

Interreg



Co-funded by
the European Union

IPA Croatia – Bosnia and
Herzegovina – Montenegro

EmBRACE

PRIRUČNIK

MODULARNA BIO-ARHITEKTURA

Autor: Vesna Zubčić, Z dizajn, Zadar

Stručno povjerenstvo: Tatjana Kos, Alma Pinjić, Danko Jakanović

Ova publikacija izrađena je uz pomoć Europske unije. Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Projekta, obrta za dizajn i marketing iz Velike Gorice (R. Hrvatska) i ni na koji način se ne može smatrati odrazom stajališta Europske unije.

Interreg



Co-funded by
the European Union

IPA Croatia – Bosnia and
Herzegovina – Montenegro

EmBRACE

HAMAG  BIORO

Zadar, 31. svibanj 2025.

BioDesign Connect – prekogranična suradnja za održivu gradnju i bioarhitekturu

Projekt BioDesign Connect okuplja tri iskusna i komplementarna partnera iz Hrvatske, Bosne i Hercegovine i Crne Gore koji dijele zajedničku viziju: jačanje kapaciteta mikro i malih poduzeća u području bioarhitekture, održive gradnje i holističkog dizajna kroz edukaciju, inovativne poslovne modele i jačanje komunikacije s ciljnim skupinama.

Korisnici su Projekt, obrt za dizajn i marketing iz Velike Gorice (Hrvatska), Modular d.o.o. iz Jablanice (Bosna i Hercegovina) te Partner Media d.o.o. iz Nikšića (Crna Gora).

Ukupna vrijednost projekta iznosi **233.889,05 EUR**, od čega se **iz Programa Interreg IPA Hrvatska – Bosna i Hercegovina – Crna Gora, EmBRACE, 2021.–2027. sufinancira 198.805,69 EUR**. Projekt se provodi u razdoblju od **04.02.2025. do 04.12.2025.**

Ukupna vrijednost projekta iznosi **233.889,05 EUR**, od čega se **iz Programa Interreg IPA Hrvatska – Bosna i Hercegovina – Crna Gora, EmBRACE, 2021.–2027. sufinancira 198.805,69 EUR**. Projekt se provodi u razdoblju od **04.02.2025. do 04.12.2025.**

ZAŠTO BIOARHITEKTURA?

U vremenu sve izraženijih klimatskih izazova, rastuće energetske nesigurnosti i promjena u načinu života, bioarhitektura – održiv, zdrav i estetski promišljen pristup oblikovanju prostora – postaje sve važniji smjer u arhitekturi i dizajnu interijera. Međutim, mnogi arhitekti, dizajneri i edukatori na prostoru Jadransko-jonske regije i dalje imaju ograničen pristup kvalitetnim izvorima znanja, alatima i prilagođenim edukacijama. Projekt BioDesign Connect nastoji odgovoriti upravo na tu prazninu.

GLAVNI CILJEVI PROJEKTA

Projekt ima za cilj:

- Jačanje znanja i vještina u bioarhitekturi kod poduzetnika i stručnjaka,
- Razvoj inovativnog poslovnog modela i digitalne platforme za edukaciju,
- Korištenje interdisciplinarnog pristupa u razvoju edukativnih i komunikacijskih alata,
- Poticanje umrežavanja i prekogranične suradnje među dionicima sektora.

KLJUČNE AKTIVNOSTI

U središtu projekta BioDesign Connect nalaze se pažljivo oblikovane aktivnosti koje odgovaraju na ključne potrebe suvremene arhitektonske i dizajnerske prakse u kontekstu održivosti, zdravlja prostora i integracije prirodnih resursa. Svaka od planiranih aktivnosti strateški je osmišljena kako bi doprinijela prijenosu znanja, razvoju kompetencija i dugoročnom utjecaju na tržište održive gradnje u regiji.

Jedan od temeljnih zadataka projekta jest izrada sveobuhvatnog seta stručnih priručnika iz područja bioarhitekture. Ukupno četiri priručnika poslužit će kao referentni alati za arhitekta, dizajnere, edukatore i sve zainteresirane dionike. U svakom od njih obrađuju se ključni aspekti održive gradnje – od upotrebe prirodnih i recikliranih materijala, preko standarda energetske učinkovitosti i zelene gradnje, pa sve do koncepta holističkog oblikovanja interijera i eksterijera. Poseban fokus stavlja se i na modularnu bioarhitekturu kao inovativni pristup koji omogućuje prilagodbu prostora suvremenim potrebama korisnika, uz očuvanje okoliša i smanjenje graditeljskog otiska.

Nakon strukturiranja sadržaja priručnika, projektni tim razvija digitalni e-learning modul koji prenosi znanja iz pisanih materijala u interaktivni, lako dostupni edukativni format. Ovaj online alat namijenjen je arhitektima, studentima i srodnim profesionalcima, a donosi suvremeni, fleksibilan način učenja o održivim praksama u arhitekturi. Platforma je koncipirana tako da omogućuje modularno učenje, interakciju s edukativnim sadržajima i samoevaluaciju znanja, čime se osigurava široka primjenjivost i dugoročna upotreba.

Kako bi se ispitala kvaliteta razvijenih alata i sadržaja, projekt uključuje pilot edukaciju koja će okupiti minimalno dvadeset korisnika iz ciljane skupine. Ova testna faza omogućit će partnerskom konzorciju da evaluiira sadržaj, tehničku funkcionalnost i obrazovni pristup, kao i da prikupi povratne informacije iz stvarnog okruženja. Povratne informacije poslužit će za dodatnu doradu i optimizaciju modula prije njegove javne objave.

Završetak projektnih aktivnosti bit će obilježen organizacijom završne konferencije na kojoj će se predstaviti svi ključni rezultati, uključujući i testnu edukaciju. Konferencija će okupiti stručnjake, predstavnike strukovnih organizacija, obrazovnih institucija i donositelje odluka, čime se osigurava šira diseminacija rezultata i uspostava novih suradničkih veza. Događaj će biti i prilika za demonstraciju rada digitalne platforme, promociju stručnih priručnika i diskusiju o daljnjoj primjeni razvijenih rješenja u različitim kontekstima – od edukacije do prakse.

Kroz ove međusobno povezane aktivnosti projekt BioDesign Connect ne stvara samo resurse i alate, već potiče promjenu paradigme u pristupu arhitekturi – prema održivijem, humanijem i znanstveno utemeljenom djelovanju koje spaja stručnost, edukaciju i regionalnu suradnju.

OČEKIVANI REZULTATI

Projekt BioDesign Connect donosi konkretne i mjerljive rezultate u skladu s ciljevima Interreg programa.

Tri zajednički razvijena rješenja – novi poslovni model, digitalna platforma BioDesign Connect Hub i stručni priručnici za bioarhitekturu – rezultat su suradnje partnera iz tri zemlje. Ova rješenja omogućit će širu primjenu održivih praksi u arhitekturi i dizajnu.

Razvijena je i pilot aktivnost: online edukacija koja će biti testirana na ciljnoj skupini, uz mogućnost daljnjeg usavršavanja na temelju evaluacije korisnika.

Sva tri MSP-a uključena u projekt uvode inovacije u procese i usluge, čime jačaju vlastite kapacitete i konkurentnost u sektoru održive gradnje.

Uz ove ključne ishode, projekt potiče međunarodnu suradnju, vidljivost i razmjenu znanja među stručnjacima iz regije.

INOVATIVNOST I DODANA VRIJEDNOST

Projekt BioDesign Connect inovativan je jer integrira:

- Edukacijske, poslovne i komunikacijske komponente u jedinstven sustav
- Interdisciplinarnu suradnju dizajnera, arhitekata i edukatora,
- Pristup usmjeren krajnjim korisnicima – praktičarima u sektoru.

Umjesto pukog prijenosa znanja, partneri razvijaju alate koji omogućuju primjenu održivih rješenja u realnom okruženju. Pristup je iterativan: priručnici se testiraju, digitalna platforma se razvija kroz korisnički feedback, a poslovni model se prilagođava prema tržišnim uvjetima.

KOME JE PROJEKT NAMIJENJEN?

- **Arhitektima i dizajnerima** koji žele raditi održivo i imati pristup najnovijim znanjima iz bioarhitekture,
- **Studentima** arhitekture, dizajna, građevine i srodnih područja,
- **Obrazovnim i javnim institucijama** koje se bave prostorom, urbanizmom i održivim razvojem,
- **Malim poduzetnicima** koji žele prepoznati potencijal zelene gradnje kao tržišne niše.

DUGOROČNA VIZIJA

Projekt BioDesign Connect postavlja temelje za:

- Nastavak suradnje partnera i širenje mreže korisnika,
- Otvaranje novih tržišta za male poduzetnike u sektoru održive gradnje,
- Uključivanje rezultata projekta u formalne i neformalne obrazovne programe,
- Promjenu načina na koji se promišlja prostor – iz estetskog u održivi, zdravi i humaniji okvir.

Projekt BioDesign Connect sufinancira Europska unija kroz Interreg IPA program prekogranične suradnje Programa Interreg IPA Hrvatska – Bosna i Hercegovina – Crna Gora, EmBRACE 2021.–2027.

SAŽETAK DOKUMENTA

Priručnik „Modularna bioarhitektura“ izrađen u okviru projekta BioDesign Connect predstavlja temeljni dokument koji sustavno obrađuje koncept modularnog pristupa u održivoj arhitekturi. Cilj priručnika je predstaviti modularnost kao jedan od ključnih elemenata suvremenog projektiranja koji odgovara na izazove današnjice – ekološke, prostorne, funkcionalne i ekonomske.

U uvodnom dijelu priručnika objašnjava se pojam modularne gradnje – kao pristupa koji koristi unaprijed definirane, standardizirane jedinice (module) za oblikovanje prostora. Modularna rješenja omogućuju fleksibilnost u oblikovanju, bržu izgradnju, ponovnu upotrebu elemenata i jednostavnije prilagodbe tijekom životnog ciklusa zgrade. Autor naglašava da se ovakva praksa izravno nadovezuje na principe održivosti jer smanjuje otpad, potrošnju resursa i štetan utjecaj na okoliš.

Drugo poglavlje obrađuje povijesni i teorijski okvir modularne arhitekture, od početaka u industrijskoj gradnji do suvremenih koncepata prefabrikacije, plug-in arhitekture i open-source dizajna. U tekstu se ističu ključni primjeri iz europske i svjetske prakse te se kritički analiziraju prednosti i ograničenja takvih pristupa.

Središnji dio priručnika posvećen je primjeni modularnosti u bioarhitekturi, posebno u kontekstu lokalnih materijala, klimatskih uvjeta i prirodnih resursa. Naglasak je na razvoju sustava koji su lako prilagodljivi različitim tipologijama prostora (stambenim, edukativnim, turističkim) te koji omogućuju kružno korištenje materijala. U tom smislu, priručnik donosi preporuke za dizajn, planiranje i implementaciju modularnih rješenja koja su u skladu s ekološkim, društvenim i ekonomskim kriterijima održivosti.

U završnom poglavlju predstavljeni su konkretni primjeri dobre prakse s prostora regije i šire Europe. Priručnik uključuje i smjernice za budući razvoj modula, preporuke za multidisciplinarni rad između arhitekata, dizajnera i inženjera, te ukazuje na potencijal digitalnih tehnologija u optimizaciji procesa (npr. BIM, parametrijsko projektiranje).

Priručnik se ističe preglednom strukturom, jasnoćom u definiranju koncepata i usmjerenošću na primjenu u edukaciji i praksi. Služi kao koristan alat za arhitekate, projektante, studente i sve dionike zainteresirane za održivu i inovativnu arhitekturu. Ujedno predstavlja važan resurs u okviru projekta BioDesign Connect, čime doprinosi diseminaciji znanja i jačanju kapaciteta u području modularne i bioarhitekture.

DOCUMENT SUMMARY

The "**Modular Bio architecture**" Handbook, developed within the **BioDesign Connect** project, serves as a foundational document that systematically addresses the concept of modular approaches in sustainable architecture. Its main goal is to present modularity as one of the key components of contemporary design, offering solutions to today's challenges – environmental, spatial, functional, and economic.

The introductory section defines **modular construction** as a method that employs pre-designed, standardized units (modules) to shape architectural spaces. Modular solutions allow for flexibility in design, faster construction, reuse of components, and easier adaptation throughout a building's lifecycle. The author emphasizes that this approach aligns directly with sustainability principles, as it reduces waste, conserves resources, and minimizes negative environmental impacts.

The second chapter explores the historical and theoretical background of modular architecture – from its origins in industrial construction to modern concepts of **prefabrication**, **plug-in architecture**, and **open-source design**. The text highlights key examples from European and global practices, providing a critical analysis of the advantages and limitations of such approaches.

The core part of the handbook focuses on the **application of modularity within bio architecture**, especially in the context of local materials, climate conditions, and natural resources. Emphasis is placed on developing systems that are easily adaptable to different spatial typologies (residential, educational, touristic) and that enable circular use of materials. In this regard, the handbook provides design recommendations, planning strategies, and implementation guidelines for modular solutions that meet ecological, social, and economic sustainability criteria.

The final chapter presents concrete case studies from the region and across Europe. It includes recommendations for future modular development, promotes interdisciplinary collaboration between architects, designers, and engineers, and highlights the potential of digital technologies (e.g., BIM, parametric design) to optimize the process.

The handbook stands out for its clear structure, concise explanation of key concepts, and its practical relevance in both education and the professional field. It serves as a valuable tool for architects, designers, students, and all stakeholders interested in sustainable and innovative architecture. Moreover, it contributes significantly to the **BioDesign Connect** project's dissemination of knowledge and capacity-building in the field of modular and bio architecture.



| | |
|--|-----|
| UVOD | 9 |
| Ciljevi priručnika | 9 |
| Kome je priručnik namijenjen? | 10 |
| Kratki pregled modularne bio-arhitekture | 11 |
| OSNOVE BIO-ARHITEKTURE | 14 |
| Definicija i povijesni kontekst | 14 |
| Temeljna načela bio-arhitekture (prirodnost, zdravlje, održivost) | 15 |
| Razlika između održive i biofilne arhitekture | 17 |
| Utjecaj prostora na ljudsko zdravlje i dobrobit | 19 |
| MODULARNA ARHITEKTURA – PRISTUP I TEHNIKE | 22 |
| Što je modularnost u gradnji i dizajnu? | 22 |
| Prednosti modularnog pristupa (vremenska, financijska, konstrukcijska) | 24 |
| Vrste modula (strukturni, funkcionalni, mobilni, interijerski) | 26 |
| Načini povezivanja i slaganja modula (horizontalno, vertikalno, kombinirano, rasterno) | 28 |
| Primjeri fleksibilnih tlocrtnih rješenja | 31 |
| ODRŽIVI MATERIJALI I TEHNIKE GRADNJE | 33 |
| Popis i karakteristike ekoloških materijala (drvo, glina, konoplja, slama, glineni premaz, prirodna izolacija) | 33 |
| Načini odabira materijala prema lokaciji i klimi | 36 |
| Tehnike građenja koje podupiru bio-arhitekturu (npr. zemljane tehnike, CLT paneli, slamnate bale, pasivni sistemi) | 39 |
| Zemljane tehnike: gradnja iz tla pod nogama | 39 |
| CLT paneli: križno lamelirano drvo kao jezgra suvremene bio-arhitekture | 41 |
| Gradnja slamnatim balama: arhitektura iz polja | 43 |
| Pasivni sustavi: suživot s okolišem bez mehanike | 44 |
| BIOKLIMATSKI PRINCIPI I ENERGETSKA UČINKOVITOST | 47 |
| Analiza mikroklimе i orijentacije | 47 |
| Pasivni i aktivni sustavi (ventilacija, grijanje, hlađenje) | 50 |
| Ugradnja obnovljivih izvora energije (solarni paneli, toplinske pumpe) | 51 |
| Zeleni krovovi, prikupljanje vode, kompostiranje | 53 |
| BIOFILNI INTERIJER I MODULARNI DIZAJN | 56 |
| Elementi biofilnog dizajna: prirodna svjetlost, materijali, boje, biljke | 56 |
| Dizajn interijera u modularnom sustavu – fleksibilni elementi | 58 |
| Zdravi interijeri: kvaliteta zraka, netoksični materijali, akustika | 60 |
| Multifunkcionalni namještaj i prostorni elementi | 62 |
| Prijenosnost i reciklaža interijera | 64 |
| DIZAJNERSKI PROCES I METODOLOGIJA | 67 |
| Kako započeti projekt modularne bio-arhitekture | 67 |
| Koraci: analiza lokacije – definiranje potreba – ekološki koncept – izvedba | 69 |
| Sudjelovanje korisnika i participativni dizajn | 71 |
| Digitalni alati i BIM pristupi za modularnu arhitekturu | 73 |
| STUDIJE SLUČAJA | 77 |
| Primjeri uspješnih modularnih bio-arhitektonskih projekata (iz Hrvatske, EU i svijeta) | 77 |
| | 95 |
| Presjek projektnih faza, korištenih materijala, izazova i rješenja | 102 |
| SMJERNICE I PREPORUKE | 105 |
| Checklista za projektiranje modularne bio-arhitekture | 105 |
| Standardi i certifikati (npr. LEED, WELL, Cradle to Cradle) | 106 |
| Regulatorni okviri i zakonski uvjeti | 109 |

| | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Preporučena literatura i alati | 114 |
| Preporučena literatura i izvori:..... | Error! Bookmark not defined. |

Ciljevi priručnika

Ovaj priručnik nastao je iz potrebe da se arhitektima i dizajnerima interijera ponudi cjelovit, sustavno strukturiran i praktično primjenjiv izvor znanja koji će ih voditi kroz kompleksan, ali iznimno važan proces projektiranja u skladu s načelima modularne bio-arhitekture. U kontekstu sve intenzivnijih klimatskih promjena, rastućih izazova urbanizacije, sve većeg pritiska na prirodne resurse i promjena u životnim stilovima suvremenog čovjeka, arhitektura više ne može biti samo formalna disciplina. Ona mora preuzeti aktivnu i odgovornu ulogu u stvaranju prostora koji ne štete okolišu, već ga obogaćuju; prostora koji ne ugrožavaju zdravlje ljudi, već ga potiču; prostora koji nisu rigidni i jednokratni, već fleksibilni, modularni i dugoročno održivi.

Cilj ovog priručnika je stoga trostruk: **edukativan, inspirativan i operativan**. Priručnik nudi teorijsku podlogu za razumijevanje osnovnih principa bio-arhitekture i modularnog dizajna, ističe važnost interdisciplinarnog pristupa u projektiranju i pruža konkretne alate, smjernice i primjere za primjenu u praksi. On ne pretendira biti sveobuhvatni akademski udžbenik, već **primijenjeni vodič** koji će arhitektima i dizajnerima omogućiti da unaprijede vlastiti proces projektiranja – bilo da su na početku karijere ili već iskusni stručnjaci u potrazi za novim metodama rada.

Priručnik također odgovara na ključna pitanja suvremene arhitektonske i dizajnerske prakse: Kako projektirati fleksibilne objekte koji se lako prilagođavaju promjenjivim potrebama korisnika? Kako izbjeći štetne materijale i odabrati zdrave, prirodne i lokalne resurse? Kako integrirati prirodne elemente u interijer i eksterijer bez gubitka funkcionalnosti? Kako stvoriti prostorne jedinice koje su dostupne, modularne i lako prenosive, a pritom zrače estetskom jednostavnošću i tehnološkom sofisticiranošću?

U širem smislu, cilj priručnika je potaknuti promjenu paradigme u načinu na koji razmišljamo o prostoru. Umjesto da se prostor promatra kao statična pozornica za svakodnevne radnje, bio-arhitektura predlaže prostor kao **živo, promjenjivo, regenerativno okruženje** koje se razvija zajedno s korisnicima i okolišem. Modularni aspekt tome dodatno doprinosi jer omogućuje ponovnu uporabu, reciklažu, lakoću montaže i demontaže, faznu gradnju te smanjenje građevinskog otpada.

Jedna od ključnih ambicija ovog priručnika je i **demistifikacija pojmova** koji su često korišteni u stručnoj i marketinškoj literaturi, ali rijetko konkretizirani – poput „zeleno“, „održivo“, „ekološko“ ili „biofilno“. Kroz jasno definirane koncepte, praktične primjere i analizu projekata, korisnicima se nudi razumljiv uvid u ono što modularna bio-arhitektura jest i, jednako važno, što ona nije. Time se otvara prostor za profesionalnu odgovornost i kritičko razmišljanje o kvaliteti gradnje i dizajna, s posebnim naglaskom na **ljudsku mjeru, lokalni kontekst i planetarni utjecaj**.

Još jedan važan cilj priručnika je **promicanje suradnje** među strukama. Modularna bio-arhitektura ne može se ostvariti izolirano – ona zahtijeva suradnju između arhitekata, inženjera, dizajnera interijera, ekologa, građevinara, stručnjaka za energetske učinkovitost, proizvođača materijala i krajnjih korisnika. Zato priručnik uključuje primjere timskog rada, integriranog projektiranja i participativnog pristupa u kojem krajnji korisnici postaju sukreatori prostora.

Također, priručnik ima za cilj otvoriti prostor za **eksperiment i inovaciju**. Modularna bio-arhitektura, iako često povezana s tradicionalnim i prirodnim materijalima, ne isključuje tehnologiju – naprotiv, ona je koristi promišljeno i svrhovito. Kroz poglavlja o digitalnim alatima, bioklimatskoj analizi i pametnim rješenjima za uštedu energije, čitatelji će se upoznati s najnovijim inovacijama koje obogaćuju projektantski proces bez kompromitiranja osnovnih vrijednosti održivosti.

U obrazovnom smislu, priručnik je osmišljen tako da bude **dostupan i razumljiv širokom spektru korisnika** – od studenata arhitekture i dizajna, preko projektanata koji rade u uredima, do samostalnih dizajnera i entuzijasta koji žele implementirati ove principe u vlastite projekte. Njegova struktura omogućuje da se sadržaj koristi kao linearno štivo, ali i kao referentni vodič

kojem se korisnik može vraćati prema tematskim poglavljima, ovisno o fazi projektiranja ili specifičnom problemu koji želi riješiti.

Priručnik također ima cilj poduprijeti **razvoj lokalne, odgovorne arhitekture i dizajna** u hrvatskom i regionalnom kontekstu. Premda su globalne inspiracije i standardi prisutni, naglasak je na mogućnostima koje nude naši klimatski uvjeti, raspoloživi prirodni resursi, tradicijske tehnike gradnje i kulturni obrasci koji se mogu reinterpretirati u suvremenom kontekstu. Time se potiče ne samo stvaranje održivih prostora, već i očuvanje identiteta, lokalne proizvodnje i društvene kohezije.

U konačnici, ovaj priručnik želi biti **katalizator promjene** – od načina na koji arhitekti i dizajneri pristupaju prostoru, preko izbora materijala i tehnologija, sve do oblikovanja svakodnevnog života korisnika koji borave u takvim prostorima. Modularna bio-arhitektura nije samo tehnička inovacija – ona je izraz filozofije življenja koja spaja prirodu i kulturu, čovjeka i okoliš, funkcionalnost i ljepotu, tehnologiju i duhovnost.

Zato je glavni cilj ovog priručnika potaknuti korisnike da ne traže gotova rješenja, već da razviju **osobni i profesionalni kompas za promišljeno projektiranje** – kompas koji ih vodi prema održivijem, humanijem i povezanijem obliku stvaranja prostora.

Kome je priručnik namijenjen?

Ovaj priručnik osmišljen je kao stručno i inspirativno štivo namijenjeno svima koji se profesionalno, akademski ili praktično bave oblikovanjem prostora, ali i onima koji taj prostor koriste, interpretiraju ili o njemu donose strateške odluke. Iako su **arhitekti i dizajneri interijera** primarna ciljna skupina, sadržaj priručnika oblikovan je tako da odgovara i **inženjerima građevine, urbanistima, planerima, studentima arhitekture i dizajna, istraživačima, kulturnim djelatnicima, donositeljima politika**, ali i **investitorima, privatnim naručiteljima, izvođačima te entuzijastima održivog življenja**.

U kontekstu sve veće međusobne isprepletenosti struka, jasno je da projektiranje prostora više ne može biti ograničeno isključivo na formalne, estetske ili tehničke aspekte. Pristupi koji se bave bio-arhitekturom zahtijevaju **interdisciplinarnost, otvorenost prema novim znanjima, suradnju s lokalnom zajednicom** i sposobnost da se uzmu u obzir klimatski, ekološki, društveni i kulturni konteksti. Stoga ovaj priručnik nije pisan samo kao alat za rješavanje tehničkih izazova, nego i kao **poziv na dijalog**, na promjenu perspektive i proširenje razumijevanja arhitekture kao prakse koja oblikuje život.

Za **arhitekta** – bilo da se radi o samostalnim autorima, članovima projektantskih ureda ili zaposlenicima u javnom sektoru – priručnik nudi sustavan pregled metoda i alata za projektiranje modularne bio-arhitekture, s posebnim naglaskom na održivost, fleksibilnost i lokalnu odgovornost. Kroz konkretne smjernice, primjere i analize, arhitektima se pruža oslonac u svakodnevnom radu, osobito u situacijama kada se susreću s ograničenjima lokacije, budžeta ili dostupnih resursa, ali i kada žele stvoriti prostorna rješenja koja nadilaze standardne tipologije.

Za **dizajnere interijera**, priručnik otvara nova vrata razumijevanja odnosa između čovjeka i prostora – ne samo u estetskom, već i u psihološkom, biološkom i emocionalnom smislu. Biofilni interijer, prirodni materijali, zdrava mikroklima, fleksibilni i multifunkcionalni elementi postaju temelj oblikovanja interijera koji istovremeno potiče produktivnost, opuštanje, kreativnost i povezanost s prirodom. Priručnik pruža i konkretne prijedloge kako osmisliti interijer koji je kompatibilan s modularnim sistemima gradnje, te kako oblikovati unutarnji prostor koji „diše“ zajedno s korisnicima.

Studenti arhitekture, dizajna, građevine i srodnih područja mogu ovaj priručnik koristiti kao vodič koji ih uvodi u kompleksni svijet suvremenog projektiranja – ali kroz prizmu odgovornosti, održivosti i inovativnosti. Umjesto fragmentiranog pristupa koji često dominira akademskim kurikulumima, ovdje je fokus stavljen na integraciju znanja: kako teorijska znanja pretočiti u konkretna rješenja, kako razvijati projektne koncepte utemeljene na stvarnim problemima i kako naučiti promišljati prostor iz više perspektiva. Također, priručnik pruža podršku u razvoju

autorskog glasa, istraživačkog duha i sposobnosti kreativnog prilagođavanja izazovima budućnosti.

Za **građevinske inženjere i tehničko osoblje**, sadržaj priručnika može poslužiti kao dopuna tradicionalnim pristupima građenju, osobito u kontekstu razumijevanja principa modularnosti, kružne ekonomije i specifičnih tehničkih zahtjeva održivih materijala. Premda tehnički detalji nisu u prvom planu, priručnik naglašava važnost kvalitetne suradnje između struka, pravilnog prenošenja ideje u izvedbu, te integraciju novih tehnologija s prirodnim rješenjima. Inženjeri koji rade na razvoju sustava montaže, infrastrukture i energetske rješenja ovdje mogu pronaći smjernice koje im pomažu u razumijevanju cjelokupnog koncepta modularne bio-arhitekture.

Za **istraživače i akademsku zajednicu**, ovaj priručnik predstavlja vrijedan doprinos u polju koje još uvijek nije u potpunosti definirano, ali koje ubrzano raste. Bio-arhitektura i modularni dizajn pružaju široki prostor za znanstvena istraživanja – od utjecaja prostora na zdravlje i ponašanje korisnika, preko performansi prirodnih materijala, do analize učinkovitosti modularnih sustava u urbanim i ruralnim kontekstima. Priručnik je koncipiran tako da bude poticaj za daljnja istraživanja i doprinos znanstvenim radovima, temama diplomskih i doktorskih disertacija te razvoju interdisciplinarnih projekata.

Za **donositelje politika**, lokalne samouprave i upravljačka tijela u području prostornog planiranja, priručnik nudi argumente i smjernice za donošenje odluka koje uključuju načela održivosti, otpornosti i društvene odgovornosti. Implementacija modularne bio-arhitekture u okviru javnih investicija, društvenog stanovanja, obnove ruralnih područja ili razvoja turističke infrastrukture može donijeti dugoročne koristi za zajednicu, okoliš i gospodarstvo. Priručnik potiče i promišljanje novih modela financiranja, javno-privatnog partnerstva i participativnog planiranja.

Za **investitore, developere i privatne naručitelje**, priručnik donosi jasan pregled prednosti modularnog pristupa: kraće vrijeme izgradnje, kontrolirani troškovi, mogućnost fazne gradnje, manji utjecaj na okoliš, brža povratna investicija i pozitivan imidž brenda. Također, jasno se objašnjavaju i izazovi, poput potrebe za preciznijim planiranjem, dostupnosti materijala ili edukacije tržišta. Investitori koji razmišljaju dugoročno, sve više prepoznaju da arhitektura koja integrira održivost i fleksibilnost donosi konkurentsku prednost i dodanu vrijednost – kako u financijskom, tako i u društvenom smislu.

Za **proizvođače građevinskih materijala, opreme i namještaja**, priručnik može poslužiti kao smjernica u razvoju novih proizvoda koji odgovaraju na potrebe modularne bio-arhitekture – proizvoda koji su lako prenosivi, prilagodljivi, izrađeni od prirodnih i recikliranih sirovina, dugotrajnog vijeka trajanja i s niskim ugljičnim otiskom. Suradnja između projekatanta i proizvođača ključna je za uspjeh u ovom području, a priručnik teži potaknuti upravo takvu sinergiju.

Za **korisnike prostora, stanovnike, entuzijaste prirodnog graditeljstva** i sve one koji žele graditi ili adaptirati vlastite prostore u skladu s prirodom, priručnik može biti vodič koji pojašnjava procese, materijale i vrijednosti koje stoje iza modularne bio-arhitekture. Iako nije pisan u formi samograditeljskog priručnika, jasnoća jezika, ilustrativni primjeri i konkretne smjernice čine ga dostupnim i onima koji nemaju formalno obrazovanje u struci, ali imaju izraženu želju da žive u zdravijem, prirodnijem i smislenije oblikovanom prostoru.

Napokon, priručnik je namijenjen i svima onima koji žele preispitati vlastiti pristup radu, promijeniti navike projektiranja, dizajniranja i građenja, razviti nove načine razmišljanja i sudjelovati u stvaranju arhitekture 21. stoljeća – arhitekture koja poštuje prirodne cikluse, slavi raznolikost, podržava regeneraciju i aktivno doprinosi dobrobiti svih živih bića.

Kratki pregled modularne bio-arhitekture

Modularna bio-arhitektura predstavlja spoj dvaju moćnih i komplementarnih pristupa u suvremenom projektiranju prostora: s jedne strane modularne gradnje, koja se temelji na principima fleksibilnosti, serijske proizvodnje, učinkovitosti i prenosivosti; a s druge strane bio-

arhitekture, koja prioritizira održivost, zdravlje korisnika, poštovanje prirodnih ciklusa i suživot s okolišem. Ovaj spoj nije samo tehnička inovacija, već kulturna i društvena promjena u načinu na koji promišljamo, oblikujemo i koristimo prostor. U svom temelju, modularna bio-arhitektura nastoji stvoriti prostorne strukture koje su **prirodne, prilagodljive i odgovorne** – prema ljudima, prirodi i vremenu.

U povijesnom smislu, ideja o modularnosti nije nova. Tradicijske arhitekture diljem svijeta koristile su principe ponovljivosti, proširivosti i demontaže mnogo prije pojave suvremenih građevinskih tehnologija. Primjeri poput japanskih kuća s tatami modulima, nomadskih šatora u središnjoj Aziji, modularno složenih drvenih kuća u nordijskim zemljama ili čak naših gorskih stanova i prenosivih ljetnih nastambi, svjedoče o dubokoj vezi između arhitekture i koncepta modularnosti. S druge strane, prirodno graditeljstvo – koje danas nazivamo bio-arhitekturom – kroz stoljeća se razvijalo kao odgovor na lokalne klimatske uvjete, dostupnost resursa i potrebe zajednice. Glina, drvo, kamen, slama, vapno, konoplja i drugi biološki materijali bili su osnova građevne logike koja je integrirala gradnju u širi ekosustav.

Suvremena modularna bio-arhitektura nastavlja tu tradiciju, ali je reinterpreтира u kontekstu današnjih izazova i mogućnosti. Njezina ključna inovacija nije u izumu novih materijala ili formi, već u **sintetiziranju različitih znanja**, povezivanju tradicionalnog i suvremenog, prirodnog i tehnološkog. Ovaj pristup ne teži unifikaciji prostora, nego njegovoj raznolikosti, prilagodbi i otvorenosti za budućnost. On ne počiva na ideji arhitekture kao gotovog proizvoda, već kao **procesa koji je u dijalogu s korisnikom, prirodom i vremenom**.

U tehničkom smislu, modularna arhitektura podrazumijeva sustav gradnje temeljen na **predgotovljenim jedinicama (modulima)** koje se proizvode u kontroliranim uvjetima i potom montiraju na lokaciji. Takav pristup donosi brojne prednosti: skraćeno vrijeme gradnje, manju količinu građevinskog otpada, višu preciznost u izradi, mogućnost standardizacije bez gubitka kreativnosti, te niže troškove u dugoročnom održavanju. Moduli mogu biti strukturni (npr. osnovni volumeni kuće), funkcionalni (sanitarni blokovi, kuhinjski elementi), interijerski (namještaj, pregrade) ili hibridni, a mogu se kombinirati horizontalno i vertikalno, prilagođavati terenima i mijenjati tijekom vremena.

Kada se modularni princip poveže s bio-arhitektonskim vrijednostima, nastaje pristup koji ne teži samo funkcionalnosti i estetici, nego i **ekološkoj ravnoteži**. Bio-arhitektura, u ovom kontekstu, nije puka dekoracija prostora s biljkama ili simboličko korištenje „zelenih“ termina, nego duboka etička i stručna orijentacija prema stvaranju prostora koji podržava **življenje u skladu s prirodnim zakonitostima**. Takvi prostori omogućuju optimalnu razinu osvjetljenosti i ventilacije, izrađeni su od netoksičnih i prirodnih materijala, podržavaju regeneraciju okoliša i zdravlje korisnika te se često oslanjaju na obnovljive izvore energije i zatvorene sustave kruženja resursa.

Modularna bio-arhitektura ističe se i u svojoj **adaptabilnosti**. U vrijeme kada su potrebe korisnika sve promjenjivije – od rada na daljinu, promjena u obiteljskim strukturama, migracija, do brze urbanizacije i katastrofa – modularni sustavi omogućuju arhitekturi da se prilagođava. Prostor više nije trajna, nepromjenjiva struktura, već živi organizam koji se širi, reducira, premješta, reciklira i ponovo koristi. Ta fleksibilnost nije samo tehnička prednost, već i filozofska poruka: prostor se oblikuje zajedno s korisnicima, umjesto da im se nameće kao gotov okvir.

Jedan od ključnih doprinosa modularne bio-arhitekture je i njezina sposobnost da odgovori na potrebe **ruralnog razvoja, kriznog stanovanja, pristupačnog stanovanja i turističke infrastrukture**. U kontekstu Hrvatske, modularne bioarhitektonske jedinice mogu biti od presudnog značaja za revitalizaciju sela, obnovu potresom pogođenih područja, razvoj ekoturističkih smještaja, stvaranje coworking i coliving prostora, te oblikovanje edukativnih centara i prirodnih škola. Ovaj pristup omogućuje brzu i održivu intervenciju na terenu, pri čemu se poštuje identitet kraja, koristi lokalna radna snaga i potiče kružno gospodarstvo.

Također, modularna bio-arhitektura promiče **novu ekonomiju prostora** – gdje je vrijednost građevine mjerena ne samo kroz kvadraturu ili tržišnu cijenu, već i kroz njezin životni ciklus,

ekološki otisak, sposobnost ponovne upotrebe, društvenu relevantnost i emocionalnu vrijednost za korisnike. Takva arhitektura često koristi inovativne modele vlasništva, razmjene i participacije, a njezina implementacija potiče suradnju između različitih sektora – od javnog i privatnog, do akademskog i civilnog društva.

U projektantskom smislu, modularna bio-arhitektura potiče drugačiji način rada. Umjesto linearnog procesa (ideja – izvedbeni projekt – gradnja), ona se temelji na **iterativnom, kolaborativnom pristupu**, u kojem se rješenja razvijaju u dijalogu s korisnicima, prirodom, tehnologijama i ekonomskim mogućnostima. Projektiranje postaje proces istraživanja, testiranja, povratnih informacija i neprestanog poboljšavanja. U tom kontekstu, digitalni alati poput Building Information Modeling (BIM), algoritamskog dizajna i parametarskog modeliranja nisu dodatak, već sastavni dio rada.

Važna komponenta modularne bio-arhitekture je i **edukativna i kulturna dimenzija**. Takva arhitektura ne stvara samo prostor, već i podiže svijest o drugačijem načinu življenja – usporenijem, pažljivijem, usmjerenom na zajednicu, prirodu i kvalitetu odnosa. Ona postaje medij za edukaciju o održivosti, prostoru kao resursu, značaju lokalnog znanja i nužnosti promjene potrošačkog mentaliteta. U tom smislu, ona ne djeluje samo na fizičkoj, već i na simboličkoj razini – kao arhitektura koja komunicira vrijednosti koje predstavlja.

Napokon, modularna bio-arhitektura je i **politička izjava**. U vremenu kada je prostor sve skuplji, a pristup kvalitetnom stanovanju sve ograničeniji, modularna i biofilna rješenja mogu ponuditi alternativne modele koji uključuju veći broj ljudi, smanjuju ovisnost o velikim infrastrukturnim sustavima i osnažuju lokalne zajednice. Kroz projekte koji povezuju lokalnu proizvodnju, zelenu energiju, prirodne materijale i zajedničko upravljanje prostorom, modularna bio-arhitektura postaje alat za **demokratizaciju arhitekture** – arhitekture koja nije luksuz, već pravo.

U sažetku, modularna bio-arhitektura predstavlja **novi pravac u projektiranju prostora** – pravac koji ne teži spektakularnosti, nego održivosti; koji ne glorificira kvadrate, nego odnose; koji ne misli samo na danas, već i na sutra. Kroz ovaj priručnik, nastojat ćemo taj pravac ne samo pojasniti i argumentirati, već i osnažiti sve koji žele njime zakoračiti – bilo kroz projektiranje, gradnju, korištenje ili istraživanje prostora.

OSNOVE BIO-ARHITEKTURE

Definicija i povijesni kontekst

Bio-arhitektura je pristup projektiranju i gradnji koji se temelji na dubokom poštovanju prema prirodi, čovjeku i njihovom međusobnom odnosu. U svojoj srži, bio-arhitektura nastoji stvoriti prostore koji su usklađeni s prirodnim ciklusima, izrađeni od zdravih, lokalnih i obnovljivih materijala, energetske učinkoviti i regenerativni, te koji pozitivno utječu na fizičko, emocionalno i mentalno zdravlje svojih korisnika. U odnosu na klasičnu arhitekturu, koja često polazi od funkcionalnih i estetskih zahtjeva, bio-arhitektura uvodi **ekološku, etičku i holističku dimenziju**, stavljajući naglasak na **održivost, suživot i povratak prirodnim načelima građenja**. Sam pojam „bio-arhitektura“ (od grč. „bios“ – život) počeo se koristiti krajem 20. stoljeća, ponajprije u kontekstu ekoloških pokreta i reakcije na negativne posljedice modernističke arhitekture, industrijalizirane gradnje i globalizacije građevinskog tržišta. No, iako je kao koncept relativno mlad, **ideja bio-arhitekture je drevna** – duboko ukorijenjena u tradicijama graditeljstva koje su tisućljećima stvarale prostore u skladu s lokalnom klimom, resursima i društvenim vrijednostima.

Kroz povijest, gotovo sve kulture svijeta razvile su oblike arhitekture koji su danas, s distance i novim znanjima, prepoznati kao bio-arhitektonski. Od adobe kuća u pustinjama Meksika, preko zemljanih i slamnatih nastambi u Africi, drvenih kuća u Skandinaviji, šumskih koliba istočne Europe, planinskih sela u Himalaji, do kamenih kuća na obalama Mediterana – svaka je regija razvila svoj oblik **prirodnog graditeljstva**, koji je istovremeno bio funkcionalan, trajan i u ravnoteži s okolišem. Zajedničke karakteristike ovih tradicijskih građevina su: korištenje lokalnih materijala, orijentacija prema suncu i vjetru, pasivno grijanje i hlađenje, debeli zidovi za akumulaciju topline, prirodna ventilacija, te zajednički sustavi građenja koji su uključivali cijelu zajednicu.

Početak 20. stoljeća, s pojavom industrijske revolucije i modernističkog pokreta u arhitekturi, došlo je do radikalne promjene u načinu na koji se prostor promišlja i gradi. Beton, čelik i staklo postaju dominantni materijali, a funkcionalnost i univerzalnost glavne arhitektonske vrijednosti. Arhitektura se počinje odvajati od lokalnog konteksta i postaje simbol tehničkog napretka, moći i uniformnosti. Ova „internacionalna arhitektura“ zanemaruje prirodne uvjete, klimatske specifičnosti i kulturne korijene, zamjenjujući ih tipiziranim rješenjima koja su često bila energetske intenzivna, neprilagođena i neodrživa. U tom razdoblju dolazi do **naglog porasta potrošnje energije, degradacije okoliša i smanjenja kvalitete unutarnjeg okoliša**.

Reakcija na ovaj trend počinje 1960-ih i 1970-ih, kroz pokrete poput **ekološke arhitekture, organske arhitekture, zelenog graditeljstva**, a kasnije i **biofilnog dizajna**. Pioniri kao što su **Frank Lloyd Wright, Paolo Soleri, Friedensreich Hundertwasser, Sim Van der Ryn, Ken Yeang, Rudolf Doernach** i mnogi drugi počinju istraživati načine na koje arhitektura može ponovno postati povezana s prirodom. Neki od njih zagovaraju potpunu integraciju arhitekture u krajolik, drugi eksperimentiraju s biomimetičkim formama, treći se vraćaju prirodnim materijalima, dok četvrti razvijaju standarde za energetske učinkovitost i zdravu unutarnju klimu. U tom kontekstu, **bio-arhitektura se profilira kao specifičan pravac** koji obuhvaća više dimenzija: ekološku (korištenje obnovljivih resursa, minimalan utjecaj na okoliš), zdravu (netoksični materijali, kvaliteta zraka i svjetlosti), estetsku (harmonija s prirodom), tehnološku (primjena pasivnih i aktivnih sustava) i društvenu (uključenost zajednice, lokalna proizvodnja, kružno gospodarstvo). Ona teži **cjelovitom pristupu**, u kojem se prostor projektira i gradi kao **produžetak prirodnih procesa**, a ne kao izolirani entitet.

U posljednja dva desetljeća, s jačanjem svijesti o klimatskim promjenama i utjecaju građevinskog sektora na okoliš (koji globalno generira oko 40% ukupne emisije CO₂), bio-arhitektura se sve više promatra kao **nužan pristup**, a ne kao nišna praksa. Nove regulative, međunarodni standardi (LEED, BREEAM, WELL, DGNB), europske strategije (Zeleni plan, Renovation Wave), nacionalni propisi o energetske učinkovitosti i cirkularnoj gradnji, sve više

potiču razvoj arhitekture koja poštuje principe održivosti. U tom procesu, bio-arhitektura dobiva i institucionalnu podršku, ulazi u obrazovne kurikulume i postaje predmet istraživačkih i interdisciplinarnih projekata.

U isto vrijeme, u praksi se sve više afirmiraju arhitekti i uredi koji promiču bio-arhitektonske vrijednosti. Projekti održivih škola, ekoloških naselja, prirodnih kuća, energetske neovisne kabine i modularnih sustava za hitno stanovanje pokazuju da je ovaj pristup itekako primjenjiv – čak i u zahtjevnim urbanim ili gospodarski izazovnim kontekstima. Razvoj digitalnih alata, naprednih biokompozita, 3D printanja prirodnim materijalima i pametnih sustava upravljanja dodatno proširuje mogućnosti bio-arhitekture i čini je tehnološki konkurentnom klasičnim pristupima.

Važno je naglasiti da **bio-arhitektura nije dogmatski ni univerzalni sustav** – ona se ne oslanja na jedan stil, formu ili tipologiju. Umjesto toga, ona je **pristup, način razmišljanja, dizajnerska filozofija**. U nekim projektima ona može biti vidljiva kroz eksterijer obraslim zelenim fasadama i zemljanim krovovima, u drugima kroz nevidljive sustave pasivne ventilacije, zdravu mikroklimu i materijale bez štetnih emisija. U nekim kontekstima bit će utemeljena na tradiciji, a u drugima na visokim tehnologijama. Uvijek, međutim, ostaje vjerna svojim temeljnim načelima: **poštuj prirodu, projektiraj za čovjeka, misli dugoročno**.

Kao takva, bio-arhitektura se sve više promatra i kao **kulturna praksa**, oblik otpora prevladavajućim obrascima prekomjerne potrošnje, betonizacije i otuđenja čovjeka od prirode. Ona afirmira **prostor kao vrijednost, zajednicu kao nositelja promjene, a održivost kao svakodnevnu praksu**, a ne kao luksuz. U svijetu koji se suočava s ekološkom krizom, migracijama, nejednakostima i gubitkom identiteta prostora, bio-arhitektura postaje ne samo odgovor, nego i poziv na novu viziju društva – viziju u kojoj je prostor regenerativan, etičan i ispunjen smislom.

