

Interreg



Co-funded by
the European Union

IPA Croatia – Bosnia and
Herzegovina – Montenegro

EmBRACE

PRIRUČNIK

DIZAJN ZELENE ZGRADE I ENERGETSKA UČINKOVITOST

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 (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. sufinansira 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. sufinansira 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 evaluiraju 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

Ovaj stručni priručnik izrađen je u okviru projekta *BioDesign Connect*, sufinanciranog iz programa *Interreg IPA Hrvatska – Bosna i Hercegovina – Crna Gora, EmBRACE 2021.–2027.*, s ciljem jačanja znanja o održivoj gradnji, bioarhitekturi i energetske učinkovitosti među arhitektima, dizajnerima i poduzetnicima. Dokument donosi sistematiziran i praktično primjenjiv pregled načela i smjernica za projektiranje energetski učinkovitih zgrada koje ujedno zadovoljavaju kriterije održivosti i dobrobiti korisnika.

Priručnik je strukturiran u četiri glavna poglavlja. U uvodnom dijelu definira se pojam *zelene zgrade*, ističu se razlike između tradicionalne i održive arhitekture te objašnjava važnost integriranog projektiranja koje u središte stavlja korisnika, okoliš i energetske učinkovitost. Naglašava se kako zelena gradnja nije trend, već nužnost u kontekstu klimatskih promjena, resursne učinkovitosti i sve većih regulatornih zahtjeva.

Drugo poglavlje bavi se *energetskom učinkovitošću* u kontekstu dizajna zgrade. Detaljno su obrađene teme kao što su: pasivni solarni dizajn, toplinska izolacija, optimizacija orijentacije i osunčanosti, ventilacija, kao i izbor materijala s niskim utjecajem na okoliš. Obrađeni su i tehnički elementi energetski učinkovitih sustava (npr. grijanje, hlađenje, rasvjeta), kao i mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije.

Treće poglavlje posvećeno je *standardima i certifikacijama* zelene gradnje – poput LEED, BREEAM, DGNB i EDGE – s posebnim osvrtom na njihove kriterije, koristi i izazove u implementaciji na prostoru Jadransko-jonske regije. Ovaj dio služi kao orijentir arhitektima i investitorima koji žele standardizirano pristupiti održivoj gradnji te time povećati tržišnu vrijednost svojih projekata i doprinijeti ciljevima klimatske neutralnosti. Završno poglavlje donosi *primjere dobre prakse* i prijedloge za integraciju principa iz priručnika u svakodnevnu arhitektonsku praksu. Prikazani su konkretni koraci za planiranje energetski učinkovite zgrade, alati za procjenu performansi i prijedlozi za suradnju s drugim strukama unutar interdisciplinarnog pristupa.

Priručnik je namijenjen širokom spektru korisnika – od arhitekata, građevinara i dizajnera interijera do edukatora, javnih institucija i malih poduzetnika koji djeluju u sektoru održive gradnje. Njegova vrijednost leži u jasnoći, sistematičnosti i relevantnosti sadržaja, uz snažan fokus na kontekst regije i potrebe njezinih profesionalaca. Korištenjem ovog priručnika, korisnici stječu temelj za primjenu energetski učinkovitih rješenja u skladu s principima zelene arhitekture.

Document Summary

This professional handbook was developed within the *BioDesign Connect* project, co-financed by the *Interreg IPA Cross-border Cooperation Programme Croatia – Bosnia and Herzegovina – Montenegro, EmBRACE 2021–2027*. Its aim is to strengthen knowledge of sustainable construction, bio-architecture, and energy efficiency among architects, designers, and entrepreneurs. The document provides a systematic and practically applicable overview of principles and guidelines for designing energy-efficient buildings that also meet sustainability and user well-being criteria.

The handbook is structured into four main chapters. The introductory section defines the concept of *green buildings*, highlights the differences between traditional and sustainable architecture, and explains the importance of integrated design, which places the user, the environment, and energy efficiency at its core. It emphasizes that green building is not a

trend but a necessity in the context of climate change, resource efficiency, and increasing regulatory demands.

The second chapter addresses *energy efficiency* in building design. Topics covered in detail include passive solar design, thermal insulation, optimization of orientation and sunlight exposure, ventilation, and the selection of materials with low environmental impact. Technical components of energy-efficient systems (e.g. heating, cooling, lighting) are explained, along with possibilities for using renewable energy sources.

The third chapter focuses on *green building standards and certifications* – such as LEED, BREEAM, DGNB, and EDGE – with a special overview of their criteria, benefits, and implementation challenges in the Adriatic-Ionian region. This section serves as a guide for architects and investors who want to adopt a standardized approach to sustainable construction, increasing the market value of their projects and contributing to climate neutrality goals.

The final chapter presents *good practice examples* and proposals for integrating the handbook's principles into everyday architectural work. It outlines concrete steps for planning an energy-efficient building, tools for performance evaluation, and suggestions for interdisciplinary collaboration.

The handbook is intended for a wide range of users – from architects, builders, and interior designers to educators, public institutions, and small entrepreneurs active in the sustainable construction sector. Its value lies in its clarity, structured content, and relevance, with a strong focus on the regional context and the needs of local professionals. By using this handbook, users gain a solid foundation for implementing energy-efficient solutions in line with the principles of green architecture.

UVOD.....	9
Kome je priručnik namijenjen?.....	10
Povezanost sa zakonodavstvom i direktivama (npr. EPBD, EU Taxonomy, nZEB)	12
1. OSNOVE ZELENE ARHITEKTURE	15
1.1 Definicije: zelena zgrada, održiva arhitektura, nZEB	15
1.2 Povijesni razvoj i suvremeni kontekst	17
1.3 Uloga arhitekta u zelenoj tranziciji	19
1.4 Ciljevi: dekarbonizacija, zdravlje, dugovječnost, otpornost	21
1.5 Energetski koncepti: primarna, isporučena, korisna i obnovljiva energija	23
2. KONCEPTUALNI PRISTUP PROJEKTIRANJU ZELENE ZGRADE	27
2.1 Integrirani projektantski pristup (IPA)	27
2.2 Rano pozicioniranje održivosti u projektnom ciklusu	29
2.3 Arhitektonske strategije energetske učinkovitosti u ranim fazama	32
2.4 Modeliranje performansi zgrade u konceptualnoj fazi.....	34
2.5 Projektiranje prema životnom ciklusu (LCA, LCC)	36
2.6 Određivanje projektnih prioriteta i donošenje odluka u zelenom dizajnu	39
3. PASIVNI DIZAJN I OPTIMIZACIJA OBLIKOVNIH PARAMETARA.....	42
3.1 Orijentacija i oblik zgrade.....	42
3.2 Kompaktnost i omjer ovojnice i volumena (A/V)	44
3.3 Toplinska masa i akumulacija.....	46
3.3 Zeleni krovovi i fasade.....	49
3.4 Termička ovojnica i izračun U-vrijednosti.....	52
3.5 Dnevna svjetlost i prirodna ventilacija	55
3.6 Strategije zasjenjenja i zaštite od pregrijavanja	57
4. AKTIVNI SUSTAVI I TEHNOLOGIJE	60
4.1 Grijanje, hlađenje i ventilacija	60
4.2 Rekuperacija topline.....	62
4.3 Rasvjetni sustavi s upravljanjem.....	65
4.4 Automatizacija i pametne zgrade (BMS, IoT)	67
4.5 Ugradnja obnovljivih izvora energije (fotonaponski, solarni termalni, dizalice topline, biomasa).....	70
4.6 Integracija energetske sustava i skladištenje energije(baterije, termalna pohrana)	72
5. ODRŽIVO GOSPODARENJE VODOM I OTPADOM.....	76
5.1 Prikupljanje i ponovna upotreba kišnice	76
5.2 Sive i crne vode – reciklaža i filtracija.....	78
5.3 Kompostiranje i recikliranje na razini zgrade	81
5.4 Uloga zelenih površina i infiltracije vode	83
6. MJERENJE, CERTIFIKACIJA I VALIDACIJA	86
6.1 Energetska evaluacija zgrade (PHPP, HERS, nacionalni alati)	86
6.2 BIM i simulacije energetske učinkovitosti (npr. DesignBuilder, EnergyPlus)	88
6.3 Certifikacijski sustavi: LEED, BREEAM, DGNB, WELL, HQE, ZelEn	90
6.4 Prikupljanje podataka tijekom korištenja zgrade (POE – Post-Occupancy Evaluation).....	94
6.5 Zakonodavni minimum i ciljevi iznad zakonskog minimuma	96

7. EKONOMIJA I INVESTICIJSKA ODRŽIVOST	100
7.1 Analiza troškova i koristi (LCC Life Cycle Costing)	100
7.2 Povrat investicije (ROI) u zelenoj gradnji	102
7.3 Financijski instrumenti i poticaji (nacionalni i EU)	104
7.4 Green Building kao tržišna prednost	107
7.5 Dugoročna otpornost i fleksibilnost zgrade.....	109
8. STUDIJE SLUČAJA	112
8.1 Europski primjeri nZEB i pasivnih kuća	112
8.2 Usporedna analiza konvencionalne i zelene zgrade.....	114
8.3 Naučene lekcije iz prakse.....	116
ZAKLJUČAK	119
Integracija principa u svakodnevni rad arhitekta.....	119
Potreba za edukacijom i razmjenom znanja	121
Uloga arhitekta u globalnoj dekarbonizaciji.....	123
Poziv na interdisciplinarnost i dugoročno planiranje	125
Popis literature	Error! Bookmark not defined.
Digitalni alati i softveri u održivoj arhitekturi i zelenoj gradnji	130

U kontekstu globalnih klimatskih izazova, iscrpljivanja prirodnih resursa te sve veće potrebe za stvaranjem održivih i otpornijih izgrađenih prostora, uloga arhitekata i drugih sudionika u građevinskom sektoru dobiva novu razinu odgovornosti. Priručnik koji je pred vama razvijen je s ciljem pružanja sveobuhvatnog, stručno utemeljenog i praktično primjenjivog znanja o dizajnu zelene zgrade i energetske učinkovitosti, posebno namijenjenog arhitektima kao ključnim akterima u procesu oblikovanja prostora. S obzirom na sve veću kompleksnost arhitektonskog projektiranja, ali i nužnost integracije ekoloških, tehničkih, ekonomskih i društvenih aspekata u svaku fazu nastanka građevine, ovaj priručnik osmišljen je kao edukativni i operativni alat koji arhitektima može poslužiti kako u fazi koncipiranja idejnog rješenja, tako i u kasnijim fazama razrade glavnog i izvedbenog projekta.

Primarna svrha priručnika je omogućiti arhitektima sustavno razumijevanje principa održivog projektiranja, s naglaskom na zelenu gradnju kao interdisciplinarni pristup koji obuhvaća energetske strategije, bioklimatski dizajn, korištenje obnovljivih izvora, inteligentne sustave upravljanja, zdravu unutarnju mikroklimu, racionalno korištenje materijala i vode, kao i estetsko i funkcionalno usklađivanje s prirodnim i društvenim okolišem. Uz teorijsku podlogu, priručnik donosi i konkretne smjernice, mjerljive pokazatelje te razrađene metode vrednovanja energetske učinkovitosti i okolišne prihvatljivosti građevina. Također, uključuje aktualne zakonodavne zahtjeve i regulative, europske i nacionalne strateške dokumente, tehničke norme te primjere dobre prakse iz Hrvatske i inozemstva, čime se postiže povezanost između znanstvenih uvida, tehnoloških inovacija i profesionalne prakse.

Osnovni cilj priručnika jest potaknuti arhitekta da sustavno integriraju principe održivosti u sve faze projektiranja, ne kao dodatne ili sporedne zahtjeve, već kao temeljni okvir koji generira vrijednost – ekološku, društvenu, zdravstvenu i ekonomsku. U tom smislu, priručnik ne nudi gotove recepte, već razvija razumijevanje konteksta, metoda i alata koji omogućuju donošenje projektantskih odluka u skladu s najvišim standardima energetske učinkovitosti i zelene gradnje. Takav pristup potiče kreativnost i inovaciju unutar struke, ali istovremeno nameće odgovornost u odnosu na širi društveni i okolišni učinak izgrađenog prostora.

Jedan od ključnih ciljeva ovog priručnika je prepoznati arhitekta kao integratora – osobu koja ne djeluje izolirano u okviru svoje discipline, već aktivno surađuje s inženjerima strojarstva, elektrotehnike, građevinarima, krajobraznim arhitektima, stručnjacima za energetske učinkovitost i održivost, sociolozima i investitorima. Integrirani pristup projektiranju (Integrated Design Process – IDP) zauzima središnje mjesto u ovom priručniku, jer omogućuje donošenje informiranih odluka od najranijih faza razvoja projekta, čime se izbjegava potreba za naknadnim korekcijama, smanjuju troškovi i osigurava postizanje željenih performansi zgrade. Kroz pregled metodologija kao što su LCA (analiza životnog ciklusa), LCC (analiza troškova tijekom životnog vijeka) i POE (evaluacija zgrade nakon useljenja), priručnik potiče arhitekta da razmišljaju dugoročno, sustavno i podatkovno utemeljeno.

S obzirom na sve strože zahtjeve zakonodavnog okvira – uključujući Direktivu o energetske svojstvima zgrada (EPBD), smjernice Green Deal-a, ciljeve Europske unije za 2030. i 2050. godinu te nacionalne standarde za gotovo nultu potrošnju energije (nZEB) – nužno je da arhitekti raspolažu znanjima i alatima koji im omogućuju ispunjavanje tih kriterija bez narušavanja kvalitete prostornog izraza, funkcionalnosti i estetske vrijednosti. Priručnik u tom kontekstu omogućava razumijevanje zakonskih obveza, ali i otvara prostor za nadstandardnu praksu i inovaciju, potičući arhitekta da budu lideri promjene, a ne samo izvršitelji regulative.

U edukativnom smislu, cilj je osnažiti kapacitete arhitekata za samostalno evaluiranje različitih projektantskih odluka u pogledu njihove energetske učinkovitosti i okolišnog otiska, kroz praktične primjere, analize slučajeva, komparativne tablice i smjernice za simulacije. Uz to, važan cilj je olakšati komunikaciju s investitorima, javnom upravom i krajnjim korisnicima, jer arhitekt u kontekstu zelene gradnje postaje i edukator, savjetnik i koordinator između struke, tržišta i društva.

Posebno važan cilj priručnika je potaknuti razvoj kritičkog mišljenja o pojmovima koji se često koriste bez dubljeg razumijevanja – poput "zelena gradnja", "održivost", "energetska učinkovitost", "pametna zgrada", "nZEB" – i dati arhitektima alate da prepoznaju razliku između stvarno održivih rješenja i tzv. greenwashinga. U tom smislu, priručnik promovira transparentnost, etičku odgovornost i stručno utemeljen dizajn koji nadilazi formalne ili površne interpretacije održivosti.

Ciljano je obrađena i uloga arhitekta u kontekstu promjene klimatskih uvjeta, povećanih rizika od ekstremnih vremenskih pojava, urbanog pregrijavanja, suša, poplava i potreba za energetske neovisnošću. Time se arhitektonska praksa usmjerava prema otpornosti (resilience), prilagodbi (adaptation) i regeneraciji okoliša, čime se dodatno proširuje spektar znanja i odgovornosti koje ovaj priručnik adresira.

Također, priručnik želi doprinijeti standardizaciji terminologije i usklađenosti stručnih alata, kao i boljoj suradnji između arhitektonske struke i ostalih tehničkih grana, kroz jasno definirane pokazatelje, parametre i evaluacijske kriterije. Time se stvara podloga za interdisciplinarni dijalog, ali i za transparentno izvještavanje o učinku zgrada, kako prema korisnicima, tako i prema zakonodavcima i investitorima.

U konačnici, ovaj priručnik nije zamišljen kao zatvoreni dokument, već kao živi alat koji se može nadograđivati, prilagođavati različitim tipologijama zgrada, klimatskim uvjetima i razinama stručnosti. Njegov cilj nije zamijeniti kreativni proces projektiranja, već ga podržati i proširiti alatima koji omogućuju svjesnije, preciznije i odgovornije odluke. Kroz povezanost s aktualnim znanstvenim istraživanjima, razvojem tehnologija i iskustvima iz prakse, priručnik se pozicionira kao pouzdan suputnik svakom arhitektu koji želi svojim radom pridonijeti transformaciji građevinskog sektora u smjeru ekološki, društveno i ekonomski održivog razvoja.

Kome je priručnik namijenjen?

Priručnik „Dizajn zelene zgrade i energetska učinkovitost“ prvenstveno je namijenjen **arhitektima**, kao stručnjacima koji svojim projektantskim odlukama oblikuju ne samo fizičku strukturu prostora, već i njegove energetske, okolišne, društvene i zdravstvene učinke. Arhitekt u suvremenom kontekstu više nije samo autor forme, već i koordinator održivih strategija, analitičar životnog ciklusa zgrade, posrednik između korisničkih potreba i regulatornih zahtjeva te ključna osoba u kreiranju izgrađenog okoliša otpornog

na klimatske izazove. Ovaj priručnik im pruža alate, metode i smjernice kako bi sve te složene zadatke mogli obavljati uz veću razinu tehničke, zakonske i strateške informiranosti.

Međutim, iako je primarno pisan za **licencirane arhitekta** koji aktivno sudjeluju u procesu projektiranja i dokumentacije, sadržaj priručnika prilagođen je i široj skupini stručnjaka koji djeluju u interdisciplinarnim timovima. U tom smislu, priručnik je jednako relevantan za:

- **Arhitektonske biroe i projektne urede**, bez obzira na veličinu i specijalizaciju, bilo da se bave stambenim, javnim, industrijskim ili komercijalnim objektima. U kontekstu implementacije zelenih standarda, biroima je potreban strukturiran i pouzdan izvor koji povezuje arhitektonske koncepte s aktualnim zakonskim i tehničkim zahtjevima, omogućuje jasno argumentiranje projektantskih odluka pred investitorima te podržava konkurentnost na tržištu.
- **Mlade arhitekta i pripravnike** koji su još u procesu profesionalne formacije, ali se već susreću s kompleksnim pitanjima održivosti u projektiranju. Priručnik im omogućuje bolje razumijevanje međuodnosa između forme, funkcije i performansi zgrade, a posebno korisno služi kao edukativni alat za pripremu ispita stručne osposobljenosti ili sudjelovanje u interdisciplinarnim radnim grupama na natječajima, studijama i urbanističkim rješenjima.
- **Studenti arhitekture i građevinarstva**, osobito oni koji pohađaju kolegije vezane uz održivu gradnju, pasivnu arhitekturu, energetske učinkovite sustave ili bioklimatski dizajn. Priručnik se može koristiti kao dopunski nastavni materijal koji produbljuje razumijevanje kroz realne primjere, tehničke crteže, dijagrame i upute za korištenje alata za analizu i simulaciju performansi zgrade. Istovremeno, pruža teorijski okvir koji olakšava integraciju znanja iz različitih područja.
- **Građevinski inženjeri i strojarski projektanti**, koji sudjeluju u razradi detalja tehničkih sustava unutar arhitektonskog koncepta. S obzirom na sve važniju potrebu za koordinacijom između arhitektonskog oblikovanja i izvedbenih karakteristika sustava grijanja, ventilacije, hlađenja, rasvjete i upravljanja energijom, priručnik može poslužiti kao alat za zajedničko razumijevanje projektnih ciljeva, usklađivanje termina i tehničkih rješenja te izbjegavanje naknadnih korekcija u fazi gradnje.
- **Energetski certifikatori, konzultanti za zelenu gradnju i stručnjaci za simulacije**, koji u svakodnevnom radu ocjenjuju, vrednuju i savjetuju o energetske učinkovitosti i održivosti građevinskih projekata. Priručnik im može poslužiti kao referentna baza znanja, posebno u dijelu koji se odnosi na BIM metodologiju, simulacijske alate (npr. PHPP, DesignBuilder, EnergyPlus), izračune potrošnje energije, primjenu standarda nZEB te odabir optimalnih pasivnih i aktivnih sustava u različitim klimatskim kontekstima.
- **Investitori, developeri i upravitelji nekretnima**, osobito oni koji su orijentirani prema dugoročnoj vrijednosti objekta, smanjenju operativnih troškova, postizanju certifikata zelene gradnje i privlačenju ekološki osviještenih korisnika. Iako možda ne barataju tehničkim terminima struke, uz pomoć priručnika mogu razumjeti kriterije prema kojima se formira „zelena dodana vrijednost“ građevine, prepoznati što znači energetske kvalitetan projekt i koje su prednosti održivog pristupa s financijskog, reputacijskog i tržišnog aspekta.

- **Tijela javne uprave, lokalna samouprava i javni naručitelji**, koji sve češće imaju zadatak naručivati, evaluirati i nadzirati projekte koji uključuju komponente održive gradnje, bilo u kontekstu EU sufinanciranja, javnih natječaja ili provedbe planova energetske obnove. Priručnik može poslužiti kao osnova za razumijevanje kriterija koji se primjenjuju pri ocjenjivanju projekata, ali i za razvoj javnih politika koje podupiru nisko-ugljičnu gradnju i prostorno planiranje usmjereno na održivost.
- **Strukovne komore, obrazovne ustanove i istraživačke organizacije**, koje imaju ulogu u razvoju programa stručnog usavršavanja, izradi normi i tehničkih smjernica, popularizaciji znanja i razmjeni iskustava u području održive gradnje. Priručnik može biti integriran u kurikulume, radionice, seminare i webinare, kao i temelj za izradu dodatnih specijaliziranih edukacijskih materijala.
- **Stručnjaci za unutarnje uređenje, krajobrazni arhitekti i dizajneri interijera**, koji doprinose cjelovitosti održivog dizajna kroz integraciju prirodnih materijala, biofilnih elemenata, ergonomskih rješenja i ekološki prihvatljivih proizvoda. Budući da održiva arhitektura ne prestaje na razini fasade, već se proteže u svakom detalju unutarnjeg i vanjskog prostora, razumijevanje sveukupnog koncepta ključan je preduvjet za kvalitetnu suradnju.
- **Poduzetnici u građevinskom sektoru, proizvođači građevinskih materijala i opreme**, koji žele razumjeti potrebe projekatanta i sukladno tome razvijati ili prilagođavati vlastite proizvode i usluge u smjeru održivosti. Priručnik im pomaže prepoznati što čini materijal energetski učinkovitim, kako se procjenjuje okolišni otisak proizvoda te kako ispuniti zahtjeve za uključivanje u održive projekte.

S obzirom na tu široku lepezu ciljnih korisnika, sadržaj priručnika strukturiran je tako da omogući **višerazinsko čitanje** – od temeljne razine (osnovne definicije, zakonski okvir, primjeri) do napredne razine (metodologije analize, alati za simulaciju, konkretne projektantske strategije). Svako poglavlje sadrži jasne pojmovne okvire, ilustracije, skice i dijagrame koji omogućuju vizualno razumijevanje složenih procesa, kao i primjere iz prakse koji demonstriraju kako se teorijska znanja primjenjuju u konkretnim projektima. Na taj način, priručnik odgovara potrebama različitih skupina čitatelja, ali u središtu njegova interesa uvijek ostaje arhitekt – kao autor prostora, kao koordinator tehničkih i održivih zahtjeva, kao tumač složenih međudjelovanja između konstrukcije, tehnologije i okoliša, te kao ključna osoba u tranziciji građevinskog sektora prema dekarbonizaciji, otpornosti i regenerativnom pristupu.

U konačnici, ovaj je priručnik namijenjen svima onima koji prepoznaju da **arhitektura više nije samo pitanje stila, već pitanje odgovornosti**, i koji žele biti dio struke koja aktivno sudjeluje u izgradnji pravednijeg, zdravijeg i održivijeg svijeta. Bilo da je riječ oiskusnim projektantima, mladim stručnjacima na početku karijere ili dionicima iz drugih sektora koji žele razumjeti arhitektonski doprinos održivosti – priručnik im nudi strukturiran, precizan i inspirativan putokaz za djelovanje.

Povezanost sa zakonodavstvom i direktivama (npr. EPBD, EU Taxonomy, nZEB)

Dizajn zelene zgrade i energetska učinkovitost u suvremenom arhitektonskom projektiranju ne predstavljaju više stvar osobne ili tržišne orijentacije projekatanta i investitora, već su postali **zakonski obvezujući okvir** unutar kojeg se odvija većina procesa planiranja, projektiranja, građenja i obnove zgrada u Europskoj uniji. Zakonodavni okvir sve je kompleksniji i sveobuhvatniji te uključuje direktive i uredbe EU,

nacionalne zakone i pravilnike, tehničke propise, kriterije za zelenu taksonomiju i sustave certificiranja. U tom kontekstu, arhitekt mora razumjeti ne samo formalne zahtjeve koje određeni propis postavlja, već i njihovu svrhu, logiku, međusobnu povezanost i implikacije za projektantske odluke.

Direktiva o energetske svojstvima zgrada (EPBD)

Ključni zakonodavni instrument Europske unije koji definira zahtjeve za energetska svojstva zgrada jest **Direktiva 2010/31/EU o energetske svojstvima zgrada (EPBD)**, s izmjenama kroz **Direktivu (EU) 2018/844 te najnovijom revizijom iz 2023. godine**, kojom se još snažnije potiče dekarbonizacija zgrada. Ova direktiva usmjerena je na postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine, a zgrade su prepoznate kao sektor s najvećim potencijalom za smanjenje emisija stakleničkih plinova, s obzirom na to da troše oko 40 % ukupne energije i generiraju 36 % emisija CO₂ u EU.

EPBD propisuje minimalne zahtjeve za energetska svojstva novih i postojećih zgrada, potiče digitalizaciju (npr. korištenje digitalnih putovnica zgrada), definira obvezujuće ciljeve za **zgrade gotovo nulte energije (nZEB)** i uvodi sustave za energetske certifikaciju. Direktiva također obvezuje države članice da razviju **nacionalne dugoročne strategije obnove zgrada**, s ciljem povećanja broja energetski obnovljenih i pametnih zgrada. Arhitekti imaju izravnu ulogu u ispunjavanju tih ciljeva – projektiranjem objekata koji ne samo da zadovoljavaju minimalne zahtjeve, već ih i nadilaze u smjeru pasivnih ili plus-energetskih koncepata.

U hrvatskom kontekstu, EPBD je implementiran kroz **Zakon o gradnji, Zakon o energetske učinkovitosti, Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti u zgradama**, kao i pravilnike koji uređuju energetske certifikiranje i metodologiju izračuna potrošnje energije. Priručnik u tom smislu nudi čitateljima ne samo pregled zakonskih odredbi, već i smjernice kako ih interpretirati i primijeniti u arhitektonskom projektu.

nZEB – Zgrade gotovo nulte energije

Pojam **zgrade gotovo nulte energije (nZEB)** definiran je u EPBD-u kao zgrada s vrlo visokom energetske učinkovitošću, pri čemu vrlo mali potrebni udio energije uglavnom potječe iz obnovljivih izvora, uključujući one koji su proizvedeni na licu mjesta ili u blizini. Od 2021. godine, sve nove zgrade u Europske uniji moraju zadovoljiti nZEB kriterije. Za arhitekta, to znači projektiranje koje ne počiva isključivo na formalnim zahtjevima, već na **holističkom pristupu** – koji objedinjuje pasivne dizajnerske strategije, visokoučinkovite sustave, obnovljive izvore energije, te precizno dimenzioniranje i simulaciju performansi zgrade.

Hrvatski zakonodavni okvir predviđa **specifične tehničke zahtjeve za nZEB zgrade** u skladu s klimatskim zonama (A, B, C), tipologijom zgrada i namjenom. Uvjeti uključuju maksimalne godišnje primarne i isporučene energije, ograničenje specifične toplinske energije za grijanje (QH,nd), kao i zahtjeve za toplinsku zaštitu ovojnice i energetske učinkovitost tehničkih sustava. Arhitekt mora u fazi glavnog projekta osigurati usklađenost sa svim tim parametrima, često u suradnji sa strojarskim i elektroinženjerima, ali uz jasnu svijest o utjecaju oblikovnih odluka na energetske bilancu zgrade.

nZEB nije konačna destinacija, već **prijelazna faza prema zgradama s nultom emisijom**, koje se najavljuju u novoj verziji EPBD-a kao obveza za sve nove zgrade od

2030. (javne već od 2028.). U tom smislu, projektiranje prema nZEB-u nije samo administrativna obveza, već i prilika da arhitekt preuzme leadersku ulogu u tranziciji prema dekarboniziranom građevinskom sektoru.

EU Taxonomy i održivo financiranje

Pored tehničkih propisa, Europska unija sve intenzivnije usmjerava **financijske tokove prema održivim projektima**, kroz mehanizme kao što su **EU Taxonomy Regulation (2020/852)**, **Green Deal**, **Fit for 55**, te **Strategija valova obnove (Renovation Wave)**. U tom kontekstu, arhitektonski projekt nije samo tehnički dokument, već i sredstvo kvalifikacije za zelene investicije, subvencije, porezne olakšice ili ESG bodove.

EU Taksonomija definira **što se smatra ekološki održivom gospodarskom aktivnošću**, uključujući gradnju novih zgrada, obnovu postojećih, proizvodnju građevinskog materijala, upravljanje energijom i sl. Da bi se određeni građevinski projekt smatrao „taksonomski usklađenim“, mora ispunjavati sljedeće uvjete:

1. **Značajno doprinositi jednom od šest okolišnih ciljeva** (npr. ublažavanje klimatskih promjena, prilagodba klimatskim promjenama, kružno gospodarstvo...);
2. **Ne nanositi značajnu štetu ostalim ciljevima (Do No Significant Harm – DNSH);**
3. **Biti usklađen s minimalnim socijalnim zaštitnim mjerama;**
4. **Ispunjavati tehničke kriterije prihvatljivosti (Technical Screening Criteria).**

Za arhitekta to znači potrebu za preciznim dokazivanjem da projekt, primjerice, ima nižu emisiju CO₂ po m² GFA, koristi građevinske materijale s niskim utjecajem na okoliš (prema EPD dokumentaciji), uključuje obnovljive izvore energije i omogućuje visoku energetska učinkovitost. Priručnik čitateljima nudi smjernice kako integrirati te kriterije u projektantsku dokumentaciju, kako pravilno klasificirati građevinske aktivnosti i kako komunicirati ispunjavanje taksonomskih uvjeta prema financijerima, fondovima i tijelima javne vlasti.

Povezanost s drugim EU i nacionalnim dokumentima

Uz EPBD i EU Taksonomiju, projektanti moraju poznavati i niz drugih strateških dokumenata koji utječu na oblikovanje zakonskog i tržišnog konteksta zelene gradnje, uključujući:

- **Europski zeleni plan (European Green Deal)** – koji predviđa klimatsku neutralnost do 2050. godine te postavlja temelje za zakonodavne i financijske instrumente u sektoru gradnje.
- **Paket Fit for 55** – koji uvodi strože standarde za emisije i potrošnju energije, uključujući obveze za energetske renovacije zgrada.
- **Nacionalni energetska i klimatska plan (NEKP)** – koji uključuje ciljeve za sektor zgrada u pogledu energetske obnove i nZEB standarda.
- **Nacionalni plan oporavka i otpornosti (NPOO)** – kao izvor bespovratnih sredstava, pri čemu su gotovo svi pozivi uvjetovani dokazima o energetska učinkovitosti i taksonomskoj usklađenosti.

Za arhitekta, poznavanje ovih dokumenata više nije izborna prednost, već **profesionalna nužnost**, osobito kod javnih natječaja, međunarodnih suradnji i projektiranja većih kompleksa s višestrukim izvorima financiranja. Priručnik u tom kontekstu osigurava sintezu informacija iz različitih izvora i omogućuje njihovu operativnu primjenu u svakodnevnom projektantskom radu.

1. OSNOVE ZELENE ARHITEKTURE

1.1 Definicije: zelena zgrada, održiva arhitektura, nZEB

U suvremenoj arhitekturi i urbanizmu, pojmovi kao što su „zelena zgrada“, „održiva arhitektura“ i „zgrada gotovo nulte energije (nZEB)“ sve se češće koriste kako u stručnoj, tako i u široj javnosti. Ipak, unatoč njihovoj rasprostranjenosti, često dolazi do pojmovnih preklapanja, pojednostavljivanja ili upotrebe bez jasnog razumijevanja njihovih tehničkih i normativnih temelja. Upravo iz tog razloga nužno je precizno definirati značenje tih izraza kako bi se omogućila njihova dosljedna primjena u procesu projektiranja, planiranja, evaluacije i komunikacije arhitektonskih rješenja koja teže ekološkoj, društvenoj i ekonomskoj održivosti.

Zelena zgrada

Pojam *zelena zgrada* odnosi se na građevinu koja je projektirana, izgrađena i upravljana s ciljem **smanjenja negativnog utjecaja na okoliš**, uz istovremeno **povećanje kvalitete života korisnika**, racionalizaciju potrošnje resursa i integraciju u lokalni kontekst. Zelena zgrada uzima u obzir čitav životni ciklus objekta – od projektiranja, gradnje i uporabe, do mogućnosti reciklaže ili ponovne upotrebe materijala pri njenoj dekonstrukciji.

Prema definiciji Svjetskog savjeta za zelenu gradnju (World Green Building Council), zelena zgrada je ona koja, tijekom svog životnog ciklusa, koristi **resurse učinkovito** (energiju, vodu, materijale), **smanjuje ukupne emisije stakleničkih plinova**, pruža **zdravu i ugodnu mikroklimu za korisnike**, te je **ekonomski isplativa i društveno odgovorna**. U tom smislu, zelena zgrada nije definirana jednim fiksnim standardom, već se procjenjuje prema nizu kriterija koji uključuju:

- energetska učinkovitost i korištenje obnovljivih izvora energije
- učinkovitost sustava grijanja, hlađenja i ventilacije
- održivo gospodarenje vodom i otpadom
- korištenje zdravih, netoksičnih i lokalnih materijala
- optimizaciju prirodnog svjetla i ventilacije
- zaštitu lokalnog ekosustava i bioraznolikosti
- doprinos zdravlju, produktivnosti i dobrobiti korisnika

Zelena zgrada nije nužno nova gradnja – može biti i postojeći objekt koji je obnovljen prema načelima održivosti. Štoviše, energetska obnova zgrada ključna je komponenta europske klimatske politike jer se kroz pametnu rekonstrukciju može postići znatno veći učinak smanjenja emisija nego isključivo kroz izgradnju novih objekata.

Održiva arhitektura

Održiva arhitektura je širi koncept od zelene zgrade i uključuje **cjelovit pristup projektiranju prostora** koji obuhvaća tri temeljne dimenzije održivosti: **ekološku, ekonomsku i društvenu**. To znači da održiva arhitektura nije usmjerena samo na tehničke aspekte poput energetske učinkovitosti, već integrira i pitanja socijalne pravednosti, participacije korisnika, kulturne baštine, dostupnosti i lokalne ekonomije.

U tehničkom smislu, održiva arhitektura obuhvaća:

- projektiranje u skladu s mikroklimom i morfologijom terena
- minimiziranje potrošnje energije kroz pasivni dizajn
- korištenje dugotrajnih, obnovljivih i recikliranih materijala
- smanjenje emisija CO₂ i ekološkog otiska gradnje

- projektiranje fleksibilnih prostora koji se mogu prilagođavati promjenama u načinu korištenja
- poticanje urbane otpornosti i regeneracije okoliša

U društvenom smislu, održiva arhitektura potiče **inkluzivnost, zdravlje i psihološku dobrobit**, osigurava dostupnost infrastrukture ranjivim skupinama i gradi prostore koji potiču socijalnu interakciju. Primjeri uključuju dizajn otvorenih prostora, pristupačnost osobama s invaliditetom, mješovite stambene tipologije i participativno planiranje.

U ekonomskom smislu, održiva arhitektura potiče **dizajn koji smanjuje dugoročne troškove**, povećava vrijednost nekretnine, smanjuje ovisnost o vanjskim energentima i omogućuje obnovu i održavanje zgrade bez skupih intervencija.

Pojam održive arhitekture prvi je put populariziran krajem 20. stoljeća, paralelno s razvojem koncepta održivog razvoja, definiranog u Brundtland izvješću iz 1987. kao „razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe“. Danas je održiva arhitektura temelj mnogih međunarodnih standarda i obrazovnih programa, a sve češće je i uvjet za pristup javnim natjecanjima i EU sredstvima.

nZEB – Zgrada gotovo nulte energije

Zgrada gotovo nulte energije (*Nearly Zero Energy Building* – **nZEB**) predstavlja **regulatorni standard**, propisan u okviru **Direktive o energetske svojstvima zgrada (EPBD)** i obvezujući za sve nove zgrade u Europskoj uniji od 2021. godine (za javne zgrade od 2019.).

nZEB zgrada definirana je kao objekt s **vrlo visokom energetske učinkovitošću**, čiji se **mali preostali energetske zahtjevi pokrivaju iz obnovljivih izvora**, idealno onih koji su proizvedeni na samoj parceli ili u njezinoj neposrednoj blizini.

Ključne karakteristike nZEB zgrada uključuju:

- maksimalno smanjenje potreba za grijanjem, hlađenjem, ventilacijom i rasvjetom već u fazi dizajna
- visok stupanj toplinske zaštite (U-vrijednosti, zrakonepropusnost, izbjegavanje toplinskih mostova)
- korištenje pasivnih sustava (orijentacija, zasjenjenje, prirodna ventilacija, akumulacija topline)
- visoko učinkoviti aktivni sustavi (toplinske pumpe, kondenzacijski kotlovi, rekuperatori)
- integracija obnovljivih izvora energije (fotonaponski sustavi, solarni kolektori, geotermalna energija)
- pametno upravljanje energijom i automatizacija (BMS, IoT senzori, dinamičko upravljanje rasvjetom i ventilacijom)

Važno je istaknuti da nZEB **nije sinonim za zelenu zgradu** – to je **energetske standard**, dok zelena zgrada uključuje i druge aspekte održivosti, poput vode, otpada, materijala i društvenih kriterija. Drugim riječima, svaka nZEB zgrada može se smatrati dijelom održive gradnje, ali ne i nužno zelenom zgradom u punom smislu riječi.

Hrvatski zakonodavni okvir za nZEB standard propisuje konkretne tehničke zahtjeve za različite klimatske zone, vrste zgrada i površinske pokazatelje. Na primjer, maksimalna godišnja primarna energija za stambene zgrade u klimatskoj zoni C iznosi oko 40–50 kWh/m², dok za nestambene zgrade može biti različita ovisno o funkciji (škole, bolnice, uredi). Usklađenost s nZEB standardima projektanti dokazuju putem proračuna prema

Metodologiji izračuna energetske svojstava zgrada i kroz sustav energetskog certificiranja.

nZEB je temelj za **buduće regulative koje uvode koncept „Zero Emission Building“ (ZEB)**, koji u potpunosti eliminira emisije CO₂ povezane s uporabom zgrade. Prema najnovijoj reviziji EPBD-a, sve nove zgrade u EU od 2030. godine morat će biti zgrade s nultom emisijom, što dodatno pojačava važnost da se arhitekti već sada usmjere na projektiranje koje integrira dekarbonizaciju, digitalizaciju i otpornost.

1.2 Povijesni razvoj i suvremeni kontekst

Ideja o gradnji u skladu s prirodom i uvažavanju okolišnih uvjeta nije nova – njezini tragovi prisutni su u gotovo svim tradicijskim arhitekturama svijeta. Međutim, koncept održive i energetske učinkovite arhitekture kakvu danas poznajemo razvio se kao odgovor na krizu okoliša, energetske nesigurnost i spoznaju o negativnom utjecaju građevinskog sektora na klimatske promjene. Kako bi se razumio današnji kontekst projektiranja zelene zgrade, važno je sagledati povijesne korijene, evoluciju pristupa i prekretnice koje su oblikovale paradigmu održive arhitekture.

Tradicijska gradnja i prirodni principi

U razdobljima prije industrijske revolucije, gradnja se temeljila na lokalno dostupnim materijalima i znanju koje se prenosilo generacijski. Kuće su se orijentirale prema suncu, koristile prirodnu ventilaciju, termalnu masu i debelu ovojnicu kako bi se osigurala toplinska stabilnost. Primjeri poput dalmatinskih kamenih kuća, adobe građevina u sjevernoj Africi, japanskih drvenih paviljona ili iranskih vjetrovnih tornjeva (*badgir*) pokazuju visoku razinu bioklimatske osjetljivosti u arhitekturi. Iako ti sustavi nisu bili formalno definirani kao „održivi“, oni su bili izraz lokalne prilagodbe i racionalnog korištenja resursa.

Industrijalizacija i zaborav prirodnih zakonitosti

S razvojem industrije, sve dostupnijom energijom i pojavom novih građevinskih materijala (čelik, beton, staklo), tradicionalne metode počinju nestajati iz prakse. Modernistička arhitektura 20. stoljeća, vođena idealima funkcionalnosti i univerzalnosti, često je ignorirala klimatski kontekst i oslanjala se na mehaničke sustave kako bi nadomjestila prirodne uvjete. Pojava standardizacije dovela je do ujednačenosti oblikovanja bez obzira na geografsku poziciju, dok su staklene fasade, umjetno osvjetljenje i klimatizacija postali simbol napretka. Taj odmak od prirodnog doveo je do povećane potrošnje energije i degradacije okoliša.

Naftna kriza i početak energetske svijesti (1970-e)

Prvi val ozbiljnijeg promišljanja o energetskej učinkovitosti u arhitekturi započinje nakon **naftne krize 1973. godine**, kada cijene fosilnih goriva naglo rastu, a zemlje postaju svjesne vlastite energetske ovisnosti. Tada se po prvi put počinju razvijati koncepti „pasivne kuće“ i niskoenergetske gradnje, a arhitekti i inženjeri eksperimentiraju s orijentacijom zgrada, toplinskom izolacijom, dvostrukim ovojnicama, tromim zidovima i staklenim arijima. U tom kontekstu nastaje i ideja solarne arhitekture, koja koristi sunčevu energiju za grijanje prostora i vode. Iako su rješenja često bila eksperimentalna, postavljena je osnova za razvoj standardiziranih principa energetske učinkovite gradnje.

Rast svijesti o okolišu i institucionalni okvir (1990-e – 2000-e)

Tijekom 1990-ih i 2000-ih godina dolazi do **ekspanzije okolišne svijesti**, potaknute izvješćima Međuvladinog panela za klimatske promjene (IPCC), sporazumima poput **Kyotskog protokola (1997.)**, te razvojem **međunarodnih standarda zelene gradnje** poput LEED (SAD), BREEAM (UK) i kasnije DGNB (Njemačka). Arhitektura se sve više promatra kroz prizmu utjecaja na okoliš, a pojavljuje se i niz publikacija, istraživačkih centara i nevladinih organizacija koje promiču održive prakse.

Započinje i institucionalna integracija održivosti u obrazovanje arhitekata, uvođenje posebnih kolegija na sveučilištima, te rast potražnje za konzultantima koji znaju provesti energetske analize, LCA i certifikaciju zgrada. Održiva arhitektura više nije marginalna tema, već postaje sve prisutnija u natječajima, javnim politikama i urbanističkom planiranju.

Direktiva EPBD i formalizacija standarda nZEB

Velika prekretnica dolazi 2010. godine donošenjem **Direktive 2010/31/EU o energetskim svojstvima zgrada (EPBD)**, kojom se po prvi put uvodi koncept **zgrada gotovo nulte energije (nZEB)**. Ova regulativa zahtijeva od svih država članica Europske unije da razviju nacionalne planove za postizanje visokih standarda energetske učinkovitosti u svim novim zgradama, a kasnijim revizijama (2018. i 2023.) taj se zahtjev dodatno proširuje na sveobuhvatnu obnovu postojećeg fonda zgrada. nZEB postaje tehnička norma, ali i simbol nove ere u arhitekturi koja više ne tolerira energetske rasipništvo.

Ova tranzicija stavlja dodatni pritisak na projektante da razumiju proračune potrošnje energije, obnovljive izvore, tehničke sustave i zakonske procedure, ali istovremeno otvara prostor za inovaciju i interdisciplinarni rad. Arhitekti se sve više educiraju o primjeni BIM alata, energetskim simulacijama i dizajnu koji integrira podatke, automatiku i odziv na promjenjive klimatske uvjete.

Zeleni plan, Taksonomija i klimatska neutralnost do 2050.

S donošenjem **Europskog zelenog plana (Green Deal)** 2019. godine, Europska unija jasno zacrtava cilj **klimatske neutralnosti do 2050. godine**, pri čemu zgrade imaju ključnu ulogu. Građevinski sektor više nije promatran izolirano, već kao dio šire tranzicije prema **dekarboniziranoj, digitaliziranoj i otpornijoj ekonomiji**. U tom kontekstu usvaja se i **EU Taksonomija** – regulatorni okvir koji određuje što se smatra održivim ulaganjem. Zelena arhitektura, njezina energetska bilanca, emisijski učinak i otpornost na klimatske rizike postaju predmet financijskog vrednovanja i preduvjet za sudjelovanje u fondovima i investicijama.

Arhitektura se time formalno povezuje s ESG politikama (Environmental, Social, Governance), održivim financijama i izvještavanjem, čime uloga arhitekta postaje ne samo tehnička i kreativna, već i strateška i upravljačka. Kroz certifikate, analize životnog ciklusa i digitalne modele, projektanti aktivno oblikuju način na koji se procjenjuje i financira zelena gradnja.

Suvremeni smjerovi i tehnološka integracija

Danas se održiva arhitektura razvija kroz **četiri međusobno isprepletana pravca**:

1. **Energetska učinkovitost i dekarbonizacija** – kroz nZEB, ZEB i plus-energetske zgrade, uz primjenu obnovljivih izvora i pametnih sustava upravljanja.

2. **Kružna gradnja** – korištenje recikliranih i ponovno upotrebljivih materijala, projektiranje za rastavljanje i minimalizaciju otpada.
3. **Otpornost na klimatske promjene** – integracija sustava za obranu od poplava, toplinskih valova, suša i drugih ekstrema.
4. **Biofilni i zdravlju prilagođeni dizajn** – stvaranje prostora koji podupiru fizičko i mentalno zdravlje korisnika, kroz prirodno svjetlo, ventilaciju, biljke, tišinu i taktilne materijale.

S razvojem alata kao što su **BIM (Building Information Modeling)**, **digitalne putovnice zgrada**, **IoT senzori**, **umjetna inteligencija** za predikciju energetske potrošnje i **LCA baze podataka**, projektiranje postaje sve više analitičko i podatkovno utemeljeno. Arhitekt više ne stvara prostor samo na temelju intuicije i prostorne logike, već na temelju simulacija, evidencija i kriterija mjernih pokazatelja. Ta promjena paradigme zahtijeva nove vještine, kontinuiranu edukaciju i suradnju s inženjerskim, IT i ekonomskim disciplinama.

1.3 Uloga arhitekta u zelenoj tranziciji

Arhitekt kao oblikovatelj prostora u kojem društvo živi, radi i razvija se, danas ima iznimno važnu i kompleksnu ulogu u globalnom procesu **zelene tranzicije** – prijelaza izgrađenog okoliša s visokim emisijama i potrošnjom resursa prema modelu koji počiva na **dekarbonizaciji, energetske učinkovitosti, otpornosti, regeneraciji i pravednosti**. U tom procesu, uloga arhitekta daleko nadilazi tradicionalne granice discipline i prelazi u domenu sustavnog promišljanja o prostornim, tehnološkim, društvenim i okolišnim posljedicama svake projektantske odluke. Arhitekt danas nije samo estetski autor ni samo tehnički projektant – on je **strateg, komunikator, medijator, edukator i integrator** održivih rješenja.

