



Graditeljska
tehnička škola
Zagreb



Co-funded by
the European Union

ZELENA GRADNJA II

PRIRUČNIK ZA UČENIKE SREDNJIH STRUKOVNIH ŠKOLA



Nevenka Brajdić Hlobik, dipl. ing. arh.

Maja Lovrić, dipl. ing. arh.

Ivana Gagro, dipl. ing. arh.

Marko Štuhec, mag. ing. arch.

Dragana Javor, dipl. ing. arh.

GREENCO

EDUCATE | INNOVATE | TRANSFORM

IMPRESUM

Naziv publikacije

Zelena gradnja II – priručnik za učenike

Autori

Nevenka Brajdić Hlobik, dipl. ing. arh.

Maja Lovrić, dipl. ing. arh.

Ivana Gagro, dipl. ing. arh.

Marko Štuhec, mag. ing. arch.

Dragana Javor, dipl. ing. arh.

Urednici

Hrvoje Mostečak, dipl. ing. građ.

Ksenija Kralj, dipl. ing. građ.

Recenzentice

doc. dr. sc. Ivana Carević

izv. prof. dr. sc. Marijana Serdar

prof. dr. sc. Nina Štirmer

Lektorica

Iva Boršić, prof.

Nakladnik

Graditeljska tehnička škola Zagreb

Godina izdanja

2026.

Projekt

Priručnik je izrađen u okviru Erasmus+ projekta *Alliance for Education and Enterprises (GREENCO)* te je sufinanciran sredstvima Europske unije.

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 je priručnik namijenjen učenicima četvrtih razreda.

Nadamo se da će teme obrađene u ovom priručniku čitateljima približiti problematiku i izazove tzv. zelene transformacije u sektoru graditeljstva te će korisnici priručnika na jednom mjestu dobiti potrebne informacije vezane za zelene vještine kao i neizostavnu digitalizaciju koja je sastavni dio procesa zelene transformacije.

Priručnik Zelena gradnja II je podijeljen u sedam poglavlja. U prvom se poglavlju daje zanimljiv pregled materijala koji nas okružuju u prirodi, a mogu se koristiti za građenje. U drugom je poglavlju obrađena tema projektiranja u skladu s prirodom. Treće poglavlje donosi pregled zelenih krovova i pročelja zgrada s opisom izvođenja. U četvrto je poglavlju detaljno razrađena tema zgrada koje troše minimalnu količinu energije – zgrada gotovo nulte energije, a prikazan je i zakonski okvir, projektantske smjernice kao i korisni detalji pri gradnji takvih zgrada. Kao primjer zelene gradnje, u petom je poglavlju obrađena tema gradnje bioloških bazena. U šestom i sedmom poglavlju autori čitatelje upoznaju s digitalnim vještinama koje se koriste u projektiranju zelene gradnje te se obrađuju teme snimanja postojećih zgrada korištenjem 3D snimke i termokamere u svrhu budućeg projektiranja – energetske obnove.

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

Urednici:

Hrvoje Mostečak, dipl. ing. građ.

Ksenija Kralj, dipl. ing. građ.

SADRŽAJ

Predgovor.....	2
1. GRADNJA PRIRODNIM MATERIJALIMA	7
UVOD	7
GRADNJA PRIRODNIM MATERIJALIMA.....	8
Prednosti gradnje prirodnim materijalima	8
Nedostaci gradnje prirodnim materijalima	9
MATERIJALI ZA PRIRODNU GRADNJU I NJIHOVE KARAKTERISTIKE TE PRIMJENA U GRADITELJSTVU	10
Kamen	10
Drvo.....	11
Nabijena zemlja.....	13
Glina	15
Slama	16
Konoplja	17
ZAKLJUČAK	19
Pitanja za ponavljanje.....	19
Istraži.....	19
Za one koji žele znati više	20
2. 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 drveća i zelenila u interijer	24
Integracija drveća i zelenila u eksterijer	24
Načini izvedbe integracije zelenila i održavanje	25
INTEGRACIJA STIJENA U DIZAJN ZGRADA	28
Korištenje prirodnih stijena kao dijela interijera	28
Prilagođavanje oblika zgrade stjenovitom terenu	29
Korištenje stijena kao zaštitnih elemenata.....	29
Estetski i funkcionalni elementi	30
INTEGRACIJA VODENIH POVRŠINA U PROJEKT ZGRADA	31
Očuvanje i integracija postojećih vodenih tokova	31
Korištenje vode kao estetskog i funkcionalnog elementa	31
Održivi vodeni sustavi.....	32
ODRŽIV DIZAJN OKUĆNICA.....	34

KORIŠTENJE RECIKLIRANIH I EKOLOŠKIH MATERIJALA	34
OČUVANJE POSTOJEĆIH ZELENIH POVRŠINA U URBANIM PROSTORIMA	34
PRIMJENA PERMAKULTURNIH PRINCIPA	35
ZAKLJUČAK	36
Pitanja za ponavljanje.....	38
Istraži.....	38
3. ZELENi KROVOVI I PROČELJA	39
UVOD	39
RAVNI KROVOVI	40
Podjela ravnih krovova	40
Zeleni krovovi	42
Prednosti zelenih krovova	45
ZELENA PROČELJA	49
Prednosti zelenih pročelja	50
ZANIMLJIVOSTI	51
ZAKLJUČAK	51
Pitanja za ponavljanje.....	52
Istraži.....	52
4. ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE	53
UVOD	53
Definicija	54
Kratka povijest i razvoj niskoenergetskih kuća.....	54
Zašto su niskoenergetske kuće važne?	55
RAZLIKA IZMEĐU nZEB I PASIVNE KUĆE	55
ZAKONODAVNI OKVIR	56
Direktiva o energetskej učinkovitosti zgrada.....	57
Standardi i certifikati	58
Tehnički propis	59
Obaveza certificiranja	60
Katalog dobro riješenih toplinskih mostova na zgradama	60
PROJEKTIRANJE I PROJEKTANTSKE SMJERNICE	63
Klimatske regije i lokacija	63
Kvaliteta ovojnice zgrade	64
Prozori i transparentne stijenke	65
Kompaktnost zgrade	67
Provjetravanje.....	68
Zrakotijesnost	69

Orijentacija otvora	71
Zaštita od sunca	71
TERMOTEHNIČKI SUSTAVI	72
Primarna energija	72
Utjecaj termotehničkih sustava i energenata na potrošnju primarne energije.....	73
Dizalica topline	73
OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE	75
IZRAČUN ENERGETSKIH POTREBA	76
PROVJERIMO/ISTRAŽIMO ZAJEDNO (Milovanović, 2023)	79
PRIMJERI nzeb KUĆA U REPUBLICI HRVATSKOJ	80
Arhitektonsko-građevinske karakteristike zgrade	81
Termotehnički sustavi.....	82
Obiteljska kuća/kontinentalna hrvatska	84
Obiteljska kuća/primorska hrvatska	85
Pitanja za ponavljanje.....	86
Istraži.....	87
5. IZRADA BIOLOŠKIH BAZENA.....	89
UVOD	89
BIOLOŠKI BAZENI.....	90
PRINCIP RADA BIOLOŠKIH BAZENA.....	91
IZRADA BIOLOŠKIH BAZENA	91
Odabir lokacije	91
Izrada plivajuće zone	93
Izrada filtrirajuće zone.....	95
PREDNOSTI I NEDOSTATCI BIOLOŠKIH BAZENA	96
ZAKLJUČAK	96
Pitanja za ponavljanje:	97
Istraži.....	97
6. SNIMANJE ZGRADE U 3D SNIMKU I IZRADA SNIMKE POSTOJEĆEG STANJA	98
UVODNO O FOTOGRAMetriJI	99
Povijest fotogrametrije	99
Moderna upotreba fotogrametrije i bespilotnih letjelica	100
FOTOGRAMetriJA.....	101
IZRADA 3D SNIMKI UZ POMOĆ BESPILOTNIH LETJELICA	103
Izrada snimki	106
Obrada podataka	108
Završni proizvod	109

UVODNO O SNIMANJU 3D KAMEROM POSTOJEĆEG STANJA GRAĐEVINE	111
OPIS RADA S OPREMOM	111
Pitanja za ponavljanje.....	115
Istraži.....	116
7. SNIMANJE ZGRADE TERMOKAMERAMA I PRIKAZ DOBIVENIH PODATAKA.....	117
UVOD	117
Osnovni princip rada	117
Povijest i razvoj termografije.....	118
Važnost termografije	118
TERMOGRAFIJA.....	118
Osnovni principi i tehnologija.....	118
Vrste termalnih kamera	118
Kalibracija i točnost.....	119
Primjene termografije u pojedinim sektorima	119
PRIMJENA TERMOKAMERA U ARHITEKTURI I GRAĐEVINARSTVU	120
Energetska učinkovitost i pregledi zgrada	120
Identifikacija problema	120
Zelena gradnja i održive prakse	120
Preventivno održavanje	121
Pitanja za ponavljanje	122
Istraži... ..	122
LITERATURA	123

1. 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 građevine izvedene 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 su se graditeljstvu koristili prirodni materijali koji su bili dostupni lokalno, jednostavni za gradnju te jeftini: drvo, slama, kamen, zemlja i drugi.

I danas mnogo ljudi živi u kućama građenim takvim materijalima.

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

S razvojem se tehnologije takav način gradnje zapostavio i prednost je dobila industrijalizacija građevinskog materijala i sustava gradnje; brza gradnja, jeftini umjetni materijali, prefabrikacija. Nažalost, sa svim prednostima, pojavili su se i negativni aspekti takve gradnje:

- onečišćenja tijekom proizvodnje, prijevoza i gradnje u graditeljstvu

- povećanje cijene materijala, energenata i gradnje
- građevni 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, u atmosferu se ispušta velika količina ugljičnog dioksida; ugljični otisak je ogroman.

Stoga se diljem svijeta bilježi povećan interes za tradicionalne i ekološke načine gradnje pa se tradicionalna gradnja pokušava integrirati u postojeću, ali s nekim suvremenijim 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 se predjelima s mnogo šume gradilo drvetom, a na ravničarskim područjima zemljom, slamom i glinom koji su tamo bili najdostupniji.

Korištenjem lokalnih, prirodnih materijala se smanjuju troškovi prijevoza, gradi u skladu s okruženjem i tradicijom te povećava otpornost lokalnih zajednica na globalne ekonomske utjecaje.

2. Zdrava unutarnja klima

Uz pravilnu ugradnju, konstrukcije od prirodnih materijala „dišu“, propusne su, nema kondenzacije pare niti pojave plijesni, nema otpuštanja štetnih kemijskih spojeva u prostor pa nema potrebe za ventilacijom. Smanjena je mogućnost pojave alergija i problema s dišnim putovima koji su nastajali, primjerice, od oslobađanja vlakana staklene vune korištene za toplinsku izolaciju.

3. Dobra termalna masa građevine

Svojstvo dobre termalne mase građevine omogućava ugodnu temperaturu unutar građevine tijekom cijele godine, usporava zagrijavanje građevine ljeti i hlađenje zimi.

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

4. Obnovljivost materijala

Velika je prednost što se ovako ne iscrpljuju neobnovljivi izvori. Materijali koji se koriste imaju smanjeni CO₂ otisak (prirodni materijali kao drvo i konoplja tijekom rasta proizvode i kisik).

Nedostaci gradnje prirodnim materijalima

1. Ograničenja nosivosti konstrukcije (zemlje, slame, konoplje, itd.)

Takvi materijali imaju određena ograničenja. Koriste se kod manjih raspona i visina konstrukcije. Kod većih konstrukcija se mogu koristiti jedino kao ispuna 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 gradnja od zemlje i gline zbog karakteristike tih materijala da upijaju vodu.

3. Legalnost gradnje

Klasični građevinski materijali (opeka, beton, metalne i drvene konstrukcije, staklo i dr.) ispunjavaju temeljne zahtjeve korištenja 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 bi slamom, na primjer, dobivanje građevinske dozvole za veće objekte javne, ugostiteljske ili poslovne namjene trenutno bilo vrlo složeno ili čak neizvedivo.

Korištenje bala slame pri gradnji obiteljskih kuća do 400 m² u Hrvatskoj je moguće jedino ako:

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

4. Građevinske tvrtke nemaju iskustva s ovom vrstom gradnje

Tek je manji broj stručnjaka s iskustvom u tom području.

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. Pri tome je nužna određena obrada s obzirom na njegovu konačnu namjenu, ali se tu ne radi o bitnoj promjeni njegovih značajki.

Jedan od najstarijih takvih je kamen (

Slika 1).

Prednosti kamena:

- vrlo otporan i trajan
- mala poroznost (ovisno o vrsti kamena)
- recikliranje (u agregat)

Nedostatci kamena:

- velika težina
- krtost (lomovi i pukotine)
- zidovi od kamena ne ispunjavaju uvjete za postizanje energetske učinkovitosti pa se moraju dodatno toplinski izolirati



Slika 1 Kuća od kamena

Drvo

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

Prednosti drveta:

- ovisno o uvjetima okoliša, trajnost drveta može doseći i do 500 godina
- izdržljive, energetske učinkovite građevine
- manje emisije CO₂ tijekom proizvodnje i izgradnje
- lakša konstrukcija koja pojednostavljuje 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 – za postizanje koeficijenta toplinske vodljivosti kakav imaju zidani zidovi s toplinskom izolacijom, potrebna je značajna debljina zidova od čistog drva što nije uvijek ekonomski isplativo
- mala otpornost na požar
- utjecaj nametnika
- cijena.

Primjer:

Križno-lamelirano drvo **CLT**

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

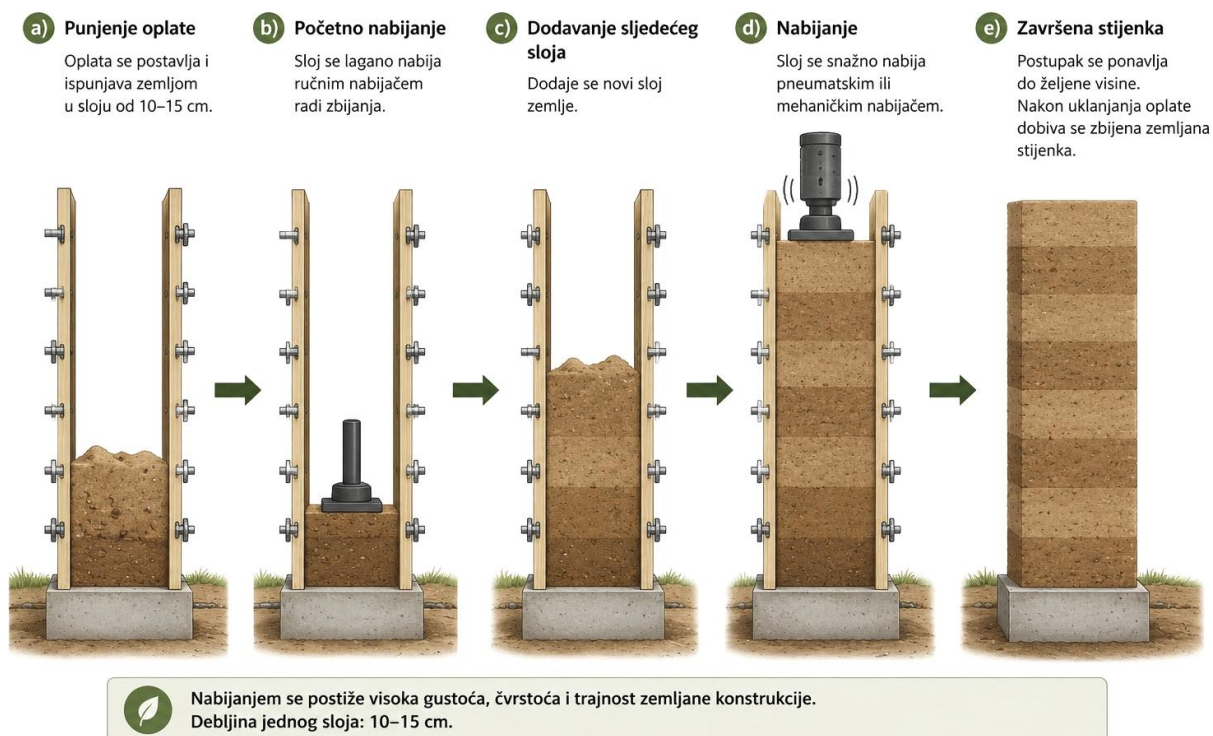


<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=yihUlg6CXuQ>

- 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 se zemlja nabija u kalupe te se ostavlja sušiti (Slika 2).



Slika 2 Postupak nabijanja zemlje

Prednosti nabijene zemlje:

- globalna dostupnost
- plastičnost (jednostavno oblikovanje i zadržavanje oblika nakon sušenja, Slika 3)
- raznolikost kolorita
- odličan toplinski izolator, dobra regulacija vlage u prostoru
- mogućnost recikliranja.

Nedostaci nabijene zemlje:

- nije prikladna za izuzetno vlažna podneblja
- uslijed vlage nabubri i skuplja se čime dolazi do deformacija oblika.



Slika 3 Kuća od zemlje (gore: tradicijska baranjska kuća u Kneževim Vinogradima, Svetozara Miletića 21; dolje primjer primjene zemlje u suvremenoj arhitekturi)

Glina

Glina je najstariji građevinski materijal prisutan diljem svijeta.

