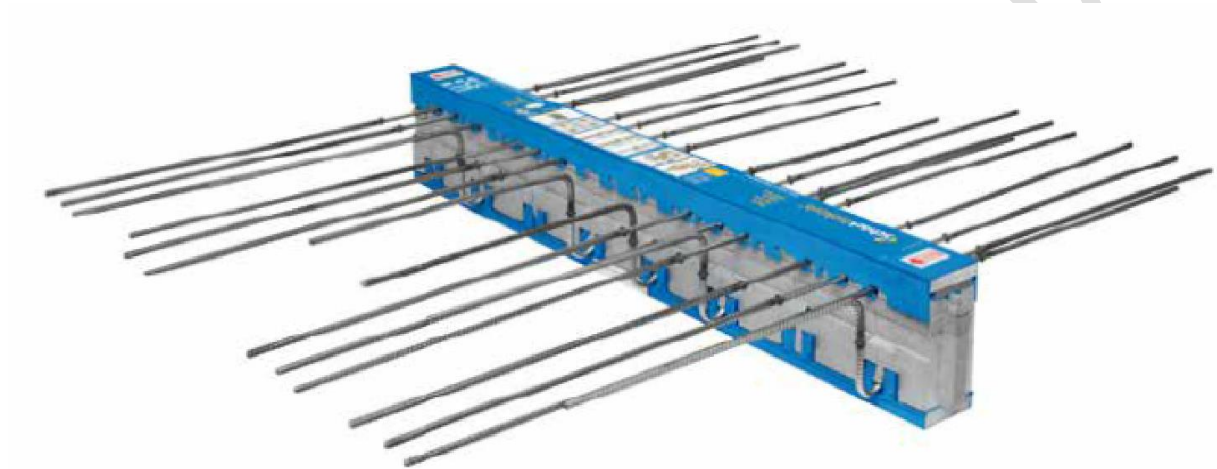
Iskaznica sadrži podatke poput faktora oblika  $f_o$  ( $m^{-1}$ ), površine oplošja grijanog dijela zgrade  $A$  ( $m^2$ ), obujma grijanog dijela zgrade  $V_e$  ( $m^3$ ), godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje  $Q_{C,nd}$  [ $kWh/a$ ], godišnje primarne energije po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade  $E_{prim}$  [ $kWh/(m^2 \cdot a)$ ] i najvažnije, nZEB svojstvo zgrade ako energetsko svojstvo zgrade ( $E_{prim}$ ) i udio obnovljivih izvora energije zadovoljavaju zahtjeve za zgrade gotovo nulte energije (što je uvjet za svu novogradnju).

### **Katalog dobro riješenih toplinskih mostova na zgradama**

Katalog dobro riješenih toplinskih mostova na zgradama je prilog Tehničkom propisu o racionalnoj upotrebi energije i toplinske zaštite u zgradama u kojem se nalaze grafički prikazi detalja i načina projektiranja toplinske izolacije kojima se sprječava pojava toplinskog mosta.

Prema Tehničkom propisu, toplinski most jest manje područje u ovojnici grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan zbog promjene proizvoda, debljine ili geometrije građevnog dijela. Zgrada mora biti projektirana i izgrađena na način da utjecaj toplinskih mostova na godišnju potrebnu toplinu za grijanje i hlađenje bude što manji te da ne dolazi do pojave građevinskih šteta u vidu unutarnje ili vanjske površinske kondenzacije u projektiranim uvjetima korištenja prostora zgrade.

U katalogu se nalaz primjeri načina na koje možemo spriječiti stvaranje potencijalnog toplinskog mosta u temeljima, prozorima i doprozirnicima, vratima, nadvojima, kutijama za rolete, balkonima, atikama i drugim mjestima (Slika 85). Važno je napomenuti da se tehnologija i građevinski elementi čiji je zadatak smanjiti pojavu toplinskih mostova i olakšati izvedbu toplinske izolacije na mjestima gdje je ona teško izvediva prema normama struke stalno razvijaju te je potrebno stalno nadopunjavati znanje o raspoloživoj tehnologiji i elementima (Slika 84).



*Slika 84 Schöck Isokorb® element za prekide toplinskih mostova na balkonima; učestao element na gradilištima Zapadne Europe koji se sve češće koristi i u Republici Hrvatskoj*

Redni broj	Naziv detalja	Grafički prikaz detalja s dobro riješenim toplinskim mostovima	Napomene
15.	Prozor s toplinski izoliranom kutijom za rolete, pozicija prozora djelomično ispred vanjske ravnine masivnog dijela zida		
16.	Prozor s toplinski izoliranom kutijom za rolete, pozicija prozora iza vanjske ravnine masivnog dijela zida		<p><math>d_{TII}</math> - debljina toplinske izolacije u skladu sa zadovoljenjem zahtjeva iz <i>Tablice 1. PRILOG B</i> iz ovog Tehničkog propisa</p> <p>V - vani ili negrijano U - unutra (zimi grijano)</p>
17.	Prozor s toplinski izoliranom kutijom za rolete u zidu od termo blokova		<p>* - dimenzije debljina slojeva toplinske izolacije navedene bez zagrada odnose se na zahtjeve iz <i>Tablice 1. PRILOG B</i> ovog Tehničkog propisa za odgovarajuću vrstu građevinskog dijela zgrade, za zgrade s: <math>\Theta_i \geq 18 \text{ }^\circ\text{C}</math> i <math>\Theta_{e,mj,min} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}</math>,</p> <p>- dimenzije debljina slojeva toplinske izolacije navedene u zagradama odnose se na zahtjeve iz <i>Tablice 1. PRILOG B</i> ovog Tehničkog propisa za odgovarajuću vrstu građevinskog dijela zgrade, za zgrade s <math>\Theta_i \geq 18 \text{ }^\circ\text{C}</math> i <math>\Theta_{e,mj,min} &gt; 3 \text{ }^\circ\text{C}</math></p>
18.	Prozor s toplinski izoliranom kutijom za roletu u višeslojnom zidu s masivnim vanjskim obzidom, pozicija prozora iza vanjske ravnine masivnog dijela zida		<p>- dimenzije debljina slojeva toplinske izolacije odnose se na minimalne debljine materijala za toplinske izolacije toplinske provodljivosti: <math>\lambda \leq 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}</math> ili ekvivalentne manje debljine materijala za toplinsku izolaciju s povoljnijim (nižim) <math>\lambda</math> vrijednostima</p>
19.	Prozor s toplinski izoliranom kutijom za rolete u višeslojnom zidu s masivnom vanjskom oblogom, pozicija prozora djelomično ispred vanjske ravnine nosivog dijela zida		<p>- sve označene dimenzije izražene su u centimetrima (cm)</p>

Slika 85 Primjer rješenja iz kataloga dobro riješenih toplinskih mostova na zgradama – prozori s toplinsko izoliranom kutijom za rolete (Biluš & Mandić, 2014)

## PROJEKTIRANJE I PROJEKTANTSKE SMJERNICE

Energetski koncept nZEB zgrada ostavlja veliku slobodu u oblikovanju. Projektiranje zgrada koje se pridržava načela energetski učinkovitog oblikovanja preporučljivo je, ali nije obvezno. Zgrade koje imaju nisku razinu potrošnje energije lakše će ispuniti zahtjeve za gotovo nulti energetski standard, ali i zgrade s većom potrošnjom mogu zadovoljiti taj standard zahvaljujući visokoučinkovitim termotehničkim sustavima i obnovljivim energentima.

Arhitektonsko-građevinske karakteristike zgrade koje utječu na potrebnu energiju za grijanje i hlađenje jesu: kvaliteta ovojnice zgrade (debljine toplinske izolacije i vrsta ostakljenja), oblik zgrade (kompaktnost), orijentacija otvora prema stranama svijeta i zaštita od sunca (MGIPU, 2019).

### *Klimatske regije i lokacija*

Za izračun energetskog svojstva zgrade razlikujemo referentne i stvarne klimatske uvjete.

U Hrvatskoj postoje **dvije klimatske zone** odnosno referentne klime – **kontinentalna i primorska klima**. Referentna klima jest klima meteorološke postaje preuzete kao karakteristične za područje kontinentalnog i za područje primorskog dijela Hrvatske. Referentna meteorološka postaja za kontinentalnu Hrvatsku je Zagreb - Maksimir, a referentna meteorološka postaja za primorsku Hrvatsku je Split - Marjan.

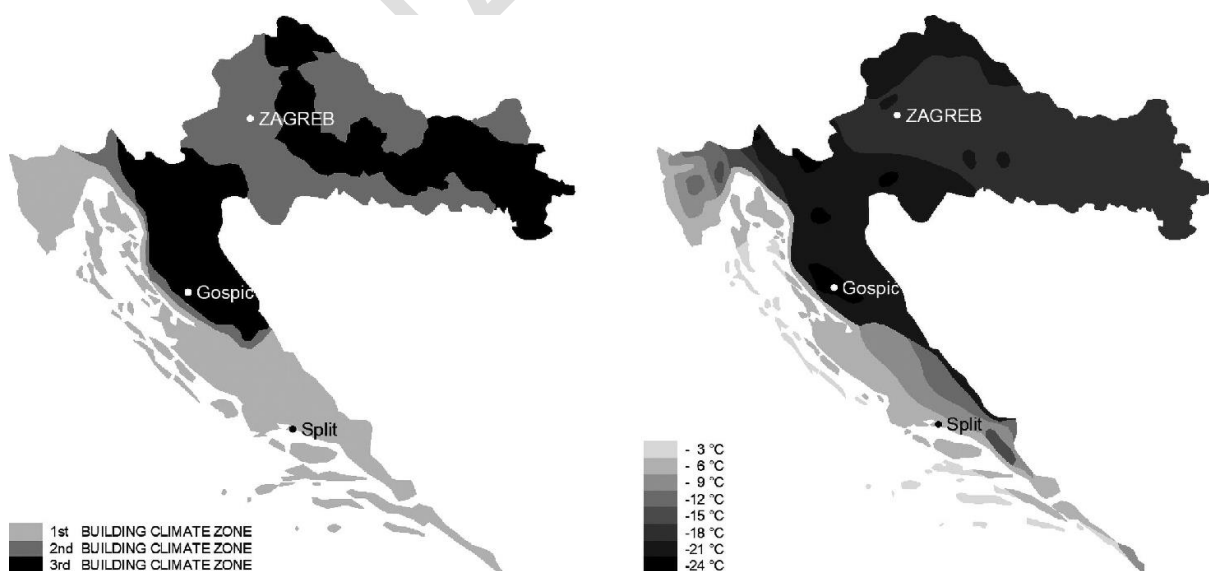
**Kontinentalna klima** uzima se kao referentna kada je srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade prema podacima iz Meteoroloških podataka za najbližu klimatski mjerodavnu meteorološku postaju  $\Theta_{mm}$  jest  $\leq 3$  °C.

**Primorska klima** uzima se kao referentna kada srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade prema

podacima iz Meteoroloških podataka za najbližu klimatski mjerodavnu meteorološku postaju  $\Theta_{mm}$  jest  $> 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Kod projektiranja zgrada u kontinentalnoj klimi naglasak je na **grijanju zgrade** u zimskim mjesecima jer će se tu dešavati najveći gubitci toplinske energije. Iz tog razloga zgrade u kontinentalnoj klimi obično imaju debeli sloj toplinske izolacije i vrlo efikasne sustave grijanja. Doduše, zbog klimatskih promjena i porasta temperature u ljetnim mjesecima, sve je veći naglasak i na hlađenju zgrada, tj. na sprječavanju pregrijavanja zgrada.

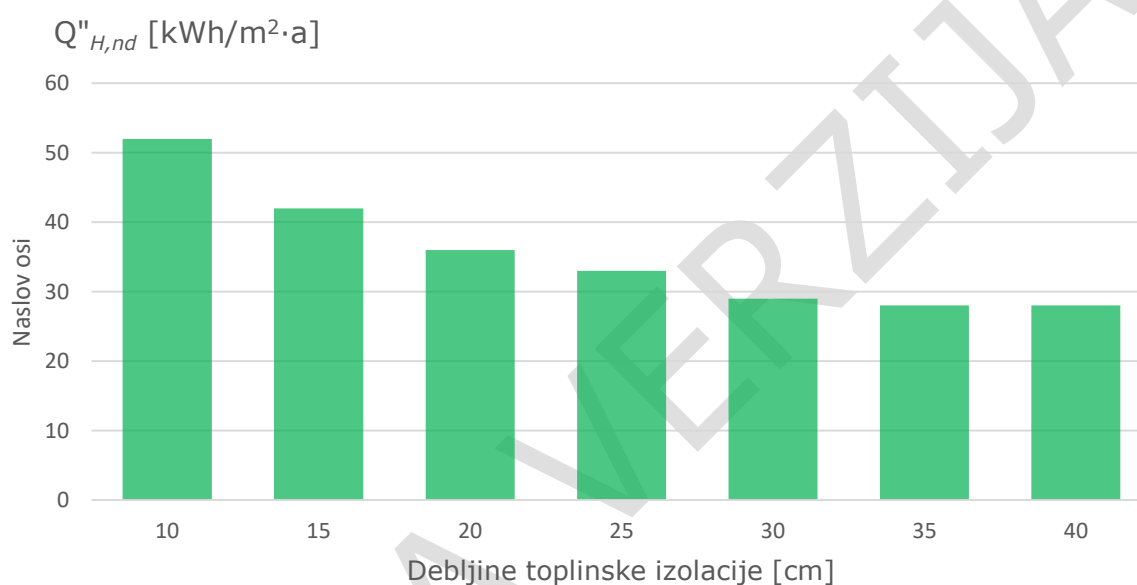
Kod projektiranja zgrada u primorskoj klimi, naglasak se obično stavlja na **hlađenje zgrade** i sprječavanje pregrijavanja zgrade. Temperature u zimskim mjesecima su blaže od onih u kontinentalnoj klimi pa je toplinska izolacija u vanjskoj ovojnici zgrade obično manja od one u kontinentalnoj klimi. Važno je napomeniti da, osim što sprječava toplinske gubitke u zimskim mjesecima, toplinska izolacija sprječava prodor i akumulaciju topline u ljetnim mjesecima. Pritom je važno voditi se načelom ekonomičnost i ne treba zgradu toplinski izolirati predebelim slojem toplinske izolacije.



Slika 86 Podjela Republike Hrvatske na tri klimatske zone za zgrade prema Pravilniku o tehničkim mjerama i uvjetima za toplinsku izolaciju zgrada – Službeni list SFRJ 35/70. Danas je Republika Hrvatska podijeljena na dvije klimatske zone za zgrade. (Zoran Veršić)

### Kvaliteta ovojnice zgrade

Kvaliteta ovojnice zgrade odnosi se na **debljine toplinske izolacije**, kao i na vrstu ostakljenja i okvira prozora, te brtvljenje odnosno zrakopropusnost. Debljine toplinske izolacije imaju najveći utjecaj na potrebnu energiju za grijanje. Ipak, pri odabiru debljina izolacije potrebno je voditi računa o tome da se toplina ne gubi samo kroza zidove, krov i prozore, stoga će prevelike debljine izolacije u konačnici imati manju učinkovitost.



Slika 87 Utjecaj debljina toplinske izolacije na specifičnu potrebnu energiju za grijanje  $Q''_{H,nd}$  (MGIPU, 2019)

### Prozori i transparentne stijenke

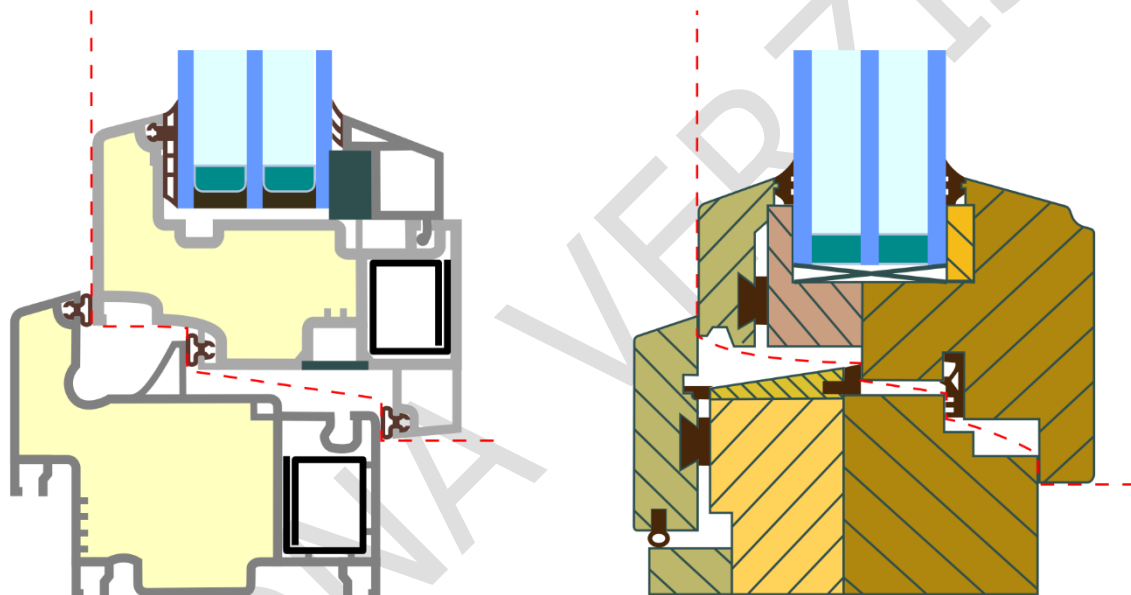
Kako bi zadovoljili nZEB standard, prozori moraju biti proizvedeni s izrazitom malim koeficijentom prijenosa topline (**1,10 W/m<sup>2</sup>K, ali se preporuča 0,85 do 0,70 W/m<sup>2</sup>K**), koji vrijedi za čitavu površinu prozora, uključujući i okvir. Prozori su obično izrađeni kombinacijom trostrukog stakla (praznine između stakala su punjene argonom ili kriptonom) s izolacijskim premazom, premaza niskog stupnja emisije (Low-E), izolacijskih rubova stakala i posebno konstruiranih prozorskih okvira (Slika 88). Prozori se klasificiraju u klase efikasnosti A,B,C pri čemu je A najbolja a C je više nego adekvatna za upotrebu u Hrvatskoj. Treba napomenuti kako se svaki prozor testira i to kao cjelina sa zidom jer je odavno poznato



kako prozor koji nije propisno ugrađen bez obzira na klasu ne zadovoljava uvjete. Primjeri dobre ugradnje su pravilno riješene špalete, tj. izolacija doprozornika (vidi [Katalog dobro riješenih toplinskih mostova na zgradama](#)) i RAL ugradnja (vidi poglavlje [Zrakotijesnost](#)).