U tom duhu, priručnik koji držite u rukama polazi upravo od ove vizije. Njegov cilj nije samo prezentirati tehničke aspekte bio-arhitekture, nego i ponuditi razumijevanje njezine **povijesti, filozofije i značenja**. Kroz kombinaciju tradicije i suvremenosti, prirodnog i tehnološkog, individualnog i zajedničkog, otvara se prostor za nove načine projektiranja koji ne služe samo formi, već i **životu – biosu – u najdubljem smislu riječi**.

Temeljna načela bio-arhitekture (prirodnost, zdravlje, održivost)

Bio-arhitektura kao pristup ne temelji se na jedinstvenoj metodologiji, stilu ili estetskom izrazu, već na sustavu vrijednosti koji oblikuje način na koji arhitektura djeluje na ljude, okoliš i društvo. Iako se u praksi može očitovati kroz različite oblike – od zemljanih kuća i zelenih krovova do suvremenih objekata s pametnim tehnologijama – srž bio-arhitekture ostaje nepromijenjena: ona je arhitektura **života**, arhitektura koja uvažava i poštuje **prirodne procese, zdravlje ljudi i održivu budućnost**. Ta se temeljna načela mogu obuhvatiti trima osnovnim stupovima: **prirodnost, zdravlje i održivost**. Njihova međusobna povezanost čini osnovu svakog bio-arhitektonskog koncepta, a njihovo razumijevanje ključno je za projektiranje prostora koji istinski djeluje u skladu s načelima života.

1. Prirodnost: Povratak iskonskom odnosu s okolišem

Prirodnost u kontekstu bio-arhitekture ne znači samo korištenje prirodnih materijala ili stvaranje prostora koji „izgleda“ prirodno. Riječ je o dubljem konceptu koji podrazumijeva **usuglašenost građevine s prirodnim zakonitostima, respekt prema okolišu, prirodnim ritmovima, mikroklimi, topografiji, vegetaciji i ekološkoj mreži** unutar koje arhitektura nastaje i djeluje.

Arhitektura koja je prirodna integrira se u pejzaž tako da ne dominira, već se staplja s okolišem. To znači izbjegavanje agresivnih zahvata u tlo, poštivanje postojećih stabala, korištenje materijala koji su lokalno dostupni i koji imaju mali utjecaj na ekosustav. Takva arhitektura diše s prirodom – ona koristi orijentaciju prema suncu za pasivno grijanje, otvara se prema povoljnim vjetrovima za ventilaciju, štiti se od nepovoljnih klimatskih utjecaja pomoću nadstrešnica, zasjenjenja, vegetacije i debljine zidova.

Prirodnost se ogleda i u **materijalima** – oni su biološki kompatibilni, obnovljivi, reciklirani ili reciklabilni, netretirani toksičnim kemikalijama, s niskim energetske utroškom u proizvodnji. Primjeri uključuju drvo, glinu, vapno, konoplju, slamu, ovčju vunu, pluto, bambus, reciklirani papir i kamen. No, prirodnost nije vezana samo uz materijalnu komponentu – ona je filozofija u kojoj je **arhitektura nastavak prirode**, a ne njezin suparnik.

U današnjem kontekstu, gdje dominiraju sintetički, energetske intenzivni i ekološki štetni materijali, prirodnost postaje i **čin otpora**, ali i **instrument regeneracije** – krajolika, tla, biološke raznolikosti i načina na koji živimo.

2. Zdravlje: Arhitektura kao poticaj vitalnosti i dobrobiti

Zdravlje korisnika prostora jedno je od najvažnijih, a često zanemarenih pitanja arhitekture. Bio-arhitektura postavlja zdravlje u središte projektantskog procesa – ne samo fizičko zdravlje, nego i **mentalnu, emocionalnu i energetske ravnotežu** ljudi koji borave u prostoru.

Zdrava arhitektura kreće od **materijala**: oni ne smiju ispuštati hlapive organske spojeve (VOC), formaldehide, ftalate ili druge kemijske tvari koje ugrožavaju zdravlje dišnog sustava i hormonalnu ravnotežu. Površine koje dolaze u kontakt s kožom moraju biti ugodne, neutralne i biokompatibilne. Izolacijski slojevi moraju „disati“ kako bi se spriječila kondenzacija i razvoj plijesni. Rasvjeta mora poštivati prirodni bioritam, a buka se mora svesti na minimum odgovarajućom akustičnom zaštitom.

Ventilacija je ključni element zdrave arhitekture. Umjesto prisilne, zatvorene ventilacije, bio-arhitektura koristi **pasivne sustave provjetravanja**, „dišuće“ zidove, zelene filtre i prirodno kretanje zraka. To omogućuje stalni protok svježeg zraka bez gubitka topline, a prostor ostaje vitalan i živ. Sličan princip primjenjuje se i na **prirodnu svjetlost**, koja se ravnomjerno distribuira kroz prostore i omogućuje psihofiziološku ravnotežu korisnika – s posebnim naglaskom na dnevnu rasvjetu u prostorima za rad, odmor i spavanje.

U zdravoj arhitekturi podjednako su važni i **psihološki faktori**. Prostori oblikovani prema biofilnim principima – koji uključuju elemente prirode poput biljaka, vode, drva, nepravilnih oblika, prirodnih tekstura i svjetlosno-sjenovitih prijelaza – djeluju smirujuće, potiču kreativnost i osjećaj pripadnosti. Pogled prema prirodi, kontakt sa zelenim površinama, mogućnost regulacije temperature i rasvjete prema vlastitim potrebama – sve to povećava osjećaj kontrole, udobnosti i blagostanja.

Bio-arhitektura također podupire **aktivno korištenje prostora** – potiče kretanje, interakciju, boravak na otvorenom, korištenje terasa, loggia, vrtova, zelenih krovova i zajedničkih prostora. Zdravlje se u ovom kontekstu ne definira kao izostanak bolesti, nego kao **dinamična ravnoteža između tijela, duha i prostora** – ravnoteža koju dobra arhitektura može znatno unaprijediti.

3. Održivost: Dugoročna ravnoteža između ljudi, prostora i planeta

Treći temeljni stup bio-arhitekture je **održivost**, pojam koji se često koristi, ali rijetko dublje razumije. U kontekstu bio-arhitekture, održivost se ne svodi samo na smanjenje potrošnje energije ili izbjegavanje ugljikovih emisija – ona obuhvaća **ekološku, društvenu, ekonomsku i kulturološku dimenziju**, integriranu u svakom aspektu projektiranja i korištenja prostora.

Ekološka održivost znači da arhitektura ne iscrpljuje resurse brže nego što se oni mogu obnoviti, da ne stvara više otpada nego što se može prirodno razgraditi, i da doprinosi regeneraciji ekosustava. To uključuje korištenje obnovljivih izvora energije (solarna, geotermalna, vjetar), sustava za sakupljanje i pročišćavanje kišnice, kompostiranja, vegetacijske krovove, recikliranje građevinskog otpada i minimizaciju „ugrađene energije“ u materijalima.

Društvena održivost odnosi se na **uključivost, dostupnost i participaciju**. Prostor mora biti osmišljen tako da ga mogu koristiti svi – djeca, starije osobe, osobe s invaliditetom. Bio-arhitektura često zagovara **zajedničke prostore, samogradnju, lokalnu proizvodnju** i aktivnu ulogu korisnika u stvaranju i održavanju prostora. Takav pristup jača društvene veze, stvara osjećaj pripadnosti i smanjuje otuđenje.

Ekonomska održivost ne znači jeftinoću, već **dugotrajnu vrijednost**. Bio-arhitektura promiče projektiranje objekata koji traju generacijama, koji se lako održavaju i popravljaju, koji imaju manju potrošnju energije, a veću otpornost na vanjske promjene. Ona također podupire lokalne obrtnike, male proizvođače i zanatske metode koje povećavaju kvalitetu i lokalnu otpornost gospodarstva.

Kulturološka održivost odnosi se na **očuvanje identiteta mjesta**, poštivanje tradicije, reinterpretaciju lokalnih tehnika i simbola u suvremenom kontekstu. Arhitektura time postaje nositeljica kulturne memorije, a ne samo funkcionalni kontejner. U svijetu globaliziranih formi, bio-arhitektura vraća pažnju na **mjesto, ljude i vrijeme**, čineći svaki projekt jedinstvenim i ukorijenjenim.

Održivost u bio-arhitekturi nije cilj, već proces – stalna prilagodba, evaluacija i usklađivanje s prirodnim ciklusima i ljudskim potrebama. Ona se ne ostvaruje jednim potezom, već nizom pažljivo donesenih odluka – o lokaciji, orijentaciji, materijalu, sustavima, načinu korištenja, odnosima u zajednici. Kada se svi ti elementi usklade, arhitektura postaje **djelatna sila regeneracije**, a ne pasivni potrošač resursa.

U konačnici, prirodnost, zdravlje i održivost nisu zasebni aspekti bio-arhitekture, već **međusobno isprepleteni principi** koji zajedno čine osnovu odgovornog i promišljenog projektiranja. Oni zahtijevaju pomak u načinu razmišljanja – od antropocentrične, potrošačke i utilitarne arhitekture, prema arhitekturi koja poštuje život u svim njegovim oblicima. Projektant koji djeluje u duhu ovih načela ne oblikuje samo zidove i krovove, već **stvara uvjete za ispunjen, zdrav i smislen život**, u kojem su ljudi ponovno povezani s prirodom – ne kao vanjskim resursom, već kao životnim partnerom.

Razlika između održive i biofilne arhitekture

Pojmovi **održiva arhitektura** i **biofilna arhitektura** često se koriste naizmjenično, ponekad kao sinonimi, a ponekad kao međusobno povezani koncepti. Iako imaju brojna dodirna područja, riječ je o **dvjema različitim, ali komplementarnim paradigama** unutar suvremenog pristupa oblikovanju prostora. Razumijevanje njihove razlike ključno je za oblikovanje arhitekture koja nije samo funkcionalna i ekološki prihvatljiva, već i **psihološki, emocionalno i duhovno osnažujuća za korisnika**.

U osnovi, **održiva arhitektura** fokusira se na **učinke arhitekture na okoliš** – na to koliko energije troši, koliko emisija stakleničkih plinova generira, koliko prirodnih resursa iscrpljuje, koliko otpada proizvodi, te koliko se može uklopiti u cikluse kružnog gospodarstva. Održiva arhitektura razvila je **tehnički, mjerljiv i standardiziran pristup** projektiranju, uz pomoć normi, certifikata i kvantitativnih pokazatelja (npr. energetska učinkovitost, LEED, BREEAM, WELL). Ona odgovara na pitanje: „**Kako možemo graditi uz što manji negativan utjecaj na okoliš?**“

S druge strane, **biofilna arhitektura** polazi od **ljudske potrebe za prirodom** – biološki uvjetovanog afiniteta prema prirodnim oblicima, strukturama, ritmovima, zvukovima, teksturama i obrascima koji pozitivno utječu na naše zdravlje, emocije i ponašanje. Ona se ne zaustavlja na tehničkim parametrima održivosti, već istražuje **emocionalnu, kognitivnu i senzornu povezanost čovjeka i prostora**, oblikujući arhitekturu koja je u stanju izazvati osjećaj smirenosti, inspiracije, prisutnosti i povezanosti. Njezino ključno pitanje glasi: „**Kako možemo stvoriti prostore koji nas ponovno povezuju s prirodom i sobom samima?**“

Drugim riječima, **održiva arhitektura govori o 'učinkovitosti' prostora, a biofilna o 'iskustvu' prostora**. Održivost odgovara na potrebu planeta, a biofilnost na potrebu čovjeka. Održiva arhitektura optimizira energiju, resurse i emisije, dok biofilna arhitektura optimizira odnose, doživljaje i emocionalnu povezanost s okolišem.

U praksi, održiva zgrada može biti tehnički besprijekorna – imati savršenu toplinsku izolaciju, solarnu elektranu, sustav za reciklažu vode i visok energetske razred – a da istovremeno ne nudi **nikakvu emocionalnu rezonancu**, niti potiče zdravu povezanost korisnika s prostorom. S druge

strane, prostor oblikovan prema biofilnim načelima, čak i bez svih tehnoloških sustava, može potaknuti osjećaj mira, kreativnosti i vitalnosti kod svojih korisnika jer koristi **prirodne materijale, dnevno svjetlo, biljke, organske oblike i pristup zelenim površinama**.

Važno je napomenuti da se ova dva pristupa **ne isključuju, već nadopunjuju**. Optimalan rezultat postiže se **kada održiva i biofilna arhitektura djeluju zajedno** – kada zgrada ne samo da minimizira svoj ekološki otisak, nego i **maksimalno podržava dobrobit ljudi koji u njoj borave**. U tom smislu, biofilna arhitektura može se promatrati kao **produbljenje i humanizacija održivosti**, kao njezin **psihološki i senzibilni nastavak**.

1. Temeljne razlike: tablični prikaz

| Kriterij | Održiva arhitektura | Biofilna arhitektura |
|----------------------|---|--|
| Primarni fokus | Ekološki utjecaj i energetska učinkovitost | Povezanost čovjeka s prirodom i dobrobit korisnika |
| Mjerni alati | Energetski certifikati, LCA, ekološki otisak | Kvalitativna analiza, psihološke studije, osjećajni doživljaj |
| Materijali | Niskoenergetski, reciklirani, lokalni | Prirodni, taktilni, biološki prihvatljivi |
| Elementi dizajna | Debeli izolacijski slojevi, pasivne i aktivne energetske strategije | Biljke, voda, prirodna svjetlost, pogled na prirodu, prirodni uzorci |
| Arhitektonska logika | Tehnička učinkovitost i racionalnost | Emocionalna rezonancija, senzorna stimulacija |
| Cilj | Minimizacija negativnog utjecaja na okoliš | Maksimalna dobrobit korisnika kroz prirodnu povezanost |

Ova razlika ne treba se tumačiti kao suprotstavljenost, već kao **dva različita fokusa unutar istog spektra** arhitektonskog promišljanja.

2. Biološka osnova biofilnog dizajna

Koncept biofilije temelji se na znanstvenim istraživanjima koja pokazuju da **ljudski organizam pozitivno reagira na prirodne podražaje** – vizualne, taktilne, auditivne i olfaktorne. Evolucijski gledano, čovjek je 99% svoje povijesti proveo u prirodnim okruženjima, a tek vrlo nedavno prebacio se u zatvorene, umjetno stvorene prostore. Ta promjena stvorila je nesklad između našeg genetskog koda i okoline u kojoj živimo – što se manifestira kroz **stres, tjeskobu, depresiju, smanjenu kognitivnu učinkovitost i fizičku neaktivnost**.

Biofilna arhitektura odgovara na taj problem stvaranjem prostora koji **aktiviraju prirodne obrasce percipiranja i osjećanja**. Pogled prema krošnji drveta, šum vode, struktura drveta pod prstima, miris zemlje – sve to potiče opuštanje, smanjenje kortizola, poboljšanje koncentracije, osjećaj sigurnosti i regeneracije. Na taj način, biofilna arhitektura ne samo da uljepšava prostor, već ima **direktne fiziološke učinke** na zdravlje korisnika.

3. Biofilni elementi kao dopuna održivosti

U praksi, biofilna arhitektura može se integrirati u održive projekte bez značajnog povećanja troškova, upravo zato što koristi **pasivne i prirodne strategije**. Primjeri uključuju:

- Uvođenje **unutarnjih biljnih zidova** za filtraciju zraka (umjesto mehaničkih pročistača),
- **Dnevna svjetlost** kao primarni izvor osvjjetljenja (umjesto umjetne rasvjete),
- **Prirodni materijali i tekture** (umjesto umjetnih i reflektirajućih površina),
- Korištenje **lokalnih pejzažnih motiva i biomimetičkih formi**,
- Dizajn prostora s pogledima na prirodu, vrtove, vodene površine.

Takvi elementi imaju **dvostruku funkciju** – ekološku i emocionalnu – čime obogaćuju održivu arhitekturu slojem **ljudske i osjetilne dimenzije**.

4. Ograničenja održivosti bez biofilije

Važno je napomenuti da održiva arhitektura bez biofilnog sloja može postati **sterilna, neugodna i otuđujuća**. Primjeri pasivnih kuća s vrlo debelim izolacijama, hermetički zatvorenim prozorima, umjetnom ventilacijom i neprirodnim svjetlom pokazali su da **tehnička savršenost nije garancija psihološke ugone**. U takvim prostorima ljudi često osjećaju zagušenost, dezorijentaciju, tjeskobu i nelagodu, iako su zgrade ekološki „ispravne“. To ukazuje na nužnost uključivanja **emocionalnih i osjetljivih parametara** u proces projektiranja.

5. Održivost + biofilnost = bio-arhitektura

Kada se održiva i biofilna arhitektura ujedine, nastaje **bio-arhitektura u punom smislu te riječi**.

Takav pristup integrira:

- **Učinkovito korištenje resursa i energije,**
- **Zdravu unutaraju mikroklimu,**
- **Biološki kompatibilne materijale,**
- **Prirodnu svjetlost i ventilaciju,**
- **Kontakt s biljnim i životinjskim svijetom,**
- **Estetsku harmoniju s krajolikom,**
- **Senzornu stimulaciju i emocionalnu ravnotežu korisnika.**

Ova cjelovitost čini razliku između „održive zgrade“ kao tehničkog sustava, i **životnog prostora** koji podržava čovjekov rast, zdravlje i povezanost s planetom. Bio-arhitektura postavlja novi standard – ne samo u emisijama, već i u emocijama. Ne samo u certifikatima, već i u iskustvu.

U konačnici, održiva i biofilna arhitektura dvije su strane iste medalje: **odgovorne, humane i osjetljive arhitekture 21. stoljeća**. Jedna se brine o planetu, druga o čovjeku. Kada djeluju zajedno, otvaraju prostor za **novu kulturu građenja** – onu u kojoj arhitektura ne šteti, već liječi; ne razdvaja, već povezuje; ne konzumira, već obnavlja.

Utjecaj prostora na ljudsko zdravlje i dobrobit

Prostor u kojem boravimo svakodnevno – dom, radno mjesto, škola, bolnica, javni prostori – ima snažan i višeslojan utjecaj na naše zdravlje i cjelokupnu dobrobit. Iako se ta činjenica intuitivno često prepoznaje, u projektantskoj i investicijskoj praksi ona još uvijek nije u potpunosti valorizirana. Dominantan model projektiranja prostora još uvijek se temelji na funkcionalnim, normativnim i ekonomskim parametrima, dok su fiziološki, psihološki i emocionalni učinci arhitektonskog okruženja na korisnika često zanemareni ili svedeni na sekundarnu razinu.

Bio-arhitektura, za razliku od konvencionalnih pristupa, **polazi od pretpostavke da je prostor aktivan sudionik u ljudskom zdravlju**, a ne pasivna kulisa. Ona prostor promatra kao **ekološki, biološki i psihološki sustav** koji je u neprekidnoj interakciji s tijelom, umom i osjećajima korisnika. U tom smislu, zdravlje nije definirano samo kao izostanak bolesti, već kao **dinamična ravnoteža fizičkog, emocionalnog, mentalnog i socijalnog blagostanja** koje prostor može podupirati ili narušavati.

1. Zdravlje i arhitektura: temeljna povezanost

U posljednjih dvadesetak godina znanstvena istraživanja sve snažnije potvrđuju da oblik, materijal, boja, svjetlo, zvuk, zrak i temperatura prostora imaju **direktan utjecaj na rad srca, krvni tlak, razinu stresa, koncentraciju hormona, kognitivne sposobnosti, raspoloženje i ponašanje korisnika**. Prostor, drugim riječima, komunicira s našim organizmom putem svih osjetila – vizualnog, auditivnog, taktilnog, olfaktornog i proprioceptivnog – te oblikuje naš doživljaj stvarnosti.

Zatvoreni, tamni, sterilni i bučni prostori povezani su s povećanom razinom kortizola (hormona stresa), smanjenom produktivnošću i pogoršanjem raspoloženja. Suprotno tome, svijetli, prozračni i prirodnim materijalima oblikovani prostori potiču lučenje serotonina i dopamina,

smanjuju tjeskobu, poboljšavaju raspoloženje i kognitivne funkcije. Izloženost prirodnoj svjetlosti sinkronizira naš cirkadijalni ritam, a kontakt s biljkama i prirodnim elementima potiče oporavak i smanjuje potrebu za lijekovima, osobito u bolnicama, školama i uredima.

2. Kvaliteta zraka: nevidljivi ali ključni čimbenik

Jedan od najsnažnijih utjecaja prostora na zdravlje odnosi se na **kvalitetu unutarnjeg zraka**, koja izravno utječe na disanje, imunitet, san, sposobnost koncentracije i kronična stanja poput astme ili alergija. Većina ljudi danas provodi preko 90% svog vremena u zatvorenim prostorima, a kvaliteta zraka u tim prostorima često je lošija nego na otvorenom – zbog nakupljanja CO₂, plijesni, prašine, VOC-a (hlapivih organskih spojeva) i raznih kemijskih zagađivača iz građevinskih materijala, namještaja, ljepila, boja i sredstava za čišćenje.

Bio-arhitektura stoga koristi **netoksične materijale**, prozračne konstrukcije, prirodne boje i premaze bez štetnih kemikalija, a posebnu pažnju posvećuje **pasivnoj i prirodnoj ventilaciji**. Umjesto hermetičkog zatvaranja prostora s prisilnom mehaničkom ventilacijom, naglasak je na „dišućim“ zidovima, sustavima prozračivanja, zelenim filterima i osmišljavanju protoka zraka kroz prirodne principe (toplinski uzgon, križna ventilacija, venturijev efekt). Cilj je održati prostor stalno svježim, dinamičnim i protočnim – poput živog organizma.

3. Svjetlost i biološki ritmovi

Prirodna svjetlost neophodna je za regulaciju **cirkadijalnog ritma**, koji utječe na razinu budnosti, hormon melatonin (koji regulira san), metabolizam, raspoloženje i kognitivne performanse. Loše osvijetljeni prostori mogu uzrokovati umor, depresiju i poremećaje spavanja, dok prostori s dovoljno dnevnog svjetla povećavaju energiju, kreativnost i osjećaj dobrobiti.

U bio-arhitekturi se svjetlost planira pažljivo – prostori se orijentiraju prema istoku i jugu, koristi se difuzna i neizravna rasvjeta, prozori su proporcionalni funkciji prostora, a sjene i refleksije se koriste za stvaranje ambijenta. Također se koriste **dinamički sustavi osvjetljenja** koji imitiraju promjene sunčeve svjetlosti tijekom dana, osobito u prostorima gdje prirodno svjetlo nije dostupno (npr. bolnice, škole, uredi). Svjetlo se promatra kao **ritam, atmosfera i lijek**.

4. Zvuk, akustika i mentalna ravnoteža

Zvučno zagađenje sve je češći problem u urbanim sredinama, a negativni učinci buke uključuju povišeni krvni tlak, razdražljivost, smanjenu sposobnost koncentracije i povećan rizik od kardiovaskularnih bolesti. Zatvoreni prostori s lošom akustikom dodatno pojačavaju stres i smanjuju produktivnost, osobito u otvorenim uredima, školama i javnim prostorima.

Bio-arhitektura koristi prirodne materijale s dobrim apsorpcijskim svojstvima (drvo, glina, tekstil, biljni elementi), planira prostore tako da se zvuk prirodno prigušuje, koristi „akustične zone“ i minimalizira upotrebu tvrdih reflektirajućih površina. Posebno se vrednuje **zvuk prirode** – žubor vode, šuštanje lišća, pjev ptica – koji umiruje živčani sustav i potiče oporavak. Akustika se u ovom pristupu ne promatra samo kao tehnička kategorija, već kao **senzorna kvaliteta prostora**.

5. Boje, teksture i emocionalni doživljaj prostora

Boje i teksture snažno utječu na raspoloženje, percepciju temperature i osjećaj sigurnosti. Hladne, neutralne i umirujuće boje koriste se za prostore namijenjene opuštanju i koncentraciji, dok se tople i zasićene boje koriste za poticanje energije i kreativnosti. Prirodne boje (tonovi zemlje, lišća, kamena, drva) stvaraju osjećaj ukorijenjenosti i stabilnosti.

Teksture također igraju ključnu ulogu – glatke, tople i taktilne površine izazivaju osjećaj ugone i prisnosti, dok oštri rubovi, staklene površine i hladni metali mogu stvoriti distancu i nelagodu. U bio-arhitekturi, tekstura se koristi ne samo estetski, već i **terapijski** – kao sredstvo stimulacije osjetila i stvaranja atmosfere. Površine koje pozivaju na dodir, koje podsjećaju na prirodne materijale i koje omogućuju interakciju, povećavaju osjećaj doma, udobnosti i sigurnosti.

6. Kontakt s prirodom: biofilni odgovor na stres

Kontakt s prirodom – bilo vizualni, fizički ili simbolički – ima dokazane učinke na smanjenje stresa, poboljšanje imuniteta, ubrzanje oporavka nakon bolesti, povećanje pažnje i smanjenje depresivnih simptoma. To uključuje pogled na drveće, boravak na terasi, dodir biljaka, prisutnost prirodnih uzoraka, dostupnost prirodnog svjetla i korištenje prirodnih materijala u interijeru.

U bio-arhitekturi se primjenjuju principi **biofilnog dizajna**, koji uključuju:

- **Izravan kontakt s prirodom:** bilje, voda, prirodni zvukovi, otvoreni prostori;
- **Neizravan kontakt:** korištenje prirodnih materijala, tekstura, boja i formi;
- **Prirodne dinamike:** ritam svjetlosti i sjene, kretanje zraka, promjene temperature;
- **Simboličke veze:** dizajnerski elementi koji evociraju prirodne obrasce (fraktali, spirale, valovi).

Biofilni elementi ne samo da obogaćuju prostor vizualno, nego stvaraju **emocionalnu povezanost s prostorom**, osjećaj pripadnosti i unutarnje ravnoteže.

7. Socijalna dobrobit i međuljudski odnosi

Prostor oblikuje i **naše odnose s drugima** – potiče ih ili guši. Prostori koji omogućuju neformalne susrete, zajedničko kuhanje, igru, dijalog i povlačenje u intimu, doprinose **socijalnoj koheziji**, osjećaju zajedništva i psihološkoj stabilnosti. Arhitektonski elementi poput klupa, zajedničkih terasa, vrtova, pješačkih staza, kuhinja i dnevnih boravaka oblikuju **scenarije svakodnevnog života** u kojima se gradi povjerenje i osjećaj pripadnosti.

Bio-arhitektura teži stvaranju **prostora zajedništva**, ali i omogućava individualni prostor, tišinu i povlačenje. Ona promiče **ravnotežu između privatnog i kolektivnog**, između otvorenosti i sigurnosti, između interakcije i osobne introspekcije. U takvom prostoru svaki korisnik osjeća se viđenim, poštovanim i slobodnim.

8. Prostor kao sredstvo iscjeljenja

U kontekstu zdravlja, osobito mentalnog i emocionalnog, prostor može postati **terapeutski alat**. Bolnice i domovi za starije koji primjenjuju bio-arhitektonske principe bilježe brži oporavak pacijenata, smanjenje konzumacije lijekova, smanjenje agresije i poboljšanje kvalitete života. Škole s obiljem prirodnog svjetla, svježeg zraka i zelenih površina poboljšavaju koncentraciju, ponašanje i akademske rezultate djece. Uredi koji uključuju prirodne elemente bilježe nižu stopu izostanaka, veću produktivnost i zadovoljstvo zaposlenika.

Prostor, dakle, nije neutralan. On **može podržavati ili narušavati zdravlje**. On može potaknuti ili zakočiti regeneraciju. On može liječiti ili štetiti. U tom smislu, projektiranje prostora postaje **čin brige, odgovornosti i dubokog razumijevanja čovjekove prirode**.

U zaključku, utjecaj prostora na ljudsko zdravlje i dobrobit daleko nadilazi osnovne standarde i tehničke zahtjeve. Prostor u bio-arhitekturi postaje **aktivni čimbenik zdravog življenja**, produžetak tijela, emocija i misli. Projektiranje takvog prostora zahtijeva znanje, empatiju, multidisciplinarnost i senzibilitet – no zauzvrat donosi vrijednost koja nadilazi mjerljive pokazatelje: **vrijednost života u ravnoteži sa samim sobom i svijetom koji nas okružuje**.

MODULARNA ARHITEKTURA – PRISTUP I TEHNIKE

Što je modularnost u gradnji i dizajnu?

Modularnost je koncept koji se nalazi u samim temeljima prirode, tehnologije, kulture i arhitekture. Riječ je o **principu građenja složenih sustava od jednostavnijih, ponovljivih jedinica – modula**. Modul može biti fizički, strukturni, funkcionalni, prostorni ili estetski element, ali ono što sve module povezuje jest njihova **samostalnost i međusobna kompatibilnost**. Kada se primjenjuje u arhitekturi i dizajnu, modularnost omogućuje stvaranje **fleksibilnih, prilagodljivih, skalabilnih i često održivijih sustava**, koji se mogu mijenjati kroz vrijeme, prilagođavati korisnicima i kontekstu, te učinkovitije proizvoditi, graditi i reciklirati.

U osnovi, modularna gradnja podrazumijeva **razlaganje građevinskog procesa na seriju predgotovljenih, standardiziranih ili polustandardiziranih elemenata**, koji se proizvode u kontroliranim uvjetima (najčešće u tvornici) i zatim transportiraju na lokaciju gdje se sastavljaju poput slagalice. Ovi elementi mogu biti cijeli volumeni (npr. stambene jedinice, kupaonice, kuhinjski blokovi), strukturne jedinice (npr. zidovi, podne ploče, krovni segmenti) ili komponente interijera (npr. namještaj, pregrade, ormari, sustavi rasvjete). U dizajnu interijera modularnost omogućuje korisnicima da prostorne jedinice reorganiziraju, prilagođavaju, razmjenjuju ili proširuju, bez potrebe za temeljitim preuređenjem ili dodatnim građevinskim intervencijama.

Kada govorimo o modularnosti u arhitekturi, ne govorimo samo o metodi građenja, već i o **novom načinu razmišljanja o prostoru, njegovoj dinamici, funkciji i životnom ciklusu**. Modularnost omogućuje da arhitektura postane **otvoreni sustav** – sustav koji se razvija kroz vrijeme, koji uključuje korisnike u proces dizajna, koji se prilagođava promjenama u obitelji, zajednici, ekonomiji ili klimatskim uvjetima. U tom smislu, modularna arhitektura odgovara na jednu od ključnih potreba današnjice: **potrebu za fleksibilnošću**.

1. Modul kao temelj prostorne logike

Povijesno gledano, modul se u arhitekturi koristi kao **mjera, proporcija, organizacijska jedinica i alat standardizacije**. U antičkoj arhitekturi, modul je često bio definiran dimenzijama stupca, na temelju kojeg su se projektirale sve druge komponente građevine. U modernizmu, Le Corbusierov „Modulor“ pokušao je stvoriti univerzalnu mjeru utemeljenu na ljudskom tijelu, kako bi prostor bio usklađen s antropometrijskim zakonitostima. U industrijskoj arhitekturi 20. stoljeća, modul postaje alat za **racionalizaciju proizvodnje i montaže**, što je dovelo do razvoja montažnih sustava gradnje.

U suvremenom kontekstu, modul više nije vezan uz jednu jedinstvenu dimenziju ili stil – on postaje **strategija projektiranja**. Modul može biti kvadrat 3x3 m, drvena kutija, čelični kontejner, betonski element, prefabricirani panel, drvena lamela ili digitalni kod. Bitno je da svaki od tih elemenata može funkcionirati **samostalno i u sklopu sustava**, da omogućuje **ponavljanje i varijacije**, te da je **otvoren za nadogradnju**. Modularnost je upravo zato toliko kompatibilna s principima **održive i bio-arhitekture**: omogućuje veću učinkovitost, manji građevinski otpad, jednostavno održavanje i produženi vijek trajanja građevine.

2. Prednosti modularnog pristupa

Modularnost nudi čitav niz prednosti koje postaju sve relevantnije u kontekstu ekoloških, ekonomskih i društvenih izazova današnjice. Među najvažnijima su:

- **Fleksibilnost:** Modularni objekti mogu se lako proširivati, smanjivati, rekonfigurirati ili premještati, čime odgovaraju na promjenjive potrebe korisnika kroz vrijeme.
- **Skalabilnost:** Arhitektonski projekti mogu započeti u manjem opsegu i razvijati se fazno, bez gubitka funkcionalne ili estetske koherencije.
- **Brzina izgradnje:** Proizvodnja modula u tvornici i paralelna priprema gradilišta omogućuju znatno kraći vremenski okvir realizacije projekta.

- **Kvaliteta:** Proizvodnja u kontroliranim uvjetima osigurava višu razinu preciznosti i kvalitete, smanjuje pogreške i omogućuje bolju kontrolu procesa.
- **Učinkovitost resursa:** Modularnost smanjuje količinu otpada, omogućuje optimizaciju materijala, a moduli se često mogu ponovno koristiti u drugim projektima.
- **Ekonomičnost:** Predvidivost troškova, serijska proizvodnja i mogućnost djelomične realizacije smanjuju financijski rizik i čine arhitekturu dostupnijom.
- **Održivost:** Moduli se mogu proizvoditi od prirodnih, recikliranih ili reciklabilnih materijala, mogu se energetske optimizirati i prenamijeniti u nove svrhe.

3. Modularnost i kružna ekonomija

Jedna od ključnih vrijednosti modularnosti je njezina **kompatibilnost s kružnim gospodarstvom**. Klasična arhitektura često proizvodi zgrade čiji su elementi teško razgradivi, vezani trajnim spojevima i nepredviđeni za promjene. Modularna arhitektura, nasuprot tome, omogućuje:

- **Laku demontažu i ponovno korištenje** dijelova;
- **Obnovljivost pojedinih modula** bez potrebe za rušenjem cijele građevine;
- **Prilagodbu različitim lokacijama i funkcijama**;
- **Prijenos zgrade ili njezinih dijelova** na drugo mjesto bez gubitka materijala;
- **Reciklažu komponenti** po završetku životnog ciklusa građevine.

Takav pristup ima ogroman potencijal u kontekstu smanjenja građevinskog otpada (koji čini preko 35% ukupnog otpada u EU), povećanja otpornosti građevina na klimatske i društvene promjene, te osiguravanja dugoročnog očuvanja vrijednosti izgrađenog prostora.

4. Digitalna modularnost: BIM, parametrija i konfiguratori

S razvojem digitalnih alata, modularnost dobiva novu dimenziju. Alati poput **Building Information Modeling (BIM)**, **parametarskog dizajna**, **algoritamskog generiranja struktura** i **konfiguratora dizajna** omogućuju arhitektima i dizajnerima da modularne sustave razvijaju, testiraju i optimiziraju još u fazi projektiranja. Svaki modul može imati svoje „parametre“ – dimenzije, funkcije, materijale, energetske karakteristike – i može se u realnom vremenu uklapati u veće prostorne cjeline.

Digitalna modularnost omogućuje **masovnu personalizaciju**: korisnici mogu birati kombinacije koje im odgovaraju, a cijeli sustav ostaje unutar unaprijed definiranih tehničkih i ekoloških okvira. To stvara ravnotežu između **individualizacije prostora** i **efikasnosti proizvodnje**, što je do prije desetljeća bilo gotovo nezamislivo.

5. Socijalna i kulturna dimenzija modularnosti

Modularnost ima i **društveni potencijal**: može omogućiti stvaranje dostupnijih, fleksibilnijih i inkluzivnijih prostora. Modularni sustavi mogu se koristiti u stambenim projektima za mlade, starije, osobe s invaliditetom ili u kriznim situacijama (poput potresa, poplava, migracijskih kretanja). Oni omogućuju **brzu reakciju, montažu i obnovu**, a istovremeno mogu biti estetski i prostorno kvalitetni.

Također, modularnost ne isključuje lokalnu kulturu, već je može uključiti kroz **varijabilne kombinacije, lokalne materijale, tradicionalne forme** i **participativne procese dizajna**. Kroz modularni pristup moguće je stvarati arhitekturu koja nije uniformna, već **raznolikost pretvara u kvalitetu**, a sustav u alat za slobodu i kreativnost.

Modularnost u arhitekturi i dizajnu nije samo tehnička strategija – ona je **vizija drugačijeg prostora**: prostora koji je prilagodljiv, održiv, regenerativan i u stalnoj interakciji s korisnikom. Kao takva, ona predstavlja temelj za stvaranje arhitekture koja ne iscrpljuje, već obnavlja – koja ne nameće oblik, već stvara okvir za život. U kontekstu bio-arhitekture, modularnost dobiva

dodatnu vrijednost: postaje **struktura koja živi s prirodom, ritmom ljudi i potrebama zajednice**.

Prednosti modularnog pristupa (vremenska, financijska, konstrukcijska)

Modularna arhitektura, u svojoj suštini, predstavlja **strategiju optimizacije graditeljskog procesa**, koja odgovara na izazove suvremenog društva: vremensku ograničenost, pritisak na resurse, potrebu za prilagodljivošću, ali i sve snažniji zahtjev za održivošću. Njezina snaga ne leži samo u tehničkoj inovaciji ili formalnoj estetskoj svježini, već u **sposobnosti da značajno unaprijedi svaki segment gradnje – od projektiranja i planiranja, preko izgradnje i korištenja, do demontaže i ponovne uporabe**.

Tri temeljna aspekta u kojima se prednosti modularnog pristupa najjasnije očituju su: **vrijeme, trošak i konstrukcijska učinkovitost**. Svaki od tih aspekata ne djeluje zasebno, već su međusobno povezani i međusobno se pojačavaju, čime modularnost stvara **složen, ali koherentan sustav prednosti** koji transformira način na koji gradimo i doživljavamo prostor.

1. Vremenska prednost: brža, efikasnija i predvidljivija gradnja

Jedna od najistaknutijih prednosti modularne arhitekture je **drastično smanjenje vremena potrebnog za realizaciju građevinskog projekta**. Klasični građevinski proces odvija se linearno – svaka faza započinje tek kad prethodna završi: od pripreme terena, temelja i podzemnih instalacija, preko nosive konstrukcije i krovništva, do završnih radova i montaže instalacija. U modularnoj gradnji, ovaj linearni slijed se **prekida i paralelizira**.

Naime, **moduli se izrađuju u tvornici dok se istovremeno priprema teren i temelji na lokaciji**. Kada su temeljni radovi završeni, moduli se dopremaju i spajaju na gradilištu, a montaža cijelog objekta može trajati svega nekoliko dana ili tjedana – u usporedbi s mjesecima kod klasične gradnje. Time se ukupno vrijeme od početka projekta do useljenja znatno smanjuje, što je izuzetno važno u situacijama gdje je vrijeme kritični faktor: stanovanje u hitnim slučajevima, turistički objekti s fiksnim sezonama, školske ili zdravstvene ustanove s rokovima implementacije, stambeni objekti u uvjetima rasta potražnje.

Osim što je brža, modularna gradnja je i **predvidljivija**. Budući da se veći dio radova odvija u kontroliranim uvjetima industrijskog postrojenja, eliminiraju se mnoge varijable koje usporavaju klasičnu gradnju: vremenske neprilike, manjak radne snage, neusklađeni dolasci podizvođača, problemi s logistikom materijala, tehničke pogreške na terenu. Cijeli proces postaje **logistički optimiziran**, s jasno definiranim rokovima i procedurama, što omogućuje projektantima, investitorima i korisnicima **preciznije planiranje i brži povrat investicije**.

Vrijedno je istaknuti i **vremensku elastičnost** modularnog pristupa. Projekti se mogu realizirati fazno – prvo postavljanjem osnovnih modula, a zatim postupnim nadogradnjama kako se mijenjaju potrebe ili financijske mogućnosti korisnika. Ovakva fazna gradnja nije samo strateška odluka, već i prostor za organski rast zajednica, obitelji, institucija ili poslovnih sustava, bez potrebe za rušenjem ili narušavanjem postojeće strukture.

2. Financijska prednost: Optimizirani troškovi i bolja kontrola budžeta

Financijska učinkovitost modularne gradnje proizlazi iz nekoliko istodobnih faktora: **smanjenja ukupnih troškova izgradnje, većeg stupnja kontrole nad budžetom, predvidivosti troškova u svakoj fazi projekta**, ali i nižih troškova održavanja tijekom vijeka trajanja građevine.

Prvi i najvažniji aspekt je **industrijalizacija građevinskog procesa**. Serijska proizvodnja modula u tvorničkim uvjetima omogućuje **iskorištavanje ekonomije razmjera**, optimizaciju materijala, precizno upravljanje zalihama i vrijeme rada, manju količinu otpada te bržu i sigurniju montažu. Smanjenjem gubitaka u resursima i vremenu, **ukupni trošak po kvadratnom metru značajno se smanjuje** u odnosu na klasičnu gradnju, osobito kod većih serija ili višekratnog korištenja istih tipova modula.

Drugi ključni aspekt je **transparentnost i kontrola troškova**. Budući da se većina komponenata definira unaprijed, već u fazi projektiranja, moguće je točno izračunati troškove svake jedinice, od materijala do rada, što **smanjuje rizik od nepredviđenih izdataka i prekoračenja budžeta**. Investitori, developeri i krajnji korisnici stječu veću sigurnost u financijsku izvedivost projekta, što je osobito važno u nestabilnim tržišnim uvjetima.

Financijsku prednost dodatno pojačava **kraći period povrata ulaganja**. Zbog brže montaže i mogućnosti ranijeg korištenja objekta (za najam, prodaju ili javnu funkciju), investicija se vraća u kraćem vremenu. U turističkim projektima, primjerice, razlika između otvaranja objekta u lipnju ili kolovozu može značiti znatan gubitak prihoda. Modularna gradnja omogućuje **brži ulazak na tržište**, što donosi konkretnu konkurentsku prednost.

Na duži rok, modularni objekti često imaju i **niže troškove održavanja**. Visoka razina kontrole kvalitete u tvornici smanjuje broj građevinskih grešaka i kvarova, a precizna montaža olakšava pristup instalacijama i njihovu zamjenu. Dodatno, ako je sustav modula dobro koncipiran, **moguća je zamjena samo oštećenih dijelova bez potrebe za renovacijom cijelog objekta**, čime se dugoročno štedi vrijeme i novac.

3. Konstrukcijska prednost: Preciznost, otpornost, održivost

Konstrukcijska logika modularne gradnje temelji se na načelima **racionalnosti, ponovljivosti i međusobne kompatibilnosti elemenata**. Svaki modul dizajnira se tako da može samostalno funkcionirati kao dio konstrukcije, ali i da se može povezati s drugim modulima kako bi tvorilo stabilan, funkcionalan i koherentan sustav.

U usporedbi s klasičnim gradilišnim pristupom, u kojem mnoge faze ovise o vještini izvođača na terenu i gdje su pogreške česte, modularna konstrukcija omogućuje **preciznost na milimetarskoj razini**. Tolerancije su znatno manje jer se svi elementi izrađuju u tvorničkim uvjetima, uz pomoć naprednih strojeva, digitalne kontrole i detaljnih modela. To znači **pouzdaniju statiku, bolju energetska učinkovitost i manji broj tehničkih pogrešaka**, što se izravno reflektira na dugovječnost i sigurnost građevine.

Konstrukcijski, moduli mogu biti izrađeni od raznih materijala: **drvo (masivno, CLT, glulam), čelik, beton, kompoziti ili hibridi**. Drvo se najčešće koristi u održivim modularnim sustavima zbog svoje male težine, biološke kompatibilnosti i dobrih izolacijskih svojstava. Korištenjem unakrsno lameliranog drva (CLT) moguće je graditi višekatnice koje zadovoljavaju sve sigurnosne standarde, uključujući potresnu otpornost i protupožarnu zaštitu.

Osim što su otporni, modularni sustavi su i **reverzibilni**. To znači da se mogu rastaviti bez narušavanja konstrukcijske stabilnosti – čime postaju idealni za privremene objekte, proširenja, mobilne jedinice i situacije gdje prostor treba biti dinamičan i prilagodljiv. Ova reverzibilnost otvara vrata za **prijenosne građevine, sustave koji rastu s korisnicima, te projekte s ograničenim trajanjem**.

Još jedna konstrukcijska prednost modularne gradnje jest **povećana energetska učinkovitost**. Budući da su moduli dobro izolirani u kontroliranim uvjetima, toplinske mostove je moguće svesti na minimum. Slojevi izolacije, brtvljenja i ventilacije postavljaju se precizno i slojevito, a moduli se projektiraju s integriranim rješenjima za grijanje, hlađenje i ventilaciju. Time se postiže **visoka razina energetske neovisnosti**, pogotovo ako se koriste obnovljivi izvori energije, poput solarnih panela, fotonaponskih sustava i sustava za sakupljanje kišnice.

Zaključak: Sinergija prednosti u službi nove arhitekture

Modularni pristup u arhitekturi predstavlja više od konstruktivne metode – on je **strateška paradigma** koja okuplja različite prednosti u jedan **koherentan, učinkovit i regenerativan model gradnje**. Vremenske prednosti omogućuju bržu reakciju i fleksibilniji životni ciklus objekata; financijske prednosti čine arhitekturu dostupnijom i predvidljivijom; konstrukcijske prednosti osiguravaju kvalitetu, otpornost i dugovječnost.

Kada se svi ovi aspekti usklade, modularna arhitektura više nije samo alternativa – ona postaje **platforma za inovaciju, održivost i društvenu transformaciju**. Osobito u kontekstu bio-arhitekture, modularni sustavi omogućuju integraciju prirodnih materijala, pasivnih sustava, lokalne proizvodnje i participativnog dizajna – stvarajući arhitekturu koja je istovremeno **precizna i prilagodljiva, racionalna i intuitivna, funkcionalna i emocionalna**.