Prednosti gline:

- plastičnost gline (jednostavno oblikovanje i zadržavanje oblika nakon sušenja)
- građevine od gline su trajne i jeftine (Slika 4)
- 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)
- mogućnost recikliranja.

Nedostaci gline:

- proizvodnja pečenjem koristi velike količine energije
- deformacije prilikom sušenja
- kombinira se kao ispuna drvenoj nosivoj konstrukciji (u seizmički aktivnim područjima je nužna nosiva konstrukcija).



Slika 4 Zgrada škole izrađena od gline

Slama

Prednosti slame:

- bale slame se proizvode se za gradnju u velikim količinama; globalno je dostupna i time jeftina
- biorazgradivost
- odlična toplinska i zvučna svojstva
- lagan materijal (ne opterećuje konstrukciju).

Nedostaci slame:

- slama se ne koristi samostalno kao konstrukcijski element, već kao ispuna u drvenoj nosivoj konstrukciji
- mala 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

- 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>



- Koliko je trajala gradnja kuće?
- Isključivo koji su materijali korišteni?
- Koji su problemi pri gradnji 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 pri klasičnoj gradnji opekama ili blokovima.

Prednosti konoplje:

- izuzetna izolacijska svojstva
- otporna na pojavu plijesni, gljivica, insekata
- ima veliku otpornost na vatru i vlagu
- biorazgradiva.

Beton od konoplje (engl. Hempcrete) se radi tako da se industrijska konoplja miješa s nekoliko vrsta vapna vodom, ukalupljuje i suši. Na taj se način 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>



- Kako se izrađuje blok od konoplje?
- Od čega je izrađena ogledna kuća u Karlovcu?
- Kako se koriste blokovi, čime se vežu?
- Kolika im je emisija CO₂?
- Koji su rezultati ispitivanja ovakvog bloka na požar?

Primjeri građevina izgrađenih od HEMPCRETE blokova



Mobius House



Pierre Chevet Sports Center



Flat House



Stambena zgrada u Parizu



Flat House



Stambena zgrada u Parizu

Slika 5 Primjeri građevina izgrađenih od HEMPCRETE blokova

ZAKLJUČAK

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

Takva gradnja zahtijeva posebna znanja, stručnost i pridržavanje lokalne regulative.

Kombinacija tradicionalnih tehnika i suvremenih rješenja može rezultirati izgradnjom građevina koje 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 u razredu pokušajte kroz razgovor 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 temu 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.

2. 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 njihovo očuvanje u sklopu oblikovanja zgrada
4. kreirati manje objekte koji uključuju unutarnje i vanjske zelene površine
5. objasniti kako različiti prirodni elementi mogu poboljšati energetske učinkovitost zgrade i kvalitetu života korisnika
6. razviti osjećaj etičke odgovornosti prema okolišu i razumjeti važnost održivog razvoja za buduće generacije

UVOD

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

Ovaj je način gradnje, prilagođen prirodnim uvjetima, omogućavao skladan suživot s okolišem. Nisu se posijecala stabla niti se betoniralo plodno tlo.

Umjesto toga se koristilo 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 čuvao prirodni okoliš.

U suvremenom se svijetu sve više koristi pojam tzv. „rješenja temeljenih 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 široki 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. Dominantni su materijali postali beton, čelik i staklo, a prirodni se pejzaž često mijenjao ili potpuno uništavao 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 se više 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, mogu se stvoriti održiva staništa koja poštuju prirodni okoliš i omogućuju zdraviji i skladniji život.

Ovo će poglavlje nastojati pokazati **kako se prirodni okoliš može uklopiti u suvremeni dizajn i arhitekturu.**

KAKO I GDJE MOŽEMO SAČUVATI PRIRODNO OKRUŽENJE

Projektiranje i oblikovanje 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 te 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. Unutrašnji vrtovi i zeleni zidovi

- **Unutrašnji vrtovi**

Kreiranje unutrašnjih vrtova omogućuje unošenje prirodnih elemenata u zatvorene prostore. Ovi vrtovi mogu biti smješteni u atrijima, hodnicima ili čak unutar prostorija stvarajući tako 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 se može integrirati kao centralni element interijera pružajući prirodnu ljepotu i hladovinu. Korištenjem staklenih okvira ili otvorenih prostora, drveće može postati središnjim dijelom unutrašnjeg dizajna.

- **Zelene prostorne barijere**

Biljke i manja stabla se mogu koristiti za kreiranje prirodnih pregrada između otvorenih prostora čime se postiže privatnost bez potrebe za čvrstim zidovima.

Integracija drveća i zelenila u eksterijer

Vanjski se prostori mogu dizajnirati tako da se maksimalno iskoristi postojeće zelenilo i stvore nove zelene površine koje će doprinijeti održivosti i estetici zgrade.

1. Korištenje postojećeg zelenila

- **Očuvanje postojećeg drveća**

Umjesto sječe drveća prilikom gradnje, zgrade se mogu oblikovati 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 omogućavaju stvaranje dodatnih zelenih površina na vrhu zgrada pružajući izolaciju i smanjujući efekt urbanog toplinskog otoka ujedno poboljšavajući estetski izgled zgrade. Terasa se također mogu ukrasiti biljkama stvarajući ugodne vanjske prostore za stanare ili korisnike.

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 se zidovi zgrada mogu prekriti vertikalnim vrtovima što dodatno povećava zelene površine i doprinosi ekološkoj održivosti. Ovi se vrtovi mogu dizajnirati s različitim vrstama biljaka koje pomažu smanjenju temperature zidova i filtraciji zraka.

Načini izvedbe integracije zelenila i održavanje

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. Za uspjeh zelenih projekata je ključno uzeti u obzir klimatske uvjete, dostupnost svjetla i kvalitetu tla.

- **Koordinacija s arhitektima i pejzažnim arhitektima**

Arhitekti i pejzažni arhitekti trebaju surađivati kako bi se osiguralo da su zgrade i zelene površine međusobno usklađene i funkcionalne.

- **Izbor odgovarajućih biljaka**

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

- **Sustavi navodnjavanja**

Instalacija sustava navodnjavanja, poput kapilarnih sustava ili sustava 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

i

7 se može vidjeti kako se postojeće drveće uklopilo u arhitekturu samih zgrada.



Slika 6 Prikaz kuće na drvetu



Slika 7 Biosphere Treehouse – hotelska kućica na drvetu u sklopu Treehotel-a, Harads, Švedska

Na

8 se može vidjeti kako se drveće i unutarnje zelenilo uklopilo u sam interijer.



Slika 8 Biofilni interijer s drvetom

INTEGRACIJA STIJENA U DIZAJN ZGRADA

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

Korištenje prirodnih stijena kao dijela interijera

Umjesto uklanjanja stijena, arhitekti mogu projektirati 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 koji pojačava 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 se površine mogu integrirati u unutrašnji dizajn kao dijelovi podova, zidova ili stropova pružajući jedinstvenu teksturu i prirodan izgled prostorijama.

Prilagođavanje oblika zgrade stjenovitom terenu

Oblik se zgrade može prilagoditi postojećim stjenovitim formacijama na parceli kako je pokazano na

Slika 9. Umjesto pravolinijskih oblika, zgrada može imati zakrivljene ili nepravilne linije koje slijede prirodne konture terena ostvarujući sklad s okruženjem.

- **Zakrivljeni i nepravilni oblici**

Arhitekti mogu projektirati 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.

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.

Estetski i funkcionalni elementi

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

- **Prirodne pećine i niše**

Prirodne se šupljine i udubine u stijenama mogu 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 projekt 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 svakodnevicu bogatijom i povezanijom s prirodnim svijetom.



Kuća između stijena



Kuća u stjenovitom krajoliku



Interijer sa sačuvanom stijenom

Slika 9 Prilagođavanje oblika zgrade stjenovitom terenu

INTEGRACIJA VODENIH POVRŠINA U PROJEKT ZGRADA

Integracija vodenih površina u projekt 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.

Očuvanje i integracija postojećih vodenih tokova

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

- **Stakleni podovi i zidovi**

Prirodni se vodeni tokovi mogu učiniti vidljivim unutar zgrade korištenjem staklenih podova i zidova stvarajući dojam da voda teče kroz prostor. Ovo pruža jedinstveno vizualno iskustvo i daje osjećaj povezanosti s prirodom.

- **Platforme i mostovi**

Projektiranjem platformi i mostova koji prelaze vodene tokove, omogućuje se uživanje u prirodnim ljepotama vode bez narušavanja njezinog toka. Ove se strukture mogu uklopiti u unutrašnjost ili eksterijer zgrade stvarajući dodatne prostore za relaksaciju i uživanje.

Korištenje vode kao estetskog i funkcionalnog elementa

Voda se može koristiti kao centralni estetski i funkcionalni element unutar i oko zgrade.

- **Unutrašnji ribnjaci i vodopadi**

Postavljanje unutrašnjih ribnjaka ili vodopada može stvoriti smirujuću atmosferu i dodati interijeru prirodni element. Zvuk tekuće vode može imati umirujući efekt poboljšavajući tako 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.

Održivi vodeni sustavi

Integracija održivih vodenih sustava u projekt 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, za sanitarije ili za neke druge potrebe smanjujući tako potrošnju pitke vode.

- **Recikliranje vode:**

Korištenjem tehnologija za recikliranje sive vode omogućuje se ponovno korištenje otpadne vode iz kućanstava za navodnjavanje ili druge svrhe za koje se nepitka voda koristi čime se smanjuje ukupna potrošnja vode.

Integracija vodenih površina i vode u projekt zgrada omogućuje stvaranje prostora koji su estetski privlačni, funkcionalni i u skladu s prirodom. Očuvanjem prirodnih vodenih tokova i korištenjem održivih praksi se može razvijati arhitektura koja poštuje i poboljšava okoliš stvarajući harmonična i održiva staništa.



Slika 10 Suvremena kuća na vodi



Slika 11 Suvremena kuća na rijeci

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

Dizajn koji slijedi prirodu

Wright je dizajnirao Fallingwater tako da se kuća ne samo da 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 se povećava 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 ujedno i 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.

Postavljanjem zelenih zidova i krovova na postojeće zgrade se može povećati ukupna 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 se projektiranje i dizajn može 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 život u harmoniji s prirodom dok se grade i razvijaju zajednice.



Slika 13 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.

Očuvanjem 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 Fallingwatera 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 je ključno usvojiti interdisciplinarni pristup u kojem arhitekti, krajobrazni 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.

Obrazovanje i podizanje svijesti o važnosti održivog dizajna može osigurati da buduće generacije arhitekata i dizajnera nastave razvijati inovativna rješenja koja poštuju i čuvaju prirodni okoliš. Na taj se način mogu graditi bolje i zdravije zajednice osiguravajući urbaniziranom svijetu opstanak 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 tlocrtne površine kuća, kreirajte vlastiti manji objekt na način da u potpunosti sačuvate zelene površine na parceli i da primijenite 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.
- Pokušajte primijeniti neke od ovih koncepata na postojećim građevinama i dijelovima svoga grada/naselja. Prezentirajte i podiskutirajte svoj prijedlog s ostalim polaznicima.

3. 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 je štiti od vanjskih atmosferskih utjecaja (padalina, topline, hladnoće, vlage), mehaničkih oštećenja, požara i 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 se krov sastoji se od krovne konstrukcije koja preuzima opterećenje pokrova (roženička i podroženička krovista – stolica i visulja), elemenata za oblikovanje krovnih ploha i krovnog pokrova.

U gradnji je stambenih zgrada u današnje vrijeme sve više prisutan ravni krov obzirom na razvoj suvremenih materijala za oblikovanje i odvodnju ravnih krovova. Prateći razvoj ekološke svijesti i potrebe za ozelenjavanjem urbaniziranih područja, povećava se broj zelenih krovova, a s njime polako i razvoj te sve veća potreba za zelenim pročeljima.

RAVNI KROVOVI

Ravnom je krovu, kao uostalom i kosom, prvotna zadaća štititi zgradu od vanjskih utjecaja. Međutim, ravni krov u svojoj konstrukciji nikad nije u potpunosti ravan iz istog razloga koji je i 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 5 %)

3. Prema namjeni

- prohodni
- neprohodni
- zeleni

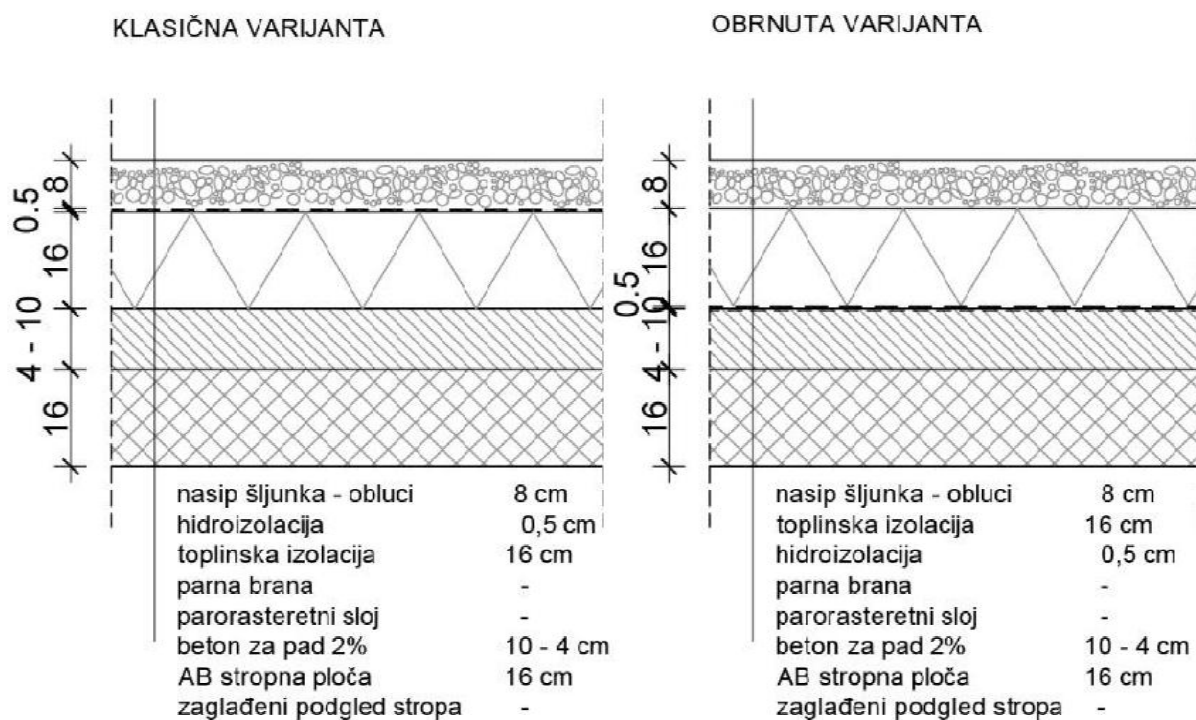
4. Prema položaju slojeva u konstrukciji

- klasični
- obrnuti.

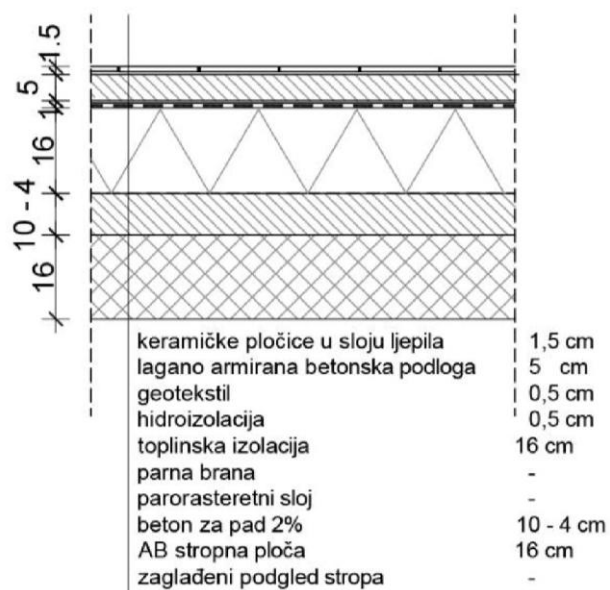
U klasičnoj je varijanti na vrhu zaštita hidroizolacije (npr. sloj oblutaka ili šljunka), a zatim ispod slijede hidroizolacija koja sprečava prodor vode odozgora pa toplinska izolacija koja služi sprečavanju prolaska topline, parna brana i parorasteretni sloj koji sprečavaju, odnosno usporavaju prodor 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 je na kraju nosiva konstrukcija.

Kod obrnute varijante, toplinska je izolacija 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 su slojevi isti.



Slika 14 Presjeci ravnih krovova s obzirom na položaj slojeva s opisom (Sladoljev, 2023)



Slika 15 Presjek kroz prohodni krov s opisom slojeva (Sladoljev, 2023)

Zeleni krovovi

Potreba za ozelenjavanjem urbanih područja je postupno dovela i do uvođenja živih biljaka na krovove. Gledano kroz povijest, prvi poznati zeleni krovovi su bili upravo Semiramidini vrtovi (Slika 16), a danas je to luksuz, ali koji polako postaje standard u gradovima. U sjevernom je dijelu Europe, gdje vladaju hladne i vlažne klimatske prilike i pogodan biljni materijal, to rezultiralo krovom prekrivenim travnatim busenom, poznatim kao "grassoden" (Slika 17). Takvi se krovovi još uvijek mogu pronaći na pastirskim kolibama u Švedskoj i Norveškoj.