Ugrađeni prozor mora zadovoljiti sljedeći uvjet  $UW_{,installed} \leq 1,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

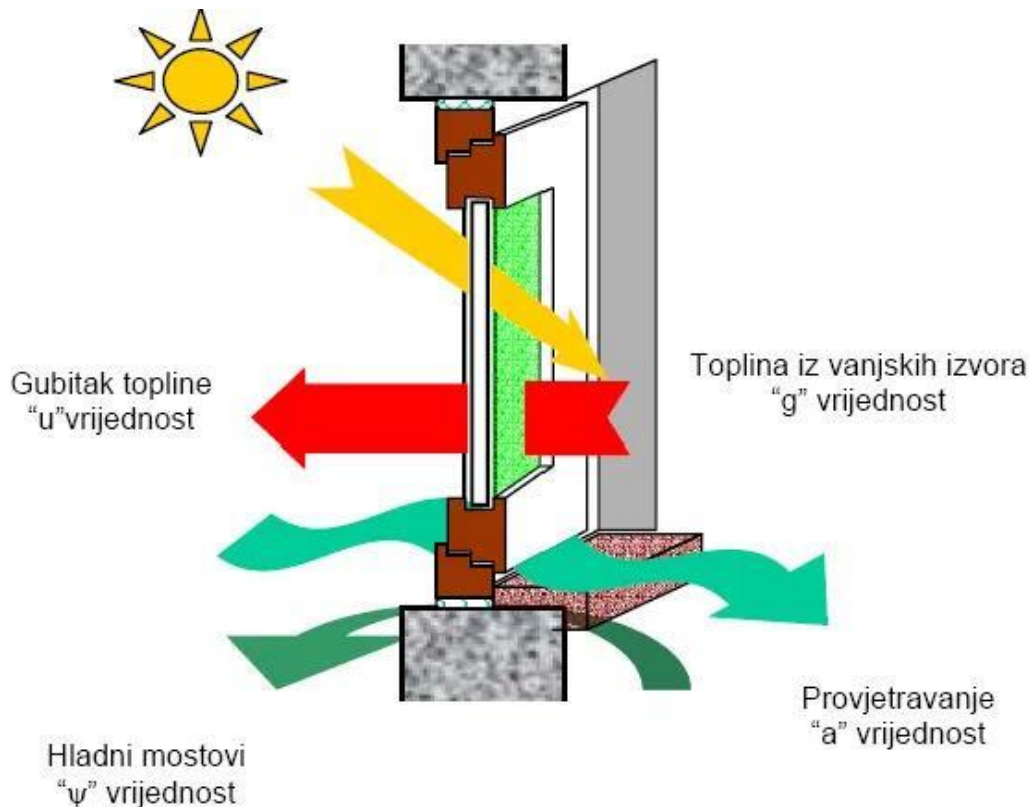
U Srednjoj Europi i većem dijelu SAD-a suvremeni prozori okrenuti prema jugu akumuliraju više topline od Sunca nego što im iznose toplinski gubitci, čak i u sred zime.



Slika 88 Tipični prozorski okvir koeficijenta  $U_f \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  (izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Pasivna\\_kuća](https://hr.wikipedia.org/wiki/Pasivna_kuća))

Način računanja termodinamičkih svojstava prozora propisan je normom HRN EN ISO 10077-1:2002, a sam izračun sastoji se od više faktora:

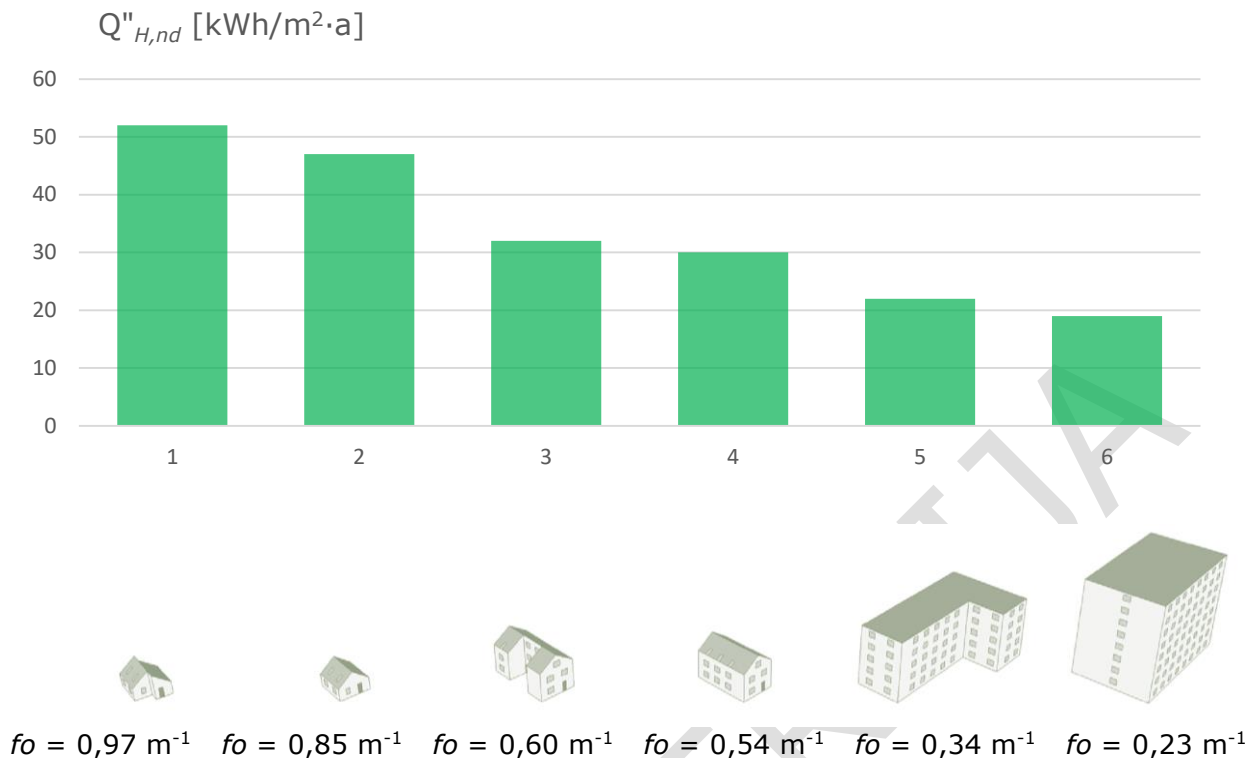
- $U_f$ -faktor prolaza topline ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )
- $g$  -sunčani dobitak
- $U_f$  -faktor prolaza kroz okvir
- $U_g$  -faktor prolaza kroz staklo
- $U_w$  -faktor prolaza cijelog prozora
- $A_w$  –površina prozora



Slika 89 Prijenos topline kroz prozor (Plastomet, 2024)

### Kompaktnost zgrade

Kompaktnost zgrade (faktor oblika  $f_o$ ) je drugi najvažniji čimbenik po razini utjecaja na potrebnu energiju za grijanje. Zgrade kompaktne dispozicije u odnosu na zgrade razvedene dispozicije imaju manju površinu ovojnice u odnosu na volumen grijanog prostora, a samim time i manju površinu kroz koju se gubi toplina. Osim kompaktnosti zgrade, na faktor oblika utječe i veličina zgrade. S povećanjem zgrade površina ovojnice raste s drugom potencijom, a volumen s trećom potencijom, stoga velike zgrade u pravilu imaju manje faktore oblika, kao i gubitak topline kroz ovojnicu.



Slika 90 Faktori oblika  $fo$  prema veličini i razvedenosti zgrade i specifična potrebna energija za grijanje  $Q''_{H,nd}$  (MGIPU, 2019)

### Provjetravanje

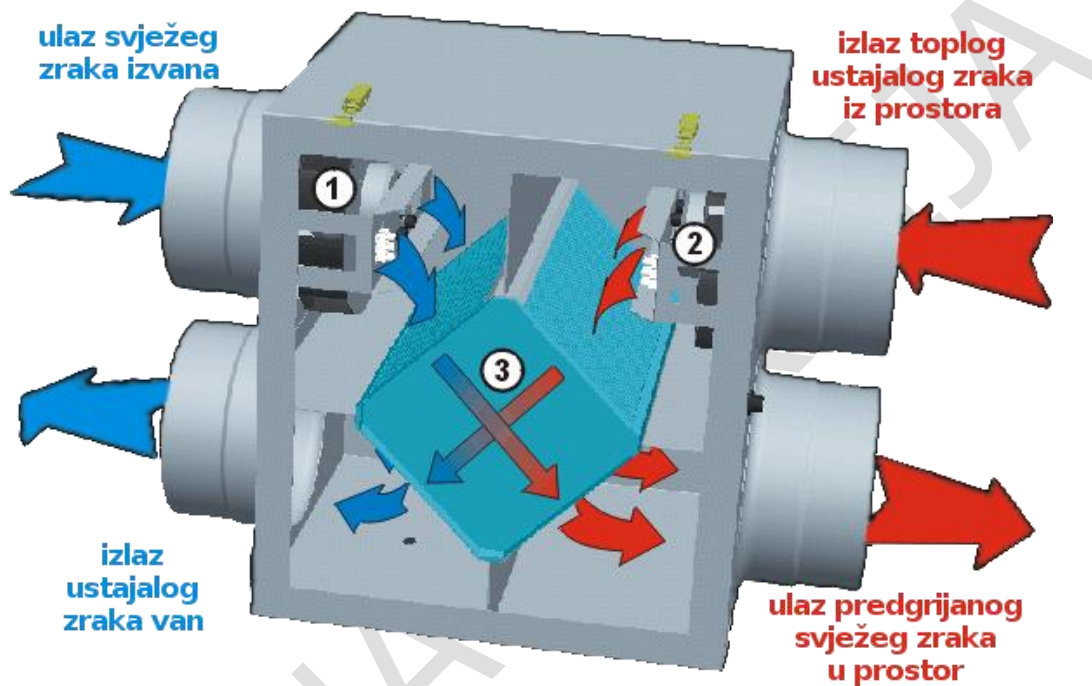
Ovisno o vrsti i namjeni zgrade, broju osoba ili procesima, može postojati potreba za jačim ili slabijim provjetravanjem prostora. U zgradama možemo imati prirodnu i/ili prisilnu ventilaciju. Način ventiliranja zone/zgrade direktno utječe na izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje  $Q_{H,nd}$  i  $Q_{C,nd}$ .

**Prirodna ventilacija** podrazumijeva izmjenu zraka u prostoru bez korištenja ventilatora (otvaranjem prozora te infiltracijom kroz reške, ventilacijske otvore ili rešetke).

**Prisilna (mehanička) ventilacija** podrazumijeva izmjenu zraka u prostoru pomoću ventilatora.

Prisilna ventilacija može biti bez iskorištavanja otpadne topline ili s iskorištavanjem otpadne topline (Slika 91). U tom slučaju govorimo o prisilnoj ventilaciji s rekuperacijom topline ili o prisilnoj ventilaciji s izmjenjivačima topline.

Prirodna ventilacija u stambenim zgradama iznosi oko trećinu toplinskih gubitaka, dok bi u prostorima ostalih namjena s velikim brojem korisnika (npr. učionice ili kinodvorane) prirodna ventilacija predstavljala prevelik gubitak topline. Mehanička ventilacija s povratom topline može znatno sniziti potrebnu energiju za grijanje, ali njenim korištenjem povećava se pomoćna energija za ventilaciju.



Slika 91 Rekuperator zraka (Klima koncept, 2024)

### Zrakotijesnost

Zrakotijesnost je ključna karakteristika modernih energetski učinkovitih zgrada koja minimizira neželjeni protok zraka kroz omotač zgrade. Postiže se pažljivom izvedbom brtvljenja spojeva na prozorima, vratima i kod spojeva različitih građevinskih elemenata. Korištenje materijala visoke kvalitete i detaljna izgradnja smanjuju mikro-otvore kroz koje može prolaziti zrak. Dodatno, ugradnja ventilacijskih sustava s rekuperacijom topline pomaže u održavanju zrakotijesnosti uz efikasnu ventilaciju, što direktno pridonosi smanjenju energetskih troškova i povećanju komfora unutar zgrade.

Zrakotijesnost se u arhitekturi ostvaruje kroz nekoliko ključnih pristupa:

- **Detaljno brtvljenje:** Korištenje brtvila i traka za brtvljenje spojeva oko prozora, vrata, i drugih mjesta gdje se zidovi, stropovi, i podovi spajaju.
- **Kvalitetna izgradnja:** Primjena preciznih metoda gradnje kako bi se smanjila mogućnost mikro-otvora kroz koje može prolaziti zrak.
- **Ventilacijski sustavi s rekuperacijom topline:** Ovi sustavi osiguravaju adekvatnu ventilaciju uz minimalne toplinske gubitke, zadržavajući zrakotijesnost konstrukcije.
- **Testiranje puhanjem (engl blower door test):** Postupak kojim se mjeri količina zraka koja može proći kroz zgradu pod kontroliranim pritiskom, što pomaže identificirati slabosti u zrakotijesnosti.



Slika 92 Sustav brtvljenja pomoću brtvenih traka (ILSAD, 2024)

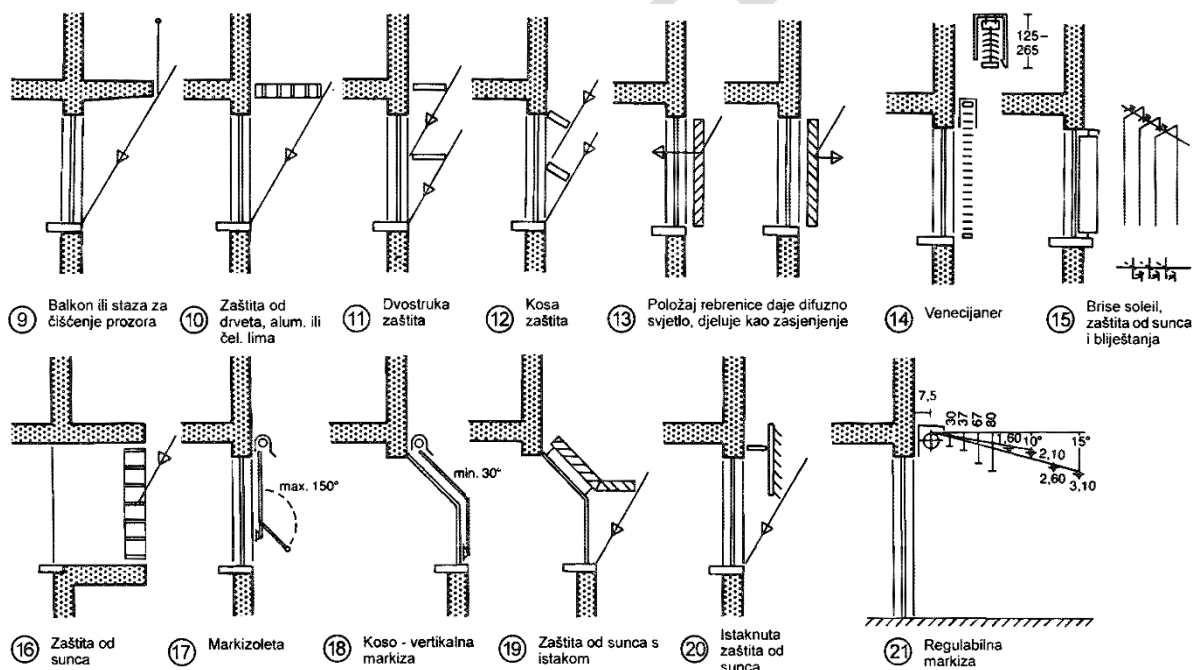
### **Orijentacija otvora**

Orijentacija otvora pridonosi iskorištavanju pasivnih solarnih dobitaka. Kod zgrada s prosječnim veličinama otvora orijentacija ima manju ulogu u energetskej učinkovitosti, dok kod zgrada s velikim staklenim plohama ima veću.

## Zaštita od sunca

Zaštita od sunca neophodna je kako bi se u prostoru spriječilo pregrijavanje ili potrebna energija za hlađenje održala unutar dopuštenih granica. Zaštita od pregrijavanja može se izvesti napravama za zaštitu od sunčevog zračenja, ugradnjom ostakljenja s niskim faktorom propuštanja sunčevog zračenja ili korištenjem arhitektonskih elemenata (Slika 93). Pri odabiru zaštite od sunca potrebno je voditi računa i o solarnim dobicima tijekom zime.

Energetski najučinkovitija zaštita od sunca jest vanjska pomična zaštita u kombinaciji s unutarnjom zaštitom tamne boje. Tijekom ljeta koristi se vanjska zaštita od pregrijavanja, a tijekom zime unutarnja zaštita od bliještanja – na taj se način tijekom zime mogu iskorištavati solarni dobiti.



Slika 93 Primjeri zaštite od sunca (Neufert, 2002)

## TERMOTEHNIČKI SUSTAVI

Isporučena energija ovisi o potrebnoj energiji i učinkovitosti sustava. To znači da će primjenom učinkovitijih sustava i sustava koji koriste obnovljivu energiju okoliša isporučena energija biti manja.

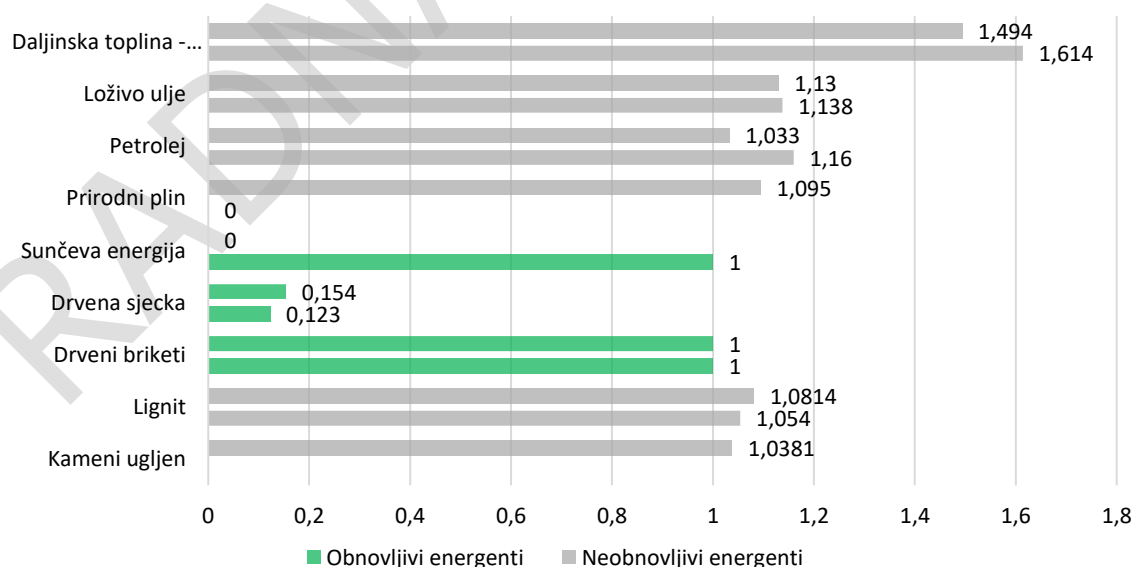
Ovisno o energentu, 1 kWh isporučene energije razlikuje se u cijeni, faktoru primarne energije i CO<sup>2</sup> emisijama.