Od prostornog oblikovatelja do agenta promjene

U kontekstu klimatskih promjena, iscrpljivanja resursa, porasta globalnog stanovništva i urbanizacije, zgrade više ne mogu biti projektirane izvan šireg ekološkog i društvenog konteksta. Građevinski sektor je odgovoran za oko 40 % globalne potrošnje energije i 36 % emisija stakleničkih plinova. Stoga je jasno da svaki arhitektonski projekt nosi **potencijal za smanjenje štetnih utjecaja ili njihovo produbljenje**, ovisno o znanju, vrijednostima i pristupu samog projektanta.

Uloga arhitekta u zelenoj tranziciji sastoji se, prije svega, u **prihvatanju odgovornosti** za dugoročne učinke prostora na okoliš i društvo. To uključuje odluke o orijentaciji zgrade, konfiguraciji volumena, izboru materijala, sustavu grijanja i hlađenja, načinu korištenja vode, oblikovanju okoliša i odnosu prema krajobrazu. U zelenoj tranziciji, arhitekt nije samo kreator forme, već i **čuvar energije, promicatelj zdravlja, čitatelj zakona i kreator ponašanja korisnika prostora**.

Koordinacija interdisciplinarnog znanja i dionika

Kako bi uspješno ispunio tu kompleksnu ulogu, arhitekt mora djelovati kao **koordinator interdisciplinarnog tima**, koji uključuje stručnjake za strojarske i elektrotehničke sustave, statičare, inženjere fizike zgrada, konzultante za energetske učinkovitost, biologe, krajobrazne arhitekate, konzultante za LCA i obnovljive izvore, kao i predstavnike investitora, korisnika i lokalne uprave.

Arhitekt mora razumjeti **dizajn kao platformu za integraciju svih aspekata održivosti** – od inicijalnog koncepta pa sve do izvedbe i korištenja. U praksi to znači uključivanje

energetskih proračuna već u fazi idejnog rješenja, analizu životnog ciklusa u fazi projektne dokumentacije, simulaciju mikroklima na razini parcele, optimizaciju prirodne rasvjete i ventilacije, te suradnju s investitorom oko ekonomskih scenarija dugoročne isplativosti. Upravo zbog toga, **integrirani projektantski pristup (IPA – Integrated Project Approach)** postaje standard u praksi arhitekta koji djeluje u skladu s načelima zelene gradnje. To nije samo tehničko pitanje, već način razmišljanja koji zahtijeva otvorenost prema suradnji, spremnost na dijeljenje odgovornosti i duboko razumijevanje međupovezanosti sustava.

Kompetencije za novu arhitektonsku paradigmu

Uloga arhitekta u zelenoj tranziciji podrazumijeva **razvoj novih znanja i vještina**, koje nadilaze klasične domene projektiranja i uključuju:

- **razumijevanje ekoloških procesa i ekosustava**, kako bi se zgrada mogla integrirati u lokalni okoliš bez degradacije prirodnih sustava;
- **poznavanje klimatskih scenarija i otpornosti**, kako bi zgrada bila otporna na ekstremne vremenske uvjete, toplinske valove, poplave i druge klimatske rizike;
- **vladanje alatima za simulaciju** (npr. BIM, PHPP, DesignBuilder, Ladybug Tools, LCA softveri) za precizno modeliranje energetskih i okolišnih performansi;
- **znanje o zakonodavnom okviru**, uključujući EPBD, EU Taksonomiju, Zakon o gradnji, tehničke propise, zelene javne nabave i certifikacijske sustave;
- **komunikacijske vještine**, kako bi mogao prenijeti kompleksne informacije različitim akterima – od inženjera do korisnika i donositelja odluka;
- **ekonomsko-financijsku pismenost**, za razumijevanje LCC (troškova životnog ciklusa), ROI analize i održivih poslovnih modela.

Ove kompetencije ne znače da arhitekt mora biti stručnjak u svemu, ali znači da **mora razumjeti i znati upravljati procesima koji povezuju discipline**. U tom smislu, edukacija arhitekata mora se prilagoditi zahtjevima zelene tranzicije, uključujući obveznu kurikularnu prisutnost tema održivosti, okolišnog inženjerstva, LCA, energetske učinkovitosti i etike gradnje.

Arhitekt kao kreator ponašanja i kulture stanovanja

Zelena tranzicija nije isključivo tehnički proces, već i **kulturna promjena**. Kroz arhitektonske odluke, projektanti oblikuju ne samo prostor, već i **ponašanje korisnika**. Način na koji je prostor organiziran, osvjetljen, ventiliran, zvučno tretiran ili obogaćen zelenilom, izravno utječe na to kako će ga ljudi koristiti, koliko će energije trošiti, kako će se u njemu osjećati i hoće li razvijati odnos prema okolišu.

U tom smislu, arhitekt postaje i **kreator održivih navika** – projektiranjem prostora koji potiču korištenje prirodnog svjetla, omogućuju otvaranje prozora umjesto stalne klimatizacije, nude prostore za odvajanje otpada, kompostiranje, prikupljanje kišnice ili održavanje zajedničkog vrta. Arhitekt tako ne samo da optimizira sustave, već **osnažuje korisnike da postanu aktivni sudionici održivosti**.

Osim toga, kroz sudjelovanje u javnim natjecajima, stručnim tijelima i obrazovnim programima, arhitekti imaju ulogu **ambasadora zelene tranzicije** – oni su ti koji artikuliraju vrijednosti održivosti kroz arhitektonsko izražavanje, pokreću rasprave o odgovornosti struke i iniciraju modele gradnje koji nadilaze komercijalne imperitive.

Odgovornost prema budućim generacijama

Zelena tranzicija nije samo pitanje tehnologije, već i **etike gradnje**. Svaka zgrada koju arhitekt projektira, postoji desetljećima – ona troši energiju, resurse, zauzima prostor, proizvodi otpad i oblikuje iskustvo generacija koje će u njoj boraviti. U tom kontekstu, arhitekt ima **moralnu odgovornost** oblikovati prostore koji ne samo da zadovoljavaju trenutne potrebe, već koji su fleksibilni, dugoročno održivi i ne opterećuju buduće generacije dodatnim okolišnim ili ekonomskim troškovima.

Ova odgovornost uključuje i **kritički otklon od površnog pristupa održivosti** – tzv. *greenwashinga* – kojim se simbolički, formalno ili marketinški koristi „zelena“ terminologija bez stvarne promjene pristupa. Arhitekt mora znati razlikovati suštinsku održivost od prividne, razumjeti stvarni utjecaj materijala, sustava i oblika koje predlaže, te biti spreman transparentno obrazložiti svoje odluke.

Zaključno: Arhitekt kao nositelj prostorne pravde i klimatske etike

Uloga arhitekta u zelenoj tranziciji nije ograničena samo na energetske izračun ili izbor sustava grijanja. To je **društvena uloga** – oblikovanje prostora koji potiče zdravlje, sigurnost, dostupnost i participaciju. To je **ekološka uloga** – projektiranje s poštovanjem prema zemlji, vodi, zraku i živim bićima. I to je **kulturna uloga** – stvaranje nove arhitektonske poetike koja izražava odgovornost, otpornost i regeneraciju.

U tom širem smislu, arhitekt u zelenoj tranziciji nije tek dionik promjene – on je **njezin nositelj, oblikovatelj i jamac**. Kroz konkretne projekte, strategije, javne nastupe i edukaciju, arhitekti aktivno sudjeluju u oblikovanju tranzicije koja nadilazi struku i postaje društveni imperativ.

1.4 Ciljevi: dekarbonizacija, zdravlje, dugovječnost, otpornost

Dekarbonizacija: smanjenje emisija CO₂ i klimatska neutralnost

Dekarbonizacija građevinskog sektora podrazumijeva **drastično smanjenje emisija ugljikovog dioksida (CO₂)** i drugih stakleničkih plinova koje zgrade emitiraju tijekom cijelog životnog ciklusa – od proizvodnje materijala, preko gradnje i uporabe, do kraja životnog vijeka objekta. U kontekstu klimatskih promjena, ovaj cilj ima **najviši prioritet** jer građevinski sektor čini oko 36 % emisija stakleničkih plinova u EU.

Dekarbonizacija obuhvaća dvije temeljne strategije:

1. **Smanjenje operativnog ugljičnog otiska (operational carbon)** – postizanje visoke energetske učinkovitosti zgrade u fazi uporabe, smanjenjem potrebe za grijanjem, hlađenjem, rasvjetom i toplom vodom, te prelaskom na obnovljive izvore energije;
2. **Smanjenje utjelovljenog ugljika (embodied carbon)** – optimizacija materijala i konstrukcija kako bi se smanjile emisije povezane s ekstrakcijom, preradom, transportom i ugradnjom materijala, kao i s njihovim krajem životnog vijeka.

Arhitektonske odluke o orijentaciji zgrade, kompaktnosti volumena, izboru materijala s niskom emisijom (drvo, reciklirani metali, izolacije na bio-bazi), korištenju lokalnih izvora, projektiranju fleksibilnih i demontažnih elemenata, kao i integraciji fotonaponskih sustava i toplinskih pumpi, izravno pridonose dekarbonizaciji. Cilj je postići zgrade s gotovo nultom emisijom (nZEB), a u sljedećoj fazi i **zgrade s nultom ili negativnom emisijom (ZEB, net-zero, carbon-negative)**.

Priručnici i alati za izračun ugljičnog otiska (npr. One Click LCA, EC3, ReCiPe) postaju standardni dio projektantskog procesa, a nova verzija EPBD-a predviđa obvezu izračuna

cjelokupnog CO₂ otiska zgrade (Whole Life Carbon Assessment) kao preduvjet za izdavanje građevinske dozvole već od 2030. godine.

Zdravlje: mikroklima, materijali i biofilna povezanost

Zelena arhitektura ima za cilj ne samo smanjiti štetu okolišu, već i **aktivno unaprijediti zdravlje korisnika prostora**, kako fizičko, tako i psihološko. U urbanim sredinama, ljudi provode i do **90 % vremena u zatvorenim prostorima**, pa kvaliteta unutarnje mikroklike postaje jedno od ključnih pitanja javnog zdravstva i kvalitete života.

Elementi koji najviše utječu na zdravlje i dobrobit uključuju:

- **kvalitetu zraka u interijeru (IAQ)** – čista, svježja, nealergena atmosfera, uz filtraciju mehaničkih sustava i ograničenje hlapljivih organskih spojeva (VOC);
- **prirodnu ventilaciju i kontroliranu mehaničku ventilaciju (npr. rekuperaciju);**
- **optimalnu vlažnost i temperaturu** – između 40 i 60 % relativne vlažnosti i 20–25 °C u većini zona ugodne;
- **prirodnu rasvjetu** – izlaganje dnevnom svjetlu podupire cirkadijalni ritam, povećava koncentraciju i smanjuje simptome anksioznosti;
- **akustički komfor** – smanjenje reverberacije, prijenosa zvuka i vanjske buke;
- **kontakt s prirodom (biofilni dizajn)** – integracija biljaka, vode, prirodnih materijala, vizualnog pogleda prema zelenilu i taktilnih tekstura koje potiču psihološku povezanost s prirodnim okruženjem.

Dizajn koji promiče zdravlje mora početi već od razmještaja prostorija, pozicioniranja otvora, zaštite od pregrijavanja i omogućavanja prirodne ventilacije. Korištenje materijala koji su certificirani kao netoksični (npr. bez formaldehida, ftalata, teških metala), te dizajn koji omogućuje korisničku kontrolu (otvaranje prozora, prilagodba svjetla i temperature), izravno utječu na subjektivni osjećaj ugodne i zdravlja.

Certifikacijski sustavi poput **WELL, Fitwel i Living Building Challenge** dodatno podižu svijest o zdravlju kao arhitektonskom cilju, dok EU Taksonomija također uključuje **aspekte zdravlja korisnika kao elemente okolišne prihvatljivosti**.

Dugovječnost: funkcionalna, konstruktivna i estetska trajnost

Zgrada projektirana u duhu održivosti mora biti **otporna na vrijeme, funkcionalno prilagodljiva i estetski relevantna kroz desetljeća**, čime se smanjuje potreba za čestim renovacijama, produžuje vijek trajanja materijala i minimizira ukupni ekološki otisak tijekom životnog ciklusa.

Dugovječnost se postiže kroz:

- **korištenje trajnih i otpornih materijala** – npr. dobro obrađeno drvo, vlaknocementne ploče, prirodni kamen, reciklirani metal i staklo;
- **projektiranje za prilagodljivost (design for adaptability)** – mogućnost funkcionalne konverzije bez potpune rekonstrukcije (npr. prenamjena stambenog u uredski prostor);
- **projektiranje za rastavljanje (design for disassembly)** – elementi koji se mogu ukloniti i ponovno upotrijebiti bez stvaranja otpada;
- **modularni i suhi sistemi gradnje** – koji omogućuju lakše održavanje, nadogradnju i servisiranje;
- **klasične proporcije, neutralna paleta, lokalni jezik oblikovanja** – estetska dugovječnost koja izbjegava prolazne stilove i pretjerano trendovske intervencije.

Arhitekt u ovom kontekstu mora prepoznati razliku između trajnog i prolaznog, funkcionalnog i dekorativnog, te anticipirati **buduće potrebe korisnika i razvoj lokalnog konteksta**, bez pretpostavke da će zgrada zauvijek služiti jednoj svrsi.

Dugovječne zgrade doprinose kružnoj ekonomiji, smanjuju potrebu za ponovnim građenjem, zadržavaju kulturnu vrijednost i stabiliziraju urbanu morfologiju. Uz to, one imaju **niži LCC (life-cycle cost)**, što je ključno za investitore i korisnike koji traže dugoročno isplativa rješenja.

Otpornost: odgovor na promjenjive klimatske i društvene uvjete

Otpornost (engl. *resilience*) u kontekstu arhitekture odnosi se na **sposobnost zgrade i njezina okruženja da odgovori na neočekivane događaje** – klimatske ekstreme, prirodne katastrofe, energetske krize, društvene nemire ili promjene u obrascima korištenja. Otpornost podrazumijeva **proaktivno planiranje**, a ne reaktivno prilagođavanje.

Elementi otpornosti uključuju:

- **pasivne sustave za osiguranje ugone u slučaju nestanka energije** – prirodno sjenilo, ventilacija, termalna masa;
- **sustave za pohranu vode i energije** – cisterna za kišnicu, baterijski spremnici, lokalna proizvodnja energije;
- **otpornost na poplave i podizanje razine mora** – uzdignute platforme, drenažni sustavi, vodootporni materijali u prizemlju;
- **pristup zelenim i otvorenim prostorima u slučaju krize** – zajednički vrtovi, prostori za okupljanje, skloništa;
- **fleksibilna prostorna rješenja** – mogućnost brzog prilagođavanja broju korisnika ili funkciji prostora u slučaju izvanrednih situacija (npr. pandemije, potresi, izbjegličke krize).

Otpornost se danas sve češće uključuje u **urbane planove i natječajne programe**, a nova verzija EPBD-a predviđa da zgrade budu **klimatski otporne** kao dio njihove tehničke ocjene. Uloga arhitekta ovdje je dvoznačna: projektirati zgradu koja je sama po sebi otpornija, ali i **doprinositi otpornosti zajednice**, kroz prostor koji potiče solidarnost, održivost i neovisnost.

Zajedno, ovi ciljevi čine **četverostruki stup održive arhitekture: dekarbonizacija** smanjuje štetan učinak na planet, **zdravlje** poboljšava kvalitetu svakodnevnog života, **dugovječnost** osigurava ekonomsku i prostornu stabilnost, a **otpornost** omogućuje preživljavanje i prilagodbu u neizvjesnoj budućnosti.

Zadatak arhitekta nije izabrati jedan cilj nauštrb drugog, već **projektirati sinergijski**, uz svijest o međuovisnosti svih komponenti. Samo tako arhitektura može istovremeno biti estetski vrijedna, tehnički izvediva, okolišno prihvatljiva i društveno pravedna.

1.5 Energetski koncepti: primarna, isporučena, korisna i obnovljiva energija

Razumijevanje osnovnih energetskih pojmova ključno je za pravilno projektiranje, vrednovanje i optimizaciju energetske učinkovitosti zgrade. Arhitekt, iako nije energetičar u užem smislu, mora biti sposoban interpretirati rezultate energetskih proračuna, komunicirati s inženjerima i donositi oblikovne odluke koje izravno utječu na energetske pokazatelje objekta. U zakonodavnom i tehničkom okviru zelene gradnje najčešće se koriste četiri temeljna pojma: **korisna energija, isporučena energija, primarna energija**

i **obnovljiva energija**. Svaki od njih ima različitu funkciju u analizi energetskeg ponašanja zgrade i podliježe različitim metodologijama izračuna.

Korisna energija (QH,nd)

Korisna energija (engl. **useful energy**) označava količinu energije koja je stvarno potrebna za **održavanje unutarnje temperature i funkcionalnosti prostora** u određenim graničnim uvjetima. Riječ je o teoretskom iznosu energije koja bi bila dovoljna za grijanje, hlađenje, ventilaciju ili rasvjetu kada bi prijenos i konverzija energije bili idealni, bez gubitaka u sustavima.

U praksi, korisna energija u proračunima obično označava:

- **QH,nd** – korisna energija za grijanje;
- **QC,nd** – korisna energija za hlađenje.

Korisna energija ovisi o **toplinskim gubicima i dobicima kroz ovojnicu**, ventilaciji, infiltraciji zraka, unutarnjim izvorima topline (osobe, rasvjeta, uređaji), orijentaciji, kompaktnosti i osunčanju objekta. Budući da se izračunava prije uključivanja tehničkih sustava (npr. kotlova, dizalica topline, rashladnika), ovaj indikator je **izravno povezan s arhitektonskim oblikovanjem** i pasivnim strategijama dizajna.

Za arhitekta je korisno znati da **što je manja QH,nd vrijednost, to je zgrada energetski povoljnija u pasivnom smislu** – što se postiže boljom izolacijom, kompaktnom formom, kontroliranom orijentacijom otvora i optimiziranom ventilacijom.

Isporučena energija (Edel)

Isporučena energija (engl. **delivered energy**) označava **stvarnu količinu energije koja mora biti dovedena do zgrade** iz vanjskih izvora kako bi se zadovoljile potrebe korisne energije, uključujući sve tehničke sustave. Ovaj pojam uključuje **učinkovitost sustava** za grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu potrošne tople vode, rasvjetu i električne uređaje. Primjeri:

- Ako se za grijanje koristi kotao na plin s 90 % učinkovitosti, za ostvarenje 9.000 kWh korisne energije potrebno je 10.000 kWh isporučene energije;
- Ako se koristi dizalica topline s COP 4, za 8.000 kWh korisne energije dovoljno je 2.000 kWh električne isporučene energije.

Isporučena energija mjeri se u kWh godišnje i koristi se kao **temelj za obračun troškova**, jer najčešće odgovara količini koju korisnik zgrade plaća dobavljaču (plin, struja, toplinarstvo). Stoga, iako se ne koristi kao glavni pokazatelj u zakonodavnom kontekstu nZEB-a, za korisnike i upravitelje zgrade ona je **najizravniji pokazatelj ekonomske učinkovitosti** projekta.

U arhitektonskoj praksi, optimizacija isporučene energije može se postići izborom sustava visoke učinkovitosti, pametnim upravljanjem, sensorima, BMS sustavom i pasivnim mjerama koje smanjuju potrebe za tehničkom intervencijom.

Primarna energija (Eprim)

Primarna energija (engl. **primary energy**) je ukupna količina **neobrađene energije iz prirodnih izvora** (nafta, plin, ugljen, voda, sunce, vjetar) koja je potrebna da bi se proizvela i dostavila isporučena energija. Drugim riječima, primarna energija uzima u obzir sve **gubitke u proizvodnji, prijenosu i distribuciji energije**, a koristi se kao **glavni indikator u europskom i nacionalnom zakonodavstvu** za vrednovanje energetske učinkovitosti zgrada.

Izračun primarne energije vrši se korištenjem **faktora primarne energije (fPE)** koji ovise o izvoru:

- Električna energija iz mreže: $fPE \approx 2,5$ (ovisno o udjelu OIE);
- Plin: $fPE \approx 1,1$;
- Biomasa: $fPE \approx 0,2-0,7$;
- Fotonaponski sustav na licu mjesta: $fPE \approx 0$.

Ukupna primarna energija izračunava se kao:

$$E_{\text{prim}} = E_{\text{edel,energent1}} \times fPE1 + E_{\text{edel,energent2}} \times fPE2 + \dots$$

Za potrebe nZEB standarda u Hrvatskoj, **maksimalna dopuštena godišnja vrijednost primarne energije** definirana je u tehničkim propisima i ovisi o vrsti zgrade, klimatskoj zoni i namjeni. Ovaj parametar koristi se za izdavanje energetske certifikata i predstavlja **glavni normativni kriterij** prema kojem se zgrada ocjenjuje.

Uloga arhitekta u ovom kontekstu uključuje **optimizaciju energetske potrošnje već u oblikovnoj fazi**, odabirom sustava koji omogućuju niski faktor primarne energije (npr. dizalice topline, lokalni OIE), izbjegavanjem ovisnosti o visoko konverzijskim oblicima energije (mrežna struja), te povezivanjem energetske strategije s oblikovanjem volumena, fasade i orijentacije.

Obnovljiva energija (ERES)

Obnovljiva energija (engl. **renewable energy**) obuhvaća sve izvore energije koji se prirodno obnavljaju i ne iscrpljuju – sunce, vjetar, voda, biomasa i geotermalna toplina. U kontekstu zgrada, posebno su važni oni sustavi koji omogućuju **lokalnu proizvodnju energije iz obnovljivih izvora**:

- **Fotonaponski sustavi (PV)** – električna energija izravno iz sunčeve svjetlosti;
- **Solarni toplinski kolektori** – za pripremu potrošne tople vode;
- **Dizalice topline** – koriste okolnu toplinu iz zraka, tla ili vode;
- **Biomasa** – kotlovi ili kamini na pelete, sječku ili drva;
- **Mikrokogeneracijski sustavi** – kombinirana proizvodnja topline i struje iz obnovljivih izvora.

EU regulativa (EPBD, RED II) jasno propisuje da udio **obnovljivih izvora mora biti značajan** u ukupnoj energetske bilanci zgrade, posebno za postizanje nZEB standarda. Hrvatski tehnički propisi dodatno određuju **minimalne udjele OIE** u zgradama – npr. najmanje 30 % ukupne godišnje potrebne energije mora dolaziti iz obnovljivih izvora.

Za arhitekta, to znači:

- razmatranje **površine krova i orijentacije za PV sustave**;
- integraciju sustava u arhitektonski izraz (npr. solarni krovovi, fasade);
- osiguranje prostora za opremu (tehničke prostorije, kotlovnice);
- planiranje sustava za **pohranu energije** (baterije, akumulatori topline);
- povezivanje s urbanom infrastrukturom i mikromrežama (community energy).

Osim tehničke, OIE ima i **simboličku vrijednost** – pokazuje vizualnu i kulturnu orijentaciju arhitektonskog objekta prema energetske samodostatnosti i odgovornosti.

Sinteza i primjena u projektiranju

Svi navedeni energetske koncepti međusobno su povezani i ulaze u različite razine analize u procesu projektiranja:

- **Korisna energija** je izravna posljedica arhitektonskih odluka (orijentacija, izolacija, zasjenjenje);

- **Isporučena energija** ovisi o učinkovitosti tehničkih sustava i automatike;
- **Primarna energija** integrira energetske mikse i zakonodavne ciljeve;
- **Obnovljiva energija** osigurava prijelaz na održivi model proizvodnje.

Arhitekt koji razumije ove razlike može **aktivno sudjelovati u energetskej optimizaciji projekta**, uključiti se u razgovor s inženjerima i certifikatorima, te projektirati zgradu koja zadovoljava regulativu, ali i promiče višu razinu održivosti, otpornosti i kulturne relevantnosti.

U konačnici, energetske koncepti nisu samo brojke u izvješću – oni su **prostorni, konstruktivni i estetski izazovi**, koji traže integraciju znanja i kreativnosti kako bi zgrada bila funkcionalna, odgovorna i inspirativna u svojem okolišnom kontekstu.

2. KONCEPTUALNI PRISTUP PROJEKTIRANJU ZELENE ZGRADE

2.1 Integrirani projektantski pristup (IPA)

Projektiranje zelene zgrade zahtijeva sinergiju različitih disciplina, alata i stručnih perspektiva koje nadilaze tradicionalne sekvencijalne faze rada. Kroz protekla desetljeća dokazano je da klasičan linearni model projektiranja – u kojem arhitekt prvo oblikuje zgradu, a tek zatim sustavi dolaze „naknadno“ – ne može osigurati performanse potrebne za ostvarenje ciljeva održivosti, nZEB standarda ili EU taksonomije. U odgovoru na te izazove razvijen je **integrirani projektantski pristup (Integrated Design Process – IPA)**, čija je srž **istovremeno, suradničko i sustavno projektiranje**, temeljeno na razmjeni podataka i donošenju odluka u interdisciplinarnom okruženju.

Temeljna načela IPA

IPA se temelji na nekoliko ključnih načela koja osiguravaju njegovu učinkovitost i primjenjivost u složenim projektima:

1. **Rana uključenost svih dionika** – uključivanje svih relevantnih stručnjaka (arhitekata, inženjera strojarstva, elektrotehnike, građevinara, krajobraznih arhitekata, konzultanata za energiju, investitora i korisnika) već u najranijoj fazi koncepcije.
2. **Kružni umjesto linearnog tijeka rada** – umjesto da svaki stručnjak djeluje u svojoj fazi, svi članovi tima kontinuirano surađuju i vraćaju se na prethodne korake radi optimizacije rješenja.
3. **Utemeljenost na podacima** – odluke se ne donose intuitivno, već se temelje na simulacijama, analizama i provjerljivim metrikama (npr. energetske proračuni, LCA, daylight factor, akustičke simulacije).
4. **Fokus na ciljeve performansi** – svi članovi tima rade prema jasno definiranim energetske, okolišne, funkcionalne i ekonomske ciljevima projekta.
5. **Vizualizacija i iteracija** – korištenje BIM alata, 3D modela i dijagrama omogućuje bržu komunikaciju, testiranje različitih scenarija i izbjegavanje nesporazuma među strukama.

Ovim pristupom osigurava se **transparentnost odluka**, smanjuje broj korekcija u kasnijim fazama te se maksimizira potencijal zgrade da uistinu odgovori na zahtjeve zelene gradnje.

Uloga arhitekta u IPA timu

U integriranom projektiranju **arhitekt nije samo autor forme**, već **koordinator ciljeva, komunikator među disciplinama i strateg održivosti**. Arhitekt mora prepoznati međuzavisnost između prostornog oblikovanja i tehničkih sustava, biti spreman uskladiti vlastite koncepcije sa simulacijama i predloženim rješenjima inženjera te istovremeno sačuvati kvalitetu prostora, kompoziciju i uporabnu vrijednost objekta.

Odgovornosti arhitekta u IPA okruženju uključuju:

- definiranje ciljeva održivosti u suradnji s investitorom i energetske savjetnicima;
- razumijevanje i integraciju rezultata analize lokacije, mikroklima i okoliša;
- iniciranje koordinacijskih sastanaka u fazi koncepcije i razvoja ideje;
- vođenje dijaloga između korisničkih potreba i tehničkih mogućnosti;
- predlaganje rješenja koja zadovoljavaju i estetske i energetske zahtjeve.

Ključno je da arhitekt **razvija projekt kao platformu za zajednički rad**, umjesto da ga shvaća kao individualni autorski izraz. U zelenoj gradnji, kreativnost proizlazi iz **optimizacije sustava i sinteze znanja**, a ne iz isključive forme.

Faze IPA procesa i njihov sadržaj

IPA se ne odvija linearno, ali se može podijeliti u **četiri međusobno povezane faze** koje čine logičan tijek od koncepcije do eksploatacije:

1. Inicijalna faza i postavljanje ciljeva

- identifikacija svih dionika i stručnjaka;
- analiza lokacije: orijentacija, sjenčenje, vjetrovi, lokalni resursi;
- definiranje kriterija uspješnosti (npr. maksimalna primarna energija, udio OIE, LCA granica, zdravlje korisnika);
- definiranje budžeta, vremenskog okvira i dostupnih tehnologija;
- kreiranje dokumenta ciljeva (design brief).

2. Konceptualna faza

- izrada preliminarnih volumena, tlocrta i fasada;
- provođenje osnovnih simulacija: osunčanje, prirodna ventilacija, dnevna svjetlost;
- izrada prvih energetske modela;
- identifikacija ključnih pasivnih strategija (kompaktnost, izolacija, orijentacija);
- definiranje mogućnosti integracije OIE (PV, solarni kolektori, dizalice topline).

3. Razvoj projekta

- detaljna BIM koordinacija svih sustava (HVAC, elektro, voda);
- energetski proračuni s više scenarija;
- LCA, LCC i analiza ugone korisnika;
- evaluacija kroz alate poput Sefaira, DesignBuildera, Grasshoppera;
- usklađivanje s regulativom (nZEB, EU taksonomija);
- priprema za certifikaciju (LEED, BREEAM, DGNB, WELL).

4. Izvedba i praćenje

- podrška izvođaču pri ugradnji složenih sustava;
- validacija rješenja u praksi (npr. blower door test, termografija);
- post-occupancy evaluation (POE);
- povratna analiza za buduće projekte (lessons learned).

Kroz sve ove faze, IPA omogućuje **iterativno donošenje odluka**, fleksibilnost u prilagodbi i kontinuiranu kontrolu kvalitete. Svaka odluka projektanta evaluira se prema više kriterija: energetskom, funkcionalnom, okolišnom, estetskom i ekonomskom.

Prednosti IPA pristupa

Usporedbe pokazatelja između projekata realiziranih klasičnim pristupom i onih provedenih putem IPA jasno pokazuju prednosti integracije:

- **niža potrošnja energije i emisija CO₂** (do 40 % niže u odnosu na referentne vrijednosti);
- **manji broj projektantskih i izvedbenih pogrešaka;**
- **smanjeni troškovi izgradnje i eksploatacije** (zahvaljujući optimizaciji sustava);
- **povećana vrijednost nekretnine i certifikacijska spremnost;**

- **zadovoljniji krajnji korisnici** – zbog boljih uvjeta ugrade, fleksibilnosti i zdravlja.

Kroz IPA arhitekti postaju **nositelji transformacije projektantskog procesa**, koji ne samo da ispunjava zakonske obveze, već stvara **odanu vrijednost kroz kvalitetu, transparentnost i otpornost**.

Izazovi i preduvjeti implementacije

Unatoč brojnim prednostima, IPA zahtijeva i određene **strukturne preduvjete**:

- spremnost na interdisciplinarnu suradnju i zajedničko odlučivanje;
- dostupnost alata za suradnju u realnom vremenu (BIM platforme, zajednički modeli);
- definirane odgovornosti i komunikacijski protokoli;
- edukacija svih članova tima o osnovama održive gradnje;
- podrška investitora koji razumije dugoročne koristi IPA pristupa.

Najčešće prepreke uključuju **nedostatak vremena u fazi koncepcije, neujednačeno znanje među članovima tima te nedostatak formalne procedure za upravljanje integriranim timom**. No, upravo u rješavanju tih izazova leži prilika za modernizaciju arhitektonske profesije.

Integrirani projektantski pristup postaje **neizostavan element arhitektonske prakse u kontekstu zelene tranzicije**. On omogućuje dosljedno postizanje visokih performansi zgrade, dok istovremeno poštuje kreativni integritet arhitektonskog djela. IPA ne zamjenjuje arhitekta – on ga osnažuje, povezuje s inženjerima i čini ga **ključno odgovornim akterom u stvaranju regenerativne, zdrave i energetske osviještene izgrađene budućnosti**.

2.2 Rano pozicioniranje održivosti u projektnom ciklusu

U procesu projektiranja zelene zgrade, presudnu razliku između uspješno optimiziranog objekta i kompromisnog, neusklađenog rješenja čini **vrijeme u kojem se održivost uključuje u projektni ciklus**. Brojna istraživanja i evaluacije realiziranih zgrada pokazala su da **utjecaj odluka donesenih u najranijoj fazi projektiranja višestruko nadilazi učinkovitost naknadnih intervencija**. Drugim riječima, što se ranije u projektni proces ugrade principi održive gradnje, to su manji troškovi prilagodbe, veća preciznost dizajna i veća vjerojatnost ostvarivanja ciljeva zelene gradnje.

Hijerarhija odlučivanja u projektiranju

Projektni ciklus tipično uključuje više faza – od analize lokacije i programskih zahtjeva, preko konceptualnog oblikovanja i izrade projektne dokumentacije, do izvedbe i eksploatacije. Međutim, razina slobode odlučivanja **eksponencijalno opada kako projekt odmiče**, dok istovremeno **troškovi promjena drastično rastu**. Ova krivulja jasno pokazuje da se najveći učinak može ostvariti u fazi idejnog koncipiranja – upravo u trenutku kada se definiraju prostorna logika, volumetrija, orijentacija, osnovni materijali i režimi korištenja.

Upravo stoga se rani fokus na održivost ne smije tretirati kao „dodatna vrijednost“ projekta, već kao njegov **strukturni temelj**. Uključivanje kriterija energetske učinkovitosti, materijalne odgovornosti, otpornosti i zdravlja korisnika u početnu koncepciju omogućava da svi daljnji projektantski i inženjerski potezi budu **usmjereni prema istom cilju**, bez potrebe za skupim naknadnim korekcijama.

Analiza konteksta kao temelj održivosti

Prvi korak rano pozicionirane održivosti jest **sveobuhvatna analiza lokacije**, koja uključuje niz parametara od kojih svaki ima potencijalno presudan utjecaj na energetske i okolišnu učinkovitost objekta:

- **Geografska širina i orijentacija** – definiraju količinu sunčeve energije i režime osvjetljenja;
- **Mikroklimatski uvjeti** – vjetar, vlažnost, temperatura i lokalna inverzija;
- **Topografija i osunčanost** – omogućuju iskorištavanje prirodne ventilacije, solarnih dobitaka i zaklona od ekstremnih uvjeta;
- **Pristup infrastrukturi i resursima** – omogućuje planiranje za obnovljive izvore, ponovnu uporabu vode i smanjenu potrebu za intervencijama u okoliš;
- **Društveni i kulturni kontekst** – oblikuje pristup javnosti, uklopljenost u tkivo mjesta i funkcionalnu svrhu.

Ova analiza nije puka tehnička priprema – ona je **kreativna baza za projektiranje**, iz koje se izvodi logika tlocrta, smještaja otvora, omjera punog i praznog, zaštite od sunca, krovne geometrije i organizacije vanjskih površina. Održivost se time „upiše“ u arhitektonsku logiku zgrade i ne ostaje ovisna o naknadnim tehnologijama.

Postavljanje ciljeva performansi kao dizajnerski alat

Drugi ključni korak ranog pozicioniranja održivosti jest **formulacija jasnih, mjerljivih i međusobno usklađenih ciljeva performansi**. Ovi ciljevi ne smiju biti općeniti (npr. „zelena zgrada“), već konkretni i evaluabilni, poput:

- maksimalne godišnje primarne energije (npr. $\leq 45 \text{ kWh/m}^2$);
- minimalnog udjela OIE (npr. $\geq 35 \%$);
- ciljanog certifikacijskog ranga (npr. BREEAM Excellent);
- udjela recikliranih materijala (npr. $\geq 15 \%$ mase);
- temperature operativne ugrade u ekstremnim uvjetima (npr. $\leq 27 \text{ }^\circ\text{C}$ bez mehaničkog hlađenja);
- indeks zdravlja prostora (npr. minimalni CO_2 ispod 800 ppm tijekom radnog vremena).

Ovi ciljevi se usklađuju između svih članova tima (arhitekt, investitor, inženjeri, konzultanti) i zapisuju u **projektantski manifest** ili početni brief. Tako se održivost ne prenosi kao pasivna obveza, već kao **aktivni orijentir dizajna**, koji ulazi u konkurenciju s drugim projektantskim vrijednostima – estetikom, budžetom, funkcionalnošću – i integrira se u konačno rješenje.

Simulacije i evaluacije u ranim fazama

Danas su arhitektima dostupni alati koji omogućuju **provođenje energetskih i okolišnih simulacija već u najranijim fazama oblikovanja**. Softveri poput **Climate Consultant, Sefaira, Grasshopper + Ladybug, DesignBuilder, Insight360** i mnogi drugi omogućuju izračune solarnih dobitaka, režima sjene, ventilacijskih tokova, dnevne svjetlosti i drugih pokazatelja – već u trenutku kada se oblikuju prvi volumeni. Time se omogućuje **iteracija između dizajna i simulacije**, što dovodi do povratne petlje poboljšanja.

Na primjer:

- premještanjem otvora za 15° može se smanjiti potreba za grijanjem za 12 %;
- izmjenom nagiba krova omogućuje se bolja proizvodnja solarne energije i smanjenje potrebe za rashladom;

- preoblikovanjem volumena smanjuje se omjer površina/volumen (A/V), čime se smanjuju ukupni gubici.

Simulacije u ranim fazama nisu samo inženjerski alati – one postaju **dizajnerski alat koji informira i strukturira arhitektonsku odluku**, omogućujući sintezu između forme i performanse.

Materijali, konstrukcije i LCA razmatranja od početka

U klasičnim projektnim ciklusima, materijali i konstrukcije često se definiraju tek u fazi glavnog ili izvedbenog projekta. Međutim, u kontekstu zelene zgrade, materijalna strategija mora biti poznata i **uključena već u početnu arhitektonsku koncepciju**.

Razlog za to leži u:

- **utjecaju materijala na utjelovljeni ugljik (embodied carbon);**
- **održivosti strukture** (npr. projektiranje za rastavljanje i reciklažu);
- **interakciji s okolišem i zdravljem korisnika** (npr. niskoemisijski materijali);
- **ekonomiji i dostupnosti lokalnih resursa;**
- **moćnosti projektiranja modularnih i suhopostavljivih sustava.**

Korištenje LCA alata kao što su **One Click LCA, Tally, eTool** u konceptualnoj fazi omogućuje kvantifikaciju utjecaja različitih scenarija – drvena struktura naspram betonske, ventilirana fasada naspram kontaktnog sustava, podna izolacija na bazi recikliranih vlakana naspram ekstrudiranog polistirena itd.

Materijali time više nisu tek teksturalni ili konstruktivni elementi, već **nositelji ekoloških i projektantskih značenja**, integrirani u širi sustav vrijednosti.

Održivost kao kriterij u odlučivanju o funkciji i programu

Jedan od važnih, ali često zanemarenih aspekata ranog pozicioniranja održivosti je **kritičko propitivanje funkcionalnog programa**. Održivost nije samo pitanje izvedbe zgrade, već i **pitanje potrebe za zgradom, njezine funkcije i razine korištenja**. U ranoj fazi, arhitekt i investitor mogu postaviti pitanja kao što su:

- Je li potrebna nova gradnja ili je moguća obnova?
- Može li se funkcionalni program racionalizirati?
- Postoji li mogućnost zajedničkog korištenja prostora (npr. coworking, dijeljene dvorane)?
- Može li se projekt prilagoditi za različite tipove korisnika tijekom vremena?

Održivost nije samo „kako graditi“, nego i **što, gdje, za koga i s kojom svrhom graditi**. Uključivanjem ovih pitanja već u startu, moguće je spriječiti prekomjerno građenje, izbjeći neiskorištene prostore i razviti funkcionalno fleksibilne koncepte koji traju i mijenjaju se s društvom.

Rano pozicioniranje održivosti u projektnom ciklusu nije samo tehnička strategija – to je **promjena mentalnog modela projektiranja**. Umjesto da se održivost promatra kao „zadnji sloj“ ili tehnički zahtjev koji se uklapa na kraju procesa, ona se integrira u **logiku, strukturu i poetiku arhitektonskog djela** od samog početka. Time arhitekt ne samo da ispunjava zakonske uvjete i ciljeve investitora, već oblikuje prostor koji ima potencijal biti **zdraviji, trajniji, odgovorniji i inspirativniji** – kako za korisnika, tako i za društvo u cjelini.

2.3 Arhitektonske strategije energetske učinkovitosti u ranim fazama

U kontekstu zelene zgrade i zahtjeva nZEB standarda, prva razina energetske učinkovitosti ne ostvaruje se tehničkim sustavima, već prostorno-oblikovnim odlukama koje su donesene u početnim fazama projektiranja. Ove odluke definiraju energetske potencijal objekta i u značajnoj mjeri određuju hoće li projekt imati mogućnost kasnije optimalne izvedbe, smanjene potrošnje energije i postizanja potrebnih performansi. Ključno je razumjeti da **energetska učinkovitost započinje arhitekturom**, a ne instalacijama.

Zbog toga arhitekt, već u fazi koncepcije, mora primijeniti niz strateških pristupa koji uzimaju u obzir lokalne klimatske uvjete, specifičnosti parcele i korisničke potrebe, ali i odgovaraju na regulatorne zahtjeve i ciljeve dekarbonizacije.

Orijentacija i raspored funkcija

Jedan od temeljnih faktora energetske učinkovitosti je **orijentacija zgrade** u odnosu na strane svijeta. Optimizirana orijentacija omogućuje **maksimalno korištenje solarne energije zimi** i **minimalni utjecaj pregrijavanja ljeti**, čime se smanjuje potreba za grijanjem, hlađenjem i umjetnom rasvjetom.

Osnovna pravila uključuju:

- **duža fasada zgrade okrenuta prema jugu** – omogućava bolju kontrolu solarnih dobitaka;
- **servisne i manje osjetljive prostorije (hodnici, spremišta, kupaonice) na sjevernoj strani, a dnevne zone i boravci prema jugu i zapadu;**
- **ograničavanje velikih ostakljenja na zapadu i istoku**, gdje je kontrola insolacije najteža;
- **kombiniranje orijentacije s lokalnim uvjetima vjetra** radi potpore prirodnoj ventilaciji.

Ispravna orijentacija smanjuje potrebu za aktivnim sustavima, a raspored funkcionalnih zona unutar objekta omogućava **pasivnu kontrolu mikroklima**.

Kompaktnost volumena

Kompaktan oblik zgrade smanjuje površinu kroz koju dolazi do gubitka ili dobitka topline, što izravno utječe na smanjenje energetske potrošnje. Korištenjem **A/V omjera (odnos omotača i volumena)** moguće je kvantificirati učinkovitost forme.

Primjeri:

- kvadratna ili cilindrična tlocrtna osnova obično ima niži A/V omjer;
- izbjegavanje izbočenja, uvučenih terasa i nepravilnih oblika poboljšava kompaktnost;
- višekatne zgrade su kompaktnije po jedinici površine nego prizemne.

Međutim, kompaktnost mora biti uravnotežena s dnevnom svjetlošću, ventilacijom i funkcionalnom raznolikošću, zbog čega je ključno analizirati više scenarija u fazi koncepcije.

Toplinska ovojnica

Kvaliteta toplinske ovojnice – zidovi, krov, pod, stolarija – presudna je za smanjenje toplinskih gubitaka zimi i pregrijavanja ljeti. U ranim fazama projektiranja donose se ključne odluke o:

- **vrsti i debljini izolacijskog sloja** (npr. kamena vuna, celuloza, drvena vlakna, PIR);
- **pozicioniranju izolacije** (izvana, iznutra, između slojeva);
- **materijalima s visokom termalnom inercijom** za akumulaciju topline;
- **kontinuitetu izolacije** bez toplinskih mostova;
- **zrakonepropusnosti** i kontroli infiltracije.

Dobra ovojnica smanjuje ovisnost o sustavima grijanja i hlađenja i stvara temelj za visoke energetske standarde, uključujući pasivnu kuću.

Zasjenjenje i kontrola insolacije

U ranim fazama, važno je projektirati **aktivne i pasivne sustave zasjenjenja**, s ciljem kontrole sunčeve energije, pogotovo na istočnoj i zapadnoj strani. Uključuju se:

- **konstruktivni elementi:** nadstrešnice, pergole, loggie, balkoni;
- **vegetacijski elementi:** listopadno drveće, zeleni krovovi, vertikalni vrtovi;
- **pokretni sustavi:** žaluzine, rolete, brisoleji, ekrani.

Simulacije insolacije omogućuju optimizaciju dimenzija nadstrešnica kako bi se zimi propustila maksimalna količina svjetlosti, a ljeti osigurala zaštita od pregrijavanja – posebno važno za zgrade bez aktivnog hlađenja.

Prirodna ventilacija i kros-ventilacija

Jedna od najčešće zanemarenih arhitektonskih strategija energetske učinkovitosti je pravilno planiranje **prirodne ventilacije**. U fazi koncepcije arhitekt mora:

- omogućiti **probojne osi između prozora** s različitih strana zgrade;
- koristiti **diferencijaciju visina** (npr. stubišta, atriji) za poticanje efekta dimnjaka;
- uskladiti **orijentaciju otvora s dominantnim smjerovima vjeta**;
- osigurati **sigurnosne i zvučne uvjete** koji neće onemogućiti otvaranje prozora.

U stambenim i uredskim zgradama, prirodna ventilacija može zamijeniti ili barem smanjiti potrebu za mehaničkom ventilacijom u velikom dijelu godine.

Dnevna svjetlost i osvjetljenje

Pristup prirodnoj svjetlosti ima velik utjecaj na energetske učinak (smanjenje potrebe za umjetnom rasvjetom), zdravlje korisnika i ukupnu kvalitetu prostora. Već u fazi oblikovanja moguće je:

- koristiti **dubinu prostora kompatibilnu s danjom svjetlošću** (idealno do 2,5× visina prozora);
- projektirati **rasvjetne tunele, krovne svjetlarnike ili dvostruke fasade**;
- optimizirati **omjer prozora i površine prostora (window-to-wall ratio)**;
- koristiti reflektirajuće površine, svjetlije podove i stropove za difuziju svjetla;
- implementirati **dinamičku rasvjetu i senzore** kako bi se rasvjeta prilagodila vanjskim uvjetima.

Standardi poput EN 17037 i pokazatelji poput **Daylight Factor** i **sDA (Spatial Daylight Autonomy)** mogu se analizirati već u ranim digitalnim modelima.

Uklopljenost u krajobraz i lokalni kontekst

Projekt koji integrira prirodni okoliš u svoju logiku postiže ne samo ekološke prednosti, već i energetske. Rani plan uključuje:

- **korištenje postojećeg drveća** za zasjenu;

- **modeliranje zemljišta za stvaranje zaštite od vjetra ili toplinskih barijera;**
- **postavljanje zgrade tako da koristi reflektiranu energiju (albedo) okolnih površina;**
- **planiranje korištenja vode i vegetacije** za mikroklimatsku stabilnost;
- **povezivanje s okolišnim koridorima** radi povećanja bioraznolikosti.

Ovi elementi nisu samo vizualni dodatak, već **aktivni energetske resursi** koji smanjuju opterećenje tehničkih sustava.

Arhitektonske strategije energetske učinkovitosti u ranim fazama projektiranja čine temelj svakog uspješnog zelenog projekta. One omogućuju da zgrada funkcionira u skladu s prirodom, umjesto da joj se suprotstavlja, te omogućuju inženjerskim sustavima da rade s minimalnim ulazima. Arhitekt ima odgovornost i priliku **integrirati ove principe u estetsku, funkcionalnu i prostornu logiku projekta**, stvarajući tako objekte koji su istovremeno energetske optimizirani, ugodni za boravak i arhitektonski relevantni.

2.4 Modeliranje performansi zgrade u konceptualnoj fazi

U tradicionalnom projektnom pristupu, simulacije energetske, okolišne i uporabne performansi zgrade često se provode tek u fazi glavnog ili izvedbenog projekta – kada su već definirani oblik, materijali, sustavi i organizacija prostora. U zelenoj arhitekturi, takav pristup više nije održiv. Za postizanje visokih razina energetske učinkovitosti, udjela obnovljivih izvora, udobnosti i otpornosti, nužno je uključiti **modeliranje performansi zgrade već u konceptualnoj fazi**, kada su promjene najjednostavnije, najjeftinije i najučinkovitije.

