



**Graditeljska tehnička škola
Zagreb**



**Co-funded by
the European Union**

Zelena gradnja I



GREENCO

EDUCATE | INNOVATE | TRANSFORM

***Hrvoje Mostečak
Tihana Matota
Ksenija Kralj
Iva Illeš***

Predgovor

Dragi čitatelji,

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

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

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

Priručnik Zelena gradnja I je podijeljen u sedam poglavlja kroz koja se čitatelja postupno uvodi u materiju. Kroz prva dva poglavlja daje se pregled nastanka problematike zagađenja okoliša općenito te u sektoru graditeljstva, opisani su najvažniji pojmovi koji se koriste u stručnoj i znanstvenoj komunikaciji te su pojašnjeni obnovljivi i neobnovljivi izvori energije. U trećem se poglavlju daje pregled elemenata tzv. Pametnog zelenog grada i aktivnosti koje je potrebno poduzeti da bi grad postao takvim. U četvrtom poglavlju obrađena je tematika gospodarenja otpadom kao jednim od prioriteta u cilju smanjenja onečišćenja okoliša te očuvanja zdravlja ljudi, biljnog i životinjskog svijeta. Kako se u našoj školi učenici školuju za zanimanja u graditeljstvu, a graditeljstvo je jedan od velikih generatora otpada, u petom se poglavlju težište stavlja na građevni otpad. Šesto poglavlje pojašnjava kako se od otpada mogu proizvesti sekundarne sirovine od kojih se potom dobivaju novi proizvodi u graditeljstvu. Sedmo poglavlje prikazuje kako se od recikliranog agregata mogu proizvesti različite vrste betona.

Za učenike koji će u četvrtom razredu također izabrati fakultativni predmet Zelena gradnja, nastavnici Škole pripremili su priručnik Zelena gradnja II u kojem se obrađuju nove, zanimljive teme vezane uz održivo graditeljstvo.

Nadam se da će vam čitanje ovog priručnika biti ugodno i korisno te da će pobuditi daljnji interes za ovu tematiku.

Urednik i koautor:

Hrvoje Mostečak, dipl.ing.građ.

SADRŽAJ

Predgovor.....	1
1 ZAŠTITA OKOLIŠA U GRADITELJSTVU	6
UVOD	6
UTJECAJ GRAĐENJA NA OKOLIŠ.....	8
UTJECAJ STAKLENIČKIH PLINOVA	10
ULOGA ZAŠTITE OKOLIŠA U GRADITELJSTVU.....	12
LINIJSKO I KRUŽNO GOSPODARSTVO	13
ODRŽIVO GRADITELJSTVO	16
UN CILJEVI ODRŽIVOG RAZVOJA	17
Pitanja za ponavljanje.....	19
Istraži.....	19
2 ENERGETSKA UČINKOVITOST I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U ZGRADARSTVU	20
UVOD	20
ENERGETSKA UČINKOVITOST	20
OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	26
Prednosti obnovljivih izvora energije	28
Izazovi i ograničenja obnovljivih izvora energije.....	29
NEOBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	29
Prednosti neobnovljivih izvora energije	30
Nedostaci neobnovljivih izvora energije	31
Pitanja za ponavljanje.....	31
Istraži.....	32
3 PAMETNI ZELENI GRADOVI	33
UVOD	33
PAMETNI GRAD I NJEGOVI ELEMENTI	34
Pametna promet	35
Pametna zajednica.....	36
Pametna okoliš.....	36
Pametna ekonomija	37
Pametna uprava	37
Pametni ljudi.....	37
ZELENI GRAD I NJEGOVE KARAKTERISTIKE	38
PRIMJERI DOBRE PRAKSE	39
Barcelona	39