### Primarna energija

Primarna energija je energija sadržana u energentu uključivo s utrošenom energijom za prikupljanje (iskapanje), obradu i transport energenta do korisnika. Primarnu energiju označavamo s  $E_{prim}$ , a računamo je kao umnožak isporučene količine energenta za tehnički sustav i faktora primarne energije.

$$E_{prim} = E_{del} \times fp \text{ [kWh/god]}$$

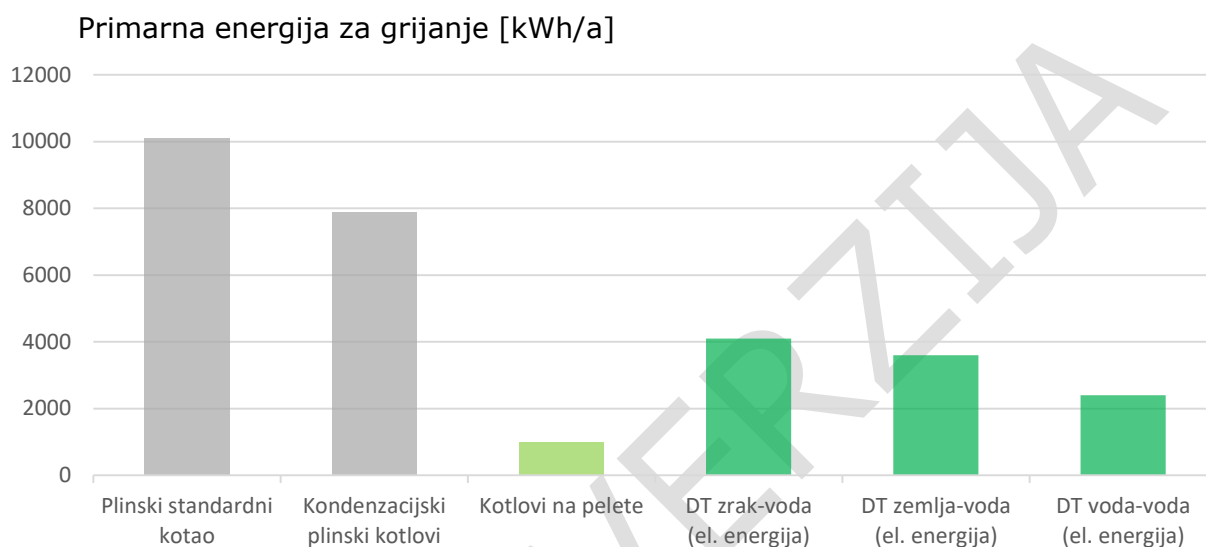
Izračun energetske svojstva zgrade u pogledu potrošnje primarne energije određuje se prema isporučenoj energiji i faktoru primarne energije energenta. Faktore primarne energije određuje svaka država članica za sebe. Oni su određeni prema svom utjecaju na okoliš ili prema energetske ciljevima države. Obnovljivi energenti imaju niske vrijednosti, dok neobnovljivi energenti imaju visoke vrijednosti faktora primarne energije (Slika 94).



Slika 94 Faktori primarne energije (MGIPU, 2019)

### Utjecaj termotehničkih sustava i energenata na potrošnju primarne energije

Na referentnom primjeru obiteljske kuće u Zagrebu moguće je usporediti rezultate potrošnje primarne energije za grijanje ovisno o primijenjenom termotehničkom sustavu i energentu (Slika 95).



Slika 95 Potrošnja primarne energije za grijanje ovisno o primijenjenom termotehničkom sustavu

Iz Slika 95 vidljivo je da su sustavi po potrošnji primarne energije koji troše najmanje energije oni koji kao gorivo koriste biomasu, a zatim oni koji koriste električnu energiju. Biomasa i električna energija su oboje obnovljivi izvori energije, no treba u obzir uzeti da je iz raznih razloga opskrba električnom energijom lakša od opskrbe biomasom pa je upotreba električne energije češća u praksi.

### Dizalica topline

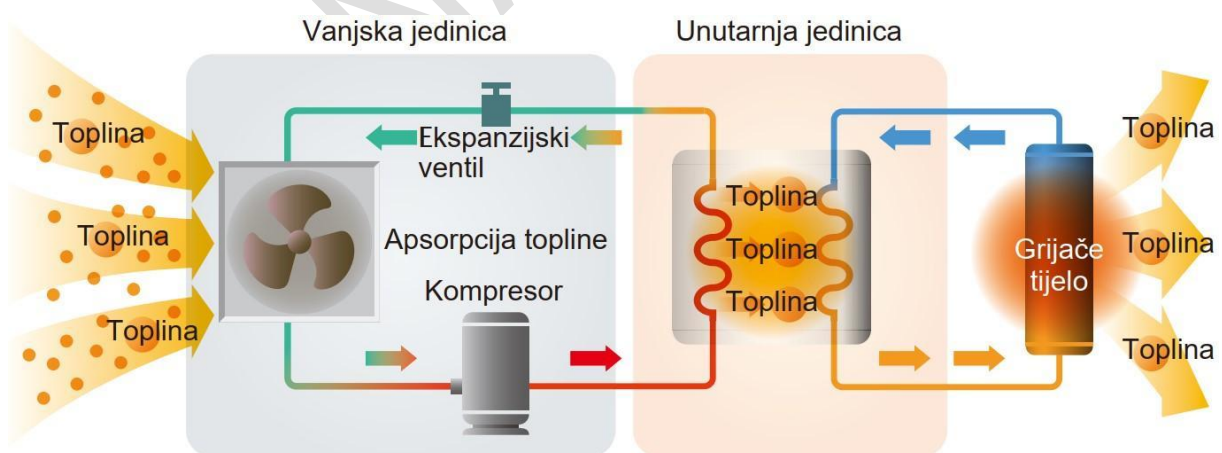
Dizalica topline je uređaj koji prenosi toplinu iz jednog okruženja u drugo koristeći kompresijski ciklus sličan onome u hladnjaku. U osnovi, izvlači toplinu iz vanjskog zraka, vode ili zemlje i prenosi je unutar prostora za grijanje ili u vodi za kućanstvo. Dizalica topline može i hladiti prostor preokretanjem procesa, izvlačeći toplinu iz unutrašnjosti i ispuštajući je



van. Ovaj proces je energetski učinkovit jer koristi manje energije nego što proizvodi, pružajući ekološki prihvatljivo rješenje za grijanje i hlađenje.

Kompresijski ciklus dizalice topline uključuje nekoliko ključnih koraka kako bi se prenosila toplina iz jednog okruženja u drugo (Slika 96).

- **Isparavanje:** Radni fluid (obično freon ili drugi rashladni fluid) prolazi kroz isparivač gdje apsorbira toplinu iz okoliša. Pri tome se fluid isparava iz tekućeg u plinovito stanje.
- **Kompresija:** Plinasti rashladni fluid se zatim komprimira pomoću kompresora. Kompresija povećava temperaturu i pritisak plina.
- **Kondenzacija:** Pod visokim pritiskom i temperaturom, plinasti rashladni fluid putuje do kondenzatora gdje oslobađa prikupljenu toplinu u unutrašnjost zgrade ili u vodu za kućanstvo. U ovom procesu, rashladni fluid se kondenzira natrag u tekuće stanje.
- **Ekspanzija:** Nakon toga, fluid prolazi kroz ekspanzijski ventil gdje se pritisak i temperatura fluida smanjuju. Fluid se vraća u isparivač, spreman za apsorpciju topline, čime se ciklus zatvara.



Slika 96 Prikaz kompresijskog ciklusa dizalice topline (Klimatizacija.hr, 2024)

Kroz ove korake, dizalica topline omogućava učinkovito prenošenje topline iz jednog izvora u drugi, koristeći relativno malu količinu energije za pogon kompresora, čineći cijeli sistem energetski efikasnim.

## OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE

Obnovljivi izvori energije o kojima je već ranije bilo riječi, jesu obnovljivi nefosilni izvori, tj. energija vjetra, sunčeva energija, aerotermalna, geotermalna, hidrotermalna energija i energija mora, hidroenergija, biomasa, deponijski plin, plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i bioplinovi.

Zgrade gotovo nulte energije ispunjavaju zahtjeve u pogledu primjene obnovljivih izvora energije ako je najmanje 30% godišnje isporučene energije podmireno iz obnovljivih izvora energije.

Udio obnovljivih izvora energije određuje se prema neobnovljivoj i obnovljivoj energiji isporučenoj zgradi, energiji proizvedenoj na lokaciji zgrade i izvezenoj energiji.

Isporučena energija  $E_{del}$  uključuje energiju isporučenu zgradi a koja obuhvaća jednu ili više sljedećih komponenata:

- Neobnovljiva energija isporučena zgradi uključuje električnu energiju dobivenu iz mreže elektroopskrbe i lokalno korištena fosilna goriva ili daljinsko grijanje toplinom dobivenom iz fosilnih goriva.
- Obnovljiva energija isporučena zgradi uključuje lokalno korištena obnovljiva biogoriva ili daljinsko grijanje toplinom dobivenom iz obnovljivih biogoriva [ $E_{ren1}$ ].

Obnovljiva energija proizvedena na lokaciji zgrade [ $E_{ren}$ ] uključuje:

- energiju preuzetu iz okoliša dizalicama topline
- solarnu energiju iskorištenu za zagrijavanje vode
- električnu energiju proizvedenu fotonaponskim (ili drugim) sustavima.

## IZRAČUN ENERGETSKIH POTREBA

Godišnja potrebna energija potrebna za grijanje zgrade dokazuje se matematičkim proračunom koji sadrži energetske potreba za grijanje prostora, hlađenje prostora, pripremu potrošne tople vode, ventilaciju, ugrađenu rasvjetu i druge tehničke sustave.

Način izračuna energetskog svojstva zgrade, minimalni obvezni udio obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji energije zgrade i kriteriji za zgrade gotovo nulte energije propisani su **Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama**.

U izradi proarčuna sudjeluju arhitekti, inženjeri građevine, inženjeri strojarstva i elektroinženjeri, a svaki od sudionika zadužen je za svoje strukovno polje.

Sam izračun je vrlo složen te se izrađuje u za to specijaliziranim programima (Slika 97).

The screenshot displays the KiExpert software interface for energy calculation. The main window is titled 'Popis gradivnih dijelova' (List of building components) and contains a table with the following data:

#	Ime	Ujta	Act	U	Ustav	FFR	FFRact
1	Z1 - ob. aer	Vanjski zidovi	188,60	0,16	0,30	0,70	0,95
2	Z2 - ob. ventil	Vanjski zidovi	15,70	0,16	0,30	0,70	0,95
3	Z3 - odn. stolje	Vanjski zidovi	37,90	0,14	0,30	0,70	0,95
4	Z4 - ob. od. stolj	Vanjski zidovi	49,90	0,22	0,30	0,70	0,94
5	A - pod na tlu	Fudovi: maki	268,10	0,23	0,40	0,59	0,94
6	B - pod na tlu	Fudovi: maki	63,00	0,27	0,40	0,59	0,94
7	C - pod na tlu, g	Fudovi: maki	8,70	1,76	-	0,00	0,65
8	D - mek. kulna konstrukcija	Stropovi: taveči, gipsnih pločica...	1,00	0,38	0,60	-	-
9	E - mek. kulna konstrukcija	Stropovi: taveči, gipsnih pločica...	1,00	0,30	0,60	-	-
10	F - zidni rezev	Rezev: zidovi: taveči, gipsnih pločica...	382,50	0,18	0,25	0,70	0,95
11	G - zidni rezev, g	Rezev: zidovi: taveči, gipsnih pločica...	5,30	0,18	0,25	0,70	0,95

Below the table, there are sections for 'Stupci' (Columns) and 'Prostori i ventilacija' (Rooms and ventilation). The 'Stupci' section includes a table with columns for 'Ime', 'Materijal', and 'Debljina', with values like '200,000' and '0,077'. The 'Prostori i ventilacija' section includes a table with columns for 'Ime', 'Volumen', and 'Klasifikacija', with values like '251,30' and 'Kategorija: zrakoprometni'. The bottom part of the screen shows a detailed 'Rezultati proračuna' (Calculation results) table with multiple columns for different energy metrics and their values.

Slika 97 Primjer korištenja računalnog programa KiExpert za izračun energetskog svojstva zgrade (Novak, 2019)

Završni rezultat proračuna je **Iskaznica energetskih svojstava zgrade** (Slika 98) koja je zaseban dokument koji se obvezno prilaže uz glavni projekt kada

se izrađuje glavni projekt u dijelu koji se odnosi na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu.

## PRILOG C

Obrazac 1, list 1/4

## ISKAZNICA ENERGETSKIH SVOJSTAVA ZGRADE

prema poglavlju VII. Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, za zgradu grijanu na temperaturu 18 °C ili više

1. INVESTITOR	
2. OZNAKA PROJEKTA	
3. OPIS ZGRADE	
Naziv zgrade ili dijela zgrade	
Lokacija zgrade (katastarska čestica, katastarska općina, naselje s poštanskim brojem, ulica, kućni broj, nadmorska visina)	
Mjesec i godina izrade projekta	
Oplošje grijanog dijela zgrade $A$ (m <sup>2</sup> )	
Obujam grijanog dijela zgrade $V_v$ (m <sup>3</sup> )	
Faktor oblika zgrade $f_o$ (m <sup>-1</sup> )	
Ploština korisne površine zgrade $A_k$ (m <sup>2</sup> )	
Način grijanja (lokalno, etažno, centralno, toplansko)	
Prosječna unutarnja projektna temperatura grijanja °C	
Prosječna unutarnja projektna temperatura hlađenja °C	
Meteorološka postaja s nadmorskom visinom	
Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade $\theta_{e,mj,min}$ (°C)	
Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade $\theta_{e,mj,max}$ (°C)	

Obrazac 1, list 2/4

4. POTREBNA PRIMARNA ENERGIJA, TOPLINSKA ENERGIJA ZA GRIJANJE ZGRADE I IZRACUNATA TOPLINSKA ENERGIJA ZA HLAĐENJE		
Godišnja potrebna primarna energija za stvarne klimatske podatke $Q_{prim}$ [kWh/a]		
Godišnja potrebna primarna energija po jedinici ploštine korisne površine zgrade za stvarne klimatske podatke $Q'_{prim}$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)] (za stambene ili nestambene zgrade)	<i>najveća dopuštena</i>	<i>izračunata</i>
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za stvarne klimatske podatke $Q_{t,nd}$ [kWh/a]		
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade za stvarne klimatske podatke $Q'_{t,nd}$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)] (za stambene ili nestambene zgrade)	<i>najveća dopuštena</i>	<i>izračunata</i>
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici obujma grijanog dijela zgrade za stvarne klimatske podatke $Q'_{t,nd}$ [kWh/(m <sup>3</sup> ·a)] (za nestambene zgrade prosječne visine etaže veće od 4,2 m)	<i>najveća dopuštena</i>	<i>izračunata</i>
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje $Q_{c,nd}$ [kWh/a] (za zgrade sa sustavom hlađenja)		
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje po jedinici ploštine korisne površine zgrade $Q'_{c,nd}$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)] (za zgrade sa sustavom hlađenja)	<i>najveća dopuštena</i>	<i>izračunata</i>

Obrazac 1, list 3/4

5. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE		
POTREBNO ZA OSTVARENJE UVJETA	OSTVARENO (%)	ISPUNJENO (DA/NE)
Najmanje 20 % ukupne potrebne energije za rad sustava u zgradi podmireno energijom iz obnovljivih izvora energije		
Udio u ukupnoj isporučenoj energiji za grijanje i hlađenje zgrade i pripremu potrošne tople vode dobiven na jedan od sljedećih načina:	Najmanje 25 % iz sunčeva zračenja	
	Najmanje 30 % iz plinovite biomase	
	Najmanje 50 % iz čvrste biomase	
	Najmanje 70 % iz geotermalne energije	
	Najmanje 50 % iz topline okoline	
	Najmanje 50 % iz kogeneracijskog postrojenja s visokom učinkovitošću	
Najmanje 50 % opskrbljena iz sustava energetski učinkovitog daljinskog grijanja prema članku 44. stavak 1.		
Najmanje 30 % niža od dozvoljene godišnje potrebne topline za grijanje zgrade		
Najmanje 4 m <sup>2</sup> ugrađenih sunčanih kolektora (vrijedi iznimno za jednoobiteljske stambene zgrade)		
6. DRUGA ENERGETSKA OBILJEŽJA ZGRADE		
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade $H_{tr,adj}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	<i>najveći dopušteni</i>	<i>izračunati</i>
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka $H_{tr,adj}$ (W/K)		
Koeficijent toplinskog gubitka provjetravanjem $H_{vc,adj}$ (W/K)		
Ukupni godišnji gubici topline $Q_t$ (kWh)		
Godišnji iskoristivi unutarnji dobici topline $Q_i$ (kWh)		
Godišnji iskoristivi solarni dobici topline $Q_s$ (kWh)		
Ukupni godišnji iskoristivi dobici topline $Q_e$ (kWh)		

Obrazac 1, list 4/4

7. ODGOVORNOST ZA PODATKE	
Projektant (ime i prezime / naziv i adresa)	
Projektant dijela glavnog projekta zgrade koji se odnosi na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu (potpis i pečat)	
Glavni projektant zgrade (potpis i pečat)	
Datum i pečat projektantske tvrtke	

Slika 98 Obrasci Iskaznice topline, (Izvor: MGIPU, 2019)

**PROVJERIMO/ISTRAŽIMO ZAJEDNO (Milovanović, 2023)**

Kako bi se mogla proračunati izmjena topline transmisijom između kondicioniranog prostora i vanjskog prostora, potrebno je proračunati U-vrijednost. U sljedećih nekoliko videopriloga pogledajte kako je moguće koristiti se računalnim alatima poput BIM-a za analizu potrošnje energije u zgradama.

Pronađite na internetu (nekoliko) videosadržaja koristeći se ključnim riječima ili skeniranjem QR koda:

- Proračun U-vrijednosti neprozirnih građevinskih elementa korištenjem BIM alata za izračun U-vrijednosti izravno u BIM sučelju:

<https://player.vimeo.com/video/472670621>.

(<https://player.vimeo.com/>, 2024)



- Utjecaj U-vrijednosti neprozirnih građevinskih elementa na potrebnu godišnju energiju za grijanje i hlađenje korištenjem BIM alata:

(<https://player.vimeo.com/>, 2024).



- Korištenje BIM alata za utvrđivanje utjecaja toplinske mase građevinskih elemenata na godišnju potrebnu energiju za grijanje i hlađenje:

<https://player.vimeo.com/video/472677273>.

(<https://player.vimeo.com/>, 2024)



- Korištenje BIM alata za utvrđivanje utjecaja postavljanja toplinske izolacije u ovojnicu (unutra ili vani) na potrebnu godišnju energiju za grijanje i hlađenje:

<https://player.vimeo.com/video/472677846>.