U nastavku priručnika istražiti ćemo kako se ove prednosti mogu primijeniti kroz **različite tipologije prostora**, koje su **tehnike spajanja i planiranja modula**, kako se osigurava **bioklimatska učinkovitost**, te na koji način modularna arhitektura može postati alat za **društvenu i ekološku regeneraciju**.

Vrste modula (strukturni, funkcionalni, mobilni, interijerski)

Jedna od ključnih karakteristika modularne arhitekture jest njezina **raznolikost kompozicijskih i izvedbenih pristupa**, koja se temelji na jasnom razumijevanju i definiranju različitih vrsta modula. Modul u arhitekturi nije samo gradbeni element, već i **nositelj funkcije, značenja, fleksibilnosti i identiteta**. Kroz povijest, ali osobito u suvremenim iteracijama modularne gradnje, razvili su se različiti tipovi modula koji odgovaraju specifičnim konstruktivnim, funkcionalnim i uporabnim potrebama – pri čemu se najčešće razlikuju **strukturni, funkcionalni, mobilni i interijerski moduli**.

Svaka od ovih kategorija ima svoje karakteristike, prednosti i ograničenja, a u kombinaciji one čine **arhitektonski sustav koji je istodobno čvrst, fleksibilan i prilagodljiv**. U nastavku detaljno analiziramo svaku pojedinu vrstu modula, s naglaskom na njihov doprinos modularnoj bio-arhitekturi, mogućnosti kombiniranja i njihovu ulogu u dizajnu prostora budućnosti.

1. Strukturni moduli: kostur fleksibilnosti

Strukturni moduli predstavljaju **nosivu osnovu modularne građevine**. Njihova primarna funkcija je osigurati stabilnost, nosivost i otpornost konstrukcije, pri čemu moraju zadovoljiti sve standarde sigurnosti, statike i dugotrajnosti. To su elementi koji se ponavljaju, povezuju i nadograđuju, tvoreći osnovni konstruktivni raster koji definira dimenzije, ritam i prostornu logiku objekta.

Strukturni moduli mogu biti izrađeni od različitih materijala: **lameliranog drva, CLT ploča, čeličnih profila, betonskih panela ili hibridnih sustava**, a njihov dizajn ovisi o željenim rasponima, nosivosti, modularnom rasteru i mogućnostima montaže.

U tipičnoj modularnoj kući strukturni modul može biti:

- **Nosivi okvir (frame modul)** – koji definira volumetriju prostora;
- **Ploča (floor/ceiling module)** – koja nosi opterećenje kata ili krova;
- **Zidna ploha (panel)** – koja može biti nosiva, djelomično nosiva ili isključivo pregradna.

Prednost strukturnih modula leži u njihovoj **standardizaciji i mogućnosti racionalne proizvodnje**. Modularni kostur omogućuje da se u okviru istog rastera lako zamjenjuju funkcije prostora – dnevni boravak može postati spavaća soba, a radna jedinica može se pretvoriti u dodatni modul. Time strukturni moduli ne definiraju samo oblik, već i **scenarije korištenja**.

U kontekstu bio-arhitekture, strukturni moduli često se izrađuju od **biokompatibilnih i obnovljivih materijala** poput drva, konoplje, pluta ili tla sabijenog u panele (rammed earth). Modularna drvena konstrukcija omogućuje lako recikliranje, nizak ekološki otisak i dobru termičku učinkovitost. Kod takvih sustava ključan je i način spajanja – **suhi spojevi**, vijci, tiple i mehaničke veze omogućuju jednostavnu demontažu i zamjenu dijelova bez upotrebe ljepila, pjene ili betona.

Napredni strukturni sustavi poput CLT-a (cross laminated timber) ili LVL-a (laminated veneer lumber) omogućuju **gradnju višekatnica, školskih objekata, hotela i javnih zgrada**, a njihova modularnost olakšava prefabrikaciju i serijsku izradu, čime se štedi vrijeme i resursi.

Strukturni moduli ujedno su **matrica za sve ostale module** – funkcionalne, mobilne i interijerske – koji se ugrađuju unutar tog prostornog kostura. Stoga je njihovo planiranje ključno za definiranje buduće fleksibilnosti objekta, njegova životnog ciklusa i mogućnosti nadogradnje.

2. Funkcionalni moduli: infrastruktura života

Funkcionalni moduli su oni elementi modularne arhitekture koji integriraju određene **tehničke, sanitarne, energetske ili komunikacijske funkcije**, te se najčešće isporučuju kao gotovi sklopovi spremni za montažu. Riječ je o segmentima građevine koji imaju **složene instalacijske zahtjeve**, zahtijevaju preciznost u izvedbi i često predstavljaju „skupe“ točke projekta – kupaonice, kuhinje, tehničke jedinice, stubišta, komunikacijski čvorovi.

U modularnoj arhitekturi, ovi elementi se proizvode zasebno, pod kontroliranim uvjetima, s unaprijed montiranim vodovodnim, kanalizacijskim, električnim i ventilacijskim sustavima. Na lokaciji se jednostavno spajaju na mrežu i integriraju u strukturni sustav. To donosi niz prednosti:

- **Brža izvedba;**
- **Manje pogrešaka;**
- **Lakše održavanje i servisiranje;**
- **Precizna kontrola kvalitete i troškova;**
- **Manje fizičkog opterećenja gradilišta.**

Primjer funkcionalnog modula je „**kupatilska kaset**“: gotov sanitarni čvor izrađen od laganih panela, opremljen tušem, WC-om, umivaonikom, bojlerom i ventilacijom, koji se umetne unutar već pripremljenog prostora i poveže s instalacijama. Slični su moduli i **kuhinjski blokovi, HVAC jedinice, energetske ormarići**, ormari s pametnim upravljanjem ili **sustavi za pročišćavanje vode i sivih voda**.

Funkcionalni moduli mogu biti samostalni (npr. neovisne tehničke jedinice) ili integrirani u kombinirane module (npr. kućice koje već u sebi sadrže kuhinju i kupaonicu). U bio-arhitekturi ovi se moduli dodatno optimiziraju korištenjem **ekoloških tehnologija**: sustavi za kompostiranje, suhe WC jedinice, kolektori za toplu vodu, pasivni ventilacijski sustavi, filteri za prirodno pročišćavanje.

Jedna od ključnih prednosti funkcionalnih modula je njihova **servisibilnost** – budući da su kompaktni i logično strukturirani, lako ih je zamijeniti ili nadograditi novim tehnologijama, bez potrebe za građevinskim intervencijama u objektu. To modularnoj arhitekturi daje karakteristiku **tehničke otpornosti i buduće prilagodljivosti**, što je u digitalnom dobu izuzetno važno.

3. Mobilni moduli: fleksibilnost bez granica

Mobilni moduli predstavljaju **vrhunac fleksibilnosti modularne arhitekture**. Riječ je o jedinicama koje nisu vezane trajno za određenu lokaciju, već su dizajnirane da se mogu **transportirati, relokirati, rekonfigurirati i ponovno koristiti** na različitim mjestima i u različitim kontekstima. Mobilnost modula može biti fizička (prijenosnost), pravna (neregistrirano zemljište), privremena (sezonska upotreba) ili konceptualna (prostor koji prati korisnika).

Najčešće korišteni oblici mobilnih modula uključuju:

- **Kontejnerske jedinice**: standardizirani brodski kontejneri prenamijenjeni za stanovanje, ured, trgovinu, izložbeni prostor ili turistički objekt;
- **Tiny houses i mikrokuće** na kotačima: samoodržive jedinice koje korisnik može vući poput prikolice;
- **Preklopive ili sklopive strukture**: moduli koji se mogu komprimirati i potom rasklopiti na novoj lokaciji;
- **Plug-and-play jedinice**: potpuno opremljeni volumeni spremni za korištenje nakon priključivanja na infrastrukturu (ili potpuno autonomni).

Prednost mobilnih modula leži u njihovoj **nevezanosti** – fizičkoj i simboličkoj. Oni omogućuju **privremenu gradnju**, korištenje prostora bez trajne intervencije u okoliš, kao i **brzu reakciju u kriznim situacijama** (potresi, poplave, migracije). Njihova ekonomija proizvodnje i prijevoza

također je optimizirana – dimenzije su često prilagođene standardima cestovnog i pomorskog transporta (npr. ISO dimenzije kontejnera).

U kontekstu bio-arhitekture, mobilni moduli postaju **alat za testiranje održivih koncepata**: energetska samodostatnost, zatvoreni vodeni ciklusi, kompostna rješenja, zelene fasade, prilagodba mikroklimi. Oni se koriste kao **prototipovi inovacija**, kao edukativni objekti ili kao stalno mobilni elementi za putujuće zajednice, festivale, nomadski turizam ili digitalne nomade. Mobilni moduli ne moraju biti isključivo individualni – mogu se spajati u veće cjeline, raspoređivati oko zajedničkog prostora, stvarati mikronaselja. Njihova najveća vrijednost je u **slobodi**: korisnik nije vezan za mjesto, već prostor prati način života.

4. Interijerski moduli: prilagodljivost iznutra

Interijerski moduli obuhvaćaju **sve one elemente unutar prostora koji imaju ulogu oblikovanja, definiranja i prilagodbe interijera**, a istovremeno zadržavaju **karakteristike modularnosti** – standardizaciju, fleksibilnost, mogućnost zamjene i višestruke konfiguracije.

To uključuje:

- **Namještaj na modularnoj osnovi**: ormari, police, sustavi za sjedenje, radne jedinice, kuhinjski elementi;
- **Unutarnje pregrade**: pomične stijenke, klizne plohe, pregrade na šinama, sklopivi paneli;
- **Vertikalni moduli**: zidne jedinice, sustavi za odlaganje, vertikalni vrtovi;
- **Tehnički elementi**: rasvjetna tijela, pametni sustavi upravljanja, zvučni moduli, klima jedinice.

Ovi moduli omogućuju korisnicima da **samostalno prilagođavaju prostor**, organiziraju funkcije po potrebi, dijele i spajaju prostore, reorganiziraju raspored i personaliziraju interijer. U modularnim stanovima, na primjer, dnevna soba može se lako transformirati u radni prostor, a potom u spavaonicu, ovisno o potrebama dana.

U kontekstu bio-arhitekture, interijerski moduli dodatno se vrednuju ako su izrađeni od **netoksičnih, prirodnih materijala** – drva, bambusa, lana, pluta – ako su modularni i ako se lako prenamjenjuju ili recikliraju. Također, poželjna je integracija **bioklimatskih funkcija**: moduli koji sadrže biljke, reguliraju vlagu, akumuliraju toplinu ili raspršuju svjetlo.

Kao najbliži korisniku, interijerski moduli imaju **snažan utjecaj na emocionalni i psihološki doživljaj prostora**. Njihova kvaliteta, funkcionalnost i estetika izravno utječu na udobnost, produktivnost i zadovoljstvo stanara. Kroz modularni interijer, korisnik postaje **sukreator prostora**, što je jedno od temeljnih načela bio-arhitektonskog pristupa.

Načini povezivanja i slaganja modula (horizontalno, vertikalno, kombinirano, rasterno)

Jedan od temeljnih izazova i istovremeno ključnih potencijala modularne arhitekture leži u načinu na koji se pojedinačni moduli međusobno povezuju i slažu u funkcionalne, stabilne i estetski vrijedne prostorne cjeline. Modul sam po sebi predstavlja zatvorenu jedinicu – strukturnu, funkcionalnu, volumensku – no tek kada se počne povezivati s drugim modulima, stvara se arhitektura u pravom smislu riječi.

Način na koji se moduli organiziraju u prostoru određuje **karakter arhitektonske cjeline**: njezinu otvorenost, fleksibilnost, dinamiku, pristupačnost, vizualni identitet, kao i njezinu prostornu i energetska učinkovitost. Ovisno o funkciji, kontekstu, željenoj prostornoj logici i konstruktivnim zahtjevima, moduli se mogu organizirati **horizontalno, vertikalno, kombinirano** ili u **rasternim strukturama**. Svaki od ovih pristupa ima svoje prednosti, specifičnosti i ograničenja, a često se u praksi kombiniraju kako bi se postigla optimalna rješenja.

U nastavku detaljno razrađujemo svaku od ovih metoda slaganja i povezivanja modula, uz poseban naglasak na njihove konstruktivne, funkcionalne, estetske i bioarhitektonske implikacije.

1. Horizontalno slaganje: linearna logika fleksibilnosti

Horizontalno slaganje modula najjednostavniji je i najčešće korišten princip u modularnoj arhitekturi. U ovom pristupu moduli se povezuju jedan uz drugi u jednoj razini, bilo u liniji, L-obliku, U-obliku, zračnoj konfiguraciji, prstenu ili slobodnoj mreži. Takva organizacija omogućuje **lagano povezivanje, preglednu instalaciju, brzu montažu i fleksibilno proširivanje** sustava.

Najčešća primjena horizontalnog slaganja uključuje:

- **Stambene jedinice** koje se nižu uzdužno, dijeleći strukturne zidove;
- **Obrazovne ustanove** (vrtići, škole) gdje se učionice i dvorane organiziraju uz hodnike;
- **Turističke jedinice** (bungalovi, glamping, apartmani), koje se nižu uz komunikacijski put;
- **Uredi** koji se modularno povezuju u tzv. otvorene pejzaže (open-plan).

Prednost horizontalnog slaganja je u tome što **omogućuje jednostavan pristup svakoj jedinici**, kako korisnicima, tako i servisnim sistemima. Održavanje i eventualna zamjena modula odvija se bez narušavanja drugih jedinica. Također, kod horizontalnog slaganja moguće je **precizno upravljati orijentacijom** – moduli se mogu usmjeriti prema suncu, zakloniti od vjetrova ili otvoriti prema atriju.

Iz bio-arhitektonске perspektive, horizontalno slaganje omogućuje **izravniji kontakt s prirodom** – svaki modul može imati vlastiti izlaz na otvoreno, pristup vrtu, lođi ili vanjskom zajedničkom prostoru. To pridonosi psihološkoj dobrobiti korisnika i jača koncept „životnog prostora bez barijera“.

No, ograničenja horizontalnog slaganja su prostorna – zahtijeva **veću površinu zemljišta** i može dovesti do povećanja udaljenosti između različitih funkcionalnih zona. U urbanim sredinama gdje je prostor ograničen, horizontalna logika mora se pažljivo kombinirati s drugim pristupima.

2. Vertikalno slaganje: kompaktna učinkovitost

Vertikalno slaganje modula podrazumijeva **postavljanje modula jedan iznad drugoga** u više etaža, čime se maksimalno iskorištava vertikalni volumen prostora. Ovaj pristup omogućuje **kompaktnu izgradnju**, osobito pogodnu za **urbane sredine**, gdje je tlo skupo i ograničeno.

Vertikalno slaganje zahtijeva **viši stupanj konstruktivne preciznosti i statičke otpornosti**, budući da moduli moraju podnositi vertikalna opterećenja i biti međusobno povezani ne samo horizontalno, već i po visini. U takvim sustavima obično se koristi **jezgra sa stubištem i dizalom** kao vertikalni komunikacijski modul, uz koji se nižu stambeni, uredski ili tehnički moduli.

Tipične primjene uključuju:

- **Stambene zgrade s više katova**, s različitim konfiguracijama stanova po etažama;
- **Hoteli i studentski domovi** s ponavljajućim jedinicama;
- **Vertikalne škole i zdravstveni centri** u urbanim sredinama;
- **Modularne višekatnice** izrađene od drvenih CLT modula (npr. drvene kule).

Vertikalna organizacija omogućuje **višu gustoću stanovanja i smanjenje otiska građevine na parceli**, što ostavlja više prostora za zajedničke sadržaje, vrtove i prirodni okoliš. Također, smanjuje se potreba za komunikacijskim površinama jer vertikalne jezgre povezuju veći broj jedinica u manjoj površini.

U bio-arhitektonskom kontekstu, vertikalno slaganje koristi se za stvaranje **zelenih vertikala** – zgrade s biljnim pročeljima, vertikalnim vrtovima, zelenim krovovima i zajedničkim terasama. Time se smanjuje urbana toplinska masa, poboljšava mikroklima i jača estetski identitet građevine.

Izazovi vertikalnog slaganja uključuju **složeniju statiku, akustiku i protupožarne zahtjeve**, kao i nužnost pažljivog planiranja ventilacije i svjetlosti u unutaršnjim prostorima. Zbog toga se ovaj pristup često kombinira s naprednim digitalnim alatima za optimizaciju dizajna.

3. Kombinirano slaganje: dinamika prostora u službi fleksibilnosti

Kombinirano slaganje modula uključuje **istodobnu upotrebu horizontalne i vertikalne logike** kako bi se stvorila arhitektura složenijeg karaktera. To je pristup koji odgovara projektima srednje i veće složenosti – naseljima, školama, coworking centrima, zdravstvenim ustanovama, kampusima i višefunkcionalnim zgradama.

U ovom modelu moduli se povezuju u **trodimenzionalne prostorne strukture** koje se mogu razvijati fazno, segmentarno ili organski. Neki dijelovi građevine razvijaju se horizontalno (npr. učionice, sobe, prostori za boravak), dok se drugi razvijaju vertikalno (komunikacijski moduli, tehničke jezgre, zeleni toranj).

Prednosti kombiniranog slaganja su:

- **Funkcionalna podjela prostora po etažama i zonama;**
- **Bolja optimizacija orijentacije i prirodnog svjetla;**
- **Veća sloboda u projektiranju unutarnjih i vanjskih veza;**
- **Mogućnost stvaranja atrija, dvorišta, pasaža i terasa;**
- **Estetska dinamika i formalna razigranost volumena.**

Kombinirano slaganje omogućuje da se modulima pristupi **arhitektonski kreativno**, stvarajući kompozicije koje ne izgledaju kao ponavljanje istog elementa, već kao **orchestrirana struktura različitih volumena**. Time modularna arhitektura izlazi iz okvira ponavljajuće tipske forme i dobiva **vizualnu i prostornu slojevitost**.

U bio-arhitekturi ovaj se pristup koristi kako bi se **povezale različite funkcije (stanovanje, rad, zajednički sadržaji, priroda)** u jedno prostorno iskustvo. Terasa i međuprostori pretvaraju se u **proširenja zajedničkog života**, a složene prostorne konfiguracije omogućuju **fluidnu granicu između unutaršnjeg i vanjskog**.

Nedostatak ovog pristupa može biti složenost montaže i veći zahtjevi za koordinaciju tijekom projektiranja, ali suvremeni alati (BIM, parametarski dizajn) omogućuju njihovo precizno upravljanje.

4. Rasterna organizacija: modularna mreža kao baza dizajna

Rasterni princip organizacije modula temelji se na **pretpostavljenom mrežnom sustavu** – kvadratnom, pravokutnom, heksagonalnom ili drugom – unutar kojeg se moduli mogu **slobodno raspoređivati, premještati i nadograđivati**, poput polja u mreži. Ovaj pristup podrazumijeva **veći stupanj apstrakcije i slobode**, ali i jasnoću strukture koja omogućuje jednostavno upravljanje sustavom.

Rasterna organizacija koristi se za:

- **Stambena naselja** i kvartove (planirana proširenja);
- **Obrazovne ili poslovne kampuse** s različitim funkcionalnim zgradama;
- **Fleksibilne prostorne sustave** koji omogućuju dugoročnu prilagodbu;
- **Participativne projekte** u kojima korisnici mogu birati raspored svojih modula.

Najpoznatiji povijesni primjer rasternog modularnog sustava je **Nakagin Capsule Tower** (Tokio, 1972., arh. Kisho Kurokawa), gdje su kapsule bile umetnute u betonski raster jezgre i mogle se zamjenjivati.

U suvremenim kontekstima, raster se često koristi u **digitalnom dizajnu modularnih naselja**, gdje sustav može rasti organski – poput mreže ćelija – ali zadržava prostornu i tehničku koherenciju. Svaki korisnik može unutar rastera odabrati kombinaciju funkcija (spavaonica, kuhinja, radna jedinica, vrt), a zajednički prostori organiziraju se kao čvorišta (hubovi).

U bio-arhitekturi rasterni pristup omogućuje:

- **Regenerativno planiranje naselja;**
- **Pametno korištenje zemljišta;**
- **Ekološku infrastrukturu** (zeleni koridori, infiltracijski sustavi, solarne mreže);
- **Participaciju zajednice u odlučivanju.**

Raster omogućuje **vremensku fleksibilnost** – naselje može započeti s nekoliko modula, a s vremenom se proširivati bez gubitka funkcionalne logike. Svaki dodatak lako se integrira u

postojeću mrežu. Takvi sustavi idealni su za **kontinentalna eko-naselja, pilot-područja ili nova sela temeljena na održivim principima.**

Primjeri fleksibilnih tlocrtnih rješenja

Fleksibilnost je jedno od temeljnih načela modularne arhitekture – i ne samo kao tehnička ili konstruktivna strategija, već i kao **prostorni i funkcionalni koncept**. Fleksibilni tlocrt podrazumijeva da prostor nije statična kompozicija prostorija s unaprijed definiranim funkcijama, već **dinamični sustav koji se može prilagođavati različitim potrebama, korisnicima, fazama života, sezonama ili kontekstima**. U bio-arhitekturi, fleksibilnost tlocrtnih rješenja usko je povezana s principima održivosti, zdravlja i prilagodljivosti – jer omogućuje da se jedan prostor koristi višestruko, bez potrebe za fizičkim širenjem građevine, dodatnim resursima ili destruktivnim intervencijama.

Tlocrt, kao organizacijska mapa života u prostoru, može biti **fleksibilan u nekoliko ključnih dimenzija**: u organizaciji funkcija (npr. mogućnost zamjene dnevnog boravka i radnog prostora), u prostornim granicama (npr. pomične pregrade), u višefunkcionalnosti elemenata (npr. krevet u ormaru), u sekvencijalnosti korištenja (npr. prostor za jogu koji postaje blagovaonica), te u vremenskoj dinamici (npr. fazna izgradnja ili modularno širenje).

U nastavku prikazujemo primjere fleksibilnih tlocrtnih rješenja kroz različite tipologije: **mala stambena jedinica, obiteljska kuća, coworking prostor, turistički smještaj, edukativni objekt i zajednički prostori** – analizirajući arhitektonske strategije, korištene elemente i potencijale transformacije.

1. Fleksibilni tlocrt male stambene jedinice

U kontekstu rasta urbanih populacija i sve skupljeg stanovanja, sve veći broj korisnika živi u stambenim jedinicama površine 25–45 m². Kako bi se u tako ograničenom prostoru omogućilo funkcionalno i ugodno stanovanje, fleksibilni tlocrt postaje ključna alatka.

Primjer: Studio od 30 m² s tri konfiguracije

- **Dnevna konfiguracija:** Centralni prostor s velikim kliznim prozorima koristi se kao dnevni boravak i radni prostor. Zidna jedinica sadrži sklopivi stol i TV policu. Ormar skriva sklopivi krevet.
- **Večernja konfiguracija:** Krevet se spušta iz zida, a klizna pregrada odvaja prostor za spavanje od ostatka jedinice. Rasvjeta se mijenja u topliju temperaturu.
- **Gostinjska konfiguracija:** Pomicanjem laganog modula (pokretnog ormara s kotačima), formira se dodatni prostor za madrac ili prostirku. Kuhinjski pult služi i kao dodatni stol.

Elementi koji omogućuju fleksibilnost:

- Klizne i sklopive površine (krevet, stol, vrata);
- Modularni ormari na kotačima;
- Multifunkcionalni zidovi (s integriranim rasvjetnim, skladišnim i akustičnim elementima);
- Centralna elektroinstalacija koja se ne ometa pri pomicanju pregrada.

U bio-arhitektonskom kontekstu, takav prostor izrađuje se od prirodnih materijala (drvo, lan, vuna), koristi dnevnu svjetlost maksimalno, ima dobru ventilaciju i prilagodljive otvore prema vanjskom prostoru (lođa, vrtna terasa).

2. Fleksibilna obiteljska kuća s modularnim fazama

Klasična obiteljska kuća projektira se za idealni trenutak – npr. kad su djeca mala – no rijetko tlocrt odgovara promjenama koje dolaze s vremenom: djeca odrastaju, roditelji stare, potreban je kućni ured ili dodatna soba za goste. Fleksibilni tlocrt omogućuje da kuća **evoluira s obitelji**.

Primjer: Modularna kuća u tri faze

- **Faza 1 (startna):** 45 m² – centralni dnevni boravak s kuhinjom, kupaonica, spavaća soba. Pogodna za mladi par.

- **Faza 2 (proširenje):** dodaju se dva modula – dječja soba i kućni ured. Tlocrt se reorganizira: hodnik postaje komunikacijska os između modula, a terasa se proširuje.
- **Faza 3 (prenamjena):** kad djeca odu, jedan modul se odvaja i postaje apartman za najam. Drugi se transformira u atelje ili prostor za meditaciju.

Taktike fleksibilnosti:

- Strukturni moduli koji omogućuju dodavanje ili uklanjanje bez utjecaja na jezgru;
- Predgotovljeni priključci (elektro, voda) unaprijed integrirani u jezgru;
- Vanjske veze (lođe, terase) koje djeluju kao „meki“ prostori između modula;
- Uvođenje dvosmjernih prostorija (npr. dječja soba koja može biti gostinjska, ured ili skladište).

Ovakva kuća planira se s „otvorenim krajevima“ – zidovima koji se lako mogu otvoriti za buduće module. Korištenje CLT konstrukcije i drvenih interijera dodatno pojačava biološku i energetske učinkovitost prostora.

3. Fleksibilni coworking prostor: zonalnost i prilagodba

Radni prostori više nisu fiksna mjesta gdje svatko ima svoj stol, već **dinamična okruženja** koja se prilagođavaju timu, tipu zadatka, dobu dana ili tipu radnika (individualac, tim, klijent, prezentacija). Modularni coworking prostori nude višestruke scenarije.

Primjer: Coworking od 200 m² s mobilnim zonama

- **Zona A (tišina):** kutak za koncentrirani rad, s akustičnim pregradama i svjetlosnom regulacijom.
- **Zona B (interakcija):** zajednički stolovi koji se mogu slagati, razdvajati, rotirati.
- **Zona C (prezentacija):** prostor za radionice, opremljen sklopivim sjedalima i mobilnim ekranima.
- **Zona D (regeneracija):** lounge kutak s biljkama, dnevnim svjetlom i difuznim svjetlom navečer.

Fleksibilni elementi:

- Stolovi i ormarići na kotačima;
- Klizne akustične pregrade s funkcijom ploče;
- Plug-and-play utičnice u podu;
- Vertikalni moduli koji dijele i pohranjuju (biljke, knjige, rasvjeta).

Zahvaljujući pametnom modularnom tlocrtu, prostor se može reorganizirati unutar 15 minuta za potpuno novu funkciju – od radionice do filmske projekcije. U biofilnom kontekstu koriste se **biljke, prirodni materijali i dinamička rasvjeta** kako bi se smanjio stres i povećala produktivnost.

ODRŽIVI MATERIJALI I TEHNIKE GRADNJE

Popis i karakteristike ekoloških materijala (drvo, glina, konoplja, slama, glineni premaz, prirodna izolacija)

U kontekstu bio-arhitekture i modularnog pristupa gradnji, **odabir građevinskih materijala** ima izravan i višestruk utjecaj – ne samo na okoliš, već i na **zdravlje korisnika, energetske učinkovitost prostora, mogućnosti reciklaže, ekonomske modele gradnje te na emocionalni doživljaj prostora**. Ekološki građevinski materijali razlikuju se od konvencionalnih po tome što su **prirodnog podrijetla, obnovljivi, biorazgrađivi, neškodljivi po zdravlje**, te imaju **nizak ekološki otisak** kroz cijeli svoj životni ciklus – od eksploatacije sirovina, preko obrade i korištenja, do mogućnosti ponovne uporabe ili razgradnje.

Za modularnu bio-arhitekturu ključni su **lagani, svestrani, taktilni i energetski učinkoviti materijali**, koji se lako mogu integrirati u prefabricirane module, transportirati, oblikovati i prilagođavati različitim funkcijama. Takvi materijali pritom moraju zadovoljavati standarde konstrukcijske čvrstoće, dugotrajnosti, otpornosti na vlagu i vatru, kao i higijenske i estetske zahtjeve prostora.

U ovom odlomku donosimo pregled najvažnijih **ekoloških građevinskih materijala** u kontekstu bio-arhitekture, uz opis njihovih **karakteristika, primjene, prednosti i izazova**: drvo, glina, konoplja, slama, glineni premaz te različite vrste prirodne izolacije.

1. Drvo: nosiva struktura živog prostora

Drvo je najstariji, najprisutniji i najraznolikiji građevinski materijal u povijesti čovječanstva. U kontekstu ekološke gradnje, drvo predstavlja **temeljni strukturni i estetski materijal** koji istodobno zadovoljava visoke tehničke zahtjeve i pruža toplinu, taktilnost i vizualnu ugodu prostora. Kao prirodni, obnovljivi materijal s negativnim ugljičnim otiskom (CO₂ se skladišti u drvenoj masi), drvo je **jedno od najočiglednijih rješenja za održivu arhitekturu**.

Karakteristike drva:

- Lakoća u odnosu na nosivost – idealno za modularnu montažu i transport;
- Visoka izolacijska svojstva (nizak koeficijent toplinske provodljivosti);
- Higroskopsnost – regulira vlagu u prostoru, stvara ugodnu mikroklimu;
- Biološka kompatibilnost – nema emisije štetnih plinova (osim ako nije kemijski tretirano);
- Dobra protupotresna otpornost (elastičnost konstrukcije).

Primjena:

- Nosiva konstrukcija (gredni sustavi, okviri, CLT ploče);
- Vanjske i unutarnje obloge (podovi, stropovi, fasade);
- Stolarska i završna obrada (prozori, vrata, namještaj);
- Dekorativni i akustični elementi (letve, lamele, perforirane ploče).

Vrste drva koje se najčešće koriste u ekološkoj arhitekturi su smreka, jela, bor, ariš, hrast, topola i bukva – uz pažljiv odabir prema lokalnom podneblju, dostupnosti i otpornosti. Korištenje **lokalno uzgojenog drva** dodatno smanjuje ugljični otisak i potiče lokalnu ekonomiju.

Napomena: kako bi drvo zadržalo svoje prirodne kvalitete, ne smije se tretirati sintetskim zaštitama (lakovi, pesticidi), već se koristi **ulje, vosak, laneno ulje ili ekološki impregnanti**.

2. Glina: regenerativna masa za disanje zidova

Glina je jedan od najstarijih građevinskih materijala čovječanstva, a u suvremenoj bio-arhitekturi doživljava **renesansu zbog svojih jedinstvenih higroskopskih, termičkih i estetskih svojstava**. Za razliku od cementa, koji zahtijeva veliku količinu energije za proizvodnju i stvara znatan CO₂ otisak, glina se može **vaditi lokalno, obrađivati ručno i potpuno reciklirati**. Ona nije samo materijal – već **aktivni element unutarnje klime**, koji regulira vlagu, akumulira toplinu i pruža jedinstvenu taktilnost prostora.

Karakteristike gline:

- Higroskopna – upija i otpušta vlagu, stabilizira mikroklimu;
- Toplinska masa – akumulira i polako oslobađa toplinu;
- Ne emitira štetne tvari, čak upija VOC iz drugih materijala;
- Potpuno reciklabilna – može se ponovo koristiti bez otpada;
- Antistatička i antibakterijska – pogodna za alergičare i djecu.

Primjena:

- Zidne konstrukcije (nabijena zemlja, glinene opeke, glineni blokovi);
- Unutarnje žbuke i premazi (glineni malter, glineni pigmenti);
- Akumulacijski slojevi u zidovima i pećima (masa za toplinsku stabilnost);
- Dekorativni reljefi, niše, estetski detalji (ručno modelirane površine).

Posebna vrijednost gline je u **njenoj sposobnosti oblikovanja** – glineni zid može biti ravna ploha, valovita tekstura, umetnuti uzorak, mozaik ili čak likovni izraz. Osim toga, glina se u modularnoj arhitekturi koristi u kombinaciji s **suhozidnim sustavima**, gdje se u panele ugrađuju glineni slojevi radi regulacije mikroklimе.

3. Konoplja: biokompozit nove generacije

Konoplja (*Cannabis sativa*) jedno je od najbrže rastućih i najsvestranijih vlaknastih biljaka koje se koristi u građevinarstvu. Od nje se dobiva **biokompozit poznat kao hempcrete (konopljin beton)** – mješavina konopljine sječke (jezgre stabljike), vapna i vode, koja se stvrdnjava u porozni, lagani i vrlo učinkoviti izolacijski materijal. Konoplja je **CO₂ negativna** – tijekom svog rasta upija više ugljičnog dioksida nego što se emitira tijekom njezine prerade, čime značajno doprinosi borbi protiv klimatskih promjena.

Karakteristike konoplje (hempcrete):

- Izvrsna toplinska i zvučna izolacija;
- Regulacija vlage – paropropusna, ali vodootporna;
- Otporna na plijesan, insekte i vatru (zbog vapna);
- Lagan materijal – jednostavan za ugradnju u modularne zidove;
- Biorazgradiva i neškodljiva za zdravlje.

Primjena:

- Ispuna između drvenih okvira u montažnim zidovima;
- Pregradni i fasadni zidovi u modularnim kućama;
- Izrada gotovih panela s konopljom kao jezgrom;
- Kombinacija sa slamom ili glinom za dodatnu učinkovitost.

Konoplja se sve češće koristi u **prefabriciranim elementima** jer omogućuje serijsku proizvodnju uz visoku ekološku vrijednost. Osim toga, vizualno je vrlo atraktivna, posebno kada se ostavi u sirovom obliku bez završne obrade.

4. Slama: ekološki materijal iz poljoprivrednog otpada

Slama, kao nusproizvod poljoprivredne proizvodnje žitarica (pšenica, raž, ječam), dugi niz godina se koristi u tradicionalnom graditeljstvu kao **jeftin, dostupan i iznimno učinkovit izolacijski materijal**. U kontekstu moderne bio-arhitekture, ona ponovno dobiva na važnosti zbog **nulte emisije CO₂**, niskih troškova proizvodnje, sposobnosti skladištenja ugljika i izvrsnih tehničkih svojstava kad se pravilno koristi.

Karakteristike slame:

- Vrlo dobra toplinska izolacija ($\lambda = 0.038\text{--}0.055 \text{ W/mK}$);
- Paropropusnost – regulira vlagu u konstrukciji;
- Zvučna izolacija – zbog gustoće i vlaknaste strukture;
- Potpuno prirodna i obnovljiva;
- Visoka otpornost na vatru kada je pravilno komprimirana i obložena glinom ili vapnom.

Primjena:

- Gradnja balama slame – samonosive ili kao ispuna drvenih okvira;

- Prethodno prešani slamnati paneli u modularnoj gradnji;
- Kombinacija sa zemljanim i vapnenim žbukama za iznimnu trajnost;
- Izrada stropnih ispuna, toplinskih omotača i vanjskih zidova.

Slama se koristi i u **industrijski proizvedenim modularnim elementima**, gdje se bala obrađuje i zatvara između drvenih ploča. Takvi paneli lako se montiraju, ne zahtijevaju dodatnu izolaciju, a imaju prirodnu estetiku i taktilnost. Bitan aspekt upotrebe slame jest **zaštita od vlage** – pravilna obrada, podignuta konstrukcija i dobra ventilacija ključni su za dugovječnost.

U arhitektonskom smislu, slama pruža **toplinu, vizualnu mekoću i organsku prisutnost u prostoru**, što doprinosi osjećaju doma i sigurnosti.

5. Glineni premazi: zidovi koji dišu, reflektiraju i liječe

Glineni premazi i žbuke koriste se kao završna obrada u interijerima i eksterijerima kako bi se postigla **prirodna estetika, regulacija mikroklimi i aktivna zaštita zidnih površina**. Za razliku od sintetskih boja i premaza, glineni premazi **ne sadrže VOC (hlapive organske spojeve), ne emitiraju toksine, ne privlače prašinu i pomažu u održavanju stabilne vlažnosti zraka**.

Karakteristike glinenih premaza:

- Paropropusni – zidovi mogu „disati“;
- Reguliraju vlagu – upijaju višak, otpuštaju kada je zrak suh;
- Antibakterijski i antialergijski – idealni za dječje sobe, spavaće prostore, meditativne prostore;
- Mogućnost nijansiranja prirodnim pigmentima – 100% ekološki;
- Estetska svestranost – od rustikalnih do elegantnih završetaka.

Primjena:

- Završna obrada zidova i stropova u interijeru;
- Kombinacija s grijanjem na zidovima (akumulacija topline);
- Refleksija svjetlosti u prostorima s prirodnim svjetlom;
- U kombinaciji s drugim slojevima kao dio zidnog „sendviča“.

Glineni premazi dostupni su kao **gotove smjese** ili se miješaju ručno na gradilištu. U modularnoj arhitekturi koriste se i kao **prefabrikirane glinene ploče**, koje se umeću u suhozidne sustave i dodatno izoliraju. Njihova estetska vrijednost dolazi do izražaja u različitim teksturama – zaglađeni, rašpani, utisnuti, reljefni, pa čak i poliranim površinama („tadelakt“).

Osim vizualne topline, glineni premazi pružaju i **psihološku stabilnost i emocionalnu vezu s prirodom**. Korisnici često opisuju takve prostore kao „mirnije“, „tiše“ i „zdravije“.

6. Prirodna izolacija: zaštita s inteligencijom prirode

Izolacija je ključni element svake energetski učinkovite zgrade. U bio-arhitekturi cilj nije samo postići što manji toplinski gubitak, već i **stvoriti zdravu, paropropusnu i obnovljivu ovojnicu građevine**. Prirodni izolacijski materijali nadmašuju sintetske u mnogim aspektima – nisu toksični, reguliraju vlagu, smanjuju rizik od kondenzacije, ne stvaraju mikroplastiku i ne uzrokuju alergijske reakcije.

Najčešće korištene vrste prirodne izolacije uključuju:

a) Drvena vlakna

- Izvrsna toplinska i zvučna izolacija;
- Visoka paropropusnost i kapacitet akumulacije topline;
- Pogodna za krovove, zidove i podove;
- Dostupna kao roloi, ploče ili rasuti materijal;
- Proizvodi se od ostataka drvne industrije.

b) Ovčja vuna

- Prirodno regulira vlagu, ne truli ako je suha;
- Sposobna neutralizirati toksine iz zraka;
- Samoobnovljiva – može trajati i do 100 godina;

- Treba biti pravilno tretirana protiv moljaca (ekološkim sredstvima);
- Ugodna za ugradnju – bez iritacije kože i dišnog sustava.

c) Plutena izolacija

- Izuzetna otpornost na vlagu i štetnike;
- Visoka akustična izolacija – idealna za glazbene sobe i urede;
- Smanjuje vibracije i rezonanciju;
- Dostupna kao ploče za podove, zidove i fasade.

d) Celulozna vlakna (reciklirani papir)

- Toplinska učinkovitost usporediva s mineralnom vunom;
- Dobro prijanja na podlogu – koristi se za ispunu zidova puhanjem;
- Ekološka prerada – koristi se boraks kao zaštita od vatre i štetnika.

e) Lan i konoplja (vlakna)

- Lagani materijali, lako se ugrađuju;
- Mogućnost kombinacije s glinom i drvom;
- Dobar kompromis između cijene i performansi;
- Pogodni za kombinaciju s modularnim sendvič-zidovima.

Osim što pružaju zaštitu od hladnoće, prirodni izolacijski materijali **povećavaju komfor korisnika** – zgrada „diše“, unutarnji zrak ostaje stabilan, a promjene temperature su postupene. Također, njihova ugradnja ne zahtijeva posebnu zaštitnu opremu, što dodatno olakšava rad u kontekstu **zajedničkih graditeljskih inicijativa i participativnih gradnji**.

Zaključno promišljanje: materijali kao poruka prostora

Ekološki građevinski materijali nisu samo „zdravija alternativa“ konvencionalnim materijalima – oni su **nositelji drugačije filozofije prostora**. Odabirom drva, gline, slame ili prirodne izolacije projektant ne odabire samo materijal, već i **temeljni etos arhitekture**: odnosa prema prirodi, prema tijelu, prema zajednici i prema budućim generacijama.

U modularnoj bio-arhitekturi, ovi materijali dolaze do izražaja kroz serijsku, ali **emotivno nabijenu arhitekturu**: kuće koje mirišu na bor, zidovi koji odražavaju vlagu, prostori koji šute kad treba, a zrače toplinom kad je potrebno. Kroz njih, arhitektura postaje **produžetak prirodnih sustava**, a korisnik se ne osjeća izolirano od okoliša, već **ukorijenjen u njega**.

Načini odabira materijala prema lokaciji i klimi

U arhitekturi koja poštuje prirodu i čovjeka, **odabir građevinskih materijala ne može biti univerzalan, generički ni isključivo tehnički uvjetovan**. Umjesto toga, svaki materijal mora biti pažljivo promišljen u kontekstu specifične **lokacije, klime, reljefa, dostupnosti sirovina, društvenih navika i kulturnih obrazaca**. Bio-arhitektura zahtijeva da gradnja ne bude samo intervencija u prostor, nego **nastavak okolišnog i klimatskog sustava** koji već postoji. U tom duhu, **materijali nisu neutralni elementi konstrukcije, već aktivni sudionici mikroklimi, prostorne dinamike i dugoročne održivosti objekta**.

Odabir materijala prema klimi i lokaciji jedno je od najvažnijih pitanja suvremene održive gradnje, jer neprikladno odabrani materijali mogu izazvati **neravnotežu u unutarljivoj mikroklimi, povećati potrošnju energije, smanjiti trajnost građevine i ugroziti zdravlje korisnika**. S druge strane, pravilnim odabirom lokalnih, prilagodljivih i klimatski učinkovitih materijala postiže se **bioklimatski sklad, pasivna energetska učinkovitost, emocionalna povezanost s okolišem i smanjenje ukupnog ekološkog otiska**.

U nastavku ćemo analizirati **načela i strategije za odabir materijala** prema klimatskim zonama, uključujući konkretne **primjere prilagođenih materijala** za različite mikroklimi: kontinentalnu, mediteransku, planinsku, obalnu, sušnu i vlažnu klimu. Osim tehničkih aspekata, obuhvaćamo i **kulturnu i ekološku dimenziju izbora**.

1. Osnovna načela odabira materijala prema klimi

Kako bi materijali odgovarali konkretnoj lokaciji, potrebno je uzeti u obzir sljedeće čimbenike:

a) Toplinska svojstva materijala

- **Toplinska provodljivost (λ)** – koliko materijal dobro izolira (što manja vrijednost, to bolja izolacija);
- **Toplinska masa** – sposobnost akumulacije i zadržavanja topline (važna za temperaturne oscilacije);
- **Toplinska inercija** – koliko brzo ili sporo materijal reagira na temperaturne promjene.

b) Paropropusnost i regulacija vlage

- Materijali moraju moći **propustiti paru** kako bi spriječili kondenzaciju i plijesan, osobito u vlažnim i hladnim područjima.

c) Otpornost na vlagu, UV zračenje, smrzavanje, sol i mikroorganizme

- U obalnim područjima potrebna je otpornost na **sol, vlagu i vjetar**;
- U hladnim krajevima traži se otpornost na **smrzavanje i odmrzavanje**.

d) Pristupačnost i lokalna dostupnost

- Korištenje lokalnih materijala smanjuje ekološki otisak i **povezuje arhitekturu s kontekstom**.

e) Kulturalna kompatibilnost

- Materijal mora biti **prihvaćen i poznat u lokalnoj zajednici**, što olakšava održavanje i prenosi znanja.

2. Primjeri materijala prema klimatskim zonama

A. Kontinentalna klima (umjerenom vlažna s toplim ljetima i hladnim zimama)

Karakteristike klime:

- Velike temperaturne razlike između ljeta i zime;
- Potreba za **zadržavanjem topline zimi i sprečavanjem pregrijavanja ljeti**;
- Povećana vlaga u jesen i proljeće.

Preporučeni materijali:

- **Drvo** (smreka, jela): zbog visoke izolacije i toplinske mase, kao i dostupnosti u većem dijelu Europe;
- **Glineni blokovi i nabijena zemlja**: reguliraju vlagu i akumuliraju toplinu;
- **Ovčja vuna** kao prirodna izolacija – prilagodljiva promjenama temperature;
- **Glineni premazi** na unutarnjim zidovima – stvaraju zdravu mikroklimu;
- **Staklena vuna** (ako prirodni materijali nisu dostupni), ali uz parne brane.

Primjer: Pasivna kuća u Slavoniji koristi konstrukciju od CLT ploča s glinenim žbukama, izolacijom od celuloze, drvenim oblogama i zelenim krovom. Krovna streha produžena je za zaštitu od ljetnog sunca, a orijentacija prostora prati dnevni ciklus grijanja i hlađenja.

B. Mediteranska klima (topla, suha ljeta i blage zime)

Karakteristike klime:

- Visoke ljetne temperature;
- Suhi zrak, jaka insolacija;
- Potreba za **zaštitom od pregrijavanja i osiguravanjem ventilacije**.

Preporučeni materijali:

- **Kamen** (vapnenac, pješčenjak): visoka akumulacija topline i otpornost na sunce;
- **Drvo** (ariš, hrast) s UV zaštitom – za pergole i vanjske konstrukcije;
- **Bijela glinena žbuka** – reflektira sunčevu svjetlost;
- **Stropne šuplje opeke** – akumulacija i ventilacija;
- **Zidovi od zemlje i slame**: kao jeftinija alternativa kamenu, uz zaštitu od kiše i soli.

Primjer: Kuća u Istri građena od lokalnog kamena s glinenim završnim slojevima i krovom prekrivenim terakotom. Prozori imaju drvene škure za zaštitu od sunca, a deblji zidovi akumuliraju dnevnu toplinu i otpuštaju je noću.