Helsinki	41
Kopenhagen	42
ZAKLJUČAK	43
Pitanja za ponavljanje:	43
Istraži.....	43
4 GOSPODARENJE OTPADOM	45
UVOD	45
VRSTE OTPADA.....	46
HIJERARHIJA GOSPODARENJA OTPADOM.....	47
Sprečavanje nastanka otpada.....	47
Ponovno korištenje	48
Recikliranje.....	49
Druge vrste obrade otpada.....	50
Odlaganje otpada.....	52
TOK OTPADA	53
GOSPODARENJE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ.....	55
ZAKLJUČAK	58
Pitanja za ponavljanje.....	59
Istraži... ..	59
5 GOSPODARENJE GRAĐEVNIM OTPADOM	61
UVOD	61
ŠTO JE GRAĐEVNI OTPAD?.....	62
VRSTE GRAĐEVNOG OTPADA.....	63
GOSPODARENJE GRAĐEVNIM OTPADOM	63
UDIO GRAĐEVNOG OTPADA U UKUPNOM OTPADU	65
GRUPIRANJE I KATEGORIZACIJA OTPADA	66
PRIMJERI OPORABE GRAĐEVINSKOG OTPADA	67
REGULATIVA.....	68
Pitanja za ponavljanje.....	68
Istraži.....	68
6 UPOTREBA SEKUNDARNIH SIROVINA U GRAĐEVINARSTVU	69
KORISNI POJMOVI	69
OPĆENITO O RECIKLIRANJU	70
Situacija u Hrvatskoj	71
Situacija u pojedinim europskim zemljama.....	72
VAŽNOST RECIKLIRANJA GRAĐEVINSKIH MATERIJALA	72
ČELIK	72

BETON	74
DRVO	74
STAKLO	75
PLASTIKA	76
GIPS-KARTONSKE PLOČE	77
OPEKA	79
PRIMJENA RECIKLIRANIH MATERIJALA	80
Pitanja za ponavljanje.....	83
Istraži.....	83
7 BETONI OD RECIKLIRANOG AGREGATA	84
RECIKLIRANI AGREGAT.....	85
RECIKLIRANI BETONSKI AGREGAT	86
AGREGAT OD RECIKLIRANE OPEKE	87
AGREGAT OD RECIKLIRANE PLASTIKE	88
PREDNOSTI I NEDOSTACI PRIMJENE RECIKLIRANJA AGREGATA	89
Prednosti primjene recikliranja agregata	89
Nedostaci primjene recikliranja agregata	90
PRIMJERI IZ PRAKSE	91
Hundertwasserova kuća: „Waldspirale“	91
Pitanja za ponavljanje.....	92
Istraži.....	92
LITERATURA	93

1 ZAŠTITA OKOLIŠA U GRADITELJSTVU

Autor:

Hrvoje Mostečak, dipl.ing.građ., dipl.ing.geot.

Ishodi učenja:

1. opisati nastanak i emisije stakleničkih plinova
2. kategorizirati obnovljive i neobnovljive izvore energije
3. navesti ulogu zaštite okoliša u graditeljstvu
4. definirati linijsko i kružno gospodarstvo
5. navesti primjere linijskog i kružnog gospodarstva
6. objasniti pojam održivog graditeljstva

UVOD

Promatrajući rast broja ljudi na Zemlji s povijesnog stajališta može se govoriti o nekoliko faza. Tako je do Neolitske revolucije, kada su ljudi sa sakupljačko-lovačkog načina života prelazili na stalno naseljavanje i poljoprivredu, u doba tzv. mlađeg kamenog doba (oko 10000 godina prije nove ere), populacija na Zemlji procijenjena na oko nekoliko milijuna ljudi. Uvođenjem poljoprivrede i stalnim naseljavanjima došlo je promjene u navikama jer su ljudi počeli proizvoditi hranu i živjeti u stalnim naseljima. To je omogućilo rast populacije, a procjene sugeriraju da je do kraja neolitskog perioda, oko 4000. godine prije nove ere, globalna populacija dostigla između 20 i 50 milijuna ljudi.