(<https://player.vimeo.com/>, 2024)



- Kako pomoću BIM alata izračunati koeficijent prolaza topline za transparentne građevinske elemente: <https://player.vimeo.com/video/472743297>.  
(<https://player.vimeo.com>, 2024)
- Korištenje BIM alata za određivanje utjecaja transparentnih građevinskih elemenata na potrebnu godišnju energiju za grijanje i hlađenje te dodatno prikazan utjecaj vanjskog zasjenjenja: <https://player.vimeo.com/video/472743881>.  
(<https://player.vimeo.com>, 2024)



### PRIMJERI nZEB KUĆA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Primjer je preuzet iz Smjernica za zgrade gotovo nulte energije (MGIPU, 2019)

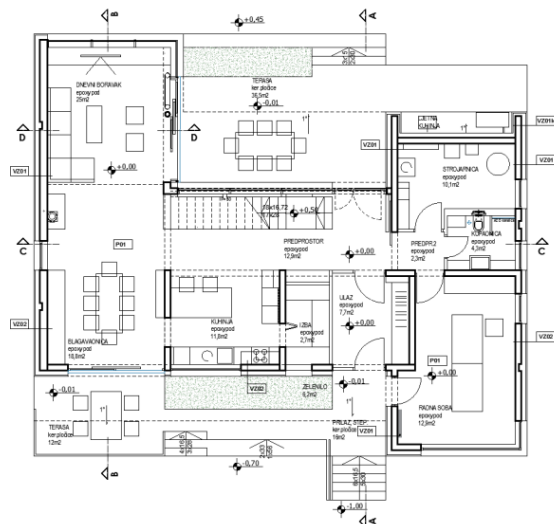
Obiteljska kuća blizu Samobora

Projektant: Tatjana Liktar Elez

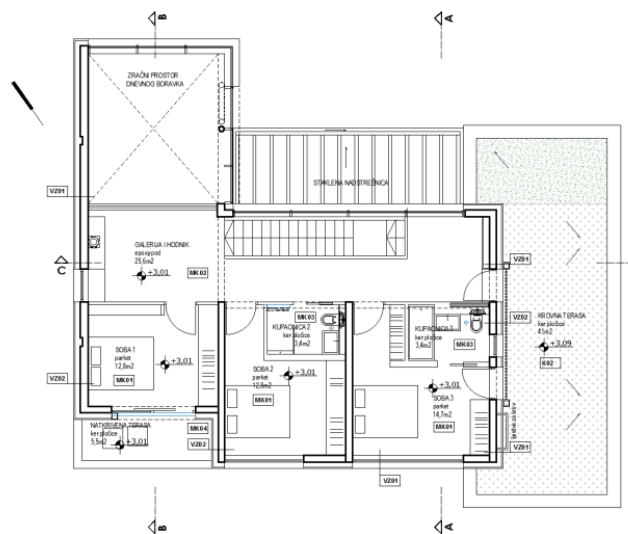
Godina izgradnje: 2018

## Arhitektonsko-građevinske karakteristike zgrade

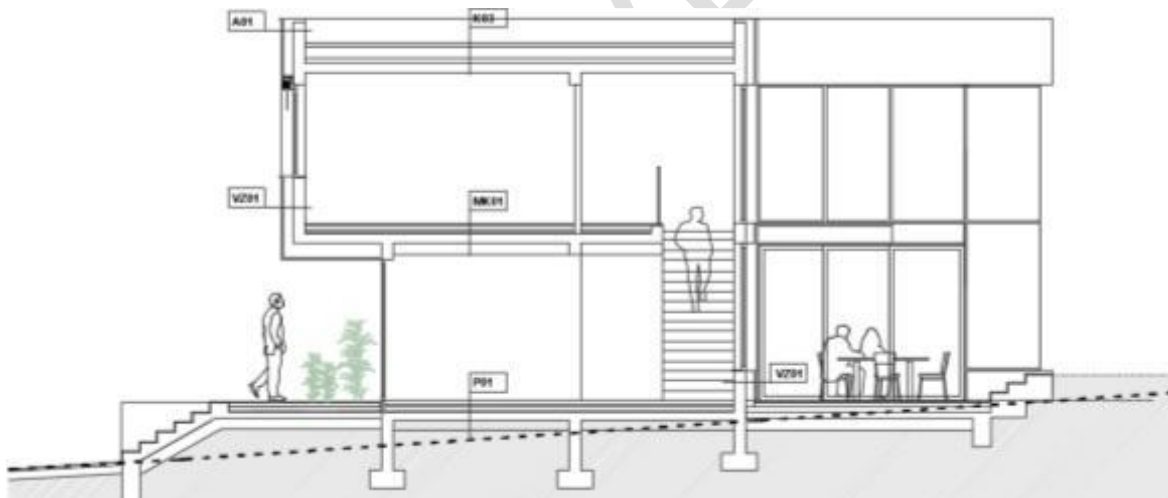
Tlocrt prizemlja



Tlocrt kata



Presjek



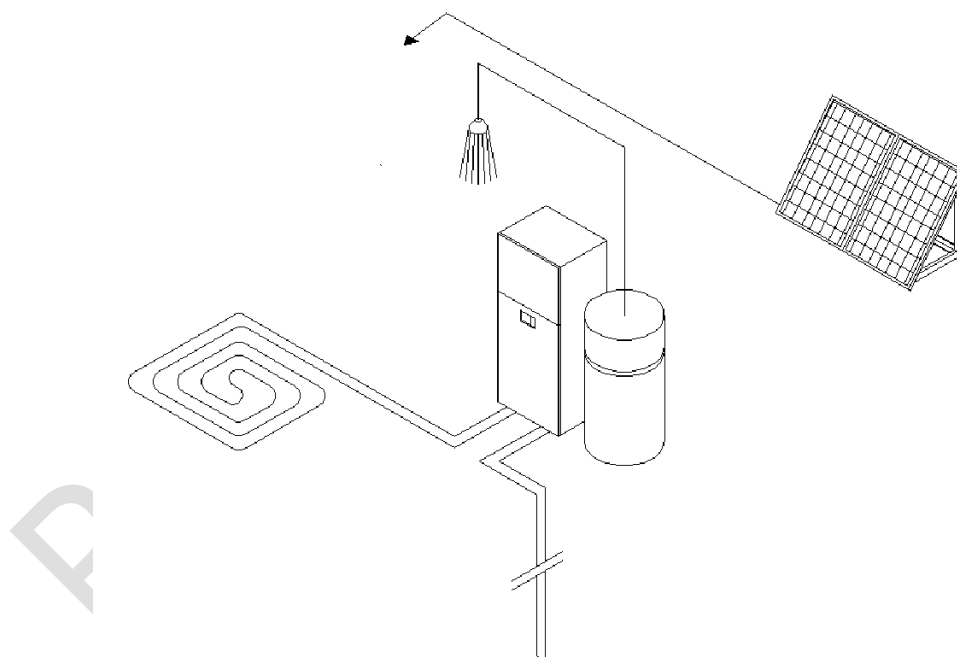
## Geometrijske karakteristike zgrade

Katnost	P+1			
Grijana korisna površina, $A_k$	208	$m^2$		
Volumen grijanog prostora, $V_e$	869	$m^3$		
Faktor oblika, $f_o$	0,80	$m^{-1}$		
Orijentacija otvora	Jugoistok	Jugozapad	Sjeveroistok	Sjeverozapad
	49,52 $m^2$	4,93 $m^2$	37,04 $m^2$	54,92 $m^2$

Meteorološka postaja		Samobor	
<b>Građevinske i tehničke karakteristike</b>			
Sastav konstrukcija	Armiranobetonski zidovi i zidovi od opeke sa 16 cm toplinske izolacije; pod na tlu s 10 cm toplinske izolacije; ravan krov s 20 cm toplinske izolacije; AL prozori ostakljeni s trostrukim IZO staklom (zaštita od sunca roletama na jugu i unutarnjim zavjesama na sjeveru)		
Ventilacija	Svi prostori prirodno provjetravani		
<b>Rezultati</b>		<b>Dopušteno</b>	
Specifična potrebna energija za grijanje, $Q''_{H,nd}$	55,08 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	max 64,85	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Specifična potrebna energija za hlađenje, $Q''_{C,nd}$	36,04 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	max 50,00	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)

### Termotehnički sustavi

#### DIZALICA TOPLINE VODA-VODA U KOMBINACIJI S FOTONAPONSKIM PANELIMA



Termotehnički sustav	Dizalica topline voda-voda s fotonaponskim panelima
Energenti	Električna energija
Proizvodnja topline	Dizalica topline efikasnosti $\eta=5,00$ za grijanje i pripremu PTV
Predaja topline	Podno grijanje
Fotonaponski sustav	Solarna elektrana snage 10 kW

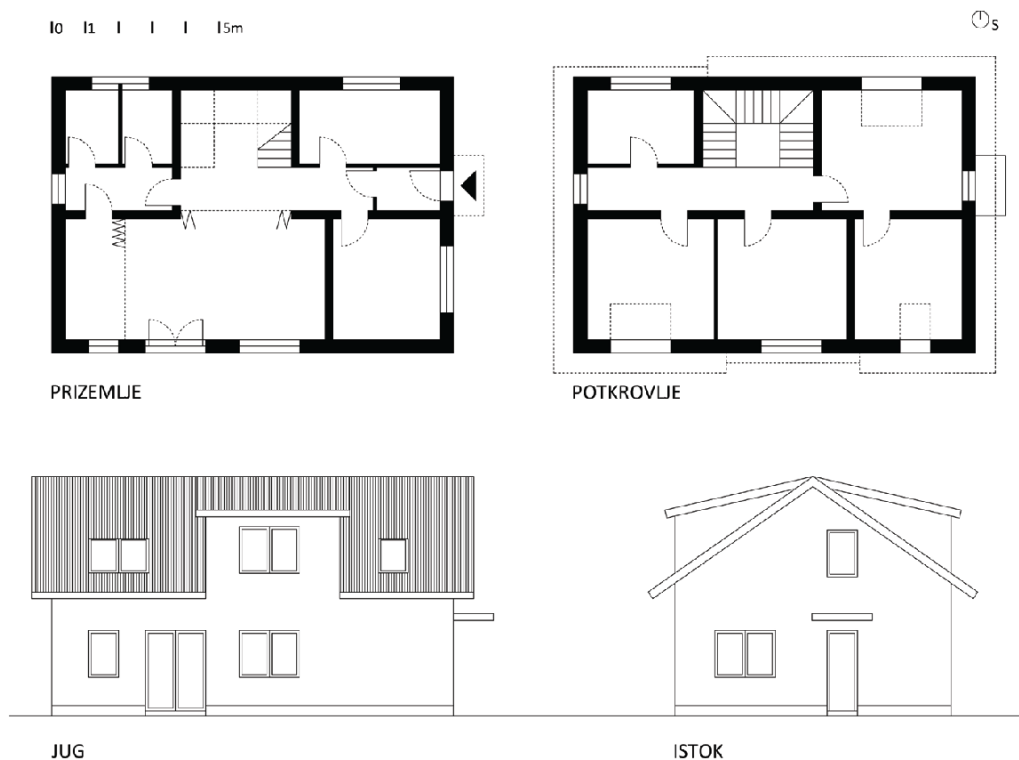


Isporučena energija po sustavima		
Godišnja isporučena energija za grijanje i PTV, $E_{HW,DEL}$	3 375	kWh/a
Godišnja isporučena energija za hlađenje, $E_{C,DEL}$	Ne računa se za stambene zgrade	
Godišnja pomoćna energija za rad termotehničkih sustava, $W$	1 206	kWh/a
Godišnja isporučena energija za rasvjetu, $E_L$	Ne računa se za stambene zgrade	
Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade $E_{L,RES}$	11 200	kWh/a
Energetsko svojstvo zgrade		
Godišnja isporučena energija, Edel	- 6 619	kWh/a
Godišnja primarna energija, Eprim	- 10 683	kWh/a

Zahtjev za nZEB	Izračunato		Dopušteno	
Specifična godišnja primarna energija, $E_{prim}/Ak$	-51,36	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	max 35,00	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Udio obnovljivih izvora energije, $\gamma_{ren}$	100	%	min 30	%

#### Napomena:

Temperature u tlu na dubinama ispod 2 metra tijekom godine imaju male varijacije u temperaturi, stoga dizalice topline koje koriste energiju tla ili podzemne vode ne trebaju pomoćne sustave grijanja (poput dizalica topline koje koriste energiju zraka). Fotonaponska elektrana u ovom je primjeru opcionalna. Ona spušta razinu potrošnje primarne energije i povećava udio obnovljivih izvora energije u isporučenoj energiji. Kombinacija fotonaponskih sustava i dizalica topline povoljna je jer je energent za sve sustave u zgradi električna energija.

**Obiteljska kuća/kontinentalna hrvatska****KARAKTERISTIKE OVOJNICE I PROVJETRAVANJE**

## Sastav konstrukcija

Zidovi od blok opeke s 15 cm toplinske izolacije; pod na tlu s 10 cm toplinske izolacije; drveno krovište s 21 cm toplinske izolacije; prozori ostakljeni dvostrukim IZO staklom (zaštita od sunca roletama)

## Ventilacija

Svi prostori prirodno provjetravani

**VARIJANTE TERMOTEHNIČKIH SUSTAVA**

## Termotehnički sustav

## Komentar

Plinski kombi kondenzacijski bojler za grijanje i pripremu tople vode u kombinaciji s fotonaponskim panelima (20 m<sup>2</sup>);

## Radijatorsko grijanje

Plinski kombi kondenzacijski bojler i solarni paneli (15 m<sup>2</sup>) za grijanje i pripremu tople vode u kombinaciji s mehaničkim provjetranjem s povratom topline;

## Radijatorsko i podno grijanje

Kotao na biomasu (pelete) za grijanje i pripremu tople vode;  
Radijatorsko grijanje

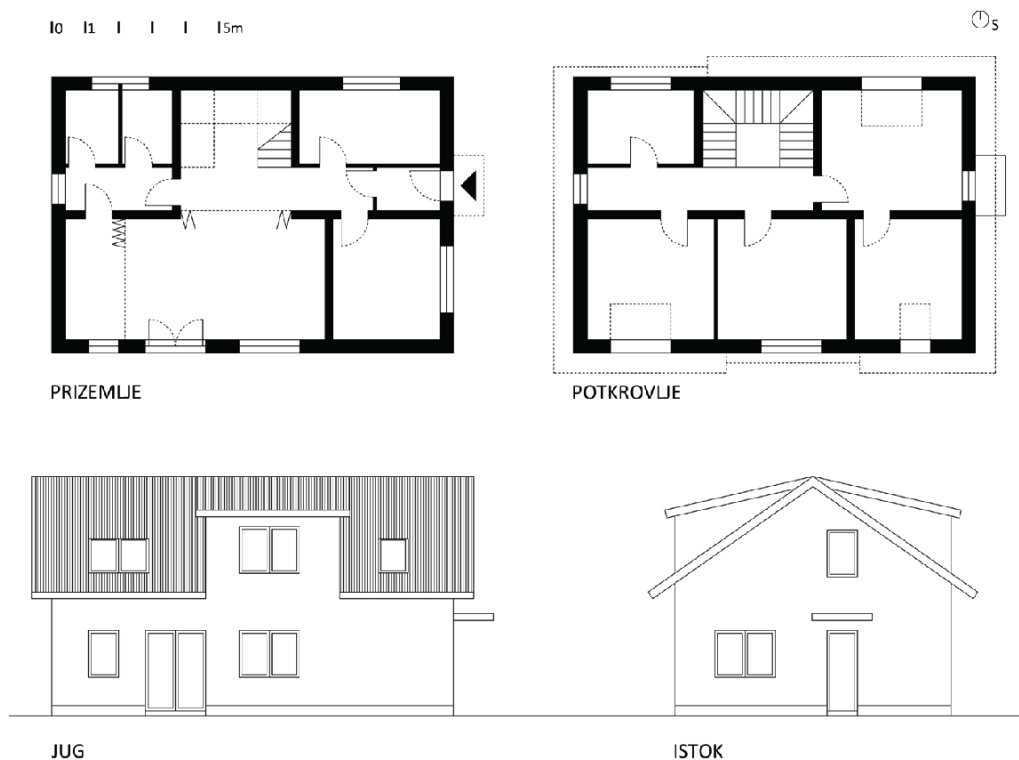
Dizalica topline zrak-voda za grijanje i pripremu tople vode;

Radijatorsko i podno grijanje

Gotovo nula energetska standard moguće je postići i sustavima koji koriste fosilna goriva, ali obvezno u kombinaciji s obnovljivim energentima i/ili vrlo niskom potrošnjom energije.

U slučaju grijanja na pelete, potrošnja primarne energije vrlo je niska, a udio obnovljive energije visok, stoga je moguća i priprema tople vode samo električnim bojlerima.

Korištenjem dizalica topline potrošnja primarne energije je niska, a udio obnovljive energije zadovoljava postavljene zahtjeve.

**Obiteljska kuća/primorska hrvatska****KARAKTERISTIKE OVOJNICE I PROVJETRAVANJE**

## Sastav konstrukcija

Zidovi od blok opeke s 8 cm toplinske izolacije; pod na tlu sa 7 cm toplinske izolacije; drveno krovšte s 21 cm toplinske izolacije; prozori ostakljeni dvostrukim IZO staklom (zaštita od sunca griljama)

## Ventilacija

Svi prostori prirodno provjetravani

**VARIJANTE TERMOTEHNIČKIH SUSTAVA**

## Termotehnički sustav

## Komentar

Plinski kombi kondenzacijski bojler za grijanje i pripremu tople vode u kombinaciji s fotonaponskim panelima (10 m<sup>2</sup>);

## Radijatorsko grijanje

Plinski kombi kondenzacijski bojler i solarni paneli (5 m<sup>2</sup>) za grijanje i pripremu tople vode u kombinaciji s mehaničkim provjetranjem s povratom topline;

## Radijatorsko i podno grijanje

Dizalica topline zrak-zrak za grijanje (split ili multi split sustav) i solarni paneli (5 m<sup>2</sup>) u kombinaciji s električnim grijačem za pripremu tople vode

Dizalica topline zrak-voda za grijanje i pripremu tople vode;

Ventilokonvektori i podno grijanje

Gotovo nula energetski standard moguće je postići i sustavima koji koriste fosilna goriva, ali obvezno u kombinaciji s obnovljivim energentima.

Korištenjem dizalica topline potrošnja primarne energije je niska, a udio obnovljive energije zadovoljava postavljene zahtjeve.

## Pitanja za ponavljanje

- Što je nZEB kuća?
- Kada je nZEB standard postao obavezan za sve nove javne zgrade u Hrvatskoj?
- Koji postotak ukupne svjetske energije troše zgrade prema Međunarodnoj agenciji za energiju (IEA)?
- Koji je ključni cilj niskoenergetskih kuća?
- Što znači skraćenica nZEB?
- Koje godine je razvijen standard Passivhaus u Njemačkoj?
- Koji dokument propisuje nZEB kriterije u Republici Hrvatskoj?
- Kako se zove dokument koji dokazuje energetske potrošnje zgrade?
- Koliki je minimalni udio isporučene energije iz obnovljivih izvora energije za nZEB zgrade?
- Objasnite razliku između nZEB i Pasivne kuće.
- Zašto su niskoenergetske kuće važne u borbi protiv klimatskih promjena?
- Kako pasivne kuće koriste solarne dobitke za zagrijavanje prostora?
- Koji su ključni pristupi za postizanje zrakotijesnosti u zgradama?
- Kako prirodna ventilacija utječe na toplinske gubitke u stambenim zgradama?
- Što se podrazumijeva pod primarnom energijom?
- Objasnite kako dizalica topline prenosi toplinu iz jednog okruženja u drugo
- Primijenite principe nZEB standarda na primjer dizajna obiteljske kuće.