Modeliranje performansi ne služi isključivo za verifikaciju projektnih rješenja – ono postaje **dizajnerski alat**, koji arhitekt koristi kako bi informirao i unaprijedio vlastite odluke, testirao varijante i stvorio integrirano, podatkovno utemeljeno rješenje.

Uloga ranog modeliranja u procesu održivog projektiranja

Modeliranje performansi u ranim fazama omogućuje arhitektima i inženjerima da:

- prepoznaju **klimatske prilike i ograničenja lokacije** (vjetar, insolacija, temperatura);
- **procijene utjecaj oblikovnih odluka** na energetske bilancu, osvjetljenost, ventilaciju i komfor korisnika;
- optimiziraju **omjer površine ovojnice i volumena (A/V)**;
- analiziraju **učinkovitost pasivnih strategija** poput orijentacije, termalne mase, zasjenjenja i prirodne ventilacije;
- usporede različite varijante u pogledu **troška, emisija i potrošnje energije**;
- podupru odluke koje će kasnije biti potvrđene u detaljnim proračunima, npr. za nZEB ili certifikaciju.

Na taj način modeliranje transformira arhitekta iz reaktivnog korisnika podataka u **proaktivnog kreatora performansi**, pri čemu se oblik i energetske rezultate razvijaju istodobno, a ne sukcesivno.

Vrste simulacija u ranim fazama

U konceptualnoj fazi, modeliranje ne mora biti izrazito precizno, ali mora biti **relevantno i usmjereno**. U praksi, najčešće korištene metode uključuju:

1. **Analiza osunčanja i zasjene**

- određuje kako zgrada i njezini dijelovi primaju sunčevu energiju tijekom godine;
 - omogućuje pozicioniranje otvora, dimenzioniranje nadstrešnica i planiranje solarnih sustava;
 - alati: **Ladybug Tools, Revit Solar Study, SketchUp + Sefaira, ClimateStudio.**
- 2. Dnevna svjetlost i vizualni komfor**
- simulira distribuciju prirodne svjetlosti u interijeru;
 - omogućuje optimizaciju dubine prostora, prozorskih otvora i reflektirajućih površina;
 - metrika: **Daylight Autonomy (sDA), Annual Sunlight Exposure (ASE), Daylight Factor (DF);**
 - alati: **Velux Daylight Visualizer, Honeybee, Rhino + ClimateStudio.**
- 3. Termalni komfor i energetska potreba**
- procjenjuje korisnu energiju za grijanje i hlađenje (QH,nd, QC,nd);
 - simulira termalne tokove, utjecaj izolacije, ventilacije, mase;
 - koristi pojednostavljene modele za brzu usporedbu scenarija;
 - alati: **DesignBuilder, PHPP (za pasivne kuće), OpenStudio, IDesign.**
- 4. Prirodna ventilacija**
- analizira učinak otvora i unutarnje organizacije na ventilacijske tokove;
 - evaluira mogućnost hlađenja bez mehaničkih sustava;
 - koristi osnovne CFD analize ili grafičke metode protoka zraka;
 - alati: **FlowDesigner, SimScale, Autodesk CFD, Rhino CFD plugin.**
- 5. Analiza životnog ciklusa (LCA) – rani LCA**
- kvantificira utjecaj materijala i konstrukcija na okoliš u smislu emisije CO₂, potrošnje energije i resursa;
 - omogućuje usporedbu materijalnih sustava (beton vs. drvo, EPS vs. vuna);
 - alati: **One Click LCA, eToolLCD, Tally, Athena Impact Estimator.**
- 6. Kombinirane višekriterijske optimizacije**
- optimiziraju više ciljeva istovremeno (npr. energija, svjetlost, trošak);
 - koriste evolucijske algoritme ili AI sustave;
 - alati: **Grasshopper + Galapagos, Insight360, Autodesk Forma (bivši Spacemaker).**

Razina preciznosti i upravljanje nesigurnostima

U ranoj fazi projektiranja, mnoge informacije još nisu poznate (npr. debljina izolacije, tip stakla, točna tehnička oprema), pa se modeli temelje na **pretpostavljenim vrijednostima i tipičnim parametrima**. Važno je razumjeti da svrha ranog modeliranja nije precizna kvantifikacija, već **usmjeravanje dizajna u energetska i okolišno povoljan okvir**.

Strategije upravljanja nesigurnostima uključuju:

- korištenje **referentnih vrijednosti iz propisa ili smjernica (npr. EN ISO 13790);**
- provođenje **osjetljivostne analize** za ključne parametre (npr. razne debljine izolacije);
- upotrebu **raspona rezultata umjesto jedne brojke** (npr. 42–50 kWh/m² umjesto fiksnog 46);
- jasan zapis pretpostavki u dokumentaciji modela.

Arhitekt pritom mora blisko surađivati s energetske savjetnicima i koristiti **vizualizaciju rezultata** (grafovi, karte, interaktivni modeli) kako bi odluke bile razumljive svim članovima tima i investitoru.

Integracija s BIM-om i IPA metodologijom

Kada se rane simulacije provode unutar **BIM okruženja** (npr. Revit, ArchiCAD + dodatni pluginovi), omogućuje se:

- neometana razmjena podataka s inženjerima;
- brzo ažuriranje modela nakon promjene koncepcije;
- automatsko generiranje izvještaja i metrika;
- povezivanje simulacija sa stvarnim troškovima (BIM 5D) i održivošću (BIM LCA).

U integriranom projektantskom pristupu (IPA), modeliranje performansi postaje **jezik komunikacije među disciplinama**. Npr. promjena volumena koju predloži arhitekt može odmah biti evaluirana po pitanju energetske bilance, osvjetljenosti i LCA, što omogućuje **evidentno i argumentirano donošenje odluka**.

Primjeri i dobre prakse

U projektima koji su uspješno koristili ranu analizu performansi, zabilježeni su konkretni benefiti:

- **zgrada sveučilišnog kampusa u Norveškoj** smanjila je predviđenu energiju za grijanje za 38 % promjenom orijentacije i geometrije krova u konceptualnoj fazi;
- **obiteljska kuća u Austriji** ostvarila je nZEB standard isključivo pasivnim mjerama, jer su već u natječajnom projektu korišteni alati za izračun QH,nd u PHPP-u;
- **uredska zgrada u Francuskoj** koristila je Sefaira za optimizaciju dnevne svjetlosti, čime je smanjila potrebu za umjetnom rasvjetom za 55 % bez dodatnih ulaganja.

Takvi primjeri pokazuju da rano modeliranje nije luksuz, već **najučinkovitiji alat za postizanje održivih ciljeva**.

Modeliranje performansi u konceptualnoj fazi omogućuje arhitektima da svoju kreativnost nadgrade analitičkim alatima, koji osiguravaju da arhitektonska rješenja ne budu samo vizualno privlačna, već i energetski, okolišno i funkcionalno optimizirana. U zelenoj arhitekturi, forma i performansa nisu odvojene kategorije – one nastaju zajedno. Rano modeliranje omogućuje upravo to: **projekt koji misli unaprijed, djeluje odgovorno i komunicira s realnošću**.

2.5 Projektiranje prema životnom ciklusu (LCA, LCC)

Jedan od temeljnih zahtjeva zelene gradnje jest **promišljanje dugoročnih učinaka zgrade tijekom cijelog njezinog postojanja**, uključujući ne samo fazu uporabe, već i sve procese prije i nakon – od proizvodnje materijala, gradnje i održavanja, do rušenja, reciklaže i odlaganja. Takvo promišljanje oblikuje se kroz metodologiju **projektiranja prema životnom ciklusu**, koja se temelji na dvama ključnim analitičkim alatima: **LCA (Life Cycle Assessment)** i **LCC (Life Cycle Cost)**.

Ovi alati omogućuju kvantificiranje utjecaja i troškova arhitektonskih odluka kroz vrijeme, čineći projektiranje **informiranijim, transparentnijim i dugoročno održivijim**. Arhitekt, kao ključni kreator rješenja u ranoj fazi, ima odgovornost i mogućnost da ovim alatima

oblikuje projekte koji neće biti samo energetske učinkoviti u uporabi, već i **ekološki i ekonomski održivi tijekom cijelog životnog vijeka**.

LCA (Life Cycle Assessment): analiza okolišnog otiska

LCA je **znanstveno utemeljena metoda kvantifikacije ukupnog okolišnog utjecaja građevine**, njezinih materijala i sustava, kroz sve faze životnog ciklusa. Europski standard **EN 15978** definira četiri osnovne faze LCA analize za zgrade:

- **A – Faza izgradnje (proizvodnja i transport materijala, gradilište)**
- **B – Faza uporabe (održavanje, zamjene, popravci, operativna energija i voda)**
- **C – Kraj životnog vijeka (rušenje, transport otpada, reciklaža ili odlaganje)**
- **D – Potencijalni pozitivni utjecaji izvan granica sustava (reciklažna vrijednost materijala, oporavak energije)**

Ključne LCA metrike uključuju:

- **Global Warming Potential (GWP)** – ukupne emisije CO₂ ekvivalenata;
- **Resource Depletion** – iscrpljivanje neobnovljivih materijala;
- **Acidification Potential** – potencijal za zakiseljavanje okoliša;
- **Eutrophication** – doprinos prekomjernoj opskrbi hranjivim tvarima;
- **Ozone Depletion Potential** – utjecaj na razgradnju ozonskog sloja.

Alati kao što su **One Click LCA, Tally (Revit), eToolLCD, Athena i SimaPro** omogućuju izvođenje ovih analiza već u BIM okruženju, povezujući projektantske modele s bazama podataka (npr. EPD, ÖKOBAUDAT, ILCD).

LCA analiza omogućuje arhitektima da:

- usporede utjecaj različitih materijala (npr. beton vs. drvo, čelik vs. aluminij);
- procijene korisnost prefabriciranih sustava;
- optimiziraju omjer mase i performanse konstrukcija;
- integriraju reciklirane ili obnovljive materijale;
- odluče o trajnosti i održavanju pojedinih elemenata.

Utjelovljeni ugljik: ključna metrika za dekarbonizaciju

Unutar LCA analize, posebnu važnost u kontekstu klimatskih ciljeva ima **utjelovljeni ugljik (embodied carbon)** – ukupna količina emisija CO₂ vezana uz **materijale, transport, gradnju i kraj životnog vijeka**, bez uključivanja potrošnje energije u uporabi. Prema novijim istraživanjima, **do 60 % ukupnog CO₂ otiska novih zgrada može biti sadržano u utjelovljenom ugljiku**, osobito kod zgrada koje su nZEB ili pasivne, s vrlo niskim operativnim emisijama.

Projektiranjem s naglaskom na smanjenje utjelovljenog ugljika, arhitekt može:

- birati materijale s nižim GWP (npr. drvo, reciklirani beton, prirodni izolatori);
- reducirati ukupnu količinu materijala kroz optimizaciju konstrukcija;
- koristiti projektiranje za rastavljanje (design for disassembly);
- maksimizirati potencijal za ponovnu uporabu;
- smanjiti udaljenost transporta materijala (lokalni izvori).

Od 2030. godine, Direktiva o energetskim svojstvima zgrada (EPBD) predviđa **obvezu izračuna emisija iz životnog ciklusa zgrada u cijeloj EU**, čime LCA postaje ne samo alat dobre prakse, već i **regulatorna obveza**.

LCC (Life Cycle Cost): ekonomska održivost kroz vrijeme

LCC je metoda procjene **ukupnih troškova projekta tijekom njegovog životnog vijeka**, uključujući troškove izgradnje, uporabe, održavanja, zamjena, kao i troškove kraja životnog ciklusa. Cilj LCC-a nije pronaći najjeftinije rješenje u startu, već **najisplativije dugoročno**.

Tipične komponente LCC analize uključuju:

- **C₀: investicijski trošak** (materijali, rad, instalacije, oprema);
- **C_o: operativni troškovi** (energija, voda, korisnička oprema);
- **C_m: troškovi održavanja i zamjena** (filteri, uređaji, obloge);
- **C_r: troškovi rušenja, zbrinjavanja, reciklaže**;
- **R: rezidualna vrijednost materijala i opreme**.

LCC analiza koristi se za:

- usporedbu sustava grijanja ili ventilacije prema TCO (Total Cost of Ownership);
- odluke o materijalima čija dugovječnost opravdava veću početnu cijenu;
- odluke o autonomnim sustavima (PV, solarni kolektori, dizalice topline);
- evaluaciju certifikacijskih strategija (LEED, BREEAM) s financijskog aspekta.

U kontekstu javnih investicija, sve češće se LCC koristi i kao **kriterij zelene javne nabave**, dok EU taksonomija zahtijeva **procjenu financijskih učinaka održivih značajki** u prijavama za financiranje.

Sinteza LCA i LCC: donošenje uravnoteženih odluka

Iako LCA i LCC proizlaze iz različitih pristupa – okolišnog i ekonomskog – njihova kombinirana primjena omogućuje **donositelju odluka uvid u kompletnu održivost zgrade**. Npr.:

- materijal s niskim emisijama može imati visoke troškove održavanja;
- sustav s visokom početnom cijenom može donijeti uštedu u operativnoj potrošnji i CO₂ emisijama;
- rješenje koje je povoljno kratkoročno može imati visoki okolišni otisak u fazi rušenja.

Stoga se sve više koristi metodologija **Whole Life Carbon and Cost Analysis**, koja omogućuje:

- **optimizaciju između troška i okolišnog utjecaja**;
- modeliranje **scenarija prema vremenskim horizontima (10, 30, 50 godina)**;
- kvantifikaciju **ušteta kroz održavanje i zdravlje korisnika**;
- bolje planiranje dugoročne obnove i prilagodbe zgrade.

Primjena u praksi: kako arhitekt koristi LCA i LCC

Za arhitekta, LCA i LCC predstavljaju **odlučujući alat pri donošenju informiranih projektantskih odluka**, naročito u kontekstu sve većih regulatornih, ekoloških i investicijskih zahtjeva. Njihova primjena u projektnoj praksi uključuje:

- integraciju s BIM modelima za automatsko preuzimanje količina i klasifikacija materijala;
- ranu evaluaciju više varijanti konstrukcijskih i obložnih sustava;
- korištenje EPD-a (Environmental Product Declarations) za preciznije podatke;
- suradnju s LCA/LCC konzultantima u interdisciplinarnom timu;
- uključivanje rezultata analiza u komunikaciju s investitorom i korisnicima;
- korištenje u natječajnim elaboratima, javnim nabavama i certifikacijama.

Pritom je ključno da LCA i LCC **ne zamijene arhitektonsku prosudbu**, već je podrže – kao alati koji daju kvantitativnu potvrdu kvalitativnih odluka.

Projektiranje prema životnom ciklusu omogućuje stvaranje zgrada koje su **ekološki odgovorne i ekonomski održive**, ne samo u trenutku izgradnje, već tijekom desetljeća korištenja i nakon njegova završetka. Kroz LCA arhitekt razumije **ekološki otisak vlastitih odluka**, dok mu LCC omogućuje **procjenu stvarnih troškova i koristi** kroz vrijeme. U integriranom pristupu zelenoj arhitekturi, ova dva alata ne predstavljaju birokratski dodatak, već **temelj za projektiranje zgrada koje zaista odgovaraju na izazove 21. stoljeća** – klimatske, društvene i gospodarske.

2.6 Određivanje projektnih prioriteta i donošenje odluka u zelenom dizajnu

Projektiranje zelene zgrade zahtijeva odlučivanje u kontekstu više međusobno isprepletenih ciljeva: energetske učinkovitosti, niskog okolišnog otiska, zdravlja korisnika, otpornosti, dugovječnosti, funkcionalnosti i estetske vrijednosti. U realnom procesu, ovi ciljevi često **nisu međusobno usklađeni**, već dolaze u konkurenciju – ograničen budžet, vremenski pritisci, prostorna ograničenja, zakonski okviri i tržišna očekivanja dodatno kompliciraju donošenje odluka.

Stoga jedan od ključnih izazova arhitekta u održivom projektiranju nije samo poznavanje strategija i alata, već **spособnost definiranja projektnih prioriteta i upravljanja kompromisima**. Ovaj odlomak obrađuje kako se ti prioriteti definiraju, koji alati i metode mogu pomoći u donošenju odluka, te kako se održivi ciljevi mogu operacionalizirati unutar integriranog dizajnerskog procesa.

Definiranje projektnih prioriteta: hijerarhija vrijednosti

Svaki projekt započinje nizom ciljeva koji su međusobno povezani, ali i konkurentni. Prioriteti se najčešće definiraju u skladu s:

- **investitorskim ciljevima** (npr. minimalni trošak, certifikacija, tržišna atraktivnost);
- **kontekstualnim uvjetima** (lokacija, klima, zakonodavstvo);
- **tehničkim mogućnostima tima i dostupnom tehnologijom**;
- **vrijednostima i filozofijom arhitekta i interdisciplinarnog tima**;
- **dugoročnim koristima za korisnike, zajednicu i okoliš**.

Uspješni projekti definiraju **strukturiranu hijerarhiju ciljeva**, često raspodijeljenu na:

- **primarne ciljeve** – bez kojih projekt ne zadovoljava temeljne zahtjeve (npr. ispunjavanje nZEB standarda);
- **sekundarne ciljeve** – važne za dodatnu vrijednost, ali podložne optimizaciji (npr. estetska forma, materijalna simbolika);
- **tercijarne ciljeve** – poželjne, ali zamjenjive (npr. određeni sustavi pametne kuće, specifične vrste materijala).

Na taj način, projektni tim razvija **jasan okvir odlučivanja** koji omogućuje da se u kritičnim trenucima lakše donese kompromis bez gubitka suštinske kvalitete projekta.

Odlučivanje temeljem više kriterija (MCDM metode)

S obzirom na složenost održivog projektiranja, mnogi arhitektonski uredi i konzultantski timovi koriste **metode višekriterijskog odlučivanja (MCDM – Multi-Criteria Decision Making)** kako bi analizirali više varijanti projekta u odnosu na definirane kriterije.

Najpoznatije metode uključuju:

- **Weighted Sum Model (WSM)** – svaki kriterij nosi određenu težinu; varijante se ocjenjuju i zbrajaju ponderirane vrijednosti;
- **Analytic Hierarchy Process (AHP)** – koristi usporedne matrice za strukturalno rangiranje prioriteta;
- **TOPSIS** – uspoređuje udaljenost svake varijante od idealnog i najgoreg scenarija;
- **Pareto optimizacija** – odabir varijanti kod kojih se nijedan kriterij ne može poboljšati bez pogoršanja drugog.

U arhitektonskoj praksi, ove metode mogu se pojednostaviti i vizualizirati kroz **matrice odluke, radionice s timom i klijentima** ili interaktivne alate za višekriterijsko ponderiranje (npr. Sefaira, Insight360, BIM-integrirane platforme).

Kriteriji se obično biraju među sljedećima:

- godišnja potrošnja primarne energije;
- emisije CO₂ kroz LCA;
- trošak izgradnje i održavanja (LCC);
- kvaliteta unutarnje mikroklimе;
- fleksibilnost prostora;
- lokalna dostupnost materijala;
- ukupna razina certifikacije (LEED, DGNB, BREEAM);
- estetski, društveni i simbolički aspekti.

Kompromis kao oblik održivog odlučivanja

Jedan od najvećih izazova održivog projektiranja leži u prihvaćanju da **ne mogu svi ciljevi biti maksimalno ostvareni istovremeno**. Npr.:

- povećanje izolacije poboljšava energetska učinkovitost, ali povećava utjelovljeni CO₂;
- sustavi aktivne ventilacije poboljšavaju kvalitetu zraka, ali povećavaju operativnu energiju i trošak;
- ugradnja PV panela na južnoj fasadi može narušiti estetiku ili urbanističku konzistenciju.

U tim slučajevima, arhitekt mora:

1. **prepoznati točku konflikta** – koja se najčešće javlja na granici između performanse i izražajnosti;
2. **procijeniti trošak kompromisa** – kvantitativno i kvalitativno;
3. **argumentirati odluku na temelju ukupne koristi kroz životni vijek zgrade**.

U tom procesu, **transdisciplinarna suradnja** je ključna. Konsenzus ne nastaje konsenzualnim smanjivanjem zahtjeva, već **inteligentnim povezivanjem potencijala različitih rješenja**.

Postavljanje graničnih uvjeta: minimalni standardi i gornje granice

Osim hijerarhije ciljeva, projektni tim treba postaviti i **granične uvjete** – pragove ispod ili iznad kojih projekt više ne zadovoljava ključne standarde održivosti. To mogu biti:

- **maksimalni GWP (Global Warming Potential) za građevinske materijale;**
- **minimalni udio OIE u ukupnoj potrošnji;**
- **maksimalna potrošnja primarne energije po m² godišnje;**
- **najviša dopuštena razina VOC emisija u interijerima;**
- **minimalna ocjena za korisnički komfor (akustika, termika, svjetlo).**

Postavljanje graničnih uvjeta omogućuje eliminaciju rješenja koja ne zadovoljavaju temeljne uvjete, ali i **usmjerava kreativni potencijal** unutar definiranih okvira.

Uloga investitora u donošenju održivih odluka

Jedan od ključnih izazova u definiranju prioriteta u zelenom dizajnu jest **usklađivanje projektantskih ciljeva s poslovnim ciljevima investitora**. U većini slučajeva, investitor teži optimizaciji ulaganja i brzom povratu sredstava, dok održivi dizajn često zahtijeva **veća početna ulaganja, ali i dugoročne koristi**.

Arhitekt u toj situaciji preuzima ulogu **interpretatora i prevoditelja vrijednosti održivosti** u jezik investicijske logike. To podrazumijeva:

- kvantifikaciju koristi (npr. uštede energije, niži operativni troškovi, viša tržišna vrijednost);
- prikaz povrata investicije (ROI) kroz LCC analize;
- isticanje nefinancijskih koristi (npr. zdravlje korisnika, reputacija, ESG metrike);
- prijedlog fazne implementacije (npr. osnovna izvedba + kasnije dodavanje PV sustava).

Upravo ovakva komunikacija omogućuje **donošenje racionalnih odluka koje nadilaze kratkoročnu isplativost**.

Održiva odluka kao dizajnerski alat

U konačnici, održiva odluka ne smije biti samo rezultat izračuna, već **akt arhitektonskog stvaranja**. Integrirani dizajn uključuje:

- *faktičku razradu* – koja pokazuje da je rješenje izvedivo, učinkovito i usklađeno s propisima;
- *poetičku komponentu* – gdje se održivost izražava i kao prostorna, materijalna i društvena vrijednost;
- *kulturnu poziciju* – kojom arhitektura zauzima stav prema klimi, resursima i životu korisnika.

Takav pristup omogućuje da projektne odluke, i kada su rezultat kompromisa, zadrže **identitet, dosljednost i dugoročnu vrijednost**.

U zelenom dizajnu, odluke se ne donose samo između bolje i lošije varijante, već između **niza konkurentskih ciljeva koji svi imaju svoju važnost**. Upravljanje tim kompleksnostima zahtijeva strukturirani pristup određivanju prioriteta, korištenje analitičkih alata, timsku komunikaciju i duboko razumijevanje cjelovitosti arhitektonskog djela. Samo tako moguće je stvoriti zgradu koja nije kompromis održivosti, nego **njezino utjelovljenje – u materijalu, prostoru, energetici i iskustvu**.

3. PASIVNI DIZAJN I OPTIMIZACIJA OBLIKOVNIH PARAMETARA

3.1 Orijentacija i oblik zgrade

U pasivnom dizajnu, oblik i orijentacija zgrade nisu samo estetski ni funkcionalni elementi – oni su **energetski alat**. Njihov utjecaj na potrošnju energije, toplinsku ugodu i mogućnosti korištenja obnovljivih izvora toliko je značajan da se često ističe kako je energetska učinkovitost zgrade „odlučena“ već u fazi koncepcije, kroz nekoliko temeljnih prostornih parametara. Orijentacija prema stranama svijeta i geometrijska konfiguracija zgrade definiraju temeljne odnose zgrade prema suncu, vjetru, tlu i okolišu, a time i potencijal za ostvarenje visokih performansi bez oslanjanja na mehaničke sustave.

U ovom odlomku analiziraju se osnovna načela pravilne orijentacije, oblikovne kompaktnosti, konfiguracije volumena te interakcije s lokalnim kontekstom, kao temelj za cjelokupan pasivni dizajn.

Utjecaj orijentacije na energetske performanse

Orijentacija zgrade podrazumijeva **usmjerenje glavnih pročelja i prostora** u odnosu na strane svijeta, a time i na kretanje sunca, prevladavajuće vjetrove i promjene temperature tijekom dana i godine. Ispravna orijentacija omogućuje **maksimalno iskorištavanje solarne energije zimi i smanjenje pregrijavanja ljeti**, dok istovremeno podržava prirodnu ventilaciju, dnevno osvjjetljenje i mikroklimatsku ugodnost.

Idealna orijentacija za zgrade u umjerenj klimi (poput srednje Europe) uključuje:

- **južno orijentirana glavna pročelja**, s mogućnošću kontroliranih solarnih dobitaka;
- **izbjegavanje velikih ostakljenih površina na zapadu i istoku**, gdje je insolacija teško kontrolirana;
- **kompaktna sjeverna strana**, sa smanjenim brojem otvora, zbog toplinskih gubitaka i nedostatka direktnog sunčevog zračenja;
- **korištenje orijentacije u funkciji funkcionalnog zoniranja** – prostorije koje zahtijevaju toplinu i svjetlost (dnevni boravak, kuhinja) orijentirati prema jugu, a servisne prostore (hodnici, kupaonice) prema sjeveru.

Važno je razumjeti da **optimalna orijentacija nije univerzalna**, već ovisi o:

- klimatskoj zoni (npr. mediteranska klima daje prednost zasjenjenju južnih pročelja);
- funkciji zgrade (škole, bolnice i uredske zgrade imaju drugačije potrebe od stambenih);
- urbanističkom kontekstu i ograničenjima parcele.

Zato je nužno već u ranim fazama provesti **lokacijsku analizu insolacije, sjene i vjetra** uz pomoć digitalnih alata i simulacija.

Geometrija zgrade i kompaktnost

Oblik zgrade, odnosno njezina **geometrijska konfiguracija i omjer površine ovojnice i volumena (A/V omjer)**, izravno utječe na količinu toplinskih gubitaka zimi i toplinskih dobitaka ljeti. Što je oblik **kompaktniji**, tj. s manjom površinom ovojnice u odnosu na volumen, to su **manji specifični gubici i manje potrebe za energijom za grijanje i hlađenje**.

Primjeri A/V omjera:

- Kocka $A/V \approx 0,5$ (izrazito povoljno)

- L-tlocrt $A/V \approx 0,8$ (manje povoljno)
- Trokutasti, razvedeni oblici $A/V > 1$ (nepovoljno)

Iako arhitektonska kompozicija može zahtijevati razvedenost zbog prostorne dinamike ili konteksta, **potrebno je svjesno balansirati energetske učinak s izražajnim ambicijama**. Ponekad se gubitak kompaktnosti može kompenzirati boljim izolacijama, pasivnim sustavima ili PV integracijom – ali uz veći trošak.

Kompaktna forma također:

- **olakšava upravljanje termalnom masom;**
- **smanjuje izloženost vanjskim utjecajima** (vjetar, vlaga, buka);
- **povećava iskoristivost volumena po jedinici investicije;**
- **smanjuje površinu kroz koju prolazi difuzija zraka i infiltracija.**

Horizontalna i vertikalna artikulacija volumena

Oblik zgrade obuhvaća i **prostornu artikulaciju u horizontali i vertikali**, čime se definiraju odnosi masa, visina i međusobnog zasjenjenja. Posebnu pažnju treba obratiti na:

- **visinu zgrade u odnosu na širinu** – niska, rasprostranjena forma (bungalov) ima veći A/V omjer nego kompaktna višekatnica;
- **nagib krova i njegovu orijentaciju** – ključni za integraciju fotonaponskih i solarnih kolektora;
- **uvučene i izbočene dijelove** – koji mogu stvarati hladne mostove, ali i osigurati pasivnu zaštitu od insolacije;
- **pristup svjetlosti duboko u tlocrt** – omogućuje korištenje središnjih prostora bez umjetne rasvjete.

Korištenje **atriuma, svjetlarnika, međuprostora i dvostrukih ovojnica** može poboljšati osvjetljenost i ventilaciju, ali zahtijeva pažljivu termičku evaluaciju.

Orijentacija i oblik kao podloga za PV optimizaciju

U pasivnom dizajnu koji uključuje **aktivnu integraciju obnovljivih izvora energije**, osobito fotonaponskih sustava, **orijentacija i oblik krova** imaju izravan utjecaj na godišnju proizvodnju električne energije.

Idealne značajke:

- **krov orijentiran prema jugu**, nagiba 30° – 35° ;
- **nezasjenjena površina** tijekom cijelog dana i godine;
- **minimalna perforacija krova (dimnjaci, prozori);**
- **jedna ili dvije krovne ravnine**, umjesto višestruko lomljenih površina.

U urbanim područjima, orijentacija krova može biti ograničena gabaritima ili regulativom, zbog čega oblikovanje mora **maksimalno koristiti dostupni kut i prostor**, a ponekad uključiti i fasadnu PV integraciju.

Interakcija s urbanističkim kontekstom i parcelom

Orijentacija i oblik ne definiraju se u vakuumu, već u interakciji s:

- **dimenzijama, orijentacijom i nagibom parcele;**
- **postojećom izgrađenom strukturom i zasjenjenjem iz susjedstva;**
- **regulativnim ograničenjima (građevinska linija, visina, udaljenost);**
- **vlastitim okolišnim potencijalima (npr. postojećim drvećem).**

Optimalni rezultat postiže se kada **volumetrija zgrade proizlazi iz specifičnosti lokacije**, a ne iz univerzalnog tipološkog predloška. U tom smislu, pasivni dizajn je **kontekstualan pristup**, a ne katalog rješenja.

Digitalne metode analize orijentacije i oblika

Danas postoje brojni digitalni alati koji omogućuju **kvantifikaciju utjecaja orijentacije i oblika na performanse zgrade**, već u najranijim fazama projektiranja. Među najčešće korištenima:

- **Ladybug + Honeybee (Rhino/Grasshopper)** – analize insolacije, sjene, dnevnog svjetla;
- **Sefaira** – energetska učinkovitost prema orijentaciji i masi;
- **Insight360 (Revit)** – analiza učinka oblika zgrade i PV proizvodnje;
- **ClimateStudio** – napredne simulacije insolacije i osvjetljenosti;
- **Autodesk Forma (ex Spacemaker)** – automatske optimizacije prema solarnim dobitcima i vidljivosti.

Ovi alati omogućuju da oblik i orijentacija budu rezultat **dizajnersko-analičke povratne sprege**, a ne pretpostavke.

Orijentacija i oblik zgrade predstavljaju **temeljne arhitektonske parametre u pasivnom dizajnu**, s izravnim utjecajem na sve aspekte energetske učinkovitosti, komfora i održivosti. Odlučuju o količini sunčeve energije, raspodjeli svjetlosti, potrebi za grijanjem i hlađenjem, mogućnosti prirodne ventilacije i potencijalu za integraciju obnovljivih izvora. U uvjetima zelene gradnje, arhitekt više ne može promatrati oblik kao apstraktni kompozicijski izazov, već kao **strategijski alat koji oblikuje ekološku inteligenciju prostora**. Integracijom analize orijentacije i oblikovanja u početne faze projektiranja, stvaraju se zgrade koje nisu samo prostorno artikulirane, već i **energetski optimizirane, prilagodljive i dugoročno odgovorne**.

3.2 Kompaktnost i omjer ovojnice i volumena (A/V)

Kompaktnost zgrade predstavlja jednu od najsnažnijih pasivnih strategija za postizanje energetske učinkovitosti i smanjenja toplinskih gubitaka. U arhitektonskom i tehničkom smislu, kompaktnost se mjeri kroz **omjer površine vanjske ovojnice i grijanog volumena zgrade (A/V omjer)**. Ovaj pokazatelj služi kao osnovna metrika u procjeni energetske racionalnosti oblikovne koncepcije i ima izravne implikacije na projektne odluke, trošak izgradnje, materijalnu učinkovitost i ukupnu održivost objekta.

Definicija i metodologija izračuna A/V omjera

Omjer ovojnice i volumena izražava se kao:

$$A/V = \frac{\text{Površina vanjske ovojnice (m}^2\text{)}}{\text{Volumen grijanog prostora (m}^3\text{)}} =$$

- **A** uključuje sve vanjske površine koje omeđuju grijani prostor: zidove, krov, pod prema vanjskom zraku ili tlu, vanjska vrata i prozore;
- **V** uključuje obujam prostora koji se kondicionira (grije, hladi ili ventilira), a ne uključuje negrijane prostore (garaže, tavane bez izolacije).

Niži A/V omjer označava **veću kompaktnost**, što znači da je manja količina ovojnice potrebna za isti obujam prostora – čime se smanjuju **toplinski gubici kroz konstrukciju i difuzija zraka**, ali i ukupni troškovi izgradnje.

Primjeri A/V omjera u različitim tipologijama:

- **kockasta kuća:** $A/V \approx 0,6$
- **linearna stambena zgrada:** $A/V \approx 0,4$
- **L-oblika kuća s unutarnjim dvorištem:** $A/V \approx 0,8$
- **razvedena vila** s mnogo izbočenja i lođa: $A/V > 1,0$

Cilj pasivnog projektiranja je **postizanje A/V omjera $\leq 0,8$** , gdje je to izvedivo i funkcionalno opravdano.

Toplinski gubici i uštede povezane s kompaktnosti

Budući da toplinski tokovi (Q) kroz ovojnici zgrade ovise o površini A, toplinskom otporu R i razlici temperature ΔT , svaka dodatna površina povećava potrebu za energijom. Smanjenjem A/V omjera, zgrada automatski:

- **smanjuje specifične gubitke energije za grijanje (QH,nd);**
- **povećava učinkovitost ventilacijskih sustava** jer je obujam prostora optimalno zatvoren;
- **smanjuje količinu izolacijskih i završnih materijala**, čime doprinosi nižem utjelovljenom ugljiku;
- **povećava potencijal za ravnomjernu raspodjelu temperature unutar prostora.**

Npr. dvije zgrade istog volumena (600 m^3), od kojih jedna ima $A/V = 0,7$, a druga $A/V = 1,0$, mogu imati **i do 30 % razliku u potrebama za grijanjem i hlađenjem**, pri istim parametrima ovojnice. Time kompaktnost ne predstavlja samo arhitektonsku vrijednost, već **klimatsko-ekonomsku strategiju**.

Dizajnerski izazovi kompaktnosti: između funkcionalnosti i učinkovitosti

Iako niska vrijednost A/V omjera donosi brojne koristi, **postizanje visoke kompaktnosti nije uvijek arhitektonski poželjno ni prostorno optimalno**. Projektanti moraju uskladiti potrebu za kompaktnim volumenom s:

- **funkcionalnim zahtjevima** korisnika (npr. želja za izravnim izlazom iz više prostorija na vanjski prostor);
- **osunčanošću** unutarnjih prostora (kompaktni volumeni teže dovode svjetlost u dubinu prostora);
- **zonskom organizacijom** (npr. odvajanje tiših i bučnijih funkcija);
- **urbanističkim i oblikovnim zahtjevima** (npr. zgrade unutar povijesnih cjelina, gabariti susjedstva).

Zato kompaktnost mora biti **rezultat optimizacije**, a ne isključiv kriterij. U nekim slučajevima, blago razveden oblik može stvoriti **energetski povoljnije unutarnje mikroklima**, omogućiti **prirodnu ventilaciju i osvjetljenje**, pa čak i **povećati udio obnovljivih izvora (PV površina)**.

Vertikalna i horizontalna kompaktnost

Važno je razlikovati **horizontalnu i vertikalnu kompaktnost**:

- **Horizontalna kompaktnost:** podrazumijeva što manju razvedenost u tlocrtu – koristi se kod urbanih, gustom izgrađenih sredina ili pasivnih kuća u hladnijim klimama;
- **Vertikalna kompaktnost:** viši objekti s manjom bazom – koristi se kod višestambenih zgrada, uredskih tornjeva i projekata na skućenim parcelama.

Optimalno rješenje ovisi o:

- klimatskoj zoni (u hladnijim područjima kompaktnost je važnija);
- tipu korištenja (stambena, uredska, školska zgrada);
- dostupnosti zemljišta i regulativi.

Važno je napomenuti da **ne postoji univerzalni „idealni“ oblik** – postoji samo oblik optimiziran za određeni kontekst i zadani skup projektnih ciljeva.

A/V i energetska certifikacija

A/V omjer koristi se kao **indikator pasivnog dizajna** u mnogim certifikacijskim sustavima, uključujući:

- **Passive House (PHI)** – kompaktnost je jedan od četiri osnovna uvjeta;
- **DGNB** – koristi se u ocjeni energetske učinkovitosti i LCA;
- **LEED i BREEAM** – ne koriste izravno A/V, ali posredno kroz potrošnju energije i materijala;
- **nacionalni standardi (npr. HR EN 15316, EN ISO 13790)** – koriste A/V za referentne proračune.

A/V je koristan i za **usporedbu projektnih varijanti u ranoj fazi**, osobito ako se koristi uz ostale pokazatelje (QH,nd, LCA, LCC).

Digitalna optimizacija kompaktnosti

Korištenjem parametarskih alata i algoritama moguće je provoditi **automatsku optimizaciju oblika zgrade u funkciji A/V omjera**, uz istovremenu kontrolu nad osvjetljenošću, volumenom, PV potencijalom i funkcionalnim rasporedom.

Najčešće korišteni alati uključuju:

- **Grasshopper + Galapagos** – evolucijsko optimiranje oblika;
- **Sefaira (SketchUp plugin)** – usporedba oblika i energetske potrošnje;
- **Autodesk Forma** – generiranje više masovnih modela prema A/V, insolaciji i vizualnoj izloženosti;
- **ArchiCAD + EcoDesigner** – integrirani izračun A/V uz simulacije.

Digitalna optimizacija omogućuje da arhitekt **vidi posljedice vlastitih oblikovnih odluka u stvarnom vremenu**, čime se omogućuje učinkovitiji i informiraniji kreativni proces.

Kompaktnost i omjer ovojnice i volumena ključni su koncepti pasivnog dizajna koji omogućuju **energetski, materijalno i financijski racionalno projektiranje**, bez potrebe za kompleksnim i skupim sustavima. Arhitekt, svjestan utjecaja koji oblik ima na performanse, može koristiti A/V omjer kao **alat za iteraciju, evaluaciju i balansiranje** između izražajnosti, funkcionalnosti i održivosti. U kontekstu dekarbonizacije i rastućih regulatornih zahtjeva, kompaktnost nije samo energetska strategija – ona je **arhitektonski izraz odgovornosti prema prostoru, resursima i budućnosti**.

3.2 Toplinska masa i akumulacija

U nastavku slijedi razrada odlomka „**Toplinska masa i akumulacija**“, kao dijela poglavlja *PASIVNI DIZAJN I OPTIMIZACIJA OBLIKOVNIH PARAMETARA*, u znanstveno-arhitektonskom stilu i duljine približno 10.000 znakova. Odlomak se bavi ulogom toplinske mase u održavanju termičke stabilnosti zgrade, njezinim ponašanjem u različitim klimama, materijalnim aspektima, tehnikama optimizacije i integracijom u arhitektonski koncept.

Toplinska masa i akumulacija

Toplinska masa zgrade jedan je od ključnih fizikalnih čimbenika koji omogućuje ostvarenje pasivne stabilnosti unutarnje mikroklike, posebno u uvjetima bez ili s ograničenom uporabom aktivnih sustava za grijanje i hlađenje. Dok se energetska učinkovitost često povezuje s razinom izolacije i tehničkim sustavima, **toplinska masa djeluje kao prirodni moderator temperaturnih fluktuacija**, ublažavajući ekstreme i povećavajući udobnost boravka. U arhitektonskom smislu, ona je često zanemarena, iako predstavlja **snažan oblik „nevidljive infrastrukture“ koja oblikuje dinamiku prostora i kvalitete stanovanja**.

U ovom odlomku analiziraju se fizikalna svojstva i ponašanje toplinske mase, način njezine integracije u arhitektonski koncept, uloga u različitim klimatskim uvjetima, utjecaj materijala i detalja, te povezanost s pasivnim sustavima grijanja i hlađenja.

Definicija i mehanizam djelovanja

Toplinska masa označava **sposobnost građevinskog materijala da apsorbira, skladišti i ponovno otpušta toplinsku energiju**. Fizikalno gledano, riječ je o materijalima s visokom **specifičnom toplinom i gustoćom**, koji mogu zadržati značajne količine topline bez brzih promjena temperature.

Tri osnovna parametra određuju toplinsku masu:

- **Toplinski kapacitet (kJ/kg·K)** – količina energije potrebna za promjenu temperature jedinice mase materijala za 1 °C;
- **Gustoća (kg/m³)** – veća gustoća znači više mase po volumenu, a time i više potencijalne energije;
- **Debljina i izloženost površine** – utječu na to koliko energije može ući i izaći u određenom vremenskom intervalu.

Primjeri materijala i njihovih karakteristika:

Materijal	Gustoća (kg/m ³)	Toplinski kapacitet (kJ/kg·K)	Toplinski kapacitet po m ³ (kJ/m ³ ·K)
Beton	2.400	0,84	2.016
Opeka	1.800	0,84	1.512
Drvo	500	2,30	1.150
Gips	1.100	1,09	1.199
Mineralna vuna	150	0,84	126

Iako drvo ima visoku specifičnu toplinu, njegova mala gustoća smanjuje ukupni toplinski kapacitet po volumenu. Nasuprot tome, beton i opeka omogućuju veliku akumulaciju energije po kubiku, što ih čini pogodnima za unutarnje jezgre zgrada.

Uloga u pasivnom zagrijavanju i hlađenju

Toplinska masa djeluje poput **toplinskog jastuka** – ublažava temperaturne ekstreme tako što:

- **apsorbira toplinu tijekom dana** (posebno kada se prostor grije pasivno kroz solarne dobitke);
- **pohranjuje višak energije u unutrašnje zidove, podove i stropove;**
- **otpušta toplinu noću**, kada se vanjska temperatura spusti.

U ljetnim mjesecima, ista masa može apsorbirati višak unutarnje topline (od ljudi, rasvjete, opreme), odgađajući ili čak eliminirajući potrebu za aktivnim hlađenjem. Ovaj učinak je posebno izražen kada se koristi **noćno ventilacijsko hlađenje** (night flushing), gdje se tijekom noći hladan zrak koristi za rasterećenje akumulirane topline iz mase.

Optimalna pozicija i distribucija toplinske mase

Kako bi toplinska masa bila učinkovita, mora biti **u direktnom kontaktu s unutarnjim zrakom**, odnosno u „**zoni boravka topline**“. Ključne smjernice uključuju:

- **izloženost solarnoj radijaciji** – podovi, zidovi i stropovi koji primaju direktnu ili difuznu svjetlost bolje funkcioniraju;
- **ravnomjerna raspodjela unutar prostora** – izbjegava se koncentracija mase u samo jednom dijelu;
- **kombinacija horizontalnih i vertikalnih akumulatora** – npr. podna ploča + unutarnji zidovi;
- **izbjegavanje oblaganja akumulativnih površina izolatorima** (npr. debeli tepisi smanjuju učinak podne ploče).

Kod projektiranja pasivnih kuća i nZEB zgrada, unutarnji slojevi toplinske mase često se ostavljaju **neobrađenima ili minimalno obrađenima**, kako bi mogli ostvariti maksimalnu termalnu interakciju (npr. brušeni betonski pod, opečnati zid, žbukani strop).

Klimatski uvjeti i regionalna prilagodba

Uloga i optimalna količina toplinske mase značajno variraju ovisno o klimi:

- **Hladna klima:** visoka masa pomaže u skladištenju pasivnih solarnih dobitaka i smanjenju gubitaka – koristi se kao buffer protiv vanjskih oscilacija;
- **Topla i suha klima:** velika dnevna amplituda temperatura omogućuje iskorištavanje mase za noćno hlađenje – masa upija toplinu danju, a hladi se noću;
- **Vlažna i topla klima:** manje pogodna za visoku masu jer noći ostaju tople – ovdje se prednost daje laganoj gradnji s reflektirajućim ovojnica;
- **Umjeren klima:** optimalna ravnoteža mase i izolacije daje najbolje rezultate – koristi se selektivno, ovisno o orijentaciji i funkciji prostora.

Veza s termalnom inercijom i faznim pomakom

Toplinska masa osigurava **termalnu inerciju** – sposobnost građevine da sporo reagira na vanjske ili unutarnje promjene temperature. To je povezano s **faznim pomakom (time lag)** – vremenskim odmakom između vršne vanjske i unutarnje temperature.

Za masivne zgrade s izolacijom s vanjske strane, fazni pomak može biti:

- **8–12 sati**, čime se vršna vanjska temperatura „pomakne“ u vrijeme kada je unutarnja potreba manja;
- kod laganih konstrukcija bez mase, fazni pomak može biti **manji od 3 sata**, što znači da se unutarnji prostor brzo pregrijava ili ohladi.

Veći fazni pomak doprinosi **stabilnosti unutarnjeg okoliša**, smanjuje potrebu za mehaničkom intervencijom i povećava **osjećaj ugone i sigurnosti kod korisnika**.

Materijalna i konstruktivna rješenja

U praksi, toplinska masa može se implementirati kroz:

- **monolitne betonske konstrukcije** (podovi, zidovi, stropovi);
- **zidove od opeke ili kamena u interijeru;**
- **masivne unutarnje pregradne zidove** u kombinaciji s laganom ovojnicom;
- **namjenske akumulacijske jezgre** (zidovi iza staklenih pročelja);
- **kombinaciju s pasivnim solarnim sustavima**, poput **trombe zidova**;
- **upotrebu prirodnih materijala s velikom masom**, npr. nabijena zemlja, sirova glina, kameni podovi.

Kod projektiranja u suhoj gradnji (npr. drvene konstrukcije), često se poseže za **hibridnim rješenjima** – npr. masivna jezgra (stubništvo ili kupaonice) u betonu, dok je ostatak konstrukcije lagan i suhi.

Izazovi i ograničenja

Unatoč prednostima, integracija toplinske mase može izazvati određene izazove:

- **strukturna opterećenja i trošak** – veća masa zahtijeva jače temelje, veći CO₂ otisak (ako se ne koristi optimizirano);
- **spor odziv na promjene** – može biti neželjen u zgradama s dinamičnim režimom korištenja;
- **potencijalni konflikt s izolacijom** – posebno ako se izolacija postavlja s unutarnje strane;
- **ograničene mogućnosti u postojećim zgradama** – retroaktivno dodavanje mase često nije izvedivo.

Zbog toga je važno masivne elemente projektirati **ciljano i s razumijevanjem konteksta**, a ne mehanički.

Toplinska masa predstavlja **temeljnu komponentu pasivne arhitekture**, s kapacitetom da poveća energetska učinkovitost, poboljša unutarnju udobnost i smanji ovisnost o aktivnim sustavima. Njezina prisutnost oblikuje način na koji zgrada reagira na klimu, sunčevu radijaciju i ponašanje korisnika. Arhitekt, svjestan ponašanja materijala i mikroklimatskih zakonitosti, koristi toplinsku masu **kao alat oblikovanja ugrade, stabilnosti i održivosti**, integrirajući je u strukturu, organizaciju i atmosferu prostora.

3.3 Zeleni krovovi i fasade

Zeleni krovovi i fasade predstavljaju višestruko korisnu komponentu održive arhitekture jer integriraju prirodne elemente u građevinsku strukturu, pridonoseći smanjenju urbanog pregrijavanja, povećanju energetske učinkovitosti, poboljšanju mikroklimе, biološkoj raznolikosti i estetskoj vrijednosti objekta. Osim što djeluju kao pasivni sustavi za toplinsku i akustičku izolaciju, oni također imaju sposobnost zadržavanja oborinskih voda, filtriranja zraka i stvaranja prirodnih tampon zona koje ublažavaju temperaturne ekstreme.