U razdoblju oko 1920. godine, s ravnim se krovovima u arhitekturi Bauhaus obnovilo i proširilo ideju krovnih vrtova. Od otprilike 1980. godine, buđenje ekološke svijesti je počelo sve više utjecati na razvoj prvih zelenih krovova. U 20. Stoljeću, Njemački institut za istraživanje razvoja gradnje okoliša (FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) je donio 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.



Slika 16 Semiramidini viseći vrtovi Babilona



Slika 17 Tradicionalna nordijska koliba s travnatim krovom

Važnost zelenih krovova je u sposobnosti smanjenja otjecanja oborinskih voda, reguliranja temperature zraka te pružanja niza 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 su:

1. ekstenzivni,
2. intenzivni,
3. poluintenzivni.



Slika 18 Vrste zelenih krova

Ekstenzivni zeleni krov predstavlja jednostavan i lagan sustav, s minimalnom potrebom za održavanjem i upravljanjem. Ova vrsta zelenog krova se često 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.

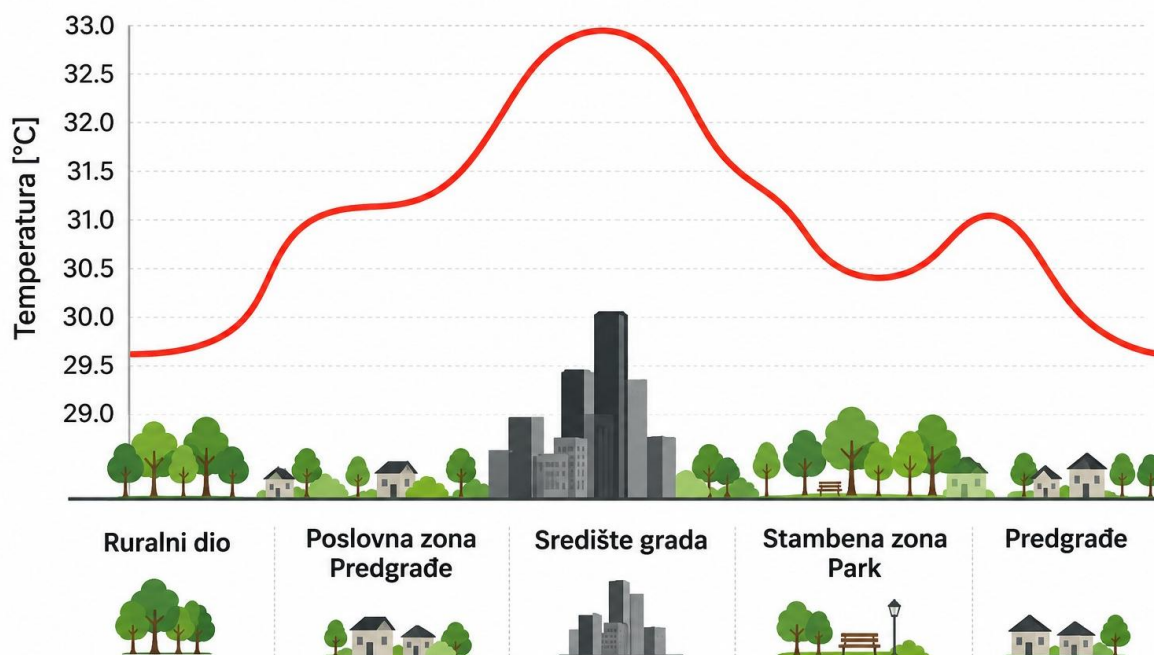
Intenzivna zelena vegetacija obično nalazi svoje mjesto na krovovima s pristupom koji se koriste u javne ili rekreacijske svrhe, zahtijevajući redovito održavanje.

Poluintenzivni zeleni krov nudi srednji pristup između jednostavnih i složenih varijanti. Takve krovove karakterizira 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 su krovovi jedan od najučinkovitijih načina za smanjenje temperature zraka u urbanim područjima. Tijekom ljeta su temperature u gradovima 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 19 Efekt "temperaturnog otoka"

2. Zadržavanje oborinskih voda

Ogromna prednost zelenih krovova je smanjenje odljeva oborinskih voda, što ljeti vodi do smanjenja opterećenja kanalizacijskih sustava za 70 – 95 %. Zeleni krovovi pozitivno utječu 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

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

4. Smanjenje ugljičnog dioksida

Zeleni krovovi pomažu u smanjivanju udjela ugljičnog dioksida u zraku, a on se smatra jednim od glavnih uzroka globalnog zatopljenja. 1 m² 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 m² zelenog krova je u stanju apsorbirati istu količinu ugljičnog dioksida koju prosječan automobil ispusti za vrijeme vožnje od 80 km.

5. Čišći zrak

Bilje zelenog krova iz lokalne atmosfere zadržava 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 m² zelenog krova može godišnje 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 poremetila urbana infrastruktura.

7. Produženi životni vijek krova

Zeleni krovovi dokazano utrostručuju životni vijek krova. Krovni su materijali ispod zelenog krova zaštićeni 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 % za grijanje i do 75 % za 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 što je posebno važno u blizini industrijskih zona i zračnih luka.

10. Prirodni izgled

Prirodni izgled zelenih krovova čini odmak od betonskih konstrukcija u urbanim područjima i uvodi značajne promjene u modernu arhitekturu. Nekoliko je istraživanja pokazalo da prisutnost zelenih područja ima opuštajući psihološki učinak, doprinosi snižavanju krvnog tlaka te smirava puls. Zbog različitih dobrobiti koje donose, zeleni krovovi značajno povišuju vrijednost stambenim i poslovnim nekretninama.

11. Korisne zelene površine

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



 UKLAPANJE U KRAJOBRAZ Kaskadna arhitektura prati padinu i čuva postojeću vegetaciju.	 ZELENE TERASE Prostrane terase s mediteranskim biljem stvaraju produžetak prirodnog okoliša.	 POGLEDI Otvoreni pogledi prema moru i prirodnom obalnom krajoliku.	 ODRŽIVOST Zeleni krovovi i prirodna klimatizacija doprinose energetskej učinkovitosti.	 JAVNI PROSTORI Uređene šetnice i trgovi povezuju hotel s obalom i gradom.
---	---	---	--	--

Slika 20 Grand Park Hotel Rovinj, 3LHD, Rovinj

ZELENA PROČELJA

Zelena pročelja su zidovi, okomito izgrađene samostalne strukture prekrivene vegetacijom. Biljke disperziraju zvuk i tako smanjuju buku. Ujedno proizvode i kisik, a kući daju atraktivan izgled. Često su izgrađena od modularnih ploča ili drugih konstrukcijskih okvira koji služe za smještaj različitih vrsta medija za uzgoj pa će posljedično naložiti i odabir vegetacije te modalitete potreba za održavanjem.

Biljke koje rastu na zidovima, rastu iz supstrata koji je postavljen u unutrašnjost zidnog modula. Zelenilom i biljkama se mogu obložiti cijele zidne površine, ali mogu biti ugrađeni i na manje prostore kao što su stupovi. Postoje i zidni paneli koji se, ovisno o potrebi, mogu pomicati po prostoru. 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.



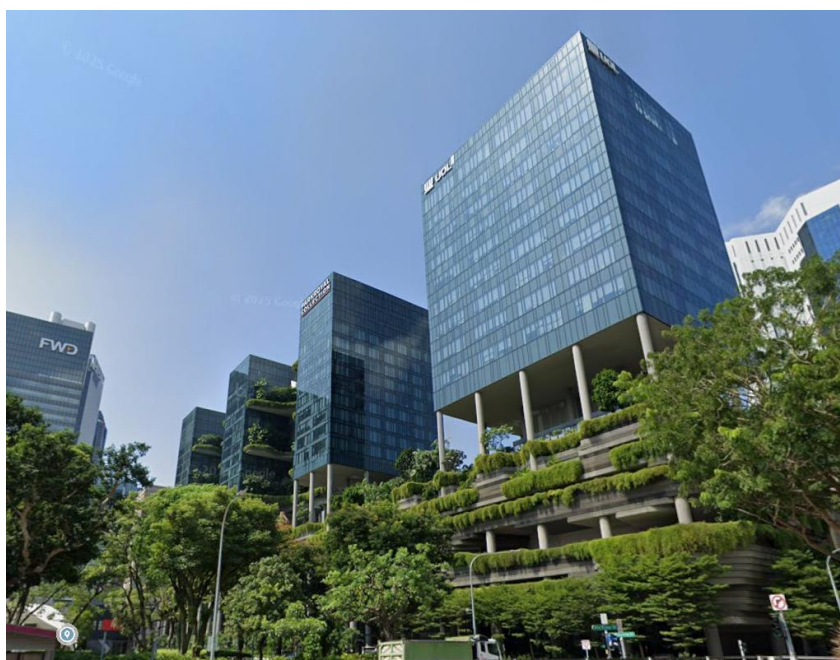
Slika 21 Bosco Verticale, Stefano Boeri Architetti, Milano

Prednosti zelenih pročelja

Vertikalno uzgojena vegetacija doprinosi:

1. boljoj toplinskoj izolaciji prostora (zimi grije, ljeti hladi)
2. smanjenju ugljičnog dioksida i prašine (tipično za urbane sredine u strogom centru grada)
3. učinkovitoj zaštiti od znatiželjnih pogleda
4. smanjenju buke
5. proizvodnji kisika
6. zdravoj klimi za stanovanje
7. psihološkom utjecaju na mentalno zdravlje ljudi (smanjenju stresa i poboljšavanje koncentracije i produktivnosti).

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 tzv. "zračnim farmama" suočava s nedostatkom hrane pokazuje koliko daleko zelena arhitektura može ići.



Slika 22 Hotel Parkroyal on Pickering, Singapur

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 23 Primjer krova s biosolarnim panelima na krovu

ZAKLJUČAK

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

U Republici Hrvatskoj, zeleni krovovi označavaju korak prema održivom 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.

Republika 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.



4. 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 kuća nZEB standarda
5. nabrojiti zakone, pravilnike i priručnike koji se mogu koristiti kod projektiranja kuće nZEB standarda
6. objasniti principe projektiranja kuća nZEB standarda
7. odabrati primjerene elemente kuće koji su potrebni za dobivanje kuća nZEB standarda
8. istražiti dobre primjere kuća 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 CO₂ (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 su kuće koje godišnje troše maksimalno 30kWh/m² toplinske energije. U skupinu niskoenergetskih kuća se ubrajaju pasivne kuće, nZEB kuće, ZEB kuće, autonomne kuće i kuće s viškom energije.

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 im omogućuje da proizvode vlastitu energiju smanjujući time potrebu za vanjskim izvorima energije i doprinoseći njihovoj energetske neovisnosti.

Definicija

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

Kuće gotovo nulte energije su građevine projektirane za potrošnju minimalne količine 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 se pojavio kao odgovor na energetske krize 1970-ih godina (Lowe, 1998). S rastom cijena energije i sa sve većom sviješću o klimatskim promjenama, arhitekti i inženjeri su počeli tražiti načine kako smanjiti potrošnju energije u zgradama. Prvi se veliki pomak u ovom smjeru dogodio u Njemačkoj gdje je krajem 1980-ih razvijen standard Passivhaus (Feist, 2009). Ovaj je standard postavio visoke kriterije za energetske učinkovitost koristeći napredne tehnike izolacije, pasivne solarne dizajne i sustave ventilacije s rekuperacijom topline. Od tada se koncept niskoenergetskih kuća proširio 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 izravno 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 zaista 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 izrazito 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 se sav zrak koji ulazi u prostor prvo predgrije toplim zrakom koji se izbacuje iz prostora. Tako se štedi više od 75% energije koja

bi se inače potrošila na zagrijavanje novog zraka. 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 se održavala ugodna temperatura, dovoljan je mali sustav grijanja. Primjer za to je sušilo za kosu. Naime, s obzirom da je prosječna potrebna snaga za grijanje pasivne kuće oko 10 W/m², za kuću od 100m² je dovoljan sustav grijanja snage 1000 W što je otprilike snaga grijanja jednog sušila za kosu.

Kada je riječ o hlađenju, primjenjuju se isti principi, ali s namjerom da se umanjí toplina koja opterećuje prostor. Jednostavan primjer za to bi bila 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 (*bypassa*), koja omogućuju da se tijekom ljetnih večeri, kada padne vanjska temperatura, vanjski zrak iskoristi za hlađenje kuće.

ZAKONODAVNI OKVIR

Gradnja i moguća obnova zgrada prema kriterijima za kuće gotovo nulte energije (nZEB) je obveza koja proizlazi iz EPBD (Energy Performance of Building Directive) Direktive 2010/31/EU od 19. svibnja 2010. o energetske 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, 145/24, 155/25*)
- Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske 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 prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine*).

Sve nove zgrade za koje se podnosi zahtjev za izdavanje lokacijske dozvole ili građevinske dozvole za koju se ne izdaje lokacijska dozvola, od 31. prosinca 2019. godine moraju ispunjavati zahtjeve za nZEB, a nove zgrade kojima su vlasnici /ili korisnici 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 se Direktivi uvodi 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 se traži da osiguraju da od 31. prosinca 2020. godine sve nove zgrade budu zgrade gotovo nulte energije, a nakon 31. prosinca 2018. godine i 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 se kuće prepoznaju 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.

DGNB (Deutsche Gesellschaft fuer Nachhaltiges Bauen) - certifikacijski sustav druge generacije koji, osim ekološkog aspekta, u obzir uzima holističko ispitivanje cjelokupnog životnog ciklusa zgrade. Procjenjuje se održivost zgrade od projektiranja i izgradnje, preko korištenja pa sve do prenamjene i konačnog uklanjanja.

U Republici Hrvatskoj je propisani standard nZEB te je za postizanje tog standarda potrebno ispuniti određene zahtjeve ovisno o vrsti (namjeni), lokaciji i o faktoru oblika kuće.

Zahtjevi za kuću gotovo nulte energije određeni su:

- godišnjom potrebnom toplinskom energijom za grijanje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade, $Q'_{H,nd}$ [kWh/(m²·a)]
- godišnjom primarnom energijom po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade E_{prim} [kWh/(m²·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 (Tablica 1 *Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, U [$W/(m^2 \cdot K)$], građevnih dijelova novih zgrada i nakon rekonstrukcije postojećih zgrada* Tablica 1). Najveći dopušteni koeficijent ovisi o klimatskoj regiji u kojoj se zgrada nalazi te predviđenoj temperaturi na koju zgradu grijemo/hladimo.

Tablica 1 Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, U [$W/(m^2 \cdot K)$], građevnih dijelova novih zgrada i nakon rekonstrukcije postojećih zgrada

Redni broj	Građevni dio	U [$W/(m^2 \cdot K)$]			
		$\Theta_{int,set,H} \geq 18 \text{ } ^\circ\text{C}$		$12^\circ\text{C} < \Theta_{int,set,H} < 18 \text{ } ^\circ\text{C}$	
		$\Theta_{e,mj,min} \leq 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Theta_{e,mj,min} > 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Theta_{e,mj,min} \leq 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Theta_{e,mj,min} > 3 \text{ } ^\circ\text{C}$
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	1,10	1,40	1,40	1,40

	prozora, prozirnih elemenata zgrade (U_g)				
4.	Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema provjetravanom tavanu	0,25	0,30	0,40	0,50

Obaveza certificiranja

Energetska potrošnja zgrade, tj. nZEB standard 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.

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 energetska svojstva zgrade (E_{prim}) i udio obnovljivih izvora energije zadovoljavaju zahtjeve za zgrade gotovo nulte energije (što je uvjet za svu novogradnju).

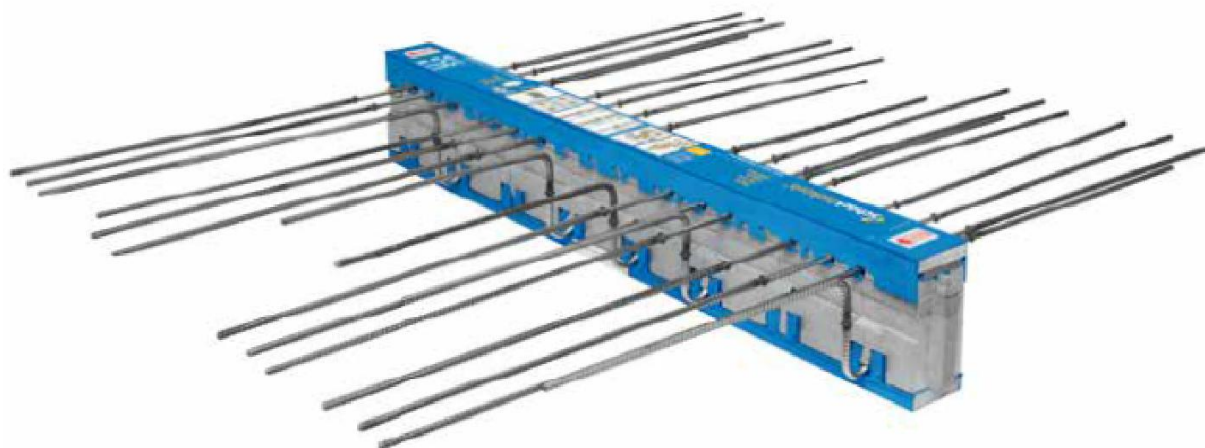
Katalog dobro riješenih toplinskih mostova na zgradama

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 projektnim uvjetima korištenja prostora zgrade.