- Kako bi se mogla spriječiti pojava toplinskog mosta u prozorima prema katalogu dobro riješenih toplinskih mostova?
- Na koji način korištenje dizalica topline smanjuje potrošnju primarne energije u zgradama?
- Analizirajte utjecaj debljine toplinske izolacije na specifičnu potrebnu energiju za grijanje.
- Kako klimatska regija utječe na zahtjeve za toplinsku izolaciju zgrada?
- Koji su ključni faktori koji utječu na energetske učinkovitost prozora?
- Procijenite važnost orijentacije otvora prema stranama svijeta za iskorištavanje pasivnih solarnih dobitaka.
- Kakav je utjecaj zrakotijesnosti na energetske troškove i komfor unutar zgrade?
- Predložite inovativne metode za povećanje udjela obnovljivih izvora energije u isporučenoj energiji zgrade.
- Osmislite strategiju za promociju gradnje zgrada gotovo nulte energije u vašoj lokalnoj zajednici.

### Istraži...

- Istražite primjere nZEB kuća u Hrvatskoj i usporedite ih s primjerima iz drugih zemalja.
  - Pronađite primjere obiteljskih kuća u Hrvatskoj koje zadovoljavaju nZEB standarde.
  - Usporedite njihove arhitektonsko-građevinske karakteristike, termotehničke sustave i energetske učinke s primjerima iz drugih europskih zemalja.
  - Razmotrite koje su tehnike i materijali korišteni te kako se prilagođavaju lokalnim klimatskim uvjetima.
- Analizirajte zakonodavni okvir za nZEB u Hrvatskoj i usporedite ga s direktivama Europske unije.

- Pregledajte hrvatske zakone, pravilnike i strategije vezane uz nZEB standarde.
- Usporedite ih s Direktivom 2010/31/EU i drugim relevantnim EU dokumentima.
- Istaknite ključne sličnosti i razlike te predložite poboljšanja za hrvatski zakonodavni okvir.
- Istražite novu EPBD direktivu (Revised Energy Performance of Buildings Directive). Koja je razlika između nZEB i ZEB (zgrada s nultom emisijom)?
  - Istražite utjecaj dizalice topline kao termotehničkog sustava na potrošnju primarne energije u nZEB kućama.
- Opisajte kako dizalica topline funkcionira i koje su njezine prednosti u smanjenju potrošnje energije.
- Prikupite podatke o potrošnji energije različitih tipova dizalica topline (voda-voda, zrak-voda) u nZEB kućama.
- Usporedite učinkovitost dizalica topline s drugim termotehničkim sustavima.
  - Istražite kako klimatske regije utječu na projektiranje nZEB kuća u Hrvatskoj.
- Analizirajte karakteristike kontinentalne i primorske klimatske zone u Hrvatskoj.
- Istražite kako se različite klimatske regije odražavaju na zahtjeve za toplinsku izolaciju, orijentaciju zgrade, sustave grijanja i hlađenja.
- Pronađite primjere zgrada u obje klimatske zone i usporedite njihove energetske performanse.
  - Istražite inovacije u gradnji nZEB kuća i njihovu primjenu u praksi.
- Prikupite informacije o najnovijim tehnologijama i materijalima koji se koriste u gradnji nZEB kuća.
- Analizirajte kako se te inovacije primjenjuju u praksi kroz studije slučaja ili primjere izgradnje.
- Predložite potencijalne inovacije koje bi se mogle primijeniti u budućnosti za poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada.

## 12 IZRADA BIOLOŠKIH BAZENA

### Autorica:

Maja Lovrić, dipl.ing.arh.

### Ishodi učenja:

1. imenovati osnovne pojmove o konceptu biološkog bazena, materijalima i biljkama koji se koriste pri izradi biološkog bazena
2. razlikovati korisnu vegetaciju, prirodne materijale i njihova svojstva
3. kreirati vlastiti biološki bazen na postojećoj, izabranoj lokaciji
4. prezentirati vlastiti projekt ostalim polaznicima

### UVOD

Bazeni su zatvoreni krug uglavnom stajaće vode koja služi za kupanje i osvježavanje. S obzirom na velike vrućine i produžena ljetna i vruća razdoblja potreba za bazenima je sve veća. Osnovna funkcija bazena je mogućnost kupanja pa je stoga potrebno i nužno da voda koja se nalazi u bazenu bude filtrirana i dezinficirana.

Biološki bazeni se još nazivaju i prirodni bazeni jer osnovna razlika između bioloških i klasičnih bazena je što biološki bazeni ne koriste klor i nikakve kemikalije. Razvoj ekološke svijesti povećava broj izvedbe prirodnih bazena.

Nakon ove lekcije moći ćete:

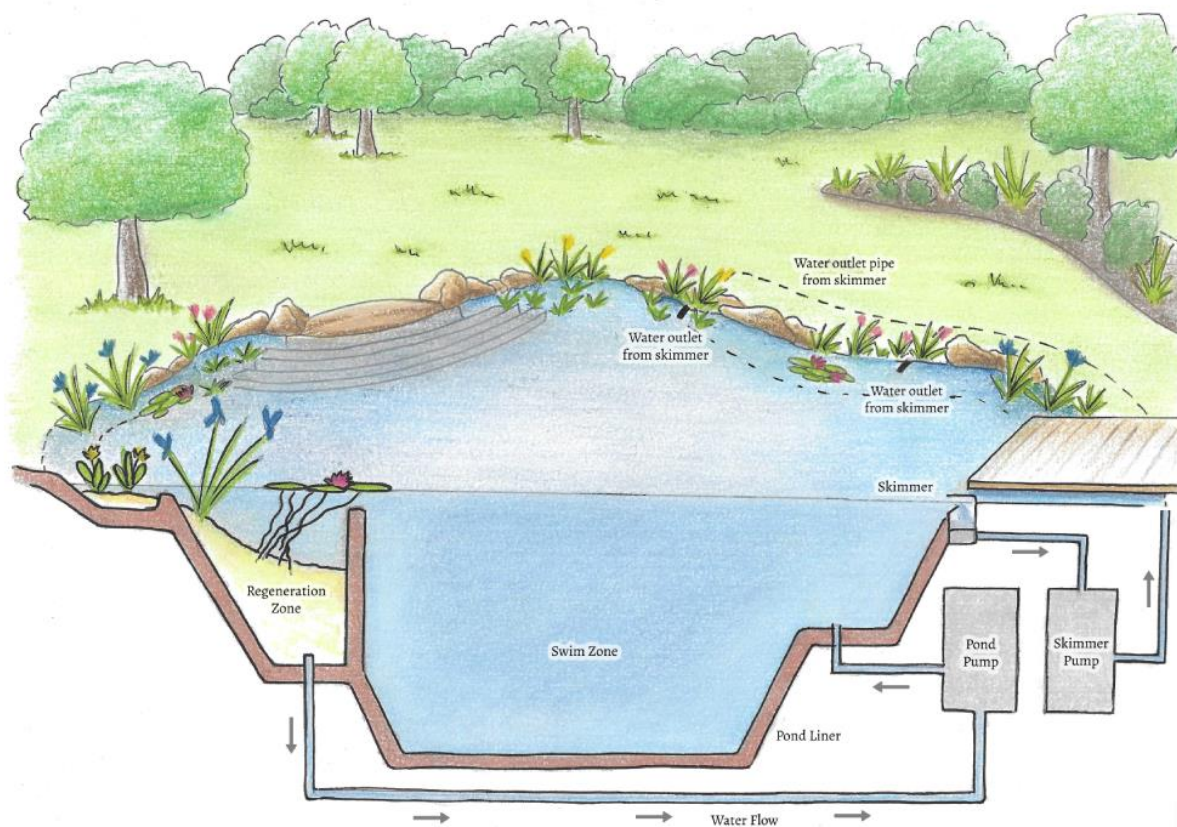
- razlikovati vrste bazena
- odrediti prednosti i mane izrade bioloških bazena
- odrediti dimenzije lokacije potrebne za izradu bioloških bazena
- razlikovati vrste biljaka koje se koriste u izradi bioloških bazena
- navesti sve prednosti izrade prirodnih bazena naspram klasičnog

## BIOLOŠKI BAZENI

Biološki bazeni, poznati i kao prirodni bazeni ili ekobazeni, su vrsta bazena koja koristi prirodne procese i ekosustave za održavanje čistoće i kvalitete vode. U potpunosti se čišćenje bazena osigurava vodenim biljkama i mikroorganizmima. Ovi bazeni su dizajnirani tako da imitiraju prirodne vodene sustave kao što su jezera i ribnjaci.

Razlika između klasičnih bazena i bioloških bazena je što klasični bazeni koriste kemikalije za čišćenje i održavanje. Biološki bazeni ne koriste klor ni druge kemikalije za dezinfekciju vode. Umjesto toga, prirodni procesi održavaju vodu čistom i sigurnom za kupanje. Dizajn i konstrukcija bioloških bazena često su usmjereni na minimalan utjecaj na okoliš. Koriste se prirodni materijali i tehnike koje podržavaju lokalni ekosustav.

Na prikazanoj Slika 18 vidljiv je prirodan izgled biološkog bazena: prostor namijenjen plivanju, prostor namijenjen filtriranju pomoću biljaka i eventualni položaj vodenih pumpi koje omogućavaju protok vode.



Slika 18 Presjek kroz biološki bazen (Broadley Aquatics, 2024)



## PRINCIP RADA BIOLOŠKIH BAZENA

Kao što smo već naveli osnovna razlika između klasičnih bazena i bioloških bazena je u filtriranju vode i održavanju vode čistom.

U biološkom bazenu voda treba kontinuirano cirkulirati kako bi korijeni biljaka mogli čistiti bazen. Također može biti potrebno prozračivati vodu kako bi se zadovoljile potrebe organizama u vodi za kisikom.

Biološki bazeni uključuju zonu regeneracije ili filtracijsku zonu koja je zasađena vodenim biljkama. Ove biljke apsorbiraju hranjive tvari iz vode, čime smanjuju rast algi i održavaju vodu čistom. Mikroorganizmi u tlu i na korijenima biljaka također doprinose razgradnji organskih tvari.

## IZRADA BIOLOŠKIH BAZENA

### 1. Odabir lokacije

Prilikom odabira lokacije za biološki bazen treba uzeti u obzir zonu filtracije vode. Naime s obzirom da biološki bazeni koriste biljke i mikroorganizme za filtraciju potrebno nam je puno više prostora nego za klasične bazene koji se održavaju kemikalijama.

To je jedan od nedostataka izrade ovakvog tipa bazena s obzirom da je za izradu filtrirajuće zone potrebno predvidjeti 50 % veću površinu od površine namijenjene za plivanje i kupanje.

S obzirom na navedeno prilikom smještaja biološkog bazena na parceli potrebno je predvidjeti dovoljno prostora. Teren smještaja mora biti ravan, a najbolja orijentacija je na južnom dijelu parcele.

Bazen se ne smije smjestiti u blizini visokog drveća zbog širenja korijena koji bi mogli oštetiti bazen i zbog kasnijeg lakšeg održavanja bazena s obzirom na lišće koje pada s drveća.

Oblik biološkog bazena može biti klasičan pravokutan, kružni, kvadratni ili oblik graha ili bilo kakvog nepravilnog oblika. Zona filtriranja postavlja se odmah do zone kupanja.

Biološki bazeni često imaju prirodni izgled, s organskim oblicima, kamenjem, drvenim elementima i bujnim biljnim okruženjem, stvarajući dojam prirodnog jezera ili ribnjaka.

Na prikazanim slikama vidljivi su različiti oblici i različiti dizajn bioloških bazena



*Slika 19 Prikaz biološkog bazena nepravilnog tlocrtnog oblika (Country life, 2024)*



*Slika 20 Prikaz biološkog bazena pravilnog oblika (Ecohome, 2024)*

## **2. Izrada plivajuće zone**

Nakon odabira lokacije potrebno je iskopati rupu za plivajuću zonu.

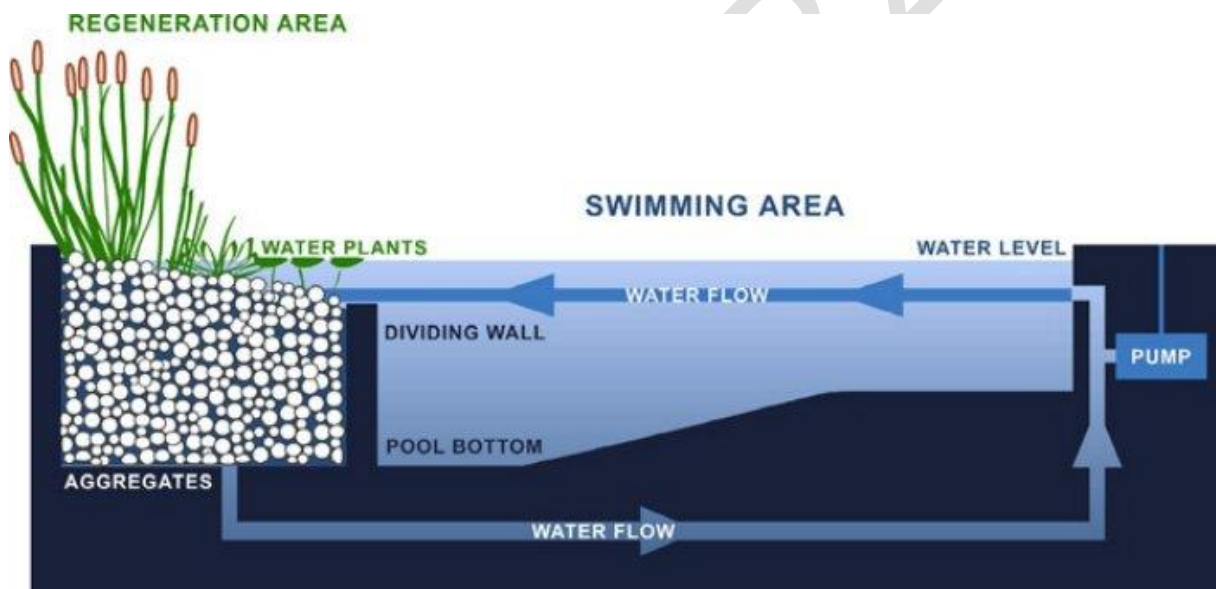
U biološkim bazenima češće se sama plivajuća zona radi od prirodnog materijala na način da se rubovi dubljeg dijela bazena zaštite od urušavanja kosim, širokim iskopom u odnosu 1:3.

Donji dio se može prekriti nepropusnom folijom i učvrstiti kamenim oblicima različitih veličina ili se rubovi plivajućeg dijela bazena izvode od betona.

Ono što se mora uzeti u obzir je da kod izrade bioloških bazena nema prelaza iz duboke zone vode već se mora predvidjeti postepena plića zona za postavu biljaka.

Na Slika 21 prikazana nam je zona plivanja (enlg. swimming area), zona regeneracije biljaka (engl. regeneration area), zona postave biljaka i tijek protoka vode.

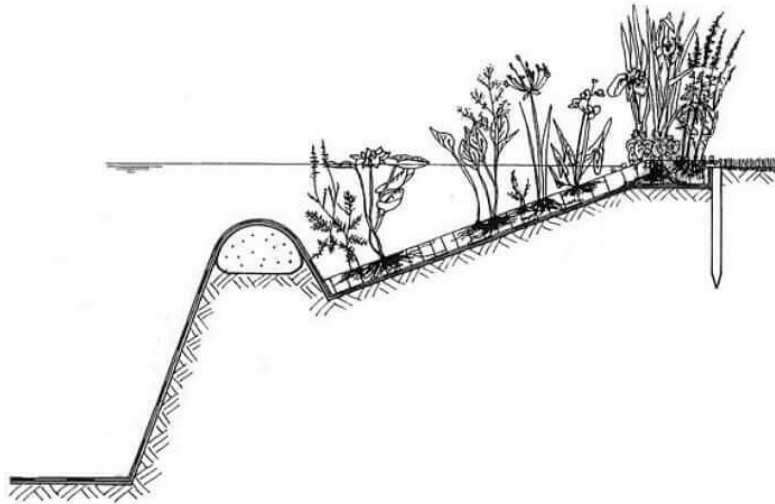
Važno je u zoni filtracije biljaka osigurati različite dubine vode jer se biljke za filtraciju vode sade u različitim dubinama.



Slika 21 Prikaz zone plivanja i zone filtriranja biološkog bazena (Insteadig.com, 2024)

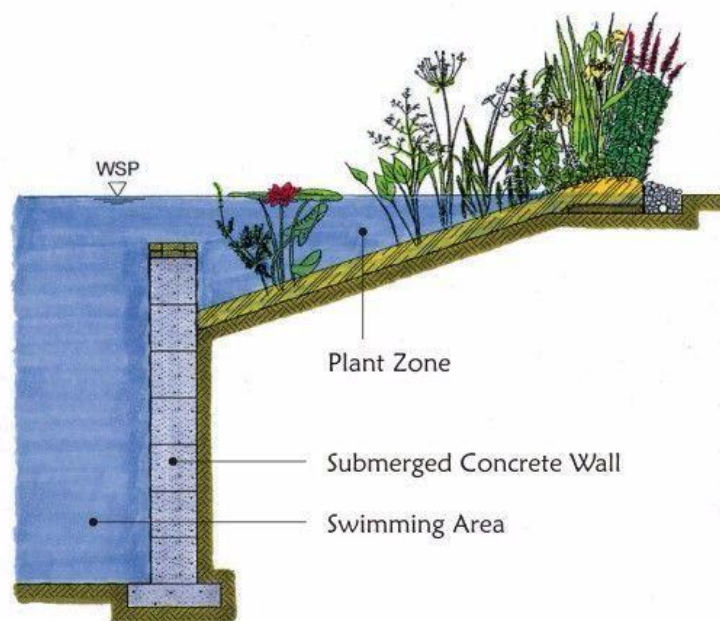
Zona plivanja je u biološkim bazenima jasno odvojena. Obično se koriste prirodni materijali za njihovo odvajanje. Mogu biti prirodni zemljani materijali, drvo, kamen ili bilo koji drugi materijali.

Na Slika 22 vidljiva je granica između zone biljaka i plivajuće zone izrađena od prirodnih materijala.



Slika 22 Prijelaz između filter zone i plivačke zone – prirodni materijali (Instead.com, 2024)

Na Slika 23 vidljiva je granica između zone biljaka i plivajuće zone izrađena od betonskog zida.



Slika 23 Prijelaz između filter zone i plivačke zone – betonski zid (Diyeverwhere.com, 2024)

### 3. Izrada filtrirajuće zone

Filtrirajuća zona kod prirodnih bazena je dio bazena koji služi kao prirodni sustav filtriranja vode. Ova zona obično obuhvaća biljke koje pomažu u čišćenju vode od nečistoća i hranjivih tvari. Biljke u filtrirajućoj zoni koriste korijenje kako bi filtrirale vodu, uklanjajući višak hranjivih tvari poput dušika i fosfora, što pomaže u sprječavanju rasta algi. Filtrirajuća zona je

ključna komponenta prirodnih bazena jer omogućava održavanje čiste vode bez korištenja kemikalija poput klora.

Zona predviđena za biljke je prekrivena šljunkom različite granulacije između kojeg se postavljaju biljke različite visine. Najdublji dio ovog dijela bazena je cca 45 cm i nalazi se najbliže plivajućoj zoni bazena. Najplića zona je cca 10 do 15 cm vode. Odabir biljaka je izuzetno bitan za prirodni izgled bazena kao i za prirodno filtriranje i pročišćavanje bazena.