C. Planinska klima (hladne zime, intenzivne oborine, snijeg, UV)

Karakteristike klime:

- Vrlo niske temperature zimi;
- Česti snijeg i smrzavanje;
- Velika razlika između dnevne i noćne temperature.

Preporučeni materijali:

- **CLT drvene konstrukcije:** visoka toplinska izolacija i nosivost;
- **Ovčja vuna:** idealna za niske temperature i vlažne uvjete;
- **Glineni premaz:** za regulaciju vlage iznutra;
- **Prozori s trostrukim ostakljenjem;**
- **Ploče od drvenih vlakana:** dodatna toplinska barijera.

Primjer: Planinska kuća u Gorskom kotaru koristi kombinaciju lameliranog drva, slamnatih panela u pregradnim zidovima i ovčje vune u krovnoj izolaciji. Krov je strm i produžen, a temelji su podignuti zbog snježnog pokrivača. Korištene su i solarne ploče za grijanje vode.

D. Vlažna klima (rijeke, močvare, tropski uvjeti)

Karakteristike klime:

- Visoka vlaga tijekom cijele godine;
- Rizik od plijesni, korozije i truljenja;
- Potrebna ventilacija, suhi materijali, dizanje konstrukcije od tla.

Preporučeni materijali:

- **Bambus i lagano drvo** s prirodnim zaštitama;
- **Zemljani zidovi** s dodatkom vapna radi otpornosti na vlagu;
- **Zračne šupljine u konstrukciji** – olakšavaju sušenje i sprječavaju vlagu;
- **Glineni i vapneni premazi** za sprječavanje mikroorganizama;
- **Plutena izolacija** – otporna na vlagu i plijesan.

Primjer: Eko-naselje u delti Neretve koristi uzdignute drvene konstrukcije na stupovima, s prozračnim podovima i stijenama. Zidovi su ispunjeni panelima od trske i gline, a krovišta su prekrivena prirodnim šindrama otpornima na vlagu.

E. Sušna klima (stepa, pustinja, sjever Afrike, jug Italije)

Karakteristike klime:

- Visoke dnevne temperature, hladne noći;
- Mala vlažnost, jak vjetar, pješčane oluje;
- Potreba za akumulacijom hladnoće i zaštitom od sunca.

Preporučeni materijali:

- **Nabijena zemlja** – akumulira hladnoću noću, štiti od topline danju;
- **Debeli zidovi** bez termoizolacije – pasivna stabilizacija klime;
- **Bijeli krovovi** od vapna i gline – reflektiraju toplinu;
- **Zemljani podovi** – hladna masa, udobna za hodanje.

Primjer: Kuća u Maroku građena od nabijene zemlje (rammed earth), sa zidovima debljine 50 cm i minimalnim otvorima na južnoj strani. Krov je obrubljen biljkama koje snižavaju temperaturu. Ventilacija se postiže unutarnjim dvorištem s fontanom.

3. Odabir materijala prema mikroklimi i topografiji

Osim šire klimatske zone, važna je i **mikroklima** lokacije: orijentacija parcele, sjena, prisutnost vegetacije, vodene površine, lokalni vjetrovi, nadmorska visina. Primjerice:

- Kuća na **južnoj padini** tražit će materijale koji **spriječavaju pregrijavanje**;
- Objekt u **klancu** mora imati dodatnu **ventilaciju i obranu od vlage**;
- Na lokacijama s jakim vjetrovima potrebno je koristiti **kompaktne oblike i otporne fasadne materijale** (npr. paljeno drvo, zemljane ploče s vapnom).

Topografija utječe i na **dostupnost lokalnih materijala**. Na planini se koristi drvo, u dolini zemlja i trska, u primorju kamen i vapno. U skladu s principima kružne ekonomije, **najbolji materijal je često onaj koji se nalazi unutar 50 km od gradilišta**.

Zaključak: Materijal kao medij lokalne mudrosti

Odabir materijala prema lokaciji i klimi nije puka tehnička optimizacija, već **iskaz poštovanja prema zemlji na kojoj gradimo**. Prirodni materijali nisu samo „zeleni“ jer su biorazgradivi, već jer su **mudro ukorijenjeni u prostorne i klimatske zakonitosti regije**. Modularna bio-arhitektura ima odgovornost ne samo ponuditi fleksibilna rješenja, već i da ih **ukorijeni u stvarnost mikroklima**, u pamćenje tla, u ponašanje sunca i u ritmove zraka i vode.

Kada se materijal bira s pažnjom prema lokaciji, arhitektura više nije apstraktna geometrija – ona postaje **živi organizam koji diše s pejzažom** i gradi most između kulture i prirode. U takvom prostoru korisnici osjećaju **harmoniju**, jer su zidovi, podovi i stropovi u skladu s njihovim tijelom, ritmom i potrebama.

Tehnike građenja koje podupiru bio-arhitekturu (npr. zemljane tehnike, CLT paneli, slamnate bale, pasivni sistemi)

Bio-arhitektura nije ograničena na izbor materijala – ona se u potpunosti očituje u **načinu građenja**, u tehnikama koje spajaju čovjeka, materijal i okoliš u funkcionalnu, zdravu i dugotrajnu cjelinu. Dok konvencionalna gradnja često zanemaruje lokalne klimatske uvjete i prirodne zakonitosti, bio-arhitektonske tehnike polaze od **dubljeg razumijevanja prirode kao sustava**. Cilj ovih tehnika nije samo sagraditi objekt, već stvoriti **stanište koje komunicira s okruženjem, diše s korisnikom i traje u skladu s ekosustavom**.

Moderna bio-arhitektura obuhvaća širok spektar graditeljskih metoda koje se oslanjaju na **prirodne materijale, pasivne principe, lokalne resurse i suptilnu tehnologiju**. Neke od njih proizlaze iz tradicionalnog graditeljstva (poput zemljanih tehnika i gradnje slamom), dok druge koriste najnapredniju tehnologiju i industrijsku preciznost (poput CLT panela). One se međusobno ne isključuju – dapače, često se kombiniraju kako bi se postigli optimalni rezultati. U ovom odlomku razradujemo četiri ključne skupine tehnika koje čine srž bio-arhitekture: **zemljane tehnike, CLT paneli, gradnja slamnatim balama i pasivni sustavi**. Svaka od ovih metoda nudi jedinstvene prednosti i rješenja za različite klimatske, prostorne i društvene izazove.

Zemljane tehnike: gradnja iz tla pod nogama

Zemljane tehnike predstavljaju jednu od najstarijih, ali i najobnovljivijih metoda gradnje u povijesti čovječanstva. Njihova vrijednost danas nije samo u povijesnoj i kulturnoj dimenziji, već i u njihovom iznimno niskom ekološkom otisku, visokoj energetskej učinkovitosti i sposobnosti da osiguraju zdravu, uravnoteženu unutarnju mikroklimu. Bio-arhitektura zemlju ne promatra kao prljavštinu, već kao **pametni građevinski materijal**, koji kada se pravilno koristi – disanjem regulira vlagu, akumulira toplinu, filtrira zvukove i štiti od vremenskih ekstrema.

Zemlja je lokalno dostupna, prirodna, obnovljiva, lako obradiva, a u kombinaciji s tradicionalnim znanjima i modernom tehnikom, postaje **jedan od najnaprednijih bioarhitektonskih alata** za stvaranje energetskej učinkovitih, estetski autentičnih i emocionalno ugodnih prostora. U nastavku detaljno predstavljamo najznačajnije tehnike: **nabijenu zemlju (rammed earth), adobe opeke, cob gradnju**, te suvremene **prefabricirane zemljane sustave**.

1. Nabijena zemlja (rammed earth)

Nabijena zemlja je metoda u kojoj se prethodno pripremljena smjesa zemlje (najčešće glina, pijesak i šljunak, uz eventualni dodatak vapna) slaže u oplatu u slojevima od 10 do 15 cm, te se zatim mehanički ili ručno sabija. Time se stvara masivan zid iznimne čvrstoće, otpornosti i estetske vrijednosti.

Ključne karakteristike:

- Visoka **toplinska masa** – idealna za akumulaciju dnevne topline i njezino otpuštanje tijekom noći;
- Potpuna **reciklabilnost** – kada više nije potreban, zid se može razgraditi i vratiti u tlo;
- Otpornost na vlagu i vremenske uvjete (ako je pravilno projektiran s istacima, nadstrešnicama i temeljnim zaštitama);
- Izrazito **estetski atraktivan** – slojeviti uzorci boja, nijansi i tekstura bez potrebe za dodatnom obradom.

Primjeri primjene:

- Javne zgrade, škole i kulturni centri u Francuskoj, Švicarskoj i Španjolskoj;
- Privatne kuće u Australiji i SAD-u (osobito u sušnim regijama);
- Muzej u blizini Lisabona (Casa do Terra) s trokatnim zidovima od nabijene zemlje;
- Kombinacija s CLT panelima u hibridnoj strukturi za toplinsku ravnotežu.

Za razliku od opeke i betona, zid od nabijene zemlje stvara osjećaj "**prisnosti sa zemljom**" – tekstura ostaje prirodna, boje su iz spektra tla lokacije, a prostor dobiva taktilnu i emocionalnu dubinu.

2. Adobe (opeke sušene na suncu)

Adobe je tehnika oblikovanja zemljanih cigli koje se suše na suncu (ne peku), a izrađuju se miješanjem **gline, pijeska, slame i vode**. Nakon što se oblikuju u kalupima, ostavljaju se na otvorenom nekoliko dana do nekoliko tjedana, ovisno o vremenskim uvjetima.

Prednosti adobe tehnike:

- Vrlo niska energetska potrošnja u proizvodnji (nema pečenja);
- Lokalna proizvodnja – cigle se mogu izraditi na licu mjesta;
- Dobra otpornost na vatru i zvučna izolacija;
- Lako se kombiniraju s tradicionalnim žbukama (glina, vapno).

Slabosti i rješenja:

- Manja otpornost na vodu i vlagu – potrebno zaštititi zidove velikim istacima, podignutim temeljima i kvalitetnim žbukama;
- Krhkost pri mehaničkom udaru – koristi se više u nenosivim zidovima i kombinaciji s drvenim okvirom.

Kulturna primjena:

- Tradicionalne kuće u središnjoj Aziji, Latinskoj Americi i sjevernoj Africi;
- Seoske škole i društveni objekti u ruralnim područjima u Africi;
- Moderna obiteljska kuća u Dalmaciji s kombinacijom adobe opeke i maslinovog drva, s glinenim premazima i unutarnjim nišama.

3. Cob gradnja: zemlja oblikovana rukom

Cob je tehnika u kojoj se **zemljana smjesa oblikuje i nanosi ručno** u slojevima bez upotrebe oplata ili kalupa. Takva gradnja omogućuje **organsku slobodu oblika**, zakrivljenih zidova, niša, integriranog namještaja i estetskih detalja koji stvaraju osobit ugođaj prostora.

Sastav smjese:

- Glina + pijesak + voda + slama;
- Ručno miješanje nogama ili specijaliziranim strojevima.

Primjena:

- Male kuće, vrtne sobe, meditacijski prostori, učionice i radionice;
- Unutarnje pregrade koje odvajaju funkcije bez težine;
- Dodatni zidovi unutar modularnih drvenih kuća – za toplinsku masu i vizualnu raznolikost.

Prednosti:

- Ekstremno niska cijena;
- Visoka participacija zajednice;
- Estetska sloboda i skulpturalnost;

- Zdrav okoliš za korisnike – ne emitira štetne tvari.

Primjer: Cob kuća izgrađena u Vojvodini u zajedničkoj radionici lokalnih mještana, s drvenom konstrukcijom, slamnatim krovom i unutarnjim klupama u zidovima.

4. Suvremeni zemljani sustavi: paneli, žbuke, kompoziti

Zahvaljujući novim tehnologijama, zemljani materijali više nisu ograničeni samo na tradicionalne oblike – danas postoje **prefabricirani zemljani paneli, suhozidni elementi s glinom i kompozitni materijali** koji se lako integriraju u modularne sustave.

Primjeri:

- **Lehm Ton Erde Baukunst (Austrija)** – proizvodi zemljane zidne panele s drvenom strukturom;
- **ClayTec (Njemačka)** – nudi gotove zemljane žbuke i montažne sustave;
- **Glineni moduli za grijane zidove** – kombinacija pasivnog grijanja i prirodne akumulacije topline.

Ovi sustavi omogućuju **kombinaciju tradicionalne kvalitete i suvremene učinkovitosti**, te se mogu koristiti u **školama, uredima, domovima zdravlja i modularnim stambenim jedinicama**.

CLT paneli: križno lamelirano drvo kao jezgra suvremene bio-arhitekture

U posljednja dva desetljeća, građevinska industrija doživjela je izniman tehnološki skok u razvoju **inženjerskih drvenih materijala**. Među njima, **CLT (Cross-Laminated Timber)** – odnosno **križno lamelirano drvo**, izdvaja se kao ključna komponenta u tranziciji prema održivoj i modularnoj arhitekturi. Riječ je o tehnici industrijskog spajanja drvenih lamela u **velike masivne panele**, koji po svojim statičkim, toplinskim i protupožarnim svojstvima konkuriraju klasičnim materijalima poput betona i čelika – ali uz znatno niži **ekološki otisak, bolju zdravstvenu podnošljivost i bržu montažu**.

CLT je idealan odgovor na potrebe **modularne bio-arhitekture**: njegovi elementi su precizno tvornički izrađeni, višefunkcionalni, vizualno atraktivni i mogu se koristiti u nizu kombinacija – od nosive konstrukcije i međukatnih ploča, do zidova i fasada.

Kako nastaje CLT?

CLT paneli izrađuju se **laminiranjem (ljepljenjem) višeslojnih dasaka** (lamela) od punog drva (najčešće smreke, jele ili bora) u križnom uzorku – svaki sloj postavlja se okomito na prethodni (najčešće 3, 5 ili 7 slojeva). Tako se postiže **velika otpornost na savijanje i torziju**, kao i ravnomjerno ponašanje u svim smjerovima.

Ljepila korištena u kvalitetnoj CLT proizvodnji moraju biti **niskotoksična** (bez formaldehida), a sve češće se koriste prirodna poliuretanska veziva ili termički aktivirana ljepila bez emisije štetnih spojeva.

Ključne karakteristike CLT panela u bio-arhitekturi

1. Visoka mehanička čvrstoća

CLT paneli mogu nositi vrlo velika opterećenja, što omogućuje njihovu upotrebu u **višekatnim objektima** (do 10 katova pa i više) bez potrebe za dodatnom armaturom.

2. Brza i čista gradnja

Zahvaljujući **CNC strojnoj obradi** u tvornici, paneli dolaze na gradilište točno izrezani prema nacrtu. Montaža se izvodi brzo i s minimalnim otpadom, što omogućuje **izgradnju čitavog objekta u nekoliko dana**, čak i u teškim vremenskim uvjetima.

3. Toplinska učinkovitost

Zbog svoje **velike mase i dobre izolativnosti**, CLT paneli osiguravaju stabilnu unutarnju temperaturu, čime se smanjuje potreba za dodatnim sustavima grijanja i hlađenja. U kombinaciji s prirodnom izolacijom (vuna, drvena vlakna), postižu se visoke vrijednosti energetske učinkovitosti.

4. Zvučna izolacija

Uz odgovarajuće slojeve (npr. zvučnu barijeru od pluta ili vlakana), CLT konstrukcije pružaju dobru zaštitu od zvučnog prijenosa između prostorija i između katova, što je izuzetno važno u zajedničkim i višestambenim objektima.

5. Otpornost na vatru

Zahvaljujući debljini i načinu karbonizacije, CLT paneli u požaru **ne kolabiraju naglo** – njihova površina izgori do određene dubine, stvarajući zaštitni sloj koji usporava daljnje sagorijevanje.

6. Paropropusnost

CLT omogućuje disanje zidova, pogotovo kada se koristi u kombinaciji s prirodnim žbukama (glina, vapno), čime se stvara **zdrava unutarinja mikroklima** bez kondenzacije.

CLT u kontekstu modularne bio-arhitekture

CLT paneli savršeno odgovaraju principima modularnosti – mogu se tvornički unaprijed izrezati u **standardizirane module** (npr. 3 × 6 m), s precizno izbušenim otvorima za prozore, vrata, instalacije i spojnice. Paneli se potom slažu na gradilištu metodom „lego sustava“, a spojevi se izvode pomoću **nevidljivih metalnih priključaka**, vijaka i klinova.

Primjeri primjene:

- **Stambene zgrade** s unaprijed proizvedenim modularnim jedinicama;
- **Škole i vrtići**: topla i prirodna atmosfera + brza gradnja bez ometanja djece;
- **Coworking prostori**: open space tlocrt + akustični paneli od CLT ostataka;
- **Mikrosmještaji i eko-kuće**: transport modula kamionom i brza montaža na terenu.

CLT je posebno pogodan za **ruralne i suburbanizirane regije** gdje nema razvijene infrastrukture za klasičnu gradnju, ali postoji pristup lokalnoj drvojoj industriji.

Estetska dimenzija CLT-a

Za razliku od betona i čelika, koji zahtijevaju obloge, CLT paneli mogu **ostati vidljivi iznutra**. Površina drva stvara topao i umirujući ambijent, s izraženom teksturom godova, prirodnim tonovima i mirisom. U bioarhitektonskim prostorima to rezultira **povećanim osjećajem sigurnosti, povezanosti s prirodom i emocionalne udobnosti**.

Estetska obrada može uključivati:

- **Sirovo vidljivo drvo** s voskom;
- **Bijeljeno drvo** za prozračnost i svjetlost;
- **Prešano drvo s uzorkom** za dodatnu akustiku i vizualnu dinamiku.

Održivost CLT sustava

CLT se proizvodi od **održivo upravljanih šuma**, a mnoge tvrtke u Europi i Kanadi certificirane su po FSC i PEFC standardima. U proizvodnji se koristi minimalna količina energije, a ostatak materijala (piljevina, otpaci) koristi se za grijanje ili daljnju obradu.

Važno je napomenuti:

- Životni vijek CLT konstrukcije uz pravilno održavanje iznosi **više od 100 godina**;
- Nakon upotrebe, paneli se mogu **razmontirati i ponovno koristiti**;
- Karbonski otisak objekta izrađenog od CLT panela može biti **i do 80% manji** od betonskog ekvivalenta.

Primjeri iz prakse

1. **"Stadthaus" u Londonu (Vaugh Thistleton Architects)** – prva višekatnica u svijetu (9 katova) izrađena isključivo od CLT-a. Bez dizalica, bez buke, s niskom emisijom CO₂.
2. **"LifeCycle Tower One" u Austriji** – hibridna zgrada s drvenom i čeličnom jezgrom, koristi CLT kao nosivi element i fasadni sustav.
3. **Eko-selo u Sloveniji** – sve kuće izrađene od CLT panela, s modularnim tlocrtima, zelenim krovovima i glinenim unutarnjim zidovima.

Gradnja slamnatim balama: arhitektura iz polja

Slamnate bale predstavljaju jedan od najočitijih primjera kako se **prirodni otpad može pretvoriti u vrhunski građevinski resurs**. Riječ je o tehnici koja koristi sabijene bale slame (nusprodukt žetve žitarica poput pšenice, raži, zobi) kao **nosivi građevinski element ili visokokvalitetnu izolaciju**. Ova metoda, koja je u svojim počecima bila percipirana kao privremeno ili „alternativno“ rješenje, danas je potpuno priznata i regulirana u brojnim državama, uključujući SAD, Njemačku, Francusku i Ujedinjeno Kraljevstvo.

U kontekstu bio-arhitekture i modularnog graditeljstva, gradnja slamom nudi **ekološku učinkovitost, izvanredne toplinske karakteristike, nisku cijenu, lokalnu dostupnost i visoku razinu ljudske uključenosti**. Štoviše, pravilno projektirane zgrade od slame mogu biti dugotrajnije, zdravije i energetski superiornije u usporedbi s konvencionalnim kućama.

Vrste konstrukcija sa slamnatim balama

Postoje dvije osnovne metode ugradnje slame:

1. Nosiva konstrukcija (Nebraska-style)

- Bale slame same **nosi teret krova**;
- Najjednostavnija i najjeftinija metoda;
- Pogodna za objekte do jednog kata i jednostavnijih tlocrta;
- Krov se postavlja tek nakon slaganja zidova.

2. Nenosive bale u okviru (post-and-beam)

- Drvena konstrukcija (okvir) nosi vertikalna opterećenja;
- Bale se umeću između stupova kao **izolacijski zidni ispun**;
- Omogućuje višekratne objekte, kompleksne oblike i bržu gradnju;
- Pogodna za modularne sustave jer se bale mogu prethodno prilagoditi.

Treća, novija metoda uključuje **prefabricirane panele sa slamom** – drveni okvir ispunjen slamom, zatvoren difuzno otvorenim pločama, koji se montira kao gotov zidni element.

Fizikalna svojstva slame

Toplinska izolacija

- $\lambda \approx 0.038\text{--}0.055 \text{ W/mK}$ (usporedivo ili bolje od mineralne vune);
- Debljina zida od 45 cm omogućuje **pasivne kuće bez dodatne izolacije**;
- Zimi zadržava toplinu, ljeti sprečava pregrijavanje.

Paropropusnost i higroskopnost

- Bale „dišu“ – reguliraju vlagu u prostoru;
- Uz pravilnu žbuku (glina, vapno), sprječava kondenzaciju i plijesan.

Zvučna izolacija

- Vlaknasta struktura slame učinkovito prigušuje zvukove;
- Pogodno za kuće uz prometnice, coworking prostore i škole.

Otpornost na vatru

- Kompaktno prešana bala ne sadrži kisik – **usporeno gorenje**;
- Testovi pokazali otpornost veću od 90 minuta;
- Ključna je zaštita glinenom ili vapnenom žbukom.

Konstruktivne karakteristike i montaža

Gradnja slamom zahtijeva:

- **Podignute temelje** (najmanje 30 cm iznad tla) za zaštitu od vlage;
- **Krov s velikim istacima** (strehe) kako bi kiša padala izvan linije zida;
- **Ventiliranu podkonstrukciju** i sustav parne regulacije;
- Prirodnu završnu obradu – **glinena žbuka** s vapnom kao najidealniji završni sloj.

Montaža se najčešće izvodi:

- Ručno, od strane obučenih graditelja ili zajednice;

- Pomoću jednostavnih alata – pila, letve, špage, ubodne pile;
- U modulima – jedan zid dnevno za tim od 3–4 osobe;
- Suhom metodom – bez cementa i vode, osim za temelje.

Prednosti gradnje slamom u bio-arhitekturi

- **Ekološka učinkovitost** – CO₂ negativna gradnja (slama skladišti više CO₂ nego što se emitira pri obradi);
- **Lokalna samodostatnost** – gradnja iz resursa unutar 50 km;
- **Zdrav okoliš** – bez emisije VOC, mirisi tla i bilja u interijeru;
- **Participativna gradnja** – zajednički projekti, edukacije, radionice;
- **Vizualna toplina** – debljina zidova, niše, zakrivljene forme.

Primjeri iz prakse

1. **L'Ilot des Combes, Francuska** – zgrada s 8 stanova, izrađena od prefabriciranih drvenih modula sa slamom. Kombinacija s CLT podovima i krovovima.
2. **Eko vrtić u Belgiji** – kompletna konstrukcija od balirane slame i glinenih žbuka, s visokim energetske učinkom i savršenom akustikom.
3. **Zajednička kuća u Slavoniji** – samogradnja u suradnji s nevladinom organizacijom, s ventiliranom slamom, zelenim krovom i solarnim kolektorima.

Slama u kontekstu modularne arhitekture

U modularnoj arhitekturi, slama se koristi:

- Kao **ispuna prefabriciranih drvenih panela**;
- Kao **unutarnji toplinski sloj** između CLT panela i fasade;
- Za **unutarnje pregradne zidove** s dodatnom zvučnom i toplinskom zaštitom;
- U kombinaciji s glinom za regulaciju mikroklima.

S obzirom na nisku težinu i visoku učinkovitost, slama je idealna za **prijenosne objekte, kuće za digitalne nomade, škole u udaljenim regijama, mobilne jedinice za krize i kampove**.

Pasivni sustavi: suživot s okolišem bez mehanike

Pasivni sustavi u arhitekturi označavaju **strategije i principe koji koriste prirodne sile i izvore energije – sunce, vjetar, vodu i zemljinu toplinu – za regulaciju temperature, svjetla, ventilacije i vlažnosti unutar zgrade, bez oslanjanja na aktivne sustave poput klima-uređaja ili centralnog grijanja**. Za razliku od konvencionalnih tehnoloških rješenja, pasivni pristupi u središte projektiranja stavljaju **lokaciju, orijentaciju, oblik i materijale**, a njihova učinkovitost ovisi o **mudroti dizajna, a ne potrošnji energije**.

U bio-arhitekturi pasivni sustavi nisu dodatak – oni su **temelj prostorne logike**. Njihova primjena omogućuje stvaranje **energetski učinkovitih, zdravih i ugodnih prostora**, uz minimalni ekološki otisak i trošak. Uz to, pasivne zgrade su često **dugotrajnije, jednostavnije za održavanje i otpornije na izvanredne okolnosti** poput prekida opskrbe energijom.

1. Orijentacija i oblik zgrade

Prva i najvažnija pasivna odluka u projektiranju je **kako je objekt pozicioniran u odnosu na sunce, vjetar i topografiju**.

- **Južna orijentacija** maksimalno koristi zimsko sunce za zagrijavanje prostora, dok nadstrešnice štite od ljetnog pregrijavanja.
- **Kompaktan oblik zgrade** smanjuje omjer površine i volumena – manje gubitaka energije.
- **Zoniranje prostorija** omogućuje raspored funkcija prema potrebama za toplinom ili svjetlom (npr. dnevni boravak na jugu, spremišta na sjeveru).
- **Položaj u terenu** (ukopani dijelovi, zračne komore) koristi izolacijsku moć tla.

2. Pasivno grijanje i hlađenje

Pasivno solarno grijanje

- Zimi, **sunčeve zrake ulaze kroz južne prozore** i zagrijavaju unutarnje površine (podove, zidove);
- Materijali s visokom toplinskom masom (glina, beton, kamen) **akumuliraju toplinu** i otpuštaju je tijekom noći;
- Unutarnji zimski vrtovi funkcioniraju kao tampon-zone koje prikupljaju toplinu tijekom dana.

Pasivno hlađenje

- **Poprečna ventilacija** – otvori na suprotnim stranama zgrade omogućuju prirodni protok zraka;
- **Noćno hlađenje** – prozori se otvaraju noću kako bi hladan zrak rashladio građevinu;
- **Zeleni krovovi i fasade** snižavaju temperaturu površina;
- **Debeli zidovi** od zemlje ili CLT-a usporavaju prodor topline.

3. Pasivna ventilacija i kvaliteta zraka

Zdrav zrak je temelj zdravog prostora. Pasivna ventilacija omogućuje **kontinuiranu izmjenu zraka bez električne energije**, što pozitivno utječe na **koncentraciju CO₂, vlagu, mirise i opću udobnost**.

Tehnike:

- **Termalni dimnjaci** – topli zrak se prirodno podiže i izlazi kroz otvor na krovu, povlačeći svjež zrak iz nižih otvora;
- **Kanali za zrak ispod zgrade** – tzv. kanadski bunari ili zemaljski izmjenjivači topline koriste stabilnu temperaturu tla;
- **Krovni prozori s automatiziranim otvaranjem** za „efekt dimnjaka“;
- **Zelene barijere** koje filtriraju zrak i stvaraju mikroklimu (živice, biljni filteri).

4. Prirodna rasvjeta

Korištenje dnevne svjetlosti u prostorima smanjuje potrebu za umjetnim osvjetljenjem, poboljšava **mentalno zdravlje, ritam budnosti i produktivnost**.

- **Veliki južni otvori** uz nadstrešnice koje sprječavaju ljetni prodor;
- **Svjetlosni tuneli** (eng. light tubes) – reflektiraju sunčevu svjetlost u središte objekta;
- **Bijele ili glinene površine** koje reflektiraju i difuzno raspoređuju svjetlost;
- **Kombinacija prozora različitih visina** za ravnomjernu distribuciju svjetla tijekom dana.

5. Zeleni elementi i okoliš kao suigrač

U pasivnom dizajnu okoliš nije prepreka već **strategijski partner**. Biljke, voda i reljef pomažu u regulaciji mikroklimе.

Primjeri:

- **Listopadno drveće** ispred južnih prozora – zimi propušta sunce, ljeti stvara hlad;
- **Površinska voda** (jezerce, fontana) ispred zgrade – isparavanje hladi zrak;
- **Zeleni krovovi** – štite od pregrijavanja, zadržavaju oborine i podržavaju bioraznolikost;
- **Zeleni zidovi** – filtriraju zrak, smanjuju buku i podižu emocionalni ugođaj.

6. Prikupljanje i korištenje kišnice

Sustavi za pasivno prikupljanje kišnice uključuju:

- **Krovne žlijebove s filterima** koji usmjeravaju vodu u spremnike;
- **Podzemne cisterne** za WC, navodnjavanje ili hlađenje;
- **Perforirane rubnjake** i popločenja koja zadržavaju vodu na parceli.

Ovi sustavi smanjuju potrošnju pitke vode i podržavaju lokalne cikluse vode, čineći objekt otpornijim na sušu i infrastrukturne poremećaje.

7. Materijali koji podupiru pasivni sustav

Pasivne zgrade najviše koriste od materijala koji:

- Imaju visoku **toplinsku masu** (glina, zemlja, beton);
- Pružaju dobru **paropropusnost** (drvo, vuna, pluto, glinene žbuke);
- Omogućuju **modularnu i brzu montažu** (CLT, paneli od slame);
- Podržavaju kružno korištenje i nisku emisiju CO₂.

Primjeri iz prakse

1. **Pasivna škola u Kopenhagenu** – koristi dnevnu svjetlost, zeleni krov, termalne dimnjake i zidove od nabijene zemlje.
2. **Privatna kuća u Grazu** – CLT konstrukcija, glineni unutarnji zidovi, zimski vrt, toplotna masa poda, pasivno grijanje bez kotla.
3. **Pasivni dom za starije u Istri** – orijentiran južno, s permakulturnim vrtom, zračnim jastucima i ventiliranim međukatnim pločama.

Pasivni sustavi nisu „low-tech“ zamjena za naprednu tehnologiju. Oni su **najinteligentniji oblik arhitekture**, jer koriste **zakone prirode**, a ne protiv njih. U bio-arhitekturi, pasivna rješenja su ključna za **regenerativne, emocionalno zdrave i dugoročno održive prostore**. Kada zgrada zna kada treba upiti toplinu, kada pustiti svjetlo, kako prozračiti sobu – tada je ona **živo biće u dijalogu s okolišem**.

BIOKLIMATSKI PRINCIPI I ENERGETSKA UČINKOVITOST

Analiza mikroklimе i orijentacije

1. Uloga mikroklimе u bioklimatskom projektiranju

U središtu bioklimatske arhitekture nalazi se načelo da građevina ne djeluje izolirano od svog okoliša, već u neprekidnoj interakciji s njim – fizički, energetska, termodinamički i atmosferski. Stoga, mikroklima određene lokacije nije puki podatak ili parametar, već **dinamički prostorni kontekst koji oblikuje sve faze arhitektonskog promišljanja** – od početnog volumena do izbora fasadnih materijala. U tom smislu, analiza mikroklimе u ranoj fazi projektiranja postaje **kritična komponenta za postizanje visoke razine energetske učinkovitosti i unutarnje udobnosti prostora**.

Mikroklimatska analiza obuhvaća kvantificiranje i interpretaciju lokalnih klimatskih uvjeta kao što su insolacija, intenzitet i smjer vjetrova, temperatura zraka i tla, relativna vlažnost, kišni režim, lokalne refleksije, vegetacijski utjecaji i antropogeni izvori topline. Za razliku od općih klimatskih karakteristika koje opisuje makroklima (npr. umjereno-kontinentalna ili mediteranska klima), mikroklima se odnosi na **specifične uvjete u radijusu od nekoliko metara do nekoliko stotina metara oko građevne čestice**.

2. Hijerarhija klimatskih slojeva: makro, mezo i mikroklima

U procesu planiranja važno je razlikovati tri razine klimatološkog utjecaja koje djeluju na arhitektonsko oblikovanje:

- **Makroklima** – klimatski režim šire regije, temeljen na geografskim širinskim zonama (npr. srednja Europa, Jadran, Panonska nizina). Na ovoj razini analiziraju se sezonske promjene, ekstremne temperature, dominantni režimi vjetrova i opći obrasci oborina.
- **Mezoklima** – lokalizirana klimatska karakteristika u okviru određene konfiguracije terena ili naselja. Na nju utječu prisutnost vodotoka, brda, šuma, gradskih površina, tip urbanizacije i razina zagađenja.
- **Mikroklima** – mikroregulacija unutar same parcele. To je razina koja najizravnije utječe na strategije postavljanja objekta, otvora, zaklona, sjena, tamponskih zona, zelenih barijera i materijalnih rješenja.

Svaka razina utječe na onu ispod nje i projektant mora **sintetizirati sve slojeve** u jedinstvenu prostornu i energetska optimiziranu koncepciju.

3. Metodologija mikroklimatske analize

3.1. Prikupljanje klimatskih podataka

Prvi korak uključuje sustavno prikupljanje podataka iz meteoroloških izvora:

- **Vrijednosti insolacije** (prosječna dnevna i godišnja izloženost);
- **Ruža vjetrova** – analiza smjera i frekvencije vjetrova kroz godine;
- **Godišnje temperaturne fluktuacije** – minimalne i maksimalne vrijednosti;
- **Oborinski režim** – sezonski i mjesečni raspored padalina;
- **Vlažnost zraka** – osobito u prijelaznim i zimskim mjesecima;
- **Temperatura tla** – u slojevima od 0.5 m do 2 m, za geotermalni potencijal.

Alati: **Climate Consultant, Meteonorm, EnergyPlus weather files (.epw), Autodesk Insight, Ladybug (Rhino/Grasshopper plugin)**.

3.2. Analiza insolacije

Heliodonska analiza omogućuje određivanje:

- Orijetacije zgrade prema suncu;
- Dubine i trajanja sjenčanja tijekom dana i godišnjih doba;
- Idealnih kuteva za nadstrešnice i orijentaciju prozora;
- Sezonske raspodjele sunčevog zračenja po površinama fasade i krova.

Analiza insolacije ključna je za projektiranje **pasivnog grijanja, prirodnog osvjetljenja i zaštite od ljetnog pregrijavanja**.

4. Orijentacija: generator energetske ravnoteže

Orijentacija građevine prema stranama svijeta predstavlja **najjednostavniji, ali najučinkovitiji pasivni alat** u postizanju optimalnih uvjeta boravka, a njezino pravilno korištenje omogućuje:

- Maksimalno iskorištenje sunčevog zračenja zimi;
- Minimizaciju toplinskih dobitaka ljeti;
- Ujednačeno dnevno osvjetljenje;
- Učinkovito korištenje prirodne ventilacije.

4.1. Optimalna orijentacija

- **Južna orijentacija:** optimalna za dnevne prostore, omogućuje najveći solarni dobitak tijekom zime kada je kut sunčevih zraka nizak. Ljeti se jednostavno kontrolira horizontalnim sjenilima jer su zrake visoke.
- **Istočna orijentacija:** koristi se za jutarnje aktivnosti i prostorije kao što su kuhinje i spavaće sobe.
- **Zapadna orijentacija:** najzahtjevnija zbog jakog poslijepodnevnog sunca, pogotovo ljeti. Zahtijeva dodatne vertikalne brisoleje ili zasjenjenja drvećem.
- **Sjeverna orijentacija:** stabilna i difuzna svjetlost, bez izravnog sunca – pogodna za tehničke prostorije, ostave, kupaonice ili ateljee.

4.2. Primjeri loše orijentacije

Zgrade s pretežno staklenim površinama na zapadnoj fasadi često se pregrijavaju ljeti, što zahtijeva znatne energetske uložke za hlađenje. Slično, potpuno zatvaranje južne strane smanjuje zimski solarni dobitak i povećava potrebu za grijanjem.

5. Lokalni faktori koji moduliraju mikroklimu

U analizi mikroklimе, uz opće klimatske uvjete i orijentaciju, **posebno značenje imaju lokalni faktori** koji modificiraju energetske tok, kretanje zraka, isparavanje i emisiju topline. To uključuje **reljef terena, prisutnost vegetacije, vodene površine, vrste tla, tipove podloga (asfalt, trava, šljunak), izgrađenost i urbano tkivo**.

5.1. Topografija i reljef

- **Padine orijentirane prema jugu** primaju više insolacije, idealne su za pasivne sustave;
- **Udoline i kotline** zadržavaju vlagu i hladan zrak, stvarajući tzv. „hladne džepove“;
- **Grebeni i otvorene ravnice** izloženi su jačem vjetru, što je važno za planiranje prirodne ventilacije;
- **Usjeci i mikrovalovi** u terenu utječu na lokalne turbulencije i smjer vjetra.

5.2. Vegetacijski pokrov

- **Drveće** stvara hladovinu, usporava vjetar, reducira refleksiju i povećava vlažnost zraka;
- **Zelene površine** (travnici, krovovi, zidovi) smanjuju površinske temperature do 4–7 °C u odnosu na betonirane površine;
- **Listopadno drveće** je idealno za kontrolu sezonske insolacije (ljetno – hladovina; zima – propušta sunce);
- **Gusta šumska vegetacija** stvara mikroklimatske tampon-zone i smanjuje brzinu vjetra.

5.3. Vodeni elementi

- Jezera, potoci, fontane i kanali sudjeluju u **isparavanju** koje hladi zrak;
- U blizini vodenih tijela povećava se **relativna vlažnost**, što utječe na termalni osjet prostora;
- Zimi voda može djelovati kao izvor kondenzacije, pa je potrebna precizna kontrola paropropusnosti slojeva.

6. Interakcija mikroklimе i materijala: albedo, emisivnost, akumulacija

Mikroklimatsko ponašanje prostora ne ovisi samo o okolišu već i o **svojstvima materijala** koji definiraju njegove granice – krovove, fasade, tlo, urbanu opremu.

6.1. Albedo

Albedo označava **omjer reflektirane i upijene sunčeve energije**. Površine svjetlijih tonova (npr. bijela fasada, aluminijski lim) imaju visok albedo (0,6–0,9), dok tamne površine (asfalt, crijep) imaju nizak albedo (0,1–0,2). U kontekstu mikroklimata:

- Visok albedo pomaže **u ljetnom hlađenju**, ali zimi može smanjiti korisnu apsorpciju;
- Tamnije, masivne površine pomažu **u zadržavanju topline** u prijelaznim razdobljima;
- Idealna rješenja koriste selektivne površine – npr. materijale koji reflektiraju vidljivo, a apsorbiraju infracrveno zračenje.

6.2. Emisivnost

Emisivnost definira sposobnost materijala da **isijava toplinsko zračenje**. Materijali visoke emisivnosti (npr. glineni premazi, žbuke) brzo gube toplinu noću, dok oni s niskom emisivnošću (metalne površine) zadržavaju toplinu dulje. Ključno je uskladiti emisivnost s funkcijom: npr. visokoemisivne krovove iznad spavaonica, niskoemisivne nadstrešnice iznad terasa.

6.3. Toplinska masa

Toplinska masa (kapacitet materijala za akumulaciju i otpuštanje topline) jedan je od najvažnijih alata za **stabilizaciju unutarnje temperature**.

- Materijali poput nabijene zemlje, betona, kamena i glinenih zidova akumuliraju toplinu danju i otpuštaju je noću;
- Lako dostupna toplinska masa, pravilno postavljena u unutarnjem sloju zida (s unutarnje strane izolacije), smanjuje temperaturne fluktuacije do 6 °C;
- CLT i paneli od drva imaju manju toplinsku masu, ali se kombiniraju s glinenim žbukama za balans.

7. Primjeri primjene mikroklimatske analize u projektima

7.1. Pasivna kuća na padini (Kvarner)

- Južna orijentacija, s padinom koja pojačava insolaciju u zimskom razdoblju;
- Tamni podni elementi (terakota) akumuliraju toplinu;
- Zimski vrt djeluje kao solarni kolektor;
- Ugrađena reflektirajuća barijera u krovnom paketu ljeti smanjuje prijenos topline.

7.2. Modularna škola u urbanom toplinskom otoku (Zagreb)

- Parcela izložena zapadnoj insolaciji, uz asfaltne pristupe i visoke zgrade;
- Analiza pomoću Envi-met pokazala temperaturnu razliku od 3,5 °C unutar parcele;
- Postavljena šuma listopadnih stabala na zapadnom rubu i zeleni krovovi s transpiracijom;
- Zidovi visoke refleksije, ali s toplinskom akumulacijom od 15 cm glinenog sloja.

7.3. Ekološka kuća u Lici

- Podignuta na temeljima s ventiliranom podlogom za sprečavanje hladnog zraka;
- Zidovi od nabijene zemlje s dodatnim staklenim tijelom za pasivno grijanje;
- Vegetacijska barijera prema sjeveru štiti od vjetra;
- Sakupljanje kišnice i filtracija korištenjem terasastog tla s biljkama.

8. Zaključna evaluacija: integracija mikroklimata u dizajnersku logiku

Analiza mikroklimata nije puki dodatak energetske optimizaciji, nego **temeljna disciplina koja definira način na koji građevina postoji u prostoru**. Njome se određuje karakter prostora, udobnost korisnika, ponašanje energije, otpornost konstrukcije i sposobnost zgrade da reagira na dugoročne klimatske promjene.

U bioklimatskom dizajnu, mikroklima nije protivnik kojeg treba nadvladati, već **sustav koji treba slušati, analizirati, simulirati i oblikovati u suradnji s prirodnim silama**. Orijentacija objekta,

izbor pozicije prozora, materijalne konfiguracije i vegetacijski raspored trebaju biti rezultat **interakcije klimatskih podataka, funkcionalnih potreba korisnika i arhitektonske vizije**.

Svaka zgrada, neovisno o njezinoj veličini, funkciji ili kontekstu, može postati **energetski učinkovit, bioklimatski osjetljiv i estetski autentičan prostor**, ako se temelji na dubinskom razumijevanju mikroklimatskog okoliša.

Pasivni i aktivni sustavi (ventilacija, grijanje, hlađenje)

1. Uvod: energetski pristup u arhitektonskom kontekstu

U kontekstu održive arhitekture i bioklimatskog oblikovanja, sustavi ventilacije, grijanja i hlađenja zauzimaju središnju ulogu u **regulaciji unutarnjeg komfora i smanjenju ukupne energetske potrošnje** objekta. Razlika između **pasivnih i aktivnih sustava** nije samo u vrsti tehnologije, već u filozofiji pristupa – pasivni sustavi koriste prirodne zakonitosti za regulaciju uvjeta (sunčevo zračenje, kretanje zraka, toplinska masa), dok aktivni sustavi uključuju **mehaničke uređaje i energiju iz vanjskih izvora**.

Zadaća svakog arhitekta i inženjera nije samo ugradnja tehničkih rješenja, nego **integracija sustava u sam prostorni koncept**, tako da se njihova učinkovitost temelji na optimalnoj geometriji, orijentaciji, izboru materijala i ponašanju korisnika. **Hibridni pristupi**, koji kombiniraju pasivne i aktivne sustave u jedinstveni integrirani energetski sustav, predstavljaju standard u suvremenim visokoučinkovitim i NZEB (Nearly Zero Energy Building) projektima.

2. Pasivna ventilacija

Pasivna ventilacija koristi prirodne sile – prvenstveno **razlike u tlaku i temperaturi**, kako bi se osigurala izmjena zraka bez upotrebe mehaničkih ventilatora. Ključno je razumjeti osnovne principe koji pokreću prirodnu ventilaciju: **termalni uzgon (stack effect)**, **vjetrom inducirana ventilacija** i **diferencijalne zone tlaka** u prostoru.

2.1. Tipovi pasivne ventilacije

- **Poprečna ventilacija:** omogućuje protok zraka kroz prostor između otvora na suprotnim stranama. Učinkovitost ovisi o širini prostora, razlikama tlaka i položaju otvora. Optimalan kut vjetra prema zgradi je između 45° i 90°.
- **Vertikalna ventilacija:** koristi razliku u visini otvora kako bi se ostvario uzgon zraka. Topli zrak izlazi kroz više otvore (npr. krovne prozore), a hladniji ulazi pri dnu.
- **Termalni dimnjak (solar chimney):** vertikalni kanal koji koristi solarno zagrijavanje za poticanje uzgona zraka. Unutarnje stijenske se zagrijavaju suncem, čime stvaraju podtlak i potiču cirkulaciju.
- **Zemljani zračni izmjenjivači (Earth Tubes):** zrak prolazi kroz cijevi ukopane u tlo na dubini gdje temperatura ostaje konstantna (npr. 12–14 °C), čime se zimi predgrijava, a ljeti hladi.

2.2. Projektni parametri

- Površina otvora $\geq 4\%$ netto površine prostora;
- Minimalna visinska razlika između ulaznog i izlaznog otvora: 2,5 m za termalni uzgon;
- Unutarnji otvori (vrata, pregrade) moraju imati zračne prijelaze (npr. rešetke, zazore).

2.3. Prednosti i ograničenja

Prednosti:

- Nulta potrošnja energije;
- Jednostavna implementacija;
- Poboljšanje kvalitete zraka bez buke i vibracija.

Ograničenja:

- Ovisnost o vanjskim klimatskim uvjetima;
- Potreba za kontrolom vlage i filtracijom u urbanim sredinama;
- Veća arhitektonska kompleksnost pri planiranju.