U katalogu se nalaze primjeri kako se može spriječiti stvaranje potencijalnog toplinskog mosta u temeljima, prozorima i doprozirnicima, vratima, nadvojima, kutijama za rolete, balkonima, atikama i drugim mjestima (Slika 24). Važno je napomenuti da se tehnologije 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 25).



Slika 24 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		d_{Ti} - debljina toplinske izolacije u skladu sa zadovoljenjem zahtjeva iz <i>Tablice 1. PRILOG B</i> iz ovog Tehničkog propisa V - vani ili negrijano U - unutra (zimi grijano)
17.	Prozor s toplinski izoliranom kutijom za rolete u zidu od termo blokova		* - 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: $\Theta_i \geq 18\text{ °C}$ i $\Theta_{e,mj,min} \leq 3\text{ °C}$, - 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 $\Theta_i \geq 18\text{ °C}$ i $\Theta_{e,mj,min} > 3\text{ °C}$
18.	Prozor s toplinski izoliranom kutijom za roletu u višeslojnom zidu s masivnim vanjskim obzidom, pozicija prozora iza vanjske ravnine masivnog dijela zida		- dimenzije debljina slojeva toplinske izolacije odnose se na minimalne debljine materijala za toplinske izolacije toplinske provodljivosti: $\lambda \leq 0,04\text{ W/(m·K)}$ ili ekvivalentne manje debljine materijala za toplinsku izolaciju s povoljnijim (nižim) λ vrijednostima
19.	Prozor s toplinski izoliranom kutijom za roletu u višeslojnom zidu s masivnom vanjskom oblogom, pozicija prozora djelomično ispred vanjske ravnine nosivog dijela zida		- sve označene dimenzije izražene su u centimetrima (cm)

Slika 25 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 kuća ostavlja veliku slobodu oblikovanja. Projektiranje kuća kojima se pridržava načela energetske učinkovitog oblikovanja preporučljivo je, ali nije obvezno. Zgrade koje imaju malu razinu potrošnje energije će jednostavnije ispuniti zahtjeve za kuće gotovo nulte energije, ali i kuće 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 energetske svojstva zgrade razlikuju se referentni i stvarni klimatski uvjeti.

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 za primorsku Hrvatsku Split - Marjan.

Kontinentalna klima se uzima 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 $\Theta_{mm} \leq 3 \text{ °C}$.

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

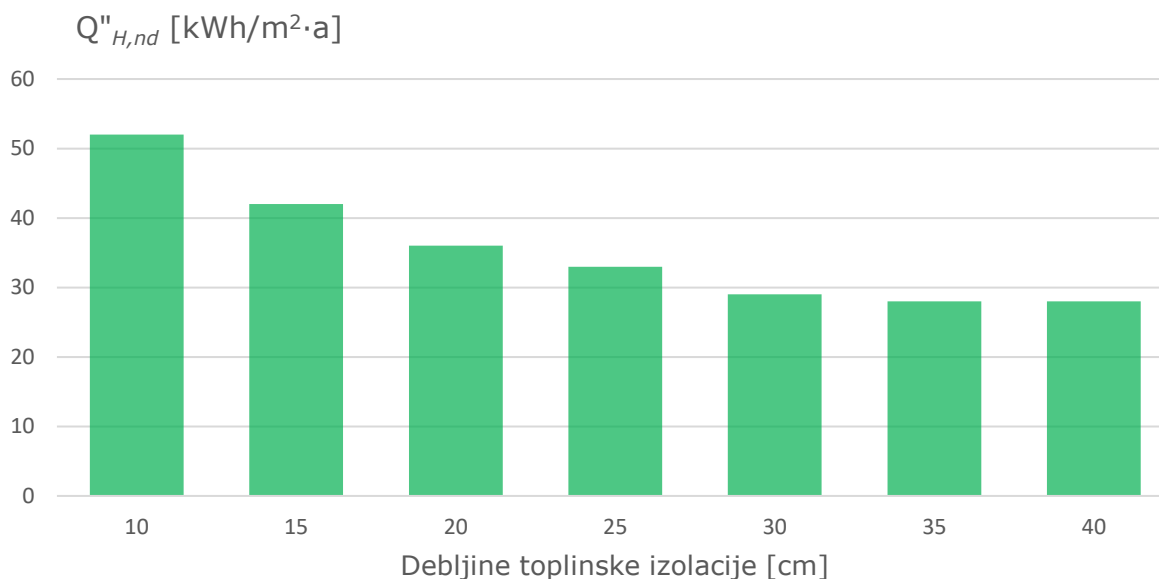
podacima iz meteoroloških podataka za najbližu klimatski mjerodavnu meteorološku postaju $\Theta_{mm} > 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kod projektiranja zgrada u kontinentalnoj klimi naglasak je na grijanju zgrade u zimskim mjesecima jer će se tad događati najveći gubitci toplinske energije. Iz tog razloga zgrade u kontinentalnoj klimi obično imaju debeli sloj toplinske izolacije i vrlo učinkovite 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 su u zimskim mjesecima blaže od onih u kontinentalnoj klimi pa je toplinska izolacija u vanjskoj ovojnici zgrade obično manja od one u kontinentalnoj klimi. Važno je napomenuti da, osim što sprječava toplinske gubitke u zimskim mjesecima, toplinska izolacija sprječava također prodor i akumulaciju topline u ljetnim mjesecima. Pritom se važno voditi načelom ekonomičnosti po kojem zgradu ne treba toplinski izolirati predebelim slojem toplinske izolacije.

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 je potrebno voditi računa o tome da se toplina ne gubi samo kroz zidove, krov i prozore, stoga će prevelike debljine izolacije u konačnici imati manju učinkovitost.



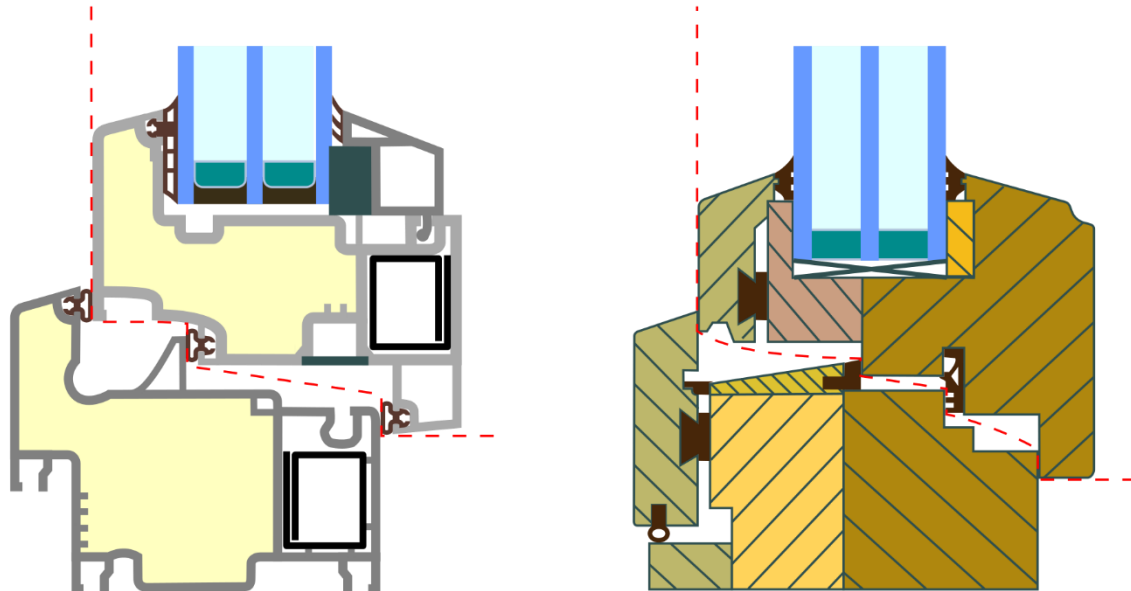
Slika 26 Utjecaj debljina toplinske izolacije na specifičnu potrebnu energiju za grijanje $Q''_{H,nd}$ (MGIPU, 2019)

Prozori i transparentne stijenke

Kako bi zadovoljili nZEB standard, prozori moraju biti proizvedeni s izrazito malim koeficijentom prijenosa topline ($1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, ali se preporuča $0,85$ do $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$), koji vrijedi za čitavu površinu prozora, uključujući i okvir. Prozori su obično izrađeni kombinacijom trostrukog stakla (praznine između stakala punjene su argonom ili kriptonom) s izolacijskim premazom niskog stupnja emisije (Low-E), izolacijskih rubova stakala i posebno konstruiranih prozorskih okvira (Slika 88). Prozori se dijele u razrede učinkovitosti A, B i C pri čemu je A najbolji a C je više nego prikladan za upotrebu u Hrvatskoj. Treba napomenuti kako se svaki prozor ispituje i to kao cjelina sa zidom jer je odavno poznato kako prozor koji nije propisno ugrađen, bez obzira na razred, 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 $UW_{\text{installed}} \leq 1,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

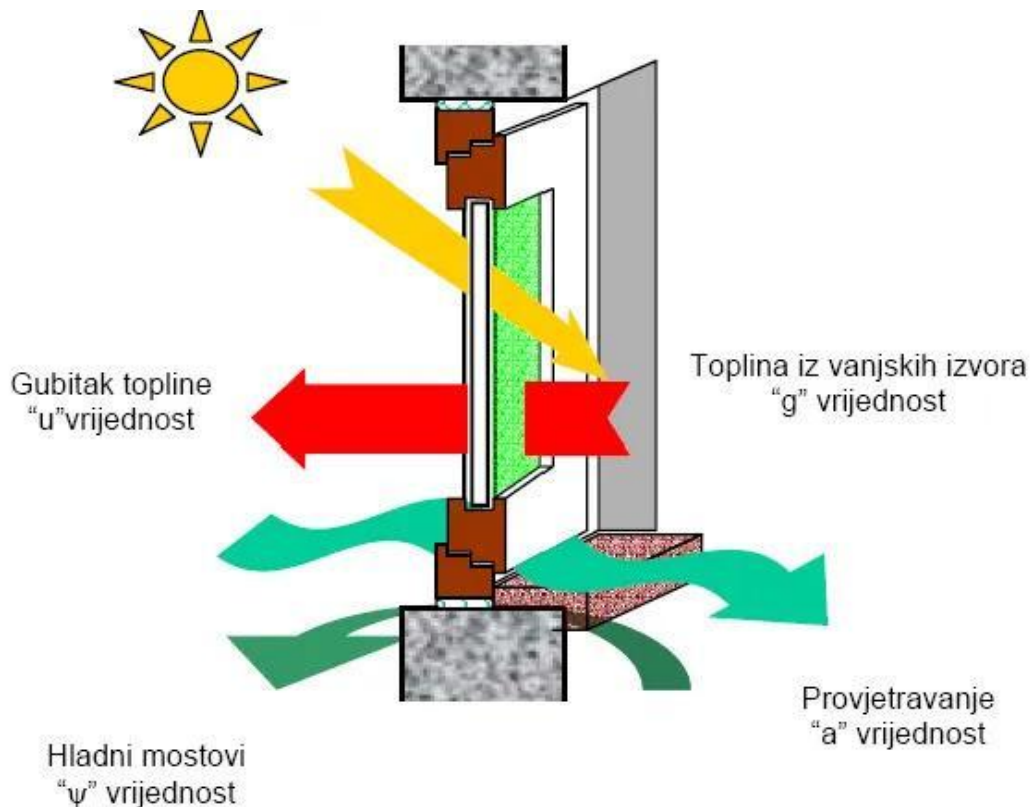
U Srednjoj Europi i većem dijelu SAD-a, suvremeni prozori okrenuti prema jugu akumuliraju više topline od Sunca nego što im iznose toplinski gubitci, čak i usred zime.



Slika 27 Tipični prozorski okvir koeficijenta $U_f \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (izvor: Wikipedia)

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

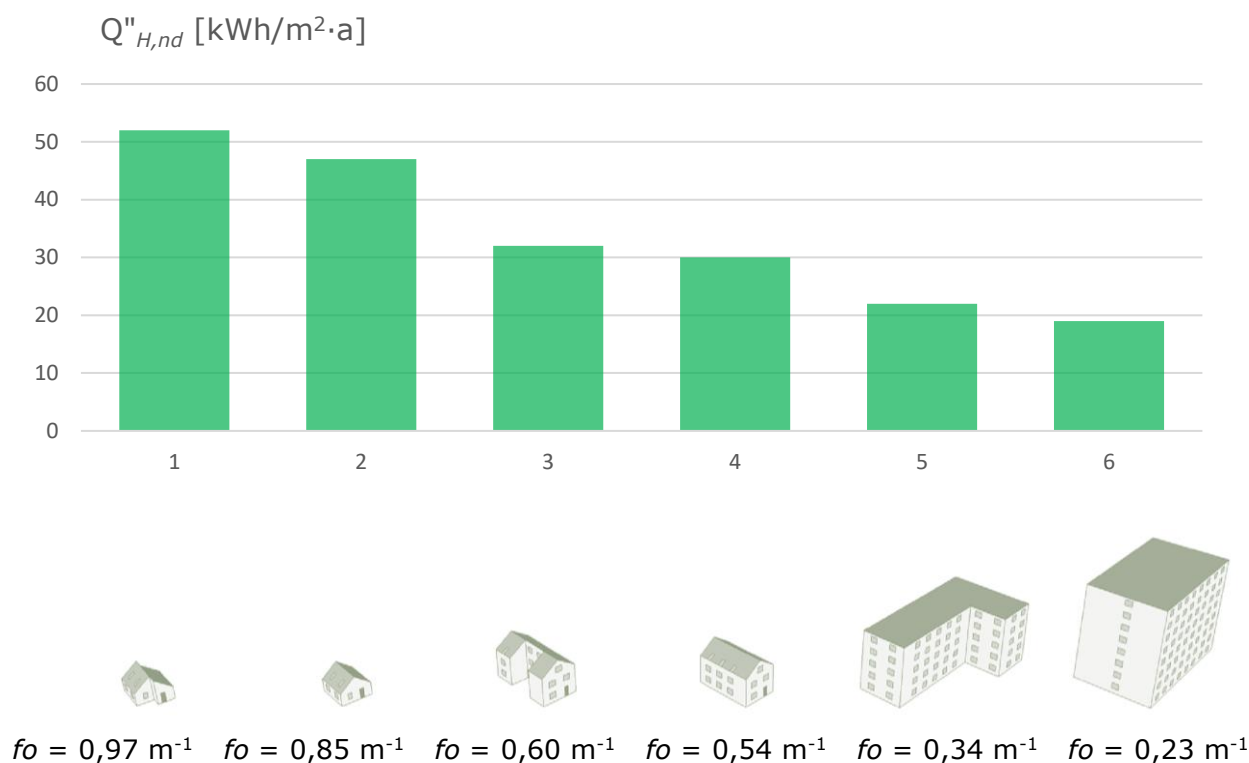
- U_f -faktor prolaza topline ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- g -sunčani dobitak
- U_f -faktor prolaza kroz okvir
- U_g -faktor prolaza kroz staklo
- U_w -faktor prolaza cijelog prozora
- A_w –površina prozora.



Slika 28 Prijenos topline kroz prozor (Plastomet, 2024)

Kompaktnost zgrade

Kompaktnost je zgrade (faktor oblika f_o) 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 29 Faktori oblika f_o 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 može postojati prirodna i/ili prisilna ventilacija. Način ventiliranja zone/zgrade direktno utječe na izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje $Q_{H,nd}$ i $Q_{C,nd}$.

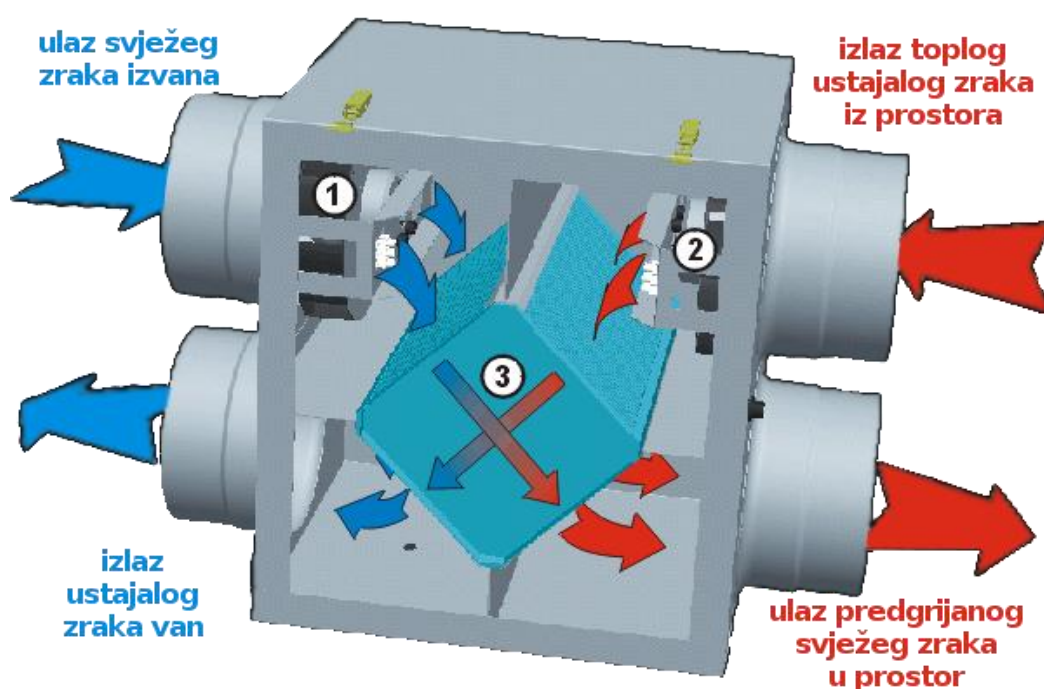
Prirodna ventilacija podrazumijeva izmjenu zraka u prostoru bez korištenja ventilatora (otvaranjem prozora te infiltracijom kroz reške, ventilacijske otvore ili rešetke).