Biljke koje se upotrebljavaju su:

- Močvarne biljke (trska, rogoz, visoke močvarne trave)
- Plutajuće vrste: njihovi se listovi i cvjetovi nalaze na površini vode, a korijen je pričvršćen za podlogu (lopoč, vodena leća, vodeni zumbul)
- Biljke koje su u cijelosti pod vodom (rogolist)



Slika 24 Prikaz biljaka u biološkom bazenu (Prostor, 2024)

## **PREDNOSTI I NEDOSTATCI BIOLOŠKIH BAZENA**

Biološki bazeni su ekološki prihvatljiviji, ne koriste kemikalije pa stoga ne uzrokuju iritaciju kože i očiju. Voda u ovakvim bazenima se ne mijenja. Bazen se puni samo jednom. Održavanje biološkog bazena svodi se na čišćenje zone regeneracije sa biljkama, eventualnu zamjenu pojedinih biljaka i eventualnu zamjenu i održavanje pumpi za cirkulaciju vode.

Ipak imaju i nekoliko nedostataka. Prvobitni trošak bioloških bazena je veći od klasičnih. Potrebna površina za izvedbu biološkog filtera je puno veća od površine potrebne za izvedbu klasičnog bazena.

I ono što često odbija korisnike bioloških bazena je boja vode. Boja vode nikada nije tirkizna i bistra kao kod klasičnih bazena već je prirodna poput boje prirodnih jezera.

## ZAKLJUČAK

Zaključno, biološki bazeni predstavljaju ekološki prihvatljiv i estetski ugodan način uživanja u vodi. Oni nude brojne prednosti, uključujući smanjenje uporabe kemikalija, niže troškove održavanja i prirodniji izgled koji se bolje uklapa u okoliš. Korištenje biljaka za filtraciju vode doprinosi očuvanju bioraznolikosti i stvara stanište za različite vrste životinja i insekata.

Međutim, biološki bazeni također imaju svoje mane. Potrebno je više prostora za izgradnju i pažljivo planiranje dizajna kako bi se osigurala učinkovitost filtracijskog sustava. Također, može biti potrebno više vremena za postizanje ravnoteže u ekosustavu bazena u usporedbi s konvencionalnim bazenima.

Način izvedbe uključuje pažljiv odabir i postavljanje biljaka koje najbolje odgovaraju specifičnim uvjetima bazena, kao i pravilnu izgradnju i održavanje sustava za filtraciju i cirkulaciju vode. Biljke poput trske, šaša i ljiljana često se koriste zbog svoje sposobnosti filtriranja i pročišćavanja vode.

U konačnici, odluka o izgradnji biološkog bazena treba biti temeljena na ravnoteži između želje za održivim i prirodnim rješenjem te spremnosti na ulaganje dodatnog truda i vremena u njegovu izgradnju i održavanje.

**Pitanja za ponavljanje:**

1. Od čega se sastoje biološki bazeni?
2. Navedite prednosti i mane bioloških bazena.
3. Kako još nazivamo biološke bazene?
4. Objasni zašto su biološki bazeni prihvatljiviji od klasičnog unatoč većoj investiciji.

**Istraži...**

- Pronađi na internetu i analiziraj gdje su sve u Hrvatskoj izvedeni biološki bazeni.
- Pronađi na internetu 3 izvedenih projekata bioloških bazena.
- Kreiraj vlastiti biološki bazen na postojećoj lokaciji sa postojećim objektom. Obrati pažnju na zonu regeneracije, plivajuću zonu, ulazak u vodu, izbor biljaka. Nacrtaj tlocrt bazena i presjek kroz bazen.

## 13 SNIMANJE ZGRADE U 3D SNIMKU I IZRADA SNIMKA POSTOJEĆEG STANJA

### **Autori:**

Marko Štuhec, mag.ing.arch. i Dragana Javor, dipl.ing.arh.

### **Ishodi učenja:**

1. definirati što je fotogrametrija
2. navesti glavne metode fotogrametrije (lasersko skeniranje, lidar tehnologija, fotogrametrija)
3. objasniti razliku između aerofotogrametrije i terestričke fotogrametrije
4. razumjeti ulogu bespilotnih letjelica u modernoj fotogrametriji
5. primijeniti znanje o fotogrametriji za izradu jednostavnog 3D modela koristeći odgovarajuće softverske alate.
6. koristiti bespilotne letjelice za prikupljanje podataka potrebnih za fotogrametrijsku analizu
7. objasniti inovacije/novine i unapređenja u struci
8. integrirati nova znanja, tehnologije i dobre prakse u vlastitu strukovnu/stručnu i nastavnu praksu i rješavanje problema
9. vrednovati korisnost i učinkovitost primjene novih znanja, tehnologija i dobre prakse u struci
10. osmisliti prijenos novih znanja, tehnologija i dobre prakse na učenike i suradnike.
11. upoznati se s načinom rada i snimanja korištenjem kamere Matterport na određenoj građevini ili prostoru
12. isti predložak staviti u odgovarajući digitalni crtački okvir softvera Allplan ili Floor Plan Creator.



## UVODNO O FOTOGRAMetriJI

Izrada **3D snimaka zgrada i terena** postala je ključna tehnologija u građevinarstvu, urbanom planiranju i mnogim drugim područjima. Trodimenzionalni modeli omogućavaju detaljnu analizu i vizualizaciju prostora, što je od velike važnosti za precizno planiranje i izvođenje građevinskih radova (Wolf, 2014). Ove tehnologije pružaju arhitektima, inženjerima i urbanistima alate za bolje razumijevanje i interpretaciju kompleksnih struktura i terena. 3D snimci omogućuju identificiranje potencijalnih problema prije nego što oni postanu skupi i vremenski zahtjevni za ispravljanje, što značajno poboljšava efikasnost i smanjuje troškove projekata (Kraus, 2007).

Postoji nekoliko metoda za izradu 3D snimaka, uključujući **lasersko skeniranje, lidar tehnologiju i fotogrametriju**. Lasersko skeniranje koristi laserske zrake za mjerenje udaljenosti do objekata, stvarajući precizne 3D modele. Lidar tehnologija, koja se često koristi u kombinaciji s bespilotnim letjelicama, koristi laserske impulse za mjerenje udaljenosti i mapiranje površina (Colomina, 2014). Fotogrametrija, s druge strane, koristi fotografije snimljene iz različitih uglova za stvaranje detaljnih trodimenzionalnih modela (Eisenbeiss, 2009).

### **Povijest fotogrametrije**

**Fotogrametrija** je znanstvena metoda mjerenja i mapiranja koja koristi fotografije za određivanje preciznih mjera i proporcija objekata. Ova tehnika seže unatrag do sredine 19. stoljeća. Prve primjene fotogrametrije pojavile su se nakon izuma fotografije 1839. godine. Jedan od pionira ove metode bio je francuski geodet Aimé Laussedat, koji je 1849. godine prvi koristio fotografije za izradu karata (Aber, 2010).

Početakom 20. stoljeća, s razvojem zrakoplovstva, fotogrametrija je doživjela značajan napredak. Avioni su omogućili sni manje iz zraka, što je

bilo posebno korisno za vojne svrhe tijekom Prvog i Drugog svjetskog rata. Nakon ratova, fotogrametrija je našla primjenu i u civilnim područjima, poput geodezije, urbanog planiranja i arheologije.

### **Moderna upotreba fotogrametrije i bespilotnih letjelica**

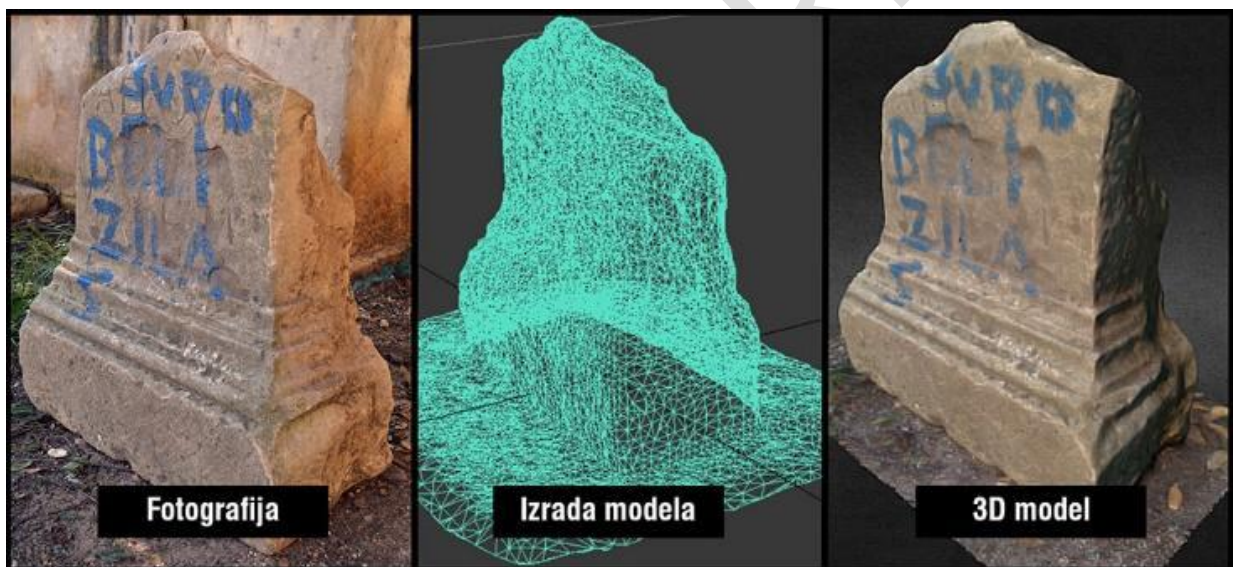
Danas, fotogrametrija je u velikoj mjeri digitalizirana i koristi napredne tehnologije poput bespilotnih letjelica, satelita i specijaliziranih softvera. Bespilotne letjelice opremljeni visokorezolucijskim kamerama omogućuju precizno i brzo prikupljanje podataka iz zraka. Ove podatke softveri za fotogrametriju obrađuju i pretvaraju u detaljne trodimenzionalne modele (Colomina, 2014).

Moderna fotogrametrija nalazi primjenu u mnogim područjima. U građevinarstvu, koristi se za praćenje napretka gradilišta, inspekciju infrastrukture i planiranje novih projekata. U poljoprivredi, omogućava precizno mapiranje polja, praćenje stanja usjeva i upravljanje resursima (Wolf, 2014). U arheologiji, fotogrametrija pomaže u dokumentiranju i analizi povijesnih nalazišta.

Budući da se fotogrametrijsko snimanje ne obavlja na samom objektu, već s udaljenosti, područje je njegove primjene široko. U geodeziji se aerofotogrametrijom znatno ubrzava i olakšava izmjera zemljišta i izradba karata, dok se u inženjerstvu primjenjuje pri trasiranju prometnica, u hidrotehnici, urbanizmu i prostornom planiranju. Aerosnimke se često rabe i u arheologiji, geologiji i geografiji, a ključna im je primjena i za voj. namjene. Terestrička fotogrametrija se već dulje vrijeme primjenjuje u kriminalistici, arhitekturi i zaštiti spomenika kulture, dok su novi digitalni postupci znatno proširili primjenu, npr. u medicini i industriji.

Fotogrametrijskim se postupcima mogu pratiti i pomaci ledenjaka, deformacije zgrada, ili pojava i širenje pukotina na dijelovima konstrukcija. Konačno, bez fotogrametrije nije zamislivo ni kartiranje i proučavanje površine planeta (Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, 2013-2024).

Korištenje bespilotnih letjelica u fotogrametriji predstavlja revoluciju u načinu prikupljanja i obrade podataka. Bespilotne letjelice, s njihovom fleksibilnošću, mobilnošću i naprednom tehnologijom, omogućuju brže i učinkovitije stvaranje 3D modela zgrada i terena (Slika 106). Ova tehnologija ne samo da poboljšava preciznost i detalje snimaka, već i smanjuje troškove i vrijeme potrebno za prikupljanje podataka.



Slika 106 Faze izrade 3D modela spomenika (arheon.org, 2024)

## FOTOGRAMetriJA

Fotogrametrija (foto- + -gram + -metrija), znanost i tehnika određivanja oblika, veličine ili položaja nekog objekta snimanjem, mjerenjem i interpretacijom fotografskih snimaka. Zasniva se na činjenici da snimka nastaje prema određenim geometrijskim i optičkim zakonitostima, pa je njihovim poznavanjem moguće na osnovi snimke djelomično ili u potpunosti rekonstruirati snimljeni objekt.

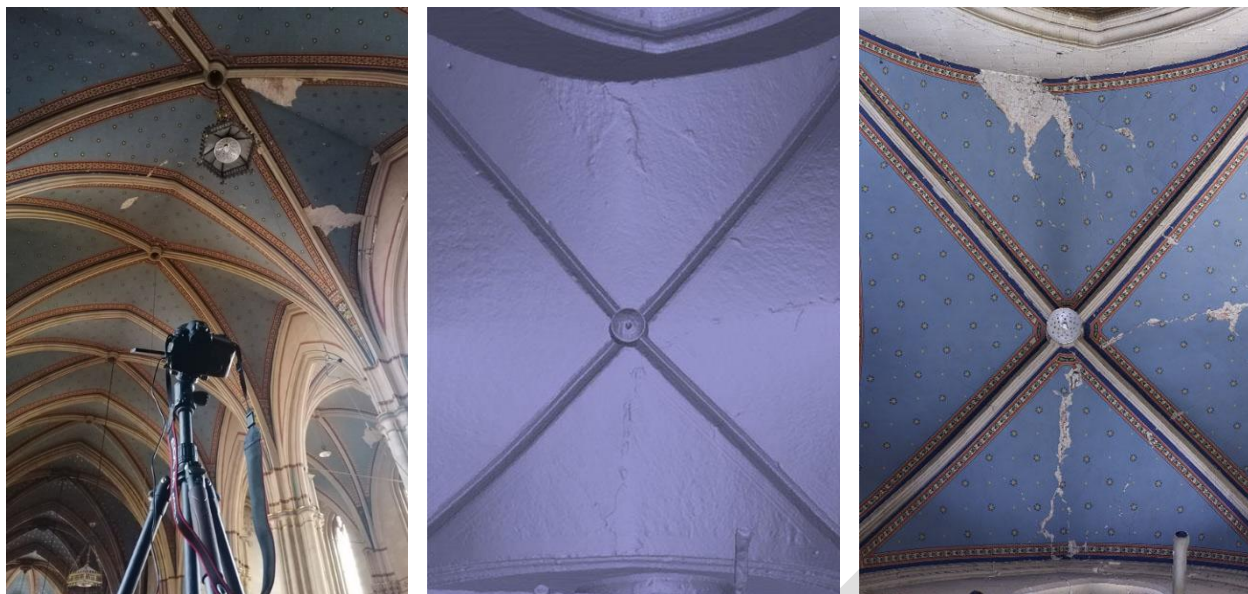
Na osnovi jedne snimke mogu se odrediti dvodimenzijaska svojstva objekta, tj. provesti potpuna rekonstrukcija približno ravnog objekta (npr. zemljišta, pročelja zgrade) ili djelomična rekonstrukcija prostornog objekta (npr. obrisa nekog predmeta). Za određivanje trodimenzijskih svojstava objekta potrebno je načiniti dvije snimke, tzv. **stereopar**, iz različitih kutova snimanja. Takvo se snimanje naziva **stereoskopskim**, a fotogrametrijska rekonstrukcija uz pomoć stereoparova naziva se stereofotogrametrijom.

Prema položaju snimališta razlikuje se **aerofotogrametrija** (Slika 107), kojom se objekti snimaju iz zrakoplova, satelita, svemirske sonde, i **terestrička** fotogrametrija, kada se objekt snima s tla (Slika 108). Za snimanje najčešće služe posebno građene i kalibrirane fotografske kamere, čime je olakšano određivanje orijentacije snimke, tj. rekonstrukcija geometrijskih odnosa prilikom snimanja. Bliski objekti stereoskopski se snimaju stereokamerom, dok se snimanje iz zraka provodi automatskim aerokamerama.

Rekonstrukcija geometrijskih odnosa i veličina snimljenog objekta obuhvaća postupke orijentacije i izmjere. Ti se postupci u analognoj fotogrametriji provode optičko-mehaničkim uređajima.



Slika 107 3D model dobiven na temelju zračnih snimaka (GeoFocus, 2024)



*Slika 108 Lijevo: Prikaz snimanja terestričkom fotogrametrijom (GeoFocus, 2024); sredina: Prikaz modela dobiven na temelju terestričkih snimaka; desno: Prikaz modela s teksturom dobiven mjernom kamerom unutar Zagrebačke katedrale*

Znatno su fleksibilniji postupci **analitičke fotogrametrije**, gdje se rekonstrukcija provodi numerički, uz pomoć računala. Najnoviji postupci digitalne fotogrametrije oslanjaju se na snimke učinjene digitalnim kamerama ili na naknadno digitalizirane snimke učinjene klas. tehnikama. Digitalna fotogrametrija kombinirana s drugim, npr. projektorskim postupcima, te u sprezi s tehnikama računalne obradbe slike, omogućuje gotovo u potpunosti automatizirano dobivanje trodimenzijskoga digitalnog modela objekta (Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, 2013-2024).

### **IZRADA 3D SNIMKI UZ POMOĆ BESPILOTNIH LETJELICA**

Dronovi, tj. bespilotne letjelice (engl. Unmanned Aerial Vehicle – UAV) su letjelice koje se mogu nadzirati na daljinu ili letjeti samostalno, uporabom unaprijed programiranog plana leta ili pomoću složenih autonomnih dinamičkih sustava.

Postoji mnogo različitih vrsta bespilotnih letjelica, od ultralakih (Slika 109) do onih koji teže i po par desetka kilograma. Ovisno o težini bespilotne

letjelice, primjenjuju se članci [Uredba \(EU\) 2019/945](#) o sustavima bespilotnih zrakoplova i o operatorima sustava bespilotnih zrakoplova iz trećih zemalja i [Uredba \(EU\) 2019/947](#) o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova. Njima se određuje tko i pod kojim uvjetima svije upravljati bespilotnim letjelicama.