3. Pasivni sustavi grijanja i hlađenja

Pasivni sustavi grijanja i hlađenja oslanjaju se isključivo na **prirodne izvore i fizikalne zakonitosti**, bez potrebe za aktivnom opskrbom energijom. Uspješnost njihove primjene ovisi o **geometriji zgrade, orijentaciji, materijalima, odnosima između staklenih i punih ploha**, te o korištenju prirodnih resursa poput sunca, tla i noćnog hlađenja.

3.1. Pasivno solarno grijanje

Pasivno solarno grijanje koristi **direktno sunčevo zračenje** kroz prozore ili zimske vrtove za zagrijavanje unutarnjih prostora. Energija se akumulira u **toplinski masivnim elementima** (zidovi, podovi) i postupno otpušta tijekom hladnijih perioda.

Elementi sustava:

- **Južno orijentirani prozori** s visokim koeficijentom transmisije;
- **Toplinska masa** (npr. glineni pod, zid od nabijene zemlje, betonski akumulator);
- **Zimski vrt (solar atrium)** – prostor koji djeluje kao tampon-zona i kolektor topline;
- **Nadstrešnice** koje ljeti sprječavaju pregrijavanje.

Projektantske smjernice:

- Ukupna površina južnih prozora: 7–12% bruto površine prostora;
- Omjer toplinske mase prema grijanoj površini: min. 300 kg/m²;
- Preporučeni kut nadstrešnice: izračunat na temelju solarnog kuta u lipnju i prosincu.

3.2. Termalna masa i unutarnja akumulacija

Toplinska masa ima sposobnost da **ublaži temperaturne fluktuacije** u prostoru. Idealno se kombinira s pasivnim solarom i prirodnom ventilacijom.

Materijali visoke toplinske mase:

- Nabijena zemlja ($c \approx 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$);
- Neobloženi beton ($c \approx 880 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$);
- Zidovi s glinenim premazima ($c \approx 1400 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$).

Pozicioniranje mase:

- Podovi izloženi izravnom sunčevom zračenju;
- Masivni zidovi unutar izolacijskog omotača;
- Stropne ploče bez spuštenih stropova.

Effekt: Zimi se masa danju zagrijava, noću otpušta toplinu; ljeti masa upija dnevne viškove i uz noćnu ventilaciju omogućuje hlađenje.

3.3. Pasivno hlađenje

Pasivno hlađenje koristi **noćnu ventilaciju, isparavanje, hladno zračenje tla i refleksiju svjetla** za snižavanje unutarnje temperature.

Tehnike:

- **Noćno provjetravanje** – otvaranje prozora u kasnim satima (idealno uz visoku ventilaciju kroz atrijske ili stubišta);
- **Reflektirajuće površine** – bijele fasade, svijetli krovovi;
- **Zelene površine** – hlade okoliš i snižavaju temperaturu dolaznog zraka;
- **Isparavanje vode** – vanjske fontane, vlažni vrtni elementi;
- **Podzemni kanali (Earth tubes)** – zrak proveden ispod zemlje ljeti se hladi na 12–14 °C.

Ugradnja obnovljivih izvora energije (solarni paneli, toplinske pumpe)

U okviru tranzicije prema niskoenergetskom i ugljično neutralnom građevinskom sektoru, **obnovljivi izvori energije (OIE)** postaju neizostavni dio arhitektonskog i tehničkog projektiranja. Njihova integracija više nije isključivo tehničko pitanje, već i prostorno, estetsko, energetsko i zakonodavno. Ključni obnovljivi izvori koji se integriraju u zgrade su **solarne elektrane (fotonaponski sustavi)** i **toplinske pumpe (zrak-voda, zemlja-voda, voda-voda)**. Njihova pravilna primjena zahtijeva suradnju projekatanta raznih disciplina, razumijevanje lokalne mikroklimе, precizne simulacije i funkcionalnu integraciju u konstrukciju, infrastrukturu i estetiku objekta.

1. Fotonaponski sustavi (PV – photovoltaic systems)

Fotonaponski sustavi omogućuju **pretvorbu sunčevog zračenja u električnu energiju** putem PV ćelija izrađenih od poluvodičkih materijala (najčešće kristalni silicij).

1.1. Ključni elementi sustava:

- **PV moduli** (monokristalni, polikristalni, tanki film);
- **Inverter (pretvarač)** – pretvara istosmjernu struju (DC) u izmjeničnu (AC);
- **Sustav montaže** – krovni, fasadni, integrirani (BIPV);
- **Mjerači i nadzorni sustavi** (smart monitoring);
- **Baterijski spremnici (opcionalno)** – za pohranu energije i samodostatnost.

1.2. Projektantski parametri:

- **Orijentacija:** južna $\pm 15^\circ$ daje optimalnu proizvodnju;
- **Nagib panela:** 25° do 35° za Hrvatsku (ovisno o geografskoj širini);
- **Specifični prinos:** 1000–1300 kWh/kWp godišnje (ovisno o lokaciji);
- **Površina:** 1 kWp \approx 6,5–7,5 m² PV modula;
- **Potrebna nosivost krova:** 15–25 kg/m² (ovisno o sustavu montaže);
- **Zasjenjenje:** mora se minimizirati jer i djelomično zasjenjenje može znatno smanjiti učinkovitost.

1.3. Integracija u zgradu:

- **Krovna integracija:** PV moduli kao zamjena za crijep (BIPV – Building Integrated PV);
- **Fasadna integracija:** vertikalno montirani PV paneli u ventiliranim fasadama;
- **Fotonske pergole:** proizvodnja struje i zasjenjenje u jednom elementu;
- **Solarni parapeti, tende i brisoleji.**

1.4. Energetska i ekonomska korist:

- Proizvodnja električne energije za vlastite potrebe (smanjenje računa);
- Ulazak u sustav otkupa (net metering ili net billing);
- Povećanje energetske klase zgrade (npr. iz C u A+);
- Povrat investicije: 6–10 godina (ovisno o poticajima i cijeni struje);
- CO₂ ušteda: 700–900 kg CO₂ godišnje po svakom instaliranom kWp.

2. Toplinske pumpe

Toplinske pumpe koriste niskotemperaturne izvore (zrak, voda, tlo) za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode, uz vrlo visoku energetska učinkovitost. Načelo rada temelji se na **reverzibilnom ciklusu hlađenja**, gdje se toplina "crpi" iz izvora niže temperature i prenosi na sustav više temperature.

2.1. Tipovi toplinskih pumpi:

- **Zrak-voda:** koristi toplinu iz vanjskog zraka za grijanje vode u sustavu (najčešći tip, jednostavna instalacija).
- **Zemlja-voda (geotermalna):** koristi stabilnu temperaturu tla putem kolektora ili bušotina.
- **Voda-voda:** koristi podzemnu vodu kao izvor topline (zahtijeva vodna prava i hidrogeološku studiju).

2.2. Ključni tehnički parametri:

- **COP (Coefficient of Performance):** omjer proizvedene toplinske energije i potrošnje električne energije. COP > 4 kod sustava zemlja-voda.
- **Temperaturni režimi:** niskotemperaturni sustavi (35–45 °C) optimalni za podno ili zidno grijanje.
- **Radni medij:** R290, R410A, CO₂ – odabir ovisno o ekološkoj prihvatljivosti i radnom tlaku.
- **Potrebni prostori:** unutarnja jedinica + vanjska (ili izmjenjivač s kolektorom).

2.3. Integracija u sustav grijanja/hlađenja:

- **Podno grijanje** – optimalno za niske temperature režime, sporo zagrijavanje i visoka udobnost.
- **Zidni i stropni radijantni sustavi** – jednolika temperatura površina, bez strujanja zraka.
- **Fan-coil jedinice (ventilokonvektori)** – za režime grijanja i hlađenja s odzivom na promjene.
- **Povezivanje s PV sustavima** – stvaranje gotovo samodostatnih energetskih modula.

2.4. Energetski učinak i uštede:

- Smanjenje potrošnje primarne energije do 75%;
- Pogodno za zgrade koje žele dostići NZEB standard;
- Povrat investicije: 7–12 godina (ovisno o dubini bušotina i tipu zgrade);
- CO₂ emisije niže za 2–3 t godišnje u odnosu na kotlove na loživo ulje ili plin.

3. Projektantska i zakonodavna razmatranja

- **Proračun energetskog razreda prema pravilniku o energetskom certificiranju zgrada** uključuje učinke OIE;
- **EU direktive (EPBD)** zahtijevaju minimalni udio obnovljivih izvora za sve nove zgrade;
- **Nacionalne poticajne mjere (FZOEU, EU fondovi)** omogućuju subvencioniranje do 60% troškova;
- Potrebno je **uskладiti OIE sustave s arhitektonskim oblikovanjem**, posebno u kulturnim cjelinama (vizualni identitet, refleksije, buka, vibracije);
- U modularnim i bioarhitektonskim objektima PV i TP sustavi mogu biti **središnji dio koncepta – funkcionalno, estetski i edukativno.**

4. Zaključak: OIE kao integrirani arhitektonski element

Ugradnja solarnih panela i toplinskih pumpi više nije stvar tehničke nadogradnje nego **temeljna strategija projektiranja**. Za arhitekte to znači:

- Razmišljati o orijentaciji krova u funkciji sunčevih putanja;
- Oblikovati pročelja kao aktivne energetske površine;
- Prostor za tehničke sustave predvidjeti već u volumenu zgrade;
- Suradnja s inženjerima mora započeti u fazi koncepta, ne nakon građevinske dozvole.

U kontekstu bioklimatske i modularne arhitekture, **OIE nisu samo alat energetske učinkovitosti, već i simbol prostorne inteligencije**, promjene paradigme, i povratka prirodnim tokovima energije – bez emisija, bez zagađenja, s poštovanjem prema okolišu.

Zeleni krovovi, prikupljanje vode, kompostiranje

1. Uvod

Zeleni krovovi, sustavi za prikupljanje oborinske vode i kompostiranje organskih ostataka predstavljaju tri komplementarna elementa **cirkularne logike u arhitekturi**, čiji je zajednički cilj zatvaranje lokalnih ekoloških ciklusa, povećanje otpornosti objekta i smanjenje opterećenja okoliša. U kontekstu bioarhitekture, oni ne predstavljaju dodatke, već **integrirane funkcionalne slojeve zgrade**, usklađene s prirodnim procesima, sezonalnim promjenama i navikama korisnika.

Njihovim međusobnim povezivanjem postiže se **energetska, vodena i materijalna učinkovitost**, stvaraju se prostori visoke estetske i emocionalne vrijednosti, potiče se bioraznolikost te gradi arhitektura koja je ne samo manje štetna, već **aktivno korisna za ekosustav.**

2. Zeleni krovovi

2.1. Definicija i klasifikacija

Zeleni krov je višeslojna konstrukcija na horizontalnoj ili kosoj površini zgrade koja omogućuje rast biljnog pokrova iznad nepropusnog sloja. Ovisno o debljini supstrata, vegetaciji i održavanju, dijele se na:

- **Ekstenzivne krovove:** lagani sustavi s minimalnim supstratom (6–15 cm), mahovinama, sukulentima i travama; idealni za krovove koji nisu pristupačni korisnicima.
- **Intenzivne krovove:** deblji supstrat (20–150 cm), omogućuju sadnju grmova, pa i manjih stabala; uključuju sustave navodnjavanja i održavanja; često se koriste kao krovni vrtovi i pješačke zone.
- **Poluintenzivne krovove:** hibridne forme, često korištene u modularnoj arhitekturi za kombinaciju niske vegetacije i funkcionalnih zona (npr. solarnog zasjenjenja).

2.2. Slojevi zelenog krova

Tipični zeleni krov sadrži sljedeće slojeve (odozdo prema gore):

1. **Nosiva konstrukcija** (beton, drvo, CLT) – dimenzionirana prema opterećenju;
2. **Hidroizolacijski sloj** – mora biti otporan na korijenje (bitumen, PVC, EPDM);
3. **Zaštitni sloj** – filc ili sloj protiv mehaničkih oštećenja;
4. **Drenažni sloj** – šljunak, ekspandirana glina, plastični moduli;
5. **Filter sloj** – geotekstil koji propušta vodu, ali zadržava čestice tla;
6. **Supstrat** – mješavina zemlje, komposta, perlita, plovućca i dr.;
7. **Vegetacijski sloj** – odabir biljaka ovisno o klimatskoj zoni i funkciji.

2.3. Funkcije i prednosti

- **Toplinska izolacija** – zimi smanjuje gubitke, ljeti štiti od pregrijavanja (do 5–8 °C niža temperatura u potkrovlju);
- **Zvučna izolacija** – smanjuje buku do 50 dB, posebno korisno u urbanim zonama;
- **Zadržavanje oborina** – 50–90% godišnjih padalina vraća se u atmosferu isparavanjem;
- **Produženje vijeka krova** – smanjenje UV degradacije, temperaturnih oscilacija i mehaničkih oštećenja;
- **Ekološki učinak** – povećanje bioraznolikosti, stvaranje staništa za ptice i insekte;
- **Estetska i emocionalna vrijednost** – povećanje kvalitete prostora i vizualnog identiteta.

2.4. Tehnički zahtjevi i ograničenja

- Nosivost konstrukcije mora biti dimenzionirana na $\geq 150 \text{ kg/m}^2$ za ekstenzivne, i $\geq 300\text{--}500 \text{ kg/m}^2$ za intenzivne krovove;
- Potrebna minimalna nagiba: 1–5%;
- Odvodnja mora uključivati sigurnosne preljeve;
- Sustavi zaštite od vjetra i erozije;
- Moguće integracije: PV paneli, sustavi za hlađenje, sustavi za prikupljanje kišnice.

3. Prikupljanje oborinske vode

3.1. Zašto prikupljati kišnicu?

Oborinska voda predstavlja decentralizirani, besplatan i obnovljiv izvor za:

- Navodnjavanje vrtova i zelenih krovova;
- Tehničku upotrebu (ispiranje WC-a, perilice);
- Pranje vozila i vanjskih površina;
- Smanjenje opterećenja na javnu kanalizaciju;
- Ublažavanje utjecaja urbanih poplava.

3.2. Sustav prikupljanja

Kompletan sustav obuhvaća:

- **Krovne površine** (prikupljanje);
- **Žljebove i vertikale** s filterima;
- **Prvu komoru za ispiranje (first flush diverter)** – eliminira prve nečistoće s krova;
- **Cisterna ili podzemni spremnik** – beton, polietilen, modularni spremnici;
- **Sustav distribucije** – pumpe, filteri, kontrolni ventili.

3.3. Dimenzioniranje spremnika

Veličina ovisi o:

- Površini krova (A) u m²;
- Prosječnoj godišnjoj oborini (R) u mm;
- Koeficijentu iskoristivosti (k) – ovisno o materijalu krova (npr. 0,8 za crijep, 0,9 za lim);
- Potrebi za vodom (npr. 30–50 l/dnevno po osobi za tehničke potrebe).

Primjer: krov površine 120 m² u Zagrebu (R ≈ 1100 mm) → potencijalno 120 × 1,1 × 0,8 = 105.600 litara godišnje.

3.4. Integracija sa zelenim krovovima i kompostom

Zelene krovove moguće je zalijevati prikupljenom kišnicom (kap na kap sustavi). Preljev iz spremnika može se koristiti za natapanje kompostnih zona, što čini **zatvoreni vodeni ciklus unutar parcele**.

4. Kompostiranje: pretvaranje otpada u resurs

4.1. Što je kompostiranje?

Kompostiranje je **biološki proces aerobne razgradnje organskog otpada** u prisutnosti kisika, koji rezultira stabilnim humusnim materijalom – kompostom – koji poboljšava tlo, povećava kapacitet zadržavanja vode i obogaćuje biljke nutrijentima.

4.2. Vrste sustava

- **Pasivni komposter** (otvorene drvene kutije, termokomposter);
- **Poluaktivni sustavi** (rotacijski bubnjevi, komposter s provjetravanjem);
- **Integrirani sustavi s biokomorama** – npr. u modularnim vrtovima.

4.3. Što ide u kompost?

Da:

- Kuhinjski biljni otpad;
- Vrtni otpad (lišće, trava);
- Kava, čaj, ljuske jaja;
- Papirnate maramice, karton.

Ne:

- Meso, ulje, mliječni proizvodi;
- Lijekovi i kemikalije;
- Bolestima zahvaćene biljke.

4.4. Projektna integracija

- Mjesto kompostera mora biti udaljeno od ventilacijskih otvora i izvora vode;
- Potrebna zasjenjenost i dobar protok zraka;
- Odvodnja iz kompostera može se spojiti s cistarnom vode (za navodnjavanje).

5. Zaključak: sustavno povezivanje prirodnih ciklusa

Zeleni krovovi, prikupljanje vode i kompostiranje nisu zasebne tehnologije, već **dijelovi istog ekološkog sustava**, čije se maksimalne koristi ostvaruju kad su povezani u funkcionalnu cjelinu:

- Zeleni krovovi zadržavaju kišnicu;
- Kišnica se usmjerava prema spremnicima za tehničku upotrebu i zalijevanje;
- Organski otpad iz doma i vrta kompostira se i vraća kao gnojivo za vegetaciju;
- Time se stvara **zatvoreni krug tvari i energije**, uz minimalan gubitak i trošak.

U kontekstu bioklimatske i modularne arhitekture, ovaj pristup omogućuje **otpornost na klimatske ekstreme, smanjenje ovisnosti o infrastrukturi**, te **stvaranje prostora koji djeluje u ritmu prirode**. Arhitekt postaje ne samo projektant prostora, već **kustos ekoloških odnosa**, a zgrada – ekosustav u malom.

BIOFILNI INTERIJER I MODULARNI DIZAJN

Elementi biofilnog dizajna: prirodna svjetlost, materijali, boje, biljke

1. Uvod: Biofilna arhitektura kao odgovor na ljudsku potrebu za prirodom

Biofilni dizajn temelji se na konceptu da su ljudi biološki programirani za interakciju s prirodnim okruženjem. U uvjetima ubrzane urbanizacije i tehničke standardizacije interijera, ova urođena povezanost sve je više potisnuta, što za posljedicu ima smanjenje kvalitete života, emocionalni stres, smanjenu kognitivnu učinkovitost i narušeno zdravlje. Biofilna arhitektura ne tretira prirodu kao ukras, već kao **aktivni sustav koji sudjeluje u kreiranju prostora**, s dokazanim pozitivnim učincima na korisnika.

U kontekstu modularnog i održivog graditeljstva, integracija biofilnih principa postaje još važnija – jer je riječ o sistemima koji su visoko prefabricirani, potencijalno monofunkcionalni i često prostorno ograničeni. Upravo zbog toga, **kvaliteta prostora ne proizlazi iz njegove kvadrature, već iz sposobnosti da se priroda u njega vrati na pametan, tehnički održiv i višeslojan način.** Ovaj odlomak obuhvaća četiri temeljna elementa biofilnog dizajna: **prirodnu svjetlost, materijale, boje i biljke**, koji zajedno čine okosnicu fiziološkog, emocionalnog i mentalnog komfora u prostoru.

2. Prirodna svjetlost

2.1. Biološki i psihološki značaj svjetlosti

Prirodna svjetlost djeluje kao regulator hormonskog ciklusa (melatonin – san; kortizol – budnost), stabilizira raspoloženje i utječe na emocionalni ton prostora. U arhitekturi, dnevno svjetlo definira prostornu percepciju, oblik volumena, teksturu materijala i dinamiku boja. U biofilnom interijeru, svjetlo se ne projektira radi minimalnog standarda, već kao **aktivna komponenta prostorne dramaturgije.**

2.2. Parametri projektiranja

- **Daylight Factor (DF):** idealno 3–5% za stambene, 5–7% za radne prostore.
- **UDI (Useful Daylight Illuminance):** ciljano 100–2000 lux u 50% prostora, kroz 50% vremena.
- **Glare Index (UGR):** niže od 19 za radne prostore, korištenjem indirektna refleksije.

2.3. Strategije oblikovanja

- **Veliki otvori** s jugoistočnom orijentacijom za optimalno osvjetljenje i minimalno pregrijavanje.
- **Zasloni od vegetacije**, drvene rešetke i reflektirajuće površine za kontrolu intenziteta.
- **Svjetlosni tuneli i zenitalna rasvjeta** za duboke ili unutarnje module.
- Korištenje **visokotransmisivnih stakala** s niskim U i g vrijednostima za energetska učinkovitost.

2.4. Uloga svjetlosti u modularnom dizajnu

- Integracija svjetlosnih linija i prozora punih visina u montažne panele.
- Svjetlosni otvori postaju organizatori prostora, a ne samo perforacije.
- Refleksivne i svijetle unutarnje obloge pojačavaju difuziju svjetlosti.

3. Materijali

3.1. Taktilnost i senzorni potencijal

U biofilnom interijeru materijali ne komuniciraju samo vizualno, već i kroz **dodir, zvuk, miris i toplinski odgovor.** Drvo koje "diše", glina koja upija vlagu, tkanine koje reagiraju na zrak – sve su to elementi koji korisniku prenose poruku prisutnosti prirode.

3.2. Odabir materijala prema biofilnim načelima

- **Drvo:** toplo, fleksibilno, niskog VOC, dobra akustika; prednost imaju lokalne vrste (hrast, bor, smreka).
- **Glina:** prirodni regulator vlage, visoka toplinska masa, potpuno razgradiva.

- **Kamen i šljunak:** teksturalna raznolikost, vizualna stabilnost, dugovječnost.
- **Tekstili od prirodnih vlakana:** pamuk, konoplja, juta, vuna – neutralni električni naboj i visoka taktilna kvaliteta.

3.3. Zdravstveni aspekt materijala

- **VOC emisije (volatile organic compounds):** preporuka $\leq 0.5 \text{ mg/m}^3$ za 8-satnu izloženost.
- **Elektrostatičko ponašanje:** izbjegavati sintetske materijale koji akumuliraju naboj.
- **Miris i emisije:** izbjegavati formaldehid, akrile i boje s ftalatima.

3.4. Modularna kompatibilnost

- Paneli od CLT-a ili OSB-a s prirodnim uljima umjesto lakova.
- Modularni podovi od drva i prirodne gume.
- Glineni žbuke s pigmentima za završne slojeve interijera.

4. Boje

4.1. Psihološki utjecaj boja u kontekstu biofilije

Boje ne postoje u prirodi kao izolirani tonovi već kao slojeviti doživljaji svjetla, materijala i atmosfere. U biofilnom dizajnu, **boje se biraju prema načelima prirodne palete** – boje tla, lišća, neba, stijena, vode – koje tijelo i um prepoznaju kao nenametljive, smirujuće i povezane s prirodnim ritmovima.

4.2. Preporučeni tonovi i aplikacije

- **Zelena:** povezana s fotosintezom i vitalnošću – koristi se u radnim i dnevnim prostorima.
- **Zemljani tonovi (okra, siena, terakota):** potiču osjećaj prizemljenosti i stabilnosti.
- **Plava i tirkizna:** reflektiraju boje vode i neba – umiruju, ali u prevelikim količinama mogu djelovati hladno.
- **Bijela i siva:** kao pozadine koje omogućuju materijalima i biljkama da dođu do izražaja.

4.3. Tehnički aspekti boja

- **Light Reflectance Value (LRV):** za prirodno osvijetljene prostore koristi se boje s LRV 60–80%.
- **Pigmenti:** preporuka korištenja prirodnih mineralnih pigmenata.
- **Antibakterijska svojstva:** glinene boje s dodatkom vapna ili minerala.

5. Biljke

5.1. Biološki i psihološki značaj

Biljke u prostoru ne djeluju samo kao ukras, već kao **aktivni biološki entiteti koji filtriraju zrak, stabiliziraju vlažnost, smanjuju stres i poboljšavaju koncentraciju**. Vizualna prisutnost zelenila povećava produktivnost za 6–15%, dok razine anksioznosti mogu biti smanjene za 37%.

5.2. Tehnička klasifikacija bilja za interijere

- **Niske potrebe za održavanjem:** sanseveria, zamioculcas, epipremnum.
- **Zračni filtri:** spathiphyllum, dracaena, fikus elastica.
- **Vertikalni zeleni zidovi:** sustavi s automatskim navodnjavanjem i LED rasvjetom.
- **Aromaterapijsko bilje:** lavanda, menta, ružmarin.

5.3. Ugradnja u modularni sustav

- **Mobilni biljni moduli:** koji se mogu prilagoditi rasporedu namještaja.
- **Zeleni prozorski okviri:** s plitkim koritima za bilje.
- **Stropne viseće instalacije:** sa supstratom male mase ($\leq 20 \text{ kg/m}^2$).

5.4. Biljke kao prostorni element

- Mogu definirati mikrozone: bilje između radnog i odmorišnog prostora;
- Mogu zamijeniti umjetne pregrade: zeleni paravani;
- U interakciji s dnevnim svjetlom stvaraju dinamične sjene i živost prostora.

6. Zaključak

Biofilni dizajn nije dekoracija. On je arhitektonska strategija koja uključuje fiziološko, emocionalno i društveno zdravlje u samu srž oblikovanja prostora. U modularnoj arhitekturi, gdje je svaki centimetar važan, a svaka komponenta mora biti višenamjenska, **elementi prirodne svjetlosti, taktilnih i zdravih materijala, psihološki usklađenih boja i živih biljaka** nisu luksuz – nego nužnost.

Projektant ne oblikuje samo prostor, već **interakciju između prostora i prirode**, stvarajući interijere koji djeluju kao produžetak krajolika, a ne kao izolirani kontejneri. To je nova generacija arhitekture – arhitekture koja liječi, regenerira, i vraća korisnika onome što nikada nije smio izgubiti: prirodi.

Dizajn interijera u modularnom sustavu – fleksibilni elementi

1. Uvod: Prostorna logika modularnosti i potreba za fleksibilnošću

U kontekstu suvremene arhitekture, modularni sustavi više nisu ograničeni na privremene, prototipske ili kontejnerske objekte, već se razvijaju u smjeru sofisticiranih, energetski učinkovitih i estetski relevantnih rješenja koja mogu odgovarati na potrebe stanovanja, rada, odmora i specijaliziranih funkcija. No, **modularnost sama po sebi ne jamči prostornu kvalitetu**, osobito u interijeru, gdje je kvadratura često ograničena, a funkcionalne potrebe dinamične.

Zato dizajn interijera u modularnom sustavu mora integrirati **fleksibilne elemente** – konstrukcijske, prostorne i mobilne – kako bi prostor mogao **adekvatno reagirati na promjene u korištenju, dnevnom ritmu, broju korisnika i funkcionalnim scenarijima**. Fleksibilnost postaje ključna strategija za povećanje prostorne učinkovitosti, smanjenje zasićenosti detaljima i osiguranje dugovječnosti prostora bez potrebe za građevinskim zahvatima.

2. Pojam fleksibilnosti u interijeru: taksonomija i načela

2.1. Funkcionalna fleksibilnost

Omogućava različite aktivnosti u istom prostoru, uz minimalnu potrebu za transformacijom fizičkih elemenata. Primjerice, dnevni boravak koji uvečer postaje spavaonica.

2.2. Prostorna fleksibilnost

Odnosi se na mogućnost fizičke promjene rasporeda ili volumena – pomicanjem, sklapanjem ili izvlačenjem elemenata. Ovo uključuje pokretne pregrade, mobilne module, višefunkcionalni namještaj.

2.3. Temporalna fleksibilnost

Dizajn koji se može prilagođavati sezonskim ili dnevnim promjenama – npr. otvaranjem stijenki prema van ljeti ili kompaktnim zatvaranjem zimi.

2.4. Psihološka fleksibilnost

Prostor koji se vizualno, taktilno ili ambijentalno može doživljavati na više načina – promjenom osvjetljenja, tekstura ili zvučnih karakteristika.

3. Fleksibilni konstruktivni elementi

3.1. Pomične i klizne pregrade

- **Horizontalne (klizne) stijenke:** izrađene od lakih materijala (aluminij, drvo, platno s napetim sistemom), omogućuju brzo zatvaranje ili otvaranje dijelova prostora.
- **Vertikalno sklopive pregrade:** spuštaju se iz stropa i pretvaraju dnevni prostor u dvije jedinice.
- Ugrađuju se u **šine** integrirane u modularni strop ili pod, s magnetskim vodičima za stabilizaciju.

3.2. Modularni paneli

- Montažni zidni segmenti koji se mogu ukloniti, rotirati ili zamijeniti.
- Koriste se za razgraničenje prostora bez fiksnih zidova – prednost u uredima, laboratorijima, multifunkcionalnim dvoranama.

3.3. Stropne i podne mreže

- Sustavi rešetkastih konstrukcija (npr. grid 60x60 cm) u koje se umeću svjetiljke, panele, zvučnici i drugi elementi koji se mogu zamijeniti ili premjestiti.

4. Višenamjenski i sklopivi namještaj

4.1. Definicija i kriteriji dizajna

Namještaj koji objedinjuje više funkcija u jednoj jedinici: npr. krevet koji se pretvara u radni stol, klupa koja postaje spremište, stol koji se sklapa u zid. Kriteriji:

- Brzina i jednostavnost transformacije (idealno < 30 sekundi);
- Minimalan broj pokretnih dijelova;
- Otpornost spojeva na višekratno sklapanje (> 10.000 ciklusa).

4.2. Tipologije

- **Murphy kreveti** (krevet u ormaru);
- **Transformabilni stolovi** – visinski podesivi, sklapanje u zid, rotacija 90°;
- **Modularni kauči** – segmentirani za sjedenje, ležanje i spremište.

4.3. Tehničke karakteristike

- Korištenje **lakih materijala** (aluminij, furnir, plastificirani čelik);
- Mehanizmi s **hidrauličnim amortizerima** ili plinskim oprugama;
- Kompatibilnost s **modularnim rasterom prostora** (npr. 120 × 240 cm).

5. Mobilni volumeni i zone

5.1. Samostojeće jedinice

- Kabine s ugrađenim funkcijama (radna stanica, mini kuhinja, garderoba);
- Mogu se premještati na kotačima ili tračnicama;
- Povezuju se na sustave ventilacije, rasvjete i struje putem priključnih modula.

5.2. Rotacijske i pivot zone

- Rotirajuće jedinice koje istovremeno definiraju dvije funkcije (npr. biblioteka / radni kutak);
- Korištenje **centralnih osovina** i kružnih ležajeva za lako okretanje.

5.3. Prijenosni elementi

- Laki moduli (< 15 kg) koji se prenose ručno i umeću u različite funkcijske prostore: preklapne stolice, sklopive ljestve, povišeni podovi s funkcijom skladištenja.

6. Modularna rasvjeta i akustika

6.1. Svjetlosni elementi

- Rasvjeta integrirana u mobilne panele – indirektna i direktna svjetlost;
- Dinamička temperatura svjetla (2700–6000 K) prilagođena dobu dana i funkciji prostora;
- Bežična kontrola svjetlosnih scena putem sustava (npr. KNX, Zigbee).

6.2. Akustičke zone

- Pomični akustički paneli s prirodnim punjenjem (vuna, konoplja);
- Modularne akustične barijere koje definiraju mikroprostore za rad, odmor, razgovor;
- Razina apsorpcije: $NRC \geq 0.7$.

7. Psihološka i socijalna fleksibilnost

- Prostor omogućuje korisniku **kontrolu nad okruženjem**, što povećava osjećaj sigurnosti i pripadnosti;
- Mogućnost **personalizacije modula** (boje, materijali, poster, biljke);
- Zajednički prostori postaju **društveni čvorovi** u kojima fleksibilni elementi podržavaju spontane interakcije (npr. stolići koji se pomiču, jastuci za sjedenje, pregrade za razgovore).

8. Prikaz primjene: tri scenarija

1. **Stan za jednu osobu (20 m²)** – prostor dnevnog boravka pretvara se u spavaonicu; kuhinjski modul klizi u nišu; radni stol se podiže iz zida.
2. **Uredska jedinica** – radni prostori se preklapaju s prostorima za online sastanke; akustični paravani definiraju privatnost; rasvjeta se podešava prema korisniku.
3. **Obiteljski prostor u CEPS sustavu** – dječja soba postaje dnevni boravak u popodnevnim satima; kuhinja se zatvara kliznim vratima; biljke se integriraju u mobilne elemente.

9. Zaključak: fleksibilnost kao načelo, a ne kao alat

Dizajn interijera u modularnoj arhitekturi ne smije biti puki odgovor na funkcionalne izazove kompaktnog prostora, već **strategija stvaranja adaptabilnog i emocionalno inteligentnog prostora**. Fleksibilni elementi omogućuju život prostoru – dopuštaju mu da diše, da se mijenja, da udomi različite scenarije.

Fleksibilnost u interijeru ne znači samo preklapanje ili pomicanje, već **sposobnost prostora da podrži različite načine života, rada i odmora**, bez gubitka identiteta. U kombinaciji s biofilnim principima, fleksibilnost postaje sredstvo stvaranja prostora koji ne odgovara samo na promjene – već ih s lakoćom dočekuje.

Zdravi interijeri: kvaliteta zraka, netoksični materijali, akustika

1. Uvod: Arhitektura zdravlja i holistički pristup interijeru

Koncepcija zdravog interijera nadilazi estetske i funkcionalne zahtjeve prostora. Ona se temelji na pretpostavci da unutarnje okruženje značajno utječe na **psihofiziološko stanje korisnika**, a time i na njegovu produktivnost, koncentraciju, imunološku otpornost i emocionalno stanje. U kontekstu bioklimatske i modularne arhitekture, gdje su korisnici često u dugotrajnom kontaktu s malim i visoko optimiziranim prostorima, potreba za zdravim interijerima postaje **prioritet dizajna, a ne dodatna vrijednost**.

Tri ključna čimbenika zdravog interijera – **kvaliteta zraka, netoksični materijali i akustička udobnost** – zajedno čine ekološku, fiziološku i psihološku osnovu arhitektonske dobrobiti. Njihova međusobna integracija osigurava prostore koji ne samo da ne štete korisnicima, već ih aktivno štite i podržavaju.

2. Kvaliteta zraka u interijerima

2.1. Utjecaj kvalitete zraka na zdravlje korisnika

Unutarnji zrak može sadržavati do pet puta više zagađivača nego vanjski. Najčešći onečišćivači uključuju:

- **PM10 i PM2.5 čestice** (prašina, alergeni);
- **VOC spojevi** (formaldehid, benzen, toluen, ksilen);
- **Radon** (radioaktivni plin iz tla);
- **CO₂** (kao indikator ventilacije);
- **Mikroorganizmi** (gljivice, plijesni, bakterije).

Posljedice uključuju:

- Glavobolje, iritacije očiju i dišnih puteva;
- Umor, smanjenu koncentraciju;
- Dugoročno povećan rizik od astme, alergija, pa i karcinoma.

2.2. Standardi i smjernice

- **ASHRAE 62.1 i EN 16798-1**: preporučena ventilacija $\geq 20\text{--}30\text{ m}^3/\text{h}$ po osobi;
- **CO₂ razina**: idealno $< 800\text{ ppm}$, maksimalno 1000 ppm ;
- **VOC koncentracija**: ukupno ispod $0.3\text{ mg}/\text{m}^3$;
- **Radon**: $< 100\text{ Bq}/\text{m}^3$ u stambenim prostorima (WHO).

2.3. Arhitektonske strategije

- **Prirodna ventilacija**: cross-ventilacija, termalni uzgon, difuzni ulazi.

- **Zelene barijere:** bilje koje upija toksine (npr. spathiphyllum, epipremnum).
- **Materijali koji reguliraju vlagu:** glina, drvo, kapilarno aktivne žbuke.
- **Pametni senzori:** CO₂, temperature i vlage povezani s ventilacijskim sustavima.

2.4. Tehnička ugradnja sustava

- **Rekuperatori s HEPA filterima** i protustrujnim izmjenjivačima topline;
- **Decentralizirani sustavi ventilacije** za modularne jedinice (≤ 300 W);
- Sustavi sa **zoniranom kontrolom** i automatskom regulacijom brzine.

3. Netoksični materijali

3.1. Emisije materijala i njihova uloga u sindromu bolesne zgrade (SBS)

Mnogi standardni građevinski i dekorativni materijali ispuštaju štetne kemikalije u prostor, osobito u prvim godinama korištenja:

- **Ljepila, boje i lakovi:** visoke emisije VOC;
- **Sintetski podovi i namještaj:** ftalati, retardanti gorenja;
- **MDF ploče i iverica:** formaldehid.

SBS simptomi uključuju iritaciju, glavobolje, umor, smetnje vida, pa čak i kognitivni pad.

3.2. Kriteriji odabira materijala

- **VOC emisije:** razred A+ prema francuskom standardu ili GUT certifikat;
- **Certifikati:** Natureplus, Blue Angel, Cradle to Cradle, Greenguard;
- **Sastav:** bez formaldehida, bez plastifikatora, bez halogeniranih spojeva;
- **Biološka razgradivost i inertnost.**

3.3. Preporučeni materijali u bioarhitekturi

- **Glina i glineni premazi:** VOC free, regulacija vlage, pH neutralan;
- **Drvo** (FSC certificirano): prirodno obrađeno uljima i voskovima;
- **Prirodne izolacije:** vuna, celuloza, konoplja, pluto;
- **Boje na biljnoj bazi:** bez sintetskih otapala, s prirodnim pigmentima.

3.4. Modularna primjena

- Prefabricirani paneli od **toplinski tretiranog drva (Thermowood)**;
- Zidni sustavi s **glinenim punjenjem u CLT okvirima**;
- Podne obloge od **linoleuma i prirodne gume**, s antistatičkim učinkom.

4. Akustika i njezin učinak na psihofiziologiju

4.1. Utjecaj buke na zdravlje

Kontinuirana izloženost buci (> 45 dB) uzrokuje:

- Povećani broj otkucaja srca, razinu kortizola;
- Pad koncentracije i performansi (do 25%);
- Razdražljivost, tjeskobu i poremećaje sna.

U interijerima modularnih objekata, gdje je izolacija često izazovna, **akustička udobnost** mora biti prioritet.

4.2. Parametri akustike interijera

- **RT60 (vrijeme odjeka):** idealno 0.4–0.6 s za stanovanje, 0.6–0.8 s za urede;
- **Dnt,w** (zvučna izolacija između prostorija): min. 48–52 dB;
- **NC (Noise Criteria):** idealno NC 30–35 za mirne prostore.

4.3. Strategije akustičke optimizacije

- **Upijajući materijali:** tekstil, glina, drvo s mikroperforacijama;
- **Difuzori zvuka:** npr. valovite drvene plohe koje razbijaju refleksije;
- **Zvučni moduli:** mobilni paneli s punjenjem od konoplje, akustične police;
- **Raspored prostora:** prostorno odvajanje zvučno osjetljivih zona (rad/san).

4.4. Primjena u modularnim jedinicama

- Akustički stropovi s ugrađenim panelima od celuloznih vlakana;
- Zidne obloge s tekstilnim ili biljnim umecima (zeleni akustični zid);

- Kombinirani moduli: npr. ormarići koji sadrže akustičku barijeru i spremište.

5. Integracija u modularnu bioarhitekturu

U modularnoj bioarhitekturi, projektiranje zdravih interijera zahtijeva:

- **Koordinaciju svih sustava** (ventilacija, materijali, zvuk) već u fazi koncepta;
- **Prefabrikaciju zdravih komponenata** – svaki element mora zadovoljavati zdravstvene norme;
- **Kontrolu mikroklima putem pasivnih i aktivnih rješenja**;
- **Primjenu BIM i LCA alata** za simulaciju utjecaja materijala na zdravlje tijekom cijelog životnog ciklusa.

Uspješna primjena zdravih principa dovodi do:

- Smanjenja troškova zdravstva i bolovanja;
- Veće otpornosti korisnika na stres;
- Viših performansi kod rada, učenja, oporavka.

6. Zaključak: Prema arhitekturi koja njeguje

Zdravi interijeri nisu estetska kategorija niti tržišna niša – oni su **osnovno ljudsko pravo**. Kvaliteta zraka, netoksičnost materijala i akustička udobnost zajedno definiraju što znači boraviti u prostoru koji ne šteti, već podržava. U modularnoj arhitekturi, gdje su volumeni često reducirani, svaki kubični metar postaje važan – i mora biti osmišljen s pažnjom prema zdravlju korisnika.

Zgrada koja brine o svom korisniku više nije luksuz – ona je nova norma. Projektanti, investitori i krajnji korisnici sve više prepoznaju da zdrava arhitektura nije trend, već nužnost. Arhitektura budućnosti neće se mjeriti samo kilovatima i emisijama, već **disanjem, tišinom i odsutnošću štetnih tvari**. U tom kontekstu, zdravi interijeri postaju ono što su oduvijek trebali biti: prostor za život, ne samo za boravak.

Multifunkcionalni namještaj i prostorni elementi

1. Uvod: Multifunkcionalnost kao dizajnerski alat u modularnoj arhitekturi

U modularnim sustavima, gdje kvadratura prostora često ne prelazi 20–30 m² po jedinici, prostorna učinkovitost postaje ključno mjerilo kvalitete dizajna. No, učinkovitost ne smije ići nauštrb udobnosti, estetike i funkcionalne cjelovitosti prostora. Upravo u tom kontekstu multifunkcionalni namještaj i prostorni elementi nude **rješenja koja transformiraju ograničenje u prednost**.

Multifunkcionalni elementi predstavljaju više od mobilnog namještaja – oni su **dizajnerski konstrukt koji reagira na promjenjive potrebe korisnika**, omogućuje fleksibilnost kroz vrijeme i definira različite mikrozone bez povećanja volumena. U biofilnom i održivom kontekstu, oni doprinose redukciji materijalne potrošnje, dugovječnosti proizvoda, smanjenju otpada i većoj emocionalnoj povezanosti s prostorom.

2. Tipologije multifunkcionalnog namještaja

2.1. Transformabilni namještaj

To su elementi koji imaju **dvije ili više funkcija**, a prelazak iz jedne funkcije u drugu događa se putem sklapanja, okretanja, izvlačenja ili podizanja. Primjeri uključuju:

- Krevet koji se preklapa u zid (Murphy bed) i otkriva radni stol;
- Stol koji se transformira iz niskog klub-stola u blagovaonski za 6 osoba;
- Modularne sofe s uklonjivim segmentima za ležanje, sjedenje, skladištenje.

2.2. Prostorni moduli

Ovo su **fiksni ili pomični volumeni** koji objedinjuju više funkcija u jednoj kompaktnoj formi – npr. kubus dimenzija 2×2×2 m koji sadrži WC, tuš, garderobu i radni kutak.

2.3. Skladišno-funkcionalni elementi

Elementi čija je **glavna funkcija skladištenje**, ali koji uključuju sekundarne funkcije kao što su sjedenje, odlaganje, pregrađivanje prostora:

- Klupa sa spremištem ispod sjedišta;
- Uzglavlje kreveta s policama, rasvjetom i USB punjačem;
- Kuhinjski otok koji ujedno služi kao stol i radna površina.

2.4. Mobilni elementi

Namještaj na kotačima ili kliznim šinama koji se jednostavno premješta ovisno o aktivnosti – npr. ormar koji noću zatvara kuhinju, a danju otvara prostor za blagovanje.

3. Projektantski kriteriji: funkcionalnost, trajnost, ergonomija

3.1. Modularna logika

Multifunkcionalni elementi trebaju se projektirati prema **modularnom rasteru (npr. 60×60 cm, 90×90 cm)** kako bi se mogli lako integrirati u standardizirane prostorne sustave.

3.2. Ergonomija i antropometrija

- Visina radnih površina: 85–95 cm;
- Visina sjedenja: 42–45 cm;
- Minimalna dubina skladišnog spremnika: 35–40 cm;
- Maksimalna težina podizanja za korisnika: ≤ 15 kg (za žene), ≤ 20 kg (za muškarce);
- Ručke i mehanizmi na dohvata ruke: 80–160 cm od poda.

3.3. Održivost i materijali

- Preferirani materijali: **šperploča, masivno drvo, MDF niske emisije, linoleum, metalne legure bez olova**;
- Površinske obrade: **ulja i voskovi**, izbjegavati akrilne lakove;
- Dugovječnost spojeva: ≥ 10.000 ciklusa sklapanja (prema EN 1728);
- Mogućnost recikliranja ≥ 70% ukupne mase proizvoda.

4. Integracija u modularne arhitektonske sustave

4.1. Tehnički zahtjevi

- Multifunkcionalni elementi moraju se uklopiti u **tlocrtnne jedinice koje su već definirane osnovnom strukturom (CLT, LGS, hibridni okviri)**;
- Potrebno je osigurati **infrastrukturne priključke** (struja, voda, ventilacija) u samom elementu, osobito kod kuhinja i sanitarnih modula;
- Sustavi moraju biti **lagani za montažu i demontažu**, osobito u slučaju sezonskih objekata ili objekata u najmu.

4.2. Dinamičke zone

Prostor se dijeli na:

- **Statične zone** (sanitarije, spremišta, ugradbeni ormari);
- **Dinamične zone** (dnevni boravak/spavaća soba, blagovaonica/radni prostor).

Multifunkcionalni elementi omogućuju **transformaciju dinamičnih zona** bez potrebe za građevinskim intervencijama.

4.3. Proizvodna strategija

- **Prefabrikacija u radionici** s mogućnošću personalizacije prema korisniku;
- Sklapanje i montaža na licu mjesta < 4 sata;
- Modularni sustavi označeni kodovima za jednostavno spajanje (npr. IKEA sistem, sistem klina i utora).

5. Materijali, okovi, sustavi sklapanja

5.1. Nosive strukture

- **Lagana metalna konstrukcija (aluminij, čelik)** za složive mehanizme;
- **Masivno drvo** za stabilnost u često korištenim segmentima;
- **Šperploča ili MDF s certifikatima o niskim emisijama**.

5.2. Sustavi sklapanja i podizanja

- **Plinske opruge i amortizeri** (npr. za Murphy krevete, stolove koji se podižu);
- **Pantografi** za proširenje volumena (npr. u kuhinjskim modulima);
- **Linearni klizni sustavi s kugličnim ležajevima** (npr. za police koje se uvlače u zid).