Prisilna (mehanička) ventilacija podrazumijeva izmjenu zraka u prostoru uz pomoć ventilatora.

Prisilna ventilacija može biti bez iskorištavanja otpadne topline ili s iskorištavanjem otpadne topline (Slika 30). U tim se slučaju govori 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 smanjiti potrebnu energiju za grijanje, ali se njenim korištenjem povećava pomoćna energija za ventilaciju.



Slika 30 Rekuperator zraka (Klima koncept, 2024)

Zrakotijesnost

Zrakotijesnost minimizira neželjeni protok zraka kroz omotač zgrade te je ključna karakteristika modernih energetski učinkovitih zgrada. 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 učinkovitu ventilaciju što direktno pridonosi smanjenju energetske 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 spajaju zidovi, stropovi i podovi
- kvalitetna izgradnja - primjena preciznih metoda gradnje kako bi se smanjila mogućnost mikro-otvora kroz koje može prolaziti zrak
- ventilacijski sustavi s rekuperacijom topline - sustavi koji osiguravaju adekvatnu ventilaciju uz minimalne toplinske gubitke, zadržavajući zrakotijesnost konstrukcije
- ispitivanje 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 31 Sustav brtvljenja pomoću brtvenih traka (ILSAD, 2024)

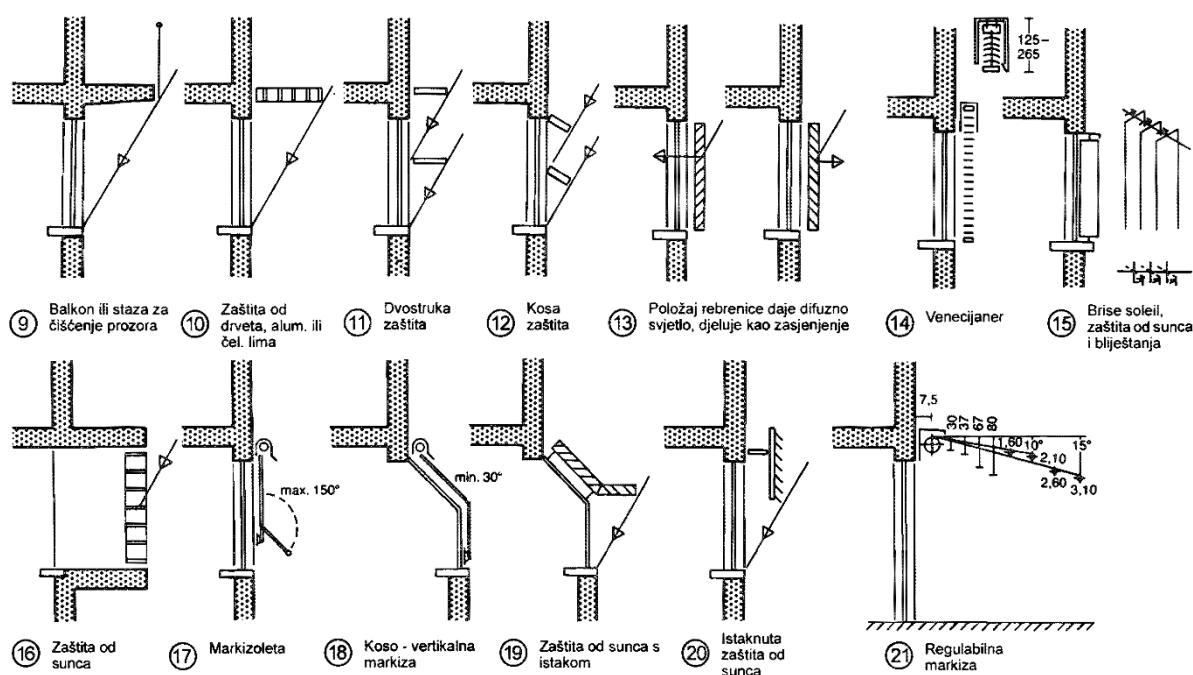
Orijentacija otvora

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

Zaštita od sunca

Zaštita od sunca je neophodna kako bi se u prostoru spriječilo pregrijavanje ili potrebna energija za hlađenje održala unutar dopuštenih granica. Zaštita od pregrijavanja se može izvesti napravama za zaštitu od sunčevog zračenja, ugradnjom ostakljenja s malim faktorom propuštanja sunčevog zračenja ili korištenjem arhitektonskih elemenata (Slika 32). Pri odabiru zaštite od sunca je potrebno voditi računa i o solarnim dobitcima tijekom zime.

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



Slika 32 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.

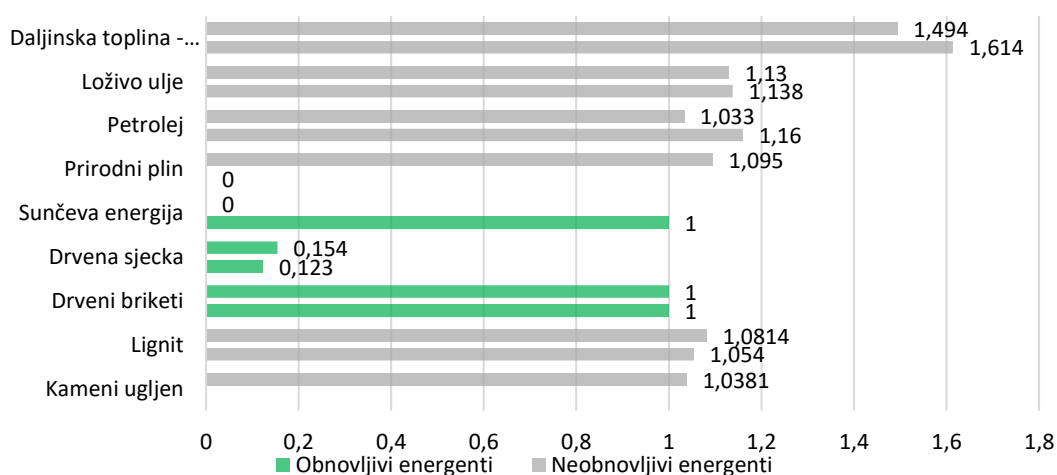
Ovisno o energentu, 1 kWh isporučene energije se razlikuje u cijeni, faktoru primarne energije i CO₂ emisijama.

Primarna energija

Primarna energija je energija sadržana u energentu uključivo s utrošenom energijom za prikupljanje (iskapanje), obradu i prijevoz energenta do korisnika. Primarna se energija označava s E_{prim} , a računa se kao umnožak isporučene količine energenta za tehnički sustav i faktora primarne energije:

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

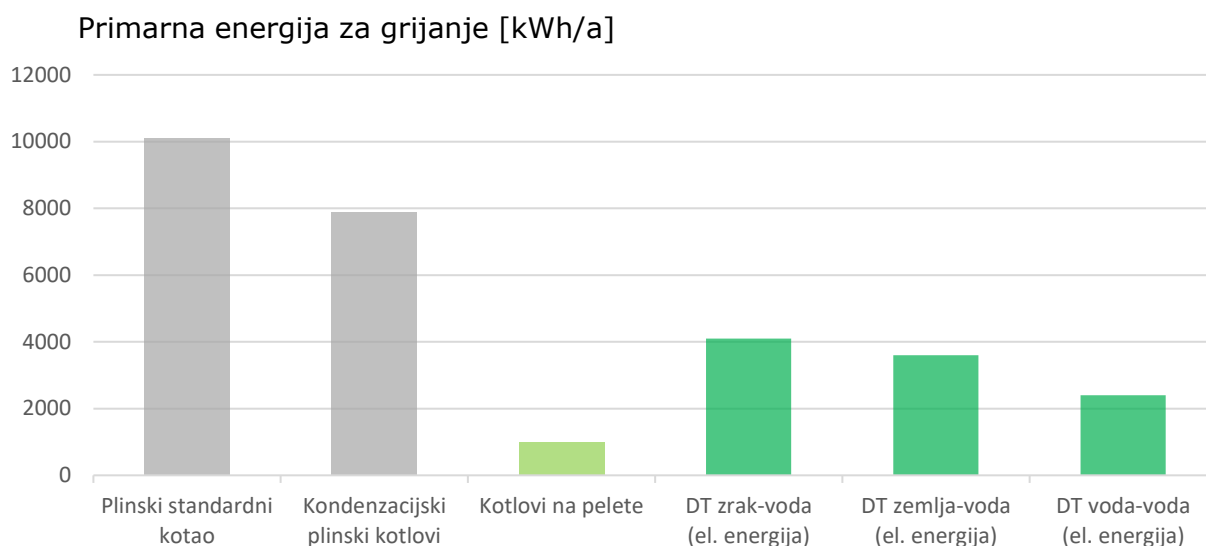
Izračun se energetskeg svojstva zgrade u pogledu potrošnje primarne energije određuje prema isporučenoj energiji i faktoru primarne energije energenta. Faktore primarne energije određuje svaka država članica za sebe. Oni su određeni prema svom utjecaju na okoliš ili prema energetskeim ciljevima države. Obnovljivi energenti imaju niske, a neobnovljivi visoke vrijednosti faktora primarne energije (Slika 33).



Slika 33 Faktori primarne energije (MGIPU, 2019)

Utjecaj termotehničkih sustava i energenata na potrošnju primarne energije

Na referentnom je primjeru obiteljske kuće u Zagrebu moguće usporediti rezultate potrošnje primarne energije za grijanje ovisno o primijenjenom termotehničkom sustavu i energentu (Slika 34).



Slika 34 Potrošnja primarne energije za grijanje ovisno o primijenjenom termotehničkom sustavu

Iz Slike 95 je vidljivo da sustavi koji energiju za grijanje dobivaju iz biomase troše najmanje energije, a slijede ih sustavi koji koriste električnu energiju. Biomasa i električna energija su obnovljivi izvori energije, no treba uzeti u obzir da je iz raznih razloga opskrba električnom energijom jednostavnija 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 je 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 35).

- Isparavanje

Radna tekućina - fluid (obično freon ili druga rashladna tekućina) prolazi kroz isparivač gdje apsorbira toplinu iz okoliša. Pri tome tekućina isparava iz tekućeg u plinovito stanje.

- Kompresija

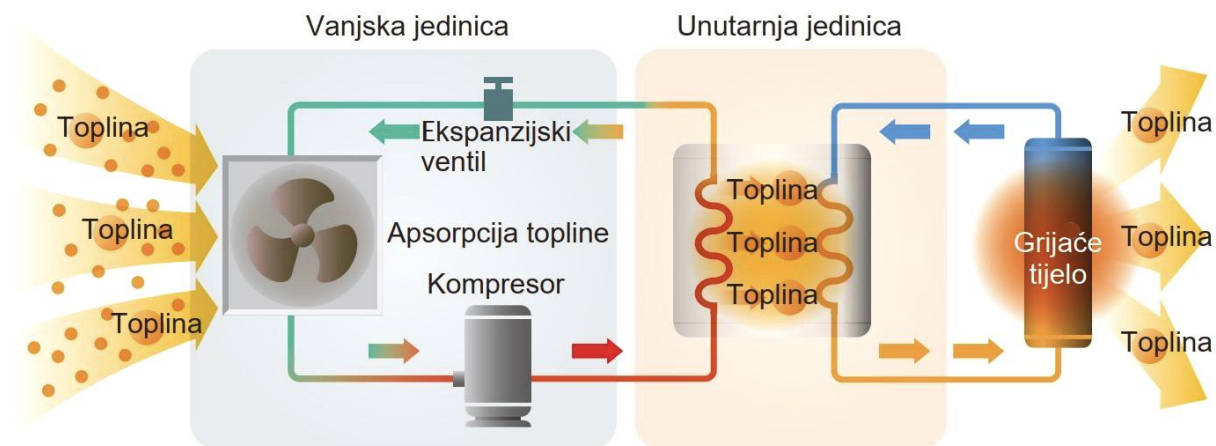
Rashladna se tekućina u plinovitom stanju zatim komprimira pomoću kompresora. Kompresija povećava temperaturu i pritisak plina.

- Kondenzacija

Pod visokim pritiskom i temperaturom, rashladni plin potom putuje do kondenzatora gdje oslobađa prikupljenu toplinu u unutrašnjost zgrade ili u vodu za kućanstvo. U ovom se procesu rashladni plin kondenzira natrag u tekuće stanje.

- Ekspanzija

Nakon toga, tekućina prolazi kroz ekspanzijski ventil gdje se pritisak i temperatura iste smanjuju. Radna se tekućina vraća u isparivač, spremna za apsorpciju topline čime se ciklus zatvara.



Slika 35 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 i čineći cijeli sustav energetske učinkovit.

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE

Obnovljivi su izvori energije o kojima je već ranije bilo riječi - 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 se određuje 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 toplotom dobivenom iz fosilnih goriva.
- Obnovljiva energija isporučena zgradi uključuje lokalno korištena obnovljiva biogoriva ili daljinsko grijanje toplotom 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.

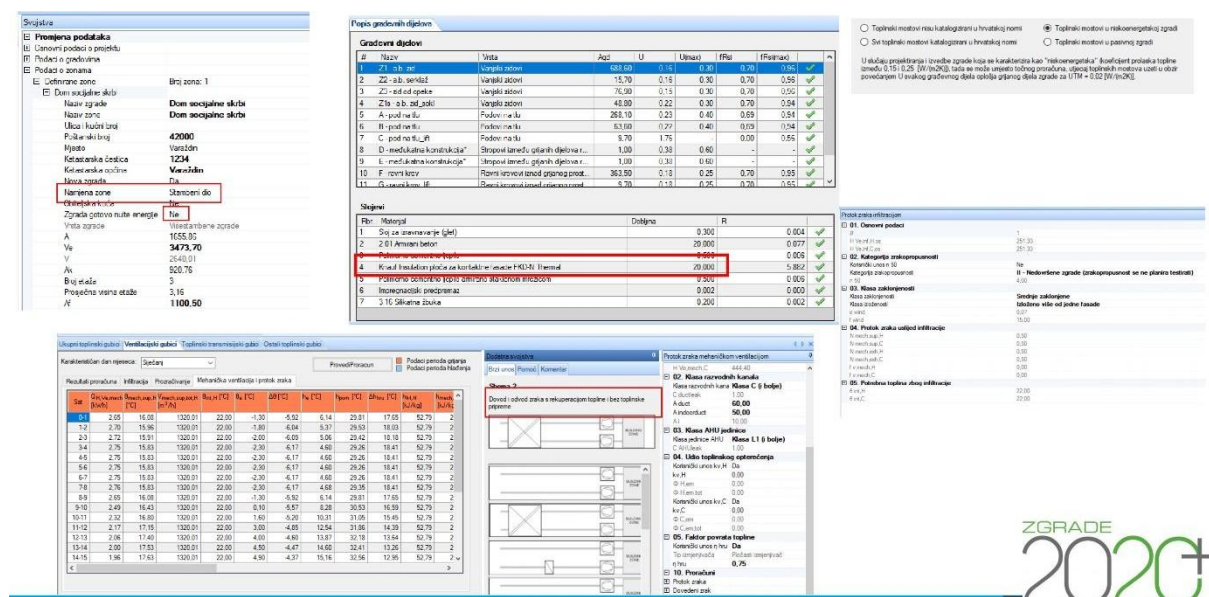
IZRAČUN ENERGETSKIH POTREBA

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

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

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

Izračun je vrlo složen te se izrađuje u za to specijaliziranim programima (Slika 36).