Slika 109 Ultralaka bespilotna letjelica, 249g (<https://www.hgi-cgs.hr/>, 2024)

Specifikacije	CO	C1	C2	C3	C4
Težina/energija udara	<250 g	900 g	<4 kg	<25 kg	<25 kg
Maks. brzina	19 m/s = 68 km/h	19 m/s = 68 km/h	-	-	-
Maks. visina leta	120 m	120 m ili podesivo ograničenje visine	120 m ili podesivo ograničenje visine	120 m podesivo ograničenje visine	120 m ili prema uzletištu modela
Zahtjevi tehnike	Smjernica za igračku ili <68 km/h, ograničenje visine	< 68 km/h, ograničenje visine, slijetanje u nuždi kod gubitka signala	Ograničenje visine, slijetanje u nuždi kod gubitka signala, način male brzine, zadane točke loma	Ograničenje visine, slijetanje u nuždi kod gubitka signala, način male brzine, zadane točke loma	Nije dozvoljeno automatsko upravljanje
Potrebna registracija pilota na daljinu	Ne odn. da kod dronova s kamerom	Da	Da	Da	Da
Oposobljenost pilota na daljinu	Pročitati uputstva za korištenje	Pročitati uputstva za korištenje, EU potvrda o osposobljenosti A1/A3	Pročitati uputstva za korištenje, EU potvrda o osposobljenosti A1/A3, potvrda za daljinsko pilotiranje A2	Pročitati uputstva za korištenje, EU potvrda o osposobljenosti A1/A3	Pročitati uputstva za korištenje, EU potvrda o osposobljenosti A1/A3
Potrebna daljinska identifikacija	Ne	Da	Da	Da	Ne
Pogon u otvorenoj kategoriji	A1 = let iznad ljudi	A1 = let iznad ljudi	A2 = let u blizini ljudi, A3 = let na velikoj udaljenosti od ljudi	A3 = let na velikoj udaljenosti od ljudi	A3 = let na velikoj udaljenosti od ljudi

Slika 110 Kategorizacija bespilotnih letjelica prema Uredbi (EU) 2019/945 i Uredbi (EU) 2019/947

Primjeri bespilotnih letjelica su:

- ultralagana letjelica (<250 g) opremljena 12 MP kamerom i njome se može snimati let u trajanju od oko 30 minuta. Koristi se za fotografiranje terena, posebno za one koji su teško dostupni. Upravlja se mobilnim uređajem i aplikacijom DJI FLY, i njime može upravljati bilo koja osoba s osnovnim znanjem o korištenju bespilotnih letjelica
- letjelica opremljena 20 MPX RGB kamerom, te služi za potrebe izrade DEM podloga, odnosno fotogrametriju terena. Opremljen je RTK sustavom čime je moguće dobiti vrlo precizne podatke o lokaciji, s maksimalnim tvorničkim odstupanjem do +/- 4 cm.

Bespilotne letjelice koje rade na principu fotogrametrije mogu se koristiti za izradu fotogrametrijskih snimaka koji se onda mogu iskoristiti za izradu:

- 3D realistični model predmeta (engl. 3D Reality Mesh)
- DMR (Digitalni model reljefa)
- Ortofoto
- Ortofoto kartu (u odnosu na ortofoto ima pravokutnu koordinatnu mrežu; jedinstveno mjerilo)
- Oblak točaka (engl. Point cloud)

Veće i bolje opremljene bespilotne letjelice mogu se koristiti za izradu aerofotogrametrijskih snimki. Pri aerofotogrametriji letjelica iz zraka prikuplja veliki broj visoko rezolucijskih fotografija nekog područja. Te se fotografije preklapaju u određenom postotku te prilikom preklopa treba paziti da je određeni detalj područja od interesa vidljiv na više snimaka.

Rezultat takve tehnike snimanja je 3D rekonstrukcija ciljanog područja/predmeta. Takav model sadrži informaciju o visini terena, teksturi, obliku i boji svake snimljene točke.

Na temelju preklopa među snimcima moguće je dobiti ortofoto – dvodimenzionalna zračna snimka i DMR – 3D reprezentaciju područja. Kombinacijom ortofota i DMR-a kreira se 3D model traženog područja.

### **Izrada snimki**

Izrada snimki bespilotnim letjelicama koje će se kasnije obrađivati u nekom od računalnih programa ne razlikuje se bitno od klasičnog fotografiranja. Ulogu fotografa preuzima bespilotna letjelica, tj. njen pilot.

Veličina objekta i složenosti rekonstrukcije će diktirati količinu slika potrebnih za izradu 3D snimke. Treba imati na umu da neke slike mogu biti odbačene ako program ne pronađe dovoljno sličnosti s drugim slikama ili ako su zamućene.

Kada koristimo bespilotnu letjelicu, potrebno je naći sigurno mjesto za polijetanje i slijetanje iste. Trebamo i unaprijed isplanirati plan leta kako ne bi imali problema s preprekama poput drveća ili žica i kako ne bismo ostali bez baterije u presudnom trenutku.

- Jednom kada je letjelica u zraku, pomičemo ju oko ciljanog objekta u krugovima (Slika 111.)
- U toku svoje putanje snimamo što više slika i to s preklapanjem oko 60-80%
- Izbjegavamo oštre sjene
- Objekt mora zauzeti važan dio svake slike
- Uputno je izbjegavati vrlo sjajne ili prozirne predmete
- Potrebno je napraviti i snimke krovnih ploha

Svaka snimka biti će automatski geolocirana te će sadržavati podatke o zemljopisnoj širini i visini kao i o nadmorskoj visini na kojoj se letjelica



nalazila. Ovi podatci ključni su za računalno generirano 3D snimku (Erhatič, 2023).



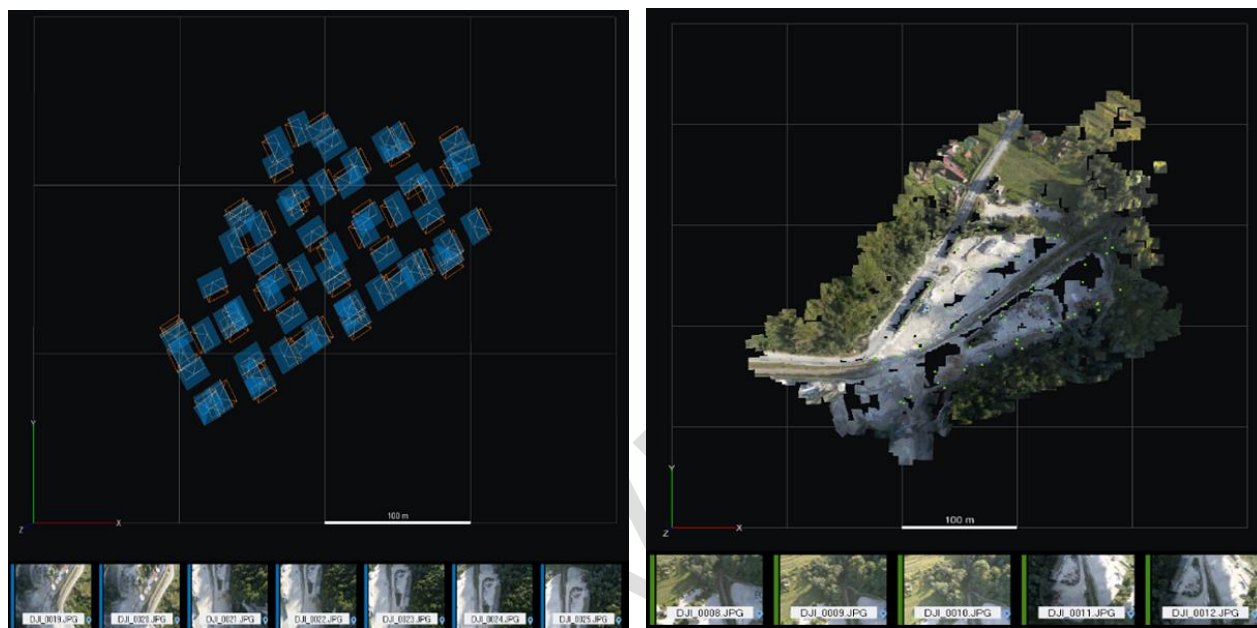
Slika 111 Putanja bespilotne letjelice s preklapanjima



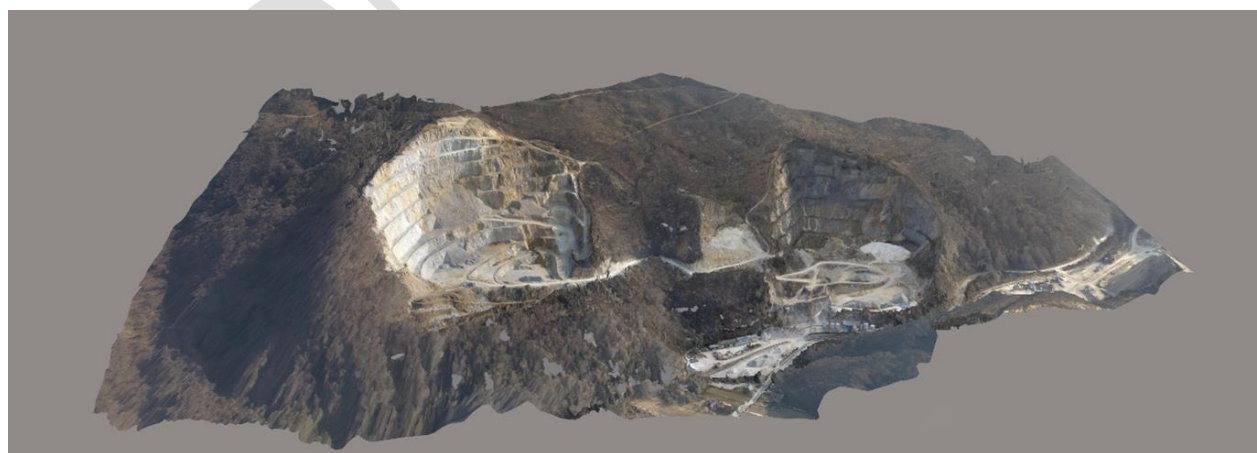
Slika 112 Bespilotna letjelica kreće na snimanje terena (Rudar projekt, 2024)

### Obrada podataka

Nakon što smo prikupili podatke s terena, tj. snimili fotografije, potrebno ih je prebaciti u računalni program. Na tržištu se nalaze brojni računalni programi koji automatski preklapaju fotografije i stvaraju 3D snimku objekta.



Slika 113 Obrada podataka i stvaranje 3D modela (Rudar projekt, 2024)



Slika 114 dovršen 3D fotogrametrijski model (Rudar projekt, 2024)

### Završni proizvod

Kao završni proizvod fotogrametrije mogu se stvoriti 3D realistični modeli predmeta poput 3D modela zgrade s teksturom koji se mogu dalje obraditi pa se tako mogu dobiti detaljni prikazi pročelja u mjerilu, snimke postojećeg stanja, snimke terena, snimke ukrasa i freski, elementi fasada i drugo.



Slika 115 Prikaz 3D realističnog modela s teksturom glavnog portala Katedrale Uznesenja Blažene Djevice Marije i svetih Stjepana i Ladislava (Zagrebačka katedrala) (GeoFocus, 2024)



Slika 116 Primjena fotogrametrijskog modela kod proračuna volumena deponije



Slika 117 Pročelja crkve Majke Božje Koruške (Izvor: Code architect d.o.o., Arhitektonski snimak postojećeg stanja)

## UVODNO O SNIMANJU 3D KAMEROM POSTOJEĆEG STANJA GRAĐEVINE

Promatrajući napredak digitalne tehnologije u graditeljskoj struci se snimanje postojećeg stanja građevine u eksterijeru i interijeru, iscrtavanje se znatno ubrzava. U projektnim uredima to postaje standard.

Za skeniranje odgovarajućeg 3D prostora postoji instrument (kamera) Matterport za 360 stupnjeva kružnog mjerenja prostora po širini, dužini i visini.

Camera Pro 3 idealna je za veće građevinske i inženjerske projekte i tamo gdje se projekt mora obraditi s višom kvalitetom i preciznošću (npr. luksuzne nekretnine, virtualna maloprodaja / e-trgovina).

### OPIS RADA S OPREMOM

Da bismo uspješno krenuli s radom na kameri trebamo instalirati i pokrenuti na mobitelu aplikaciju Matterport Capture. Za rad s našom 3D kamerom trebati će nam sljedeća oprema: a) Tronožac; b) IOS mobilni uređaj (iPhone ili iPad) i c) Snimanje Matterportom Pro2.



Slika 25 Kamera s tronožcem (Matterport, 2024)



Slika 26 IOS mobilni uređaj (Matterport, 2024)

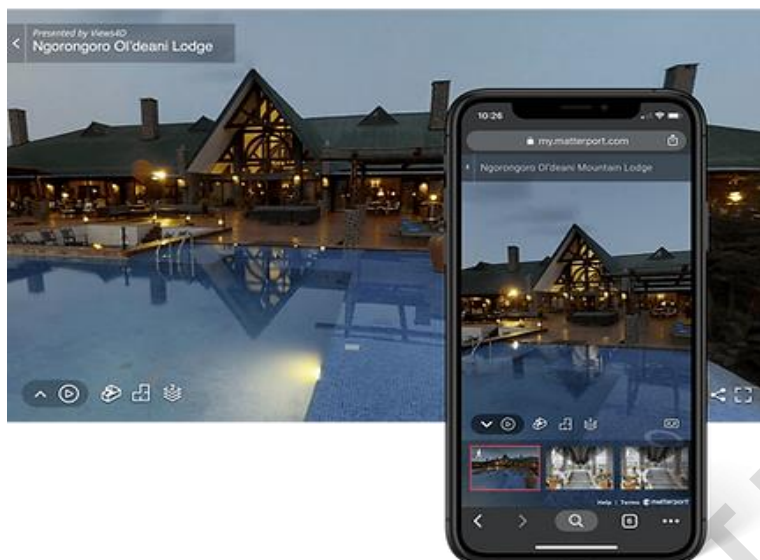


Slika 27 Snimak interijera za 360° (Dimedia nekretnine, 2024)

Skeniranje interijera i eksterijera vrlo je jednostavno i može ga napraviti čak i osoba koja nije profesionalni fotograf. Kako to učiniti?

1. Postavite 3D kameru u prostoriju koju želite skenirati.
2. Pokrenite aplikaciju Matterport Capture na svom mobilnom uređaju.
3. Kliknite gumb "+" na glavnoj stranici za stvaranje novog modela.
4. Sakriti. Kamera snima prostor na 360°, pa je idealno napustiti snimljenu prostoriju.
5. Kliknite gumb "Snimi 3D skeniranje". Matterport kamera skenira prostor i automatski prenosi podatke u aplikaciju Matterport Capture na vašem mobilnom uređaju. To je sve!

Matterport Cloud je mjesto gdje prenosimo svoje 3D modele, te se može uređivati, komentirati i zatim ih dijeliti s prijateljima, kolegama ili klijentima. Modeli se mogu objaviti na društvenim mrežama, poslati e-poštom, prenijeti ih na Google Street View ili dodati na svoju web stranicu. Naš odjeljak s pokazuje kako izgleda takav model (demonstracijski projekti).



Slika 28 Izgled snimljenog modela (Matterport, 2024)



Slika 29 Izgled kamere na tronožcu i pogled na snimljeni interijer određene nekretnine koja služi za prodaju (Matterport, 2024)

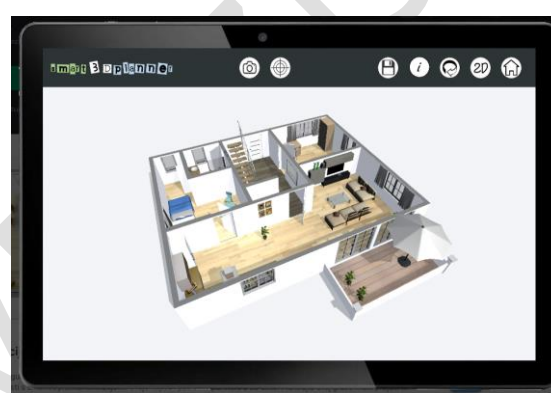
Virtualne šetnje su interaktivne, omogućuju zainteresiranim kupcima da ih pregledaju onda kada to njima odgovara. Virtualnom šetnjom kroz svoj novi dom, budući se kupci mogu lakše zamisliti u njemu. Snimljene slike se mogu printati u formatima: JPG i PDF. Snimljena 3D geometrija je u formatima: OBJ, IFC, FBX, XYZ. Podaci se pohranjuju i iscrtavaju u sljedeće 3D softvere: Allplan Revit, ArchCad itd. Za učenike se predlaže Floor Plan Creator.



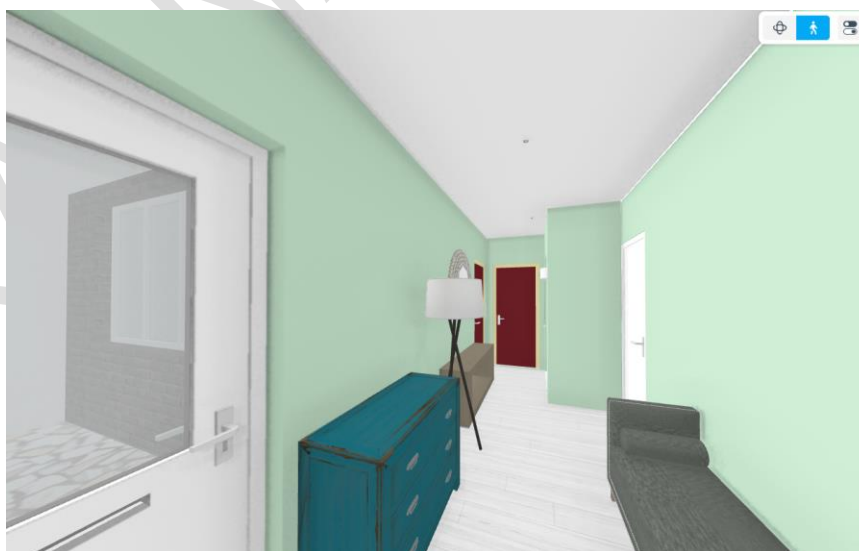
Slika 30 Iscrtavanje snimljenog prostora na mobitelu (Floor Plan Creator, 2024)



Slika 31 Prikaz tlocrta u 2D crtežu (Floor Plan Creator, 2024)



Slika 32 Prikaz tlocrta u 3D crtežu (Floor Plan Creator, 2024)



Slika 9 Virtualno hodanje kamerom (Floor Plan Creator, 2024)



### Pitanja za ponavljanje

1. Što je fotogrametrija?
2. Tko je bio jedan od pionira fotogrametrije i koje godine je prvi koristio fotografije za izradu karata?
3. Koje su dvije glavne metode fotogrametrije prema položaju snimališta?
4. Objasnite razliku između aerofotogrametrije i terestričke fotogrametrije
5. Zašto je upotreba bespilotnih letjelica važna u modernoj fotogrametriji?
6. Kako se koriste bespilotne letjelice u izradi 3D snimki zgrada i terena?
7. Analizirajte prednosti digitalne fotogrametrije u usporedbi s klasičnim tehnikama
8. Procijenite važnost korištenja fotogrametrije u različitim područjima poput građevinarstva, arheologije i geodezije.
9. Koji je potreban alat za 3D snimanje odgovarajućeg prostora?
10. U koje svrhe se može koristiti 3D snimanje postojećeg stanja građevine?
11. Kako se zovu crtački softveri za crtanje nacrtu u BIM sustavu?

### Istraži...

- Prikupite primjere korištenja bespilotnih letjelica u stvarnim građevinskim projektima.
- Analizirajte kako bespilotne letjelice poboljšavaju preciznost, brzinu i smanjuju troškove u ovim projektima.
- Usporedite primjenu bespilotnih letjelica s tradicionalnim metodama fotogrametrije i ocijenite njihove prednosti i nedostatke.
- U suradnji s Baldini Studiom zainteresirani učenici trebaju napraviti snimak određenog prostora.
- U suradnji s Baldini Studiom učenici mogu preuzeti learn web stranice za učenje crtanja projektne dokumentacije u Allplanu.
- U dogovoru s nastavnikom učenici mogu pohađati stručnu praksu u Baldini studiju te steći iskustva potrebna za profesionalan razvoj.