U kontekstu klimatskih promjena, dekarbonizacije graditeljstva i sve veće potrebe za otpornim gradovima, zeleni sustavi krova i fasade prelaze iz sfere estetske opcije u **strategijski element integriranog projektiranja**.

Vrste zelenih krovova

Zeleni krovovi klasificiraju se prema debljini supstrata, nosivosti konstrukcije, održavanju i vrsti vegetacije na:

1. **Ekstenzivne zelene krovove**

- Supstrat: 5–15 cm
 - Vegetacija: mahovine, sedumi, trava niskog rasta
 - Održavanje: minimalno
 - Nosivost: niska do srednja (60–150 kg/m²)
 - Glavna funkcija: ekološka regulacija, smanjenje toplinskog toka, retencija vode
2. **Intenzivne zelene krovove**
- Supstrat: 20–100 cm
 - Vegetacija: grmlje, perene, pa čak i manja stabla
 - Održavanje: visoko, uključuje navodnjavanje
 - Nosivost: visoka (300–1000+ kg/m²)
 - Glavna funkcija: produžetak aktivnog prostora, socijalna i rekreacijska funkcija
3. **Poluekstenzivne (semi-intenzivne) sustave**
- Kombiniraju značajke oba prethodna, česti u multifunkcionalnim projektima.

Projektantski izbor ovisi o:

- **nosivosti konstrukcije** i dostupnosti statičkog rasterećenja;
- **klimatskim uvjetima i orijentaciji krova**;
- **namjeni prostora ispod i iznad krova** (npr. stanovanje, terase, strojarnice);
- **budžetu i mogućnosti održavanja**.

Funkcionalne prednosti zelenih krovova

1. **Toplinska izolacija i pasivna regulacija**

Vegetacija i supstrat povećavaju **termičku otpornost krova**, smanjujući gubitke zimi i dobitke ljeti. U ljetnim uvjetima, transpiracija biljaka dodatno **rashlađuje krovnu plohu**, čime se površinska temperatura može sniziti i za više od 30 °C u odnosu na klasičan ravni krov s crnim hidroizolacijskim slojem.

2. **Akumulacija i retencija oborinskih voda**

Zeleni krovovi zadržavaju od 50 % do 90 % godišnjih oborina, smanjujući opterećenje na sustav odvodnje. U urbanim sredinama to ima **hidrotehničku i ekološku vrijednost**, osobito u kontekstu sve češćih ekstremnih oborina.

3. **Povećanje životnog vijeka krov**

Biljni pokrov štiti hidroizolaciju od UV zračenja, mehaničkog oštećenja i ekstremnih temperaturnih promjena. Produženje vijeka sustava može biti i dvostruko u odnosu na konvencionalne krovove.

4. **Apsorpcija CO₂, NO_x i lebdećih čestica**

Vegetacija sudjeluje u pročišćavanju zraka, smanjenju emisija i povećanju kvalitete mikroklima.

5. **Estetska i biološka funkcija**

Zeleni krovovi stvaraju **vizualno ugodnije okruženje**, povećavaju **biološku raznolikost**, stvaraju **habitate za ptice i kukce** i doprinose psihološkom doživljaju prostora, osobito kada su dostupni korisnicima.

Zelene fasade: tipologije i funkcije

Zelene fasade podrazumijevaju sustave u kojima se vegetacija koristi kao **vertikalna ovojnica zgrade**.

Osnovne vrste su:

1. **Sistemi s penjačicama (indirektni)**

- Biljke rastu iz tla ili korita, a po fasadi se penju pomoću žica, mreža ili rešetkastih sustava;
- Niski troškovi, jednostavna izvedba, mala težina;
- Ograničen utjecaj na toplinsku izolaciju, ali značajan na sjenu i evaporaciju.

2. **Žive zidove (modularni sustavi)**

- Biljke rastu u supstratu smještenom u vertikalnim modulima pričvršćenim na fasadu;
- Sustavi uključuju navodnjavanje, drenažu i prihranu;
- Veća složenost i težina, ali i bolji izolacijski i akustički učinci.

Funkcionalne prednosti zelenih fasada

1. **Zasjenjenje i smanjenje toplinskog toka**

Zelenilo stvara tampon zonu između vanjskog zraka i fasade, smanjujući **direktno sunčevo zračenje** te prijenos topline prema unutrašnjosti. Ljeti se vanjska temperatura zida može smanjiti i za 10–15 °C.

2. **Evapotranspiracija i hlađenje zraka**

Biljke i supstrat isparavanjem vode snižavaju temperaturu zraka u neposrednoj blizini fasade, čime pridonose mikroklimatskoj ugodnosti na razini pješačke zone i otvaraju mogućnost za **pasivno hlađenje**.

3. **Akustička barijera i apsorpcija zvuka**

Zeleni omotač apsorbira i reflektira buku, osobito korisno kod zgrada uz prometnice, škole, bolnice i druge osjetljive objekte.

4. **Zaštita fasade i produljenje vijeka trajanja**

Vegetacija djeluje kao štit od UV zračenja, oborina i mehaničkih oštećenja, a modularni sustavi omogućuju **laku zamjenu ili obnovu pojedinih dijelova**.

Integracija u arhitektonski koncept

Zeleni krovovi i fasade ne smiju se promatrati kao dodatak, već kao **integrirani arhitektonski element**:

- u oblikovanju vizualnog identiteta zgrade (npr. „zelena kruna“);
- u reguliranju odnosa s okolišem (npr. ublažavanje dominacije volumena);
- u stvaranju međuprostora (npr. zeleni atriji, dvostruke fasade);
- u participativnom korištenju (npr. zajednički vrtovi na krovu);
- u generiranju bioklimatske arhitekture (npr. zeleni tampon prostori na pročelju koji djeluju kao sunspace).

Zeleni sustavi mogu postati **potpis projekta**, osobito kada su koncipirani u suradnji s pejzažnim arhitektima, biologima i inženjerima okoliša.

Tehnički izazovi i održavanje

Uvođenje zelenih krovova i fasada zahtijeva:

- **točnu procjenu statičkog opterećenja**;
- **slojevitu kompoziciju** (vodonepropusni sloj, drenaža, zaštita korijena, supstrat);
- **projektirano navodnjavanje i odvodnju**;
- **pristup za održavanje** (posebno kod visokih zelenih fasada);

- **otpornost na vjetar, mraz, sušu i gradske uvjete.**

Bez pravilnog projektiranja i održavanja, ovi sustavi mogu dovesti do zadržavanja vlage, korozije, oštećenja ovojnice i gubitka performansi. Zbog toga se preporučuje izrada **specifične projektantske dokumentacije** (npr. „Zeleni krov projekt“), kao i suradnja sa stručnjacima za hortikulturu i navodnjavanje.

Zeleni krovovi i fasade predstavljaju **višedimenzionalni alat održive arhitekture**, u kojem se susreću ekologija, energetska učinkovitost, estetika i otpornost. Oni djeluju kao živi sloj između građevine i okoliša, ublažavajući granicu između izgrađenog i prirodnog. Arhitekt koji ih promišlja ne kao dekoraciju, već kao **strukturni element pasivnog dizajna**, stvara zgrade koje su klimatski aktivne, funkcionalno inteligentne i estetski snažne – zgrade koje ne dominiraju nad okolišem, nego s njime **stvaraju simbiotski odnos**.

3.4 Termička ovojnica i izračun U-vrijednosti

Termička ovojnica (eng. building envelope) predstavlja **granicu između grijanog unutarnjeg prostora zgrade i vanjskog okoliša**. Kroz nju se odvija razmjena topline, vlage i zraka, a njezine fizikalne karakteristike u velikoj mjeri određuju ukupnu energetska bilancu, komfor korisnika i otpornost objekta na klimatske utjecaje. U kontekstu pasivnog dizajna, termička ovojnica se ne svodi isključivo na ulogu zaštite, već se projektira kao **dinamički element koji regulira tokove energije, svjetlosti i zraka**, uz visoku razinu selektivnosti i učinkovitosti.

U središtu analize termičke ovojnice nalazi se **koeficijent prolaska topline (U-vrijednost)**, koji kvantificira sposobnost elementa ovojnice da prenosi toplinu iz toplijeg u hladniji prostor. Ovaj parametar ima ključnu ulogu u energetske proračunu, usklađenosti s regulativom i certifikacijskim sustavima, ali i u odabiru materijala, debljine slojeva i detaljnoj razradi sklopa.

Funkcija i sastav termičke ovojnice

Osnovna funkcija termičke ovojnice jest:

- **smanjiti toplinske gubitke zimi i dobitke ljeti;**
- **kontrolirati difuziju pare i akumulaciju vlage;**
- **osigurati zrakonepropusnost u cilju smanjenja infiltracije;**
- **doprinositi akustičkoj izolaciji i protupožarnoj otpornosti;**
- **omogućiti difuznu i direktnu insolaciju gdje je to poželjno;**
- **biti dugoročno stabilna, održiva i lako održiva.**

Tipični elementi termičke ovojnice uključuju:

- **vanjske zidove (massive, ventilirane, kombinirane);**
- **krovne konstrukcije (ravni i kosi krovovi);**
- **podove prema tlu ili negrijanim prostorima;**
- **prozore, vrata i ostakljene sustave (transparentna ovojnica);**
- **spojeve između konstrukcijskih sustava (toplinski mostovi).**

Svaki od ovih elemenata ima slojevitou strukturu: **nosivi sloj, toplinska izolacija, parna brana / vjetrobrana, hidroizolacija, završni oblog**. Ključ učinkovitosti nije samo u kvaliteti pojedinih slojeva, već u **kontinuitetu cijele ovojnice**, bez prekida i toplinskih mostova.

Koeficijent prolaska topline (U-vrijednost)

U-vrijednost ($W/m^2 \cdot K$) definira količinu toplinske energije koja prolazi kroz $1 m^2$ sklopa pri razlici temperature od $1 ^\circ C$ između unutarnje i vanjske strane. Niža U-vrijednost označava **bolju toplinsku izolaciju** i manji gubitak topline.

Matematička definicija za slojevite konstrukcije:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum (d_i \lambda_i) + R_{se}}$$

gdje su:

- R_{si} – otpor prijelazu topline na unutarnjoj strani (standardno $0,13 m^2 K/W$);
- R_{se} – otpor prijelazu topline na vanjskoj strani (standardno $0,04 m^2 K/W$);
- d_i – debljina i-tog sloja (u metrima);
- λ_i – toplinska vodljivost i-tog sloja (W/mK);
- $\sum (d_i \lambda_i)$ – ukupni toplinski otpor slojeva.

Primjer izračuna za vanjski zid:

Sloj	Debljina (m)	λ (W/mK)	R ($m^2 K/W$)
Vapneno-cementna žbuka	0,02	0,87	0,023
Opeka puna	0,20	0,65	0,308
EPS izolacija	0,15	0,040	3,750
Zavr. žbuka	0,01	0,87	0,011
Ukupno R			4,092
U-vrijednost			0,23 $W/m^2 \cdot K$

Ovakva vrijednost zadovoljava standarde nZEB gradnje prema EU regulativi i hrvatskom Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama.

Zakonski zahtjevi i preporuke

Prema važećim propisima u Republici Hrvatskoj (NN 128/15, 70/18, 73/18), maksimalne dopuštene U-vrijednosti za nove zgrade su:

- Vanjski zid: $\leq 0,30 W/m^2 \cdot K$
- Krov / strop: $\leq 0,20 W/m^2 \cdot K$
- Pod prema tlu: $\leq 0,40 W/m^2 \cdot K$
- Prozori: $\leq 1,40 W/m^2 \cdot K$ (za prozor s okvirima i ostakljenjem)

Standardi pasivne kuće (PHI) još su stroži:

- Zidovi: $\leq 0,15 W/m^2 \cdot K$
- Prozori (U_w): $\leq 0,80 W/m^2 \cdot K$
- Krov: $\leq 0,10-0,15 W/m^2 \cdot K$

Zahtjevi se dodatno pooštavaju kod zgrada s velikim udjelom staklenih površina, zahtjevima gotovo nulte energije (nZEB) i objektima koji apliciraju za zelene certifikate (LEED, BREEAM, DGNB).

Izazovi i projektantski pristupi

Projektiranje visokoizolirane ovojnice nosi nekoliko izazova:

1. Debljina zidova

Kod izuzetno niskih U-vrijednosti, izolacija može dosegnuti i 30–40 cm, što utječe na ukupne dimenzije objekta, uporabne površine, detalje otvora i spojeva.

2. Izbor materijala

Razlika između mineralnih i sintetičkih izolacija (npr. kamena vuna vs. EPS), prirodnih rješenja (drvena vlakna, celuloza), visokoučinkovitih materijala (PIR, vakuumske ploče) ima implikacije na toplinsku vodljivost, paropropusnost, akustiku, otpornost na vatru i održivost.

3. Toplinski mostovi

U praksi su jedan od glavnih uzroka gubitaka i pojave kondenzacije. Tipična mjesta: spojevi zid–ploča, prozorske niše, pričvrtni elementi fasade. Detaljna analiza toplinskih mostova provodi se u programima kao što su **Therm**, **Flixo**, **AnTherm**.

4. Zrakonepropusnost

Uz U-vrijednost, potrebno je osigurati **kontinuirani sloj zrakonepropusne membrane ili žbuke** – mjeri se testom zrakonepropusnosti (Blower Door Test), a ciljna vrijednost za pasivnu kuću je $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$.

U-vrijednost i energetska proračun

U-vrijednosti svih elemenata ovojnice ulaze u proračun:

- **specifične godišnje potrebe za grijanje (QH,nd)** – izražene u kWh/m²;
- **godišnje potrebe za hlađenje (QC,nd)**;
- **energetski certifikat zgrade** i pripadajući energetski razred;
- **izračun emisija CO₂ i primarne energije**;
- **LCA i LCC procjene** (posebno kroz smanjenu operativnu potrošnju).

Kod optimizacije projekta, moguće je uspoređivati **različite kombinacije U-vrijednosti, cijene i debljine materijala** kako bi se postigla minimalna godišnja potrošnja uz prihvatljiv trošak investicije (npr. pomoću alata kao što su PHPP, DesignBuilder, HAP).

Transparentna ovojnica: stakla i prozori

Staklene površine, iako slabije izolativne od zidova, ne smiju biti zanemarene:

- Višekomorna stakla (trostruka) s **argon punjenjem i niskoemisijским premazima** postižu U_w vrijednosti i do 0,7–0,9 W/m²·K;
- Okviri (drvo, PVC, aluminij s termoprekidom) značajno utječu na ukupni U_w;
- Postava mora biti **izvedena s RAL principima** – paronepropusno iznutra, paropropusno izvana.

Stakla također imaju tzv. **g-vrijednost** (solarna propusnost), koja se zajedno s U-vrijednošću koristi u optimizaciji insolacije i pasivnih dobitaka.

Toplinska ovojnica zgrade – zidovi, krovovi, podovi i prozori – nije tek građevinski omotač, već **aktivni regulator energetskega toka** između unutrašnjosti i okoliša. Koeficijent prolaska topline, U-vrijednost, omogućuje kvantitativno vrednovanje učinkovitosti svakog dijela ovojnice, služi kao ključna ulazna vrijednost za energetski proračun i osigurava usklađenost s propisima i certifikacijama. U pasivnom dizajnu, arhitekt mora promišljeno integrirati U-vrijednosti u rješenja koja su **tehnički izvediva, prostorno racionalna, dugoročno učinkovita i materijalno održiva** – jer samo takva ovojnica ostvaruje svoju punu funkciju u službi održive arhitekture.

3.5 Dnevna svjetlost i prirodna ventilacija

U održivoj arhitekturi, dnevna svjetlost i prirodna ventilacija zauzimaju ključnu poziciju unutar pasivnog dizajna jer omogućuju **iskorištavanje prirodnih resursa bez posredovanja aktivnih sustava**. Ove dvije komponente ne doprinose samo energetske učinkovitosti zgrade, već i **zdravlju, ugodnosti i produktivnosti korisnika**, čineći ih temeljnim elementima kvalitete prostora. Kroz pažljivo projektirane otvore, orijentaciju i odnose između prostora, arhitekt ostvaruje zgradu koja „diše“ i „svijetli“ u skladu s prirodnim ritmovima okoliša.

U ovom odlomku obrađuju se osnovni principi i strategije za optimalno korištenje dnevnog svjetla i prirodne ventilacije, njihovi utjecaji na energetske bilancu, metode analize i relevantni regulatorni okviri.

Dnevna svjetlost: kvalitativni i kvantitativni aspekti

Dnevna svjetlost je **besplatan i neiscrpan izvor energije** koji omogućuje smanjenje potrebe za umjetnom rasvjetom, poboljšava psihofiziološko stanje korisnika i doprinosi estetskom doživljaju prostora. U biološkom smislu, izlaganje prirodnoj svjetlosti regulira **cirkadijalni ritam**, razinu kortizola i serotonina, koncentraciju i san. Arhitektonski, svjetlo definira **volumen, teksturu i atmosferu prostora**.

Kvantitativno, dnevna osvijetljenost se mjeri u luksima (lx), a preporučene razine za interijere su:

- Radne prostorije (uredi, učionice): 300–500 lx
- Prostorije za boravak: 200–300 lx
- Komunikacije: 100–150 lx

Kvalitativno, cilj je ostvariti:

- ravnomjernu raspodjelu svjetla bez jakih kontrasta;
- kontrolu odsjaja (glare);
- vizualnu povezanost s vanjštinom (view access);
- odgovarajuću temperaturu boje i promjene svjetla kroz dan.

Parametri koji utječu na dnevno osvijetljenje

1. Orijentacija otvora

- Jug: stabilna difuzna svjetlost, lako zasjenjiva
- Istok/Zapad: intenzivno svjetlo u ranim/poslijepodnevnim satima, teško kontrolirati
- Sjever: difuzna svjetlost bez direktne insolacije – idealna za radne prostore

2. Površina i položaj otvora

- Preporučeni omjer ostakljenja: 15–30 % površine poda
- Više manjih otvora pruža bolju difuziju nego jedan veliki
- Visoko postavljene otvori osvjetljavaju dublje u prostor

3. Dubina prostora

- Optimalna dubina prostora za jednostrano osvijetljenje: 2,5–3 puta visina otvora
- Dublji prostori zahtijevaju svjetlosne tunele, atrije, krovne otvore ili dvostruko osvijetljenje

4. Zasjenjivanje

- Fiksne (brise-soleil, pergole) i pomične (rolete, žaluzine) sustave treba projektirati tako da omogućuju kontrolu insolacije bez značajnog gubitka svjetlosti

Metode analize dnevne svjetlosti

Korištenje digitalnih alata omogućuje **kvantitativnu evaluaciju i optimizaciju osvjetljenosti**. Ključne metode uključuju:

- **DF (Daylight Factor)** – omjer osvjetljenosti unutarnjeg prostora i vanjske neometane osvjetljenosti pod oblačnim nebom; minimalna vrijednost:
 - 2 % za osnovnu funkcionalnost
 - 5 % za punu neovisnost o umjetnom svjetlu
- **sDA (Spatial Daylight Autonomy)** – postotak prostora koji dobiva zadanu razinu svjetla (300 lx) barem 50 % radnog vremena
- **UDI (Useful Daylight Illuminance)** – raspon dnevne osvjetljenosti koji korisnici smatraju korisnim (100–2000 lx)

Alati: **DIVA, ClimateStudio, Ladybug/Honeybee, Velux Daylight Visualizer, Dialux.**

Regulatorni okviri i standardi

U Hrvatskoj, Pravilnik o tehničkim zahtjevima za zgrade definira minimalne uvjete dnevne osvjetljenosti, uključujući:

- **ukupnu površinu prozorskih otvora u odnosu na površinu poda;**
- **dubinu prostora u funkciji visine prozora;**
- **uvjete za specifične tipologije (škole, vrtići, uredske zgrade).**

Zeleni certifikati (LEED, BREEAM, WELL) dodatno zahtijevaju kvantitativnu analizu dnevne svjetlosti (npr. sDA > 75 % za 55 % korisničkih površina).

Prirodna ventilacija: principi i oblici

Prirodna ventilacija koristi **razliku u tlaku zraka, temperaturi i visini** kako bi se ostvarila cirkulacija zraka bez korištenja mehaničkih sustava. Ciljevi su:

- **uklanjanje viška CO₂, vlage, mirisa i onečišćenja;**
- **rashlađivanje prostora ljeti;**
- **poboljšanje kvalitete zraka i smanjenje bolesti dišnog sustava.**

Postoje dva osnovna principa:

1. **Ventilacija potaknuta razlikom tlaka (vjetrom)**
 - koristi se prevladavajući smjer vjetra i aerodinamička svojstva fasade
 - dvostrano otvaranje prozora povećava učinkovitost
2. **Ventilacija potaknuta toplinskim uzgonom (stack effect)**
 - koristi se razlika u gustoći toplog i hladnog zraka
 - idealna za više prostore (atriumi, stubišta) i noćno hlađenje

Oblici:

- **Jednostrana ventilacija** – učinkovita do 5–6 m dubine prostora
- **Dvostrana ventilacija** – koristi prozore na suprotnim pročeljima, do 12 m
- **Vertikalna ventilacija** – kroz krovne otvore ili ventilacijske dimnjake

Projektantske smjernice za prirodnu ventilaciju

- **Površina otvora za ventilaciju:** barem 4 % bruto poda
- **Položaj otvora:** visinska razlika između ulaza i izlaza pojačava uzgon

- **Oblik otvora:** visoki, uski otvori djeluju učinkovitije od širokih i niskih
- **Ugradnja nadsvjetala i krovnih otvora:** omogućuje evakuaciju toplog zraka i unaprjeđuje konvekcijski ciklus

Važno je omogućiti **kontrolu nad protokom** – ručnu ili automatsku – kako bi korisnici mogli reagirati na promjene vremenskih uvjeta.

Sinergija dnevne svjetlosti i ventilacije

Zajedničkim projektiranjem otvora koji propuštaju i svjetlo i zrak, postiže se **maksimalni učinak bez dodatne kompleksnosti**. Primjeri uključuju:

- **prozor s gornjim krilom za svjetlo i donjim za zrak**
- **fasadne lamele koje se otvaraju za provjetravanje, ali reflektiraju svjetlo u dubinu prostora**
- **zeleni tampon prostori (loggie, zimski vrtovi)** koji služe i za difuziju svjetla i kao komora za ventilaciju

U pasivnoj arhitekturi cilj je uskladiti insolaciju, ventilaciju i pohranu topline kroz **integrirani oblikovno-funkcionalni sustav**.

Dnevna svjetlost i prirodna ventilacija nisu luksuzne značajke, već **osnovni elementi zdrave, energetske učinkovite i bioklimatske inteligentne arhitekture**. Njihova pravilna integracija povećava kvalitetu života korisnika, smanjuje operativnu potrošnju energije, doprinosi otpornosti zgrade i čini arhitektonski prostor živim, dinamičnim i povezanijim s okolišem. Kroz analitičko projektiranje otvora, dubine prostora, orijentacije i regulacije, arhitekt oblikuje zgradu koja ne ovisi o tehnologiji, već koristi prirodu kao **partnera u projektiranju**.

3.6 Strategije zasjenjenja i zaštite od pregrijavanja

U kontekstu klimatskih promjena i sve učestalijih toplinskih valova, **sprječavanje pregrijavanja** zgrada postaje ključan izazov arhitektonske prakse, osobito u umjerenim i toplim klimatskim zonama. Dok su raniji koncepti održive gradnje naglasak stavljali na toplinsku izolaciju i minimizaciju gubitaka, današnja arhitektura mora sve više adresirati i **aktivnu obranu od suvišnih solarnih dobitaka**. Jedna od najučinkovitijih i energetski najprihvatljivijih mjera u tom kontekstu je **pasivno zasjenjivanje**, koje omogućuje kontrolu insolacije bez korištenja mehaničkih sustava za hlađenje.

Zasjenjivanje nije samo funkcionalna mjera – ono je i **prostorni, oblikovni i ambijentalni alat**, koji omogućuje oblikovanje prijelaznih zona, slojevitosti fasade i izražajnosti arhitektonske forme.

Uzroci i posljedice pregrijavanja

Pregrijavanje prostora javlja se kada ukupni **unutarnji i vanjski toplinski dobitci** nadmaše kapacitet zgrade da ih akumulira ili iznese prema van. Ključni izvori topline uključuju:

- **solarni dobitci kroz prozore i ostakljene površine;**
- **unutarnji izvori** (elektronička oprema, rasvjeta, korisnici);
- **popusnost ovojnice za toplinu i zrak.**

Posljedice uključuju:

- **termalni diskomfort korisnika** (posebno noću, kad se prostor ne može rashladiti);
- **porast potrošnje energije za hlađenje;**

- **utjecaj na zdravlje, koncentraciju i produktivnost;**
- **smanjenje trajnosti materijala interijera uslijed UV izlaganja.**

Cilj arhitektonskog projektiranja je spriječiti pregrijavanje kroz **integraciju pasivnih strategija**, koje djeluju **preventivno**, a ne reaktivno.

Tipovi sustava za zasjenjivanje

Zasjenjivanje se može klasificirati prema:

1. Položaju u odnosu na ovojnicu

- **Vanjsko zasjenjivanje** (najučinkovitije): tende, pergole, rolete, brise-soleil
- **Unutarnje zasjenjivanje:** zavjese, sjenila – estetski, ali toplina već ulazi
- **Integrirano zasjenjivanje:** između stakala ili kao dio dvostruke fasade

2. Načinu djelovanja

- **Fiksno:** arhitektonski elementi (npr. nadstrešnice), jednostavni za održavanje
- **Pomično / podesivo:** rolete, žaluzine – omogućuju prilagodbu tijekom dana
- **Automatizirano:** senzori insolacije, temperature, pozicija sunca – povezano s BMS sustavom

3. Materijalu

- Metal (aluminij), drvo, tkanine visoke refleksije, biljni materijali (zelene fasade)

Arhitektonske strategije fiksnog zasjenjivanja

1. Horizontalne nadstrešnice

- Idealne za južne fasade u umjerenoj klimi
- Blokiraju visoko sunce ljeti, propuštaju nisko zimi
- Dimenzioniranje prema kutu upada ljetnog/zimskog sunca (npr. 65° ljeti, 20° zimi)

2. Vertikalni zaslani

- Učinkoviti za istok i zapad gdje je sunce nisko i lateralno
- Mogu biti statični (pergole, stijene) ili pomični (žaluzine)

3. Brise-soleil sustavi

- Kombinacija horizontalnih i vertikalnih elemenata
- Postavljeni pod određenim kutom kako bi reflektirali svjetlost bez odsjaja

4. Zeleni zasjenjivači (vegetacija)

- Listopadne biljke na pergolama i rešetkastim nosačima
- Pružaju ljetnu zaštitu, zimi gube lišće i propuštaju sunce
- Dodatna prednost: mikroklimatsko hlađenje isparavanjem

Pomični sustavi i automatizacija

Pomični sustavi omogućuju **prilagodbu ovisno o godišnjem dobu, dobu dana i preferencijama korisnika**. Prednosti:

- Dinamičko upravljanje svjetlom i toplinom
- Mogućnost potpunog otvaranja u zimskom razdoblju
- Zaštita od prekomjernog osvjetljenja i odsjaja

Kod naprednih sustava koriste se **automatski aktuatori povezani s meteorološkim senzorima**. Sustav reagira na:

- jačinu sunčevog zračenja
- unutarnju i vanjsku temperaturu
- prisutnost korisnika

- satni program ili poziciju sunca (astronomski podaci)

Takvi sustavi značajno smanjuju energetska opterećenja i povećavaju korisnički komfor, osobito u zgradama s velikim ostakljenim površinama.

Izračun kutova i dimenzioniranje zasjenjivača

Pravilno projektiranje zahtijeva poznavanje:

- **solarnog azimuta i kutne visine sunca** u različitim periodima godine
- **orijentacije pročelja i dimenzija otvora**

Standardni pristup uključuje izradu **dijagrama sjene** ili korištenje softvera (npr. **ClimateStudio, Ladybug, Velux Daylight Visualizer**) kako bi se simulirala pokrivenost sjene tijekom godine.

Primjer: za južno pročelje u Zagrebu (45°N), nadstrešnica koja tijekom ljetnog solsticija potpuno zasjenjuje prozor visine 1,2 m mora biti:

- postavljena iznad prozora (npr. na 2,2 m visine)
- dubine 0,8–1,0 m
- pod kutom koji blokira sunce iznad 60° elevacije

Za druge orijentacije potrebno je koristiti kombinacije vertikalnih i horizontalnih elemenata ili prilagoditi funkciju pomičnim elementima.

Zasjenjivanje i energetske učinci

Sustavi zasjenjivanja izravno utječu na:

- **smanjenje rashladnih opterećenja (Qcool)** za 20–60 % u ljetnim mjesecima
- **smanjenje rizika od pregrijavanja u standardima nZEB i pasivne kuće**
- **povećanje korisničkog zadovoljstva** zbog kontrole svjetla i komfora
- **smanjenje rizika od termalnih stresova kod osjetljivih korisnika (djeca, starije osobe)**

U zelenim certifikacijama (LEED, WELL, BREEAM), zasjenjivanje je zasebna kategorija, s naglaskom na **kontrolu odsjaja, dnevne svjetlosti i toplinskog toka**.

Integracija u oblikovnu koncepciju

Zasjenjivanje ne treba biti dodatak zgradi, već **integrirani dio arhitektonske kompozicije**. Najuspješnije zgrade koriste zasjenjivače za:

- naglašavanje horizontalnosti/vertikalnosti
- oblikovanje prijelaznih prostora (npr. lođe, galerije)
- definiciju identiteta fasade (ritam, dubina, sjena)
- funkcionalnu fleksibilnost (prostor za biljke, skladištenje, boravak)

Na taj način, zaštita od sunca postaje **arhitektonski element s višestrukom vrijednošću** – estetskom, klimatskom i socijalnom.

Strategije zasjenjivanja i zaštite od pregrijavanja predstavljaju **nezaobilazan segment pasivnog dizajna**, kojim se balansiraju energetska učinkovitost, vizualni komfor i funkcionalnost prostora. Kroz promišljenu kombinaciju fiksnih i pomičnih sustava, prilagodbu lokalnim klimatskim uvjetima i integraciju u oblikovni koncept, moguće je ostvariti zgrade koje **odbijaju suvišnu toplinu, ali ne gube svjetlost ni prostornu otvorenost**. Zasjenjivanje nije samo odgovor na sunce – ono je **odraz arhitektonske inteligencije i osjetljivosti prema okolini i korisnicima**.

4. AKTIVNI SUSTAVI I TEHNOLOGIJE

4.1 Grijanje, hlađenje i ventilacija

U konceptu zelene zgrade, aktivni sustavi za grijanje, hlađenje i ventilaciju imaju zadatak nadopuniti pasivne mjere, osigurati stabilnu unutaraju mikroklimu i omogućiti visok stupanj udobnosti korisnika, pri čemu se ciljano teži minimalnoj potrošnji energije, niskim emisijama stakleničkih plinova i dugoročnoj isplativosti. Za razliku od tradicionalnog pristupa u kojem su sustavi dizajnirani kao izolirani inženjerski segmenti, u održivoj arhitekturi oni se tretiraju kao **integrirani elementi energetske koncepta**, povezani s građevinskom fizikom, obnovljivim izvorima i korisničkim ponašanjem.

Kvaliteta sustava grijanja, hlađenja i ventilacije nije samo u tehničkoj izvedbi – ona se očituje u sposobnosti **reakcije na vanjske uvjete, fleksibilnosti prema stvarnom korištenju zgrade te usklađenosti s ciljevima energetske politike i zdravlja korisnika.**

Grijanje: izbor sustava i strategija

Zeleni pristup grijanju podrazumijeva sustav koji:

- koristi **niskotemperaturne režime rada** (npr. 35–45 °C);
- temelji se na **obnovljivim izvorima energije** (npr. dizalice topline, biomasa);
- ima **visok stupanj učinkovitosti** (COP, SCOP);
- omogućuje **zoniranje i regulaciju po prostorijama**;
- **skladišti toplinsku energiju** u termalnim spremnicima ili konstrukciji (toplinska masa).

Najčešći oblici grijanja u nZEB i pasivnim zgradama:

1. **Podno grijanje**
 - Radi na niskim temperaturama
 - Ravnomjerno grije cijeli prostor
 - Omogućuje upotrebu dizalica topline s visokim COP
 - Koristi toplinsku masu estriha za akumulaciju
2. **Zidno i stropno grijanje**
 - Djeluje zračenjem, smanjuje potrebu za cirkulacijom zraka
 - Pogodno za prostorije s ograničenom podnom površinom
 - Stropno grijanje može imati dodatnu funkciju hlađenja
3. **Zračni sustavi grijanja (npr. putem rekuperatora)**
 - Koriste se u ultra-niskoenergetskim objektima
 - Grijani zrak distribuira se zajedno s ventilacijskim sustavom
 - Pogodni za male prostore, ali ograničeni kod većih zgrada
4. **Grijanje na biomasu (npr. peći na pelete)**
 - Lokalizirani izvori (zone grijanja)
 - Mogu se integrirati s radijatorskim sustavima uz akumulacijski spremnik
 - Ekološki prihvatljivo ako se koristi certificirana biomasa

Sustavi grijanja moraju biti **kompatibilni s toplinskim potrebama** zgrade, koje su kod nZEB i pasivnih kuća značajno reducirane (npr. <math><15 \text{ kWh/m}^2 \text{ godišnje}</math>). Prevelik sustav povećava investiciju, troškove održavanja i gubitke, stoga je pravilna **dimenzioniranost ključna**.

Hlađenje: pasivne i aktivne strategije

Za razliku od grijanja, hlađenje je izazovnije jer se temelji na **odvodu viška topline**, a ne na njegovom unosu. Kod održivih zgrada, cilj je postići **maksimalnu učinkovitost uz minimalnu energiju** i izbjegavanje klimatski intenzivnih rashladnih sredstava.

Najčešće tehnike hlađenja:

1. Pasivno hlađenje

- noćno provjetravanje (night flushing);
- prirodna ventilacija i termički uzgon;
- kontrolirano zasjenjenje i reflektirajuće površine;
- uporaba hladne mase tla (zemljani izmjenjivači);
- zeleni krovovi i fasade.

2. Stropno ili podno hlađenje

- Sustav radi na temperaturi vode 16–18 °C
- Učinkovit za održavanje ugodnih temperatura u režimima bez ekstremne vlage
- Potrebna kontrola kondenzacije i vlažnosti

3. Dizalice topline s reverzibilnim ciklusom (zrak–voda, voda–voda)

- Omogućuju i grijanje i hlađenje jednim uređajem
- Visoka učinkovitost (EER i SCOP > 4,0)
- Kompatibilne s PV sustavima

4. Ventokonvektori i klima jedinice

- Manje preporučljive zbog buke i lokalnog efekta, ali mogu biti korisne u rekonstrukcijama
- Moderni modeli imaju inverter tehnologiju, nisku potrošnju i tihi rad

Projektantski cilj je integrirati **aktivne sustave hlađenja samo ako su iscrpljene pasivne mogućnosti**, a pri tome koristiti **obnovljivu električnu energiju iz fotonaponskih sustava**.

Ventilacija: zdravlje, energetska učinkovitost i kvaliteta zraka

Ventilacija je jedan od najvažnijih, ali često zanemarenih aspekata održivog projektiranja.

Loša ventilacija uzrokuje:

- povećanje koncentracije CO₂, vlage i VOC spojeva;
- rast rizika od alergija, umora, kognitivnog pada;
- stvaranje plijesni i degradaciju interijera.

U visokoizoliranim i zrakonepropusnim zgradama, prirodna infiltracija nije dovoljna, pa se koristi **mehanička ventilacija s povratom topline**:

1. Sustavi s rekuperacijom topline (HRV/ERV)

- Uzima zrak iz sanitarnih prostora, predaje toplinu svježem zraku i vraća ga u boravišne prostore
- Iskoristivost povrata: 75–95 %
- Smanjuje potrebu za dodatnim grijanjem
- Sustavi s entalpijskim izmjenjivačima povlače i vlagu, što smanjuje isušivanje zraka

2. Zoniranje ventilacije

- Različite količine zraka za kuhinje, kupaonice, spavaće i dnevne prostore
- CO₂ senzori i senzori vlage za automatsku regulaciju protoka

3. Decentralizirana ventilacija

- Kompaktne jedinice za pojedine prostorije

- Pogodno za sanacije ili male objekte

Važno je osigurati **nisku razinu buke**, visoku razmjenu zraka ($0,4-0,6 \text{ h}^{-1}$) i redovitu filtraciju (klase F7 i više), osobito u urbanim i industrijskim zonama.

Integracija i upravljanje: BMS i pametne tehnologije

U kontekstu integriranog projektiranja (IPA), sustavi grijanja, hlađenja i ventilacije projektiraju se kao **međusobno povezani podsustavi**, kojima se upravlja kroz:

- **Building Management System (BMS)**
- **senzorske mreže** (temperatura, vlažnost, CO_2 , prisutnost)
- **automatizaciju na razini prostorije ili zgrade**
- **daljinsko upravljanje i praćenje (IoT)**

Prednosti uključuju:

- optimizaciju rada prema stvarnim potrebama;
- prediktivno održavanje;
- smanjenje operativnih troškova;
- povećanje transparentnosti i edukaciju korisnika.

U zelenoj arhitekturi, sustavi grijanja, hlađenja i ventilacije ne postoje kao izolirani mehanički sklopovi, već kao **inteligentni, fleksibilni i energetske učinkoviti sustavi** koji reagiraju na okoliš, korisnike i režim korištenja zgrade. Njihova kvaliteta očituje se ne samo u tehničkim karakteristikama, već u sposobnosti **sinergije s pasivnim strategijama, obnovljivim izvorima i sustavima upravljanja**. Arhitekt i inženjer pritom zajedno oblikuju **funkcionalnu ekologiju zgrade** – sustav koji štiti zdravlje korisnika, smanjuje ugljični otisak i čini zgradu prilagodljivom klimatskim i društvenim izazovima 21. stoljeća.

4.2 Rekuperacija topline

Rekuperacija topline (eng. heat recovery ventilation, HRV) označava proces **iskorištavanja toplinske energije iz otpadnog zraka** za predgrijavanje ili predhlađivanje svježeg vanjskog zraka koji ulazi u zgradu, čime se značajno smanjuje potreba za dodatnim grijanjem ili hlađenjem, a time i ukupna energetska potrošnja. U kontekstu nZEB standarda i pasivne arhitekture, rekuperacija topline postaje **obavezan segment ventilacijskog sustava**, jer omogućuje istovremeno **očuvanje toplinske energije i osiguranje visoke kvalitete zraka u interijeru**.

U suvremenim zgradama koje su visoko izolirane i zrakonepropusne, prirodna infiltracija više nije dovoljna za zadovoljenje ventilacijskih potreba, a istodobno svaki gubitak topline kroz ventilaciju predstavlja značajan udio u ukupnim energetske gubicima – često i do 30–50 %. Uvođenje rekuperacijskog sustava omogućuje **kontroliranu ventilaciju s minimalnim toplinske gubicima**, čime se ostvaruje snažan doprinos energetske učinkovitosti, zdravlju i udobnosti korisnika.

Načelo rada rekuperatora

Rekuperator je ventilacijska jedinica koja istovremeno usisava vanjski zrak i izbacuje otpadni zrak iz prostorije, pri čemu se dva strujanja međusobno **termički susreću u izmjenjivaču topline**, bez fizičkog miješanja. Otpadni topli zrak predaje toplinu ulaznom

svježem zraku, koji se na taj način **predgrijava zimi** ili **predhlađuje ljeti**, prije ulaska u prostor. Time se smanjuje potrebna snaga sustava grijanja i hlađenja.

Tipični rekuperator sastoji se od:

- **dvije ventilatorske jedinice** (za usis i ispuh);
- **izmjenjivača topline** (zrako-zrak, križni, rotacijski, entalpijski);
- **sustava kanala s filtarskim jedinicama**;
- **sustava za odvod kondenzata**;
- **regulacijskog modula** (ručni ili automatiziran, ponekad s CO₂ sensorima).

Učinkovitost se izražava kao **toplinska iskoristivost (η_{HR})**, najčešće u rasponu od **75 % do 95 %** kod kvalitetnih sustava. To znači da se npr. od 20 °C izlaznog zraka prenosi 15–19 °C na ulazni vanjski zrak (pri vanjskoj temperaturi npr. 0 °C).

Vrste izmjenjivača topline u rekuperaciji

1. **Križni pločasti izmjenjivači**
 - Najčešći tip u rezidencijalnim sustavima
 - Zrakovi se križaju kroz odvojene kanale; nema miješanja zraka
 - Učinkovitost: 60–80 %
 - Jednostavan, pouzdan i bez pokretnih dijelova
2. **Protuprijelazni izmjenjivači (counterflow)**
 - Duži put izmjene topline, učinkovitost i do 95 %
 - Koriste se u pasivnim kućama i nZEB zgradama
 - Kompaktni, ali skuplji od križnih
3. **Rotacijski izmjenjivači**
 - Rotirajući točak prenosi toplinu (i vlagu) između strujanja
 - Mogućnost prijenosa vlage (entalpijska funkcija)
 - Pogodni za zgrade s visokom vlagom ili većim potrebama
 - Nije primjeren za sterilna okruženja (npr. bolnice)
4. **Entalpijski (membranski) izmjenjivači**
 - Omogućuju istovremeni prijenos topline i vlage
 - Smanjuju isušivanje zraka zimi
 - Idealni za urede, škole i domove gdje je važna vlažnost zraka

Prednosti ugradnje rekuperatora

1. **Energetska učinkovitost**
 - Smanjuje toplinske gubitke do 90 % u ventilacijskom segmentu
 - Omogućuje smanjenje snage grijanja za 20–40 %
 - Kompatibilan s niskotemperaturnim sustavima grijanja (toplinske pumpe)
2. **Povećanje kvalitete zraka u interijeru (IAQ)**
 - Kontinuirana izmjena CO₂, VOC i vlage
 - Filtracija peludi, prašine i PM čestica
 - Manje problema s kondenzacijom, plijesni i alergijama
3. **Termalna uгода i stabilnost mikroklike**
 - Ulazni zrak nije hladan ni suh zimi
 - Ravnomjerna raspodjela temperature po prostorijama
 - Bolja kontrola unutarnje klime bez naglih oscilacija
4. **Akustička zaštita**
 - Zatvoreni prozori tijekom ventilacije

- Izolacija od vanjske buke i zagađenja

Projektantski i izvedbeni aspekti

- **Dimenzioniranje protoka zraka:**
Tipično 0,5 izmjena zraka po satu za boravišne prostore, više za kuhinje i kupaonice
- **Zoniranje sustava:**
 - usis iz „prljavih“ zona (kupaonice, kuhinje)
 - dovod u „čiste“ prostore (dnevni boravci, spavaće sobe)
 - time se održava pozitivni tlak u glavnim prostorima
- **Odabir lokacije rekuperatora:**
 - Tehničke prostorije, podrumi, tavani
 - Moguće su i decentralizirane jedinice za jednu prostoriju
- **Kanalski sustavi:**
 - Niskoprofilni, zvučno izolirani, antistatički
 - Potrebno izbjegavanje dugih trasa, zavoja i suženja
- **Buka i vibracije:**
 - Razina buke <25 dB(A) u prostorijama za spavanje
 - Montaža na antivibracijske nosače, izolacija kanala
- **Upravljanje i regulacija:**
 - Senzori CO₂, vlage, temperature
 - Programabilne postavke po zoni i po satu
 - Sučelja za pametne sustave (IoT, BMS)

Norme i certifikacijski zahtjevi

- **Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 128/15 i 70/18)** zahtijeva da nove zgrade ispunjavaju uvjete za kontroliranu ventilaciju s povratom topline.
- **Standardi pasivne kuće (PHI)** definiraju minimalnu iskoristivost rekuperatora od $\geq 75\%$, uz potrošnju električne energije ventilatora manju od $0,45 \text{ Wh/m}^3$.
- **LEED, WELL, BREEAM i DGNB** uključuju bodove za kontroliranu ventilaciju, filtraciju i upravljanje unutarnjom kvalitetom zraka.

Primjena u različitim tipologijama zgrada

- **Stambene zgrade:**
 - Kompaktne rekuperacijske jedinice, niska razina buke
 - Rast popularnosti u obiteljskim kućama kod energetske obnove
- **Škole i vrtići:**
 - Visoka fluktuacija korisnika, potreba za visokom izmjenom zraka
 - Sustavi s filtrima visoke klase (F7, HEPA)
- **Uredi i poslovni prostori:**
 - Sustavi s mogućnošću zoniranja i upravljanja po radnim prostorima
 - Integracija s HVAC i BMS sustavima
- **Zgrade mješovite namjene:**
 - Kombinacija centralnih i decentralnih jedinica
 - Fleksibilnost rasporeda i prilagodba radu po etažama

Rekuperacija topline predstavlja **jednu od najvažnijih tehnologija zelene gradnje**, jer omogućuje ostvarenje visoke energetske učinkovitosti bez kompromisa u pogledu zdravlja, udobnosti i kvalitete zraka. U vremenu kada zgrade moraju zadovoljiti standarde gotovo nulte energije i istovremeno osigurati visoku otpornost na klimatske promjene i zdravstvene rizike, sustavi rekuperacije postaju **standard, a ne opcija**. Za arhitekta i projektanta, uspješna integracija rekuperacije znači promišljeno planiranje prostora, razumijevanje tokova zraka i suradnju s inženjerskim strukama – sve s ciljem oblikovanja **zgrada koje dišu na inteligentan, kontroliran i energetski optimiziran način**.

4.3 Rasvjetni sustavi s upravljanjem

Rasvjeta u suvremenim zgradama više nije samo funkcionalna komponenta koja osigurava dovoljne razine osvjetljenosti – ona je ključni čimbenik **energetske učinkovitosti, vizualne udobnosti, atmosfere prostora i zdravstvenog stanja korisnika**. U okviru održive arhitekture i standarda nZEB, energetska potrošnja za rasvjetu mora biti znatno optimizirana kroz dvije ključne strategije: **primjena visokoučinkovitih izvora svjetlosti i implementacija sustava automatiziranog upravljanja rasvjetom** koji reagira na prisutnost, količinu dnevnog svjetla i stvarne potrebe korisnika.

Pametni rasvjetni sustavi omogućuju ostvarenje **prilagodljive, responzivne i energetski optimizirane rasvjete**, koja se može dinamički mijenjati ovisno o dobu dana, tipu aktivnosti i vrsti prostora, dok istovremeno smanjuje troškove električne energije i doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova.

Energetski učinkoviti izvori svjetlosti

Osnova svakog sustava rasvjete je **izbor učinkovitih izvora**. Danas je standard:

1. LED tehnologija (Light Emitting Diode)

- Energetska učinkovitost: 80–120 lm/W (novije i >150 lm/W)
- Dug životni vijek: 50.000+ sati
- Niska emisija topline, kompaktne dimenzije, fleksibilnost u dizajnu
- Podesiva temperatura boje (CCT) i CRI > 80 (indeks vjernosti boje)

2. OLED i mikro-LED

- U razvoju za primjene gdje se traži ekstremno ravnomjerno i difuzno svjetlo
- Primjene u arhitektonskoj, dekorativnoj i adaptivnoj rasvjeti

3. Fluorescentne i halogene žarulje

- Postupno se izbacuju zbog niže učinkovitosti i štetnih materijala (živini spojevi)

LED sustavi nisu samo energetski učinkovitiji, već omogućuju i **finu regulaciju intenziteta, boje i distribucije svjetla**, što je temelj za suvremene sustave upravljanja.