Slika 36 Primjer korištenja računalnog programa KiExpert za izračun energetske svojstva zgrade (Novak, 2019)

Završni je rezultat proračuna Iskaznica energetske svojstava zgrade (Slika 37) 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 ²)	
Obujam grijanog dijela zgrade V_k (m ³)	
Faktor oblika zgrade f_o (m ⁻¹)	
Ploština korisne površine zgrade A_K (m ²)	
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 $\theta_{e,uj,min}$ (°C)	
Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade $\theta_{e,uj,max}$ (°C)	

Obrazac 1, list 2/4

4. POTREBNA PRIMARNA ENERGIJA, TOPLINSKA ENERGIJA ZA GRIJANJE ZGRADE I IZRAČUNATA 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 ² ·a)] (za stambene ili nestambene zgrade)	<i>najveća dopuštena</i>	<i>izračunata</i>
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za stvarne klimatske podatke $Q_{t,ad}$ [kWh/a]		
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade za stvarne klimatske podatke $Q'_{t,ad}$ [kWh/(m ² ·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 $Q'_{t,ad}$ [kWh/(m ³ ·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 $Q_{c,ad}$ [kWh/a] (za zgrade sa sustavom hlađenja)		
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje po jedinici ploštine korisne površine zgrade $Q'_{c,ad}$ [kWh/(m ² ·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 podmiro energijom iz obnovljivih izvora energije			
Udio u ukupnoj isporučenoj energiji za grijanje i hlađenje zgrade i pripirnu 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 ² ugrađenih sunčanih kolektora (vrijedi iznimno za jednoobiteljske stambene zgrade)			
6. DRUGA ENERGETSKA OBIJEŽJA ZGRADE			
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade $H_{t,adj}$ [W/(m ² ·K)]	<i>najveći dopušteni</i>	<i>izračunati</i>	
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka $H_{t,adj}$ (W/K)			
Koeficijent toplinskog gubitka provjetravanjem $H_{v,adj}$ (W/K)			
Ukupni godišnji gubici topline Q_i (kWh)			
Godišnji iskoristivi unutarnji dobici topline $Q_{i,ad}$ (kWh)			
Godišnji iskoristivi solarni dobici topline $Q_{s,ad}$ (kWh)			
Ukupni godišnji iskoristivi dobici topline $Q_{e,ad}$ (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 37 Obrasci Iskaznice topline, (Izvor: MGIPU, 2019)

PROVJERIMO/ISTRAŽIMO ZAJEDNO (Milovanović, 2023)

Kako bi se mogla proračunati izmjena topline transmisijom između kondicioniranog 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)



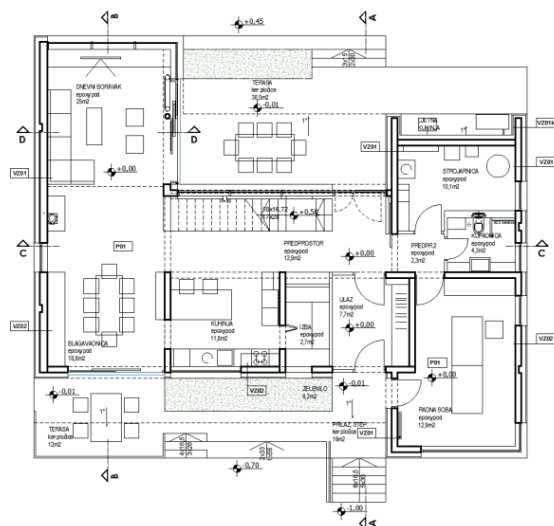
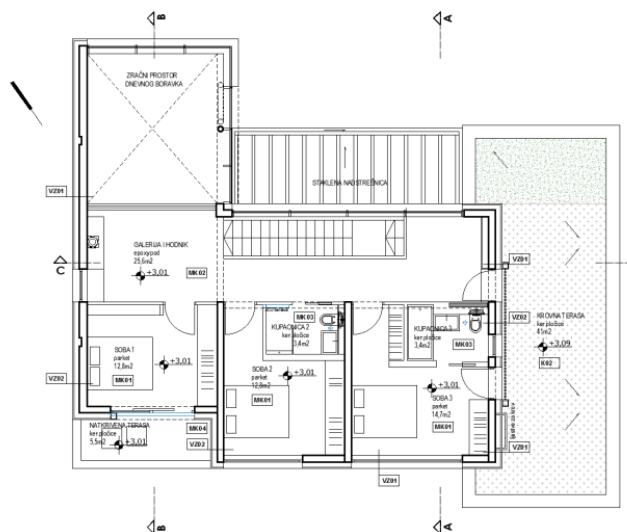
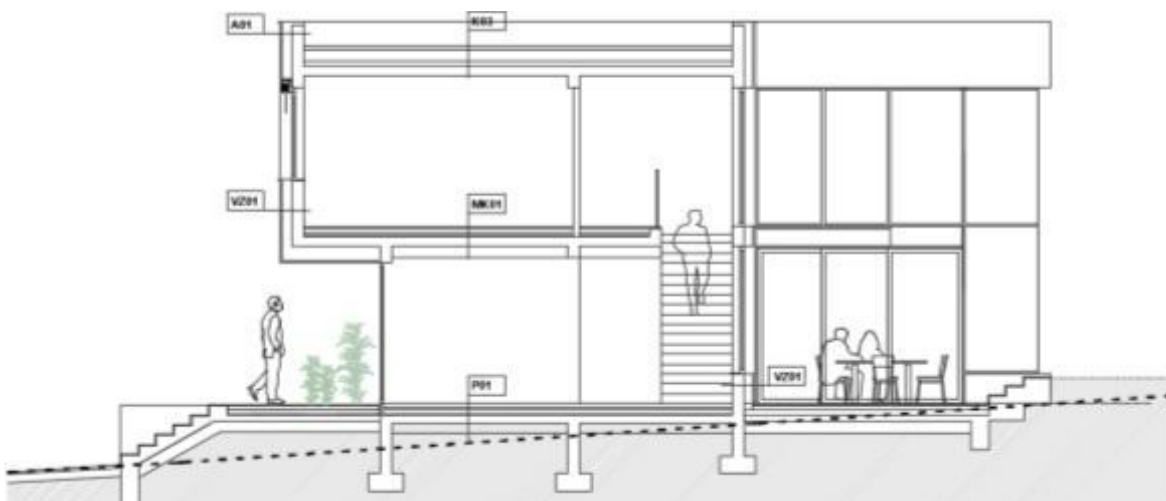
PRIMJERI nzeb KUĆA U REPUBLICI HRVATSKOJ

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

Obiteljska kuća blizu Samobora

Projektant: Tatjana Liktar Elez

Godina izgradnje: 2018

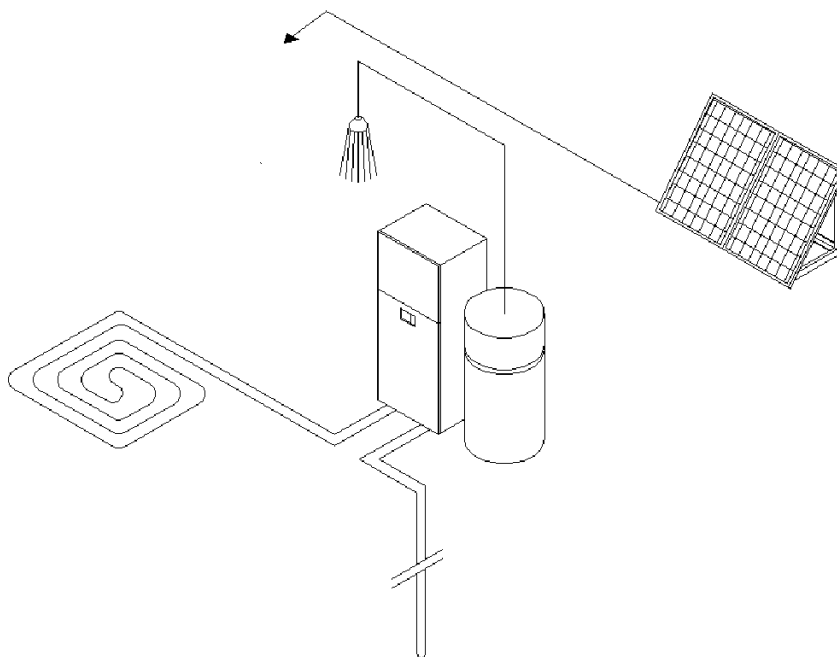
Arhitektonsko-građevinske karakteristike zgrade**Tlocrt prizemlja****Tlocrt kata****Presjek****Geometrijske karakteristike zgrade**

Katnost	P+1			
Grijana korisna površina, Ak	208	m ²		
Volumen grijanog prostora, Ve	869	m ³		
Faktor oblika, fo	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
Građevinske i tehničke karakteristike	
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
Rezultati	Dopušteno
Specifična potrebna energija za grijanje, $Q''_{H,nd}$	55,08 kWh/(m ² ·a) max 64,85 kWh/(m ² ·a)
Specifična potrebna energija za hlađenje, $Q''_{C,nd}$	36,04 kWh/(m ² ·a) max 50,00 kWh/(m ² ·a)

Termotehnički sustavi

DIZALICA TOPLINE VODA-VODA U KOMBINACIJI S FOTONAPONSKIM PANELIMA



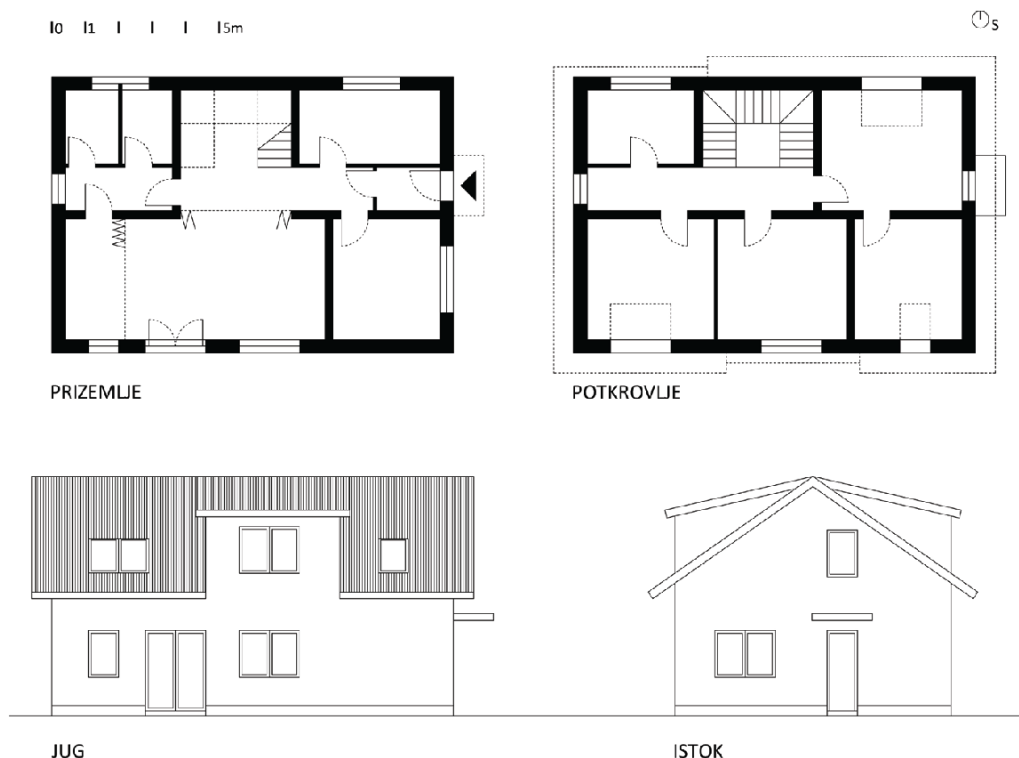
Termotehnički sustav	Dizalica topline voda-voda s fotonaponskim panelima
Energenti	Električna energija
Proizvodnja topline	Dizalica topline učinkovitosti $\eta=5,00$ za grijanje i pripremu PTV
Predaja topline	Podno grijanje
Fotonaponski sustav	Solarna elektrana snage 10 kW

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 ² ·a)	max 35,00	kWh/(m ² ·a)
Udio obnovljivih izvora energije, γ_{ren}	100	%	min 30	%

Napomena:

Temperature u tlu na dubinama ispod dva metra tijekom godine tek malo variraju, stoga dizalice topline koje koriste energiju tla ili podzemne vode ne trebaju pomoćne sustave grijanja (poput dizalica topline koje koriste energiju zraka). Fotonaponska elektrana je u ovom primjeru opcionalna. Ona spušta razinu potrošnje primarne energije i povećava udio obnovljivih izvora energije u isporučenoj energiji. Kombinacija fotonaponskih sustava i dizalica topline je povoljna 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 m²);

Radijatorsko grijanje

Plinski kombi kondenzacijski bojler i solarni paneli (15 m²) za grijanje i pripremu tople vode u kombinaciji s mehaničkim provjetranjem s povratom topline;

Radijatorsko i podno grijanje

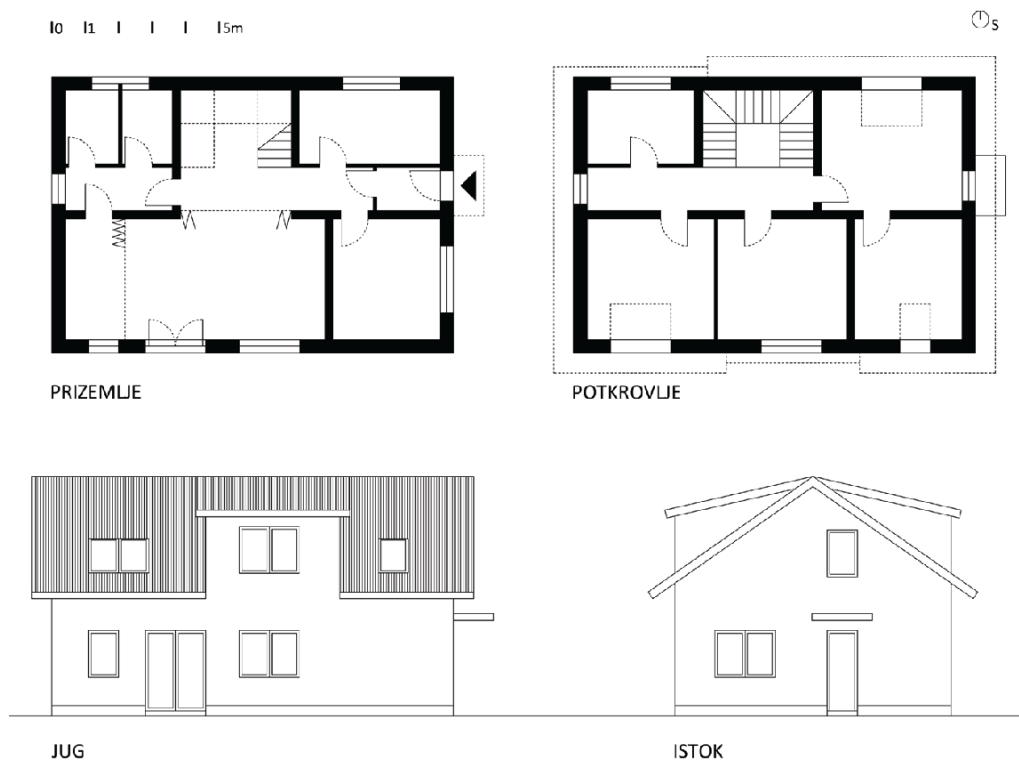
Kotao na biomasu (pelete) za grijanje i pripremu tople vode;
Radijatorsko grijanje

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 krovište 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 m²);

Radijatorsko grijanje

Plinski kombi kondenzacijski bojler i solarni paneli (5 m²) za grijanje i pripremu tople vode u kombinaciji s mehaničkim provjetravanjem s povratom topline;

Radijatorsko i podno grijanje

Dizalica topline zrak-zrak za grijanje (split ili multi split sustav) i solarni paneli (5 m²) 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

1. Što znači skraćenica nZEB?
2. Što je nZEB kuća?
3. Kada je nZEB standard postao obavezan za sve nove javne zgrade u Hrvatskoj?
4. Koji postotak ukupne svjetske energije troše zgrade prema Međunarodnoj agenciji za energiju (IEA)?
5. Koji je ključni cilj niskoenergetskih kuća?
6. Koje godine je razvijen standard Passivhaus u Njemačkoj?
7. Koji dokument propisuje nZEB kriterije u Republici Hrvatskoj?
8. Kako se zove dokument koji dokazuje energetske potrošnje zgrade?
9. Koliki je minimalni udio isporučene energije iz obnovljivih izvora energije za nZEB zgrade?
10. Objasnite razliku između nZEB i Pasivne kuće.
11. Zašto su niskoenergetske kuće važne u borbi protiv klimatskih promjena?
12. Kako pasivne kuće koriste solarne dobitke za zagrijavanje prostora?
13. Koji su ključni pristupi za postizanje zrakotijesnosti u zgradama?
14. Kako prirodna ventilacija utječe na toplinske gubitke u stambenim zgradama?
15. Što se podrazumijeva pod primarnom energijom?
16. Objasnite kako dizalica topline prenosi toplinu iz jednog okruženja u drugo
17. Primijenite principe nZEB standarda na primjer dizajna obiteljske kuće.
18. Kako bi se mogla spriječiti pojava toplinskog mosta u prozorima prema katalogu dobro riješenih toplinskih mostova?
19. Na koji način korištenje dizalica topline smanjuje potrošnju primarne energije u zgradama?
20. Analizirajte utjecaj debljine toplinske izolacije na specifičnu potrebnu energiju za grijanje.

21. Kako klimatska regija utječe na zahtjeve za toplinsku izolaciju zgrada?
22. Koji su ključni faktori koji utječu na energetske učinkovitost prozora?
23. Procijenite važnost orijentacije otvora prema stranama svijeta za iskorištavanje pasivnih solarnih dobitaka.
24. Kakav je utjecaj zrakotijesnosti na energetske troškove i komfor unutar zgrade?
25. Predložite inovativne metode za povećanje udjela obnovljivih izvora energije u isporučenoj energiji zgrade.
26. 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.
- Opišite kako funkcionira dizalica topline 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.