## 14 SNIMANJE ZGRADE TERMOKAMERAMA I PRIKAZ DOBIVENIH PODATAKA

### Autor:

Marko Štuhec, mag.ing.arch.

### Ishodi učenja:

- Definirati što je termografija
- Opisati principe rada termografije i termalnih kamera
- Razumjeti važnost termografije u građevinarstvu, arhitekturi i zelenoj gradnji
- Prepoznati različite primjene termografije u praksi

### UVOD

**Termografija** je tehnologija koja koristi infracrveno zračenje za otkrivanje i mjerenje temperature objekata. Ova tehnologija omogućuje vizualizaciju toplinskih razlika na površinama, što je izuzetno korisno u raznim industrijama, uključujući građevinarstvo, arhitektura i zelena gradnja. Termografske kamere pretvaraju infracrveno zračenje u vidljive slike koje prikazuju temperaturne razlike u obliku različitih boja. Na primjer, tople površine mogu biti prikazane crvenom ili žutom bojom, dok hladnije površine mogu biti plave ili zelene.

### **Osnovni princip rada**

Termografija se temelji na principu da svaki objekt emitira infracrveno zračenje koje je proporcionalno njegovoj temperaturi. Termografske kamere detektiraju ovo zračenje i pretvaraju ga u električne signale, koje zatim obrađuju i prikazuju kao toplinske slike. Ove slike omogućuju identifikaciju područja s abnormalnim temperaturnim profilima, što može ukazivati na razne probleme kao što su toplinski mostovi, curenje vode ili izolacijski problemi.

### ***Povijest i razvoj termografije***

Termografija je razvijena sredinom 20. stoljeća, prvenstveno za vojne svrhe. S vremenom, tehnologija se proširila na civilne primjene, uključujući medicinsku dijagnostiku, preventivno održavanje u industriji i građevinarstvu. Danas, napredak u tehnologiji omogućuje proizvodnju pristupačnih i jednostavnih za korištenje termalnih kamera koje su dostupne širokom spektru korisnika.

### ***Važnost termografije***

U kontekstu građevinarstva i arhitekture, termografija igra ključnu ulogu u identificiranju energetske gubitaka, procjeni kvalitete izgradnje i održavanju zgrada. Korištenje termalnih kamera omogućuje arhitektima i inženjerima da precizno identificiraju problematična područja koja su inače nevidljiva golim okom. To pomaže u donošenju informiranih odluka koje poboljšavaju energetske učinkovitost i održivost zgrada.

## **TERMOGRAFIJA**

### ***Osnovni principi i tehnologija***

Termografske kamere rade na principu detekcije infracrvenog zračenja. Svaki objekt s temperaturom iznad apsolutne nule (-273,15 °C) emitira infracrveno zračenje. Termografske kamere su opremljene sensorima koji detektiraju ovo zračenje i pretvaraju ga u električne signale. Ti signali se zatim obrađuju i prikazuju kao toplinske slike, koje prikazuju temperaturne razlike na površini objekata.

### ***Tipovi termalnih kamera***

Postoje različite vrste termalnih kamera, ovisno o njihovoj primjeni i specifikacijama:

- Ručne termalne kamere: kako prenosive, koriste se za brze inspekcije na terenu (Slika 33).
- Fiksne termalne kamere: postavljene na stalno mjesto za kontinuirano praćenje.

- Zračne termalne kamere: montirane na dronove ili zrakoplove za pregled velikih područja.



Slika 33 Ručna termalna kamera (Kontrol biro, 2024)

### **Kalibracija i točnost**

Točnost termografskih mjerenja ovisi o kalibraciji kamere i uvjetima snimanja. Kamere trebaju biti pravilno kalibrirane kako bi pružile točna mjerenja temperature. Uvjeti poput vlage, refleksije i emisivnosti površine također mogu utjecati na rezultate. Emisivnost je sposobnost površine da emitira infracrveno zračenje, i različiti materijali imaju različite emisivne vrijednosti.

### **Primjene termografije u pojedinim sektorima**

Termografija se koristi u raznim industrijama za različite svrhe:

- Medicina: detekcija abnormalnosti u temperaturi tijela koje mogu ukazivati na infekcije ili upale.
- Industrija: preventivno održavanje strojeva i opreme kako bi se spriječili kvarovi.
- Poljoprivreda: praćenje stanja usjeva i otkrivanje štetnika ili bolesti.

## **PRIMJENA TERMOKAMERA U ARHITEKTURI I GRAĐEVINARSTVU**

### **Energetska učinkovitost i inspekcija zgrada**

Jedna od najvažnijih primjena termografije u građevinarstvu je procjena energetske učinkovitosti zgrada. Termalne kamere se koriste za identifikaciju područja s gubitkom topline, što može ukazivati na lošu

izolaciju ili prisutnost toplinskih mostova. Ovi problemi mogu značajno povećati troškove grijanja i hlađenja, stoga je njihovo rano otkrivanje ključno za poboljšanje energetske učinkovitosti.

#### *Primjer iz prakse:*

U jednom stambenom kompleksu, termografska inspekcija otkrila je značajne toplinske gubitke na spojevima prozora i zidova. Na temelju tih podataka, poduzete su mjere za poboljšanje izolacije, što je rezultiralo smanjenjem troškova grijanja za 20 %.

#### **Identifikacija strukturnih problema**

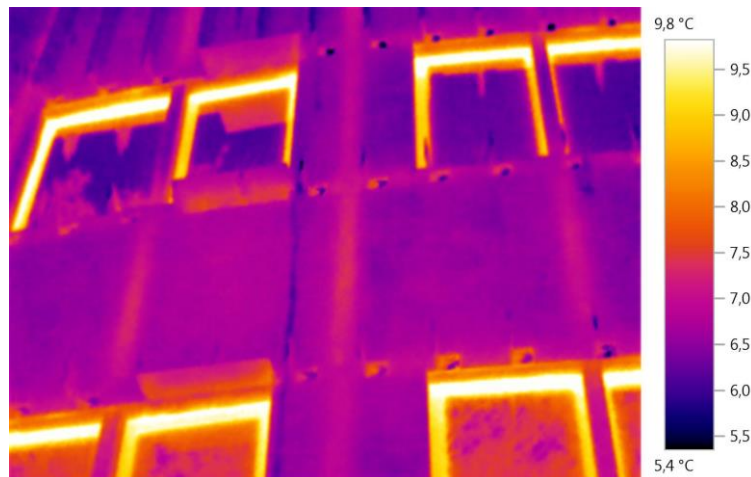
Termografija također omogućuje identifikaciju strukturnih problema unutar zgrada, kao što su curenje vode, vlaga ili pukotine u zidovima. Vlaga može uzrokovati razvoj plijesni i strukturalna oštećenja, dok pukotine mogu ukazivati na probleme u temelju ili strukturi zgrade.

#### *Primjer iz prakse:*

U jednoj staroj zgradi, termografski pregled otkrio je prisutnost vlage u zidovima. Daljnja inspekcija pokazala je da je uzrok problema oštećena odvodna cijev. Popravak cijevi i sanacija oštećenih zidova spriječili su daljnje štete i poboljšali sigurnost zgrade.

#### **Zelena gradnja i održive prakse**

U kontekstu zelene gradnje, termografija igra ključnu ulogu u osiguravanju da zgrade zadovoljavaju visoke standarde energetske učinkovitosti. Termalne kamere pomažu u identifikaciji područja koja trebaju poboljšanja, omogućujući projektantima da optimiziraju dizajn i materijale kako bi smanjili energetske gubitke.



Slika 34 Termografski prikaz pročelja zgrade (zbuka.hr, 2024)

### Primjer iz prakse:

U projektu izgradnje pasivne kuće, termografija je korištena za provjeru učinkovitosti izolacijskih materijala. Rezultati su pokazali da su određena područja nedovoljno izolirana, što je omogućilo pravovremene intervencije i postizanje željenih standarda energetske učinkovitosti.

### Preventivno održavanje

Termografija se koristi i za preventivno održavanje zgrada, omogućujući rano otkrivanje problema koji mogu uzrokovati veće štete ako se ne riješe na vrijeme. Redovite termografske inspekcije pomažu u održavanju optimalnog stanja zgrada i smanjuju rizik od skupih popravaka.

### Pitanja za ponavljanje

1. Što je termografija?
2. Objasnite osnovni princip rada termalnih kamera.
3. Kako termografija može pomoći u poboljšanju energetske efikasnosti zgrada?
4. Analizirajte prednosti korištenja termografije u identifikaciji strukturnih problema.
5. Procijenite važnost termografije u zelenoj gradnji.

***Istraži...***

Istražite primjenu termografije u identifikaciji problema u zgradama u vašem gradu.

- Pronađite primjere zgrada koje su prošle termografsku inspekciju.
- Analizirajte otkrivene probleme i predložene mjere za poboljšanje.
- Usporedite rezultate s drugim zgradama koje nisu koristile termografiju za inspekciju.

RADNA VERZIJA

## LITERATURA

- Antony Gibbon Design.* (2024). Dohvaćeno iz <https://antonygibbondesigns.com/mobius/>
- Araujo, A. d. (2024). *How to Lay a Patio from Reclaimed Bricks.* Dohvaćeno iz <https://www.simplythenest.com/simplythenestjournal/2019/7/16/how-to-lay-a-patio-from-reclaimed-bricks>
- ArchDaily.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.archdaily.com/photographer/bosnic-dorotic>
- Artistree home.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.artistreehome.com/>
- AXYO EQUIPEMENTS DE RECYCLAGE. (2017). *Concasseur à mâchoires Sandvik QJ241 - Démolition.* Dohvaćeno iz <https://www.youtube.com/watch?v=iB6nhm2pZbY&list=PLtKvIYZskyM4BTIJCI707IMYkaNUvMI4t&index=1>
- Beton Lučko. (2024). *Recikliranje.* Dohvaćeno iz <https://www.betonlucko.hr/ruconbar.html>
- Beton Lučko. (2024). *Ruconbar.* Dohvaćeno iz <https://www.betonlucko.hr/ruconbar.html>
- Blue ocean strategy.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.blueoceanstrategy.com/blog/turning-waste-energy-sweden-recycling-revolution/>
- Broadley Aquatics.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.broadleyaquatics.co.uk/tag/natural-pool/>
- Centri za gospodarenje otpadom.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.fzoeu.hr/hr/centri-za-gospodarenje-otpadom/7593/>
- Country life.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.countrylife.co.uk>
- DeZeen.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.dezeen.com/2021/08/01/hempcrete-pierre-chevet-sports-hall-lemoal-lemoal/>
- Dimedia nekretnine.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.dimedianeckretnine.com/blog/virtualna-setnja-novim-domom/>
- Diyeverywhere.com.* (2024). <https://diyeverywhere.com/>. Dohvaćeno iz <https://diyeverywhere.com/2017/05/07/how-to-build-a-natural-swimming-pool-in-your-backyard-in-7-steps>
- Društvo arhitekata Zagreb.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.d-a-z.hr/>
- Ecohome.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.ecohome.net/>
- ECO-SANDWICH. (2015). *Prva ECO-SANDWICH® kuća.* Dohvaćeno iz <https://www.eco-sandwich.hr/hr/projekt/prva-primjena-prva-eco-sandwich-kuca/>



- EKOS za gospodarenje otpadom.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.ekos-orlovnjak.hr/index.php/rgco-orlovnjak-1/blog/225-gospodarenje-gradevinskim-otpadom-i-njegova-oporaba>
- Ekovjesnik. (2021). *Bečka spalionica otpada već 50 godina izgara za čišći planet.* Dohvaćeno iz <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/4571/becka-spalionica-otpada-vec-50-godina-izgara-za-cisci-planet>
- Energypress.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.energypress.net/>
- European Environment Agency .* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/diversion-of-waste-from-landfill>
- European Environment Agency.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/diversion-of-waste-from-landfill>
- European Union. (2006). *Waste Framework Directive.* Dohvaćeno iz [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en)
- Europska komisija. (2016). *Protokol EU-a za gospodarenje građevinskim otpadom i otpadom od rušenja.* Dohvaćeno iz <https://www.hgk.hr/documents/protokol-eu-a-za-gospodarenje-gradevinskim-otpadom-i-otpadom-od-rusenja5cee3d3745f8b.pdf>
- Europska komisija. (2018). *Smjernice za revizije otpada prije rušenja i obnove zgrada.* Dohvaćeno iz file:///D:/Users/Hrvoje/Downloads/HR-TRA-0%20final.pdf
- fakultet, G. (2021). *Građevinski fakultet.* Dohvaćeno iz *Betoni od recikliranih materijala:* [https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/09\\_PBT\\_Recikliranje.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/09_PBT_Recikliranje.pdf)
- Floor Plan Creator.* (2024). Dohvaćeno iz <https://play.google.com/store/apps/details?id=pl.planmieszkania.android&hl=bs&pli=1>
- Gradnja.me. (2024). *Gradnja.me.* Dohvaćeno iz <https://www.gradnja.me/storage/posts/n5250vr33sl284.jpg>
- Horvat, T. (2016). *Recikliranje otpadnog gipsa.* Dohvaćeno iz <https://repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit%3A446/datastream/PDF/view>
- How to Lay a Patio from Reclaimed Bricks.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.simplythenest.com/simplythenestjournal/2019/7/16/how-to-lay-a-patio-from-reclaimed-bricks>
- <https://zbuka.hr/>. (2024). Dohvaćeno iz <https://zbuka.hr/>
- Ignjatović, I. (2024). Dohvaćeno iz <https://serbiagbc.rs/wp-content/uploads/2018/03/Dr-Ivan-Ignjatovi%C4%87.pdf>
- Ignjatović, I. (2024). *Upotreba recikliranih i otpadnih materijala u betonskim konstrukcijama - korak ka održivom građevinarstvu.* Dohvaćeno iz *Građevinski*

- fakultet Univerziteta u Beogradu: <https://serbiagbc.rs/wp-content/uploads/2018/03/Dr-Ivan-Ignjatovi%C4%87.pdf>
- Industry Global New 24. (2024). Dohvaćeno iz <https://industryglobalnews24.com/swedish-waste-power-plant-switches-to-clean-energy>
- Insteading.com. (2024). <https://insteading.com/>. Dohvaćeno iz <https://insteading.com/blog/natural-pools-swimming-ponds/>)
- Ivana Banjad Pećur, Bojan Milovanović, Dubravka Bjegović, Nina Štirmer, Marina Bagarić, Ivana Carević. (2020). *Godišnjak 2020. Akademije tehničke znanosti Hrvatske*. Dohvaćeno iz <https://hrcak.srce.hr/file/387342>
- Ivana Kesegić, D. B. (2008). *Upotreba reciklirane opeke kao agregata za beton*. Dohvaćeno iz <https://hrcak.srce.hr/file/56136>
- Izvešće o gospodarenju građevnim otpadom u 2020. godini*. (2021). Dohvaćeno iz [https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021\\_otpad/Izvjescja/OTP\\_2021\\_Gradjevni\\_izvjesce\\_2020.pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjescja/OTP_2021_Gradjevni_izvjesce_2020.pdf)
- Joeb Moore & Partners. (2024). Dohvaćeno iz <https://joebmoore.com>
- Kaštijun d.o.o. (2024). Dohvaćeno iz <https://www.kastijun.hr/hr/>
- Kontrol biro. (2024). Dohvaćeno iz <https://kontrolbiro.hr/>
- Matterport. (2024). Dohvaćeno iz <https://www.matterport.partners/hr/prvni-kroky-s-kamerou>
- MGIPU. (2019). SMJERNICE ZA ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE. Zagreb, Hrvatska: Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja.
- Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije. (2024). Dohvaćeno iz <https://isgo-portal.mingor.hr/hr/pokazatelji/gradjevni-otpad>
- MR PVC sistem. (2024). *MR PVC sistem*. Dohvaćeno iz <https://www.mrpvcsystem.rs/hemijska-reciklaza-polivinil-hlorida-pvc/>
- Narodne novine. (2021). *Zakon o gospodarenju otpadom NN 84/21, 142/23*. Dohvaćeno iz <https://www.zakon.hr/z/2848/Zakon-o-gospodarenju-otpadom>
- Odorčić, B. (2022). *Već 15 godina u službi pročišćavanja otpadnih voda Zagreba*. Dohvaćeno iz <https://www.energetika-net.com/izdvajamo/vec-15-godina-u-sluzbi-prociscavanja-otpadnih-voda-zagreba-34732>
- Pregled podataka o odlaganju i odlagalištima otpada za 2022. godinu*. (2022). Dohvaćeno iz [https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021\\_otpad/Izvjescja/komunalni/2022\\_IZVJE%C5%A0%C4%86E\\_ODLAGALI%C5%A0TA\\_FV.pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjescja/komunalni/2022_IZVJE%C5%A0%C4%86E_ODLAGALI%C5%A0TA_FV.pdf)
- Property Guru. (2024). *Property Guru*. Dohvaćeno iz <https://www.propertyguru.com.sg/property-guides/renovation-contractor-singapore-13578>, <https://www.poslovni.hr/tag/zagreb-nekretnine-zane>,

- <https://www.poslovni.hr/hrvatska/gotovo-70-gradevnog-otpada-moze-se-i-mora-reciklirati-4292414>, <https://rooferscardi>
- Prostor.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.casopisprostor.me>
- Rajković, M. (2020). *Čelični otpad kao sekundarna sirovina za proizvodnju*. Dohvaćeno iz <https://repositorij.simet.unizg.hr/islandora/object/simet%3A324/datastream/PDF/view>
- Resumo recikliranje. (2024). *Resumo recikliranje*. Dohvaćeno iz <https://resumo-recikliranje.hr/>
- Smjernice za revizije otpada prije rušenja i obnove zgrada.* (2018). Dohvaćeno iz <https://www.hgk.hr/documents/smjernice5cf0e60075037.pdf>
- State of Zero Waste Municipalities Report 2022.* (2022). Dohvaćeno iz [https://zerowastecities.eu/wp-content/uploads/2021/12/SZWMR\\_2021-Final.pdf](https://zerowastecities.eu/wp-content/uploads/2021/12/SZWMR_2021-Final.pdf)
- Tehneko. (2024). *Tehneko*. Dohvaćeno iz <https://www.tehneko.com.hr/7185/obrada-drvenog-otpada>
- Two Brothers Contracting.* (2024). Dohvaćeno iz <https://tbcdemo.com/wp-content/uploads/2020/04/Mobile-Concrete-Crushing-Services.jpg>
- Worldconstructionnetwork. (2024). *Worldconstructionnetwork.com*. Dohvaćeno iz <https://www.worldconstructionnetwork.com/projects/litracon>
- Zaštita prirode.* (2024). Dohvaćeno iz <https://zastita-prirode.hr/>
- Zero waste Europe.* (2024). Dohvaćeno iz [https://zerowasteurope.eu/wpcontent/uploads/edd/2019/09/ZWE\\_Policy-briefing\\_The-impact-of-Waste-to-Energy-incineration-on-Climate.pdf](https://zerowasteurope.eu/wpcontent/uploads/edd/2019/09/ZWE_Policy-briefing_The-impact-of-Waste-to-Energy-incineration-on-Climate.pdf)
- Županijski centar za gospodarenje otpadom Marišćina.* (2024). Dohvaćeno iz <https://www.ekoplus.hr/mariscina.php/>