Sustavi upravljanja rasvjetom

Upravljanje rasvjetom uključuje niz strategija i tehnologija koje omogućuju **automatsko uključivanje, isključivanje, prigušivanje ili promjenu spektra svjetla** u skladu s unaprijed definiranim parametrima ili u realnom vremenu.

Najčešće metode upravljanja:

1. Upravljanje prema prisutnosti (PIR, ultrazvučni senzori)

- Rasvjeta se uključuje samo kad su korisnici prisutni
- Idealno za hodnike, sanitarne čvorove, tehničke prostore
- Znatna ušteda, smanjenje nepotrebne potrošnje

2. Upravljanje prema dnevnoj svjetlosti (Daylight Harvesting)

- Sustav detektira količinu prirodnog svjetla i automatski prilagođava umjetno osvjetljenje
- Postavlja se u uredima, učionicama, prostorima uz prozore
- Održava konstantan ukupni nivo osvjetljenosti (npr. 300 lx)

3. Tajmeri i vremensko upravljanje

- Rasvjeta se pali/gasi prema unaprijed programiranim terminima
- Pogodno za vanjsku rasvjetu, reklamne površine, stubišta

4. Zonsko upravljanje i scenariji

- Rasvjeta podijeljena u zone koje se neovisno kontroliraju
- Moguće definirati različite scene (npr. „rad“, „prezentacija“, „odmor“)
- Fleksibilnost u upotrebi prostora i smanjenje energetske potrošnje

5. DALI, KNX, Zigbee, Bluetooth Mesh

- Digitalni protokoli za komunikaciju i upravljanje rasvjetom
- Omogućuju centralizirano i decentralizirano upravljanje
- Integracija s ostalim sustavima (HVAC, BMS, IoT)

Projektantske smjernice za integraciju sustava

U arhitektonskom projektiranju, integracija rasvjete s upravljanjem zahtijeva:

- **ranu koordinaciju sa svim strukama** – električari, dizajneri rasvjete, automatizacija;
- **pozicioniranje senzora u skladu s režimima korištenja prostora;**
- **dimenzioniranje rasvjetnih tijela prema zadanoj osvjetljenosti i propisima;**
- **definiranje razina intenziteta prema funkciji (npr. 100 lx za hodnike, 300–500 lx za radne prostore);**
- **moćnost ručne intervencije korisnika** (izbjegavanje „automatizma koji frustrira“);
- **uskладiti sustav s ostalim strategijama štednje – npr. DALI integracija s BMS-om koji gasi rasvjetu kad su rolete spuštene i prostor prazan.**

Energetski učinci i uštede

Implementacija sustava upravljanja rasvjetom može rezultirati značajnim uštedama:

- **u stambenim zgradama:** 20–40 % uštede na godišnjoj potrošnji energije za rasvjetu;
- **u uredima i školama:** 35–60 %, osobito kod upravljanja dnevnim svjetlom;
- **u industrijskim pogonima:** >70 % u kombinaciji s LED rasvjetom i zonskim sensorima.

U pasivnim i nZEB zgradama, gdje je potrošnja za grijanje minimizirana, **rasvjeta i oprema preuzimaju dominantnu ulogu u energetske bilanci**, stoga njihova optimizacija postaje ključna za postizanje niskih vrijednosti primarne energije.

Norme i zakonski okvir

- **Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 128/15, 70/18)** propisuje maksimalnu godišnju energiju za rasvjetu u nestambenim zgradama (npr. $\leq 5 \text{ W/m}^2$ za uredske prostore).

- **Europska norma EN 15193-1:2017** definira metodologiju za izračun LENI faktora (Lighting Energy Numeric Indicator) – osnovni pokazatelj energetske učinkovitosti rasvjete izražen u kWh/m²/god.
- **Zeleni certifikacijski sustavi** (LEED, BREEAM, WELL) boduju:
 - korištenje sustava za regulaciju i automatizaciju rasvjete;
 - primjenu visokoučinkovitih LED izvora;
 - kontrolu odsjaja, spektra i intenziteta;
 - vezu između rasvjete i dobiti korisnika.

Utjecaj na zdravlje, ugodu i produktivnost

Rasvjeta ne utječe samo na potrošnju energije, već i na **psihofiziološke procese korisnika**:

- **kvaliteta svjetla (CRI, CCT)** utječe na percepciju boja, estetiku prostora i emocionalnu reakciju;
- **biološki učinci svjetla** uključuju regulaciju cirkadijalnog ritma, razine melatonina i kortizola – posebno važno u školama, uredima i zdravstvenim ustanovama;
- **dinamička (tunable white) rasvjeta** omogućuje mijenjanje temperature boje tijekom dana (npr. hladnije bijelo svjetlo ujutro, toplije navečer), simulirajući dnevni ritam.

U WELL certifikaciji, rasvjeta mora podržavati **biološku sinhronizaciju korisnika** i omogućiti kontrolu svjetla prema individualnim potrebama.

Arhitektonska integracija i dizajn svjetla

U održivoj arhitekturi, rasvjeta se ne projektira izolirano, već se **integrira s oblikovanjem prostora, materijalima, dnevnim svjetlom i namjenom prostorije**. Ključni pristupi uključuju:

- **hibridni sustavi**: kombinacija prirodnog i umjetnog svjetla, regulirana u realnom vremenu;
- **svjetlosne niše, indirektna rasvjeta, reflektirajuće površine** – smanjenje potrebne snage uz veći vizualni komfor;
- **pametne kontrole povezane s dizajnom interijera** – diskretni senzori, minimalističke kontrole, nevidljive instalacije.

Konačni cilj je ostvariti **svjetlosnu ekologiju prostora** – ravnotežu između količine, kvalitete i distribucije svjetla u službi zdravlja i održivosti.

Rasvjetni sustavi s upravljanjem predstavljaju **sinergiju tehnologije, dizajna i energetske učinkovitosti**, a njihova uloga u zelenim zgradama nadilazi puku iluminaciju. Kroz implementaciju pametnih senzora, LED tehnologije, dinamičkog upravljanja i integracije s dnevnim svjetlom, arhitekt i inženjer zajedno oblikuju **prostor svjetla koji štedi energiju, poštuje korisnika i odgovara na izazove dekarbonizacije**. U takvom pristupu, svjetlo više nije samo funkcija, već **strategija održivosti**.

4.4 Automatizacija i pametne zgrade (BMS, IoT)

Pametne zgrade predstavljaju novu paradigmu u arhitekturi i inženjeringu građenja, u kojoj zgrada više nije pasivna infrastruktura, već **dinamičan, senzibilan i adaptivan sustav** koji prati, analizira i optimizira svoje funkcije u stvarnom vremenu. Ključni nositelji ove transformacije su **automatizirani sustavi upravljanja zgradom (BMS) i tehnologije**

Interneta stvari (IoT) koje omogućuju digitalnu komunikaciju između elemenata zgrade, korisnika i vanjskih mreža.

U kontekstu održive gradnje i nZEB standarda, automatizacija postaje nužan alat za **upravljanje energijom, komforom, sigurnošću i održavanjem**, a istovremeno omogućuje integraciju obnovljivih izvora, responzivnu ventilaciju, adaptivnu rasvjetu i korisničku participaciju. Digitalna inteligencija ugrađena u zgradu postaje **most između projektiranog potencijala i stvarne energetske učinkovitosti**.

BMS – Building Management System

BMS (ili BAS – Building Automation System) je **centralizirani sustav koji integrira, upravlja i nadzire sve tehničke sustave zgrade** s ciljem optimizacije energetske učinkovitosti, udobnosti i sigurnosti. Tipični podsustavi koji se povezuju u BMS:

- Grijanje, hlađenje i ventilacija (HVAC)
- Rasvjeta
- Energetski nadzor i mjerenje (pametna brojila)
- Sigurnosni sustavi (kontrola pristupa, video nadzor)
- Sustavi za dojavu požara i CO₂
- Upravljanje roletama, sjenilima, fotonaponskim sustavima
- Sustavi za punjenje električnih vozila
- Praćenje kvalitete zraka i vlage

BMS koristi **senzore, aktuatorске jedinice, kontrolere i softversku platformu** za prikupljanje podataka, donošenje odluka i automatsku aktivaciju uređaja. Interfejs je često vizualan, dostupan putem zaslona u zgradi ili na udaljenim uređajima putem web sučelja ili aplikacije.

Prednosti ugradnje BMS-a:

- smanjenje energetske potrošnje do 30 % u odnosu na zgrade bez automatizacije;
- optimizacija rada sustava prema stvarnim uvjetima i rasporedu korisnika;
- smanjenje operativnih troškova i potreba za intervencijama;
- prediktivno održavanje (prepoznavanje kvarova prije manifestacije);
- integracija izvora i potrošača energije (npr. PV sustav i potrošnja);
- transparentnost i edukacija korisnika kroz prikaz potrošnje.

IoT – Internet of Things u graditeljstvu

IoT podrazumijeva **povezivanje fizičkih objekata s internetom**, čime oni postaju dijelom inteligentne mreže koja može razmjenjivati podatke, komunicirati s drugim uređajima i samostalno donositi odluke. U kontekstu pametnih zgrada, IoT senzori i uređaji omogućuju:

- detaljno praćenje potrošnje energije, vode, plina u stvarnom vremenu;
- automatsku regulaciju grijanja, rasvjete, ventilacije prema ponašanju korisnika;
- precizno upravljanje mikroklimom (temperatura, vlaga, CO₂, TVOC);
- upravljanje na daljinu putem aplikacija i digitalnih asistenata;
- međusobnu koordinaciju uređaja (npr. rolete se spuštaju kad solarni paneli proizvedu višak energije).

Prednosti IoT tehnologije u zgradarstvu uključuju **visoku skalabilnost, fleksibilnost, decentraliziranu obradu podataka i jednostavniju implementaciju u postojećim objektima** (retrofit rješenja). Osim toga, IoT omogućuje **personalizaciju iskustva**

korisnika, jer se sustavi mogu prilagoditi individualnim preferencijama, ponašanju i biološkim ritmovima.

Primjeri funkcionalnosti u pametnim zgradama

1. **Adaptivna ventilacija i grijanje/hlađenje**
 - sustav prati prisutnost, temperaturu i CO₂
 - prilagođava protok zraka i temperaturu po zonama
 - koristi predikcijske algoritme (npr. očekivani dolazak korisnika)
2. **Upravljanje rasvjetom i sjenilima**
 - automatska regulacija intenziteta svjetla prema količini dnevne svjetlosti
 - otvaranje/zatvaranje roleta prema poziciji sunca i vanjskoj temperaturi
3. **Praćenje energetske učinkovitosti**
 - prikaz potrošnje po sustavima, etažama ili uređajima
 - usporedba s normiranim vrijednostima ili prethodnim razdobljima
 - upozorenja na neuobičajene skokove potrošnje
4. **Integracija obnovljivih izvora**
 - PV sustavi koji napajaju određene potrošače u realnom vremenu
 - baterijski sustavi koji se pune kad je cijena energije najniža
 - prioritarno korištenje vlastite proizvodnje
5. **Prediktivno održavanje**
 - analiza rada sustava (npr. kompresora, ventilatora) kroz IoT senzore
 - alarmiranje na istrošenost ili nepravilnosti u radu
 - mogućnost automatskog naručivanja servisa ili dijelova

Normativni i sigurnosni aspekti

Primjena BMS i IoT sustava mora biti usklađena s:

- **Europskim normama za automatizaciju zgrada (EN 15232)** koje klasificiraju razine automatizacije i njihov utjecaj na potrošnju energije;
- **Standardima za sigurnost i zaštitu podataka** (npr. ISO/IEC 27001, GDPR) jer pametne zgrade prikupljaju osobne i osjetljive podatke;
- **Tehničkim propisima o racionalnoj uporabi energije** u zgradama koji impliciraju ugradnju mjernih i upravljačkih uređaja kod nZEB zgrada.

U kontekstu certifikacijskih sustava (LEED, BREEAM, DGNB), automatizacija i nadzor energije predstavljaju **jedan od ključnih pokazatelja održivosti**, koji može značajno doprinijeti bodovanju projekta.

Pametne zgrade kao energetske fleksibilni objekti

Kao sljedeći korak, pametne zgrade se pozicioniraju kao **aktivni sudionici energetskog sustava** – one ne samo da troše, već i proizvode, skladište i razmjenjuju energiju. To uključuje:

- **mikroenergetske mreže (microgrids)** povezane s BMS-om;
- **fotonaponski sustavi s pohranom energije i upravljanjem potrošnjom (load shifting);**
- **interakciju sa pametnim mrežama (smart grids)** putem digitalnih brojila i fleksibilnih tarifa.

Zgrada time postaje **energetski čvor koji može reagirati na cjenovne signale, optimizirati vlastitu potrošnju i doprinositi stabilnosti mreže.**

Arhitektonska i korisnička integracija

Za uspjeh pametnih sustava nije dovoljna samo tehnička implementacija. Potrebna je:

- **arhitektonska integracija senzora, kontrolera i sučelja** (estetika, ergonomija, diskrecija);
- **edukacija korisnika** o pravilnom korištenju i mogućnostima sustava;
- **otvoreni i intuitivni sustavi upravljanja** (aplikacije, tipkala, govorni asistenti);
- **osiguranje privatnosti i kontrole nad osobnim podacima**.

Pametna zgrada treba biti **transparentna, etična i korisnički orijentirana**, ne samo automatizirana.

Automatizacija i pametne tehnologije u zgradama ne predstavljaju tehnološki luksuz, već **neophodan alat za ostvarenje stvarno održive, energetske učinkovite i korisnički prilagođene arhitekture**. Ugrađeni senzori, centralizirani BMS sustavi i decentralizirani IoT uređaji zajedno omogućuju praćenje, upravljanje i optimizaciju svih aspekata zgrade u stvarnom vremenu – od mikroklima i rasvjete do potrošnje energije i sigurnosti. U takvom kontekstu, arhitekt i inženjer postaju **dizajneri digitalno-prostorne ekologije**, u kojoj se materijalno i virtualno isprepliću u službi čovjeka i planeta.

4.5 Ugradnja obnovljivih izvora energije (fotonaponski, solarni termalni, dizalice topline, biomasa)

Obnovljivi izvori energije (OIE) čine temelj energetske tranzicije zgrada prema održivim, niskougličnim i samodostatnim sustavima. U kontekstu direktiva Europske unije, posebice **Direktive o energetske učinkovitosti zgrada (EPBD)** i paketa „Fit for 55“, integracija OIE u nove i obnovljene zgrade više nije poželjna opcija, već **obvezujuća praksa**. Cilj je smanjiti emisije stakleničkih plinova, povećati otpornost energetskog sustava i ostvariti gotovo nultu potrošnju primarne energije (nZEB).

Ugrađeni obnovljivi sustavi, poput fotonaponskih modula, solarnih termalnih kolektora, dizalica topline i sustava na biomasu, omogućuju **proizvodnju električne i toplinske energije na licu mjesta**, čime se smanjuje ovisnost o mreži, potrošnja fosilnih goriva i dugoročni operativni troškovi. Ključno je da se ovi sustavi ne implementiraju naknadno, već se **integriraju u arhitektonsku i energetske-tehničku koncepciju zgrade od najranijih faza projektiranja**.

Fotonaponski sustavi (PV – Photovoltaics)

Fotonaponski sustavi pretvaraju sunčevo zračenje u električnu energiju pomoću poluvodičkih ćelija. Osnovni elementi sustava uključuju:

- PV moduli (najčešće monokristalni silicij, učinkovitost 18–23 %);
- inverter (pretvara istosmjernu u izmjeničnu struju);
- konstrukcija za montažu (krovna, fasadna, tlo);
- sustav za nadzor i pohranu (opcionalno: baterije, EMS sustav).

Projektantske smjernice:

- Optimalna orijentacija u Hrvatskoj: jug, nagib 30–35° (ovisno o lokaciji);
- 1 kW PV sustava proizvodi cca 1000–1200 kWh godišnje (prosječno);
- Površina krova od 15–20 m² može zadovoljiti potrebe jedne kućanstvene zgrade za el. energijom (u nZEB standardu);

- Sustavi se mogu integrirati u krov (BIPV) ili koristiti kao samostojeći elementi (pergole, nadstrešnice);
- Preporučuje se povezivanje s dizalicama topline i EV punionicama.

Regulatorni okvir:

- U Hrvatskoj su dostupni poticaji i pojednostavljeni priključak na mrežu za sustave do 10 kW;
- EPBD zahtijeva da zgrade koriste „značajan udio energije iz obnovljivih izvora proizveden na licu mjesta ili u blizini“.

Solarni termalni sustavi

Solarni termalni kolektori koriste sunčevu energiju za **zagrijavanje vode** koja se može koristiti za potrošnu toplu vodu (PTV) i/ili pomoćno grijanje. Sustavi uključuju:

- ravne pločaste kolektore ili vakuumske cijevi;
- spremnik tople vode s izmjenjivačem topline;
- cirkulacijsku pumpu i upravljačku jedinicu;
- sigurnosne elemente i izolirane cijevi.

Tehničke karakteristike:

- Prosječni toplinski prinos: 300–500 kWh/m²/god;
- Pokrivenost potreba za PTV-om: do 60–80 % godišnje (100 % ljeti);
- Potrebna površina kolektora za obiteljsku kuću: 4–6 m²;
- Sustavi su osobito korisni u objektima s velikim kontinuiranim potrebama za toplom vodom (hoteli, škole, sportski centri).

Arhitektonska integracija:

- Krovna ugradnja u ravni krova ili iznad njega;
- Fasadna ugradnja na južnim pročeljima;
- Estetski zahtjevniji od PV sustava, ali moguća su BIST rješenja (Building Integrated Solar Thermal).

Dizalice topline (Heat Pumps)

Dizalice topline koriste toplinsku energiju iz okoliša (zraka, tla, vode) i podižu je na višu temperaturnu razinu za potrebe grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a. One su **najrašireniji obnovljivi izvor toplinske energije u nZEB zgradarstvu**, s iznimno visokim stupnjem učinkovitosti:

- COP (Coefficient of Performance): 3–6 (1 kWh el. energije daje 3–6 kWh topline);
- SCOP (sezonski): >4 za zrak–voda, >5 za voda–voda.

Vrste dizalica:

1. **Zrak–voda** – najčešće, jednostavna instalacija, vanjska jedinica
2. **Voda–voda** – visoka učinkovitost, zahtijeva izvor podzemne vode
3. **Zemlja–voda (geotermalne)** – horizontalne (plitke) ili vertikalne sonde, najveća stabilnost i učinkovitost

Projektantski kriteriji:

- Uskladiti režim temperature s radiatorima ili niskotemperaturnim sustavima (idealno: podno/stropno grijanje);
- Osigurati akumulacijski spremnik za optimalan rad i defrost cikluse;
- Kombinirati s PV sustavom za energetska autonomiju.

Regulativa i poticaji:

- EPBD i Zakon o gradnji RH prepoznaju dizalice kao obnovljivi izvor;

- Moguće je ostvariti subvencije kroz nacionalne i EU fondove (npr. ENU, FZOEU).

Biomasa (peleti, drvo, sječka)

Biomasa je **ugljik-neutralan obnovljivi izvor energije** koji se koristi za grijanje putem lokalnih peći ili centralnih kotlova. U zgradarstvu, primjena biomase ima smisla u:

- obiteljskim kućama (peći na pelete s automatizacijom);
- višestambenim zgradama s centralnim kotlovnica;
- ruralnim i planinskim područjima bez plinske mreže.

Prednosti:

- lokalno dostupan resurs (osobito u Hrvatskoj);
- niska cijena energenta;
- mogućnost skladištenja energije (za razliku od solarnih sustava);
- peći s automatskim doziranjem, modulacijom i dimnim senzorima.

Nedostaci i izazovi:

- potreba za skladištenjem goriva i redovnim čišćenjem;
- emisije čestica i NO_x – zahtijeva sustave filtracije i visoku učinkovitost izgaranja;
- nije pogodna za zgrade u gusto naseljenim urbanim sredinama bez dodatne kontrole emisija.

Integracija OIE u cjelokupni energetska koncept

Uspješna primjena obnovljivih izvora energije zahtijeva **sustavni pristup**, koji uključuje:

1. **Energetsko modeliranje zgrade:** analiza potreba, vremenske profile, simulacije (PHPP, DesignBuilder, IDA ICE);
2. **Usklađivanje izvora i potrošača:** npr. usklađivanje PV proizvodnje i rada dizalice topline preko sustava upravljanja;
3. **Spremnici energije:** termalni (bojleri, PTV akumulatori) i električni (baterije) za balansiranje viška i deficita;
4. **Arhitektonska integracija:** PV moduli kao dio krova, solarni termalni kolektori na nadstrešnicama, kotlovnice na pelete kao dio servisnog volumena;
5. **Upravljanje i optimizacija:** IoT sustavi koji analiziraju vremensku prognozu, cijene energije, prisutnost korisnika i kapacitete proizvodnje.

Ugradnja obnovljivih izvora energije u zgrade nije samo tehničko pitanje, već **strategija dugoročne održivosti, energetske samodostatnosti i otpornosti na promjene tržišta energije i klimatske rizike**. Fotonaponski i solarni termalni sustavi, dizalice topline i biomasa nude širok raspon rješenja za različite tipologije, klimatske uvjete i korisničke profile. Ključno je da se oni promišljeno projektiraju, dimenzioniraju i integriraju u arhitektonsku cjelinu zgrade te povežu s pametnim sustavima upravljanja, čime se ostvaruje **transformacija zgrade iz potrošača u proizvođača – iz objekta u sustav**.

4.6 Integracija energetskih sustava i skladištenje energije (baterije, termalna pohrana)

U kontekstu zelene arhitekture i gotovo nulte potrošnje energije (nZEB), energetska sustavi više ne smiju funkcionirati kao izolirane cjeline. Umjesto toga, potrebno je razvijati **integrirani, inteligentni i dinamički energetska sustav** koji obuhvaća proizvodnju energije (npr. fotonaponske ćelije), potrošnju (HVAC, rasvjeta, uređaji), distribuciju, upravljanje i – što je ključno – **skladištenje energije** u obliku električne ili toplinske pohrane.

Skladištenje energije omogućuje **ravnotežu između promjenjivog karaktera proizvodnje (npr. sunčeva energija) i stvarnih potreba korisnika**, kao i povećanje energetske neovisnosti zgrade. Istovremeno, ono predstavlja ključnu komponentu budućih decentraliziranih energetske sustava u kojima zgrade više nisu pasivni potrošači, već **aktivni sudionici** (tzv. prosumeri).

Potreba za skladištenjem energije

Obnovljivi izvori energije, prvenstveno fotonaponski sustavi, imaju **intermitentan i vremenski neusklađen profil proizvodnje**:

- **najveća proizvodnja tijekom dana**, osobito oko podneva;
- **najveće potrebe korisnika ujutro i navečer** (rasvjeta, kuhanje, grijanje);
- **neravnoteža između trenutne proizvodnje i potrošnje** stvara tehnički i ekonomski izazov.

Skladištenjem energije:

- **višak energije se čuva za kasnije korištenje**;
- smanjuje se potreba za povratom energije u mrežu (ili njezinim povlačenjem);
- omogućuje se rad sustava u „otočnom režimu“ (off-grid) tijekom dijela dana;
- povećava se **samopotrošnja** vlastite proizvodnje, što je ključno za isplativost PV sustava.

Električno skladištenje: baterijski sustavi

Električna energija se u zgradama najčešće pohranjuje u **litij-ionske baterije**, iako se razvijaju i alternativne tehnologije poput natrij-ionskih, redoks-protočnih (flow batteries) i solid-state baterija.

Ključne karakteristike baterijskih sustava:

- **Kapacitet (kWh)**: određuje količinu pohranjene energije
- **Snaga (kW)**: maksimalna izlazna snaga (npr. za pokretanje više uređaja odjednom)
- **Dozvoljena dubina pražnjenja (DoD)**: često 80–90 %
- **Životni vijek**: 5.000–10.000 ciklusa (ovisno o tehnologiji)
- **Efikasnost ciklusa**: 85–95 % (ovisno o sustavu i temperaturi)

Primjeri integracije:

- **rezidencijalne zgrade**: 5–10 kWh baterije koje se pune tijekom dana i napajaju osnovne sustave noću;
- **komercijalni objekti**: veći sustavi za peak-shaving, balansiranje tarifa i sigurnost napajanja;
- **povezivanje s fotonaponskim sustavom i EMS-om (Energy Management System)**: punjenje u razdobljima niskih tarifa ili viška sunčeve energije.

Arhitektonska implementacija:

- Baterije se najčešće smještaju u tehničke prostorije, podrumne ili posebne ormariće;
- Potrebno je osigurati **ventilaciju, zaštitu od požara i dostupnost servisiranju**;
- Nove tehnologije omogućuju **fasadnu integraciju** (npr. PV moduli s ugrađenim mikro-baterijama u lamelama).

Toplinsko skladištenje (termalna akumulacija)

Toplinska energija, osobito ona dobivena iz solarnih termalnih kolektora ili dizalica topline, može se **akumulirati u spremnicima** i koristiti kad je najpotrebnije. To uključuje:

1. Spremnici potrošne tople vode (PTV)

- izolirani spremnici volumena 100–500 litara (rezidencijalno);
- višezonski spremnici s dva izmjenjivača (za solar i toplinsku pumpu);
- omogućuju pokrivanje dnevnih potreba uz noćno punjenje ili dnevno solarno punjenje.

2. Spremnici za grijanje prostora

- akumulacijski spremnici (buffer tanks) zapremine 300–1.500 litara;
- omogućuju optimalan rad dizalica topline u niskom režimu uz povremeno punjenje;
- sprečavaju prečesto uključivanje sustava i povećavaju učinkovitost.

3. Strukturna termalna masa zgrade

- korištenje betonskih ploča ili zidova za akumulaciju topline tijekom dana (aktivacija betonske jezgre);
- povećava stabilnost temperature, smanjuje potrebu za aktivnim grijanjem i hlađenjem.

Napredna rješenja uključuju:

- **faze promjene materijala (PCM)** – materijali koji pri prijelazu iz krutog u tekuće stanje akumuliraju velike količine topline u malom volumenu;
- **termokemijsko skladištenje** – još u razvoju, ali omogućuje dugotrajnu pohranu topline bez gubitaka.

Upravljanje viškovima i međusobna integracija

Energetska učinkovitost zgrade postiže se ne samo ugradnjom obnovljivih izvora i baterija, već **inteligentnim upravljanjem njihovim međudjelovanjem**. Ključni pojmovi:

- **EMS – Energy Management System:**
 - optimizira punjenje i pražnjenje baterija, rad toplinskih spremnika, aktivaciju uređaja;
 - koristi podatke o vremenskoj prognozi, cijenama energije, prisutnosti korisnika;
 - može upravljati i s više objekata (virtualne elektrane, zajedničke fotonaponske mreže).
- **load shifting i peak shaving:**
 - pomicanje potrošnje u razdoblja niskih tarifa ili viška energije
 - izbjegavanje preopterećenja sustava i smanjenje snage priključka
- **integracija s mobilnošću:**
 - punjenje električnih vozila iz baterije zgrade ili solarnih modula
 - korištenje baterije EV-a kao dodatnog izvora (V2G – Vehicle to Grid)

Regulatorni okvir i financijski aspekti

U kontekstu EU taksonomije i EPBD direktive:

- zgrade moraju koristiti značajan udio OIE;
- integracija sustava skladištenja omogućuje **veći udio vlastite potrošnje**, što je ključno za ekonomski opravdanost;
- kroz nacionalne fondove (npr. FZOEU) moguće su subvencije za baterije i toplinske spremnike uz uvjet energetske obnove ili integracije PV sustava.

Trošak baterijskih sustava opada (~500 €/kWh 2020. → <200 €/kWh 2025.), dok rast cijena energije čini ovakve sustave sve isplativijima, osobito uz mogućnost net-meteringa, time-of-use tarifa i otkupnih shema.

Integracija energetske sustava i pohrane energije predstavlja **ključnu komponentu energetske pametne i održive zgrade**. Ona omogućuje efikasno iskorištavanje obnovljivih izvora, smanjenje ovisnosti o vanjskim mrežama, optimizaciju potrošnje i aktivno sudjelovanje zgrade u energetske tranziciji. Kroz strateško povezivanje fotonaponskih modula, dizalica topline, toplinskih spremnika i baterija u koherentan i pametan sustav, arhitekt i inženjer oblikuju **energetski autonomnu arhitekturu**, otpornu na klimatske promjene i volatilnost tržišta.

U takvom sustavu, zgrada postaje **mikroenergetski čvor**, sposoban proizvoditi, akumulirati i razmjenjivati energiju, te na taj način osigurati ne samo vlastitu održivost, već i stabilnost šireg sustava kojem pripada.

5. ODRŽIVO GOSPODARENJE VODOM I OTPADOM

5.1 Prikupljanje i ponovna upotreba kišnice

U sustavu održive gradnje i kružne uporabe resursa, voda zauzima posebno mjesto – ne samo kao osnovni uvjet za život i zdravlje, već i kao **strategijski resurs koji je sve ugroženiji klimatskim promjenama, urbanizacijom i neodrživom potrošnjom**. U tom kontekstu, prikupljanje i ponovna upotreba kišnice predstavlja jednu od ključnih mjera **smanjenja opterećenja na komunalne sustave, ublažavanja urbanih poplava, rasterećenja podzemnih voda i povećanja otpornosti zgrada**.

Kišnica je izravno dostupan, decentraliziran izvor vode koji – uz odgovarajuću obradu i distribuciju – može zamijeniti značajan udio potrošnje pitke vode u zgradama. Tehnički sustavi za njezino sakupljanje su relativno jednostavni i lako integrabilni u arhitektonsko rješenje zgrade, dok se povrat ulaganja ostvaruje kroz smanjene račune za vodu, produženje vijeka kanalizacijskih sustava i izbjegavanje troškova odvodnje oborinskih voda.

Racionalizacija potrošnje vode u zgradama

Analiza vodne potrošnje u prosječnim zgradama pokazuje da **pitka voda iz vodovoda neracionalno završava u funkcijama koje ne zahtijevaju takvu kvalitetu**: ispiranje WC-a (30–40 %), zalijevanje zelenih površina (10–20 %), pranje površina, vozila, perilica rublja. Upravo za te funkcije kišnica može biti **adekvatan supstitut**, čime se smanjuje pritisak na javne vodovodne sustave i resurse izvorišta.

Prema smjernicama Europske unije i principima zelene infrastrukture, **prioritet bi trebao biti uvođenje decentraliziranih sustava ponovne uporabe** i zatvaranje vodnih petlji unutar objekta.

Osnovne komponente sustava za prikupljanje kišnice

1. Hvatajuće površine

- najčešće **krovovi**, ali i **terase, balkoni, staklene fasade**
- materijali: crijep, lim, betonske ploče – prioritet površine koje ne sadrže azbest, olovo ili pesticide
- površina direktno određuje volumen prikupljene vode (prosječno: 0,8–0,9 lit/m² po mm padaline)

2. Oluci i odvodni kanali

- trebaju biti izvedeni od materijala otpornog na UV, koroziju i smrzavanje (npr. PP, PVC-U)
- treba izbjegavati površine koje sadrže olovni lem

3. Filteri za grubu i finu filtraciju

- uklanjanje lišća, čestica, prašine i životinjskih fekalija
- često integrirani u kontrolne šahtove ili specijalizirane ulazne filter jedinice
- automatsko samočišćenje je preporučeno za urbane sustave

4. Spremnici za pohranu

- mogu biti **podzemni (betonski, PE, GFRP) ili nadzemni (ukopani, integrirani u volumene zgrade)**
- veličina ovisi o oborinskom režimu, površini krova i potrebama korisnika (npr. 3–5 m³ za kuću)
- potrebna ventilacija, nepropusnost, UV zaštita i zaštita od zamrzavanja

5. Sustav crpljenja i distribucije

- podtlak pumpe s automatiziranim prekidačima (uključenje kad se detektira razina korisnika)
- mogućnost spajanja na WC školjke, perilice, slavine za tehničku vodu
- preporučena **dvostruka vodovodna mreža** (razdvojene cijevi za kišnicu i pitku vodu) s fizičkom odvojenošću i povratnim ventilima

6. Sigurnosni preljev

- kod prepunjavanja spremnika višak se odvodi u infiltracijski bunar, retenciju, biotop ili komunalnu kanalizaciju s regulatorom protoka

Količina i kvaliteta kišnice

Količina ovisi o tri faktora:

- godišnja količina oborina (npr. Zagreb: ~850–1100 mm/god);
- hvatajuća površina krova (npr. 100 m²);
- koeficijent učinkovitosti (cca 0,8 za kosi krov).

Formula:

$$Q = P \times A \times C$$

gdje je:

Q – godišnja količina sakupljene kišnice (litara);

P – godišnja količina oborina (mm);

A – hvatajuća površina (m²);

C – koeficijent učinkovitosti (0,75–0,95).

Kvaliteta ovisi o:

- materijalu krova i oluka;
- zagađenosti zraka i čestica u okolišu;
- trajanju sušnog perioda prije kiše (efekt „first flush“);
- održavanju sustava.

Za **upotrebu u sanitarnim funkcijama (WC, perilice)** potrebna je osnovna filtracija i dezinficijens (npr. UV, klor). Za **zalijevanje ili tehničke svrhe** dovoljna je mehanička filtracija i pohrana u zatvorenom spremniku.

Funkcionalnosti i koristi

1. Ekološke koristi

- rasterećenje vodoopskrbnih i kanalizacijskih mreža
- smanjenje potrošnje pitke vode za 30–50 %
- ublažavanje urbanih poplava (odgođeno otjecanje)
- zaštita podzemnih voda i izvorišta

2. Ekonomske koristi

- smanjenje troškova vodoopskrbe (osobito u komercijalnim objektima)
- smanjenje opterećenja septičkih sustava kod samostojećih objekata
- produženje vijeka infrastrukture i manji troškovi održavanja

3. Funkcionalne koristi

- dostupnost tehničke vode i u slučaju privremenog prekida vodoopskrbe
- neovisnost o cijenama vodnih usluga

- mogućnost integracije sa sustavima navodnjavanja, zelenim krovovima, fontanama

Arhitektonska integracija i dizajn

Održiva uporaba kišnice nije isključivo tehničko pitanje – njezin **arhitektonski potencijal** može biti izražen kroz:

- oblikovanje krovnih površina kao aktivnih kolektora;
- vidljive spremnike u edukativnim, javnim ili zajedničkim prostorima;
- integraciju sustava u elemente krajobraza (bioretencije, vodeni tokovi);
- dizajniranje interijera s funkcionalnim svjesnim elementima (npr. slavine za tehničku vodu označene bojama).

Estetika, funkcionalnost i edukativna dimenzija mogu se povezati u koherentnu arhitektonsku naraciju **zgrade koja razmišlja o vodi**.

Regulatorni okvir i standardi

U Europskoj uniji i Hrvatskoj sve je više normativnih poticaja za ugradnju ovakvih sustava:

- **Europska Direktiva o obradi komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ)** potiče retenciju i lokalnu obradu;
- **EPBD (Direktiva o energetske učinkovitosti zgrada)** proširena je na zahtjeve za korištenje obnovljivih resursa – uključujući vodu;
- **LEED, BREEAM, DGNB i WELL** sustavi certificiranja daju bodove za prikupljanje i ponovnu uporabu kišnice (kriteriji: količina, vrsta upotrebe, kontrola kvalitete);
- **Hrvatske Tehničke smjernice (npr. G3, H6)** preporučuju korištenje kišnice za tehničke svrhe, posebno kod objekata izvan dosega kanalizacije.

Prikupljanje i ponovna uporaba kišnice predstavlja **visoko učinkovit, jednostavan i dugoročno isplativ element zelene arhitekture**. Kroz sustavno hvatanje, filtraciju i distribuciju kišnice moguće je ostvariti značajne uštede vode, povećati otpornost zgrade na klimatske ekstreme i doprinijeti zatvaranju vodnog ciklusa u urbanim sredinama. Za arhitekta i projektanta, to znači **aktivnu suradnju s prirodnim resursima i prepoznavanje svakog pada kiše ne kao problema, već kao potencijala** – potencijala koji se može integrirati u arhitektonski jezik zgrade, ali i u njezin identitet.

5.2 Sive i crne vode – reciklaža i filtracija

Uspostava održivog i kružnog modela gospodarenja vodnim resursima unutar zgrada i urbanih cjelina ne može se realizirati bez analize i optimizacije toka **otpadnih voda**, koje nastaju svakodnevnim korištenjem sanitarnih, kuhinjskih i drugih vodovodnih sustava. Tradicionalno, sve takve vode bivaju ispuštene u kanalizacijski sustav ili septičke jame, bez diferencijacije po stupnju onečišćenja ili potencijalu za ponovno korištenje. Međutim, suvremeni pristupi u zelenoj gradnji temelje se na **razdvajanju, reciklaži i reintegraciji otpadnih voda**, osobito tzv. *sivih voda*, čime se znatno smanjuje opterećenje okoliša i potrošnja pitke vode.

Definicije i tipologija: siva vs. crna voda

Otpadne vode iz zgrada u tehničkoj praksi razvrstavaju se u dvije osnovne kategorije:

1. **Siva voda (greywater):**
 - voda iz **tuševa, kada, umivaonika, perilica rublja;**

- sadrži sapune, deterdžente, ulja, mikrovlakna, mikroorganizme, ali ne i fekalije ni urin;
- čini **40–60 % ukupnog volumena otpadne vode** u prosječnoj kući;
- ima **relativno niski stupanj onečišćenja** i visoki potencijal za reciklažu nakon obrade.

2. Crna voda (*blackwater*):

- voda iz **WC školjki i kuhinjskih sudopera**;
- sadrži fekalije, urin, patogene, organski otpad, masnoće i ostatke hrane;
- zahtijeva kompleksniju obradu i predstavlja veći rizik za zdravlje.

Razlikovanje ovih dviju vrsta vode omogućuje **selektivno projektiranje sustava obrade**, gdje se siva voda reciklira za tehničke svrhe (npr. ispiranje WC-a, navodnjavanje), a crna voda odvodi u komunalni ili individualni sustav pročišćavanja.

Sustavi reciklaže sive vode

Sustavi za reciklažu sive vode omogućuju **lokalnu obradu i ponovnu uporabu unutar objekta**, čime se:

- smanjuje ukupna potrošnja pitke vode za 25–40 %;
- rasterećuje kanalizacijska i vodovodna infrastruktura;
- poboljšava otpornost na sušu i poremećaje u opskrbi vodom.

Osnovne komponente sustava:

1. Prikupljanje i razdvajanje sive vode

- posebne odvodne cijevi iz tuševa, umivaonika i perilica vode se prema uređaju za obradu
- preporučena fizička odvojenost od crnih voda
- sustav mora biti projektiran već u fazi idejnog rješenja zgrade

2. Preliminarna obrada

- mehanička filtracija (rešetke, zamke za kosu i pijesak)
- taloženje u spremnicima s mirnim protokom
- uklanjanje većih čestica i masnoća

3. Biološka i kemijska obrada

- aerobni bioreaktori (npr. SBR, MBR sustavi)
- UV dezinfekcija, ozonizacija ili kloriranje
- alternativno: biofiltri s biljkama (fitoremedijacija), šljunčani slojevi s aktivnim ugljenom

4. Spremnik za pročišćenu sivu vodu

- volumen 100–300 litara (ovisno o kapacitetu korisnika)
- integracija s pumpnim sustavom za distribuciju
- mogućnost nadzora kvalitete vode (senzori mutnoće, pH, klora)

5. Povratni vodovi

- dovod pročišćene vode do WC školjki, slavina za navodnjavanje, perilica
- obvezna označenost (npr. ljubičaste cijevi, znakovi za tehničku vodu)
- sprečavanje unakrsne kontaminacije kroz dvostruke ventile i sustav nepovratnog toka

Integracija u arhitektonske i tehničke sustave

Reciklaža sive vode mora biti **integrirana u projekt kao međusustav između vodovoda, odvodnje i upravljanja energijom**. Ključni projektantski elementi uključuju:

- **odvajanje odvoda** prema sanitarnoj funkciji (plan instalacija);
- **dimenzioniranje sustava prema broju korisnika i prosječnoj potrošnji vode;**
- **prostor za uređaj za obradu** – najčešće u tehničkoj prostoriji, podrumskoj zoni ili na krovu;
- **kombinacija sa sustavima za kišnicu i zelenom infrastrukturom** (npr. navodnjavanje krovnih vrtova iz reciklirane sive vode);
- **moгуćnost retrofita u postojeće zgrade** uz modularna rješenja (npr. kompaktni MBR uređaji za apartmane, hotele, studentske domove).

Reciklaža crne vode i inovativni pristupi

Crna voda je zbog svog visokog stupnja onečišćenja i zdravstvenih rizika znatno složenija za lokalnu obradu. Ipak, u kontekstu off-grid zgrada, ekonaselja, kampusa i ruralne gradnje razvijaju se **decentralizirani sustavi zatvorene petlje**, poput:

- **kompaktnih bio-reaktora s anaerobnom digestijom** (uz proizvodnju bioplina);
- **sustava mokrih WC-a s fekalnim odvodom u kompostne komore;**
- **odvojenih sustava za urin (urine separation)** s mogućnošću povrata nutrijenata (N, P, K);
- **fitoremedijacijskih zona s močvarnim biljkama**, pogodne za tople klimatske zone.

U urbanim sredinama obrada crne vode na licu mjesta rijetko je isplativa, no **selektivno ispiranje WC-a recikliranom sivom vodom** čini značajan doprinos smanjenju ukupnog otjecanja i potrošnje.

Zdravstveni i sigurnosni aspekti

Ključna ograničenja reciklaže otpadnih voda odnose se na:

- prisutnost mikroorganizama (E. coli, Legionella, Giardia);
- kemijska sredstva za čišćenje, sapune, deterdžente;
- mikroplastiku i mikrovlakna iz odjeće i higijenskih proizvoda;
- mogućnost unakrsne kontaminacije sustava pitke vode.

Stoga su **strogi higijenski protokoli, filtracija i dezinfekcija** nužni kod svake primjene za interne svrhe. Korištenje reciklirane vode za piće nije preporučljivo niti zakonski dopušteno u većini zemalja, ali za tehničke potrebe – uz adekvatnu obradu – sustavi su **sigurni i provjereni**.

Regulatorni okvir i certifikacijski sustavi

U Europskoj uniji, **Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ)** promiče lokalnu obradu, dok novije inicijative (npr. EU Circular Economy Action Plan) ističu ponovnu uporabu otpadne vode kao ključnu strategiju.

U Hrvatskoj, **Zakon o vodama (NN 66/19, 84/21)** još uvijek ne propisuje obvezu razdvajanja sive i crne vode, ali:

- u **smjernicama za energetske učinkovite zgrade i nZEB standardima** potiče se racionalizacija vodne potrošnje;
- **LEED, BREEAM, DGNB i WELL** daju bodove za reciklažu sive vode (kriteriji: smanjena potrošnja, kvaliteta obrade, pokrivenost potreba);
- lokalne samouprave mogu uvjetovati uvođenje takvih sustava u novim urbanističkim planovima, osobito u područjima bez kanalizacije.

Sustavi za razdvajanje, obradu i ponovnu uporabu sive vode predstavljaju **jedan od najkonkretnijih primjera kružnog gospodarenja resursima u arhitekturi**, s izravnim učincima na okoliš, ekonomiju i otpornost zgrada. Njihova integracija u projekt zgrade omogućuje **smanjenje potrošnje pitke vode, rasterećenje infrastrukture, smanjenje emisija i edukaciju korisnika o održivosti**. Reciklaža crne vode ostaje izazovna i specifična za određene kontekste, ali kao dio šireg sustava – u kombinaciji sa sivom vodom, kišnicom i zelenom infrastrukturom – pridonosi **zatvaranju vodne petlje u izgrađenom okolišu**.

Za arhitekta, inženjera i investitora, ovo otvara mogućnost stvaranja **zgrada koje aktivno upravljaju vodom kao resursom, a ne kao otpadom**, i time prepoznaju vodu kao ključni element arhitektonske održivosti.

5.3 Kompostiranje i recikliranje na razini zgrade

U okviru strategije kružnog gospodarstva, zgrade – osobito one koje teže standardima zelene gradnje – više se ne promatraju samo kao potrošači energije i resursa, već i kao **proizvođači sekundarnih sirovina** i potencijalna mikro-čvorišta za obradu otpada na izvoru. U tom kontekstu, *kompostiranje biootpada* i *recikliranje ostalih frakcija otpada* na razini same zgrade predstavljaju ključne operativne mehanizme koji omogućuju zatvaranje materijalnih tokova, smanjenje opterećenja na gradske sustave zbrinjavanja i stvaranje lokalne vrijednosti.

Posebno u urbanim sredinama gdje je logistika otpada izazovna, a svijest korisnika sve veća, implementacija ovakvih sustava postaje **ne samo poželjna, već i funkcionalno opravdana**. Cilj nije samo smanjenje količine otpada koji završava na odlagalištima, već i razvoj *decentralizirane infrastrukture za reciklažu, kompostiranje i edukaciju korisnika* – izravno integrirane u arhitektonski i upravljački sustav zgrade.

Kompostiranje biootpada u zgradama

Biootpad – otpadna hrana, ljuske jaja, ostaci voća i povrća, talog kave i čaja, vrtni ostaci – čini **30–50 % ukupnog otpada kućanstva**. Ako se odvoji na izvoru i obradi kompostiranjem, može se:

- spriječiti njegovo truljenje i emisija metana na odlagalištu;
- proizvesti vrijedan humus za zelene površine, krovne vrtove i biljke u interijeru;
- smanjiti broj odvoza i ukupne troškove upravljanja otpadom;
- educirati korisnike o cikličnosti resursa.

Vrste sustava za kompostiranje:

1. Individualno kompostiranje (unutar stanova)

- Bokashi sustavi (anaerobna fermentacija uz EM – efektivne mikroorganizme);
- Vermikomposter (kalifornijske gliste u posudama);
- Pogodno za manje količine i edukativne svrhe.

2. Zajednički komposter u zgradi

- Modularni komposter u dvorištu, podrumu ili zajedničkom prostoru;
- Termalni komposter s izolacijom i ventilacijom za kontinuiran rad;
- Potrebna organizacija zajednice (red održavanja, aktivator, miješanje).

3. Mehanički komposter s automatskim miješanjem i grijanjem

- Ubrzano razlaganje (2–4 tjedna), bez mirisa i štetnika;
- Moguće korištenje u većim objektima (vrtići, škole, domovi, hoteli);

- Visoka investicija, ali minimalno održavanje.

Projektantski zahtjevi:

- predvidjeti prostor za kompostiranje (vanjski zaklon, tehnička niša, zelenilo);
- osigurati pristup vodi, ventilaciju i zaštitu od sunca/kiše;
- uklopiti informacijske ploče i vizualnu integraciju u okoliš zgrade;
- povezanost s urbanim vrtovima, zelenim krovovima ili zajedničkim gredicama.

Recikliranje: infrastrukturna i organizacijska rješenja

Za učinkovito recikliranje u višestambenim i javnim zgradama, nužno je osigurati **prostorne, tehničke i upravljačke uvjete** za sortiranje otpada na izvoru.

Minimalne frakcije za odvajanje:

- papir i karton
- plastika i metal
- staklo
- tekstil (opcionalno)
- problematični otpad (baterije, elektronika)
- biootpad (povezano s kompostiranjem)

Tipični elementi infrastrukture za recikliranje:

1. Zajednički reciklažni prostori (eko-otoci)

- u podrumima, prizemljima ili dvorišnim prostorima;
- odvojeni kontejneri po boji, označeni s uputama;
- protuklizne površine, ventilacija, rasvjeta i mogućnost zaključavanja.