5.3. Površinske obrade

- **Prirodna ulja** (laneno, orahovo) i voskovi (karnauba, pčelinji);
- **Ekološke boje i lazure** na vodenoj bazi;
- **Nano-premazi** za antibakterijsku zaštitu i otpornost na vlagu (npr. u kupaonicama).

6. Primjeri primjene: scenariji i tlocrtno situacije

6.1. Scenarij 1: Studio apartman od 22 m²

- **Zidna niša** koja danju skriva krevet, a noću postaje spavaća soba;
- **Kuhinjski modul** s izvlačivom radnom plohom, skrivenom perilicom i sklopivim barskim stolicama;
- **Stol za rad** koji se izvlači iz donje ladice komode.

6.2. Scenarij 2: Radni prostor u coworking jedinici

- **Modularni ormarići** koji ujedno služe kao akustična barijera i prostor za prezentacije;
- **Pomične radne stanice** koje se grupiraju ovisno o načinu rada (individualno, timski, hibridno);
- **Stropna konstrukcija** sa sklopivim pločama koje stvaraju privremene zone.

6.3. Scenarij 3: Obiteljska jedinica u CEPS sustavu

- Sklopiva dječja kreveta koja danju postaju sofa;
- Modularna kuhinja koja se po potrebi zatvara kliznim stijenama;
- Ormar koji integrira radni kutak, skriveni krevet za goste i sustav rasvjete.

7. Zaključak: Multifunkcionalnost kao temelj prostorne inteligencije

Multifunkcionalni namještaj nije isključivo odgovor na manjak prostora. On je **prostorotvorni alat** koji omogućuje veću slobodu u korištenju prostora, bolju ergonomiju, veći osjećaj kontrole i emocionalne povezanosti s interijerom. Kada je pametno projektiran, multifunkcionalni element ne izgleda tehnički ni privremeno – već djeluje kao **neizostavni dio identiteta prostora**.

U kontekstu modularne bioarhitekture, multifunkcionalnost ne podržava samo fleksibilnost, već i **ekonomičnost, održivost i dugovječnost** prostora. Umjesto mnoštva objekata s jednom funkcijom, projektira se **manje, ali inteligentnijih elemenata**. Tako arhitektura postaje alat adaptacije, a interijer – poligon za život u pokretu.

Prijenosnost i reciklaža interijera

1. Uvod: Kružni pristup u projektiranju interijera

U vremenu kada građevinski sektor generira više od 35% ukupnog otpada u EU, koncept **kružne ekonomije u arhitekturi** prestaje biti izbor i postaje nužnost. Interijer, kao najdinamičniji sloj zgrade, posebno je podložan čestim promjenama, adaptacijama, zamjenama i zamorima materijala. Kroz povijest, interijer je bio dizajniran za statičnost i dugotrajnost, no u suvremenom kontekstu mobilnosti, fleksibilnosti i tehnološke brzine, **trajne fiksacije više ne odgovaraju realnim životnim ciklusima prostora i korisnika**.

Stoga se afirmira novi pristup koji promatra interijer kao **reverzibilni, prijenosni i reciklabilni sustav** – skup elemenata koji se mogu demontirati, prenijeti, rekonfigurirati, zamijeniti i vratiti u optjecaj. Modularna bio-arhitektura u ovom je kontekstu posebno prikladna, jer počiva na principima optimizacije resursa, prefabrikacije i integracije prirodnih materijala.

2. Prijenosni sustavi: definicija i suvremena primjena

2.1. Definicija

Prijenosni interijer podrazumijeva sustav prostorno-funkcionalnih elemenata koji:

- se ne vežu trajno za konstrukciju,
- mogu se lako demontirati bez oštećenja,
- mogu se ponovno instalirati na drugoj lokaciji,
- ne zahtijevaju specijaliziranu opremu ili rad za prijenos.

2.2. Povijesna perspektiva

Pojam mobilnog i prijenosnog interijera prisutan je još u nomadskim kulturama (jurte, tipi, seljačke kuće s mobilnim krevetima), no u industrijskom razdoblju gubi na važnosti pred kultom fiksnog, monumentalnog i trajnog. Reafirmacija prijenosnosti dolazi kroz Bauhaus, a potom japanski metabolizam, high-tech arhitekturu i konačno kroz suvremeni pokret održive i cirkularne arhitekture.

2.3. Primjena danas

U domenu:

- **privremenih objekata** (CEPS jedinice, pop-up prostori),
- **najma i coworkinga**,
- **turističkog smještaja u netradicionalnim uvjetima (eko-kućice, mobilni moduli)**,
- **digitalnih nomada i mobilnih ureda**, prijenosni interijeri postaju ključni alat za održivo prostorno planiranje.

3. Konstruktivni zahtjevi prijenosnosti

3.1. Maseni i volumenski kriteriji

- Težina jednog modula ≤ 40 kg (za ručno prenošenje);
- Dimenzije: maksimalno 2,0 m duljine \times 0,8 m širine \times 2,2 m visine;
- Modularnost u transportu: mogućnost slaganja u transportne jedinice (npr. palete, kontejnere).

3.2. Spojni sustavi

- **Reverzibilni spojevi:** klin, utor, magnetski spoj, "snap-fit", bez potrebe za vijcima;
- Otpornost spoja: ≥ 500 ciklusa spajanja i razdvajanja;
- Oznake za montažu i demontažu: grafički kodovi, QR oznake, alati za korisničku samo-instalaciju.

3.3. Instalacijska neovisnost

- Rasvjeta i elektropriklučci izvedeni putem plug-in sustava;
- Vodovodna i kanalizacijska rješenja preko fleksibilnih priključaka;
- Zvučna i toplinska izolacija integrirana u panele (bez dodatnog umetanja).

4. Reciklaža i dekonstrukcija

4.1. Prema dizajnu za dekonstrukciju

Osnovni postulati:

- Projektiranje s krajem životnog ciklusa na umu;
- Upotreba materijala koji se mogu razdvojiti bez kontaminacije;
- Konstrukcija koja omogućuje povrat materijala u izvorni ili viši oblik.

4.2. Materijalni ciklus interijera

| Materijal | Vrsta reciklaže | Životni vijek | Mogućnosti ponovne uporabe |
|------------------|-------------------|---------------|-----------------------------------|
| Masivno drvo | Mehanička | 40–60 godina | Brušenje, rezanje, premazivanje |
| Metalne legure | Fizičko-toplinska | >100 godina | Ponovno taljenje i oblikovanje |
| Prirodne tkanine | Biološka | 5–15 godina | Kompostiranje, tapeciranje |
| MDF i šperploča | Ograničena | 10–20 godina | Samo djelomično, ovisno o ljepilu |

4.3. Tehnike dekonstrukcije

- Mehanička demontaža bez štete (npr. odvijanje, izvlačenje, isklizavanje);
- Upotreba rastavljivih okvira, bez ljepila i kemijskih spojeva;
- Povratne sheme kroz proizvođače: "uzmi-napravi-vrati" model.

5. Materijali za kružni interijer

5.1. Karakteristike pogodnih materijala

- **Jednomaterijalni** (npr. aluminij, šperploča bez melamina);
- **Mehanički spojivi bez ljepila**;
- **Bez toksičnih dodataka** (npr. halogenih plastičnih stabilizatora);
- **Označeni za reciklažu** (npr. RIC kodovi, QR dokumentacija).

5.2. Materijali u praksi

- **CLT i LSL**: masivni drveni paneli lako rastavljivi i ponovno obradivi;
- **3D-printani bioplastični elementi**: PLA, PHA;
- **Aluminijske legure**: za nosive okvire i profile;
- **CNC-cut pluto i celulozne ploče**: za akustične i dekorativne površine.

5.3. Povratne strategije

- Materijali s jamstvom povrata (npr. leasing model za podove i namještaj);
- Regenerativni ciklusi: obrada istrošenih površina umjesto zamjene;
- Platforme za zamjenu dijelova i dijeljenje komponenti (open-source namještaj).

6. Certifikacijski sustavi i metodologije

6.1. Cradle to Cradle (C2C)

Evaluacija:

- Materijalna zdravstvena ispravnost;
- Mogućnost ponovne uporabe i reciklaže;
- Obnovljivi izvori energije i vodni ciklus.

6.2. DGNB i LEVEL(S)

- Integriraju parametre životnog ciklusa (LCA), deinstalacije i otpada;
- Uključuju indikator "**Design for Disassembly (DfD)**";
- Analiza putem softverskih alata (One Click LCA, SimaPro).

6.3. EU taksonomija

- Kriteriji za kružno gospodarstvo u graditeljstvu uključuju:
 - Projektiranje za trajnost;
 - Upotrebu sekundarnih sirovina;
 - Mogućnost rastavljanja $\geq 90\%$ težine interijera.

7. Zaključak: Prema interijeru bez otpada

Koncepcija prijenosnosti i reciklaže interijera pomiče arhitekturu od paradigme gradnje prema paradigmi **materijalne cirkulacije i dugovječnosti**. Projektiranje interijera više nije samo pitanje estetike i funkcije, već etička i ekološka odluka koja direktno utječe na urbanu budućnost.

U modularnim objektima, gdje se prostori često relokaliziraju, rekonfiguriraju i transformiraju, **svaki element mora biti dizajniran s idejom povrata, demontaže i reciklaže**. Takav pristup ne samo da smanjuje otpad i emisije, već čini prostor živim, regenerativnim sustavom koji raste s korisnikom – a ne protiv njega.

DIZAJNERSKI PROCES I METODOLOGIJA

Kako započeti projekt modularne bio-arhitekture

1. Uvod: Početak kao arhitektonska orijentacija

Svaki arhitektonski projekt definira se ne samo svojim oblikom i funkcijom, već i načinom na koji započinje. U slučaju modularne bio-arhitekture, početna faza nije samo logistički ili dokumentacijski korak – ona je **epistemološka osnova projekta**, trenutak u kojem se odlučuje o njegovim vrijednostima, opsegu, strukturi i potencijalima. Budući da modularna bio-arhitektura spaja princip racionalizacije i prefabrikacije s principima prirodnosti, lokalnosti, zdravlja i kružnosti, početak procesa mora pažljivo uskladiti ta dva svijeta.

Projekt modularne bio-arhitekture ne počinje u CAD-u, već **na terenu, u analizi, u dijalogu s okolišem, zajednicom i samom idejom prostora**. Njegov dizajnerski proces mora biti simultano tehnički rigorozan i biološki osjetljiv – jer cilj nije izgraditi brže, jeftinije ili efikasnije, već **graditi svjesno, regenerativno i dugoročno održivo**.

2. Specifičnost modularne bio-arhitekture

Modularna bio-arhitektura je **hibridni model gradnje** koji objedinjuje prednosti industrijske proizvodnje (modularnost, standardizacija, montaža, mobilnost) s principima bioarhitekture (prirodni materijali, pasivni sustavi, zdravi interijeri, integracija s prirodom). Zbog toga njezin početak ne slijedi standardnu projektantsku logiku, već uključuje:

- **Rano definiranje konstrukcijskih modula** prema raspoloživim montažnim sustavima;
- **Projektiranje prema bioklimatskim uvjetima** i prirodnim tokovima energije;
- **Uključivanje interdisciplinarnih timova**: arhitekti, inženjeri, biolog, ekolog, sociolog, dizajneri interijera;
- **Dizajn za mobilnost, demontažu i ponovno korištenje**.

U tom smislu, početna faza mora obuhvatiti i **strukturalnu logiku sustava, i filozofiju projekta** – jer ona određuje kako će projekt rasti, kako će se koristiti i kako će završiti svoj vijek.

3. Inicijalna analiza: gdje, za koga i zašto

Projekt modularne bio-arhitekture počinje **tri ključna pitanja**:

1. **Gdje se projekt nalazi (lokacija)?**
2. **Za koga se gradi (korisnik)?**
3. **Zašto se gradi (svrha)?**

Ova pitanja čine osnovu tzv. **projektnog narativa**, koji vodi sve daljnje odluke.

- **Lokacija** nije samo geografski pojam, već i **ekološki, kulturni i klimatski kontekst** – smjer vjetra, solarna orijentacija, pristupna infrastruktura, prirodni resursi, zakonske regulative.
- **Korisnik** nije samo investitor, već i stanar, posjetitelj, prolaznik, zajednica – stoga je ključno provesti **istraživanje potreba i navika**.
- **Svrha** projekta mora uključivati **dugoročne ciljeve** – društvene, okolišne, energetske, edukativne ili gospodarske – koji određuju konceptualni okvir.

4. Struktura početne faze

Početa faza projekta uključuje niz djelovanja koja se moraju odvijati paralelno, ali s jasno definiranom logikom:

1. **Prikupljanje podataka o lokaciji i korisnicima**
2. **Kreiranje projektne izjave i definiranje ciljeva**
3. **Izbor modularnog sustava (tehnološka platforma)**
4. **Izrada inicijalnog konceptualnog modela**
5. **Razrada bioarhitektonskih parametara**
6. **Konzultacije s inženjerskim timom (MEP, konstrukcija, energija)**

7. Određivanje financijskog i vremenskog okvira

8. Participativni proces (ako je predviđen)

Svi ovi koraci moraju biti dokumentirani u tzv. **projektnoj mapi početne faze**, koja predstavlja temelj za daljnju razradu u idejni i glavni projekt.

5. Odabir modularnog sustava

Vrsta modula (dimenzija, materijal, tip spajanja) definira **arhitektonsku logiku prostora**. Na raspolaganju su:

- **2D panelni sustavi** (npr. CLT, LGS, SIP): fleksibilnost tlocrtne organizacije, ali veća potreba za montažom na licu mjesta;
- **3D volumetrijski moduli**: brža montaža, ali manje fleksibilni;
- **Hibridni sustavi**: kombinacija panela i 3D elemenata;
- **Mobilni moduli (na kotačima, plutajući, kontejnerski)**: visoka fleksibilnost, ali regulativne prepreke.

Odabir sustava ovisi o:

- Mogućnosti transporta i pristupa;
- Klimatskim uvjetima i seizmici;
- Trajnosti i reciklabilnosti materijala;
- Budžetu i vremenskom okviru;
- Namjeni i tipu korisnika.

6. Bioarhitektonski parametri od početka

Modularna bio-arhitektura mora već u početnoj fazi uključiti ključne **bioarhitektonske smjernice**:

- **Pasivna solarna orijentacija**: glavni otvori prema jugu, zaštita od pregrijavanja;
- **Prirodna ventilacija**: raspored otvora, ventilacijski kanali, krovni ispusti;
- **Materijali niskog utjecaja**: FSC drvo, glina, izolacija od konoplje, prirodni premazi;
- **Krovne površine za solarne sustave**;
- **Zeleni krovovi i sustavi prikupljanja vode**;
- **Integracija s krajolikom**: ne samo vizualno, već i ekološki i mikroklimatski.

Projektant mora razviti **matricu bioarhitektonskih zahtjeva**, koja se koristi kao vodič pri projektiranju svih komponenti.

7. Digitalna priprema i alati

U modernoj praksi, početna faza uključuje rad u digitalnim alatima koji omogućuju:

- **BIM modeliranje** (npr. Revit, ArchiCAD) za analizu faza, konflikata i suradnju;
- **LCA alati** (One Click LCA, eTool) za izračun ugljičnog otiska i optimizaciju materijala;
- **Bioklimatska simulacija** (DesignBuilder, Grasshopper+Ladybug);
- **Vizualizacija i VR alati** za prezentaciju korisnicima i investitorima;
- **Digitalni katalog komponenti** koji povezuje projekt s proizvođačima i proizvedivim elementima.

8. Uključivanje korisnika i participacija

U projektima modularne bio-arhitekture koji ciljaju na održivost i društveni učinak, **proces participacije korisnika** nije samo poželjan, već i ključan. U praksi to može uključivati:

- Fokus grupe i intervju s budućim korisnicima;
- Ankete i analize navika korištenja prostora;
- Testiranje prototipa i maketa (analogno i digitalno);
- Uključivanje korisnika u izbor materijala, boja i funkcionalnosti;
- Povratnu informaciju tijekom razvoja dizajna.

Ovaj proces povećava **dugoročnu prihvaćenost prostora**, smanjuje broj naknadnih intervencija i omogućuje korisnicima da **razviju emocionalni odnos prema prostoru**.

9. Zaključak: Početak kao predviđanje završetka

Početak projekta modularne bio-arhitekture ne služi samo kao temelj za projektantske crteže, već kao **projekcija njegovog životnog ciklusa**. U ovoj fazi odlučuje se ne samo o konstrukciji, već o tome hoće li zgrada:

- koristiti energiju ili je stvarati,
- podržavati zdravlje ili ga narušavati,
- trajati ili propasti prerano,
- biti neutralna ili regenerativna.

Zato je važno da projektantski tim početnu fazu vodi **kao integralni proces odlučivanja**, gdje se tehnologija, ekologija, ekonomija i čovjek spajaju u jedan konzistentan projektni izraz. U modularnoj bio-arhitekturi, **početak je već dizajn – samo još nije nacrtan**.

Koraci: analiza lokacije – definiranje potreba – ekološki koncept – izvedba

1. Uvod: Dizajnerski proces kao temelj održivosti

Dizajniranje modularne bio-arhitekture ne temelji se na linearnoj kronologiji iz ideje u izvedbu, već na **procesu koji ciklički provjerava, usklađuje i nadograđuje** sve parametre u svakoj fazi. Kako bi se osigurala ekološka dosljednost i prostorna kvaliteta, arhitektonsko projektiranje mora imati **metodološku jasnoću** – razrađene faze, jasno definirane alate, kriterije donošenja odluka i integraciju interdisciplinarnih uvida.

U nastavku slijedi detaljna razrada četiri ključna koraka u projektiranju modularne bio-arhitekture: **analiza lokacije, definiranje potreba, razvoj ekološkog koncepta i izvedba**, kao sustav projektantske kontrole kvalitete.

2. Analiza lokacije

Analiza lokacije u modularnoj bio-arhitekturi ne svodi se na provjeru GUP-a ili statike tla – ona podrazumijeva **duboko razumijevanje prirodnih, društvenih, klimatskih i zakonskih uvjeta** koji određuju sve što će se graditi.

2.1. Ekološka analiza

- **Topografija:** nagib terena, orijentacija, prisutnost prirodnih barijera, vidikovci;
- **Hidrološki sustav:** površinske i podzemne vode, potencijal za prikupljanje kišnice, plavljenje;
- **Vegetacijski pokrov:** endemske vrste, ekosustavi u blizini, stupanj degradacije;
- **Solarna ekspozicija:** trajanje insolacije tijekom godine po zonama;
- **Anemološki režimi:** ruža vjetrova, smjer dominantnog vjetra, mikroklimatske struje.

Alati: GIS sustavi, dronovi za topografske snimke, DesignBuilder, simulacije Ladybug Tools.

2.2. Socijalna i kulturna analiza

- **Društveni kontekst:** blizina zajednica, lokalne potrebe i percepcije;
- **Kulturna valorizacija prostora:** povijesni elementi, vizualni identitet, narodna arhitektura;
- **Potencijal za participaciju:** postojeće mreže, institucije, udruge.

2.3. Pravna i infrastrukturna analiza

- **GUP i UPU:** mogućnosti gradnje, visine, gabariti, udaljenosti;
- **Komunalna infrastruktura:** voda, kanalizacija, struja, prometni pristup;
- **Zaštita okoliša:** zona Natura 2000, zaštita tla, zaštita voda, zaštita kulturne baštine.

Cilj je uspostaviti **matricu lokacijskih potencijala i ograničenja**, koja služi kao osnova za definiranje morfologije modula, njihovih veza i performansi.

3. Definiranje potreba korisnika

3.1. Identifikacija tipova korisnika

- **Individualni korisnici:** stanovnici, nomadi, gosti;
- **Zajednice:** zadruge, škole, kulturne udruge;
- **Institucije:** općine, nevladine organizacije, privatni investitori.

3.2. Funkcionalne potrebe

- Broj i vrsta prostorija;
- Način korištenja prostora tijekom dana i godine;
- Zahtjevi za privatnost, fleksibilnost, povezivanje s okolišem;
- Potrebe za dostupnošću, prilagodbom osobama s invaliditetom.

3.3. Emocionalne i perceptivne potrebe

- Osjećaj sigurnosti, utočišta i orijentacije;
- Estetske preferencije, odnos prema prirodnim materijalima;
- Osjećaj vlasništva, kontrole i identifikacije sa prostorom.

3.4. Metode

- Ankete i intervjui;
- Participativne radionice s modelima;
- Prostorne simulacije s različitim scenarijima korištenja.

Na temelju ovoga izrađuje se **korisnička karta zahtjeva**, koja se pretače u **prostorogram** – dokument koji definira odnose među funkcionalnim jedinicama, veličine, potrebe za orijentacijom i vezama.

4. Ekološki koncept

Ekološki koncept nije dodatak funkcionalnom projektu, već njegov **strukturni temelj**. Razrađuje se u pet međusobno povezanih komponenti:

4.1. Materijali

- **Prirodni i lokalni:** drvo, glina, kamen, slama, konoplja;
- **Certificirani:** FSC, PEFC, NaturePlus, Cradle to Cradle;
- **Netoksični i zdravi:** VOC free premazi, difuzno otvoreni materijali;
- **Reciklirani i reciklabilni:** paneli od reciklirane plastike, metalni spojevi.

Izrađuje se **materijalna strategija** koja uključuje:

- Gustoću i težinu materijala u funkciji transporta;
- Emisije tijekom proizvodnje (embodied carbon);
- Životni vijek i mogućnost zamjene.

4.2. Energija

- **Pasivna energija:** orijentacija, otvori, toplinska masa, termalni tamponi;
- **Aktivna energija:** solarni paneli, toplinske pumpe, vjetrogeneratori;
- **Energetska autonomija:** off-grid sustavi, hibridni modeli.

Cilj: NZEB ili energetska plus model.

4.3. Voda

- Prikupljanje kišnice s krovova;
- Biološka obrada otpadnih voda (heljodine, kompostne WC školjke);
- Sustavi sivih voda za navodnjavanje.

4.4. Otpad

- Sustavi za selektiranje i kompostiranje;
- Projektiranje s dekonstrukcijom na umu;
- Sustavi leasinga opreme (produktivna reciklaža).

4.5. Biodiverzitet

- Zelene krovne površine s autohtonim vrstama;
- Biotopi za insekte i ptice;
- Očuvanje prirodnih vodotoka, šuma i međa.

5. Izvedba

Izvedba u modularnoj bio-arhitekturi mora biti:

- **precizna (prefabrikacija zahtijeva milimetarsku točnost),**
- **fleksibilna (mogućnost promjena do zadnjeg trenutka),**
- **kontrolirana (sustav kontrole kvalitete za svaki segment),**
- **transparentna (dokumentacija o porijeklu i karakteristikama materijala).**

5.1. Izrada modula

- Radionica ili tvornica s certificiranim sustavima;
- Testiranje svakog modula prije transporta;
- Ugradnja pametnih senzora za naknadno praćenje (temperatura, vlaga, CO₂).

5.2. Transport i montaža

- Sekvenciranje po funkcionalnim prioritetima;
- Korištenje dizalica, montažnih temelja, privremenih skela;
- Spajanje na infrastrukturu (plug-in ili off-grid).

5.3. Verifikacija i commissioning

- Energetski test (blower door test);
- Zvučna i termografska analiza;
- Verifikacija LCA rezultata i kružnog dizajna.

5.4. Edukacija korisnika

- Priručnici za korištenje;
- Trening za održavanje;
- Platforma za praćenje performansi (IoT dashboard).

6. Zaključak: Proces kao arhitektura

Analiza, definiranje potreba, koncept, izvedba – to nisu samo faze, već **temelji cjelovitog, kružnog i regenerativnog pristupa gradnji**. Modularna bio-arhitektura ne može uspjeti bez procesa koji jasno vodi svaki korak i uključuje sve sudionike: od tla i biljke, do čovjeka i stroja. Dizajnerski proces u ovom kontekstu nije linija – on je **spirala znanja i odluka**. Samo ako se pažljivo i dosljedno prati, projekt modularne bio-arhitekture može ispuniti svoj potencijal: da postane arhitektura za ljude, prirodu i budućnost – istovremeno.

Sudjelovanje korisnika i participativni dizajn

1. Uvod: Korisnik kao suautor prostora

U kontekstu održive i modularne bio-arhitekture, sudjelovanje krajnjih korisnika u dizajnerskom procesu nije samo poželjan dodatak, već **temeljna pretpostavka uspješnosti projekta**. Konvencionalna arhitektura često je bila hijerarhijski strukturirana – od arhitekta prema investitoru, od projektanta prema izvođaču – pri čemu je korisnik dolazio tek na kraj lanca, kao pasivni potrošač već definiranog prostora. Participativni dizajn mijenja tu paradigmu.

Sudjelovanje korisnika uvodi novi odnos prema prostoru: **prostor kao iskustvo, prostor kao dijalog, prostor kao prilagodba**, a ne samo kao rezultat. U modularnoj bio-arhitekturi, gdje su fleksibilnost, mobilnost i personalizacija ključni, participacija korisnika postaje mehanizam za postizanje funkcionalne preciznosti, ekološke relevantnosti i emocionalne povezanosti sa zgradom.

2. Povijesni pregled i teorijski temelji participativnog dizajna

Participativni dizajn kao koncept razvija se sredinom 20. stoljeća, paralelno s društvenim pokretima koji zahtijevaju veću transparentnost, demokraciju i uključenost u oblikovanju zajedničkih resursa.

- **Walter Segal** (UK) razvija pristup samogradnje uz participaciju korisnika u planiranju;
- **Lucien Kroll** (Belgija) uključuje studente i stanare u dizajn sveučilišnih prostora;

- **Christopher Alexander** uvodi koncept "Pattern Language" – dizajnerski vokabular koji korisnici mogu razumjeti i koristiti;
- **John Habraken** (Nizozemska) definira "Supports theory" – razdvajanje osnovne strukture (nosivi elementi) od individualiziranih unutarnjih elemenata (infills), čime se omogućuje fleksibilnost i participacija.

Sudjelovanje korisnika u arhitekturi temelji se na uvjerenju da **prostorna kvaliteta ne proizlazi iz forme, već iz usklađenosti između načina života, funkcionalne potrebe i identiteta korisnika.**

3. Razlike između konvencionalnog i participativnog pristupa

| Dimenzija | Konvencionalni dizajn | Participativni dizajn |
|---------------------|---|---|
| Uloga korisnika | Pasivni primatelj | Aktivni sudionik i suautor |
| Faza uključivanja | Nakon izvedbe | Od samog početka projektiranja |
| Dizajnerski proces | Hijerarhijski, linearan | Ciklički, iterativan, multidisciplinarnan |
| Evaluacija prostora | Kvantitativna (m ² , trošak) | Kvalitativna (iskustvo, zadovoljstvo) |
| Cilj | Funkcionalna realizacija | Kultura korištenja i dugoročna održivost |

U modularnoj arhitekturi, koja se temelji na serijalizaciji i tipologizaciji, **samo participacija omogućuje kontekstualizaciju i personalizaciju bez gubitka u efikasnosti izvedbe.**

4. Metodologije uključivanja korisnika

Uključivanje korisnika može se provesti na različite načine, ovisno o stupnju participacije:

4.1. Informativna razina (pasivna participacija)

- Presentacije projekta;
- Priručnici o sustavu modula;
- Prikazi materijala i mogućnosti.

4.2. Savjetodavna razina

- Intervjui s korisnicima;
- Anketni upitnici (online i fizički);
- Fokus grupe s analizom potreba.

4.3. Interaktivna razina (kodesign)

- Participativne radionice s 2D i 3D maketama;
- Korištenje "modularnog LEGO sustava" za fizičko slaganje prostora;
- Digitalne simulacije (VR, AR);
- Testiranje prototipova u stvarnim uvjetima.

4.4. Odlučujuća razina

- Korisnici biraju između više varijanti;
- Mogućnost personalizacije materijala, boja, rješenja;
- Direktno sudjelovanje u dizajnu interijera.

5. Uloga participacije u modularnoj bio-arhitekturi

Participacija korisnika unutar modularne bio-arhitekture omogućuje:

- **Prilagodbu modula različitim kulturama i stilovima života;**
- **Uštede u kasnijim adaptacijama i intervencijama;**
- **Jaču emocionalnu povezanost korisnika sa prostorom;**
- **Stvaranje prostora koji podržava mentalno zdravlje, identitet i zajedništvo;**
- **Razvijanje lokalne zajednice kao aktivnog sudionika u prostornom razvoju.**

Primjena u praksi:

- **U coworking sustavima** korisnici definiraju prostorne module za timski i individualni rad;
- **U smještajnim objektima** gosti biraju konfiguraciju interijera prije dolaska;

- **U edukativnim objektima** djeca i nastavnici projektiraju učionice prema vlastitim potrebama.

6. Tehnički alati za participativni dizajn

Tehnologija omogućuje skaliranje i sistematizaciju participacije:

- **BIM sustavi (Revit, ArchiCAD)** s mogućnošću prikaza više varijanti dizajna;
- **VR i AR alati (Enscape, Twinmotion, Hololens)** za prostornu simulaciju i doživljaj prostora;
- **Online platforme** za odabir materijala, boja i opreme;
- **3D pisači i CNC alati** za izradu fizičkih prototipova.

Softverski sustavi omogućuju **brzu rekalkulaciju troškova, vremena i energetske performansi** na temelju korisničkih odabira.

7. Pravni, etički i proceduralni aspekti

Sudjelovanje korisnika zahtijeva:

- **Transparentnost u donošenju odluka;**
- **Pravo na informaciju i povratnu komunikaciju;**
- **Zaštitu privatnosti i osjetljivih podataka;**
- **Definiranje granica sudjelovanja** (što korisnik može, a što ne može mijenjati);
- **Dokumentaciju procesa** radi naknadnog vrednovanja i evaluacije.

U projektima financiranim iz javnih sredstava, participacija je često **zakonska obveza**. U privatnim projektima, ona postaje **konkurentna prednost i alat za jaču lojalnost korisnika**.

8. Primjeri dobre prakse

- **EcoMOD (USA)** – sustav modularnih kuća projektiranih zajedno sa socijalno ugroženim zajednicama;
- **Haus der Statistik (Berlin)** – cijeli gradski blok razvijen kroz ko-dizajn s lokalnim organizacijama;
- **Modulorbeat (Njemačka)** – mobilni paviljoni projektirani kroz radionice sa studentima i građanima;
- **Javna modularna čekaonica (Rijeka)** – dizajnirana s vozačima i korisnicima javnog prijevoza.

9. Zaključak: Korisnik kao arhitektonski partner

Sudjelovanje korisnika ne znači gubitak autoriteta projektanta, već **evoluciju arhitektonske profesije prema facilitatorskoj i sistemskoj ulozi**. U modularnoj bio-arhitekturi, gdje su fleksibilnost, montaža i kružnost ugrađeni u samu logiku sustava, participacija korisnika omogućuje da **prostori ne budu samo funkcionalni, već i emocionalno relevantni, kulturno ukorijenjeni i dugoročno održivi**.

Participativni dizajn nije mehanizam demokracije u arhitekturi – on je **alat prostorne pravde**. On omogućuje prostorima da postanu više od forme – da postanu iskustvo, odnos i zajednica.

Digitalni alati i BIM pristupi za modularnu arhitekturu

1. Uvod: Digitalizacija kao temelj suvremenog projektiranja

Digitalna transformacija građevinskog sektora dovela je do temeljne promjene načina na koji se arhitektura osmišljava, komunicira i realizira. U modularnoj arhitekturi – koja se temelji na **prefabrikaciji, ponovljivosti, sistematizaciji i logističkoj preciznosti** – digitalni alati nisu samo pomoćno sredstvo, već **strukturni element procesa**. Nema učinkovitog modularnog sustava bez integriranog pristupa podacima, komponentama, fazama i suradnji. U tom kontekstu, **Building Information Modeling (BIM)** i povezani alati čine jezgru projektiranja, koordinacije, upravljanja i održavanja modularnih objekata.

BIM nije samo 3D prikaz zgrade – on je **informacijska baza cjelokupnog ciklusa života objekta**. U modularnoj bio-arhitekturi, BIM pristupi omogućuju sinkronizaciju dizajna s principima održivosti, kružnosti, energetske učinkovitosti i adaptabilnosti. Kroz preciznu digitalnu reprezentaciju svakog modula – uključujući njegove fizičke, termičke, strukturne i montažne karakteristike – moguće je postići optimizaciju ne samo forme, već i procesa.

2. Osnove BIM pristupa i njegova uloga u modularnim sustavima

Building Information Modeling definira se kao **digitalna reprezentacija fizičkih i funkcionalnih karakteristika objekta**. On objedinjuje:

- Geometrijske podatke (3D),
- Prostorne odnose (tlocrt, visine, sekcije),
- Specifikacije materijala i komponenata,
- Faze gradnje (4D),
- Troškove (5D),
- Energetske performanse (6D),
- Upravljanje uporabom i održavanjem (7D).

U modularnoj arhitekturi, gdje su **komponente definirane unaprijed i moraju se savršeno uklopiti**, BIM pristup omogućuje:

- **Standardizaciju dimenzija i spojeva;**
- **Verifikaciju sudara (clash detection);**
- **Upravljanje verzijama komponenata kroz library sustav;**
- **Planiranje prefabrikacije i montaže;**
- **Simulaciju procesa od narudžbe do instalacije;**
- **Povezivanje s proizvođačima komponenti.**

BIM model postaje **digitalni blizanac objekta**, koji u svakom trenutku omogućuje analizu stanja, potencijalnih promjena, te automatizaciju troškovnika, logistike i održavanja.

3. Ključne BIM platforme i alati

Najčešće korišteni BIM alati u modularnoj arhitekturi uključuju:

Autodesk Revit

- Vodeća platforma za arhitektonsko i inženjersko modeliranje;
- Mogućnost izrade **familija (families)** – parametarskih komponenata modula;
- Sinkronizacija s konstrukcijskim i MEP modelima;
- Suradnja kroz **BIM 360 cloud sustav**.

Graphisoft ArchiCAD

- Posebno prilagođen arhitektonskim uredima s naglaskom na vizualni prikaz;
- Snažan Teamwork sustav;
- IFC podrška za interoperabilnost.

Tekla Structures

- Idealna za **detaljno modeliranje konstrukcija**, posebno čelika i betona;
- Korisno za inženjere koji se bave **projektnom razradom spojeva modula**.

Navisworks i Solibri

- Alati za koordinaciju i **otkrivanje kolizija (clash detection)** između različitih struka.

IFC standard

- OpenBIM format koji omogućuje razmjenu modela između različitih softvera;
- Ključno za integraciju modularnih sustava u **raznolikim projektnim okruženjima**.

4. Parametarski i generativni dizajn

Modularna arhitektura zahtijeva **brzu iteraciju i optimizaciju** tlocrtnih rješenja. Parametarski dizajn omogućuje da se:

- Definira **pravilo ili algoritam za generaciju modula;**

- Modul automatski prilagođava promjeni ulaznih podataka (npr. površina, visina, solarna ekspozicija);
- Analizira više varijanti bez potrebe za ručnim crtanjem.

Rhino + Grasshopper

- Alati za **generativni dizajn**, gdje se svaki modul može konfigurirati prema bioklimatskim, funkcionalnim i estetskim kriterijima;
- Mogućnost integracije s Ladybug Tools za analizu insolacije, sjene, vjetra.

Dynamo (za Revit)

- Vizualni programski jezik za automatizaciju procesa unutar Revita;
- Idealno za generiranje modularnih mreža, koordinaciju spojeva, automatsku numeraciju i izračune površina.

5. Upravljanje komponentama i sustav biblioteka

Za uspješnu implementaciju modularnog BIM sustava, potrebno je izgraditi:

- **Digitalnu biblioteku komponenta:** zidovi, podovi, sanitarni moduli, energetske blokove;
- **Standardizirane parametre:** dimenzije, materijali, R/U vrijednosti, masa, način transporta;
- **Verzioranje:** svakom modulu pridijeliti reviziju, status i poveznicu s projektnim fazama.

Npr. **modul sanitarne jezgre** može imati verzije:

- V1: za CEPS sustav 20 m²;
- V2: za twin modul 40 m²;
- V3: za kamp objekat s otvorenim krovom.

BIM omogućuje upravljanje tim varijantama bez gubitka integracije sa statičarima, strojarskim inženjerima i izvođačem.

6. Suradnja u oblaku i interoperabilnost

Suradnja više dionika na istom modelu – često u realnom vremenu – ključna je u modularnim projektima koji se izvode u kratkim rokovima. Alati uključuju:

- **Autodesk BIM 360 / ACC:** suradnja na Revit modelima putem oblaka, upravljanje zadacima, revizijama i komentarima;
- **Trimble Connect:** za Tekla i SketchUp suradnju;
- **OpenBIM pristup** s IFC formatima: omogućuje slobodu izbora softvera i izvođača.

Prednosti:

- Ušteda vremena kroz **istovremenu izradu više dijelova modela**;
- Trenutna provjera usklađenosti svih struka;
- Brže otkrivanje i rješavanje konflikata.

7. BIM za logistiku, montažu i održavanje

U modularnoj arhitekturi, BIM ne prestaje s izradom projektne dokumentacije – on se koristi u:

4D faziranju

- Planiranje **redoslijeda montaže** modula na terenu;
- Koordinacija isporuke, dizanja i spajanja;
- Simulacija gradilišta.

5D kalkulacijama

- Automatsko izračunavanje količina materijala;
- Dinamička povezanost s troškovnicima i budžetima;
- Usporedba različitih scenarija (npr. drveni moduli vs. LGS čelik).

7D upravljanje objektom

- BIM model postaje **digitalni priručnik za upravitelja zgrade**;
- Sadrži sve podatke o komponentama: proizvođač, vijek trajanja, servisni ciklus;
- Mogućnost integracije s IoT sensorima za praćenje temperature, vlage, CO₂.

8. Integracija s LCA, LCC i održivim standardima

BIM model omogućuje integraciju s alatima za procjenu održivosti:

- **Life Cycle Assessment (LCA):** analiza utjecaja materijala i komponenti na okoliš tijekom cijelog životnog vijeka;
- **Life Cycle Costing (LCC):** dugoročni troškovi održavanja, zamjene, energetske potrošnje;
- **DGNB, LEED, BREEAM certifikacija:** automatsko generiranje dokumentacije za prijavu na certifikacijske sustave;
- **EU Level(s):** set pokazatelja za praćenje okolišnog i energetskog učinka kroz BIM.

9. Prikaz stvarnog primjera: Modularna škola

U projektiranju modularne škole u ruralnom području korišten je BIM model:

- Svaki učionički modul projektiran kao zasebna **Revit familija**;
- Fasade analizirane u Grasshopperu za maksimalnu dnevnu svjetlost;
- Troškovi po varijanti izračunati automatski (5D);
- Simulacija montaže i fazne isporuke kroz Navisworks;
- Povezan s IoT sensorima koji očitavaju temperaturu, buku, vlagu u stvarnom vremenu (7D);
- Eksportiran kao IFC za proizvođača CLT panela.

10. Zaključak: Digitalni alati kao suvereni sustav modularne arhitekture

Bez digitalnih alata, modularna bio-arhitektura ostaje u sferi teorije. Samo kroz **parametarsku, podatkovnu i koordinacijsku preciznost BIM sustava**, moguće je istovremeno postići efikasnost, održivost, fleksibilnost i kontrolu. BIM nije samo alat, već **metodologija upravljanja složenošću**.

Digitalna arhitektura ne znači gubitak humanosti – naprotiv, ona omogućuje da se svakom korisniku, svakom mjestu i svakom materijalu pristupi s pažnjom, preciznošću i odgovornošću.

STUDIJE SLUČAJA

Primjeri uspješnih modularnih bio-arhitektonskih projekata (iz Hrvatske, EU i svijeta)

1. EcoCocon Modular House (Litva)

Web stranica: <https://ecococon.eu>

Pregled projekta

EcoCocon predstavlja inovativan sustav modularne gradnje temeljen na prirodnim materijalima, prvenstveno prešanoj slami u drvenom okviru. Ovaj sustav omogućuje izgradnju energetski učinkovitih, zdravih i održivih objekata s minimalnim utjecajem na okoliš.^[2]

Sustav i tehnologija

- **Struktura:** Modularni paneli izrađeni su od prešane slame obložene drvenim okvirom, što osigurava visoku nosivost i izolacijska svojstva.
- **Izolacija:** Zidni paneli debljine 400 mm postižu U-vrijednost od 0,11 W/m²K, što premašuje standarde pasivne kuće.
- **Materijali:** Sustav koristi 98% prirodnih i obnovljivih materijala, uključujući drvo i slamu iz lokalnih izvora.
- **Montaža:** Paneli se izrađuju po mjeri i omogućuju brzu i jednostavnu montažu na gradilištu bez potrebe za teškom mehanizacijom.^[2]

Proces izgradnje

1. **Projektiranje:** Korištenjem BIM alata, arhitekti mogu precizno planirati i prilagoditi dizajn prema željama klijenata.
2. **Proizvodnja:** Paneli se prefabriciraju u kontroliranim uvjetima, što smanjuje otpad i osigurava kvalitetu.
3. **Transport i montaža:** Zahvaljujući modularnosti, paneli se lako transportiraju i montiraju na licu mjesta, često unutar nekoliko dana.^[2]

Korisnički doživljaj

Stanovnici EcoCocon kuća ističu iznimnu unutarnju klimu, s prirodnom regulacijom vlage i temperature, što doprinosi zdravom životnom okruženju. Prirodni materijali stvaraju ugodan ambijent, a visoka energetska učinkovitost rezultira niskim troškovima grijanja i hlađenja.^[2]

Održivost i ekološki aspekti

- **CO₂ bilanca:** Svaki kvadratni metar zida pohranjuje oko 85 kg CO₂, čime se aktivno doprinosi smanjenju ugljičnog otiska.
- **Reciklabilnost:** Na kraju životnog vijeka, paneli se mogu u potpunosti reciklirati ili kompostirati.
- **Certifikati:** Sustav je certificiran prema međunarodnim standardima za održivu gradnju, uključujući Natureplus i Cradle to Cradle.^[2]

Primjeri realiziranih projekata

- **Feldballe School, Danska:** Edukativni objekt izgrađen 2022. godine, površine 250 m², dizajniran od strane Henning Larsen Architects.
- **Nomad Cabins:** Modularne kuće koje se mogu instalirati u manje od jednog dana, prilagođene za različite lokacije poput vrtova, šuma ili obala.

EcoCocon predstavlja održivo i fleksibilno rješenje za suvremenu gradnju, kombinirajući prirodne materijale s modernim tehnologijama. Njegova modularnost, energetska učinkovitost i ekološka prihvatljivost čine ga idealnim izborom za one koji traže zdrav i održiv dom.^[2]



2. NEST Research Platform (Švicarska)

Web stranica: <https://www.empa.ch/web/nest>

Pregled projekta

NEST (Next Evolution in Sustainable Building Technologies) je modularna istraživačka i inovacijska zgrada smještena na kampusu Empa i Eawag u Dübendorfu, Švicarska. Otvorena 2016. godine, NEST služi kao platforma za testiranje, istraživanje i validaciju novih tehnologija, materijala i sustava u stvarnim uvjetima. Zgrada je dizajnirana kao "živi laboratorij" koji omogućuje suradnju između istraživača, industrije i javnog sektora kako bi se ubrzao prijenos inovacija na tržište.^[2]

Sustav i tehnologija

- **Modularna struktura:** NEST se sastoji od centralnog "kralježnice" i tri otvorene platforme na koje se instaliraju pojedinačne istraživačke i inovacijske jedinice prema principu "plug-and-play".
- **Istraživačke jedinice:** Svaka jedinica fokusira se na specifične aspekte održive gradnje, poput energetske učinkovitosti, recikliranja materijala, digitalne proizvodnje i adaptivnih fasada.
- **Energetski sustav:** NEST je povezan s ehubom (Energy Hub), koji omogućuje upravljanje, pohranu, konverziju i prijenos energije između različitih jedinica i sustava.^[2]

Proces izgradnje

1. **Planiranje:** Suradnja između istraživačkih institucija i industrijskih partnera za razvoj koncepta i dizajna jedinica.
2. **Izgradnja:** Prefabrikacija komponenti i njihova instalacija na platforme NEST-a.
3. **Testiranje:** Praćenje performansi i prikupljanje podataka u stvarnim uvjetima korištenja.
4. **Evaluacija:** Analiza rezultata i prilagodba tehnologija prije komercijalizacije.^[2]

Korisnički doživljaj

NEST pruža stvarno okruženje za korisnike, uključujući stanare i zaposlenike, koji sudjeluju u testiranju novih tehnologija. Povratne informacije korisnika ključne su za prilagodbu i poboljšanje razvijenih sustava, osiguravajući da inovacije zadovoljavaju stvarne potrebe i očekivanja.^[2]

Održivost i ekološki aspekti

- **Energetska učinkovitost:** Korištenje obnovljivih izvora energije, poput solarnih panela, i naprednih sustava za upravljanje energijom.

- **Recikliranje materijala:** Primjena principa kružne ekonomije kroz korištenje recikliranih i reciklabilnih materijala u gradnji.
- **Digitalna proizvodnja:** Upotreba digitalnih tehnologija za optimizaciju dizajna i smanjenje otpada tijekom izgradnje.^[2]

Primjeri realiziranih jedinica

- **HiLo:** Jedinica koja istražuje lagane konstrukcije i adaptivne fasade za smanjenje potrošnje energije.
- **Urban Mining & Recycling:** Fokus na korištenje recikliranih materijala i dizajn za dekonstrukciju.
- **DFAB House:** Demonstracija digitalne proizvodnje i robotizirane gradnje u stvarnim uvjetima.