5. 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 je osnovna razlika između bioloških i klasičnih bazena što biološki bazeni ne koriste ni klor niti ikakve druge kemikalije. Razvoj ekološke svijesti povećava broj izvedaba prirodnih bazena.

Nakon ove lekcije moći ćete:

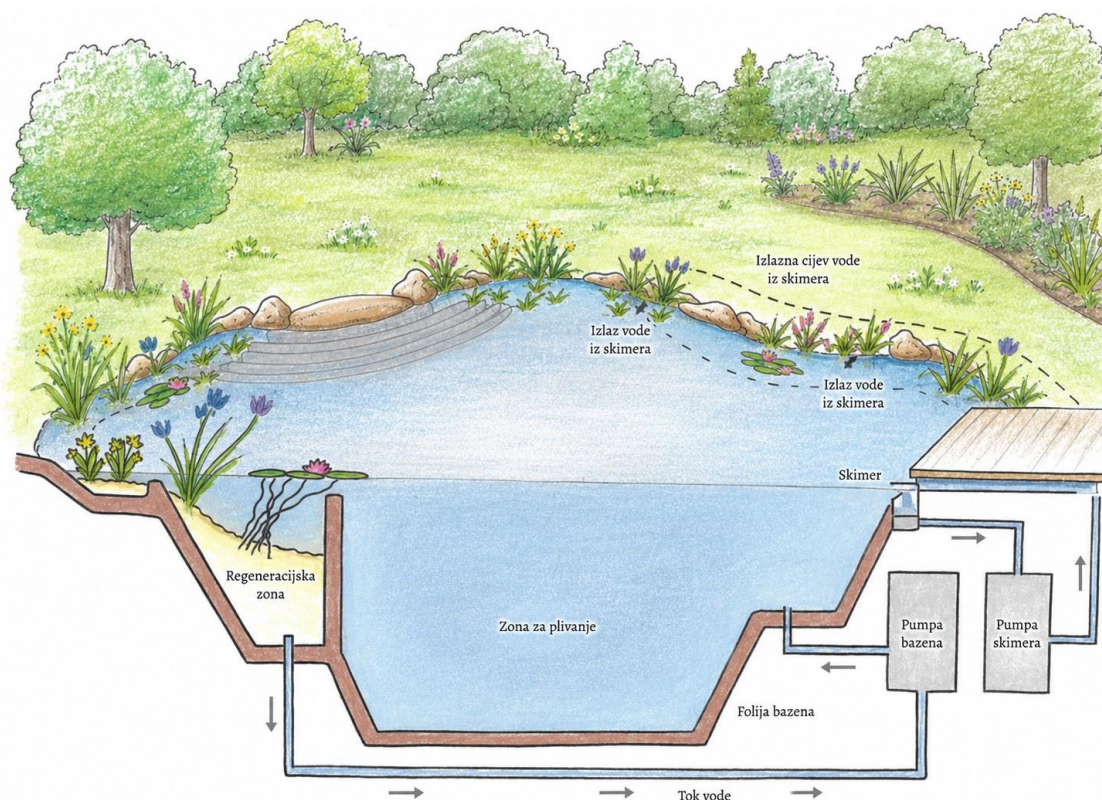
- razlikovati vrste bazena
- odrediti prednosti i mane izrade bioloških bazena
- odrediti dimenzije lokacije potrebne za izradu bioloških bazena
- razlikovati vrste biljaka koje se koriste u izradi bioloških bazena
- navesti sve prednosti izrade prirodnih bazena naspram klasičnog.

BIOLOŠKI BAZENI

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

Razlika između klasičnih 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 su često usmjereni ka minimalnom utjecaju na okoliš. Koriste se prirodni materijali i tehnike koje podržavaju lokalni ekosustav.

Na prikazanoj Slika 38 je vidljiv prirodan izgled biološkog bazena: prostor namijenjen plivanju, prostor namijenjen filtriranju pomoću biljaka i eventualni položaj vodenih pumpi koje omogućavaju protok vode.



Slika 38 Presjek kroz biološki bazen

PRINCIP RADA BIOLOŠKIH BAZENA

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

Voda u biološkom bazenu treba kontinuirano cirkulirati kako bi korijeni biljaka mogli čistiti bazen. Također može biti potrebno i prozračivati vodu kako bi se organizmima u njoj zadovoljile potrebe 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

Odabir lokacije

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

To je jedan od nedostataka izrade ovakve vrste 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, za smještaj biološkog bazena na parceli je potrebno predvidjeti dovoljno prostora. Teren smještaja mora biti ravan, a najbolja je orijentacija na južnom dijelu parcele.

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

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

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

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



Slika 39 Prikaz biološkog bazena nepravilnog tlocrtnog oblika



Slika 40 Prikaz biološkog bazena pravilnog oblika

Izrada plivajuće zone

Nakon odabira lokacije, potrebno je iskopati rupu za plivajuću zonu.

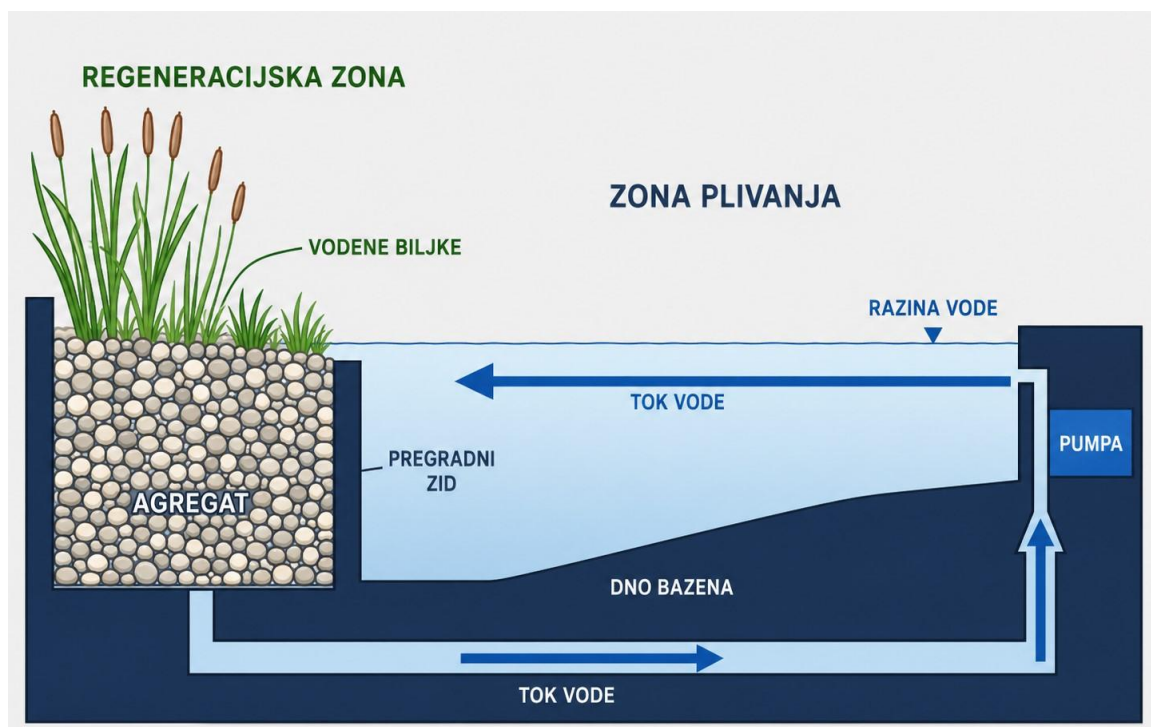
U biološkim se bazenima češće sama plivajuća zona radi od prirodnog materijala na način da se rubovi dubljeg dijela bazena zaštite od urušavanja kosim, širokim iskopom u odnosu 1:3.

Donji se dio može prekriti nepropusnom folijom i učvrstiti kamenim oblucima 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 prijelaza iz duboke zone vode već se mora predvidjeti postupna plića zona za postav biljaka.

Na **Pogreška! Izvor reference nije pronađen.** prikazana je zona plivanja (enlg. swimming area), zona regeneracije biljaka (engl. regeneration area), zona postava biljaka i tijek protoka vode.

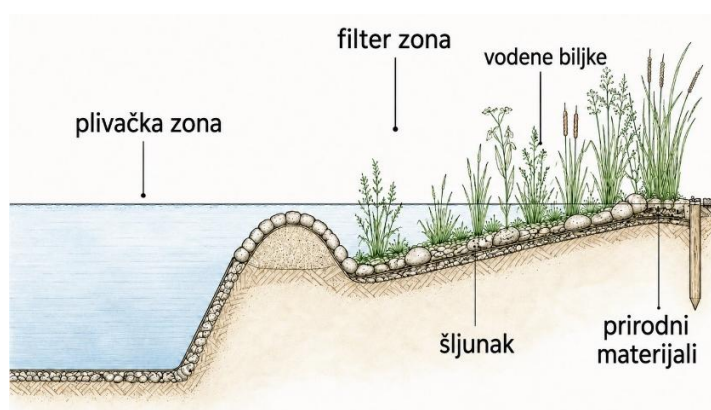
U zoni filtracije biljaka je važno osigurati različite dubine vode jer se biljke za filtraciju vode sade na različitim dubinama.



Slika 41 Prikaz zone plivanja i zone filtriranja biološkog bazena

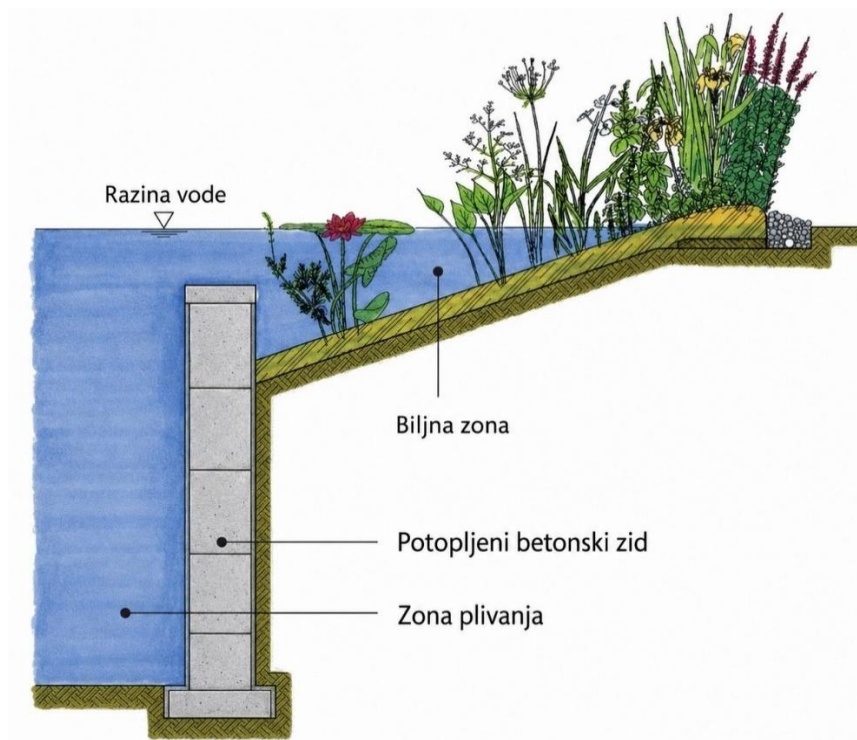
U biološkim je bazenima zona plivanja jasno odvojena. Za njezino se odvajanje obično koriste prirodni materijali. Mogu biti prirodni, zemljani materijali, drvo, kamen ili bilo koji drugi materijali.

Na Slika 42 je vidljiva granica između zone biljaka i plivajuće zone; izrađena je od prirodnih materijala.



Slika 42 Prijelaz između filter zone i plivačke zone – prirodni materijali

Na **Pogreška! Izvor reference nije pronađen.**43 je vidljiva granica između zone biljaka i plivajuće zone; izrađena je od betonskog zida.



Slika 43 Prijelaz između filter zone i plivačke zone – betonski zid

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 izrazito 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 44 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 se u ovakvim bazenima ne mijenja. Bazen se puni samo jednom. Održavanje biološkog bazena se svodi na čišćenje zone regeneracije s 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.

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, manje 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. Često se koriste biljke

poput trske, šaša i ljiljana zbog svoje sposobnosti filtriranja i pročišćavanja vode.

U konačnici, odluka o izgradnji biološkog bazena treba biti zasnovana 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 nedostatke 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 izvedena projekta bioloških bazena.
- Kreiraj vlastiti biološki bazen na postojećoj lokaciji s postojećim objektom. Obrati pažnju na zonu regeneracije, plivajuću zonu, ulazak u vodu, izbor biljaka. Nacrtaj tlocrt bazena i presjek kroz bazen.

6. SNIMANJE ZGRADE U 3D SNIMKU I IZRADA SNIMKE 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 snimki zgrada i terena je postala ključna tehnologija u građevinarstvu, urbanom planiranju i mnogim drugim područjima. Trodimenzijski 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 snimke omogućuju identificiranje potencijalnih problema prije nego što oni postanu skupi i vremenski zahtjevni za ispravljanje, što značajno poboljšava učinkovitost i smanjuje troškove projekata (Kraus, 2007).

Postoji nekoliko metoda za izradu 3D snimki, 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 trodimenzijskih 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 je od pionira ove metode bio francuski geodet Aimé Laussedat, koji je 1849. godine prvi koristio fotografije za izradu karata (Aber, 2010).

Početkom 20. stoljeća, s razvojem zrakoplovstva, fotogrametrija je doživjela značajan napredak. Avioni su omogućili snimanje 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

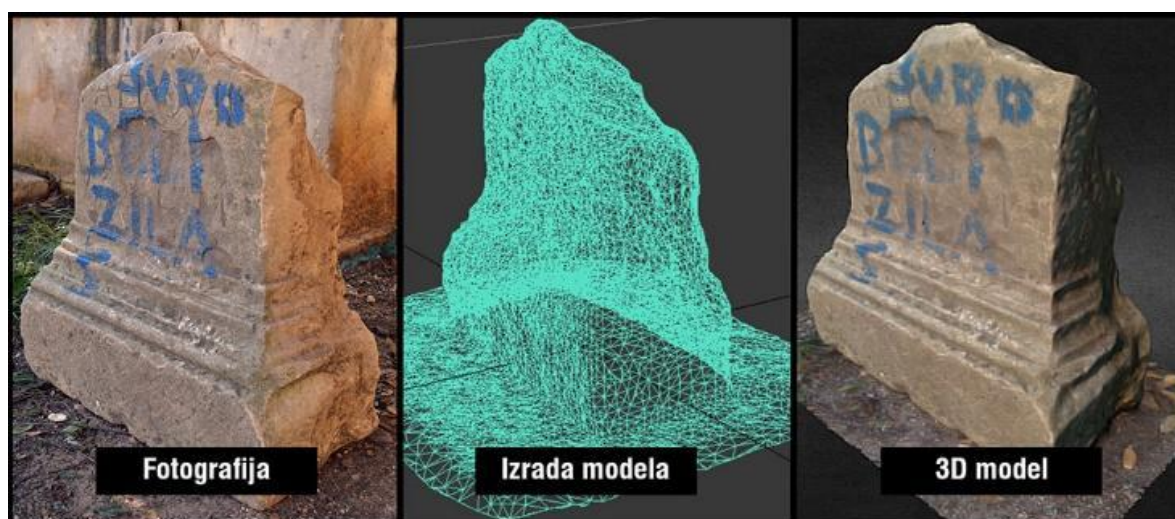
Danas je fotogrametrija u velikoj mjeri digitalizirana i koristi napredne tehnologije poput bespilotnih letjelica, satelita i specijaliziranih softvera. Bespilotne letjelice opremljene visokorezolucijskim kamerama omogućuju precizno i brzo prikupljanje podataka iz zraka. Softveri za fotogrametriju ove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

Moderna fotogrametrija nalazi primjenu u mnogim područjima. U građevinarstvu se koristi 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 izrada 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 vojne namjene. Terestrička se fotogrametrija već dulje vrijeme primjenjuje u kriminalistici, arhitekturi i zaštiti spomenika kulture, dok su novi digitalni postupci znatno proširili primjenu u npr. 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 niti kartiranje ni proučavanje površine planeta (Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, 2013-2024).

Revoluciju u načinu prikupljanja i obrade podataka predstavlja korištenje bespilotnih letjelica u fotogrametriji. Bespilotne letjelice, sa svojom fleksibilnošću, mobilnošću i naprednom tehnologijom, omogućuju brže i učinkovitije stvaranje 3D modela zgrada i terena (Slika 45). Ova tehnologija ne samo da poboljšava preciznost i detalje snimaka, već i smanjuje troškove i vrijeme potrebno za prikupljanje podataka.



Slika 45 Faze izrade 3D modela spomenika (arheon.org, 2024)

FOTOGRAMETRIJA

Fotogrametrija (foto- + -gram + -metrija) je 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.