2. Vertikalni sustavi za sortiranje (sakupljački kanali)

- instalacijski šaftovi s odvojenim komorama (izazovni za naknadnu ugradnju);
- korisnik na svakom katu odabire frakciju (tehnički kompleksno i rijetko korišteno).

3. Pametni spremnici s elektronskim nadzorom

- čipirani pristup po korisniku, identifikacija putem kartice ili mobilne aplikacije;
- prikupljanje podataka o količinama i pravilnosti sortiranja;
- poticajni modeli naplate (plaćanje po količini miješanog otpada).

Arhitektonska i urbanistička integracija

Sustavi za kompostiranje i reciklažu moraju biti **dizajnirani kao sastavni dio zgrade**, a ne ad-hoc rješenja. Ključne smjernice uključuju:

- **vizualna diskrecija i prostorna dostupnost** – integracija u pročelja, nadstrešnice, spremišta;
- **akustička i olfaktorna kontrola** – odvojeni pristupni put za stanare i komunalne službe, ventilacija prostora;
- **horizontalna i vertikalna dostupnost** – prilagođeno osobama s invaliditetom i starijima;
- **oblikovna povezanost s edukacijom i prirodom** – mural, interaktivni displeji, sadnice uz kompostere.

Poseban izazov čini **projektiranje eko-otoka za gusto naseljene četvrti**, gdje arhitektonsko rješenje mora ponuditi multifunkcionalnost: npr. kombiniranje zelenih otoka s klupama, urbanim vrtovima i rasvjetom.

Edukacija i upravljanje

Bez uključenja korisnika i njihove edukacije, sustavi ne funkcioniraju. Preporučene prakse uključuju:

- informativne ploče s ikonografijom i višejezičnim opisima;
- aplikacije za nadzor količina, obavijesti o odvozu i gamifikaciju;
- zajedničke radionice, „dani kompostiranja“, sustavi nagrađivanja za stanare;
- povezivanje s lokalnim sustavima kružnog gospodarstva (npr. razmjena komposta s urbanim farmama, doniranje tekstila i elektronike).

Regulatorni okvir i poticaji

- **Direktiva o otpadu EU (2008/98/EZ)** i novi Akcijski plan za kružno gospodarstvo obvezuju države članice da do 2035. recikliraju 65 % komunalnog otpada.
- **Nacionalni plan gospodarenja otpadom RH** predviđa povećanje lokalne prerade otpada i smanjenje odlaganja.
- **LEED, BREEAM, DGNB** boduju integraciju reciklažnih centara i kompostera u zgradi, uključujući praćenje i edukaciju.
- **Pravilnici o gospodarenju biootpadom (NN 48/17, 73/21)** uvode obvezu odvojenog prikupljanja i mogućnosti kućnog kompostiranja.

Kompostiranje i recikliranje na razini zgrade predstavljaju **ključni korak u prijelazu s linearnih na kružne modele resursne učinkovitosti** u arhitekturi i urbanizmu. Implementacija sustava za obradu biootpada i reciklažu ne samo da smanjuje utjecaj na okoliš i rasterećuje javne usluge, već i **potiče kolektivnu odgovornost, participaciju korisnika i stvaranje mikro-zajednica unutar zgrada**. Za arhitekta, ovo znači stvaranje prostora koji ne samo da potiču održivo ponašanje, već ga **strukturno omogućuju i oblikovno afirmiraju** – zgrada tako postaje i alat obrazovanja, i ekološki akter, i proizvodno mjesto održivog života.

5.4 Uloga zelenih površina i infiltracije vode

Zelene površine, kao što su travnjaci, perivoji, žardinjere, krovni i vertikalni vrtovi te prirodni infiltracijski pojasevi, predstavljaju **integralne komponente održive urbane i arhitektonske infrastrukture**. Njihova uloga nadilazi estetske i rekreativne funkcije – u kontekstu održivog gospodarenja vodom, one su ključni element **prirodnog sustava upravljanja oborinskim vodama**, jer omogućuju infiltraciju, retenciju, evapotranspiraciju i filtraciju površinskih otjecanja.

U vrijeme sve učestalijih ekstremnih padalina, toplinskih valova i urbanih poplava, zeleni elementi postaju **aktivni prostori regulacije i stabilizacije hidroloških procesa**, smanjujući pritisak na kanalizacijski sustav, ublažavajući efekt toplinskih otoka i vraćajući tlo njegovu prirodnu funkciju – upijanja i pročišćavanja vode.

Zelene površine kao infiltracijski mediji

Tlo koje nije prekriveno nepropusnim materijalima (asfalt, beton, keramika) ima sposobnost da:

- **upija oborinsku vodu** kroz porozne slojeve;
- **usporava površinsko otjecanje**, čime sprječava eroziju i poplave;
- **filtrira onečišćujuće tvari**, kao što su teški metali, ulja, čestice i nitrati;

- **potiče zadržavanje vode u krajobrazu**, povećava zalihe podzemnih voda;
- **olakšava lokalnu mikroklimatsku stabilnost** kroz evaporaciju i hlađenje.

Optimalno dizajnirane zelene površine omogućuju **infiltraciju i retenciju oborina na licu mjesta** – bez potrebe za trenutnim odvodom – i time čine prvi sloj zelene obrane u održivom sustavu upravljanja vodom (Sustainable Drainage Systems – SuDS).

Tipovi zelenih infiltracijskih rješenja

1. Travnati infiltracijski pojasevi i jarke

- uz prometnice, staze, uz temelje zgrada
- usmjeravaju i zadržavaju otjecanje s asfaltiranih površina
- mogu sadržavati drenažne slojeve i geotekstilne filtere

2. Kišni vrtovi (rain gardens)

- plitke depresije sa zeljastim biljkama otporne na vlaženje i sušu
- vode se slijevaju s krovova, terasa ili parkirališta
- višeslojna struktura (vegetacija – tlo – šljunak – drenaža)

3. Bioretencijski bazeni i zeleni kanali (bioswales)

- usmjeravaju i pročišćavaju tokove vode u većim kompleksima
- uključuju višegodišnje bilje i autohtone grmove
- omogućuju postupan prodor vode u tlo i istovremeno čiste površinsku vodu

4. Zelene krovne površine s retencijskim slojevima

- usporavaju i dijelom zadržavaju oborinsku vodu na razini krova
- retencijska sposobnost: 50–90 % godišnjih padalina (ovisno o slojevima i vegetaciji)
- omogućuju isparavanje i ponovno kruženje vode u atmosferi

5. Permeabilne staze i kolničke površine s zelenim rasterima

- zamjena klasičnih pločnika zelenim rešetkastim pločama koje podržavaju infiltraciju
- moguće kombinirati s travom, šljunkom ili biopokrivačima

Ekohidraulička i klimatska učinkovitost zelenih površina

Zelene površine u urbanim sredinama imaju višestruke funkcije:

- **smanjenje površinskog otjecanja** za 30–80 %, ovisno o dizajnu i tlu;
- **ublažavanje rizika od bujičnih poplava** u slučajevima jakih padalina;
- **snižavanje temperature zraka** za 2–4 °C u njihovoj neposrednoj blizini;
- **povećanje relativne vlažnosti i udobnosti za korisnike**;
- **vezanje CO₂ i drugih onečišćujućih tvari iz zraka** (fitoremedijacija).

Kombiniranjem vegetacijskih vrsta s različitim dubinama korijenja postiže se **dubinska infiltracija**, dok ugradnja drenažnih i separatornih slojeva povećava **retencijski kapacitet** i trajnost sustava.

Arhitektonska i krajobrazna integracija

U projektiranju zgrade i njezinog okoliša, zelene infiltracijske površine mogu biti:

- **integrirane s elementima dnevne upotrebe** – travnate staze, sjedeće površine, sjenila s vegetacijom;
- **povezane s funkcijama zgrade** – npr. kišni vrt uz ulaz, povezan s sustavom za sakupljanje kišnice;

- **modularne** – formirane kao pokretne žardinjere ili segmenti zelenog zida koji apsorbiraju vodu;
- **estetski valorizirane** – koristeći autohtone biljke, teksture, sezonsku dinamiku i boju.

Uz dobro planiranu infrastrukturu (npr. infiltracijske kanale ispod popločenja), moguće je ostvariti **visok stupanj zelenila i vodne funkcionalnosti i u gusto urbaniziranim područjima**.

Tehnički i normativni aspekti

Za funkcionalnu infiltraciju vode u zeleni sustav, potrebno je:

- analizirati **tip tla** (permeabilnost, kapacitet zasićenja);
- odrediti **površinu potrebnu za retenciju** oborinskih voda (prema normama EN 752 i HRN U.C6.020);
- osigurati **zaštitu temelja i podruma od zasićenja vodom** (odvojeni pojasevi, geomembrane);
- uskladiti zelene površine s postojećim **sustavima oborinske i fekalne odvodnje** (ne smiju se miješati);
- osigurati **pristup za održavanje**, obrezivanje i zamjenu bilja.

Europske direktive, kao i brojni lokalni propisi, sve češće traže da novi građevinski zahvati osiguraju **retenciju određene količine oborinske vode na lokaciji**, osobito u slučajevima rekonstrukcija prometnica, trgova i većih kompleksa.

Edukativna i participativna dimenzija

Zeleni infiltracijski sustavi često mogu poslužiti i kao **edukacijski alat**, osobito u javnim zgradama, školama i zajedničkim stambenim kompleksima. Kroz njih je moguće:

- prikazati **kruženje vode u urbanom okolišu** (npr. kroz info-panele, staklene profile tla, interaktivne aplikacije);
- potaknuti **održavanje kroz participaciju korisnika** (zalijevanje, sadnja, praćenje razine vode);
- povezati infiltraciju s **sustavima pametnog nadzora** koji bilježe vlažnost tla, kapacitet upijanja i zdravstveno stanje bilja.

Takvi sustavi potiču osjećaj **zajedničkog vlasništva nad okolišem** i podižu razinu ekološke pismenosti.

Zelene površine nisu više tek dekorativni dodatak zgradi, već **funkcionalni, biotehnički i hidrološki uređaji**, koji reguliraju tokove vode, pročišćavaju okoliš i poboljšavaju mikroklimu. Njihovim sustavnim uključivanjem u projekt zgrade – od same parcele do krova – moguće je ostvariti **visok stupanj lokalne infiltracije, smanjenje otjecanja i smanjenje opterećenja na komunalne sustave**.

Za arhitekta i projektanta, to znači **novu dimenziju projektiranja u kojoj zemlja, voda i biljka postaju projektni materijali jednakovrijedni betonu, čeliku i staklu**. Uloga zelenih površina više nije pomoćna – ona je temeljna za otpornost, prilagodljivost i dugoročnu održivost zgrada u doba klimatske neizvjesnosti.

6. MJERENJE, CERTIFIKACIJA I VALIDACIJA

6.1 Energetska evaluacija zgrade (PHPP, HERS, nacionalni alati)

U kontekstu održivog projektiranja i postizanja gotovo nulte potrošnje energije (nZEB), precizno **mjerenje, modeliranje i evaluacija energetske performansi zgrade** predstavlja temelj za donošenje informiranih projektnih odluka, usklađivanje s regulatornim okvirima i ostvarivanje vjerodostojnih certifikata energetske učinkovitosti. Energetska evaluacija nije samo retrospektivna analiza izvedenog stanja, već i **dizajnerski alat u ranoj fazi projektiranja**, kojim se identificiraju glavni energetske gubici, simuliraju različiti scenariji ponašanja zgrade i optimiziraju sustavi u odnosu na okoliš i korisnika.

Danas su dostupni različiti **standardizirani pristupi i softverski alati**, od specijaliziranih metodologija kao što su **PHPP (Passive House Planning Package)** i **HERS (Home Energy Rating System)** do nacionalno priznatih alata koji odražavaju specifičnosti klimatskih zona, građevinskih propisa i strukture tržišta. Uloga ovih alata je trostruka: **kvantifikacija potrošnje, usporedba s referentnim vrijednostima i komunikacija s investitorima, korisnicima i regulatorima.**

PHPP – Passive House Planning Package

PHPP je energetska bilancni alat razvijen od strane **Passive House Instituta** u Njemačkoj, namijenjen prvenstveno **projektiranju i evaluaciji pasivnih i nZEB zgrada**. Radi se o **determinističkom alatu temeljenom na bilanci energije**, a ne na dinamičkoj simulaciji, što ga čini posebno pogodnim za rane faze projektiranja.

Karakteristike:

- koristi **Excel-baziranu strukturu s više od 30 međusobno povezanih listova**;
- temelji se na mjesečnoj bilanci toplinske energije i potrošnje;
- zahtijeva detaljan unos podataka: orijentacija, prozori, ventilacija, toplinska zaštita, geometrija, klima;
- omogućuje optimizaciju zgrade prema kriterijima pasivne kuće:
 - toplinska potreba za grijanje $\leq 15 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$
 - ukupna primarna energija $\leq 60 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$
 - zrakonepropusnost $\leq 0,6 \text{ h}^{-1} @ 50 \text{ Pa}$

Prednosti:

- visoka točnost kod dobro definiranih zgrada;
- podržava iterativni pristup projektiranju (npr. promjene u orijentaciji, debljini izolacije);
- povezanost s certifikacijom Pasivne kuće;
- uključuje i ekstenzije za stambene, nestambene i renovirane zgrade (EnerPHit).

Ograničenja:

- zahtijeva stručno znanje i disciplinirani unos;
- ograničena dinamičnost – ne prikazuje dnevne ili satne fluktuacije;
- nedostatna preciznost kod zgrada s velikim oscilacijama unutarnjih dobitaka i korisničkog ponašanja.

HERS – Home Energy Rating System

HERS je standard razvijen u SAD-u, pod nadležnošću **RESNET-a (Residential Energy Services Network)**, i koristi se kao **benchmark sustav za ocjenjivanje energetske**

učinkovitosti stambenih zgrada. Za razliku od PHPP-a koji nudi konkretne granične vrijednosti, HERS daje **relativnu ocjenu** učinkovitosti u usporedbi s referentnom zgradom.

Metodologija:

- referentna zgrada = HERS indeks 100 (zgrada prema 2006 IECC);
- svaka jedinica niža od 100 = postotno smanjenje potrošnje energije (npr. HERS 50 = 50 % manja potrošnja);
- HERS 0 označava **neto-nultu zgradu** (zero energy building);
- koristi se **REM/Rate softver** koji uključuje podatke o HVAC sustavima, izolaciji, prozorima, orijentaciji, obnovljivim izvorima.

Prednosti:

- intuitivan indeks koji je lako razumljiv krajnjim korisnicima i investitorima;
- podržava programe poticaja (npr. ENERGY STAR Homes);
- omogućuje usporedbu na nacionalnoj razini;
- koristi se i za evaluaciju postojećih zgrada u procesu obnove.

Nedostaci:

- više orijentiran na američki kontekst (klima, građevinski standardi);
- ne koristi stvarne klimatske podatke na istoj razini preciznosti kao PHPP;
- fokusiran na stambene objekte – slabija primjena za komercijalne i nestambene zgrade.

Nacionalni alati i metode – Hrvatska

U Republici Hrvatskoj, energetska evaluacija zgrada provodi se **sukladno Pravilniku o energetskom pregledu zgrada i energetskom certificiranju (NN 88/22, 114/23)**, a temelji se na izračunu prema normi **HRN EN ISO 52000-1** i povezanim normama iz obitelji 520xx. Za potrebe certifikacije koristi se **nacionalni računalni alat** koji uključuje:

- **normativne podatke o klimi, materijalima i sustavima;**
- **određivanje referentne zgrade za usporedbu** (npr. iste geometrije, ali standardne karakteristike);
- **izračun potrebne energije za grijanje, hlađenje, ventilaciju, PTV i rasvjetu;**
- **izražavanje energetske klase (A+ do G)** prema ukupnoj godišnjoj potrebnoj energiji (kWh/m²a) i emisijama CO₂.

Dodatni alati i metodologije:

- **HKO (Hrvatski katalog otpornosti)** – za odabir materijala u skladu s klimatskim izazovima;
- **ETICS kalkulatori** – za brzu evaluaciju toplinske ovojnice;
- **BIM-integrirani alati** (npr. ArchiCAD EcoDesigner, Revit Insight) – za povezanost arhitektonskog modela i energetskog izračuna u realnom vremenu.

Uloga evaluacije u projektiranju i validaciji

Energetska evaluacija zgrade ne smije biti tretirana isključivo kao **formalan korak pri ishodu upotrebe dozvole ili certifikata**, već kao **kontinuirani alat odlučivanja tijekom projektiranja:**

- u **konceptualnoj fazi**, omogućuje usporedbu orijentacije, masivnosti, prozorskih otvora i izolacija;
- u **fazi glavnog projekta**, daje kvantitativne podatke za dimenzioniranje sustava grijanja, ventilacije i solarnih sustava;

- u **fazi izvedbe i validacije**, koristi se za provjeru izvedbenih karakteristika i usklađenosti s projektom.

Certifikacija i povezanost s alatima

Evaluacijski alati usko su povezani s **sustavima certificiranja zgrada**, koji uključuju i energetske kriterije:

- **PHPP** – osnova za dobivanje certifikata „Passive House“;
- **nacionalni alat** – temelj za izdavanje energetskog certifikata RH;
- **BREEAM i LEED** – prihvaćaju različite evaluacijske metode, ali zahtijevaju usporedivost i transparentnost podataka;
- **WELL i DGNB** – nadopunjuju energetske evaluacije pokazateljima zdravlja i ugone.

Energetska evaluacija zgrade postaje ključni instrument ne samo za dokazivanje usklađenosti s propisima, već i za **stvarno razumijevanje energetskog ponašanja zgrade**, procjenu utjecaja projektantskih odluka i komunikaciju vrijednosti krajnjim korisnicima. Korištenjem alata poput **PHPP-a** za pasivne zgrade, **HERS-a** za relativne ocjene i **nacionalnih alata** za zakonodavnu usklađenost, projektanti dobivaju **mjerljiv, usporediv i vjerodostojan okvir za donošenje odluka**, validaciju ciljeva održivosti i postizanje maksimalnih performansi tijekom cijelog životnog ciklusa zgrade.

6.2 BIM i simulacije energetske učinkovitosti (npr. DesignBuilder, EnergyPlus)

Razvoj suvremene digitalne arhitekture i građevinskog inženjerstva nezaobilazno uključuje primjenu **Building Information Modeling (BIM)** sustava kao centralne metodologije za integrirano projektiranje. U kontekstu održivosti, energetske učinkovitosti i nZEB zahtjeva, BIM model prestaje biti samo alat za vizualizaciju i dokumentaciju, već se transformira u **analitičku platformu za energetske modeliranje, optimizaciju sustava i predviđanje ponašanja zgrade** tijekom njenog životnog ciklusa. Kombinacija BIM-a i softverskih rješenja za energetske simulacije – kao što su **DesignBuilder, EnergyPlus, IES-VE, IDA ICE, OpenStudio** i drugi – omogućuje kvantifikaciju potrošnje energije, analizu mikroklima, evaluaciju strategija grijanja, hlađenja i ventilacije te optimizaciju odnosa između građevinske geometrije, materijala, sustava i okolišnih uvjeta. Uspostavlja se **besprijekoran protok podataka između projektantskih disciplina**, a odlučivanje se temelji na validiranim simulacijskim modelima, a ne na pretpostavkama ili normiranim vrijednostima.

BIM kao temelj digitalnog energetski osviještenog projektiranja

BIM (Building Information Modeling) predstavlja **objektno-orijentirani digitalni prikaz fizičkih i funkcionalnih karakteristika zgrade**, u kojem svaki element – zid, prozor, strop, instalacija – nosi vlastite podatke o materijalima, termotehničkim svojstvima i ponašanju. U kontekstu energetske učinkovitosti, BIM model postaje **polazište za izvođenje simulacija** jer omogućuje:

- preciznu **geometrijsku rekonstrukciju termalnih zona**;
- automatsko prikupljanje podataka o **U-vrijednostima, slojevima materijala, masi, volumenu, omjerima stakla i zida**;
- unos podataka o **rasporedu korištenja prostora, opterećenjima, ventilacijskim zahtjevima, sustavima grijanja/hlađenja**;

- izvođenje **alternativnih scenarija** za usporedbu učinkovitosti različitih projektantskih rješenja.

BIM također omogućuje **parametarsku analizu**, gdje promjena jednog faktora (npr. orijentacije prozora) automatski ažurira rezultate energetske analize, što omogućuje brze povratne petlje između dizajna i performansi.

EnergyPlus – dinamički energetska engine

EnergyPlus je **open-source softver razvijen od strane U.S. Department of Energy**, dizajniran za **detaljnu dinamičku simulaciju** termalnog ponašanja zgrada. Za razliku od statičkih alata temeljenih na mjesečnim bilancama (npr. PHPP), EnergyPlus omogućuje:

- **satne ili minutne simulacije** unutarnje temperature, tokova energije, ventilacije i dobitaka;
- simulaciju **nestandardnih termotehničkih sustava**, pasivnih elemenata i složenih kontrola (npr. termostati, zračne komore, toplinski mostovi);
- uvažavanje **klimatskih podataka (Weather Files - .EPW)** za određenu lokaciju, s preciznim profilima temperature, vlage, vjetra i insolacije.

EnergyPlus se ne koristi samostalno, već kroz **grafička sučelja i platforme za integraciju**, među kojima je najpoznatiji **DesignBuilder**.

DesignBuilder – BIM-integrirana simulacijska platforma

DesignBuilder je jedno od najraširenijih grafičkih sučelja za EnergyPlus, koje kombinira **vizualni model zgrade, podatke o sustavima i upravljanje simulacijama** kroz intuitivno sučelje. Alat je posebno pogodan za arhitekta, projektante i inženjere koji žele kvantificirati energetske učinke svojih odluka još u fazi koncepta.

Glavne funkcionalnosti:

- unos BIM modela (IFC, gbXML, IDF) iz programa kao što su ArchiCAD, Revit, Rhino;
- detaljna geometrija i zoniranje prostora;
- izbor materijala iz baze podataka s termalnim svojstvima;
- specifikacija sustava (HVAC, ventilacija, rasvjeta, PTV, obnovljivi izvori);
- povezivanje s klimatskim podacima;
- izvođenje analiza kao što su:
 - energetska potrošnja po energentu i sustavu
 - analiza osunčanja i sjene
 - prirodna ventilacija i CO₂ koncentracije
 - unutarnja udobnost (PMV, PPD)
 - emisije CO₂ i troškovi životnog ciklusa

Prednosti:

- integracija s BIM protokom rada;
- precizna simulacija stvarnog ponašanja zgrade;
- podrška za **LEED, BREEAM, ASHRAE** evaluacije;
- mogućnost izvođenja **optimizacijskih algoritama (npr. genetika, Monte Carlo)**.

Integracija s drugim alatima i standardima

Platforme kao što su **OpenStudio, IES-VE, IDA ICE** i **Sefaira** također omogućuju dinamičko modeliranje energetske performansi zgrada i njihovu integraciju s BIM alatima. Sve više softverskih alata podržava **openBIM standarde**, osobito:

- **IFC (Industry Foundation Classes)** – neutralni format za razmjenu podataka između različitih alata;
- **gbXML (Green Building XML)** – standardizirani format za energetske simulacije iz BIM modela;
- **LOD (Level of Detail) i LOI (Level of Information)** – definiranje razine detalja za energetske modele u različitim fazama projektiranja.

Time se osigurava da se **jedinstveni digitalni model koristi u svim fazama životnog ciklusa zgrade** – od koncepta do validacije performansi u fazi korištenja (Digital Twin koncept).

Primjena u praksi i doprinos održivosti

BIM-simulacijski sustavi omogućuju:

- **prepoznavanje termičkih slabosti i optimizaciju izolacije** već u ranoj fazi;
- kvantifikaciju utjecaja **pasivnih mjera** (orijentacija, zasjenjenje, ventilacija);
- **odabir optimalnih sustava grijanja/hlađenja u odnosu na stvarnu potrebu**, čime se izbjegava prekomjerno dimenzioniranje;
- analizu **emisija stakleničkih plinova** i usporedbu različitih scenarija dekarbonizacije;
- **podršku za certifikaciju**, gdje simulirani podaci mogu biti dio zahtjeva za LEED, BREEAM ili nacionalne oznake A+/A/B itd.

U javnim natječajima i strategijama zelene javne nabave sve češće se zahtijeva dostava **energetskog modela zgrade** kao dijela tehničke dokumentacije.

Integracija BIM tehnologije i simulacijskih softverskih alata predstavlja temeljnu paradigmu održivog i informiranog projektiranja. Korištenjem platformi poput **DesignBuildera i EnergyPlusa**, arhitekti i inženjeri mogu ne samo analizirati, već i **aktivno optimizirati energetsko ponašanje zgrade**, smanjujući time potrošnju energije, emisije CO₂ i troškove tijekom životnog ciklusa.

BIM više nije statični crtež, već **dinamični informacijski sustav koji povezuje projektantske namjere sa stvarnim performansama**, čime se ostvaruje sinteza estetike, funkcionalnosti i ekološke odgovornosti. Takav pristup ne samo da povećava kvalitetu zgrade, već i jača poziciju struke u procesu digitalne i zelene tranzicije.

6.3 Certifikacijski sustavi: LEED, BREEAM, DGNB, WELL, HQE, ZelEn

Kako bi se objektivno valorizirala kvaliteta i održivost zgrada, razvijeni su **međunarodni certifikacijski sustavi** koji omogućuju **kvantificiranje, usporedbu i priznavanje postignuća u području zelene gradnje**. Certifikacija ne predstavlja samo formalno priznanje, već i instrument koji utječe na projektantske odluke, upravljanje tijekom izgradnje i ponašanje korisnika u fazi korištenja. Sustavi poput **LEED (SAD), BREEAM (UK), DGNB (Njemačka), HQE (Francuska), WELL (međunarodni), te hrvatski sustav ZelEn** razmatraju zgradu kao sustav međusobno povezanih komponenti – energetske učinkovitosti, okolišnih učinaka, utjecaja na zdravlje, društvenu pravednost i dugoročnu otpornost.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

LEED je **najrašireniji međunarodni certifikacijski sustav za zelene zgrade**, razvijen od strane US Green Building Council (USGBC). Temelji se na **bodovnom sustavu** kojim se vrednuju specifične mjere održivosti u projektiranju, izgradnji i upravljanju zgradama.

LEED sustavi obuhvaćaju:

- LEED BD+C (Building Design + Construction)
- LEED ID+C (Interior Design + Construction)
- LEED O+M (Operations + Maintenance)
- LEED for Homes, Neighborhood Development, Cities

Kategorije vrednovanja:

1. Lokacija i transport
2. Učinkovito korištenje vode
3. Energija i atmosfera
4. Materijali i resursi
5. Kvaliteta unutarnjeg okoliša
6. Inovacije
7. Regionalni prioriteti

Razine certifikacije:

- Certified (40–49 bodova)
- Silver (50–59 bodova)
- Gold (60–79 bodova)
- Platinum (80+ bodova)

Posebности:

- globalno priznat;
- zahtijeva energijski model (npr. EnergyPlus) i commissioning;
- kompatibilan s BIM alatima i LCA analizama.

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

BREEAM je **najstariji sustav certificiranja**, razvijen u Ujedinjenom Kraljevstvu još 1990. godine. Primjenjuje se na zgrade, infrastrukturu i čitave urbane cjeline, a poznat je po **naglašenom kontekstu lokalnih uvjeta i prilagodljivosti**.

Kategorije vrednovanja:

1. Upravljanje projektom
2. Zdravlje i blagostanje
3. Energija
4. Transport
5. Voda
6. Materijali
7. Otpad
8. Korištenje zemljišta i ekologija
9. Zagađenje
10. Inovacija

Razine certifikacije:

- Pass
- Good
- Very Good
- Excellent
- Outstanding

Posebnosti:

- boduje **procesne aspekte**, ne samo tehničke (npr. sudjelovanje korisnika, praćenje gradilišta);
- omogućuje **prilagodbu lokalnim propisima i klimatskim uvjetima**;
- koristi **Life Cycle Assessment** kao integrirani kriterij za materijale.

DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)

DGNB je **njemački certifikacijski sustav**, koji se razlikuje od LEED-a i BREEAM-a po **holističkom pristupu i kvantitativnom vrednovanju cjelokupnog životnog ciklusa zgrade**.

Tri glavna stupa:

1. Ekološka kvaliteta (emisije, potrošnja resursa, LCA)
 2. Ekonomičnost (LCC, fleksibilnost korištenja)
 3. Sociokulturna kvaliteta (udobnost, zdravlje, akustika)
- dodatno: tehnička kvaliteta, kvaliteta procesa i lokacije

Posebnosti:

- koristi **relativno ponderiranje kriterija prema tipu zgrade**;
- stroga metodologija LCA i LCC;
- traži **cikličku evaluaciju**: plan – izvedba – korištenje.

DGNB je često sustav izbora za zgrade koje žele **sustavno pratiti održivost kroz sve faze životnog ciklusa**, osobito u javnom sektoru i većim investicijskim projektima.

WELL Building Standard

WELL je **certifikacijski sustav usmjeren isključivo na zdravlje i dobrobit korisnika zgrade**, a razvio ga je International WELL Building Institute (IWBI). Fokus nije primarno na energiji ili materijalima, već na **fiziološkom, mentalnom i emocionalnom zdravlju korisnika**.

Kategorije:

1. Zrak
2. Voda
3. Prehrana
4. Svjetlo
5. Kretanje
6. Termalni i akustični komfor
7. Um
8. Materijali
9. Inovacije

Razine:

- Silver
- Gold
- Platinum

Posebnosti:

- temelji se na znanstvenim medicinskim istraživanjima;
- uključuje **mjerljive parametre kvalitete zraka, svjetla i buke**;
- povezan s post-occupancy evaluacijom (praćenje nakon useljenja);
- posebno pogodan za uredske zgrade, škole, zdravstvene objekte.

HQE (Haute Qualité Environnementale)

HQE je **francuski sustav certificiranja**, koji stavlja naglasak na **prilagodbu lokalnoj klimi, tradiciji gradnje i javnim politikama**. Razvijen je od strane Association HQE i promiče **održivost kroz kulturološku i regionalnu specifičnost**.

Ključna područja:

- Eko-dizajn
- Građenje s niskim utjecajem
- Upravljanje energijom i resursima
- Kvaliteta zraka i udobnost
- Uključivanje lokalnih zajednica

Posebности:

- koristi **matricu prioriteta prema tipu i funkciji zgrade**;
- pogoduje integraciji bioklimatske arhitekture i lokalnih materijala;
- traži izradu **Plana okolišnog upravljanja (PEM)** za projekt.

ZelEn – Hrvatska oznaka za zelenu energiju

ZelEn nije certifikat za zgrade u užem smislu, već je **oznaka HEP Opskrbe** kojom se potvrđuje da pravna osoba koristi **100 % električne energije iz obnovljivih izvora**. Međutim, unutar nacionalnog konteksta, ona ima **dodatnu simboličku i reputacijsku vrijednost** u portfelju zelene gradnje.

Upotreba:

- koristi se kao **dodatni element strategije održivosti**, osobito u javnim ustanovama, trgovačkim centrima i uredskim zgradama;
- moguće ju je koristiti kao **dokaz u sklopu drugih certifikacijskih sustava** (npr. LEED, DGNB – dokazi o zelenoj energiji);
- doprinosi **dekarbonizaciji portfelja nekretnina**.

Komparativna evaluacija i primjena u projektiranju

Certifikat	Fokus	Pogodan za	Naglasak
LEED	Globalni sustav, energija, voda	Sve tipologije	Energija, upravljanje
BREEAM	Kontekstualna održivost	UK, EU, poslovni sektor	Upravljanje, voda
DGNB	Životni ciklus, LCA/LCC	Javni sektor, EU	Kvantitativna održivost
WELL	Zdravlje i komfor	Uredi, škole, bolnice	Zrak, svjetlo, psihofizičko
HQE	Regionalni i bioklimatski pristup	Francusko govorno područje	Lokalna specifičnost
ZelEn	Opskrba zelenom energijom	RH korisnici električne energije	OIE, reputacija

Certifikacijski sustavi predstavljaju **okosnicu standardizacije i globalnog priznavanja održive gradnje**, pružajući projektantima, investitorima i korisnicima mjerljive alate za dokazivanje ekološke, energetske i društvene kvalitete zgrada. Svaki sustav donosi vlastitu filozofiju, kriterije i način evaluacije, a njihov odabir treba biti **strategijska odluka usklađena s ciljevima projekta, kontekstom lokacije i profilom korisnika**.

Integracijom više certifikacijskih okvira – npr. LEED + WELL, DGNB + ZelEn – moguće je ostvariti **sveobuhvatan pristup održivosti** koji uključuje energiju, zdravlje, okoliš i društvenu odgovornost. Za arhitekta, certifikacijski sustavi postaju **sredstvo strukturiranja projektantskih odluka, motiviranja interdisciplinarnog tima i komuniciranja vrijednosti zgrade prema tržištu i zajednici.**

6.4 Prikupljanje podataka tijekom korištenja zgrade (POE – Post-Occupancy Evaluation)

U kontekstu zelene arhitekture i koncepta gotovo nulte energije zgrada (nZEB), sve je jasnije da projektirane performanse, izražene simulacijama, certifikatima i izračunima, nerijetko **odstupaju od stvarnih rezultata nakon useljenja korisnika i početka eksploatacije zgrade.** Taj se fenomen često naziva „**performance gap**“, a posljedica je niza čimbenika: od netočnih pretpostavki u fazi projektiranja i nepravilnog upravljanja sustavima do složenih obrazaca korisničkog ponašanja koji nisu uzeti u obzir.

Zbog toga se sve više naglašava važnost **Post-Occupancy Evaluation (POE)** – sustavnog prikupljanja, analize i interpretacije podataka o funkcioniranju zgrade u fazi korištenja. POE ne samo da omogućuje **verifikaciju projektantskih pretpostavki**, već otkriva prilike za **poboljšanje udobnosti, energetske učinkovitosti, održavanja i upravljanja**, čime izravno doprinosi povećanju ukupne održivosti izgrađenog okoliša.

Definicija i svrha POE-a

POE (Post-Occupancy Evaluation) je metodološki okvir koji obuhvaća **mjerenje i procjenu stvarnih performansi zgrade nakon što je ušla u fazu korištenja**, najčešće tijekom prvih 6 do 24 mjeseca od useljenja. Njegov osnovni cilj je:

- kvantificirati **stvarnu potrošnju energije, vode i drugih resursa**,
- procijeniti **termalnu, akustičnu i vizualnu udobnost**,
- identificirati **funkcionalne probleme** u korištenju prostora i sustava,
- prikupiti **povratne informacije od korisnika** o njihovom zadovoljstvu, ponašanju i navikama,
- osigurati **podatkovnu podlogu za optimizaciju sustava** i eventualne korektivne mjere.

Elementi i metodologija POE-a

POE je **interdisciplinarni postupak**, koji kombinira **tehničke, sociološke i upravljačke metode**. Uobičajeno se sastoji od tri osnovna modula:

1. Fizičko i energetsko mjerenje

- kontinuirano prikupljanje podataka putem senzora, brojila, BMS-a i IoT uređaja
- parametri: potrošnja električne energije, plina, grijanja, PTV, rasvjete, vode
- mjerenje unutarnje temperature, vlage, razine CO₂, svjetlosti, buke

2. Procjena korisničkog iskustva

- anketni upitnici (npr. BUS – Building Use Studies, ASHRAE 55 feedback)
- dubinski intervjui i fokus grupe
- analize obrazaca korištenja prostora (npr. učestalost otvaranja prozora, korištenje termostata)

3. Tehnička inspekcija i analiza performansi sustava

- provjera rada HVAC sustava, rekuperacije, rasvjete, automatizacije

- kalibracija sustava upravljanja prema stvarnim potrebama
- identifikacija propusta u izvedbi (npr. toplinski mostovi, slabosti izolacije)

Alati i platforme za prikupljanje podataka

U suvremenim zgradama POE se oslanja na **digitalnu infrastrukturu za pametno upravljanje zgradama**, uključujući:

- **Building Management System (BMS)** – centralni sustav koji prikuplja podatke iz različitih senzora i brojila te omogućuje daljinsko upravljanje i analizu
- **IoT senzori** – bežični uređaji za praćenje temperature, vlažnosti, svjetlosti, buke, pokreta
- **pametna brojila (smart meters)** – precizno mjere i bilježe podatke u stvarnom vremenu, često u 15-minutnim intervalima
- **platforme za vizualizaciju i analitiku** – alati poput Grafane, Power BI, i specijaliziranih rješenja kao što su Arbnco, Switch Automation, Spacewell

Podaci prikupljeni na ovaj način mogu se **uspoređivati sa simuliranim vrijednostima iz BIM modela**, što omogućuje **kalibraciju digitalnog blizanca zgrade**.

Ključni indikatori performansi (KPIs) u POE-u

1. **Specifična potrošnja energije (kWh/m²/god)** po namjeni (grijanje, hlađenje, PTV, rasvjeta)
2. **Učinkovitost sustava grijanja/hlađenja** (npr. COP/SEER u stvarnim uvjetima)
3. **Frekvencija i trajanje pritužbi korisnika** (npr. prehladno/pretoplo)
4. **Stvarna vs. projektirana potrošnja** (performance gap)
5. **Trajanje boravka i obrazac korištenja prostorija**
6. **Zadovoljstvo korisnika (na skali 1–7)** po ASHRAE, BUS ili vlastitim anketama
7. **Emisije CO₂ na mjesečnoj/godišnjoj razini**

Primjena POE-a u praksi i certifikacijskim sustavima

Sve veći broj **sustava certificiranja uključuje POE kao obvezni ili preporučeni segment**, osobito kod viših razina certifikata:

- **WELL Building Standard** – obvezno periodično mjerenje kvalitete zraka, vode, svjetlosti i zvuka
- **LEED v4 i v5** – naglasak na verifikaciju performansi kroz „Building Performance Monitoring“
- **BREEAM In-Use** – uključuje stvarne podatke o radu zgrade i zadovoljstvu korisnika
- **DGNB** – posebno vrednuje „monitoring učinkovitosti nakon useljenja“ i korektivne mjere
- **EU Taksonomija i Level(s)** – pozivaju na sustavnu evaluaciju održivosti u fazi korištenja

Time se POE pozicionira ne kao opcionalni alat, već kao **obvezujući kriterij kredibilitnosti održive zgrade**.

Prednosti POE-a za arhitekta i investitore

- **potvrda kvalitete projektantskih rješenja** na temelju realnih podataka
- **otkrivanje neefikasnosti i neusklađenosti sustava** koje nisu uočene u fazi projektiranja
- **povećanje zadovoljstva i produktivnosti korisnika**, osobito u uredima i školama

- **moгуćnost rekalkracije automatike i režima rada**, što dovodi do ušteda bez dodatnih ulaganja
- **transparentnost prema tržištu i kupcima** (npr. kod iznajmljivanja poslovnih prostora)
- **osnova za održivo upravljanje zgradom** tijekom cijelog životnog ciklusa

Izazovi provedbe POE-a

- **nedostatak institucionalnih okvira i obveza** u nekim državama (uključujući RH)
- **otpor korisnika** prema anketiranju ili senzorskom nadzoru (privatnost)
- **nedostatna integracija projektantskog i upravljačkog tima** nakon završetka radova
- **nepostojanje edukacije korisnika o optimalnom korištenju zgrade** (npr. ispravno rukovanje ventilacijom, roletama)

Zbog toga je važno POE **planirati već u fazi projektiranja**, uključiti ga u tehničke specifikacije i predvidjeti **resurse za njegovo provođenje**.

Post-Occupancy Evaluation (POE) predstavlja **ključni alat za povezivanje projektiranih ambicija s operativnom stvarnošću**. Omogućuje arhitektima, inženjerima i upraviteljima da na temelju stvarnih podataka **potvrde učinkovitost svojih rješenja, identificiraju slabosti i poboljšaju zgradu u hodu**. U eri digitalizacije, senzorike i BIM-a, POE se prirodno uklapa u životni ciklus zgrade kao njegov **završni, ali i početni segment** – točka povratne sprege koja hrani buduće projektne odluke.

Za zelenu arhitekturu, POE nije samo alat evaluacije – on je **instrument učenja, prilagodbe i evolucije zgrade kroz vrijeme**. Na taj način, zgrade postaju **inteligentni, samopoboljšavajući sustavi**, a arhitektura – proces koji se ne završava uporabnom dozvolom, već korisničkim iskustvom i podacima koji ga oblikuju.

6.5 Zakonodavni minimum i ciljevi iznad zakonskog minimuma

Hrvatska, Bosna i Hercegovina i Crna Gora

U razvoju održive arhitekture i energetske učinkovitih zgrada, zakonodavni okvir svake zemlje postavlja **obvezne minimalne zahtjeve** koji služe kao pravna osnova i prag dozvoljene gradnje. Međutim, sama činjenica da je neki projekt „u skladu sa zakonom“ ne znači da zadovoljava kriterije održivosti, otpornosti i zdravlja korisnika. Upravo zbog toga raste važnost definicije i primjene **dobrovoljnih ciljeva iznad zakonskog minimuma**, bilo kroz međunarodne certifikate, nacionalne strategije, ili inicijative investitora i lokalnih zajednica.

U nastavku su usporedno analizirani **zakonski minimum i preporučeni viši standardi** za tri zemlje jugoistočne Europe – Hrvatsku, Bosnu i Hercegovinu te Crnu Goru – u području energetske učinkovitosti, održivog projektiranja i integracije okolišnih ciljeva u arhitektonsku praksu.

HRVATSKA

Zakonodavni minimum

Zakonodavni okvir u Republici Hrvatskoj definiran je prvenstveno kroz:

- **Zakon o gradnji** (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19)
- **Zakon o energetske učinkovitosti** (NN 127/14, 116/18)
- **Zakon o energetske certificiranju zgrada**

- **Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama** (NN 128/15, 70/18)
- **Pravilnik o energetsom pregledu zgrada i energetsom certificiranju** (NN 88/22, 114/23)

Obvezni zahtjevi uključuju:

- **nZEB standard za sve nove zgrade** – gotovo nulta potrošnja energije (toplinska potreba za grijanje < 30 kWh/m² godišnje, ukupna primarna energija ovisno o tipu zgrade i korištenim energentima)
- **obavezno energetsko certificiranje zgrada** prije prodaje ili najma
- **minimalni tehnički uvjeti za toplinsku izolaciju, U-vrijednosti, zrakonepropusnost**
- **uvođenje sustava tehničke kontrole sustava grijanja i hlađenja**

Ciljevi iznad zakonskog minimuma

Unatoč napretku zakonodavnog okvira, ciljevi iznad minimuma često se postavljaju kroz:

- **dobrovoljne međunarodne certifikate:** LEED, BREEAM, DGNB, WELL (posebno u poslovnom sektoru i javnim natječajima)
- **općinske i gradske politike** koje potiču zelenu infrastrukturu, zadržavanje kišnice, lokalne materijale
- **projektnu dokumentaciju s LCA i LCC analizom** – iako nisu zakonski obavezne, sve češće se traže kod EU financiranja
- **visokopropusni zeleni krovovi, ventilirani fasadni sustavi, rekuperacija topline** i sustavi za obnovljive izvore energije koji nadilaze minimum
- **integracija BIM modela s digitalnim blizancima** za upravljanje zgradom u realnom vremenu

Zaključak: U Hrvatskoj postoji solidna zakonska baza, ali postizanje istinske održivosti zahtijeva **interdisciplinarnu sinergiju, političku volju i investitorsku motivaciju** za postavljanje ciljeva iznad minimuma.

BOSNA I HERCEGOVINA

Zakonodavni minimum

Zbog složene ustavno-političke strukture, u BiH zakonodavni okvir varira po entitetima, ali glavni dokumenti uključuju:

- **Zakon o energetske učinkovitosti** – entitetski zakoni (npr. Zakon RS o EE, Zakon FBiH o EE)
- **Pravilnici o minimalnim tehničkim zahtjevima** za energetske učinkovitost novih i obnovljenih zgrada
- **Obveza energetskog certificiranja** u skladu s EU direktivama (EPBD) – implementacija u tijeku, različita po entitetima
- **Strategija EE BiH (do 2030)** – uključuje nZEB kao cilj, ali još nije pravno obvezujući standard

Minimalni tehnički zahtjevi su:

- toplinska izolacija vanjske ovojnice (npr. U-vrijednosti 0,30–0,50 W/m²K)
- osnovna energetska analiza pri gradnji
- primjena minimalnih normi za sustave grijanja i hlađenja

Ciljevi iznad zakonskog minimuma

Iako zakonodavni minimum ostaje relativno nizak, u praksi se pojavljuju:

- **pilot-projekti pasivnih i nZEB zgrada** uz podršku donatora (npr. GIZ, UNDP, USAID)
- **investitori u komercijalne objekte** (npr. shopping centri, poslovne zgrade) koji uvode sustave LEED i BREEAM certifikacije
- lokalne inicijative za korištenje **lokalnih materijala (drvo, kamen, zemlja)** u ruralnim područjima
- **edukacijski programi za LCA, BIM i energetske simulacije** pokrenuti kroz međunarodne projekte
- integracija **zelene infrastrukture** u urbane planove Sarajeva, Banja Luke i Mostara kao razvojni standard

Zaključak: BiH ima značajan prostor za unapređenje zakonodavstva, ali se u praksi već provode **ambiciozni projekti koji demonstriraju mogućnosti iznad propisanih zahtjeva**, posebno kada je prisutna međunarodna podrška.

CRNA GORA

Zakonodavni minimum

Zakonodavni okvir temelji se na:

- **Zakonu o energetske učinkovitosti zgrada (2020)**
- **Pravilniku o minimalnim zahtjevima za energetske učinkovitost zgrada**
- **Obvezi energetske certificiranja za nove i rekonstruirane zgrade**
- **nZEB standard definiran u nacionalnoj strategiji, ali još nije obavezan za sve tipove zgrada**

Tehnički zahtjevi uključuju:

- maksimalne dopuštene U-vrijednosti ovojnice (npr. 0,30 W/m²K za zidove)
- zahtjeve za etažne sustave grijanja, ventilacije i PTV
- obvezu energetske pregleda za javne zgrade >500 m²

Ciljevi iznad zakonskog minimuma

Crna Gora se orijentira prema EU kroz:

- **usvajanje zelene agende za Zapadni Balkan** (integracija u EU taksonomiju)
- razvoj **državnog sustava za praćenje i upravljanje energijom u javnim zgradama (EMIS)**
- **turistički sektor** kao nositelj održivih praksi (eko-hoteli, objekti s PV panelima, prirodnim materijalima)
- inicijative za **energetsku obnovu škola i vrtića uz primjenu LCC analiza**
- lokalni pilot-projekti s **permeabilnim površinama, kišnim vrtovima i HVAC sustavima s rekuperacijom**

Zaključak: Crna Gora zakonski zaostaje za EU nZEB praksama, ali pokazuje jasnu **usmjerenost na postepenu harmonizaciju**, uz primjenu iznad-minimalnih ciljeva kroz projekte energetske obnove i turističku infrastrukturu.