Zaključak

NEST predstavlja jedinstvenu platformu koja omogućuje testiranje i razvoj održivih građevinskih tehnologija u stvarnim uvjetima. Njegov modularni dizajn, suradnja između različitih sektora i fokus na održivost čine ga ključnim projektom za budućnost zelene gradnje.^[2]



3. Modularni dječji vrtić u Krakovu (Poljska)

Web stranica: <https://www.frantagroup.com/projekty/przedszkole-modulowe-w-krakowie>

Pregled projekta

Modularni dječji vrtić u Krakovu, koji je projektirao arhitekt Maciej Franta iz studija Franta Group, predstavlja inovativan pristup u dizajnu i izgradnji obrazovnih objekata. Smješten u četvrti Bieżanów-Prokocim, ovaj vrtić je prvi u Krakovu i jedan od prvih u Poljskoj koji je u potpunosti realiziran u tehnologiji modularne čelične konstrukcije. Projekt je dovršen 2017. godine, a izgradnja je trajala samo tri mjeseca, što svjedoči o efikasnosti modularne gradnje.^[2]

Sustav i tehnologija

- **Konstrukcija:** Zgrada je izgrađena korištenjem čeličnih modula, što omogućuje brzu montažu i demontažu, kao i fleksibilnost u dizajnu.
- **Energetska učinkovitost:** Objekt je opremljen sustavima za prirodnu ventilaciju i maksimalno iskorištavanje dnevnog svjetla, čime se smanjuje potreba za umjetnim osvjetljenjem i klimatizacijom.

- **Materijali:** Korišteni su visokokvalitetni, ekološki prihvatljivi materijali, uključujući drvo i staklo, koji doprinose zdravom unutarnjem okruženju.^[2]

Proces izgradnje

1. **Projektiranje:** Arhitektonski tim je razvio modularni dizajn koji omogućuje prilagodbu različitim potrebama i veličinama prostora.
2. **Prefabrikacija:** Moduli su proizvedeni u kontroliranim uvjetima, što osigurava visoku kvalitetu i preciznost.
3. **Transport i montaža:** Moduli su transportirani na lokaciju i montirani u roku od nekoliko tjedana, čime je značajno smanjeno vrijeme izgradnje.^[2]

Korisnički doživljaj

Dizajn vrtića stavlja djecu u središte pažnje, s prostorima koji potiču igru, učenje i interakciju. Velike staklene površine omogućuju obilje prirodnog svjetla, dok su unutarnji prostori fleksibilni i prilagodljivi različitim aktivnostima. Roditelji i osoblje ističu pozitivne učinke takvog okruženja na dobrobit i razvoj djece.^[2]

Održivost i ekološki aspekti

- **Brza izgradnja:** Modularna tehnologija omogućuje brzu izgradnju s minimalnim utjecajem na okoliš.
- **Energetska učinkovitost:** Korištenje prirodnog svjetla i ventilacije smanjuje potrošnju energije.
- **Ekološki materijali:** Upotreba održivih materijala smanjuje ugljični otisak zgrade.

Zaključak

Modularni dječji vrtić u Krakovu predstavlja uspješan primjer kako modularna gradnja može odgovoriti na potrebe suvremenog obrazovanja, pružajući brzo, fleksibilno i održivo rješenje. Projekt pokazuje kako se inovativni dizajn i tehnologija mogu spojiti kako bi se stvorilo poticajno i zdravo okruženje za najmlađe članove društva.^[2]

MODULAR KINDERGARTEN

COMPETITION | 2012







4. Pop-Up House (Francuska)

Web stranica: <https://www.popup-house.com>

Pregled projekta

Pop-Up House je inovativni koncept modularne pasivne kuće koji je razvila francuska tvrtka Multipod Studio. Prva kuća izgrađena je 2014. godine u Aix-en-Provenceu, a projekt je osmišljen kako bi ponudio pristupačno, energetske učinkovito i brzo rješenje za stambenu izgradnju. Cilj je bio stvoriti kuću koja se može brzo sastaviti, koristi reciklabilne materijale i zadovoljava standarde pasivne gradnje.

Sustav i tehnologija

- **Konstrukcija:** Struktura kuće sastoji se od izolacijskih blokova i drvenih panela koji se lako sastavljaju pomoću vijaka. Nisu potrebni posebni alati; dovoljna je bežična bušilica.
- **Materijali:** Korišteni su lagani i reciklabilni materijali, uključujući drvo i ekspanzirani polistiren (EPS) za izolaciju.
- **Izolacija:** Debljina izolacije od 30 cm u podu, zidovima i stropu osigurava izvanrednu toplinsku učinkovitost, eliminirajući potrebu za dodatnim grijanjem.

Proces izgradnje

1. **Projektiranje:** Dizajn kuće omogućuje prilagodbu različitim potrebama i lokacijama, s mogućnošću dodavanja zelenih krovova i različitih završnih obrada.
2. **Prefabrikacija:** Komponente kuće se prefabriciraju i dostavljaju na gradilište spremne za montažu.
3. **Montaža:** Cijela struktura kuće može se sastaviti u roku od četiri dana, koristeći samo bežičnu bušilicu.

Korisnički doživljaj

Stanovnici Pop-Up kuća ističu udobnost i stabilnu unutarnju klimu tijekom cijele godine, zahvaljujući izvanrednoj izolaciji. Dizajn kuće omogućuje obilje prirodnog svjetla, a otvoreni plan prostora pruža fleksibilnost u uređenju interijera. Mogućnost prilagodbe dizajna omogućuje korisnicima da oblikuju svoj životni prostor prema vlastitim željama.

Održivost i ekološki aspekti

- **Energetska učinkovitost:** Kuća zadovoljava standarde pasivne gradnje, s minimalnom potrebom za dodatnim grijanjem ili hlađenjem.
- **Reciklabilnost:** Svi korišteni materijali su reciklabilni, što smanjuje utjecaj na okoliš.
- **Pristupačnost:** Niski troškovi izgradnje čine ovu kuću dostupnom širokom krugu korisnika koji traže održiva stambena rješenja.

Pop-Up House predstavlja revolucionarni pristup u modularnoj arhitekturi, kombinirajući brzinu izgradnje, energetska učinkovitost i održivost. Njegov dizajn i tehnologija omogućuju korisnicima da brzo i jednostavno dobiju kvalitetan i ekološki prihvatljiv dom.🏠



5. Moos Euterpe – Modularna održiva stambena zajednica (Nizozemska)

Web stranica: <https://metropolismag.com/projects/moos-modular-construction-netherlands>

Pregled projekta

Moos Euterpe predstavlja pionirski projekt modularne i kružne gradnje u Nizozemskoj, razvijen kao odgovor na rastuću stambenu krizu i potrebu za održivim rješenjima. Smješten u blizini Rotterdama, ovaj projekt obuhvaća 30 stambenih jedinica različitih veličina, dizajniranih kako bi se prilagodile potrebama različitih obitelji i pojedinaca. Projekt je rezultat suradnje između nizozemskog start-upa Moos i arhitektonskog studija Concrete, s ciljem stvaranja pristupačnih, ekološki odgovornih i društveno uključivih stambenih zajednica.

Sustav i tehnologija

- **Modularna konstrukcija:** Stambene jedinice izrađene su kao dvokatni moduli koji se mogu slagati i prilagođavati različitim konfiguracijama. Svaka jedinica sastoji se od dva modula: jedan sadrži osnovne funkcije poput spavaće sobe, kuhinje i kupaonice, dok je drugi fleksibilan prostor koji korisnici mogu prilagoditi svojim potrebama.
- **Kružni materijali:** U gradnji su korišteni reciklirani i biobazirani materijali, uključujući reciklirani beton za podove, drvo s certifikatom za zidove i trostruko ostakljene drvene prozore, što osigurava visoku energetska učinkovitost i smanjenje ugljičnog otiska.
- **Energetska učinkovitost:** Zgrade su opremljene sustavima za obnovljive izvore energije, uključujući solarne panele, te sustavima za grijanje i ventilaciju koji maksimalno iskorištavaju prirodne resurse.

Proces izgradnje

1. **Dizajn i planiranje:** Arhitektonski tim razvio je fleksibilan dizajn koji omogućuje prilagodbu različitim potrebama korisnika i specifičnostima lokacije.
2. **Prefabrikacija:** Moduli su proizvedeni u kontroliranim uvjetima, što osigurava visoku kvalitetu i smanjuje vrijeme izgradnje na licu mjesta.
3. **Montaža:** Moduli su transportirani na lokaciju i montirani u kratkom vremenskom roku, čime se smanjuje utjecaj na okoliš i lokalnu zajednicu tijekom gradnje.

Korisnički doživljaj

Stanovnici Moos Euterpe zajednice uživaju u prostoru koji je dizajniran s naglaskom na zajedništvo i interakciju. Dvije zgrade s dvokatnim modulima postavljene su tako da okružuju zajednički vrt, potičući susjedsku interakciju i zajedničke aktivnosti. Fleksibilni prostori unutar jedinica omogućuju korisnicima da prilagode svoj dom prema osobnim potrebama, bilo da se radi o dodatnoj spavaćoj sobi, radnom prostoru ili prostoru za hobije.

Održivost i ekološki aspekti

- **Kružna ekonomija:** Projekt implementira principe kružne ekonomije kroz upotrebu recikliranih materijala i mogućnost demontaže i ponovne upotrebe modula.
- **Energetska učinkovitost:** Korištenje obnovljivih izvora energije i visokokvalitetne izolacije rezultira niskom potrošnjom energije i smanjenjem emisija CO₂.
- **Društvena održivost:** Projekt promovira društvenu inkluziju kroz mješovite stambene jedinice koje su pristupačne različitim socioekonomskim skupinama.

Moos Euterpe predstavlja inovativan pristup u modularnoj i održivoj stambenoj gradnji, kombinirajući tehnološke inovacije s društvenom odgovornošću. Projekt demonstrira kako se modularna arhitektura može koristiti za stvaranje fleksibilnih, energetska učinkovitih i društveno uključivih stambenih zajednica, pružajući model za buduće urbane razvojne projekte.



6. Woodcube (Njemačka)

Web stranica: <https://www.architekturagentur.de>

Pregled projekta

Woodcube je petokatna stambena zgrada smještena u Hamburgu, Njemačka, koja predstavlja pionirski projekt u području održive i modularne drvene gradnje. Projekt je razvijen u sklopu Međunarodne izložbe graditeljstva (IBA) 2013. godine, s ciljem demonstracije mogućnosti izgradnje višekatnih stambenih objekata koristeći isključivo drvo kao glavni građevinski materijal.


Sustav i tehnologija

- **Konstrukcija:** Zgrada je izgrađena gotovo u potpunosti od masivnog, netretiranog drva, bez upotrebe ljepila ili kemijskih premaza. Elementi zidova i stropova su prefabricirani i povezani pomoću drvenih klinova, čime se eliminira potreba za metalnim spojnica ili kemijskim vezivima.
- **Izolacija:** Vanjski zidovi debljine 32 cm pružaju izvrsnu toplinsku izolaciju, dodatno poboljšanu slojem drvenih vlaknastih ploča debljine 4 cm. Poseban uzorak urezan u površinu slojeva stvara zatvorene zračne šupljine unutar zidova, poboljšavajući toplinsku vodljivost.
- **Ventilacija:** Zgrada je opremljena sustavom ventilacije s rekuperacijom topline, koji se može kontrolirati putem digitalnog sučelja, omogućujući učinkovitu razmjenu zraka uz minimalne gubitke energije.

Proces izgradnje

1. **Planiranje:** Projekt je razvijen u suradnji između arhitektonskog studija Architekturagentur i Instituta za urbanu drvenu gradnju (IfuH), s fokusom na održivost i modularnost.
2. **Prefabrikacija:** Elementi zidova, podova i stropova su prefabricirani u kontroliranim uvjetima, čime se osigurava visoka kvaliteta i preciznost.
3. **Montaža:** Zahvaljujući visokom stupnju prefabrikacije, drvena konstrukcija zgrade je dovršena u roku od četiri tjedna.

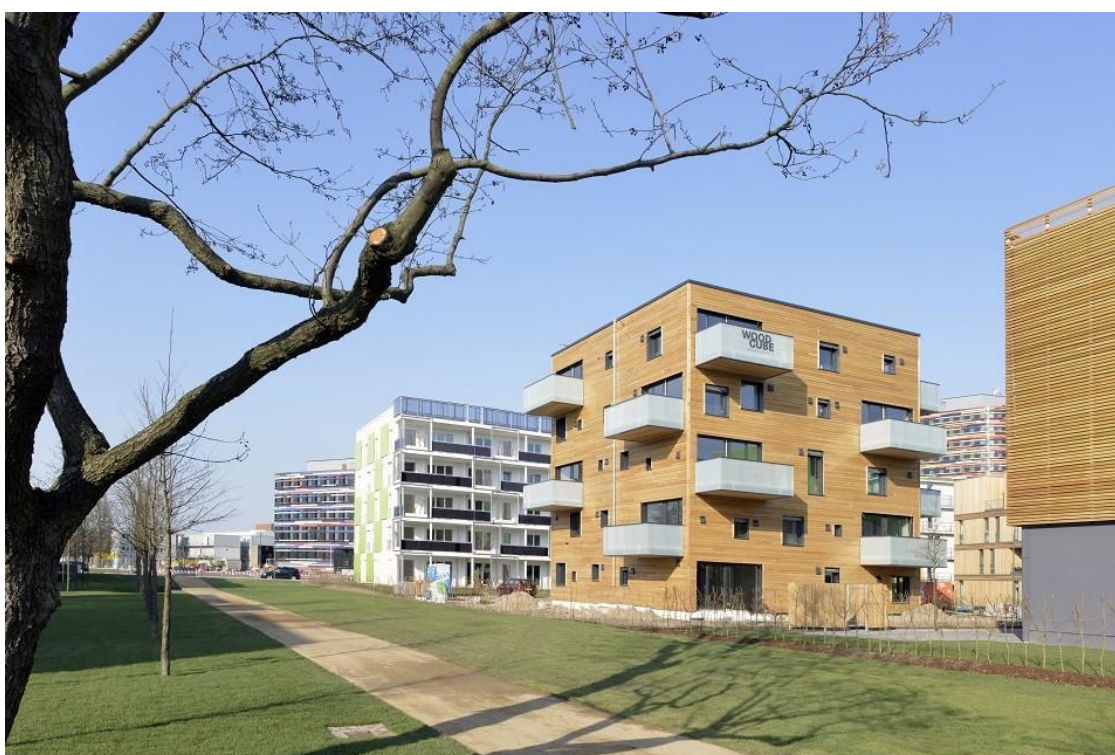
Korisnički doživljaj

Stanari Woodcube zgrade uživaju u zdravom i ugodnom životnom okruženju, zahvaljujući prirodnim materijalima koji reguliraju vlagu i temperaturu. Unutarnji prostori su prostrani i svijetli, s fleksibilnim rasporedom koji omogućuje prilagodbu različitim potrebama korisnika. Upotreba prirodnih materijala bez kemijskih dodataka doprinosi poboljšanju kvalitete zraka u unutarnjim prostorima. 

Održivost i ekološki aspekti

- **Uglična neutralnost:** Woodcube je prva višekatna stambena zgrada u Njemačkoj koja je postigla neutralnu ugljičnu bilancu tijekom cijelog životnog ciklusa, uključujući fazu izgradnje i korištenja.
- **Reciklabilnost:** Svi korišteni materijali su potpuno reciklabilni i biorazgradivi, bez upotrebe štetnih kemikalija, što omogućuje jednostavnu demontažu i ponovnu upotrebu komponenti.
- **Energetska učinkovitost:** Zgrada zadovoljava standarde pasivne kuće, s godišnjom potrebom za grijanjem od 18 kWh/m², zahvaljujući izvrsnoj toplinskoj izolaciji i sustavima za obnovljive izvore energije.

Woodcube predstavlja izvanredan primjer kako se tradicionalne tehnike drvene gradnje mogu reinterpretirati u suvremenom kontekstu, stvarajući održive, energetske učinkovite i estetski privlačne stambene prostore. Projekt demonstrira potencijal modularne bioarhitekture u urbanim sredinama, postavljajući nove standarde za buduće građevinske projekte usmjerene na održivost i kvalitetu života.



7. TOVA – Prva 3D ispisana zemljana kuća u Španjolskoj

Web stranica: <https://iaac.net/project/3dpa-prototype-2022/>

TOVA je prototip održive stambene jedinice razvijen 2022. godine od strane Instituta za naprednu arhitekturu Katalonije (IAAC) u suradnji s talijanskim proizvođačem 3D pisača WASP. Smještena u Valldaura Labs, istraživačkom centru IAAC-a u blizini Barcelone, TOVA predstavlja prvu 3D ispisanu zemljanu kuću u Španjolskoj, izrađenu isključivo od lokalnih materijala.

Sustav i tehnologija

- **3D ispis:** Korišten je Crane WASP, veliki 3D pisač sposoban za ispisivanje građevinskih struktura pomoću prirodnih materijala poput zemlje.
- **Materijali:** Glavni građevinski materijal je lokalna zemlja pomiješana s aditivima i enzimima kako bi se osigurala strukturna stabilnost i elastičnost potrebna za 3D ispis. Temelj je izrađen od geopolimera, a krov od drva.
- **Izolacija:** Zidovi sadrže mrežu šupljina koje omogućuju protok zraka, pružajući prirodnu izolaciju i regulaciju temperature.

Proces izgradnje

1. **Priprema materijala:** Zemlja je prikupljena unutar radijusa od 50 metara od gradilišta, čime se osigurava minimalan ugljični otisak.
2. **3D ispis:** Cijela struktura ispisana je u slojevima tijekom sedam tjedana, bez stvaranja građevinskog otpada.
3. **Završni radovi:** Primijenjen je vodootporni premaz izrađen od prirodnih sastojaka poput aloe vere i bjelanjaka kako bi se osigurala otpornost na vremenske uvjete.

Korisnički doživljaj

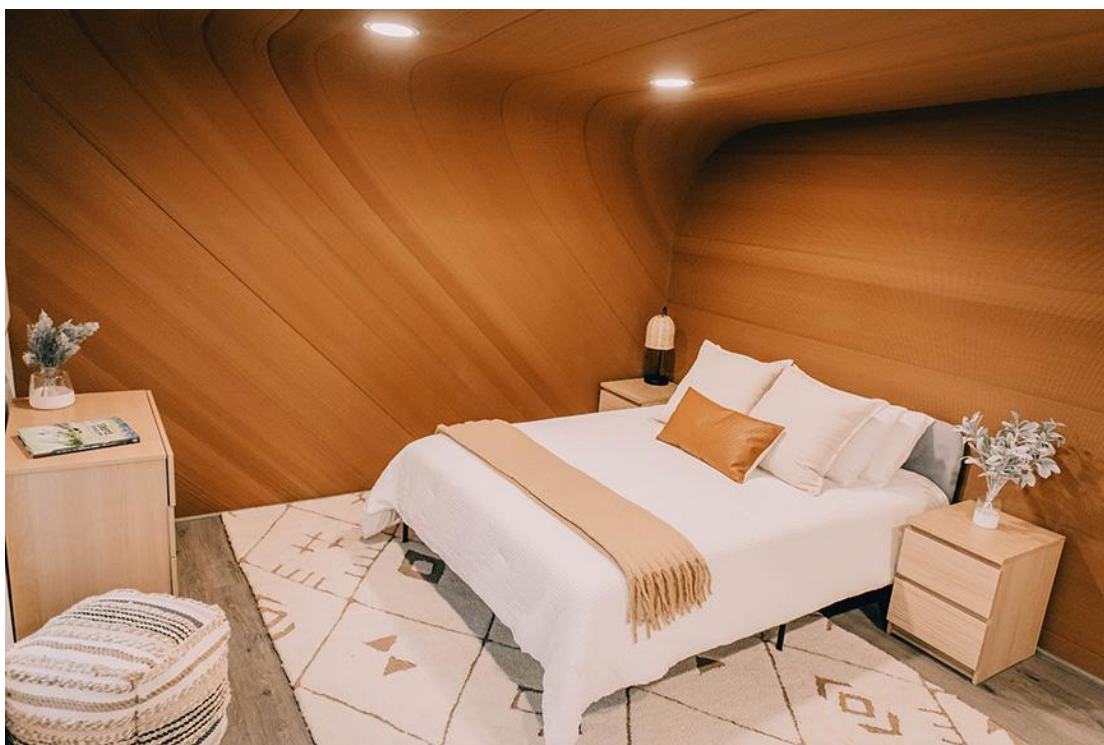
Dizajn TOVA-e uzima u obzir mediteransku klimu: kompaktan volumen štiti od hladnoće zimi, dok se tijekom ostalih godišnjih doba prostor može otvoriti prema vanjskom okruženju. Unutarnji prostori su prilagodljivi, omogućujući korisnicima da ih konfiguriraju prema vlastitim potrebama.

Održivost i ekološki aspekti

- **Lokalni materijali:** Korištenje isključivo lokalnih materijala smanjuje potrebu za transportom i povezanim emisijama.
- **Niska emisija CO₂:** Zahvaljujući prirodnim materijalima i procesu gradnje bez otpada, projekt ima gotovo nultu emisiju ugljika.
- **Prilagodljivost:** Tehnologija omogućuje brzu izgradnju stambenih jedinica u područjima pogođenim stambenom krizom ili prirodnim katastrofama.

TOVA predstavlja spoj tradicionalne zemljane arhitekture i suvremene 3D tehnologije, nudeći održivo, brzo i prilagodljivo rješenje za stambene potrebe. Projekt demonstrira kako se inovativne tehnologije mogu koristiti za stvaranje ekološki prihvatljivih i društveno odgovornih stambenih rješenja.





7. BioHome3D – Prva 3D ispisana kuća u SAD-u izrađena u potpunosti od bio-baziranih materijala

Web stranica: <https://umaine.edu/bioprinting>

Pregled projekta

BioHome3D je revolucionarni projekt razvijen 2022. godine od strane Sveučilišta Maine (University of Maine), koji predstavlja prvu 3D ispisanu kuću u SAD-u izrađenu u potpunosti od bio-baziranih materijala. Ova 600 kvadratnih stopa velika kuća izrađena je korištenjem drvenih vlakana i biljnih smola, čime se demonstrira mogućnost održive i ekološki prihvatljive gradnje.

Sustav i tehnologija

- **3D ispis:** Kuća je ispisana pomoću najvećeg svjetskog 3D pisača za polimere, razvijenog na Sveučilištu Maine. Ovaj pisač može ispisivati objekte veličine do 96 stopa dužine, 32 stope širine i 18 stopa visine.
- **Materijali:** Svi elementi kuće – zidovi, izolacija, krov i podovi – izrađeni su od drvenih vlakana i biljnih smola, što omogućuje potpunu reciklabilnost strukture.
- **Temelj:** Za temelj su korišteni betonski stupovi, no u budućim iteracijama planira se korištenje potpuno bio-baziranih materijala za cijelu strukturu. **Proces izgradnje**
 1. **Priprema materijala:** Korišteni su nusproizvodi drvne industrije iz Mainea, čime se smanjuje otpad i potiče lokalna ekonomija.
 2. **3D ispis:** Cijela kuća ispisana je u slojevima, bez stvaranja građevinskog otpada.
 3. **Montaža:** Nakon ispisa, kuća je opremljena potrebnim instalacijama i spremna za useljenje.

Korisnički doživljaj

BioHome3D pruža udoban i energetski učinkovit životni prostor, prilagođen hladnoj klimi Mainea. Zahvaljujući izvrsnoj izolaciji i korištenju prirodnih materijala, unutarinja klima ostaje stabilna tijekom cijele godine.

Održivost i ekološki aspekti

- **Reciklabilnost:** Kuća se može reciklirati do pet puta, čime se produžuje životni vijek materijala i smanjuje potreba za novim resursima.

- **Niska emisija CO₂:** Korištenje bio-baziranih materijala značajno smanjuje emisije ugljika u usporedbi s tradicionalnim građevinskim materijalima.
- **Lokalni resursi:** Projekt koristi lokalne materijale, čime se smanjuje potreba za transportom i povezanim emisijama.

Zaključak

BioHome3D predstavlja značajan korak prema održivoj i ekološki prihvatljivoj gradnji, demonstrirajući kako se inovativne tehnologije mogu koristiti za rješavanje stambene krize i smanjenje utjecaja na okoliš. Ovaj projekt postavlja temelje za buduće razvojne projekte u području modularne bioarhitekture.



7. TECLA – Prva 3D ispisana kuća od sirove zemlje (Italija)

Web stranica: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/>

Pregled projekta

TECLA (akronim za "Technology and Clay") je inovativni projekt prve 3D ispisane kuće izrađene u potpunosti od lokalne sirove zemlje. Projekt je rezultat suradnje između talijanske arhitektonske firme Mario Cucinella Architects (MCA) i specijalista za 3D ispis WASP (World's Advanced Saving Project). Smještena u Massa Lombardi, blizu Ravenne, TECLA je osmišljena kao odgovor na globalne izazove stambene krize i klimatskih promjena, demonstrirajući mogućnosti održive gradnje korištenjem lokalnih materijala i napredne tehnologije.

Sustav i tehnologija

- **3D ispis:** Korištena je tehnologija Crane WASP, prvi modularni i višerazinski 3D pisac sposoban za ispisivanje građevinskih struktura od sirove zemlje. Pisač koristi dvije sinkronizirane ruke koje simultano ispisuju strukturu, optimizirajući pokrete i izbjegavajući sudare.
- **Materijali:** Glavni građevinski materijal je lokalna zemlja pomiješana s vodom, vlaknima rižinih ljuski i prirodnim vezivima. Ova mješavina osigurava strukturnu stabilnost, izolaciju i biorazgradivost
- **Dizajn:** Kuća se sastoji od dvije kupolaste strukture površine oko 60 m², s visinom do 4,2 metra. Unutarnji prostori uključuju dnevni boravak, kuhinju, spavaću sobu i kupaonicu, s integriranim namještajem također izrađenim od lokalne zemlje.

Proces izgradnje

1. **Priprema materijala:** Zemlja je prikupljena lokalno, unutar radijusa od 0 km, čime se smanjuje potreba za transportom i povezanim emisijama.
2. **3D ispis:** Cijela struktura ispisana je u 200 sati, koristeći 7000 G-kodova, 350 slojeva debljine 12 mm i 150 km ekstruzije.
3. **Završni radovi:** Nakon ispisa, kuća je opremljena staklenim vratima i krovnim otvorima koji omogućuju prirodno osvjjetljenje i ventilaciju.

Korisnički doživljaj

TECLA pruža ugodan i zdrav životni prostor, prilagođen lokalnim klimatskim uvjetima. Debeli zemljani zidovi osiguravaju termalnu masu koja stabilizira unutarnju temperaturu, smanjujući potrebu za dodatnim grijanjem ili hlađenjem. Unutarnji prostori su minimalistički i fleksibilni, omogućujući korisnicima prilagodbu prema vlastitim potrebama.

Održivost i ekološki aspekti

- **Niska emisija CO₂:** Korištenje lokalne sirove zemlje i eliminacija potrebe za transportom materijala značajno smanjuje ugljični otisak gradnje.
- **Biorazgradivost:** Svi korišteni materijali su prirodni i biorazgradivi, omogućujući recikliranje ili prirodnu razgradnju na kraju životnog ciklusa kuće.
- **Prilagodljivost:** Dizajn TECLA-e može se prilagoditi različitim klimatskim uvjetima i kulturnim kontekstima, čineći je pogodnom za širok raspon geografskih područja.^[2]

TECLA predstavlja spoj tradicionalnih građevinskih materijala i suvremene tehnologije, nudeći održivo, brzo i prilagodljivo rješenje za stambene potrebe. Projekt demonstrira kako se inovativne tehnologije mogu koristiti za stvaranje ekološki prihvatljivih i društveno odgovornih stambenih rješenja, pružajući model za buduće razvojne projekte u području modularne bioarhitekture.





9. Christie Walk – Ekološka zajednica u Adelaideu, Australija

Web stranica: [Urban Ecology Australia – Christie Walk](#)

Pregled projekta

Christie Walk je kooperativna stambena zajednica smještena u središtu Adelaidea, Australija. Projekt je započet 1999. godine, a dovršen 2006., s ciljem demonstracije održivog urbanog života u gusto naseljenom gradskom okruženju. Na površini od samo 2.000 m², zajednica obuhvaća 27 stambenih jedinica različitih tipova, uključujući apartmane, gradske kuće i samostalne kuće.^[2]

Sustav i tehnologija

- **Konstrukcija:** Zgrade su izgrađene korištenjem kombinacije recikliranih i prirodnih materijala, poput recikliranog drva, cigle i betona. Korišteni su i materijali s niskim emisijama hlapljivih organskih spojeva (VOC) kako bi se osigurala kvaliteta zraka u unutarnjim prostorima.
- **Energetska učinkovitost:** Sve jedinice dizajnirane su prema principima pasivne solarne arhitekture, s orijentacijom prema sjeveru za maksimalno iskorištavanje sunčeve energije. Krovovi su opremljeni solarnim panelima za proizvodnju električne energije i solarne kolektore za grijanje vode.
- **Zeleni krovovi i vrtovi:** Nekoliko zgrada ima zeleni krov koji pruža dodatnu izolaciju, smanjuje efekt urbanog toplinskog otoka i omogućuje uzgoj biljaka. Zajednički vrtovi i staze potiču socijalnu interakciju među stanovnicima.^[2]

Proces izgradnje

1. **Planiranje:** Projekt je razvijen kroz suradnju između arhitekta Paula Downtona i organizacije Urban Ecology Australia, s ciljem stvaranja modela održivog urbanog života.
2. **Izgradnja:** Korišteni su lokalni i reciklirani materijali kako bi se smanjio ugljični otisak. Gradnja je uključivala i volonterski rad članova zajednice, što je dodatno ojačalo osjećaj pripadnosti i zajedništva.
3. **Završni radovi:** Posebna pažnja posvećena je detaljima koji doprinose energetske učinkovitosti, poput dvostrukih stakala, izolacije visokih performansi i prirodne ventilacije.^[2]

Korisnički doživljaj

Stanovnici Christie Walka uživaju u životu u zajednici koja potiče održivost, socijalnu interakciju i zdrav način života. Zajednički prostori, poput vrtova, staza i prostora za sastanke, omogućuju redovitu komunikaciju i suradnju među susjedima. Dizajn prostora promiče osjećaj sigurnosti, pripadnosti i zajedničke odgovornosti za okoliš.^[2]

Održivost i ekološki aspekti

- **Energetska učinkovitost:** Kombinacija pasivnog dizajna, solarne energije i energetske učinkovitih uređaja rezultira niskom potrošnjom energije.
- **Upravljanje vodom:** Sustavi za prikupljanje kišnice koriste se za navodnjavanje vrtova, dok se otpadne vode tretiraju i ponovno koriste gdje je moguće.
- **Bioraznolikost:** Uvođenje autohtonih biljaka i zelenih površina doprinosi očuvanju lokalne bioraznolikosti i stvaranju staništa za ptice i insekte.^[2]

Christie Walk predstavlja uspješan primjer kako se modularna i održiva gradnja može integrirati u urbano okruženje, pružajući visokokvalitetan životni prostor koji minimizira utjecaj na okoliš. Projekt demonstrira kako arhitektura može igrati ključnu ulogu u oblikovanju održivih i povezanih zajednica.^[2]





10. House W – Modularna kuća s pozitivnom energetsom bilansom u Hokkaidu, Japan

Web stranica: [Florian Busch Architects – House W](#)

Pregled projekta

House W je modularna obiteljska kuća smještena u Nakafuranu, Hokkaido, koju je dizajnirao arhitektonski studio Florian Busch Architects (FBA). Projekt je dovršen početkom 2025. godine i predstavlja prvu kuću ovog studija koja generira više energije nego što troši, postižući gotovo dvostruku proizvodnju energije u odnosu na potrošnju tijekom godine

Sustav i tehnologija

- **Konstrukcija:** Kuća je izgrađena korištenjem modularnih drvenih elemenata, što omogućuje fleksibilnost u dizajnu i brzu montažu. Drvena konstrukcija doprinosi smanjenju ugljičnog otiska i pruža prirodnu izolaciju.
- **Energetski sustav:** Krov kuće opremljen je fotonaponskim solarnim panelima koji generiraju električnu energiju. Integrirani sustav za upravljanje energijom optimizira potrošnju i skladištenje energije, osiguravajući da kuća proizvodi gotovo dvostruko više energije nego što troši tijekom godine
- **Izolacija i ventilacija:** Debeli drveni zidovi i visokokvalitetna izolacija osiguravaju stabilnu unutarnju temperaturu, smanjujući potrebu za dodatnim grijanjem ili hlađenjem. Prirodna ventilacija omogućuje protok svježeg zraka bez gubitka topline.

Proces izgradnje

1. **Planiranje:** Projekt je razvijen u suradnji s obitelji iz Tokija koja je željela održivu kuću u ruralnom okruženju. Odabrana je lokacija na rubu poljoprivrednog zemljišta, s ciljem očuvanja funkcionalnosti farme.
2. **Modularna izgradnja:** Korištenjem prefabriciranih drvenih modula, izgradnja je bila brza i učinkovita, s minimalnim utjecajem na okoliš.
3. **Završni radovi:** Posebna pažnja posvećena je detaljima koji doprinose energetske učinkovitosti, poput ugradnje visokokvalitetnih prozora i vrata te sustava za upravljanje energijom.

Korisnički doživljaj

House W pruža udoban i zdrav životni prostor, prilagođen hladnoj klimi Hokkaida. Veliki prozori omogućuju obilje prirodnog svjetla i povezanost s okolnim krajolikom. Fleksibilan tlocrt omogućuje prilagodbu prostora različitim potrebama obitelji.

Održivost i ekološki aspekti

- **Pozitivna energetska bilanca:** Kuća proizvodi gotovo dvostruko više energije nego što troši, zahvaljujući integraciji solarnih panela i učinkovitom sustavu za upravljanje energijom
- **Korištenje lokalnih materijala:** Drvena konstrukcija izrađena je od lokalno dostupnog drva, smanjujući potrebu za transportom i povezanim emisijama.
- **Minimalan utjecaj na okoliš:** Modularna izgradnja i pažljivo planiranje lokacije omogućili su očuvanje okolnog poljoprivrednog zemljišta i minimizirali utjecaj na okoliš.

House W predstavlja uspješan primjer kako se modularna i održiva gradnja može integrirati u ruralno okruženje, pružajući visokokvalitetan životni prostor koji minimizira utjecaj na okoliš. Projekt demonstrira kako arhitektura može igrati ključnu ulogu u oblikovanju održivih zajednica, kombinirajući tradicijske materijale s modernim tehnologijama za postizanje energetske samodostatnosti.



11. House W – Modularna kuća s pozitivnom energetsom bilansom u Hokkaidu, Japan

Web stranica: [Florian Busch Architects – House W](#)

Pregled projekta

House W je modularna obiteljska kuća smještena u Nakafuranu, Hokkaido, koju je dizajnirao arhitektonski studio Florian Busch Architects (FBA). Projekt je dovršen početkom 2025. godine i predstavlja prvu kuću ovog studija koja generira više energije nego što troši, postižući gotovo dvostruku proizvodnju energije u odnosu na potrošnju tijekom godine

Sustav i tehnologija

- **Konstrukcija:** Kuća je izgrađena korištenjem modularnih drvenih elemenata, što omogućuje fleksibilnost u dizajnu i potencijalnu buduću nadogradnju. Vanjski omotač kuće, nazvan "solarna koža", sastoji se od 56 fotonaponskih panela ukupne snage 23 kW, integriranih u tamnu, homogenu fasadu
- **Energetski sustav:** Kuća koristi prirodni izvor vode s konstantnom temperaturom tijekom cijele godine, koji pokreće toplinsku pumpu za podno grijanje i opskrbu toplom vodom
- **Dizajn:** Struktura kuće sastoji se od dva rotirana volumena, čime se stvara međuprostor koji služi kao regulator klime, omogućujući kontrolu kretanja zraka i svjetlosti unutar kuće

Proces izgradnje

1. **Planiranje:** Klijenti su željeli jednostavnu drvenu strukturu, sličnu tradicionalnoj štali, koja bi bila energetski neovisna i prilagođena lokalnim klimatskim uvjetima.
2. **Izgradnja:** Zbog volatilnosti tržišta građevinskog materijala, razmatrana je fazna izgradnja, ali su prva i druga faza na kraju izgrađene istovremeno. Treća faza, koja uključuje spremište i radionicu, dodana je prije dovršetka glavne kuće
3. **Završni radovi:** Korišteni su lokalni i reciklirani materijali, a posebna pažnja posvećena je detaljima koji doprinose energetske učinkovitosti, poput dvostrukih stakala, izolacije visokih performansi i prirodne ventilacije.

Korisnički doživljaj

Stanovnici House W uživaju u životu u kući koja aktivno surađuje s okolišem, prilagođava se prirodnim uvjetima i koristi dostupne resurse. Unutarnji prostori su prostrani i svijetli, s fleksibilnim rasporedom koji omogućuje prilagodbu različitim potrebama korisnika. Dizajn kuće omogućuje maksimalno iskorištavanje prirodnog svjetla i ventilacije, čime se poboljšava kvaliteta života stanara.

Održivost i ekološki aspekti

- **Energetska učinkovitost:** Kuća generira gotovo dvostruko više energije nego što troši, zahvaljujući integriranim solarnim panelima i korištenju prirodnih izvora energije
- **Korištenje lokalnih materijala:** Korišteni su lokalni i reciklirani materijali, čime se smanjuje potreba za transportom i povezanim emisijama.
- **Prilagodljivost:** Modularni dizajn omogućuje buduće nadogradnje i prilagodbe bez narušavanja arhitektonske cjelovitosti.

House W predstavlja uspješan primjer kako se modularna i održiva gradnja može integrirati u ruralno okruženje, pružajući visokokvalitetan životni prostor koji minimizira utjecaj na okoliš. Projekt demonstrira kako arhitektura može igrati ključnu ulogu u oblikovanju održivih i povezanih zajednica, prilagođenih lokalnim klimatskim i kulturnim uvjetima.



12. Bi House – Održiva modularna kuća u Nha Trangu, Vijetnam

Web stranica: [Pham Huu Son Architects – Bi House](#)

Pregled projekta

Bi House je održiva modularna kuća smještena u Nha Trangu, Vijetnam, koju je dizajnirao arhitektonski studio Pham Huu Son Architects. Projekt je dovršen 2022. godine i predstavlja primjer integracije prirodnih elemenata u urbano okruženje, s ciljem stvaranja ugodnog i energetski učinkovitog životnog prostora.

Sustav i tehnologija

- **Konstrukcija:** Kuća je izgrađena korištenjem modularnih elemenata, što omogućuje fleksibilnost u dizajnu i potencijalnu buduću nadogradnju. Struktura kuće sastoji se od dva volumena odvojena vertikalnim atrijem koji omogućuje prirodnu ventilaciju i osvjetljenje.
- **Zeleni elementi:** Vanjski i unutarnji prostori obogaćeni su zelenilom, uključujući vrtove i vertikalne zelene površine, koje doprinose prirodnom hlađenju i poboljšavaju kvalitetu zraka.
- **Energetska učinkovitost:** Korištenje velikih staklenih površina omogućuje maksimalno iskorištavanje prirodnog svjetla, smanjujući potrebu za umjetnim osvjetljenjem i time potrošnju energije.

Proces izgradnje

1. **Planiranje:** Projekt je razvijen s ciljem stvaranja održivog životnog prostora koji se integrira s prirodnim okruženjem, uzimajući u obzir lokalne klimatske uvjete i potrebe korisnika.

2. **Izgradnja:** Korišteni su lokalni i prirodni materijali, a posebna pažnja posvećena je detaljima koji doprinose energetske učinkovitosti, poput izolacije visokih performansi i prirodne ventilacije.
3. **Završni radovi:** Uređenje interijera i eksterijera izvedeno je s naglaskom na povezivanje unutarnjih i vanjskih prostora, stvarajući harmoničan i ugodan ambijent za stanare.

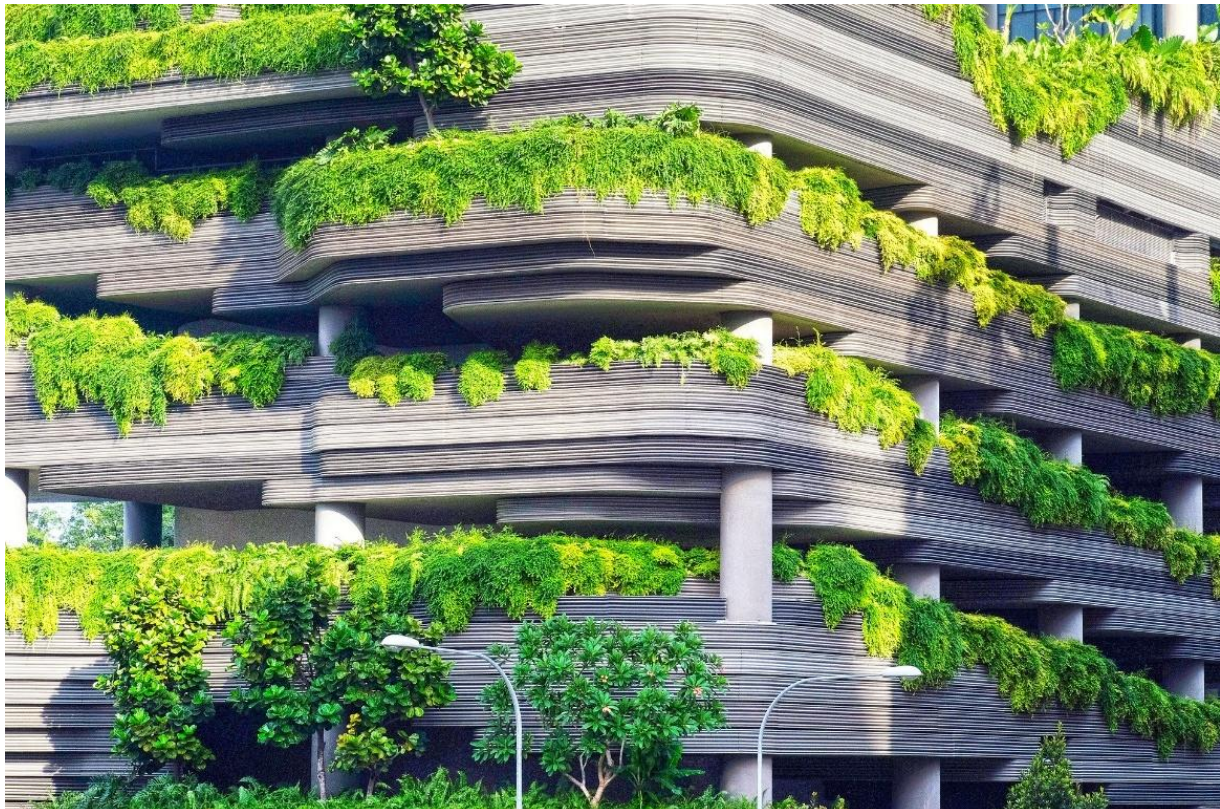
Korisnički doživljaj

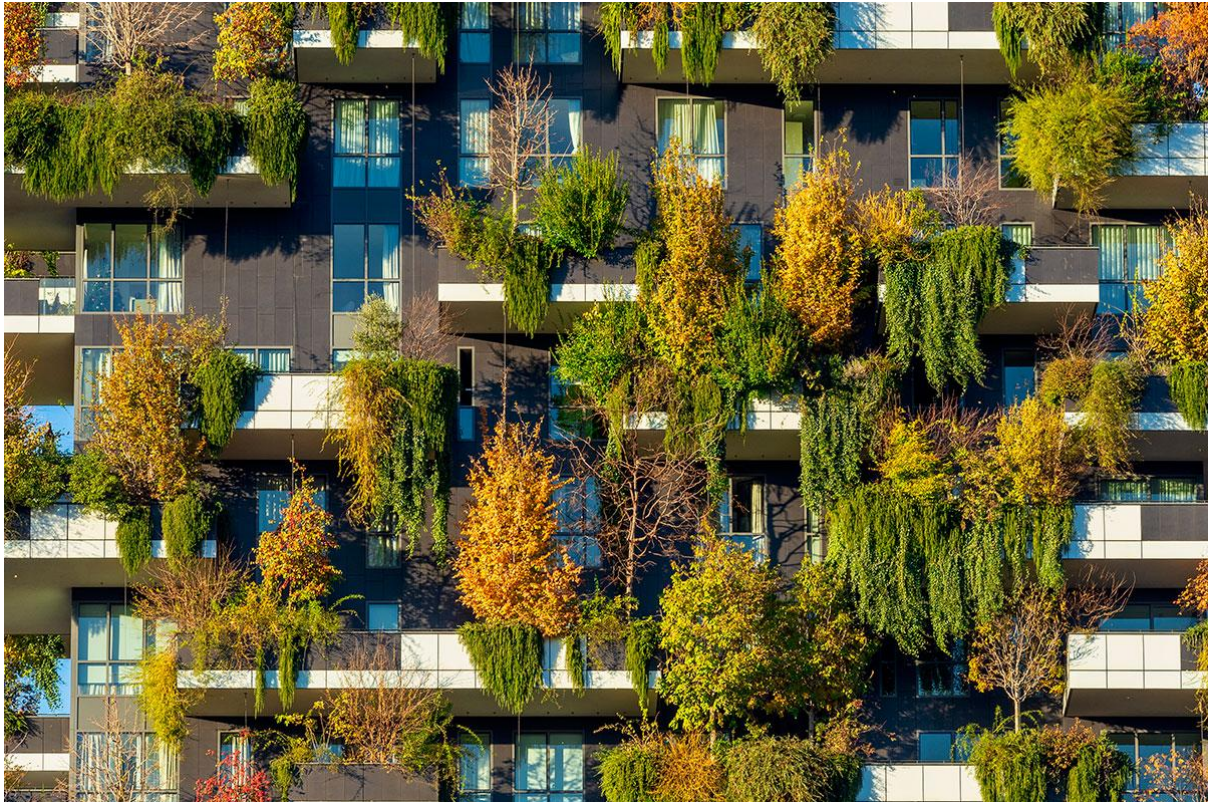
Stanovnici Bi House uživaju u životu u kući koja aktivno surađuje s okolišem, prilagođava se prirodnim uvjetima i koristi dostupne resurse. Unutarnji prostori su prostrani i svijetli, s fleksibilnim rasporedom koji omogućuje prilagodbu različitim potrebama korisnika. Dizajn kuće omogućuje maksimalno iskorištavanje prirodnog svjetla i ventilacije, čime se poboljšava kvaliteta života stanara.