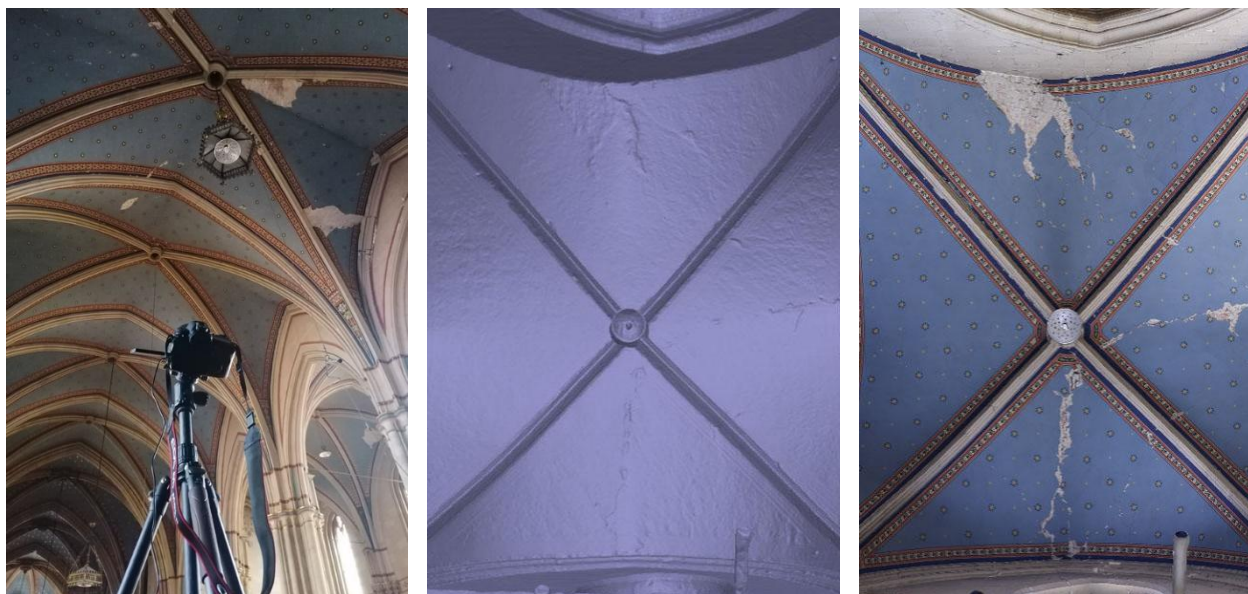
Na osnovi jedne snimke se mogu odrediti dvodimenzijaska svojstva objekta, tj. provesti potpuna rekonstrukcija približno ravnog objekta (npr. zemljišta, pročelja zgrade) ili djelomična rekonstrukcija prostornog objekta (npr. obrisa nekog predmeta). Za određivanje trodimenzijaskih svojstava objekta je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

Prema položaju snimališta se razlikuju aerofotogrametrija (Slika 46), kojom se objekti snimaju iz zrakoplova, satelita, svemirske sonde i terestrička fotogrametrija kada se objekt snima s tla (Slika 47). Za snimanje najčešće služe posebno građene i kalibrirane fotografske kamere čime se olakšava 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 46 Model dobiven na osnovi zračnih snimaka (GeoFocus, 2024)



Slika 47 Lijevo: Prikaz snimanja terestričkom fotogrametrijom (GeoFocus, 2024); sredina: Prikaz modela dobiven na osnovi terestričkih snimaka; desno: Prikaz modela s teksturom dobiven mjernom kamerom unutar Zagrebačke katedrale

Znatno su fleksibilniji postupci analitičke fotogrametrije, gdje se rekonstrukcija provodi numerički, pomoću računala. Najnoviji se postupci digitalne fotogrametrije oslanjaju na snimke učinjene digitalnim kamerama ili na naknadno digitalizirane snimke učinjene klasičnim 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 48) do onih koji teže i po par desetka kilograma. Ovisno o težini bespilotne letjelice, primjenjuju se članci Uredbe (EU) 2019/945 o sustavima bespilotnih zrakoplova i o operatorima sustava bespilotnih zrakoplova iz trećih zemalja i Uredbe (EU) 2019/947 o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova. Njima se određuje tko i pod kojim uvjetima smije upravljati bespilotnim letjelicama.



Slika 48 Ultralaka bespilotna letjelica

Specifikacije	C0	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
Osposobljenost 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 49 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 - njome se može snimati let u trajanju od oko 30 minuta; koristi se za fotografiranje terena, posebno onih teško dostupnih; upravlja se mobilnim uređajem i aplikacijom DJI FLY i njome može upravljati bilo koja osoba s osnovnim znanjem o korištenju bespilotnih letjelica
- letjelica opremljena 20 MPX RGB kamerom - služi za potrebe izrade DEM podloga, odnosno fotogrametriju terena; opremljena je RTK sustavom čime je moguće dobiti vrlo precizne podatke o lokaciji, s maksimalnim tvorničkim odstupanjem do +/- 4 cm.

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

- 3D realističnog modela predmeta (engl. 3D Reality Mesh)
- DMR (Digitalni model reljefa)
- ortofoto snimke
- ortofoto karte (u odnosu na ortofoto ima pravokutnu koordinatnu mrežu; jedinstveno mjerilo)
- oblaka točaka (engl. *Point cloud*).

Veće i bolje opremljene bespilotne letjelice se mogu 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 osnovi preklopa među snimkama je moguće dobiti ortofoto – dvodimenzijsku zračnu snimku i DMR – 3D reprezentaciju područja. Kombinacijom ortofota i DMR-a se kreira 3D model traženog područja.

Izrada snimki

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

Veličina objekta i složenost 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 se koristi bespilotna letjelica, potrebno je naći sigurno mjesto za polijetanje i slijetanje iste. Treba unaprijed isplanirati plan leta kako ne bi

bilo problema s preprekama poput drveća ili žica i kako se ne bi ostala bez baterije u presudnom trenutku.

- Jednom kada je letjelica u zraku, pomiče se oko ciljanog objekta u krugovima (Slika 50)
- Tijekom putanje snima se što više slika i to s preklapanjem oko 60 – 80 %.
- Izbjegavaju se 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 će biti automatski geolocirana te će sadržavati podatke o zemljopisnoj širini i visini kao i o nadmorskoj visini na kojoj se letjelica nalazila. Ovi podatci su ključni za računalno generiranu 3D snimku (Erhatic, 2023).



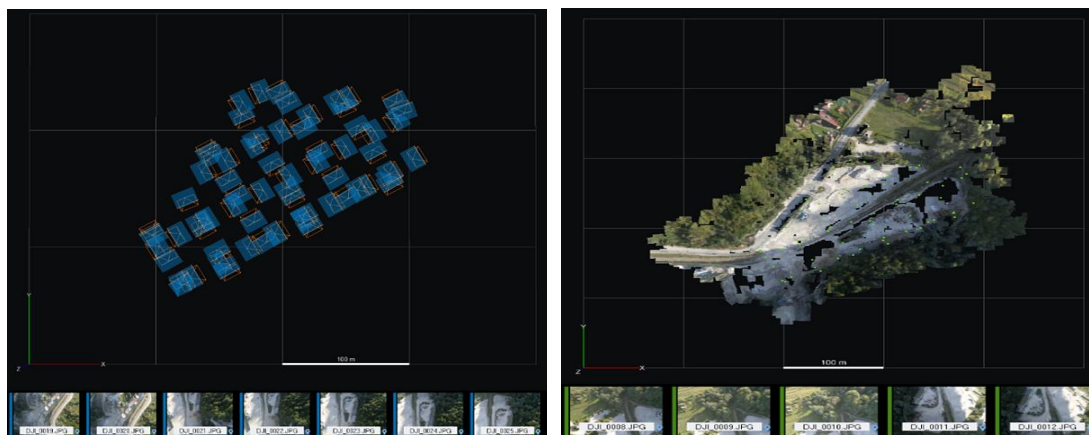
Slika 50 Putanja bespilotne letjelice s preklapanjima



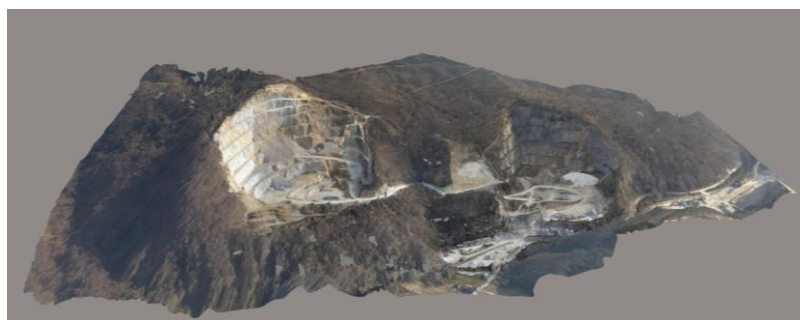
Slika 51 Bespilotna letjelica kreće na snimanje terena

Obrada podataka

Nakon što se podaci s terena prikupe snimanjem fotografija, potrebno ih je prebaciti u računalni program. Na tržištu se nalaze brojni računalni programi koji automatski preklapaju fotografije i stvaraju 3D snimku objekta.



Slika 52 Obrada podataka i stvaranje 3D modela (Rudar projekt, 2024)



Slika 53 Dovršen 3D fotogrametrijski model (Rudar projekt, 2024)

Završni proizvod

Kao završni se proizvod fotogrametrije mogu 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 54 Prikaz 3D realističnog modela s teksturom glavnog portala Katedrale Uznesenja Blažene Djevice Marije i svetih Stjepana i Ladislava (Zagrebačka katedrala) (GeoFocus, 2024)



Slika 55 Primjena fotogrametrijskog modela kod proračuna volumena deponije



Slika 56 Pročelja crkve Majke Božje Koroške (Code architect d.o.o., Arhitektonski snimak postojećeg stanja)

UVODNO O SNIMANJU 3D KAMEROM POSTOJEĆEG STANJA GRAĐEVINE

Promatrajući napredak digitalne tehnologije, u graditeljskoj se struci snimanje postojećeg stanja građevine u eksterijeru i interijeru te iscrtavanje iste znatno ubrzava.

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

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

OPIS RADA S OPREMOM

Da bi se uspješno krenulo s radom, na kameri treba instalirati i pokrenuti na mobitelu aplikaciju Matterport Capture. Za rad s 3D kamerom trebat će sljedeća oprema: a) tronožac; b) IOS mobilni uređaj (iPhone ili iPad) i c) snimanje Matterportom Pro2.



Slika 57 Kamera s tronožcem (Matterport, 2024)



Slika 58 IOS mobilni uređaj (Matterport, 2024)

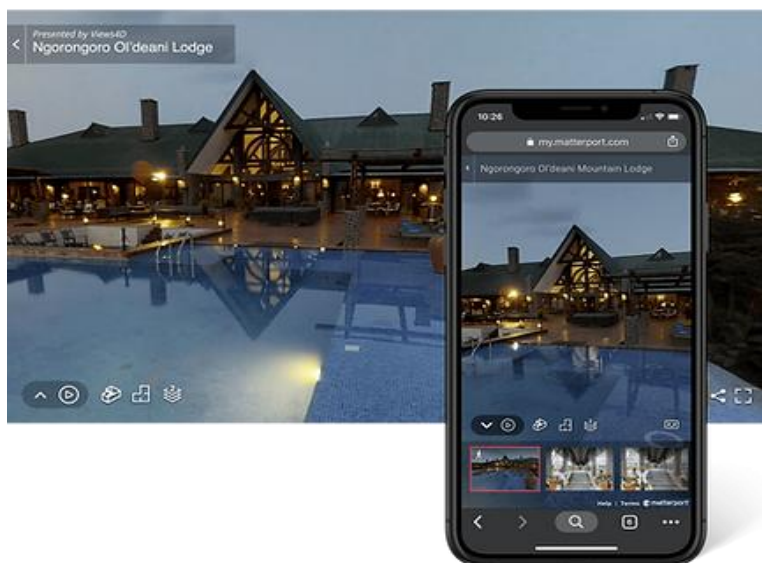


Slika 59 Snimka interijera za 360° (Dimedia nekretnine, 2024)

Skeniranje interijera i eksterijera je vrlo 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. 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 mobilnom uređaju.

Matterport Cloud je mjesto gdje se prenose 3D modeli, te ih se može uređivati, komentirati i zatim dijeliti. Modeli se mogu objaviti na društvenim mrežama, poslati e-poštom, prenijeti na Google Street View ili dodati na web stranicu. Na sljedećoj je poveznici prikazano kako izgleda takav model (demonstracijski projekti).



Slika 60 Izgled snimljenog modela (Matterport, 2024)



Slika 61 Izgled kamere na tronožcu i pogled na snimljeni interijer određene nekretnine koja služi za prodaju (Matterport, 2024)

Virtualne su šetnje interaktivne, omogućuju zainteresiranim kupcima da ih pregledaju onda kada to njima odgovara. Virtualnom se šetnjom kroz svoj novi dom budući 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 62 Iscrtavanje snimljenog prostora na mobitelu (Floor Plan Creator, 2024)



Slika 63 Prikaz tlocrta u 2D crtežu (Floor Plan Creator, 2024)



Slika 64 Prikaz tlocrta u 3D crtežu (Floor Plan Creator, 2024)



Slika 65 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 se svrhe može koristiti 3D snimanje postojećeg stanja građevine?
11. Kako se zovu 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 studijem, zainteresirani učenici trebaju napraviti snimku određenog prostora.
- U suradnji s Baldini studijem, 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.

7. 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 izrazito korisno u raznim industrijama uključujući građevinarstvo i arhitekturu. 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 mogu biti plave ili zelene.

Osnovni princip rada

Termografija se zasniva 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 termalnih kamera koje su jednostavne za korištenje i 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 precizno identificirati 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 ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) emitira infracrveno zračenje. Termografske su kamere opremljene senzorima koji detektiraju ovo zračenje i pretvaraju ga u električne signale. Ti se signali zatim obrađuju i prikazuju kao toplinske slike koje prikazuju temperaturne razlike na površini objekata.

Vrste termalnih kamera

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

- ručne termalne kamere - lako prenosive, koriste se za brze preglede na terenu (**Pogreška! Izvor reference nije pronađen.**)

- fiksne termalne kamere - postavljene na stalno mjesto za kontinuirano praćenje
- zračne termalne kamere - montirane na dronove ili zrakoplove za pregled velikih područja.



Slika 66 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. Na rezultate također mogu utjecati uvjeti poput vlage, refleksije i emisivnosti površine. 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 područjima 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 pregledi zgrada

Jedna je od najvažnijih primjena termografije u građevinarstvu procjena energetske učinkovitosti zgrada. Termalne se kamere 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 je stambenom kompleksu termografski pregled otkrio značajne toplinske gubitke na spojevima prozora i zidova. Na osnovi tih podataka su poduzete mjere za poboljšanje izolacije što je rezultiralo smanjenjem troškova grijanja za 20 %.

Identifikacija problema

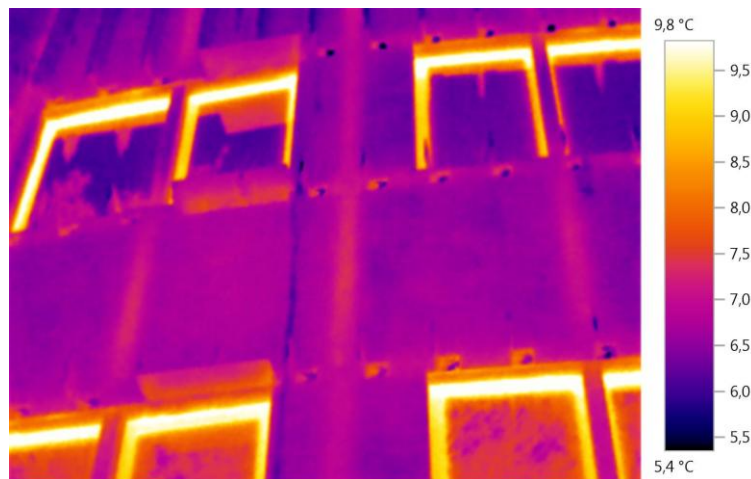
Termografija također omogućuje identifikaciju problema unutar zgrada kao što su curenje vode, vlaga ili pukotine u zidovima. Vlaga može uzrokovati razvoj plijesni i konstrukcijska oštećenja, dok pukotine mogu ukazivati na probleme u temelju ili konstrukciji zgrade.

Primjer iz prakse:

U jednoj je staroj zgradi termografski pregled otkrio prisutnost vlage u zidovima. Daljnja inspekcija je pokazala da je uzrok problema oštećena odvodna cijev. Popravak cijevi i sanacija oštećenih zidova su spriječili 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 67 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 učinkovitosti 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.

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
- 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
- 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://repozitorij.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>
- 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>
- Instead.com. (2024). <https://instead.com/>. Dohvaćeno iz <https://instead.com/blog/natural-pools-swimming-ponds/>
- Ivana Banjad Pečur, 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/Izvjesca/O TP_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.mrpvcisistem.rs/hemijaska-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/Izvjesca/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://repozitorij.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
- Tehneko. (2024). *Tehneko*. Dohvaćeno iz <https://www.tehnoeko.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/>
- zbuka.hr. (2024). <https://zbuka.hr/>. Dohvaćeno iz <https://zbuka.hr/>
- Zero waste Europe*. (2024). Dohvaćeno iz https://zerowasteeurope.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/>