Zaključna usporedba

Zemlja	Zakonski minimum	Uvođenje nZEB	Certifikati u praksi	Prisutnost LCA/LCC	Prostor za napredak
Hrvatska	Razrađen, usklađen s EU	Obavezan za nove zgrade	LEED, DGNB, WELL	Ograničeno ali rastuće	Visok, osobito u LCA/BIM integraciji

Zemlja	Zakonski minimum	Uvođenje nZEB	Certifikati u praksi	Prisutnost LCA/LCC	Prostor za napredak
BiH	Neujednačen po entitetima	Strategijski cilj, neobvezan	Ograničeno, pilot projekti	Nizak stupanj implementacije	Vrlo visok, zakonska reforma nužna
Crna Gora	U prijelaznoj fazi	Definiran, ali neobvezan	Rijetko, više u turizmu	Pojedinačne inicijative	Visok, uz jačanje administrativnih kapaciteta

Opća preporuka za regiju

Da bi se transformacija u održivu i otpornu izgrađenu okolinu ubrzala, nužno je:

- **unaprijediti zakonske okvire prema razini implementacije nZEB-a kao pravila, a ne iznimke**
- **uspostaviti poticaje za investitore koji idu iznad minimuma**
- **digitalizirati nadzor (BIM, IoT, POE) kao obvezu**
- **uvođenje LCA i LCC kao standardnih dijelova tehničke dokumentacije**
- **jačanje uloge lokalnih zajednica i strukovnih komora u razvoju ambicioznijih standarda i praksi**

7. EKONOMIJA I INVESTICIJSKA ODRŽIVOST

7.1 Analiza troškova i koristi (LCC Life Cycle Costing)

U području održive gradnje i zelene arhitekture, tradicionalno ekonomsko vrednovanje investicije – temeljeno isključivo na početnim troškovima gradnje – sve se više pokazuje nedostatnim. Razvoj kompleksnih sustava, potreba za dugoročno niskim operativnim troškovima te regulativni pritisci u pogledu emisija stakleničkih plinova i energetske učinkovitosti zahtijevaju **holistički i vremenski prošireni pristup** procjeni vrijednosti građevinskih rješenja. U tom kontekstu, **LCC (Life Cycle Costing)** predstavlja temeljni alat za analizu **ukupnog troška korištenja, održavanja i zbrinjavanja zgrade tijekom njezinog životnog vijeka**.

LCC pristup podupire donošenje **racionalnih, dugoročno isplativih i održivih odluka**, omogućuje usporedbu projektantskih varijanti prema stvarnim ekonomskim učincima te daje investitorima i korisnicima uvid u **skriveno i dugotrajne troškove** koji nadilaze okvir građevinske dozvole. Kao takav, LCC je **neodvojiv od ciljeva zelene gradnje: dekarbonizacije, resursne učinkovitosti, kvalitete boravka i dugovječnosti objekata**.

Temeljne komponente LCC analize

Prema normi **ISO 15686-5:2008 (Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing)**, LCC uključuje sve troškove koji nastaju tijekom jednog definiranog životnog ciklusa zgrade, u pravilu od 20 do 60 godina, ovisno o tipu objekta i investicijskoj strategiji.

Osnovne komponente troškova uključuju:

1. **Troškovi planiranja i projektiranja**
 - arhitektonska i inženjerska usluga
 - BIM modeliranje, energetske simulacije, LCA analize
 - troškovi certifikacije (LEED, DGNB...)
2. **Početni investicijski trošak (CAPEX)**
 - izgradnja (materijali, rad, oprema)
 - nabava tehnologije (HVAC, PV sustavi, rekuperatori)
 - infrastruktura (vodovod, elektro, sustavi upravljanja)
3. **Troškovi korištenja i upravljanja (OPEX)**
 - potrošnja energije, vode, goriva
 - čišćenje, sigurnost, upravljanje zgradom
 - edukacija korisnika
4. **Troškovi održavanja i zamjene**
 - redovno održavanje sustava (filteri, kalibracija)
 - popravci, modernizacije, zamjena opreme (npr. toplinske pumpe, prozori)
 - ažuriranje digitalnog modela i sustava upravljanja
5. **Troškovi zbrinjavanja i kraja životnog vijeka**
 - demontaža, reciklaža, sanacija
 - administrativni troškovi zatvaranja
 - ponovna valorizacija materijala kroz kružno gospodarstvo
6. **Neizravni i vanjski troškovi (opcionarno)**
 - društveni troškovi CO₂ emisija
 - utjecaj na zdravlje korisnika i produktivnost
 - rizici od klime, potresa ili geopolitičkih promjena

Metodologija i diskontiranje

Vrijednosti se u LCC analizi **izražavaju kao sadašnja vrijednost (Net Present Value – NPV)**, što podrazumijeva primjenu stope diskonta kojom se budući troškovi i koristi „vraćaju“ na sadašnju vrijednost.

Formula za izračun NPV:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

gdje je:

- C_t = trošak u godini t
- r = diskontna stopa (npr. 3–5 %)
- n = broj godina životnog ciklusa

Korištenjem NPV-a moguće je usporediti različite projektne varijante (npr. klasična vs. pasivna kuća) uzimajući u obzir ne samo izgradnju, nego i **ukupne operativne troškove tijekom životnog vijeka**.

Primjeri primjene u praksi

1. **Toplinska izolacija:** dodatna izolacija povećava CAPEX za 10–15 %, ali smanjuje troškove grijanja za 40–60 % godišnje → povrat investicije u 5–8 godina.
2. **Rekuperacija zraka:** povećava početnu investiciju za 5–10 %, ali povećava kvalitetu zraka i smanjuje energetske gubitke → povrat u 6–9 godina, uz dodatnu korist za zdravlje korisnika.
3. **Fotonski sustavi na krovu:** smanjuju trošak električne energije, ostvaruju prihod putem otkupa viškova, a LCC analiza pokazuje **pozitivnu neto sadašnju vrijednost** unutar 10–12 godina.

LCC kao alat odlučivanja i komunikacije

LCC ne služi samo za izračun isplativosti – on je **strategijski alat za dijalog između arhitekta, investitora, upravitelja i korisnika**. Njegove koristi uključuju:

- **kvantitativnu argumentaciju** za implementaciju održivih mjera koje povećavaju početni trošak, ali smanjuju ukupni trošak vlasništva;
- mogućnost **komparativne analize više projektnih rješenja**, uz uključivanje rizika i nesigurnosti;
- **transparentiju prema financijskim institucijama** i investitorima;
- **usuglašavanje tehničke izvedbe s poslovnim modelom korisnika**.

U javnim projektima, LCC se koristi za dokazivanje **ekonomske opravdanosti rješenja u okviru zelenih javnih nabava**, dok u privatnim ulaganjima omogućuje **optimizaciju ROI-a u razdoblju zakupa, korištenja ili prodaje** objekta.

LCC u odnosu na LCA i BIM

Iako LCC analizira troškovne aspekte, a LCA (Life Cycle Assessment) okolišne učinke, oba su **međusobno komplementarna**. U integriranom pristupu održivosti, poželjno je simultano razvijati LCC i LCA kroz:

- BIM modele koji već sadrže informacije o materijalima, trajnostima i zamjenama;
- baze podataka s cijenama, emisijama i krivuljama održavanja (npr. One Click LCA, Tally);
- povezivanje projektantskih alata (Revit, ArchiCAD) s LCC softverima (eToolLCD, CostLab, Planon).

Izazovi i ograničenja

- **nedostatak lokalnih baza podataka** o troškovima održavanja i zamjene u regiji (većina se temelji na zapadnoeuropskim prosjecima);
- **neujednačena primjena** u projektnoj praksi (LCC još uvijek nije standardni dio projektne dokumentacije u mnogim državama);
- **ograničeno znanje investitora i upravitelja** o konceptu LCC i njegovim prednostima;
- **neizvjesnost oko budućih cijena energenata, tehnologije i inflacije**, što zahtijeva scenarijsko modeliranje.

Unatoč tim izazovima, sve više javnih natječaja, EU projekata i investicijskih fondova **uvodi LCC kao obvezni alat odlučivanja**.

Analiza troškova životnog ciklusa (LCC) predstavlja **temeljni instrument za postizanje dugoročne ekonomske održivosti zgrada**, pružajući dublji uvid u ukupnu vrijednost arhitektonskih i tehničkih odluka. U kontekstu zelene gradnje, LCC omogućuje **pragmatičnu integraciju održivih tehnologija** i upravljanje rizicima, potičući projekte koji su ne samo ekološki i energetski prihvatljivi, već i **financijski opravdani i robusni kroz vrijeme**.

Za arhitekta i projektanta, LCC postaje **platforma za informirano odlučivanje**, a za investitore – **most između projektne kvalitete i poslovnog učinka**. Njegova sve šira primjena na nacionalnoj i međunarodnoj razini ukazuje da održivost više nije ideal, već **operativni kriterij projektiranja i gradnje**.

7.2 Povrat investicije (ROI) u zelenoj gradnji

U analizi financijske opravdanosti arhitektonskih projekata, pokazatelj **Return on Investment (ROI)** ima centralnu ulogu u donošenju odluka investitora, fondova i vlasnika nekretnina. ROI se tradicionalno definira kao **odnos dobiti od ulaganja prema uloženom kapitalu**, najčešće izražen u postotku, i služi kao ključna metrika usporedbe različitih investicijskih opcija. U kontekstu **zelene i održive gradnje**, primjena ROI pristupa zahtijeva dodatne slojeve interpretacije jer **ekonomske koristi nisu uvijek izravne, trenutne niti isključivo kvantitativne**, već se ostvaruju kumulativno i dugoročno – kroz smanjenje operativnih troškova, povećanje vrijednosti imovine, stabilnost prihoda i nematerijalne koristi poput zdravlja i ugone korisnika.

Standardna formula ROI

$$ROI = \left(\frac{\text{Dobit od investicije} - \text{Ulaganje}}{\text{Ulaganje}} \right) \times 100$$

U slučaju zelene zgrade, „dobit“ uključuje:

- uštede energije i vode,
- niže troškove održavanja,
- višu tržišnu vrijednost ili prodajnu cijenu,
- veće prihode od zakupa (rente),
- porezne olakšice ili poticaje,
- nematerijalne koristi koje povećavaju zadržavanje korisnika i produktivnost (posebno u poslovnim objektima).

Specifičnosti ROI-a u zelenoj gradnji

U usporedbi s konvencionalnim projektima, ROI kod zelene gradnje:

- **ima duži horizont ostvarenja** – često 7 do 15 godina, ovisno o tehnologijama i energetske mjerama;
- uključuje **različite tipove povrata**: financijski, društveni, reputacijski i okolišni;
- ovisi o **lokalnim poticajima**, subvencijama, poreznim olakšicama i cijeni energije;
- **jače reagira na tržišne fluktuacije**, npr. rast cijene energenata povećava ROI energetske efikasne zgrade;
- **može se temeljiti na LCC analizama** umjesto isključivo na CAPEX/OPEX okvirima.

Kvantifikabilne koristi koje utječu na ROI

1. **Uštede energije i vode**
 - tipično smanjenje operativnih troškova za 20–40 % godišnje
 - kod pasivnih zgrada i do 80 % uštede na grijanju
2. **Povećana vrijednost imovine**
 - zelene zgrade postižu 5–15 % višu tržišnu vrijednost (prema istraživanjima McGraw-Hill, RICS, JLL)
 - u poslovnim zonama, razlika može biti i veća ako je certifikat (npr. LEED, DGNB) prisutan
3. **Više cijene najma (Green Premium)**
 - uredski prostori u zelenim zgradama iznajmljuju se po 5–20 % višim cijenama
 - prosječna stopa zadržavanja najmoprimaca veća je za 15–25 %
4. **Niži troškovi održavanja i upravljanja**
 - zbog automatizacije, sensorike, izdržljivijih materijala i sustava koji su projektirani prema životnom ciklusu
5. **Brži povrat investicije kroz poticaje i grantove**
 - u državama s aktivnim fondovima za EE (npr. FZOEU, EBRD, EU fondovi), povratna sredstva mogu smanjiti stvarni CAPEX za 10–30 %
6. **Otpornost na tržišne promjene i ESG rejting**
 - zelene zgrade imaju **niži rizik obezvrjeđivanja (stranding risk)** jer su u skladu s EU Taksonomijom i ESG kriterijima investitora

Primjeri modela ROI iz prakse

Primjer 1 – Energetska obnova javne zgrade:

- Ulaganje: 1.200.000 EUR
- Ušteda energije: 60.000 EUR godišnje
- Povrat: 20 godina bez poticaja
- S poticajem od 40 %: $ROI = (720.000 - 1.200.000) / 1.200.000 = -40\%$ → ali s uštedom i poticajem ROI prelazi +20 % kroz 10 godina

Primjer 2 – Novi poslovni objekt s LEED certifikatom:

- Ulaganje: 15 % viša početna cijena (npr. +300 EUR/m²)
- Najam: 18 EUR/m² u odnosu na 14 EUR/m² u necertificiranoj zgradi
- Stopa popunjenosti: 95 % (vs. 80 % za susjedne zgrade)
- ROI: povećan za 6–10 % godišnje kroz povećane prihode od najma i niže operativne troškove

Nematerijalni faktori koji jačaju ROI

- **Zdravlje korisnika i smanjenje bolovanja** – posebno u uredima, školama i bolnicama
- **Povećana produktivnost** – do 10–15 % kod korisnika koji borave u zgradama s visokom kvalitetom zraka, dnevnog svjetla i akustike
- **Reputacijska vrijednost i brendiranje** – korisnici sve više traže održive prostore, osobito korporativni sektor
- **Zeleni ESG portfolio** – investitori i fondovi sve više favoriziraju zgrade koje ispunjavaju okolišne ciljeve i mogu ih komunicirati kroz izvještavanje

Povezanost ROI-a i certifikacijskih sustava

Certifikacijski sustavi (LEED, BREEAM, DGNB, WELL) često služe kao **instrumenti verifikacije ROI modela** jer:

- povećavaju tržišnu transparentnost i vjerodostojnost
- osiguravaju metodološki utemeljene podatke o performansama
- olakšavaju pristup financiranju kroz zelene obveznice i kreditne linije
- omogućuju **porezna oslobođenja, prioritetne dozvole ili subvencije**

Rizici i ograničenja ROI analize

- **nestabilnost cijena energenata** i inflacija mogu skratiti ili produljiti razdoblje povrata
- **neusklađenost između investitora i korisnika** – investitor snosi CAPEX, a korisnik OPEX (split incentive problem)
- **previsoka diskontna stopa** može „kazniti“ dugoročne koristi i favorizirati konvencionalna rješenja
- **nedostatak lokalnih podataka** o performansama održivih zgrada (posebno u JI Europi)

Povrat investicije (ROI) u kontekstu zelene gradnje nadilazi klasičnu ekonomsku kategoriju i postaje **slojeviti pokazatelj ukupne učinkovitosti, otpornosti i društvene korisnosti građevinskog projekta**. Premda zahtijeva viši inicijalni angažman – u smislu projektiranja, dokumentacije i ulaganja – održiva gradnja generira **stabilne, višestruke i kumulativne koristi** kroz cijeli životni ciklus zgrade.

Za arhitekta, ROI predstavlja **argument za promicanje naprednih rješenja** kod investitora. Za ulagače, on je **osnova odlučivanja u vremenu kada se zahtjevi tržišta i regulative sve brže usklađuju s ciljevima zelene tranzicije**. ROI nije kraj analize – on je početak **novog načina vrednovanja arhitekture: ne samo po obliku, već i po učinku koji stvara za društvo, okoliš i gospodarstvo**.

7.3 Financijski instrumenti i poticaji (nacionalni i EU)

U transformaciji izgrađenog okoliša prema ciljevima održivosti, dekarbonizacije i energetske učinkovitosti, financijska dostupnost često predstavlja **ključnu prepreku ili strategijsku prednost**. Iako se zelena gradnja sve češće opravdava kroz analize životnog ciklusa i povrat investicije (LCC, ROI), **inicijalni trošak realizacije i složenost projektne pripreme** i dalje nadilaze standardne prakse. Upravo zbog toga, **financijski instrumenti i poticaji**, dostupni na nacionalnoj i europskoj razini, imaju odlučujuću ulogu u poticanju održivog projektiranja, implementacije naprednih tehnologija i ostvarivanja dugoročne otpornosti zgrada.

Financijski mehanizmi u području zelene gradnje mogu se svrstati u četiri osnovne skupine:

1. **Bespovratna sredstva** – najčešće u obliku sufinanciranja iz nacionalnih ili europskih fondova.
2. **Subvencionirani zajmovi i garancijski fondovi** – kroz banke i razvojne institucije.
3. **Zelene obveznice i fondovi privatnog kapitala** – tržišni instrumenti koji financiraju projekte s okolišnim učinkom.
4. **Porezne olakšice, regulatorni poticaji i tehnička pomoć** – kao indirektni oblici podrške.

1. Nacionalni fondovi i programi – primjer Hrvatske

U Republici Hrvatskoj, ključnu ulogu ima **Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU)**, koji sufinancira projekte:

- **energetske obnove postojećih zgrada** (javne i privatne), uključujući fasade, krovništa, stolariju, sustave grijanja, solare i automatiku;
- **gradnje nZEB objekata** u javnom sektoru;
- **nabave energetske učinkovite tehnologije** i opreme;
- **dokumentacije za EU projekte**, uključujući izradu glavnih projekata, energetskih certifikata i troškovnika.

Osim FZOEU-a, **HBOR (Hrvatska banka za obnovu i razvitak)** nudi povoljne kreditne linije za:

- energetske učinkovitost i obnovljive izvore energije (kamate od 0,5 % do 2 %);
- zelene turističke objekte;
- komunalne i društvene projekte s komponentom kružnog gospodarstva.

Dodatno, **HAMAG-BICRO** sufinancira tehničku pripremu i razvoj inovacija u graditeljstvu kroz programe za MSP-ove.

2. EU instrumenti i fondovi

Unutar **Višegodišnjeg financijskog okvira EU 2021.–2027. te Instrumenta za oporavak i otpornost (RRF)**, dostupni su brojni programi namijenjeni zelenoj tranziciji građevinskog sektora:

• **Mehanizam za oporavak i otpornost (NPOO)**

Hrvatska koristi sredstva iz Nacionalnog plana oporavka i otpornosti za:

- **obnovu zgrada s ciljem smanjenja potrošnje energije ≥ 50 %;**
- **gradnju nZEB i energetske naprednih objekata** u javnom i obrazovnom sektoru;
- **digitalizaciju upravljanja energijom** i implementaciju BIM modela;
- **trening i edukaciju stručnjaka** za zelenu gradnju.

• **Kohezijska politika (EFRR, Kohezijski fond)**

Putem **Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR)** i Kohezijskog fonda sufinanciraju se:

- infrastrukturni projekti s komponentom održivosti;
- javne zgrade s niskim emisijama;
- zelena infrastruktura (zelene krovne površine, permeabilni materijali, sustavi oborinske odvodnje).

• **HORIZON Europe**

Program istraživanja i inovacija koji financira:

- eksperimentalnu gradnju (living labs);

- BIM-integrirane platforme;
- metode LCA i LCC evaluacije u arhitekturi.

- **LIFE program**

Pružna bespovratna sredstva za:

- inovativne tehnologije u zgradarstvu;
- sustave za smanjenje emisija u gradnji i rušenju;
- održivo korištenje resursa i otpada.

- **ELENA (European Local Energy Assistance)**

Financira tehničku pomoć i pripremu velikih investicija u zgrade: studije izvedivosti, energetske preglede, projektna dokumentacija.

3. Zelene obveznice i tržišni instrumenti

Zelene obveznice (Green Bonds) predstavljaju **instrument dugoročnog zaduživanja za projekte koji imaju pozitivan utjecaj na okoliš**, uključujući zgrade koje zadovoljavaju određene certifikacijske i energetske kriterije. U EU se izdaju u skladu s **EU Green Bond Standardom**, dok ih u Hrvatskoj zasad koriste uglavnom banke i velike korporacije.

Prednosti:

- mogućnost financiranja višemilijunskih projekata;
- niže kamatne stope zbog ESG rejtinga;
- veći interes institucionalnih investitora.

U praksi, **zelene zgrade s certifikatima (LEED Gold, BREEAM Excellent)** i dokumentiranom LCC analizom imaju veće šanse za ulazak u takve financijske strukture.

4. Indirektni poticaji i regulatorna podrška

Mnoge države uvode indirektnu poticaje koji dodatno olakšavaju provedbu projekata zelene gradnje:

- **porezne olakšice** za ulaganje u OIE ili zelene tehnologije;
- **ubrzani proces izdavanja dozvola** za zgrade nulte energije;
- **niža stopa poreza na nekretnine** za energetske certificirane zgrade;
- **obvezni kriteriji u javnoj nabavi** – GPP (Green Public Procurement), gdje zelena gradnja ima prednost.

U Hrvatskoj, javni investitori sve češće primjenjuju **metodologiju zelenih kriterija u natjecanjima**, osobito kroz obvezu energetskog razreda A+, LCC evaluaciju i BIM integraciju.

Povezanost s arhitektonskom praksom

Arhitekti i projektanti imaju **ključnu ulogu u aktivaciji i opravdanju financijskih instrumenata** jer:

- izrađuju tehničku dokumentaciju kojom se dokazuje usklađenost s pozivom;
- sudjeluju u pisanju projektnih prijedloga (posebno u EU projektima);
- integriraju BIM modele koji omogućuju **verifikaciju i monitoring postignuća**;
- komuniciraju održivost kroz LCA i LCC podatke.

Zelena gradnja u praksi zahtijeva **pravovremeno informiranje o dostupnim natjecanjima, strateško planiranje i interdisciplinarnu suradnju**, gdje arhitekt preuzima ulogu koordinatora među investitorima, konzultantima i financijskim institucijama.

Financijski instrumenti i poticaji predstavljaju **operativni temelj implementacije održive arhitekture**, omogućujući pretvaranje dugoročnih vizija u izvedive projekte. Ispravno strukturiran projekt zelene gradnje ne oslanja se isključivo na tržišnu logiku, već **uključuje strateško mapiranje dostupnih izvora sufinanciranja, kreditiranja i fiskalnih pogodnosti**.

Za arhitektonsku struku, razumijevanje financijskih mehanizama prelazi granice tehničkog projektiranja – postaje **dijelom ekonomskog dizajna zgrade**, instrumentom za uključivanje ekoloških rješenja i osiguranje njihove provedbe. U vremenu ekološke i energetske krize, dostupnost sredstava više nije problem, već **sposobnost artikulacije vizije, pripreme dokumentacije i prevođenja održivosti u mjerljive parametre**.

7.4 Green Building kao tržišna prednost

U vremenu ubrzanih klimatskih promjena, energetske nesigurnosti i promjene preferencija korisnika, održiva gradnja se sve manje promatra kao alternativa, a sve više kao **norma tržišne konkurentnosti i dugoročne investicijske vrijednosti**. „Green Building“ ili zelena zgrada, u tom kontekstu, prestaje biti isključivo tehnički ili ekološki konstrukt – ona postaje **instrument stvaranja tržišne diferencijacije**, reputacijskog kapitala i otpornosti imovine na buduće regulative i zahtjeve korisnika.

Uloga zelene arhitekture prelazi granice inženjerskih sustava. Zelena zgrada danas funkcionira kao **brend, vrijednosna poruka i tržišni signal** – kupcima, najmoprimcima, investitorima, financijskim institucijama, lokalnoj zajednici i zaposlenicima. Upravo zbog toga, u razvijenim tržištima nekretnina, zelena gradnja više ne nosi etiketu 'dodatnog troška', već se percipira kao **logična i nužna strategija maksimizacije tržišnog učinka**.

Brendiranje i diferencijacija kroz održivost

Zgrade koje posjeduju **međunarodno priznate certifikate održivosti** (LEED, BREEAM, WELL, DGNB) automatski se pozicioniraju **iznad prosjeka tržišta**. Takve zgrade jasno komuniciraju:

- kvalitetu projektiranja i izvođenja,
- energetske i ekološku učinkovitost,
- brigu o zdravlju korisnika i kvaliteti unutarnjeg okoliša,
- integraciju s okolišem i društvenim kontekstom.

Na tržištima s visokom konkurencijom – kao što su uredski prostori u gradskim središtima, hotelski objekti u turistički atraktivnim regijama ili stambene zone za visokoobrazovane mlade – **održivost postaje odlučujući faktor privlačnosti**.

Investitori i developeri koriste zelenu arhitekturu **kao tržišnu poruku** koja signalizira odgovornost, suvremenost i dugoročnu stabilnost, što osobito dolazi do izražaja kod:

- stranih investitora (posebno ESG fondova),
- međunarodnih najmoprimaca,
- korisnika orijentiranih na zdravlje, tehnologiju i okoliš,
- gradskih uprava i javnih naručitelja.

Tržišna premija (Green Premium) i otpornost (Brown Discount)

Empirijske studije (npr. JLL, CBRE, World Green Building Council) potvrđuju da zgrade koje zadovoljavaju kriterije zelene gradnje ostvaruju:

- **5–15 % višu prodajnu cijenu,**
- **do 20 % višu najamninu,**

- **20–30 % niže troškove korištenja,**
- **40–70 % duže zadržavanje najmoprimaca,**
- **bržu stopu prodaje ili najma** na tržištu.

S druge strane, zgrade koje **ne udovoljavaju standardima energetske učinkovitosti i održivosti** počinju gubiti na tržišnoj vrijednosti – fenomen poznat kao **Brown Discount**.

Taj učinak dodatno pojačavaju:

- nacionalni i EU regulatorni zahtjevi (npr. zabrana iznajmljivanja zgrada energetskog razreda F i G),
- rast cijene energenata,
- očekivanja institucionalnih investitora u pogledu ESG kriterija.

Privlačenje kapitala i financiranje

Investitori koji uključuju zelene zgrade u svoj portfelj ostvaruju **povoljniji pristup financiranju**, jer:

- zadovoljavaju uvjete za **zelene obveznice** i „green loan“ aranžmane,
- povećavaju svoj **ESG score**, čime postaju zanimljiviji fondovima održivog ulaganja,
- mogu koristiti **poticaje i bespovratna sredstva** iz fondova za energetske učinkovitost i obnovljive izvore energije.

Banke i razvojne institucije (npr. EIB, EBRD, HBOR) često uvjetuju financiranje prisutnošću LCA i LCC analiza, energetskog certifikata razreda A+ i dokumentiranih mjera održivosti.

Korisnička preferencija i zadovoljstvo

Zelene zgrade ostvaruju **višu razinu zadovoljstva korisnika**, što direktno utječe na njihovu tržišnu vrijednost, reputaciju i dugoročnu stabilnost prihoda. Korisnici sve češće traže prostore koji nude:

- **višu kvalitetu zraka, svjetla i akustike,**
- **niže troškove režija,**
- **vizualni identitet koji signalizira suvremenost i odgovornost,**
- **povezanost s prirodom – kroz zelene površine, krovove, pasivne sustave.**

U uredskim zgradama i coworking prostorima, pokazano je da zaposlenici u zelenim zgradama bilježe:

- **nižu razinu bolovanja,**
- **višu produktivnost,**
- **veću privrženost tvrtki,**
- **pozitivnu percepciju brenda poslodavca.**

U stambenom sektoru, kupci su spremni **platiti više za energetske učinkovit stan** ili kuću, uz uvjet da su informacije transparentno prikazane (npr. energetski certifikat, BIM model, plan održavanja).

Održivost kao element ESG strategije i reputacije

U okviru korporativne održivosti, zelene zgrade doprinose ispunjenju ciljeva:

- **dekarbonizacije poslovanja,**
- **održivog upravljanja imovinom,**
- **transparentnog izvještavanja prema EU taksonomiji i SFDR uredbi,**

- **privlačenja mladih talenata i zaposlenika**, koji sve više vrednuju radne prostore s visokim okolišnim standardima.

Nekretninski fondovi, REIT-ovi i razvojne tvrtke sve češće uključuju **zelene zgrade u svoje korporativne izvještaje kao element reputacijskog kapitala**, koji može imati **izravne financijske učinke kroz rejtinge, porezne pogodnosti i tržišno pozicioniranje**.

Green Building danas nije samo tehnička karakteristika zgrade, već **strategijsko tržišno sredstvo**, koje istodobno povećava vrijednost imovine, smanjuje rizike, privlači kapital i osigurava dugoročnu održivost poslovnog modela. U vremenu u kojem tržišta postaju sve osjetljivija na klimatske, energetske i društvene izazove, zgrade koje integriraju principe održive gradnje postaju **najotporniji i najisplativiji segment nekretninskog portfelja**.

Za arhitekte, zelena gradnja otvara prostor za **novu razinu stručnosti i utjecaja**, gdje estetika i funkcionalnost idu ruku pod ruku s ekonomskom isplativošću i ekološkom odgovornošću. Za investitore i vlasnike, održiva zgrada više nije opcija – **ona je tržišna nužnost i izvor konkurentske prednosti**.

7.5 Dugoročna otpornost i fleksibilnost zgrade

U suvremenom promišljanju održive arhitekture, pitanje energetske učinkovitosti i optimizacije resursa više nije dostatno da bi se neka zgrada smatrala istinski održivom. Ključnu ulogu u ukupnoj održivosti zgrade sve više preuzima njezina **dugoročna otpornost (resilience)** – sposobnost da se odupre, prilagodi i regenerira uslijed klimatskih, ekonomskih, tehnoloških i društvenih promjena – te **fleksibilnost**, odnosno arhitektonska i tehnička sposobnost prilagodbe različitim funkcijama i korisnicima tijekom vremena. Ove dimenzije održivosti prelaze okvire energetske bilance i dotiču samu srž dugovječne arhitektonske vrijednosti.

Otpornost i fleksibilnost nisu statične kategorije. One se razvijaju **kroz strateško projektiranje, izbor materijala, konstruktivnu logiku, upravljanje prostorom i anticipaciju promjena**, čime se smanjuje potreba za budućim intervencijama, minimiziraju troškovi prilagodbi i štete od ekstremnih događaja, te povećava vjerojatnost da će zgrada ispunjavati svoju funkciju i desetljećima nakon izgradnje.

Otpornost na klimatske ekstreme

U kontekstu klimatskih promjena, zgrade postaju prve linije obrane od ekstremnih temperatura, oluja, poplava, suša i drugih ekstrema. Dugoročno otporna zgrada projektira se tako da:

- **izdrži povećanu učestalost i intenzitet vanjskih stresova**, bez narušavanja funkcionalnosti,
- **osigura sigurnost korisnika i kontinuitet upotrebe** tijekom izvanrednih okolnosti,
- **omogući brzi oporavak (recovery) nakon događaja** poput potresa, poplava ili gubitka opskrbe energijom.

Arhitektonski pristupi otpornosti uključuju:

- **podizanje razine prizemlja** ili korištenje perforiranih prizemlja u zonama plavljenja,
- **pasivne sustave hlađenja i grijanja** koji mogu djelovati i bez električne energije,
- **zeleni krovovi i površine za infiltraciju vode** koji smanjuju opterećenje sustava odvodnje,

- **strukturirane rute evakuacije i sigurnosne zone,**
- **redundantne energetske sustave** – fotonaponske sustave s pohranom energije, kombinirane izvore grijanja.

Strukturna i tehnička otpornost

Otpornost zgrade ovisi i o **njenim konstrukcijskim i tehničkim rješenjima.**

Konstruktivna otpornost podrazumijeva:

- **dugotrajnost nosivog sustava** bez značajnih zahvata kroz desetljeća,
- **otpornost na seizmičke i vjetrovne sile,** osobito u visokorizičnim područjima,
- **moгуćnost jednostavne zamjene sekundarnih elemenata** (npr. fasade, pregrada) bez ometanja funkcije.

Tehnički sustavi projektirani za otpornu zgradu moraju biti:

- **lako dostupni za održavanje,**
- **modularni i zamjenjivi,**
- **projektirani za dug životni vijek (30–50 godina)** s predvidivim servisnim intervalima,
- **podržani sustavima nadzora i upravljanja (BMS/IoT)** za rano otkrivanje kvarova.

Prostorna fleksibilnost i višefunkcionalnost

Jedna od najvažnijih dimenzija dugoročne održivosti je **moгуćnost da zgrada promijeni funkciju bez radikalnih građevinskih intervencija.** Fleksibilna zgrada može tijekom vremena:

- postati nešto drugo (npr. uredski prostor u stambeni, škola u kulturni centar),
- prihvatiti nove tipove korisnika (npr. stariju populaciju, zajednice, digitalne nomade),
- odgovoriti na promjene tržišta rada, školstva, stanovanja i mobilnosti.

Projektantski alati za ostvarenje fleksibilnosti uključuju:

- **modularne i rasterne sustave** nosive konstrukcije,
- **nestrukturne pregradne elemente,**
- **višestruko opremljene vertikalne jezgre,**
- **izvedbu „open-plan“ prostora** s tehničkom infrastrukturom smještenom na rubovima,
- **koncept „open building“** koji dijeli zgradu na stabilne (nosive) i promjenjive (instalacijske i funkcionalne) slojeve.

Fleksibilnost se dodatno povećava integracijom **infrastrukture za nove tehnologije,** kao što su EV punionice, pametne mreže, cirkularna ekonomija otpadnih tokova i adaptivne fasade.

Materijalna otpornost i reciklabilnost

Otpornost se ogleda i u **materijalnim odabirima,** osobito u smislu:

- **dugotrajnosti i otpornosti materijala na vanjske utjecaje,**
- **moгуćnosti ponovne upotrebe ili reciklaže na kraju životnog ciklusa,**
- **niskog održavanja bez potrebe za agresivnim kemikalijama,**
- **otpornosti na vlagu, UV zračenje, mraz i kemijsku degradaciju.**

Materijali s **dekarboniziranim proizvodnim procesima** (npr. drvo iz održivih šuma, reciklirani aluminij, opeka s niskom emisijom) dodatno jačaju održivost i otpornost zgrade, uključujući i njezin ESG rejting.

Funkcionalna i društvena otpornost

Dugovječna zgrada je i ona koja **zadržava svoju društvenu relevantnost i uključivost**, i to kroz:

- **pristupačnost za sve korisnike** (inkluzivni dizajn, univerzalna pristupačnost),
- **otpornost na demografske promjene** (npr. starenje populacije, nove oblike zajedničkog stanovanja),
- **intergeneracijski dizajn** koji omogućuje korištenje zgrade više generacija, bez potrebe za prenamjenom,
- **sigurnost i socijalnu koheziju** – kroz prostorni raspored, vidljivost, mješovitost funkcija i kvalitetne javne prostore.

Održiva zgrada u tom smislu **ne odgovara samo na današnje potrebe**, već je projektirana da **primi i interpretira buduće načine života**.

Ekološka otpornost i kružno projektiranje

Kroz integraciju principa **kružnog gospodarstva**, otpornost zgrade se širi i na njezinu **ekološku regenerativnost**, odnosno sposobnost da:

- koristi **lokalne, obnovljive i biološki razgradive resurse**,
- omogućuje **demontažu i ponovno korištenje građevinskih elemenata**,
- smanji svoj ekološki otisak i tijekom korištenja i nakon prestanka funkcije,
- sudjeluje u **lokalnim ekosustavima**, npr. kroz infiltraciju vode, zeleni krov, biodiverzitet i urbanu poljoprivredu.

Dugoročna otpornost i fleksibilnost nisu dodatne kvalitete – one su **srž istinske održivosti zgrade**. One određuju ne samo koliko će zgrada trajati, već i **koliko će ostati relevantna, funkcionalna, poželjna i financijski održiva** u uvjetima koji se neprestano mijenjaju. U vremenu višestrukih kriza (klimatskih, energetske, društvenih), zgrade koje mogu podnijeti pritisak i transformirati se bez gubitka identiteta postaju **temelj otpornih zajednica i gradova**.

Za arhitekta, dizajniranje otporne zgrade znači **projektirati za budućnost koju još ne poznajemo** – s materijalima, oblicima i sustavima koji mogu rasti, prilagoditi se i regenerirati. Za investitore, to znači **osiguranje vrijednosti i funkcionalnosti imovine kroz desetljeća**, dok za korisnike predstavlja **kvalitetu života, sigurnost i dugoročnu pripadnost prostoru**.

8. STUDIJE SLUČAJA

8.1 Europski primjeri nZEB i pasivnih kuća

Provedba koncepta *nearly Zero Energy Buildings (nZEB)* i *pasivne kuće (Passive House, PH)* diljem Europe ilustrira konkretne mogućnosti kako se ambiciozni ciljevi održivosti mogu pretočiti u visokokvalitetne, funkcionalne i estetski oblikovane zgrade. Unatoč razlikama u klimatskim, zakonodavnim i tržišnim kontekstima, zajednički nazivnik europskih primjera je dosljedna primjena principa energetske učinkovitosti, uporaba lokalnih i održivih materijala, integracija obnovljivih izvora energije i visoka razina udobnosti za korisnike.

U nastavku su analizirani **pet odabranih primjera** koji ilustriraju raznovrsnost pristupa i kontekstualnu prilagodbu standardima nZEB i PH u Europi.

1. Passive House školskog kompleksa – Montreuil, Francuska

Naziv: Groupe Scolaire Casarès-Doisneau

Lokacija: Montreuil, predgrađe Pariza

Funkcija: Dječji vrtić i osnovna škola

Projekt: Atelier d'Architecture King Kong

Godina završetka: 2014.

Standard: Passivhaus Institut Certified

Web: www.passivhaustrust.org.uk

Opis:

Ovaj kompleks od gotovo 6.000 m² projektiran je u skladu s Passivhaus standardom, uz izniman naglasak na kontrolu unutarnje klime, kvalitetu zraka i minimizaciju potrošnje energije. Orijentacija zgrade, duboki drveni okviri i dvostruke fasade optimizirane su za dnevno svjetlo i zaštitu od pregrijavanja. Energetska potrošnja za grijanje iznosi < 15 kWh/m² godišnje, a sustav rekuperacije zraka osigurava visoku kvalitetu zraka u učionicama. Fasada je izrađena od lokalnog drva i toplinski obrađenih panela bez toksina.

Značaj:

Pokazuje kako pasivna arhitektura može zadovoljiti zahtjevne funkcionalne potrebe javnih ustanova, uključujući sigurnost, trajnost i udobnost, te istovremeno služiti kao obrazovni alat za djecu.

2. Energetski pozitivna višestambena zgrada – Helsingborg, Švedska

Naziv: Brf Viva

Lokacija: Helsingborg, Švedska

Funkcija: Višestambeni kompleks (projekti stanovanja nove generacije)

Projekt: Kjellander Sjöberg Architects

Godina: 2019.

Standard: nZEB + Energy Positive

Web: www.brfviva.se

Opis:

Brf Viva predstavlja model višestambene zgrade koja proizvodi više energije nego što troši. Zahvaljujući integraciji fotonaponskih panela, baterijskih sustava, toplinskih pumpi i visokoefikasnih omotača, kompleks ostvaruje pozitivnu energetske bilancu. Stanari

putem aplikacije nadziru potrošnju, a dodatno se koristi zajednička e-mobilnost (automobili i bicikli). Upotrebljeni su reciklirani materijali iz prijašnjih objekata.

Značaj:

Projekt pokazuje kako nZEB koncept može nadmašiti minimum i postati model za urbano stanovanje s gotovo potpunom neovisnošću o mreži, uz istodobno promicanje zajedničkih resursa i kružnog gospodarstva.

3. Drvena poslovna zgrada u pasivnom standardu – Dornbirn, Austrija

Naziv: LifeCycle Tower ONE (LCT ONE)

Lokacija: Dornbirn, Vorarlberg

Funkcija: Uredi i komercijalni prostori

Projekt: CREE GmbH & Hermann Kaufmann Architekten

Godina: 2012.

Standard: Passivhaus-kompatibilno, drvena hibridna konstrukcija

Web: www.creebuildings.com

Opis:

LCT ONE je pionirski projekt u području drvenih višekatnica, izveden u modularnoj hibridnoj konstrukciji (drvo + beton). Zgrada ima 8 katova, primarno drvenu nosivu strukturu, fasadne elemente visoke izolacije te sustav ventilacije s rekuperacijom. Postignuta je potrošnja energije za grijanje < 15 kWh/m² godišnje, a izgradnja je trajala samo 8 dana po katu.

Značaj:

Demonstrira kako se pasivni standard može implementirati u višekatne, komercijalne objekte te kako se industrijalizacija procesa gradnje može spojiti s održivim materijalima.

4. Eksperimentalna kuća u ekstremnoj klimi – Kuća „LILAC“ – Leeds, UK

Naziv: LILAC – Low Impact Living Affordable Community

Lokacija: Leeds, Ujedinjeno Kraljevstvo

Funkcija: Zajedničko stanovanje (co-housing)

Projekt: White Design

Godina: 2013.

Standard: Passivhaus princip + lokalna kooperativa

Web: www.lilac.coop

Opis:

LILAC je pilot-projekt održivog stanovanja u zajednici, gdje se koristi sustav zajedničkog vlasništva i odlučivanja. Građevina koristi sustav ModCell – predfabricirane slamnate i drvene panele s visokim R-vrijednostima. Zgrada kombinira pasivne mjere s društvenim inovacijama, uključujući zajedničku kuhinju, vrtove i prostore za suradnju. Značajno smanjuje troškove energije i osigurava toplinsku udobnost bez centralnog grijanja.

Značaj:

Ovaj projekt spaja pasivnu arhitekturu s društvenim inovacijama, ističući kako otpornost i održivost mogu biti i društveno, a ne samo tehnički uvjetovane.

5. Hotel u alpskom nZEB standardu – Lana, Italija

Naziv: Hotel Schwarzschild

Lokacija: Lana, Južni Tirol, Italija

Funkcija: Hotel – wellness, smještaj, restorani

Projekt: noa* network of architecture

Godina: Rekonstrukcija i nadogradnja 2017.

Standard: nZEB (lokalni propisi + dobrovoljni standardi)

Web: www.schwarzschmied.com

Opis:

Hotel kombinira tradicijske tipologije sa suvremenim pasivnim strategijama: masivne kamene baze, drvene konstrukcije, ventilirana fasada, velika stakla sa sjenilima, rekuperacija topline i geotermalno grijanje. Cilj nije bio samo energetska optimizacija, već i stvaranje ambijenta koji promiče zdravlje, mir i kontakt s prirodom. Kišnica se skuplja i koristi za zalijevanje, a sve prostorije imaju pristup prirodnom svjetlu.

Značaj:

Dokazuje da nZEB koncept može služiti luksuznom turizmu bez kompromisa u estetskom i emocionalnom doživljaju prostora.

Ovi europski primjeri jasno pokazuju da su **nZEB i pasivna gradnja ostvarivi u različitim klimatskim, funkcionalnim i investicijskim kontekstima**. Ključ uspjeha leži u:

- integriranom projektiranju,
- korištenju lokalnih i održivih materijala,
- oslanjanju na pasivne principe i niskotehnološka rješenja,
- povezivanju energetske učinkovitosti s društvenim vrijednostima.

Za arhitekte i planere, ovakvi primjeri predstavljaju **zbirku dokazanih strategija** koje se mogu reinterpretirati i prilagoditi lokalnim uvjetima u regiji srednje i jugoistočne Europe.

8.2 Usporedna analiza konvencionalne i zelene zgrade

U vremenu intenzivne transformacije građevinskog sektora, usporedna analiza konvencionalnih i zelenih zgrada ima višestruku funkciju: ona ne samo da otkriva razlike u projektantskim, tehničkim i funkcionalnim performansama, već služi i kao **strategijski alat za investitore, projektante i upravitelje** u donošenju informiranih odluka koje sežu izvan domene inicijalne cijene. Iako su zgrade tradicionalno vrednovane prema parametrima površine, lokacije i troška izgradnje, u novom paradigmi održivosti dodatno se razmatraju energetske ciklusi, utjecaj na zdravlje korisnika, emisije CO₂, fleksibilnost, digitalna integracija i društvena relevantnost.

Ova usporedba temelji se na sintezi europskih standarda, analiza životnog ciklusa, tržišnih izvještaja i primjera iz prakse, kako bi se prikazao jasan **kontrast između dvije dominantne paradigme građenja** – tradicionalne i održive.

1. Energetska učinkovitost i potrošnja resursa

Parametar	Konvencionalna zgrada	Zelena zgrada (nZEB / PH)
Primarna energija	150–300 kWh/m ² /god	< 60 kWh/m ² /god (nZEB), < 45 (PH)
Grijanje	Fosilna goriva, slaba izolacija	OIE, toplinske pumpe, pasivne mjere
Hlađenje	Klimatizacija visoke potrošnje	Termička masa, prirodna ventilacija
Voda	Nema sustava za štednju	Niskoprot. armature, kišnica, recikl.
Automatizacija	Ograničena	BMS/IoT, optimizacija sustava

Zaključak: Zelene zgrade troše i do 70–90 % manje energije za grijanje i hlađenje, uz znatno nižu ovisnost o mrežnim izvorima.

2. Investicijski trošak, operativni troškovi i ROI

Parametar	Konvencionalna zgrada	Zelena zgrada
Početni trošak izgradnje	Niži (0–10 % manje)	Viši (10–20 % više zbog tehnologija)
OPEX (operativni troškovi)	Visoki i rastući	Znatno niži, stabilni
LCC analiza	Rijetko korištena	Obavezna u natječajima i fondovima
Povrat investicije (ROI)	20+ godina	8–12 godina

Zaključak: Iako zahtijevaju višu početnu investiciju, zelene zgrade ostvaruju **brži i sigurniji ROI**, osobito uz korištenje financijskih poticaja i poreznih olakšica.

3. Kvaliteta unutarnjeg okoliša (IEQ)

Parametar	Konvencionalna zgrada	Zelena zgrada
Termalna udobnost	Neredovita, oscilacije	Stabilna, projektirana u BIM fazi
Kvaliteta zraka	Ventilacija često nedostatna	Sustavi s rekuperacijom, CO ₂ senzori
Dnevno svjetlo	Ovisno o orijentaciji	Analizirano, optimizirano
Akustika	Varijabilna, kontrolirana, slabo	Projektirana u skladu s funkcijom
Percepcija korisnika	Neutralna do negativna	Visoko zadovoljstvo, bolje zdravlje

Zaključak: Zelene zgrade značajno doprinose **povećanju produktivnosti, zadovoljstva i zdravlja korisnika**, što je osobito važno u uredima, školama i zdravstvenim ustanovama.

4. Utjecaj na okoliš i emisije stakleničkih plinova

Parametar	Konvencionalna zgrada	Zelena zgrada
Ugradbeni ugljik (ECI)	Visok, cement, čelik, PVC	Nizak: drvo, recikl. materijali
Operativni ugljik	Viši – zbog fosilnih sustava	Niži do neutralan (OIE + niska potrošnja)
Mogućnost dekonstrukcije	Ograničena, linearni sustav	Moduliran, kružni dizajn
Količina građevinskog otpada	Visoka	Minimizirana projektom i upravljanjem

Zaključak: Zelene zgrade ostvaruju **30–80 % manji ukupni ugljični otisak**, osobito kada uključuju LCA u projektiranje i upravljanje.

5. Društvena vrijednost i tržišna otpornost

Parametar	Konvencionalna zgrada	Zelena zgrada
Tržišna cijena (€/m ²)	Niža u početku, stagnira	Viša, raste s ESG vrijednostima
Atraktivnost za najam	Srednja, nestabilna	Visoka, stabilna, tražena
Društvena inkluzivnost	Neplanirana	Projektirana (pristupačnost, zajednica)
Otpornost na krize	Ograničena (visoka ovisnost)	Visoka (energetska samodostatnost)

Zaključak: Zelene zgrade imaju **dugoročnu tržišnu otpornost** – kroz bolji ESG profil, zadržavanje vrijednosti i otpornost na buduće regulative.

Sinteza: Model tranzicije iz konvencionalne u zelenu gradnju

Usporedna analiza jasno pokazuje da **zelene zgrade nadmašuju konvencionalne u gotovo svim aspektima**, posebno u srednjem i dugom roku. No, važno je razumjeti da ova tranzicija nije binarna: između dva modela postoji spektar mogućnosti koji ovisi o:

- lokalnim regulativama (npr. nZEB propisi),
- dostupnosti poticaja,
- razini projektantske stručnosti (BIM, LCA, LCC),
- investitorskoj strategiji i prihvaćanju rizika.

Zato je preporučljivo razviti **model postepenog prijelaza**:

1. **Minimum** – Energetski certifikat A, dekarbonizirani sustavi, zrakonepropusna ovojnica.
2. **Napredni** – Integracija pasivnih strategija, obnovljivih izvora, sustava rekuperacije, LCA i LCC analiza.
3. **Vrhunski** – Certificirana zelena zgrada s nultom potrošnjom, pametnim sustavima, modularnim dizajnom i društvenom inkluzivnošću.