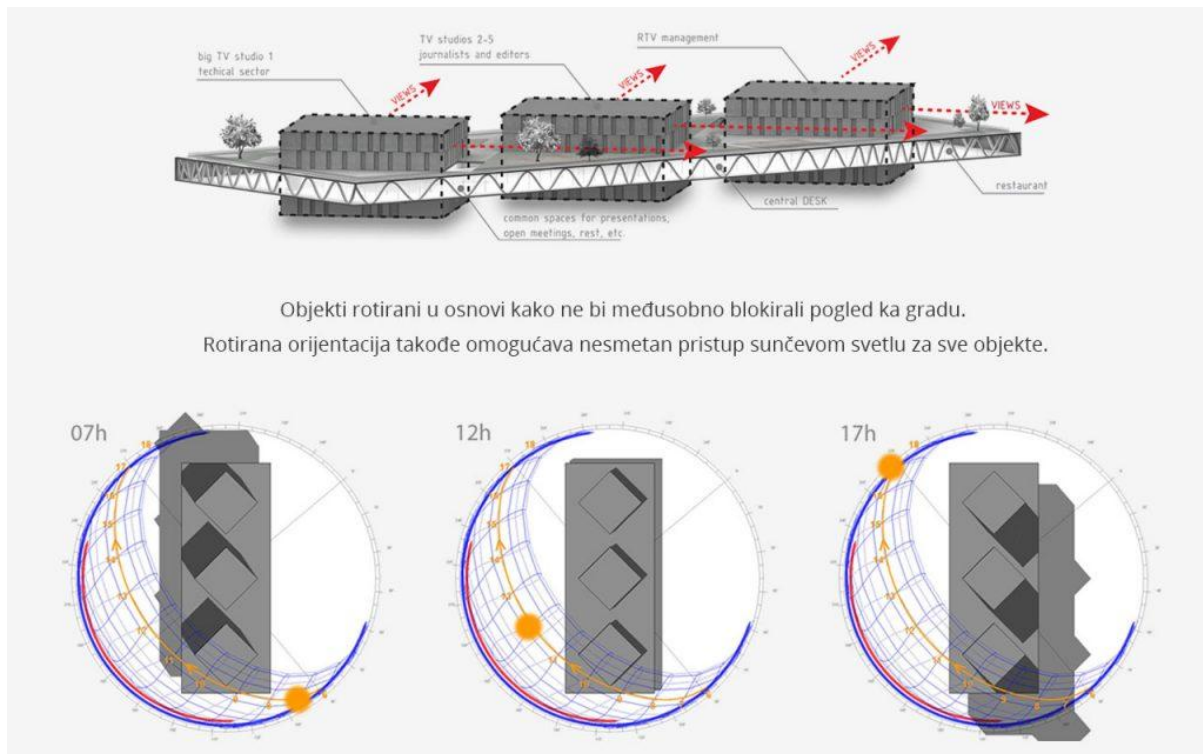
Održivost i ekološki aspekti

- **Energetska učinkovitost:** Kombinacija pasivnog dizajna, prirodne ventilacije i korištenja prirodnog svjetla rezultira niskom potrošnjom energije.
- **Korištenje lokalnih materijala:** Korišteni su lokalni i prirodni materijali, čime se smanjuje potreba za transportom i povezanim emisijama.
- **Zeleni elementi:** Integracija zelenila u dizajn kuće doprinosi očuvanju lokalne bioraznolikosti i stvaranju ugodnog mikroklimatskog okruženja.

Bi House predstavlja uspješan primjer kako se modularna i održiva gradnja može integrirati u urbano okruženje, pružajući visokokvalitetan životni prostor koji minimizira utjecaj na okoliš. Projekt demonstrira kako arhitektura može igrati ključnu ulogu u oblikovanju održivih i povezanih zajednica, prilagođenih lokalnim klimatskim i kulturnim uvjetima.







Presjek projektnih faza, korištenih materijala, izazova i rješenja

1. Faza istraživanja i pripreme lokacije

Svaki modularni bioarhitektonski projekt započinje detaljnom **analizom lokacijskih parametara**, uključujući topografiju, tip tla, insolaciju, ružu vjetrova, dostupnost infrastrukture i mikroklimu. Ova faza uključuje i konzultacije s lokalnom zajednicom te identifikaciju okolišnih i kulturnih karakteristika prostora koje treba očuvati i integrirati u dizajn.

Ključni izazovi:

- Nedostatak preciznih podataka o mikroklimi
- Lokacije s ograničenim infrastrukturnim priključcima

Rješenja:

- Korištenje GIS sustava i lokalnih meteoroloških stanica za generiranje mikroklimatskih modela
- Integracija sustava za samodostatnost (off-grid fotonaponski sustavi, spremnici za kišnicu, bio-kompostne WC jedinice)

2. Faza projektiranja (idejni i izvedbeni projekt)

Ova faza uključuje razvoj prostornog koncepta prema principima bioarhitekture i modularnosti. Definiraju se **standardni moduli** (nosivi, funkcionalni, servisni i interijerski), parametri pasivne energetske učinkovitosti, primjena prirodne ventilacije i maksimalno korištenje dnevne svjetlosti.

Korišteni alati:

- BIM modeli za simulaciju energetskih tokova
- Digitalni alati za optimizaciju dnevne svjetlosti (npr. Radiance, Grasshopper s Ladybug pluginom)

Korišteni materijali (u projektnoj specifikaciji):

- Nosiva konstrukcija: CLT (Cross Laminated Timber), lokalna konstrukcijska borovina, FSC certificirano drvo

- Ispuna zidova: slamnate bale, konoplja u kombinaciji s vapnenim vezivom
- Završne obloge: zemljani žbuke, prirodni pigmenti, drvene obloge tretirane toplinom
- Izolacija: drvena vlakna, ovčja vuna, pluto

Izazovi:

- Usklađivanje modularnih standarda s prirodnim materijalima koji nisu geometrijski uniformni
- Integracija instalacija unutar modula bez narušavanja difuzno otvorenih slojeva

Rješenja:

- Detaljno modeliranje instalacijskih kanala unutar servisnih modula
- Prilagođeni spojni čvorovi koji omogućuju brzo povezivanje modula bez kompromitiranja zrakonepropusnosti

3. Faza prefabrikacije

U prefabrikijskom pogonu provodi se serijska proizvodnja modula, čime se osigurava **kontrola kvalitete** i preciznost izrade, te se minimizira otpad. Moduli se izrađuju u segmentima (npr. 3x6 m), a svi elementi prethodno prolaze antimikrobne i protupožarne tretmane prirodnim sredstvima.

Ključni procesi:

- CNC obrada drvenih elemenata prema točno specificiranim koordinatama iz BIM modela
- Ugradnja elektro i vodo-instalacija u servisne module s konektorima za onsite povezivanje
- Izvođenje završnih slojeva (npr. glinene žbuke) u suhim uvjetima

Izazovi:

- Transport velikih elemenata u udaljena ili teško pristupačna područja
- Tolerancije pri spojevima između modula

Rješenja:

- Modularna segmentacija prema prometnoj analizi (prikladnost za kamionski ili kontejnerski prijevoz)
- Ugradnja prilagodljivih spojnih limova i ekspandirajućih traka za zrakonepropusnost i vibracijsku stabilnost

4. Faza transporta i montaže

Montaža se obično izvodi u roku od 1 do 5 dana, ovisno o kompleksnosti projekta. Moduli se postavljaju na **temeljne točke ili pilote**, čime se minimizira tlo-djelovanje i omogućuje reverzibilnost objekta (važna karakteristika za bioarhitektonske principe).

Konstruktivski elementi montaže:

- Metalni klinovi, sidreni elementi s antikoroziivnim premazom
- Brtvene trake za vjetro-brtvljenje i zrakonepropusnost
- Suhi spojevi: bez kemikalija i ljepila, montaža pomoću ekoloških vijaka i klinova

Izazovi:

- Brzo vremensko pogoršanje ili nepredvidivi mikroklimatski uvjeti
- Rizik od oštećenja modula pri dizanju ili pomicanju

Rješenja:

- Suho sklapanje pod montažnim šatorom ili zaštitnim ceradama
- Ugradnja senzora pomaka i vibracija na kritičnim točkama nosača za očitavanje naprezanja u realnom vremenu

5. Faza završnih radova i puštanja u funkciju

Nakon montaže slijedi povezivanje svih servisnih modula i sustava, uključujući fotonaponske sustave, akumulator energije, sustave za upravljanje vodom i unutarnju ventilaciju. Provode se testiranja nepropusnosti (Blower door test), termografija spojeva i parametrizacija sustava.

Tehnički postupci:

- Kalibracija sustava grijanja i ventilacije u skladu s DIN EN 15251
- Integracija smart home sustava u drveno-intarzijske instalacijske niše
- Biološki monitoring CO₂, vlage i TVOC razina unutar prostora

Izazovi:

- Osiguranje standarda pasivne kuće bez kompromisa s prirodnim materijalima
- Spojevi modula često dovode do točkastih gubitaka topline

Rješenja:

- Softverska simulacija zrakopropusnosti spojnih zona prije montaže
- Ugradnja višeslojnih, difuzno otvorenih brtvi u svim vanjskim spojevima

Modularna bioarhitektura zahtijeva **visok stupanj interdisciplinarnе koordinacije** i precizne izvedbene strategije kako bi se osigurala i tehnička učinkovitost i ekološka usklađenost. Ključ uspjehа leži u dubinskom razumijevanju materijala, njihovih fizikalno-bioloških svojstava te mogućnosti digitalnog projektiranja koje omogućuje finu kontrolu u svakoj fazi izvedbe. Upravo ovakva sinergija između digitalnih alata i prirodnih resursa temelj je nove paradigme održive i modularne gradnje u 21. stoljeću.

SMJERNICE I PREPORUKE

Checklista za projektiranje modularne bio-arhitekture

Projektiranje modularne bio-arhitekture zahtijeva jasno definirane korake, multidisciplinarni pristup i tehničku konzistentnost u svim fazama – od analize lokacije, preko izbora materijala i konstrukcijskih sustava, do završne integracije sustava i post-izvedbenog praćenja. Sljedeća checklista može služiti kao **kontrolna osnova** za osiguranje projektne usklađenosti sa standardima bioarhitekture i modularne održivosti.

1. Analiza lokacije i okolišnih čimbenika

- Je li provedena **analiza mikrolokacije** (topografija, tlo, vjetar, insolacija, dostupnost vode)?
 - Jesu li identificirani elementi lokalnog ekosustava i bioraznolikosti?
 - Je li uzeta u obzir **kulturna i tradicijska komponenta** zatečenog prostora?
 - Je li izrađena GIS karta faktora osunčanosti i hlada tijekom godine?
 - Postoji li prikaz zona potencijalne poplave ili erozije?
-

2. Definiranje konceptualnog modula

- Je li osnovna jedinica modula definirana prema standardima transporta i montaže (npr. 3x6 m, 2.5x12 m)?
 - Je li osiguran **omjer fleksibilnosti i funkcionalnosti** unutar modula?
 - Jesu li svi moduli projektirani s mogućnošću **demontaže i prenamjene**?
 - Postoje li različiti tipovi modula: konstrukcijski, servisni, prostorni, međuprostorni?
 - Je li svaki modul samostalan u smislu **strukturne i energetske stabilnosti**?
-

3. Izbor ekoloških i lokalno dostupnih materijala

- Jesu li svi korišteni materijali:
 - prirodni ili reciklirani
 - s niskim emisijama VOC-a
 - difuzno otvoreni (omogućuju disanje konstrukcije)?
 - Je li svaki materijal **certificiran** (FSC, Cradle to Cradle, Natureplus...)?
 - Je li provjeren LCA (Life Cycle Assessment) ključnih materijala?
 - Postoji li plan **reciklaže ili kompostiranja** na kraju životnog ciklusa modula?
 - Je li osigurano da se izolacijski materijali ne temelje na naftnim derivatima?
-

4. Integracija pasivnih sustava

- Je li projekt optimalno **orijentiran prema solarnim osima** za grijanje i osvjjetljenje?
 - Je li planirana **dvostruka ventilacija** (cross-ventilation) u svim dnevnim prostorima?
 - Postoji li zaštita od pregrijavanja ljeti (zelenilo, nadstrešnice, orijentacija)?
 - Jesu li analizirani koeficijenti gubitka topline i dobiti po kvadratu modula?
 - Je li predviđena **toplinska masa** (npr. glineni podovi, zidovi) za akumulaciju topline?
-

5. Aktivni sustavi i obnovljivi izvori energije

- Je li integrirana **fotonaponska ili hibridna solarna instalacija**?
 - Je li razrađen plan potrošnje i proizvodnje energije (kWh/m²/godišnje)?
 - Je li uključena dizalica topline ili geotermalni sustav?
 - Postoji li pametni sustav upravljanja energijom (smart grid, BEMS)?
 - Je li predviđen **sustav pohrane energije** (baterije, spremnici tople vode)?
-

6. Voda, otpad i kružno gospodarstvo

- ✓ Postoji li sustav **prikupljanja kišnice** i filtracije?
 - ✓ Je li osigurano **odvojeno sakupljanje sive i crne vode**?
 - ✓ Jesu li ugrađeni **suhi ili bio-kompostni WC sustavi** gdje je to moguće?
 - ✓ Postoji li plan za **lokalnu obradu otpadne vode** (npr. fito-pročišćivači)?
 - ✓ Jesu li svi moduli osmišljeni s **minimiziranim građevinskim otpadom**?
-

7. Zdravlje, udobnost i biofilni elementi

- ✓ Je li osigurana **dovoljna količina prirodnog svjetla** u svim boravišnim prostorijama?
 - ✓ Je li predviđen **kontakt korisnika s prirodnim materijalima i zelenilom** u interijeru?
 - ✓ Jesu li svi materijali **netoksični, biorazgradivi i bez štetnih emisija**?
 - ✓ Postoji li **kontinuirana ventilacija** s rekuperacijom i filtracijom zraka (PM2.5)?
 - ✓ Je li integriran **akustički komfor** (izolacija od buke i međuprostorna zvučna zaštita)?
-

8. Transport, montaža i reverzibilnost

- ✓ Je li sustav modula kompatibilan sa standardnim prijevoznim sredstvima?
 - ✓ Je li predviđena montaža bez potrebe za mokrim radovima na terenu?
 - ✓ Jesu li spojevi projektirani kao **suhi (vijčani, utorni, klinasti)** za jednostavno rastavljanje?
 - ✓ Postoji li mogućnost **ponovne upotrebe** modula u drugim kontekstima?
 - ✓ Je li ukupna težina strukture optimizirana za minimalan utjecaj na tlo?
-

9. Digitalna podrška i dokumentacija

- ✓ Je li projekt izrađen u **BIM okruženju** (Building Information Modeling)?
 - ✓ Jesu li izrađene simulacije energetske učinkovitosti (PHPP, DesignBuilder)?
 - ✓ Je li dostupna **digitalna knjižnica komponenti** (materijali, sustavi, spojevi)?
 - ✓ Postoji li baza podataka za **praćenje održavanja i korisničke intervencije**?
 - ✓ Je li predviđena integracija sa **senzorima za praćenje unutarnje klime i potrošnje**?
-

10. Zakonska usklađenost i financijska održivost

- ✓ Je li projekt usklađen sa svim **važećim propisima i normama** (npr. nZEB, EN 1995, HRN UPOV)?
- ✓ Jesu li svi materijali i tehnologije usklađeni s nacionalnim tehničkim odobrenjima?
- ✓ Je li izrađena analiza **TCO (Total Cost of Ownership)** kroz 30 godina?
- ✓ Postoji li plan financiranja kroz **zelene kredite, EU fondove ili poticaje**?
- ✓ Je li provedena **analiza rizika** i plan održavanja (servis, zamjena, reciklaža)?

Ova checklista nije samo tehnička kontrolna lista, već **integrirani alat za strateško planiranje, projektiranje i validaciju** modularnih bioarhitektonskih sustava. Koristeći ju kao osnovu za svakodnevni projektantski rad, arhitekti i dizajneri dobivaju uvid u sustavno razrađene parametre koji pridonose uspješnosti, održivosti i dugoročnom utjecaju prostora na čovjeka i okoliš. Ona omogućuje stvaranje objekata koji nisu samo estetski i funkcionalni, već i otporni, reverzibilni i u skladu s budućim generacijama.

Standardi i certifikati (npr. LEED, WELL, Cradle to Cradle)

Primjena međunarodnih i nacionalnih standarda te certifikacijskih sustava u području održive gradnje postaje ključna komponenta arhitektonske prakse usmjerene ka zdravijem okolišu, višoj energetske učinkovitosti, cirkularnoj ekonomiji i dobrobiti korisnika prostora. U kontekstu *modularne bio-arhitekture*, ovi standardi igraju trostruku ulogu:

1. **Verifikacija ekoloških i zdravstvenih performansi objekta**
2. **Alat za dizajn i odlučivanje kroz cijeli životni ciklus projekta**
3. **Dodana tržišna vrijednost i kvalifikacija za zelene fondove i poticaje**

U nastavku su obrađeni najznačajniji standardi i certifikati koji se primjenjuju u kontekstu modularne bio-arhitekture.

1. LEED – Leadership in Energy and Environmental Design (SAD)

Nositelj: U.S. Green Building Council

Primjenjivost: Novi objekti, interijeri, zgrade, kvartovi

Relevancija za modularnu bio-arhitekturu: Izuzetno visoka

LEED je globalno prepoznat sustav certifikacije koji vrednuje održivost zgrada kroz više kategorija: lokacija i transport, učinkovitost vode, energetska učinkovitost, materijali i resursi, kvaliteta unutarnjeg okoliša, inovacije.

Modularna usmjerenja:

- Prefabrikacija i smanjenje gradilišnog otpada nosi dodatne bodove
- Korištenje lokalnih i recikliranih materijala
- Mogućnost LEED prefabrikacijske certifikacije komponenti

Razine: Certified, Silver, Gold, Platinum

2. WELL Building Standard (SAD)

Nositelj: International WELL Building Institute

Primjenjivost: Komercijalni i rezidencijalni interijeri

Fokus: Ljudsko zdravlje i dobrobit u izgrađenom prostoru

WELL se temelji na znanstvenim dokazima i ocjenjuje zgrade prema 10 tematskih cjelina: zrak, voda, prehrana, svjetlo, kretanje, termalna ugodnost, zvuk, materijali, um i zajednica.

Relevancija:

- Kod modularnih sustava omogućuje kontrolirano implementiranje zdravih materijala
- Posebno važno za objekte s dugotrajnim boravkom korisnika (npr. stambeni moduli, coworking)

3. Cradle to Cradle Certified® (Njemačka / SAD)

Nositelj: Cradle to Cradle Products Innovation Institute

Primjenjivost: Građevinski materijali, proizvodi, komponente

Ovaj standard ne ocjenjuje zgrade, već *produkte* koji se u njima koriste – s naglaskom na dizajn za reciklažu, sigurnost po zdravlje, obnovljive izvore energije, društvenu odgovornost i vodnu učinkovitost.

Posebno relevantan za:

- Završne obloge, izolacijske materijale, ljepila, premaze
- Modularne komponente koje se mogu demontirati, remontirati i ponovno koristiti

Kategorije: Basic, Bronze, Silver, Gold, Platinum

4. BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method (UK)

Nositelj: BRE Global

Primjenjivost: Novi i postojeći objekti, masterplanovi

Metodologija: Najstariji certifikacijski sustav (od 1990.)

Kategorije ocjene: Upravljanje projektom, zdravlje i ugodnost, energija, voda, materijali, otpad, korištenje zemljišta, ekologija, inovacije

Prednosti za modularnu arhitekturu:

- Posebni alati za *modularne i montažne zgrade*
- Priznaje prednosti kontrole kvalitete u prefabrikaciji

Razine: Pass, Good, Very Good, Excellent, Outstanding

5. DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (Njemačka)

Nositelj: DGNB (Njemačko vijeće za održivu gradnju)

Holistički pristup: Uključuje ekološke, ekonomske, sociokulturne, tehničke i procesne kvalitete

Posebnosti:

- Jasni kriteriji za životni ciklus zgrade
- Fokus na modularnost, fleksibilnost, mogućnost adaptacije

DGNB sistem se često primjenjuje u DACH regiji i idealan je za europske modularne projekte.

6. Passive House / Passivhaus Standard (Njemačka)

Nositelj: Passive House Institute

Fokus: Maksimalna energetska učinkovitost i minimizacija potreba za grijanjem/hlađenjem

Ključni kriteriji:

- Godišnja potrošnja energije za grijanje $< 15 \text{ kWh/m}^2$
- Airtightness test (n_{50}) $\leq 0.6 \text{ h}^{-1}$
- Toplinski mostovi eliminirani

Posebna prednost za modularnu gradnju:

- Kontrolirani uvjeti gradnje omogućuju preciznu izvedbu bez toplinskih mostova
- Moguća certifikacija cijelih montažnih sustava

7. Living Building Challenge (SAD)

Nositelj: International Living Future Institute

Najzahtjevniji certifikat: Pokriva 7 “latica”: mjesto, voda, energija, zdravlje, materijali, pravednost, ljepota

Kriteriji:

- Zgrada mora proizvoditi više energije nego što troši
- Koristiti 100% obnovljivu energiju
- Imati nultu emisiju CO₂ i potpuno čiste materijale

U kontekstu modularne bioarhitekture:

- Predstavlja “gold standard” održivosti
- Izazovan, ali idealan za eksperimentalne zajednice i inovativne projekte

8. NaturePlus (EU)

Fokus: Certificiranje građevinskih proizvoda prema njihovoj ekološkoj, zdravstvenoj i funkcionalnoj kvaliteti

Kriteriji uključuju:

- Sirovinsko porijeklo
- Emisije štetnih tvari
- Trajnost i reciklabilnost

Pogodno za:

- Zemljane i glinene žbuke
- Drvene obloge
- Bio-izolacijske materijale

9. SITES – Sustainable SITES Initiative (SAD)

Fokus: Održivost okoliša oko zgrade (krajolik, tlo, voda, bioraznolikost)

Relevancija za modularne projekte:

- Certificira integraciju građevine s okolišem
- Idealno za projekte u prirodnim okruženjima i regenerativne cjeline

Primjena i preporuke u kontekstu modularne bioarhitekture

| Standard | Tip | Nivo certifikacije | Posebna pogodnost za modularnu gradnju |
|------------------|------------|------------------------|---|
| LEED | Zgrada | 4 razine | Prefabrikacija, optimizacija materijala |
| WELL | Zgrada | Silver, Gold, Platinum | Fokus na zdravlje i materijale interijera |
| Cradle to Cradle | Proizvod | 5 razina | Cirkularnost i biološka razgradivost |
| BREEAM | Zgrada | 5 razina | Evaluacija po kategorijama, pogodna za EU projekte |
| DGNB | Zgrada | Bronze do Platinum | Modularna fleksibilnost, europski kontekst |
| Passive House | Zgrada | Certifikat | Idealno za prefabrikaciju i energetske optimizacije |
| Living Building | Zgrada | Certifikat | Za pionirske modularne sustave bez kompromisa |
| NaturePlus | Materijali | Certifikat | Sigurni i netoksični proizvodi |
| SITES | Parcela | Certifikat | Integracija modula s krajolikom |

Uvođenje standarda i certifikacijskih okvira u modularnu bioarhitekturu **nije administrativni dodatak**, već **dizajnerski alat** koji omogućuje mjerljivost, odgovornost i dugoročnu održivost projekata. S obzirom na sve veću tržišnu vrijednost održivih objekata, ali i zakonske regulative koje se usklađuju s ciljevima Zelenog plana i ESG načelima, uključivanje relevantnih certifikata treba biti **sastavni dio arhitektonske i projektantske metodologije**.

Regulatorni okviri i zakonski uvjeti

(BiH, Hrvatska, Crna Gora – fokus na BiH)

1. Opći pregled

Modularna bio-arhitektura, kao suvremeni pristup gradnji koji spaja prefabrikaciju, održive materijale i pasivni dizajn, još uvijek nije u potpunosti prepoznata kao posebna kategorija u zakonodavstvima zemalja jugoistočne Europe. Regulatorni izazovi proizlaze iz činjenice da pravni sustavi većinom još uvijek **ne prepoznaju fleksibilne, reverzibilne i mobilne objekte** kao ravnopravne trajnim građevinama. Ovo se posebno odnosi na zakonski okvir Bosne i Hercegovine, dok Hrvatska i Crna Gora već pokazuju inicijalne korake u usklađivanju s EU direktivama u području zelene gradnje.

2. BOSNA I HERCEGOVINA – Glavni izazovi i normativna ograničenja

2.1. Fragmentiranost zakonodavstva

Bosna i Hercegovina ima izrazito **decentraliziran i složen pravni sustav** s 14 zakonodavnih razina u sektoru prostornog uređenja i građenja: dva entiteta (FBiH i RS), Brčko Distrikt te kantoni u FBiH. To dovodi do **neujednačenosti propisa, procedura i tumačenja** u vezi s kategorizacijom modularnih i montažnih objekata.

2.2. Zakonski status modularne gradnje

U većini slučajeva, **modularne i montažne strukture** tretiraju se kao **privremeni objekti**, što značajno ograničava njihovu primjenu u stambenom i institucionalnom kontekstu. Prema postojećim zakonima, čak i ekološki napredni objekti izrađeni od prirodnih materijala i prefabrikacija zahtijevaju **klasične dozvole i infrastrukturne priključke**, kao i trajne temelje.

Relevantni zakoni i pravilnici:

- **Zakon o prostornom uređenju i građenju FBiH (2013.)**
- **Zakon o uređenju prostora i građenju RS (2013.)**

- **Zakon o građenju BD BiH (2008.)**
- Podzakonski akti: tehnički propisi o toplinskoj zaštiti, seizmičkoj otpornosti, zaštiti od požara

2.3. Problemi kod klasifikacije i dozvola

Modularni objekti koji su demontažni i mobilni često ne zadovoljavaju uvjete za **građevinsku dozvolu** jer:

- Nisu tretirani kao „objekti trajne namjene”
- Ne postoji kategorizacija za „privremeno trajne modularne strukture”
- Prefabrikacija i montaža nisu definirane kao metode s prednostima u zakonima o gradnji

2.4. Potencijalna rješenja i preporuke

✓ Uvođenje **nove kategorije objekata**: „ekološko-montažne jedinice” s reverzibilnim temeljima

✓ Izrada **smjernica za bioarhitekturu** u sklopu entitetskih i kantonalnih ministarstava

✓ Prilagodba lokalnih pravilnika postojećim EU standardima (EPBD, nZEB)

✓ Razvoj **pilot-projekata modularne gradnje** u suradnji s jedinicama lokalne samouprave

✓ Jačanje institucionalnog kapaciteta za evaluaciju novih materijala i konstrukcijskih metoda (npr. slama, glina, CLT)

3. HRVATSKA – EU usklađenost i postupna integracija održive gradnje

3.1. Status zakonodavstva

Hrvatska je kroz svoj **Zakon o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19, 133/20, 65/22)** te **Zakon o prostornom uređenju**, već implementirala osnovne direktive EU (EPBD, CPR, RED) te uvela pojam **zgrada gotovo nulte energije (nZEB)**.

Modularna gradnja u Hrvatskoj nije zasebno definirana u zakonima, ali je:

- Dozvoljena kao **standardni građevinski postupak** ako se koristi trajni temelj
- Priznata u projektnoj dokumentaciji kroz **izvedbene nacрте prefabrikacije**
- Regulirana Pravilnicima o toplinskoj zaštiti, otpornosti na potres i otpornosti na požar

3.2. Izazovi:

- Kategorizacija mobilnih jedinica (npr. modularne jedinice koje se ne sidre u temelje)
- Nedostatak procedura za certificiranje netradicionalnih prirodnih materijala

3.3. Prednosti:

- Postoje financijski instrumenti (FZOEU) za zelene projekte
- Neki gradovi (npr. Rijeka, Zagreb) već imaju urbanističke planove koji uključuju modularne tipologije

4. CRNA GORA – U fazi harmonizacije s EU zakonodavstvom

4.1. Status zakonodavstva

Zakonski okvir još je u **procesu harmonizacije s EU direktivama**. Relevantni propisi:

- **Zakon o planiranju prostora i izgradnji objekata (2020.)**
- Pravilnici o energetske učinkovitosti i tehničkim normama su u tranziciji

4.2. Izazovi:

- Niska institucionalna spremnost za evaluaciju alternativnih materijala
- Modularna gradnja nije eksplicitno navedena u zakonima

4.3. Prednosti:

- Velik interes lokalnih samouprava za brze, montažne objekte (npr. škole, ambulante)
- Priprema nacionalne strategije energetske učinkovitosti do 2030.

5. Zaključak: Preporuke za djelovanje u BiH (primarni fokus)

1. **Zakonodavni iskorak:** Uvesti posebnu podkategoriju u zakonima – npr. *reverzibilne modularne jedinice s niskim utjecajem na okoliš*

- Upute za primjenu prirodnih materijala:** Izraditi tehničke smjernice za građevinske dozvole koje uključuju slamu, glinu, drvo
- Certifikacija i validacija:** Uspostaviti laboratorijsku i terensku validaciju alternativnih sustava unutar nadležnih instituta (npr. IPSA, ETF Sarajevo, GIT Mostar)
- Pilot projekti u partnerstvu s općinama:** Modul za turizam, edukaciju, zdravstvo – uz smjernice koje mogu postati nacionalni primjer dobre prakse
- Prekogranična suradnja:** Iskoristiti hrvatska iskustva i EU projekte kao model za zakonodavnu modernizaciju

Proširena matrica – dodatni kriteriji za modularnu bio-arhitekturu (BiH, Hrvatska, Crna Gora)

| Dodatni kriterij | Bosna i Hercegovina | Hrvatska | Crna Gora |
|---|---|--|--|
| Trajanje dozvola za privremene objekte | Maksimalno 3 godine (u praksi često ograničeno na privremene sajamske, kontejnerske ili tipske montaže) | Dozvole moguće i na duži rok uz uvjet urbanističke usklađenosti | Ograničeno – potrebno definirati podzakonski akt za trajanje privremenih objekata |
| Specifični pravilnici za obnovljive izvore energije | Ne postoje posebni pravilnici za modularne objekte; integracija OIE nije standardizirana | Postoje pravilnici (npr. pravilnik o OIE u zgradama, FZOEU smjernice) | U pripremi – dio nove strategije za energetske učinkovitost |
| Pristup električnoj i vodovodnoj infrastrukturi za modularne objekte | Infrastrukturni priključci zahtijevaju istu proceduru kao klasična gradnja, što predstavlja prepreku | Pojednostavljena procedura za objekte s ograničenom infrastrukturom | U razvoju – postoji prostor za pojednostavljenje za off-grid sustave |
| Mogućnost prijave na zelene fondove | Vrlo ograničeno, projekti se moraju kvalificirati kao klasične zgrade | Moguće (FZOEU, EU fondovi) uz obvezno praćenje standarda nZEB i EPBD direktiva | Potencijal kroz IPA projekte i nacionalni fond za klimatske promjene |
| Urbanistička suglasnost za montažne jedinice | Rijetko se izdaje, ne postoji jasna metodologija kategorizacije | Omogućena unutar detaljnih urbanističkih planova ili izmjenama GUP-a | Moguća unutar urbanističkih zona pod uvjetom dodatnog odobrenja lokalne samouprave |

Prijedlozi preporuka zakonodavnim tijelima u BiH (strateški, zakonodavni, operativni)

A. STRATEŠKA RAZINA

- Uvođenje nacionalne strategije zelene arhitekture i modularnog stanovanja,** uključujući planove za otpornost na klimatske promjene i prostornu decentralizaciju.
- Povezivanje modularne bioarhitekture s ruralnim razvojem,** turizmom i obnovom sela – kroz javne investicije, eko-sela i pilot-zajednice.

B. ZAKONODAVNA RAZINA

- Izmjena entitetskih zakona o građenju** kako bi se:
 - uvela nova kategorija objekata: *reverzibilne modularne jedinice*,
 - omogućilo izdavanje dozvola za objekte koji nisu trajno vezani za tlo.

2. **Uvođenje pravilnika o prirodnim građevinskim materijalima**, u suradnji sa stručnim institucijama i sveučilištima.
3. **Priznavanje prefabrikacije i montažnih tehnologija** u dokumentaciji kao jednakovrijedne klasičnoj gradnji, uključujući izradu tehničkih normativa za njihovu implementaciju.

C. OPERATIVNA RAZINA

1. **Edukacija općinskih službenika** o modularnoj i bioarhitekturi – radionice, smjernice i digitalni alati za ocjenu projekata.
2. **Osnivanje pilot-programa** u suradnji s fakultetima, općinama i donatorima (UNDP, GIZ, EU IPA) za izgradnju:
 - modularnih škola,
 - mobilnih zdravstvenih punktova,
 - ruralnih eko-kuća.
3. **Uspostava nacionalne baze materijala i dobavljača za bioarhitektonske projekte**, koja bi sadržavala:
 - tehničke karakteristike,
 - LCA analize,
 - certifikate sigurnosti i zdravlja.

Radni prijedlog: Smjernice za regulaciju i poticanje modularne bio-arhitekture u Bosni i Hercegovini

1. Opći cilj smjernica

Omogućiti zakonitu, sigurnu i održivu primjenu modularne i bioarhitektonske gradnje na prostoru Federacije Bosne i Hercegovine, Republike Srpske i Brčko Distrikta, kroz:

- definiciju nove kategorije modularnih objekata,
- regulaciju prirodnih građevinskih materijala,
- pojednostavljenje postupaka izdavanja dozvola,
- razvoj poticajnih mehanizama za inovativne i nisko-ugljične pristupe građenju.

2. Predložena definicija

Modularna bioarhitektura označava oblik gradnje temeljen na prefabriciranim, reverzibilnim i energetski učinkovitim komponentama, izrađenim od prirodnih i/ili recikliranih materijala, čija se izvedba temelji na principima zdravlja korisnika, niskog ekološkog otiska i lokalne prilagodbe.

3. Predlaže se uvođenje sljedećih kategorija objekata:

| Naziv kategorije | Kratki opis |
|---|---|
| Modularni objekt s trajnim temeljima | Prefabrikacija s klasičnom infrastrukturom i uporabnom dozvolom |
| Modularni objekt s reverzibilnim temeljima | Sidrenje na čelične pilote, mogućnost demontaže, vremenski ograničena dozvola |
| Mobilna jedinica za sezonsku ili pilot upotrebu | Privremeni objekt (npr. edukacija, turizam, zdravstvo) u trajanju do 5 godina |

4. Prijedlog normativnih mjera:

4.1. Građevinska i urbanistička regulacija

- Izmijeniti zakone i pravilnike kako bi se **modularni objekti priznali kao punopravne građevine** u planovima prostornog uređenja.
- Propisati mogućnost **vremenski ograničenih dozvola** za reverzibilne i mobilne jedinice.

- Uvesti **obaveznu BIM dokumentaciju** za modularne objekte radi transparentnosti i sigurnosti.

4.2. Materijalni i tehnički standardi

- Uspostaviti **Registar prirodnih građevinskih materijala** (slama, glina, konoplja, drvo), uz minimalne tehničke zahtjeve:
 - mehanička otpornost,
 - požarna otpornost,
 - otpornost na vlagu i plijesan,
 - difuzna otvorenost.
- Priznati **alternativne norme (npr. Earth Building Standards – New Zealand, DIN 18945–47)** dok se ne razviju lokalni pravilnici.

4.3. Zdravstveni i energetska standardi

- Za sve modularne objekte propisati minimalne uvjete:
 - Kvaliteta zraka (CO₂, VOC, PM)
 - Energetska učinkovitost sukladna nZEB normama
 - Pasivni sustavi ventilacije i grijanja gdje god je moguće

5. Preporuke za poticajnu politiku

5.1. Subvencije i fondovi

- Pokretanje **pilot-programa potpora** za modularne bioarhitektonske objekte u kategorijama:
 - eko-ruralni turizam,
 - mobilne škole / vrtići / kulturni centri,
 - javne eko-kuhinje i sanitarni čvorovi.
- Uspostaviti **zeleni registar modularnih proizvođača i dizajnera**.

5.2. Obrazovanje i osposobljavanje

- Pokretanje **stručnih edukacija za inženjere, nadzorne organe i lokalne službenike** o modularnoj gradnji i prirodnim materijalima.
- Uključiti teme **bioarhitekture i prefabrikacije u kurikulume tehničkih škola i fakulteta**.

6. Uloga lokalne samouprave

- Uključiti modularnu gradnju u **detaljne planove uređenja** i GUP-ove.
- Omogućiti **brže postupke odobravanja** za montažne jedinice koje ispunjavaju ekološke kriterije.
- Izraditi **tematske planove za naselja s niskim ugljičnim otiskom**, uključujući pilot-područja.

7. Preporučeni prvi koraci

| Aktivnost | Nositelj | Rok |
|---|----------------------------|------------|
| Osnivanje stručne radne skupine za normiranje | Ministarstva entiteta i BD | 3 mjeseca |
| Izrada Registra bio-materijala | Institut za građevinarstvo | 6 mjeseci |
| Donošenje Pravilnika o modularnim objektima | Entitetska ministarstva | 9 mjeseci |
| Pilot-projekt eko-modula u ruralnoj zajednici | U suradnji s UNDP-om | 12 mjeseci |

Zaključak

S obzirom na sve izraženiju potrebu za održivim, dostupnim i tehnološki fleksibilnim građevinskim rješenjima, predložene smjernice pružaju jasan pravni i tehnički okvir za razvoj **modularne bio-arhitekture u Bosni i Hercegovini**. Cilj je stvoriti normirani, ali otvoreni prostor za inovacije, koji će uključiti lokalnu industriju, struku i zajednice u gradnju otpornu na buduće ekološke i društvene izazove.

Preporučena literatura i alati

1. Modularna arhitektura i prefabrikacija

1. Kieran, S., Timberlake, J. – *Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies Are Poised to Transform Building Construction*
2. Smith, R. – *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*
3. Gibb, A.G.F. – *Off-site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*
4. Herbers, J. – *PreFab Green*
5. Moe, K. – *Integrated Design in Contemporary Architecture*
6. Schumacher, P. – *The Autopoiesis of Architecture: A New Framework for Architecture (Volume I & II)*

2. Bioarhitektura i prirodni materijali

7. Kennedy, J. et al. – *The Art of Natural Building*
8. Steen, B., Steen, A. – *Built by Hand: Vernacular Buildings Around the World*
9. Chiras, D. – *The Natural House: A Complete Guide to Healthy, Energy-Efficient, Environmental Homes*
10. Gernot Minke – *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*
11. Bouchain, P. – *Construire ensemble: Le grand ensemble*
12. Haupt, P. – *Low-Tech Building: Construction Manual for Cultural Sustainability*

3. Bioklimatski i pasivni dizajn

13. Olgyay, V. – *Design with Climate*
14. Yeang, K. – *EcoDesign: A Manual for Ecological Design*
15. Dunster, B. – *ZEDlife: Towards Zero (Fossil) Energy Development*
16. Mazria, E. – *The Passive Solar Energy Book*
17. Koenigsberger, O.H. – *Manual of Tropical Housing and Building*
18. Szokolay, S.V. – *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*

4. Energetska učinkovitost i održiva gradnja

19. Kibert, C.J. – *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*
20. Hall, M., Lindsay, R., Krayenhoff, M. – *Sustainable Building: Design Manual*
21. Hegger, M., Fuchs, M. – *Energy Manual: Sustainable Architecture*
22. Van der Ryn, S., Cowan, S. – *Ecological Design*

5. Participativni dizajn i društvena održivost

23. Sanoff, H. – *Community Participation Methods in Design and Planning*
24. Till, J. – *Architecture Depends*
25. Alexander, C. – *The Pattern Language*
26. Giancarlo De Carlo – *Architecture's Public*

6. Biophilic design i dizajn interijera

27. Kellert, S.R., Heerwagen, J., Mador, M. – *Biophilic Design: The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life*
28. Browning, W. D., Ryan, C.O. – *Nature Inside: A Biophilic Design Guide*
29. Huelat, B. J. – *Healing Environments: Design for the Body, Mind & Spirit*

7. Europske i regionalne smjernice

30. EU Publications Office – *Level(s): A Common EU Framework of Core Sustainability Indicators*
31. UNEP – *Sustainable Building and Construction: Facts and Figures*

Preporučeni digitalni alati i platforme

1. Digitalno projektiranje i BIM alati

1. **Autodesk Revit** – za BIM modeliranje i integraciju sustava
2. **ArchiCAD** – specijalizirani BIM alat za arhitekte
3. **Vectorworks Architect** – BIM i CAD rješenje s fokusom na vizualnost
4. **SketchUp Pro + Sefaira** – modeliranje s analizom energije i svjetlosti
5. **Rhinoceros + Grasshopper** – parametrizirano projektiranje
6. **Dynamo (Revit plugin)** – vizualno programiranje u BIM okruženju
7. **BricsCAD BIM** – alternativa za detaljno projektiranje i modularne komponente
8. **Edificius** – sve-u-jednom BIM softver za arhitekturu i MEP

2. Energetska i okolišna analiza

9. **DesignBuilder** – analiza toplinskih tokova, osvjetljenja i CO₂ emisija
10. **PHPP (Passive House Planning Package)** – alat za nZEB projektiranje
11. **IES VE** – napredna simulacija okolišnih performansi
12. **Ladybug Tools (za Rhino/Grasshopper)** – analiza mikroklima, insolacije i ventilacije
13. **Climate Consultant** – energetska dizajn na temelju lokalnih podataka
14. **THERM** – analiza toplinskih mostova
15. **OpenStudio + EnergyPlus** – energetska simulacija s otvorenim kodom
16. **HEED** – dizajn energetska učinkovitih domova

3. Participacija, kolaboracija i menadžment

17. **Miro** – platforma za participativno planiranje i suradnju u realnom vremenu
18. **Trello / Asana / Notion** – projektni menadžment za multidisciplinarne timove
19. **BIMcollab** – upravljanje kolaboracijom i komentarima unutar BIM modela
20. **Enscape / Twinmotion** – alati za brzu vizualizaciju i komunikaciju s korisnicima
21. **PlanRadar** – upravljanje gradilištem, dokumentacijom i izvođačima

4. Regulatorni i tehnički alati

22. **EPB software** (lokalni alati za energetska certifikat u BiH i HR)
23. **LEED Online / BREEAM Projects** – platforme za certifikaciju zgrada
24. **Green Building Studio** – simulacija potrošnje energije i emisija

Kombinacija znanstveno-stručne literature i digitalnih alata omogućuje arhitektima, inženjerima i dizajnerima da modularnu bioarhitekturu razvijaju **sustavno, interdisciplinarno i u skladu s globalnim standardima**. Preporuča se kontinuirano praćenje novih izdanja i open-source rješenja jer se područje brzo razvija – osobito u kontekstu europske Zelenog plana i digitalne transformacije građevinskog sektora.

Ovaj vodič istražuje temeljna načela i prakse holističkog pristupa oblikovanju interijera i eksterijera. Cilj je pružiti razumijevanje načina na koji prostor utječe na zdravlje, emocije, ponašanje i okoliš, te pokazati kako se kroz dizajn može potaknuti održivost, ravnoteža i dobrobit korisnika. Svaka tema obrađena je kroz poveznicu između funkcionalnih, osjetilnih, emocionalnih i ekoloških aspekata, uz konkretne smjernice za implementaciju u praksi.

Priručnik je nastao u okviru projekta „BioDesign Connect“ sufinanciranog iz INTERREG IPA Croatia – Bosnia and Herzegovina – Montenegro tijekom 2025. godine.

The "BioDesign Connect" project focuses on advancing sustainable practices in bio-architecture and holistic interior design in Bosnia and Herzegovina. A common challenge in this region is the lack of sustainable building solutions and eco-friendly design practices, despite the growing demand for solutions that reduce environmental impact and improve quality of life. Additionally, the region lacks sufficient professional connectivity and resources for sustainable architectural practices. The project aims to empower professionals through education and capacity building, promoting broader adoption of sustainable practices.

Projekt „BioDesign Connect“ usmjeren je na unaprjeđenje održivih praksi u bioarhitekturi i holističkom dizajnu interijera u Bosni i Hercegovini. Uobičajen izazov u ovoj regiji je **nedostatak održivih građevinskih rješenja i ekološki prihvatljivih dizajnerskih praksi**, unatoč sve većoj potražnji za rješenjima koja smanjuju negativan utjecaj na okoliš i poboljšavaju kvalitetu života. Osim toga, u regiji nedostaje **dovoljna profesionalna povezanost i dostupni resursi** za provedbu održive arhitekture. Cilj projekta je **osnažiti stručnjake kroz edukaciju i razvoj kapaciteta**, potičući širu primjenu održivih praksi.

Interreg



Co-funded by
the European Union

IPA Croatia – Bosnia and
Herzegovina – Montenegro

EmBRACE