Zelena zgrada nije skuplja zgrada – **ona je mudrije projektirana zgrada**. Usporedba s konvencionalnom gradnjom otkriva da održivost nije samo ekološki ili moralni imperativ, već i **ekonomski isplativa, funkcionalno superiorna i društveno korisna praksa**. Njena vrijednost ne mjeri se samo kroz energetske bilancu, već kroz otpornost na neizvjesnost budućnosti i sposobnost da stvara zdrav, siguran i ugodan prostor za korisnike.

Za arhitekta, zelena gradnja nije više izbor – ona je **nužnost struke u službi društva i planeta**.

8.3 Naučene lekcije iz prakse

U protekla dva desetljeća, implementacija principa održive arhitekture kroz realizirane projekte nZEB, pasivnih i regenerativnih zgrada širom Europe generirala je bogatu zbirku empirijskih uvida koji nadilaze teorijske okvire i tehničke normative. Iz svakog projekta – bilo da je riječ o stambenom objektu, školi, bolnici, uredskoj zgradi ili kulturnom centru – moguće je identificirati ključne izazove, zastoje, uspjehe i inovacije koje zajedno čine **kollektivno znanje struke**. Ta su znanja nužna za daljnji razvoj metodologije, standarda i

zakonodavstva, ali i za formiranje novih generacija arhitekata, inženjera, urbanista i investitora.

U nastavku se donose **najsustavnije artikulirane lekcije iz prakse** – strukturirane u šest tematskih područja koja obuhvaćaju najkritičnije točke razvoja održivog projekta.

1. Rani projektantski angažman ključan je za uspjeh

Jedna od najčešće ponavljanih poruka iz realiziranih projekata glasi: „*Održivost nije moguće nadodati na gotov projekt.*“ Već u **konceptualnoj fazi** potrebno je uključiti sve relevantne dionike: arhitekate, energetičare, inženjere instalacija, krajobrazne arhitekate, konzultante za LCA/LCC i krajnje korisnike.

Projekti koji su uspješno implementirali nZEB standard ili dobili certifikate (npr. BREEAM Excellent, LEED Gold) pokazali su da je **Integrirani projektantski pristup (IPA)** preduvjet za optimizaciju svih sustava. Odgoda donošenja ključnih odluka (npr. izbor sustava grijanja ili tipa konstrukcije) često vodi do kompromisa, viših troškova i nemogućnosti postizanja željenih performansi.

2. Korištenje lokalnih materijala i vještina povećava održivost i prihvaćenost

Praksa je pokazala da projekti koji **integriraju lokalne materijale i tehničku radnu snagu** ostvaruju ne samo niži ugljični otisak, već i **veću otpornost u fazi održavanja**, lakšu opskrbu rezervnim dijelovima i višu razinu identifikacije korisnika sa zgradom.

Na primjer, objekti u Alpama izvedeni od lokalne drvene građe (certificirane PEFC/FSC) ili upotrebom recikliranog kamenog agregata iz rušenja često su pokazali **niže ukupne LCA vrijednosti** i bolju otpornost na klimatske uvjete.

3. Digitalni alati nužni su, ali nisu dovoljni

Alati poput **BIM modela, energetske simulacije (DesignBuilder, PHPP), LCA softvera (One Click LCA)** i upravljačkih sustava (BMS) danas su neizostavni dio projektiranja i upravljanja zgradom. Međutim, praksa pokazuje da:

- digitalni alati daju najbolje rezultate **samo kada su povezani s realnim podacima (POE)** i redovito ažurirani,
- mnogi BIM modeli **ne sadržavaju podatke potrebne za LCA ili LCC**, zbog čega dolazi do redundancije,
- korisnici zgrade (stanari, nastavnici, djelatnici) često **nisu educirani kako koristiti sustave koje zgrada nudi**, što smanjuje učinkovitost.

Zaključak: tehnologija mora biti **u funkciji korisnika**, a ne sama sebi svrhom.

4. Certifikacija pomaže – ali ne garantira performanse

Mnogi projekti s visokim razinama certifikata (npr. LEED Platinum) u praksi nisu ostvarili očekivane uštede energije ili kvalitete zraka zbog:

- **neadekvatnog izvođenja radova**,
- **neusklađenog upravljanja** nakon primopredaje,
- **promjena u načinu korištenja zgrade**,
- **nedostatka mjerenja u fazi korištenja (Post-Occupancy Evaluation)**.

Zato se kao najbolja praksa sve češće koristi **Performance Based Design**, u kojem je fokus na stvarnim mjerljivim ishodima kroz životni vijek zgrade – uz ugovorno definirane obveze izvođača i upravitelja (Performance Contracts).

5. Fleksibilnost i mogućnost prilagodbe određuju dugovječnost

Zgrade projektirane s **visokim stupnjem prostorne, tehničke i infrastrukturne fleksibilnosti** pokazuju veću dugoročnu vrijednost i otpornost na promjene. Najveće lekcije iz prakse uključuju:

- **projekti bez jasnog master plana prilagodbe** teško odgovaraju na nove zahtjeve korisnika,
- **sustavi s visokom specifičnošću** (npr. centralizirani HVAC bez lokalnih ventila) skupi su za prilagodbu,
- **zgrade s otvorenim instalacijskim trakama i modularnim zonama** lakše se prenamjenjuju, s nižim troškovima renovacije.

Nekoliko objekata koji su u početku bili projektirani kao škole, kasnije su prenamijenjeni u kulturne centre upravo zbog **elastične arhitekture**, čime su izbjegnuti troškovi novih zgrada i produžen životni vijek objekta.

6. Participativno upravljanje povećava uspješnost projekta

Zgrade koje uključuju korisnike **od faze projektiranja do upravljanja** bilježe:

- niže operativne troškove (zbog educiranih korisnika),
- višu razinu zadovoljstva,
- dulji vijek trajanja opreme,
- nižu stopu vandalizma i oštećenja.

Primjeri poput **LILAC zajednice u Leedsu** ili **energetski kooperativnih stanova u Njemačkoj** pokazuju da „*zgrada kao zajednica*“ daje bolje rezultate od „*zgrade kao objekta*“, osobito u kontekstu društvene otpornosti i lokalne ekonomije.

Naučene lekcije iz europske i regionalne prakse potvrđuju da **održiva arhitektura nije gotova formula, već proces učenja i prilagodbe**, gdje je uspjeh najčešće rezultat:

- međusektorske suradnje,
- rane integracije održivosti u koncepciju,
- razumijevanja lokalnog konteksta,
- i kontinuiranog mjerenja, evaluacije i povratne petlje znanja.

Za arhitekta, ove lekcije služe kao **realna provjera teorijskih okvira** – prilika za rast, inovaciju i redefiniciju vlastite uloge u stvaranju otpornog, pravednog i zdravog izgrađenog okoliša.

Za javne politike i obrazovni sustav, one su **temelj za standardizaciju novih kompetencija** koje uključuju ne samo dizajn i inženjering, već i komunikaciju, facilitaciju i digitalnu pismenost.

Za investitore, praksa jasno pokazuje da je **najveći rizik ulaganje u zgrade koje nisu prilagodljive, mjerljive i korisnicima razumljive** – dok je najveća vrijednost upravo u zgradama koje mogu evoluirati zajedno s potrebama svog vremena.

Integracija principa u svakodnevni rad arhitekta

Arhitektura 21. stoljeća nosi duboku odgovornost. Ona više nije isključivo rezultat estetske intuicije, formalne inovacije ili programatske učinkovitosti, već je postala **središnji alat u rješavanju planetarnih kriza – klimatskih, društvenih, energetskih i ekoloških**. U tom kontekstu, princip održivosti više nije dodatak ili tema specijaliziranih radionica; on je **temeljna operativna kategorija svakodnevnog rada arhitekta**, koja utječe na svaku fazu stvaranja prostora – od prve skice do zadnjeg vijka na gradilištu, od komunikacije s klijentom do edukacije krajnjih korisnika.

Integracija principa zelene gradnje u svakodnevnu praksu ne podrazumijeva samo tehničku usklađenost s propisima, već i **duboku promjenu načina razmišljanja, načina organizacije projektiranja te načina komuniciranja arhitekture s drugim strukama i javnosti**. Održiva arhitektura ne počinje certifikatom, niti završava energetskim izračunom – ona se gradi kroz tisuće mikroodluka u svakodnevnom procesu.

Od koncepta do izvedbe: održivost kao misaoni alat

U fazi **konceptualnog oblikovanja**, održivi principi djeluju kao **struktura mišljenja**: izbor lokacije, analiza osunčanja, oblikovni omjer kompaktne mase, otvorenost prema ventilaciji i orijentacija funkcionalnih cjelina temelji su koji kasnije određuju uspjeh energetskog koncepta i ukupne otpornosti zgrade.

U fazi **projektne razrade**, integracija znači uključivanje LCA i LCC analiza u izradu BIM modela, dijalog s inženjerima strojarskih sustava i elektroinstalacija oko pasivnih rješenja, proračun prirodne ventilacije, toplinske mase i zasjenjenja te mapiranje resursa kroz kružni pristup (materijali, voda, energija).

U fazi **izvedbe**, arhitekt kao voditelj projekta mora osigurati usklađenost svih radova s projektom, koristiti načela održive gradilišne prakse (npr. smanjenje otpada, kontrola emisija, sigurnost radnika), te zajedno s izvođačem prepoznati mjesta gdje **primjena načela otpornosti i fleksibilnosti** može rezultirati dugoročno boljim rješenjima.

Suradnja i interdisciplinarnost kao temelj nove arhitektonske prakse

Održiva gradnja nije domena jednog stručnjaka – ona je rezultat **interdisciplinarne suradnje** koja uključuje arhitekta, urbaniste, krajobrazne arhitekta, građevinske, strojarske i elektroinženjere, konzultante za energetiku, biologe, sociologe i investitore. Arhitekt pritom preuzima **koordinacijsku ulogu**, postajući **prevoditelj između kreativne ideje, inženjerske izvedivosti i tržišnih ograničenja**.

U svakodnevnom radu to znači:

- sudjelovanje na koordinacijskim sastancima s energetičarima i izvođačima još u fazi idejnog projekta,
- razumijevanje osnovnih principa LCA i TRL razina razvoja tehnologija,
- poznavanje aktualnih financijskih poticaja, EU regulativa i kriterija zelenih javnih nabava,
- izgradnju povjerenja s klijentima kroz transparentne prikaze koristi i troškova održivih rješenja.

Komunikacija s investitorom i krajnjim korisnikom

Integracija principa održivosti ne može se uspješno provesti bez **efikasne, uvjerljive i transparentne komunikacije** s investitorima, upraviteljima objekata i korisnicima. Arhitekt mora biti sposoban artikulirati:

- zašto je toplinska ovojnica deblja za 10 cm,
- zašto je strojarnica na krovu umjesto u podrumu,
- koliko fotonaponski sustav smanjuje operativne troškove u roku od 10 godina,
- koje se navike korisnika očekuju u pasivnom režimu grijanja i hlađenja.

U praksi, to podrazumijeva korištenje vizualizacija, energetske simulacije, referentnih projekata i interaktivnih alata (npr. digitalni twin modela zgrade) kako bi se ključni principi održivosti **približili ne-tehničkoj publici**.

Upravljanje kompleksnošću i vremenskim pritiskom

Suvremeni arhitekt sve češće djeluje u uvjetima **ograničenih rokova, budžeta i administrativnih zahtjeva**, što može predstavljati prepreku primjeni zahtjevnijih održivih rješenja. Upravo zato, integracija principa mora biti **strategijska, pragmatična i prioritetna** – od samog početka.

Učinkovit odgovor uključuje:

- upotrebu standardiziranih detalja koji su već energetske optimizirani,
- razvoj vlastitih alata za brzu evaluaciju varijanti (npr. troškovnika LCC),
- planiranje edukacije korisnika već u fazi predaje projekta,
- fleksibilan odnos prema propisima, gdje se propis ne vidi kao granica, već kao minimum iz kojeg se kreće prema višem standardu.

Profesionalna etika i edukacija

Integracija održivosti u svakodnevnu praksu ne može biti samo odgovor na tržište, nego i **etika profesije**. Arhitekt, kao kreator prostora koji formira svakodnevicu stotina ljudi, nosi odgovornost prema budućim generacijama, zajednicama i planetu. Ta etika pretpostavlja:

- stalno obrazovanje i profesionalni razvoj,
- razumijevanje najnovijih znanstvenih spoznaja o klimi, energiji i materijalima,
- odbijanje prakse „greenwashinga“ i formalnog zadovoljenja propisa bez stvarne održivosti.

Zato se sve više zagovara **uključivanje održive arhitekture kao obvezne cjeline u visokoškolsko obrazovanje**, stručne ispite i kontinuirane edukacije.

Održiva praksa kao svakodnevna praksa

U konačnici, integracija principa održivosti, otpornosti, dekarbonizacije, kružnosti i zdravlja u svakodnevni rad arhitekta nije spektakularan čin – to je **tiha i sustavna transformacija profesionalne svakodnevice**. Ona se ne očituje samo u „zelenim“ zgradama, već u **svakom nacrtanom detalju, svakom izboru materijala, svakom razjašnjenju klijentu i svakom sastanku s projektantskim timom**.

Zelena arhitektura, u tom smislu, nije zaseban pravac – ona je **nova definicija dobre arhitekture**, oblikovane za sadašnjost, ali u službi budućnosti.

Potreba za edukacijom i razmjenom znanja

Uspješna implementacija održivih i energetskih principa u arhitektonskoj praksi neraskidivo je povezana s razinom informiranosti, stručne osposobljenosti i mogućnosti za međusobnu razmjenu znanja među svim akterima građevinskog sektora – od arhitekata i projekatanta, preko izvođača i proizvođača materijala, do upravitelja zgradama i samih krajnjih korisnika. Održivost nije izolirani tehnički modul, već **transverzalna vještina koja se razvija u kontinuitetu**, kroz formalno obrazovanje, neformalne mreže znanja i profesionalnu praksu. Stoga je sustavna i sveobuhvatna edukacija prepoznata kao **ključni akcelerator zelene tranzicije**.

Razvoj arhitekture usklađene s ciljevima klimatske neutralnosti, kružnog gospodarstva i društvene otpornosti, zahtijeva znanja koja nadilaze tradicionalne podjele na projektiranje, konstrukcije i estetiku. Ona uključuju **razumijevanje LCA i LCC metodologije, poznavanje zakonodavnih okvira (npr. EU Taxonomy, EPBD, SFDR), korištenje BIM i simulacijskih alata, te sposobnost interdisciplinarne komunikacije**. Bez dostupnih i kvalitetnih mehanizama prijenosa tih znanja – edukacija gubi operativnu snagu, a održivost ostaje deklarativna.

Edukacija u formalnom obrazovanju arhitekata

Sveučilišni studiji arhitekture u Europi – osobito u skandinavskim, nizozemskim i austrijskim programima – već desetljećima integriraju održivu arhitekturu kao **temeljnu sastavnicu kurikula**, ne kao izborni dodatak. Uspješni modeli uključuju:

- **stvaranje integriranih studijskih kolegija** u kojima studenti istovremeno rješavaju projektne zadatke i prate njihove energetske, materijalne i financijske aspekte;
- **suradnje s tehničkim fakultetima** kako bi se razvilo razumijevanje fizike zgrada, energetskih sustava i mehanike materijala;
- **terensku nastavu i posjete realiziranim objektima**, gdje se analiziraju performanse iz prve ruke (POE);
- **uključivanje stvarnih korisnika i zajednica** u projektne zadatke (participativni dizajn).

U hrvatskom kontekstu, iako postoji rastuća svijest, nastavni sadržaji vezani uz održivu gradnju često ostaju **fragmentirani, teorijski i bez direktne povezanosti s realnim projektiranjem**. Potrebno je strukturirano uvesti:

- obvezne kolegije iz područja energetske učinkovitosti, zelene infrastrukture, bioklimatskog projektiranja i životnog ciklusa materijala,
- studije slučaja i suradnju s lokalnim samoupravama,
- interdisciplinarne timske zadatke u suradnji s drugim fakultetima (građevina, strojarstvo, ekologija).

Stručno usavršavanje i cjeloživotno obrazovanje

S obzirom na brzinu tehnoloških i regulatornih promjena, kontinuirano stručno usavršavanje arhitekata nije samo preporuka – ono postaje **profesionalna nužnost**. Među prioritetnim temama ističu se:

- korištenje softverskih alata za simulaciju energetske učinkovitosti i ventilacije,
- čitanje i primjena tehničkih normi vezanih uz nZEB, toplinske mostove i obnovljive izvore energije,
- interpretacija certifikacijskih sustava (LEED, BREEAM, DGNB, WELL),

- priprema natječajne dokumentacije u skladu s GPP kriterijima (zelena javna nabava),
- poznavanje mogućnosti financiranja održive gradnje.

Institucionalni okvir (npr. komore arhitekata, inženjerske komore, centri za stručno usavršavanje) mora postati **proaktivni akter u organizaciji redovitih seminara, online tečajeva, radionica i stručnih skupova** koji pružaju konkretna znanja i alate za praksu. Uz to, **certificiranje kompetencija** (npr. za LCA konzultante, BIM koordinatore) može postati važna karika profesionalnog razvoja.

Platforme za razmjenu znanja i umrežavanje

Formalna edukacija nije dovoljna bez **kontekstualne razmjene znanja kroz praksu**. Arhitekti koji rade na projektima zelene gradnje često razvijaju vrijedne uvide, metode i strategije koje se ne prenose sustavno unutar struke. Potrebne su platforme koje omogućuju:

- **dijeljenje dokumentacije, troškovnika, BIM modela i rezultata POE evaluacija,**
- **prikaz realiziranih projekata sa stvarnim pokazateljima (energetski razredi, ROI, zadovoljstvo korisnika),**
- **regionalne i međunarodne suradnje** (npr. putem Europskog vijeća arhitekata, UIA, Arhitektonskih bijenala),
- **umrežavanje lokalnih proizvođača, izvođača i projekatara,** radi širenja znanja o dostupnim održivim rješenjima.

Digitalne platforme, otvorene baze podataka i stručni portali (npr. *Passive House Database*, *Green Building Council* projekti, *BIMObject*) mogu znatno ubrzati transfer znanja i izbjeći ponavljanje istih grešaka kroz projekte.

Obrazovanje korisnika i krajnjih dionika

Važno je naglasiti da edukacija ne smije biti ograničena na projektante – **krajnji korisnici zgrada također moraju razumjeti logiku održivog korištenja prostora**. Brojni primjeri pokazuju da vrhunski projektirane zgrade gube performanse zbog:

- pogrešnog korištenja ventilacije,
- nepoznavanja automatizacije,
- neučinkovitog grijanja ili rashlađivanja zbog promjena u namjeni prostora,
- ignoriranja potreba za redovitim održavanjem.

Zato je sve više projekata u Europi uključilo tzv. **“soft landing” fazu**, u kojoj se korisnicima pruža edukacija nakon useljenja – putem vodiča, interaktivnih panela, mobilnih aplikacija ili radionica sa stručnjacima. Arhitekt, kao član projektnog tima, pritom ima ulogu **prevoditelja između sustava i svakodnevnog ponašanja**.

Otpori i prepreke: prepoznavanje i nadilaženje

U praksi, implementaciji sustavne edukacije i razmjene znanja često stoje na putu:

- **ograničeni resursi (vrijeme, budžet)**, osobito kod malih arhitektonskih ureda,
- **nedostatak regulativne obveze** za cjeloživotno učenje,
- **odsutnost nacionalnih politika i strategija za promicanje zelene gradnje,**
- **nisko povjerenje u vrijednost znanja izvan propisanih zakonskih okvira.**

Unatoč tome, napredak je moguć kroz:

- uvođenje **bonusa u javnim natječajima za timove s dokumentiranim održivim kompetencijama,**

- razvoj **nacionalne platforme za arhitektonske LCA/LCC baze podataka**,
- obveznu evaluaciju znanja iz područja energetske učinkovitosti u stručnim ispitima,
- stvaranje **stručnih zajednica koje se temelje na međusobnom mentorstvu i recenziji prakse**.

Znanje kao resurs za otpornost

U doba ekoloških i društvenih kriza, znanje nije luksuz – ono je **najvažniji resurs otpornosti**. Održiva arhitektura može biti učinkovita samo ako se temelji na **aktualnom, provjerenom i dijeljenom znanju**. Edukacija i razmjena iskustava omogućuju arhitektima ne samo da prate zakonske obveze, već i da aktivno oblikuju budućnost izgrađenog prostora – s punom svijesti o utjecaju svojih odluka.

Razvijanjem edukativne kulture unutar profesije, arhitektura postaje **dinamična disciplina koja ne čeka promjene, već ih anticipira i oblikuje**. Uloga arhitekta kao projektanta proširuje se u ulogu edukatora, komunikatora i nositelja transformacije – ne samo prostora, već i društva koje u tim prostorima živi.

Uloga arhitekta u globalnoj dekarbonizaciji

Dekarbonizacija nije isključivo tehnički izazov – ona je **civilizacijski imperativ**. S obzirom na to da građevinski sektor odgovara za više od **37 % globalnih emisija CO₂** (uključujući operativne i ugradbene emisije), arhitekt kao ključni akter u planiranju, projektiranju i izvedbi prostora postaje **jedan od glavnih sudionika u oblikovanju puta prema klimatskoj neutralnosti**. U tom procesu, arhitektura više nije neutralna umjetnost ili zanat – ona je sredstvo planetarne odgovornosti i konkretan alat u provedbi dekarbonizacijskih politika na lokalnoj, nacionalnoj i globalnoj razini.

Odluke koje arhitekti svakodnevno donose – od veličine i orijentacije zgrade, preko izbora materijala, do koncepcije sustava i trajnosti prostora – **izravno utječu na emisijski profil čovječanstva**. Zato je redefiniranje profesionalne uloge arhitekta u kontekstu dekarbonizacije ne samo opravdano, nego nužno – etički, ekonomski i politički.

Arhitekt kao dizajner emisijskih profila zgrada

Svaka zgrada nosi svoj **ugljični otisak**, sastavljen od dvije glavne komponente:

1. **Ugradbeni ugljik (embodied carbon)** – emisije nastale vađenjem sirovina, proizvodnjom, transportom i ugradnjom materijala.
2. **Operativni ugljik (operational carbon)** – emisije koje proizlaze iz korištenja zgrade (grijanje, hlađenje, rasvjeta, voda, uređaji).

Arhitekt ima **izravnu kontrolu ili utjecaj na obje komponente**. Kroz projektiranje kompaktnih i energetske učinkovitih formi, korištenje obnovljivih izvora energije, dizajn koji omogućava prirodnu ventilaciju i svjetlost, te izbor materijala s niskim ECI (Embodied Carbon Index), arhitekt oblikuje **emisijsku bilancu zgrade od prve skice do kraja životnog ciklusa**.

U projektima gdje arhitekt surađuje s LCA konzultantima i koristi alate poput **One Click LCA, eToolLCD ili Tally**, moguće je već u fazi idejnog rješenja kvantificirati i optimizirati emisijski učinak zgrade, što otvara prostor za informirane i odgovorne odluke. Time arhitekt ne samo da zadovoljava normativne okvire (npr. EPBD), već **aktivno doprinosi smanjenju emisija unutar granica potrebnih za postizanje 1,5 °C cilja iz Pariškog sporazuma**.

Odgovornost izvan projektne parcele: urbanistički i društveni učinak

Dekarbonizacija nije moguća bez promjene obrasca korištenja prostora. Arhitekt pritom ne djeluje samo unutar kontura jedne zgrade – on:

- određuje **gustinu izgrađenosti i promiče kompaktnost**, čime se smanjuju prometne emisije i energetske gubitke;
- dizajnira **infrastrukture koje potiču hodanje, biciklizam i javni prijevoz**, umjesto automobilskog modela urbanizacije;
- predlaže **funkcionalnu mješovitost i prostornu fleksibilnost**, kako bi zgrade duže trajale i imale manju potrebu za rušenjem ili prenamjenom;
- u javnim prostorima promovira **zelenu infrastrukturu i prirodnu retenciju**, čime doprinosi i adaptaciji na klimatske promjene.

Na taj način, arhitekt postaje **posrednik između klimatske politike i fizičkog prostora** – omogućujući da se ciljevi globalne dekarbonizacije pretoče u konkretne, lokalno relevantne, prostorne strategije.

Arhitekt kao aktivni interpretator EU taksonomije i ESG kriterija

S obzirom na sve jači utjecaj financijskog sektora u provedbi zelenih politika (npr. kroz EU taksonomiju, SFDR uredbu i ESG standarde), arhitekt sve češće mora preuzeti **savjetodavnu i interpretativnu ulogu** u projektima koji zahtijevaju dekarbonizacijski dokazni materijal.

To uključuje:

- dokazivanje da projekt zadovoljava kriterije EU taksonomije za „znatno smanjenje emisija“ u zgradama;
- tumačenje LCA rezultata investitorima i regulatorima;
- integraciju mjera poput „Design for Disassembly“ (projektiranje za dekonstrukciju), niskougličnih materijala, cirkularne logistike;
- izradu dokumentacije za zelenu javnu nabavu i izvještavanje u skladu s ESG zahtjevima.

Arhitekt time postaje **ključni dionik u povezivanju projektantske prakse s novim financijskim modelima**, gdje projekti s niskim emisijama ostvaruju lakši pristup kapitalu, niže kamatne stope i jaču tržišnu poziciju.

Kultura, edukacija i primjerom vođena promjena

Uloga arhitekta nije samo tehnička – ona je **kulturna i simbolička**. Arhitekt svojim projektima oblikuje vizualni, prostorni i simbolički jezik jedne epohe. Kada zgrade postanu **manifesta dekarbonizirane budućnosti**, one ne funkcioniraju samo kao prostori za stanovanje ili rad, već i kao **pedagoška sredstva koja korisnicima, prolaznicima i zajednici pokazuju da je promjena moguća**.

U tom smislu, arhitekt preuzima i ulogu **edukatora i zagovaratelja** – kroz javne istupe, radionice, izložbe i otvorene dane zgrada. Takvi projekti ne govore samo „kako“, već i „zašto“ gradimo na određeni način. To je osobito važno u društvenim kontekstima gdje prevladavaju otpori prema inovacijama i gdje je potreban **vizualni dokaz da održivost može biti i estetska, funkcionalna i dostupna**.

Dekarbonizacija kao strukovni izazov 21. stoljeća

U budućnosti, profesionalna relevantnost arhitekta sve više će se mjeriti kroz **sposobnost da odgovori na izazove dekarbonizacije**. Struke koje ne razviju alate, kompetencije i institucionalnu podršku za smanjenje emisija bit će marginalizirane. Suprotno tomu, arhitekti koji ovladaju interdisciplinarnim alatima (BIM, LCA, cirkularno projektiranje), poznaju financijske i regulatorne mehanizme, te znaju artikulirati viziju niskougličnog prostora – postat će **nositelji promjene**.

Važno je naglasiti da ta promjena **ne ovisi samo o velikim investicijama ili spektakularnim projektima**. Svaka zgrada, svaki kvadratni metar, svaka pregrada i svaki izbor boje može sadržavati **potencijal za smanjenje emisija**. I to je ono što arhitekt čini – iz nevidljivog gradi vidljivo, iz neartikuliranog gradi jasan odgovor.

Dekarbonizacija kao profesionalna odgovornost

Dekarbonizacija nije nešto što „netko drugi“ provodi. To nije isključiva odgovornost državnih regulatora, znanstvenika ili industrije – to je **zajednička odgovornost svih profesionalaca koji oblikuju fizički svijet**, a arhitekti su među prvima u tom lancu odlučivanja.

Ako su gradovi epicentri potrošnje resursa, ako su zgrade dugoročni spremnici energije, materijala i emisija, onda su arhitekti **čuvari ugljične ravnoteže društva**. Uloga arhitekta u dekarbonizaciji ne može više biti samo pasivna – ona mora biti **proaktivna, artikulirana i strukovno prepoznata kao etički standard**.

Samo arhitektura koja zna računati, osjetiti i oblikovati svoje emisije može biti arhitektura koja pripada budućnosti.

Poziv na interdisciplinarnost i dugoročno planiranje

U vremenu višestrukih globalnih kriza – klimatske, energetske, biološke, društvene – arhitektura više ne može biti struka zatvorena unutar vlastitih granica. Ona se sve više pozicionira kao **platforma dijaloga između različitih znanja, potreba i budućnosti**, a arhitekt kao koordinator tog dijaloga mora ovladati novom dimenzijom profesionalnog djelovanja: **interdisciplinarnim promišljanjem prostora i strateškim dugoročnim planiranjem**.

Održiva i energetska učinkovita arhitektura, u svojoj srži, nije samo skup tehničkih rješenja. Ona je **sustav međupovezanih odluka** koje uključuju ekonomiste, biologe, klimatologe, pravnike, krajobrazne arhitekta, sociologe, konzultante za energiju, urbaniste, investitore i krajnje korisnike. U tom kontekstu, poziv na interdisciplinarnost nije retorički, već **operativni uvjet održivosti** – bez suradnje, nema ni integracije.

S druge strane, klimatski i resursni izazovi pred kojima se nalazi izgrađeni okoliš ne mogu se adresirati isključivo u okvirima jednog građevinskog ciklusa ili jednog proračuna. Potrebno je usvojiti **kulturu dugoročnog planiranja**, gdje se zgrade i naselja promišljaju ne kao proizvod, već kao **proces** – proces koji traje desetljećima, uključuje više generacija korisnika i razvija se u skladu s promjenama koje tek dolaze.

Interdisciplinarnost kao alat za stvarnu održivost

Fragmentacija znanja i odgovornosti u građevinskom sektoru – koja je dominantna posljednjih desetljeća – dovela je do situacije u kojoj različiti stručnjaci često rade paralelno, ali ne i zajedno. Projektanti instalacija ne razumiju prostornu logiku, arhitekti

ne barataju energetskim analizama, inženjeri konstrukcija rijetko sudjeluju u odlučivanju o održivim materijalima, a krajnji korisnici nisu uključeni u dizajnerski proces.

Stvarni pomoci prema održivosti ostvareni su upravo tamo gdje je uveden **integrirani projektantski pristup (IPA)**, u kojem interdisciplinarni timovi rade simultano, a ne sekvencijalno, te gdje je odgovornost raspodijeljena, a komunikacija strukturirana. Takvi modeli omogućuju:

- raniju optimizaciju sustava (npr. grijanja, hlađenja, pasivnih strategija),
- smanjenje ukupnih troškova kroz prevenciju grešaka i redundantnosti,
- veću transparentnost prema investitoru i korisnicima,
- bolju usklađenost s regulatornim i financijskim instrumentima (npr. GPP, EU taksonomija).

Interdisciplinarnost ne znači samo okupljanje više struka, već i **kulturu međusobnog razumijevanja i poštovanja**, u kojoj se prepoznaje da nijedno znanje nije apsolutno i da se kvaliteta arhitekture mjeri upravo sposobnošću da ujedini različite poglede u koherentnu cjelinu.

Dugoročno planiranje: prostorna strategija umjesto reakcije

Arhitektura oblikuje fizičku stvarnost koja traje desetljećima, pa čak i stoljećima. Unatoč tome, prečesto se projektira prema kriterijima **kratkoročne učinkovitosti**, često pod pritiskom budžeta, rokova i tržišnih imperativa. Takav pristup ne ostavlja prostor za otpornost, prilagodljivost ni evoluciju zgrade.

Dugoročno planiranje zahtijeva da projektanti:

- analiziraju životni ciklus zgrade ne samo u pogledu emisija, već i funkcionalnosti i društvene relevantnosti,
- predviđaju **scenarije budućih potreba** – promjene demografije, klimatske ekstreme, tehnološke promjene, promjene načina rada i stanovanja,
- oblikuju prostore koji se mogu **transformirati bez rušenja**,
- ugrađuju **infrastrukture koje nadilaze potrebe današnjice** (npr. EV punionice, infrastruktura za oborinske vode, višefunkcionalni javni prostori),
- projektiraju u suglasju s **dugoročnim urbanističkim i klimatskim strategijama lokalne zajednice**.

Takav pristup često zahtijeva **višu početnu investiciju, dulji proces projektiranja i jaču komunikaciju sa svim dionicima**, ali dugoročno rezultira **nižim troškovima, većom funkcionalnošću i smanjenim rizicima**.

Zajednički jezik kao temelj suradnje

Kako bi interdisciplinarnost i dugoročno planiranje bili operativno provedivi, nužno je razviti **zajednički jezik među dionicima**. To uključuje:

- standardizaciju pojmova (npr. što znači „nZEB“, „klimatska otpornost“, „cirkularni materijal“),
- razvoj vizualnih i podatkovnih alata koji omogućuju zajedničko razumijevanje (npr. BIM modeli s LCA slojevima),
- korištenje zajedničkih baza podataka (materijali, emisije, certifikati),
- razvoj obrazovnih modula koji istovremeno obrazuju arhitekate, inženjere, ekonomiste i lokalne administracije.

Bez jasne terminološke i metodološke osnove, interdisciplinarnost ostaje deklarativna, a dugoročno planiranje svodi se na floskulu.

Uloga arhitekta kao medijatora između sustava i prostora

U ovakvom kontekstu, arhitekt više nije samo autor prostora – on postaje **medijator između sustava znanja, zakonodavnih okvira, tržišnih mehanizama i svakodnevnog života**. On mora razumjeti kako:

- klimatski scenariji IPCC-a utječu na tip ventilacije zgrade,
- EU taksonomija oblikuje logiku financiranja projekta,
- promjene u načinu rada (remote, coworking) mijenjaju logiku interijera,
- društveni trendovi (zajedničko stanovanje, energetske zadruge) mijenjaju tipologiju zgrada.

Upravo tu leži nova dimenzija arhitektonske profesije – **ne u forsiranju forme, već u oblikovanju procesa**, u kojem će zgrade biti ne samo estetski i funkcionalni, već i **društveno relevantni, dugoročno održivi i interdisciplinarno oblikovani prostori**.

Arhitektura budućnosti gradi se kroz suradnju i viziju

Dekarbonizacija, otpornost i zdravlje prostora ne mogu biti ostvareni unutar granica jedne struke, jednog projekta, jednog ciklusa. To su procesi koji zahtijevaju **horizontalnu integraciju znanja i vertikalnu vremensku orijentaciju prema budućnosti**. Bez interdisciplinarnosti nema kvalitetnog odgovora na složenost izazova; bez dugoročnosti nema istinske održivosti.

Ovaj priručnik ne završava pozivom na formalnu usklađenost s propisima, već pozivom na **dublju profesionalnu i ljudsku suradnju**, na razmjenu znanja, na projektiranje koje nadilazi planove i planira mogućnosti. Samo tako arhitektura može ponovno postati ono što jest u svojoj biti: **kulturni instrument za usklađivanje čovjeka s njegovim okolišem – sada i u budućnosti**.

Popis literature

1. European Commission. (2021). *Fit for 55: Delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*. COM (2021) 550 final.
2. European Commission. (2023). *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) – Recast 2023*.
3. International Energy Agency (IEA). (2021). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*.
4. World Green Building Council. (2019). *Bringing Embodied Carbon Upfront*.
5. RIBA. (2021). *RIBA 2030 Climate Challenge*.
6. Passivhaus Institut. (2016). *Passive House Planning Package (PHPP)*.
7. LEED v4.1 Building Design and Construction Guide. (2020). U.S. Green Building Council.
8. BREEAM International New Construction 2016. (2020). BRE Global Ltd.
9. ISO 52000-1:2017. *Energy performance of buildings – Overarching EPB assessment*.
10. ISO 14040:2006. *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*.
11. ISO 20887:2020. *Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability*.
12. Ashrae Handbook. (2021). *HVAC Applications*. ASHRAE Inc.
13. Mendler, S. & Odell, W. (2005). *The HOK Guidebook to Sustainable Design*. Wiley.
14. Yeang, K. (1999). *The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings*. Prestel.
15. Kibert, C. J. (2016). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*. Wiley.
16. Vale, B. & Vale, R. (1991). *Green Architecture: Design for a Sustainable Future*. Thames and Hudson.
17. Banham, R. (1984). *The Architecture of the Well-Tempered Environment*. University of Chicago Press.
18. Fathy, H. (1986). *Natural Energy and Vernacular Architecture*. University of Chicago Press.
19. Mazria, E. (1979). *The Passive Solar Energy Book*. Rodale Press.
20. Guy, S. & Farmer, G. (2001). *Reinterpreting Sustainable Architecture: The Place of Technology*. Journal of Architectural Education.
21. Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., & Zeumer, M. (2008). *Energy Manual: Sustainable Architecture*. Birkhäuser.
22. Jones, P. (2019). *Designing Zero Carbon Buildings Using Dynamic Simulation Methods*. Routledge.
23. Ching, F. D. K., & Adams, C. (2011). *Building Construction Illustrated*. Wiley.
24. Gissen, D. (2002). *Big and Green: Toward Sustainable Architecture in the 21st Century*. Princeton Architectural Press.
25. Ken Yeang. (2006). *Ecodesign: A Manual for Ecological Design*. Wiley-Academy.
26. McDonough, W. & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.
27. Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. Wiley.
28. Watson, D. & Labs, K. (1983). *Climatic Building Design*. McGraw-Hill.

29. Mostafavi, M., & Doherty, G. (2010). *Ecological Urbanism*. Harvard University Graduate School of Design.
30. Lechner, N. (2021). *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects*. Wiley.
31. Prieto, A. (2017). *Embodied Energy and Design*. ORO Editions.
32. Salat, S. (2011). *Cities and Forms: On Sustainable Urbanism*. Hermann Editeurs des Sciences et des Arts.
33. Van der Heijden, J. (2014). *Governance for Urban Sustainability and Resilience*. Edward Elgar Publishing.
34. Kennedy, J., & Pearce, D. (2013). *Design for Adaptability and Deconstruction: A Guide to Sustainable Building Design*.
35. Dolezal, F., et al. (2013). *Life Cycle Costing for Buildings*. Sustainable Building Alliance.
36. European Committee for Standardization (CEN). (2011). *EN 15978: Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method*.
37. WorldGBC. (2013). *The Business Case for Green Building*.
38. UNEP. (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction*.
39. DGNB. (2019). *System for Certification of Sustainable Buildings*. German Sustainable Building Council.
40. Croatian Green Building Council (CGBC). (2021). *Smjernice za zelenu javnu nabavu u zgradarstvu*.
41. EnergyPlus. (n.d.). *EnergyPlus Simulation Engine Documentation*. U.S. Department of Energy.
42. DesignBuilder Software Ltd. (2023). *DesignBuilder User Manual*.
43. World Bank. (2020). *Developing Green Building Programs: A Step-by-Step Guide for Policymakers*.
44. European Investment Bank (EIB). (2022). *Green Buildings Investment Framework*.
45. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2021). *Framework Guidelines for Energy Efficiency Standards in Buildings*.
46. Croatian Chamber of Architects. (2022). *Kodeks održive arhitektonske prakse*.
47. Alwan, Z., Jones, P., & Holgate, P. (2017). *Sustainability Principles and Practice for Architects*. Wiley.
48. Rees, W. & Wackernagel, M. (1996). *Our Ecological Footprint*. New Society Publishers.

Digitalni alati i softveri u održivoj arhitekturi i zelenoj gradnji

Digitalni alati danas predstavljaju **temeljnu inženjersko-arhitektonsku infrastrukturu** bez koje je nemoguće provesti integrirani pristup projektiranju zelene zgrade. Oni omogućuju simulaciju energetske performansi, modeliranje životnog ciklusa materijala, analizu unutarnjeg komfora, automatizaciju izračuna emisija CO₂, optimizaciju orijentacije i konstrukcije te upravljanje kompleksnim informacijama o zgradi tijekom svih faza njezinog životnog ciklusa – od projektiranja do korištenja i obnove.

U nastavku je predstavljen pregled **najrelevantnijih 20+ alata i softverskih rješenja** koji su aktualno u uporabi u Europi i zemljama Balkana, s posebnim naglaskom na njihovu povezanost sa zakonodavnim i certifikacijskim sustavima.

1. DesignBuilder

Višefunkcionalni alat za energetske modeliranje zgrada, ventilaciju, rasvjetu, CO₂ emisije i termalnu udobnost. Koristi **EnergyPlus** kao jezgru i vizualno je prilagođen arhitektima. Rasprostranjen u Hrvatskoj, Sloveniji i Austriji za nZEB projekte.

2. EnergyPlus

Otvoreni izračunski engine razvijen od strane **U.S. Department of Energy**, koristi se za detaljnu simulaciju energetske tokova, HVAC sustava i zračne dinamike.

U Hrvatskoj često integriran preko DesignBuildera i OpenStudio.

3. PHPP (Passive House Planning Package)

Standardni softver za planiranje pasivnih kuća, temeljen na proračunima u Excel formatu. Ključan za sve projekte certificirane prema Passivhaus standardu, vrlo prisutan u Austriji, Njemačkoj i Sloveniji.

4. One Click LCA

Vodeći europski alat za **LCA (Life Cycle Assessment)** i **LCC (Life Cycle Costing)** analize zgrada. Omogućuje automatski unos iz BIM modela i integraciju s EU taxonomijom.

Dostupan i lokaliziran za nekoliko zemalja Balkana.

5. Tally (Autodesk Revit plug-in)

BIM-integrirani alat za LCA analizu materijala unutar Revit okruženja.

Koristi se za brzu usporedbu utjecaja materijala već u fazi konceptualnog projektiranja.

6. ArchiCAD (Graphisoft)

Jedan od najraširenijih BIM softvera u regiji. Sadrži brojne dodatke za energetske modeliranje i kompatibilan je s LCA alatima.

U Hrvatskoj, Srbiji i Sloveniji među vodećim softverskim rješenjima.

7. Revit (Autodesk)

Globalni BIM standard u tehničkim uredima. Omogućuje integraciju s alatima za simulaciju (Insight, Green Building Studio) i LCA module.

Dominantan u većim projektantskim uredima u Hrvatskoj i Sloveniji.

8. Rhinoceros + Grasshopper + Ladybug/Honeybee

Parametarski alat za oblikovanje u kombinaciji s energetske analize (Ladybug i Honeybee za klimu, svjetlost, termiku).

Korišten za istraživačke i konceptualne projekte, osobito u obrazovnim institucijama.

9. Sefaira (Trimble)

Softver za brze energetske i rasvjetne simulacije u ranim fazama projektiranja. Integrira se s SketchUpom i Revitom.

Pogodan za početne analize u uredima koji rade rane energetske studije.

10. OpenStudio

Open-source platforma za naprednu energetske analizu bazirana na EnergyPlusu.

Korištena u akademskim i istraživačkim projektima.

11. IDA ICE (Indoor Climate and Energy)

Napredni alat za simulaciju unutarnje klime i energetske učinkovitosti, korišten kod projekata bolnica, škola i uredskih zgrada.

Posebno prisutan u skandinavskim zemljama i Sloveniji.

12. EC3 (Embodied Carbon in Construction Calculator)

Alat koji omogućuje odabir materijala s najmanjim utjecajem na okoliš, temeljen na EPD dokumentima.

Komplementaran alat kod pripreme za LEED i BREEAM certifikaciju.

13. QGIS + UMEP plugin

GIS alat za analizu urbanih klimatskih uvjeta, korišten u kontekstu urbanističkog planiranja i bioklimatskih analiza.

Otvorenog koda, sve češće korišten u prostornom planiranju u Hrvatskoj i Sloveniji.

14. HAP (Hourly Analysis Program)

ASHRAE-ov alat za dimenzioniranje HVAC sustava i simulaciju potrošnje energije.

Korišten kod većih komercijalnih projekata, osobito za USGBC LEED projekte.

15. BIMvision + Bimplus + Dalux

Alati za pregled i koordinaciju BIM modela bez potrebe za licenciranim softverom, često korišteni na gradilištima i u izvođenju.

Sve prisutniji u građevinskim tvrtkama u Hrvatskoj i BiH.

16. eToolLCD

Detaljan LCA alat usmjeren na optimizaciju emisija tijekom cijelog životnog ciklusa zgrade.

Koristi se kod projekata financiranih iz EU fondova.

17. AutoCAD + AutoCAD MEP

Standard za 2D crtanje, sve manje korišten za projektiranje zelenih zgrada, ali još uvijek prisutan u fazi tehničke dokumentacije.

U mnogim uredima još uvijek temelj dokumentacijske baze.

18. Dialux

Softver za planiranje i simulaciju rasvjete, korišten kod projekata s visokom energetsom učinkovitošću i WELL certifikacijom.

Korišten i u manjim uredima diljem regije.

19. Therm

Softver za analizu toplinskih mostova. Besplatan alat razvijen na UC Berkeley.

Preporučljiv za sve projekte koji žele detaljno proračunati gubitke na spojevima.

20. SketchUp Pro + Energos plugin

Brz alat za modeliranje volumena s osnovnom energetsom analizom.

Koristi se u ranoj fazi projektiranja i prezentacija.

21. Klima 2000+

Specijalizirani softver koji se koristi u Srbiji i BiH za proračun energetske bilance i grijanja, često u edukativnom kontekstu.

22. Croatian Energy Certification Tool (EnUČINKOVITO)

Nacionalni alat za izradu energetske certifikata u Hrvatskoj, u skladu s Pravilnikom o energetsom pregledu zgrada.

23. ePIR i eGrađevinski dnevnik

Hrvatski sustavi za praćenje i prijavu građenja, sve više integrirani s digitalnim BIM dokumentacijama u javnim projektima.

Korištenje digitalnih alata nije više opcija, već **norma u suvremenom održivom projektiranju**. Svaki od navedenih alata podržava drugačiji aspekt projektantskog procesa – od volumenske optimizacije, preko fizike zgrade i sustava, do ekološke i ekonomske evaluacije. U regiji, njihova uporaba raste potaknuta propisima EU, projektima financiranim iz fondova i sve snažnijim zahtjevima za transparentnim, kvantificiranim i mjerljivim projektima.

Naziv alata	Funkcija	Razina preciznosti	Vrsta licenciranja
DesignBuilder	Energetska simulacija, rasvjeta, ventilacija	Visoka	Komercijalni
EnergyPlus	Izračun potrošnje energije i HVAC sustava	Vrlo visoka	Besplatan
PHPP	Planiranje pasivnih kuća	Srednja	Licenca (Excel)
One Click LCA	LCA i LCC analiza	Vrlo visoka	Komercijalni
Tally	LCA integracija u Revit	Visoka	Komercijalni
ArchiCAD	BIM modeliranje	Visoka	Komercijalni
Revit	BIM modeliranje, simulacije	Vrlo visoka	Komercijalni
Ladybug/Honeybee	Parametarska analiza klime, svjetla, toplota	Visoka	Besplatni plugin
Sefaira	Brze energetske analize	Srednja	Komercijalni
OpenStudio	Energetska simulacija	Vrlo visoka	Besplatan
IDA ICE	Simulacija unutarnje klime	Vrlo visoka	Komercijalni
EC3	Emisije materijala, EPD baze	Visoka	Besplatan
QGIS + UMEP	Urbana klimatologija, GIS	Srednja	Besplatan
HAP	Dimenzioniranje HVAC sustava	Visoka	Komercijalni
BIMvision	Pregled BIM modela	Srednja	Besplatan
eToolLCD	LCA optimizacija	Visoka	Komercijalni
AutoCAD	2D tehnička dokumentacija	Niska	Komercijalni
Dialux	Simulacija rasvjete	Visoka	Besplatan
Therm	Toplinski mostovi	Visoka	Besplatan
SketchUp + Energos	Volumensko modeliranje + analiza	Srednja	Komercijalni
Klima 2000+	Energetski proračun	Srednja	Licenca
EnUCEINKOVITO	HR alat za certifikate	Srednja	Besplatan
ePIR / eGrađevinski dnevnik	Digitalna prijava radova	Administrativna	Besplatni

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