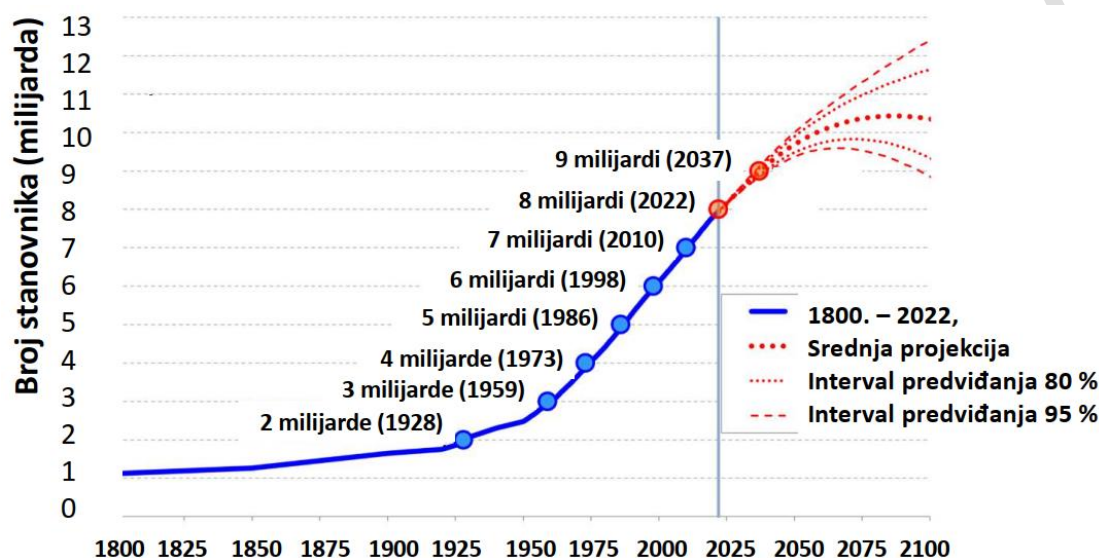
Do značajnog rasta broja ljudi na Zemlji došlo je u vrijeme industrijske revolucije (18. i 19. stoljeće) zbog napretka medicine, higijenskih uvjeta i kvalitetnije prehrane.

Moderno doba donosi značajan rast broja stanovnika, no uz značajne regionalne razlike (nejednoliko naseljavanje zemljine površine). Tako je primjerice 1800. godina brojila približno milijardu stanovnika, 1900. godina

oko 1,6 milijardi, 1950. godina oko 2,5 milijardi, 2000. godina preko 6 milijardi, a u 2023. godini Zemlja je dosegla i 8 milijardi stanovnika.

Najveći rast populacije je u Aziji i Africi dok ostale razvijene zemlje bilježe stagnaciju ili pad broja stanovnika.

Slika 1 se prikazuje grafički prikaz rasta broja stanovnika na Zemlji od 1800. godine do današnjih dana s predviđanjima njihova broja u budućnosti.



Slika 1 Prikaz rasta broja stanovnika na Zemlji (UN, 2022)

Međutim, rastom broja stanovnika na Zemlji dolazi do mnogobrojnih izazova i problema koji utječu na različite aspekte života i društva. U nastavku ćemo se prisjetiti samo nekih.

Povećanje stanovništva vodi ka većoj potražnji za prirodnim resursima poput vode, zemlje, šuma, minerala i fosilnih goriva što može rezultirati iscrpljivanjem resursa i degradacijom životne sredine.

Veća proizvodnja i potrošnja dovode do povećanog zagađenja zraka, vode i zemljišta. Industrijski otpad, plastika, pesticidi i kemikalije doprinose zagađenju i štete ekosustavima.

Uništavanje staništa, krčenje šuma i urbanizacija ugrožavaju mnoge biljne i životinjske vrste, dovodeći do smanjenja bioraznolikosti.

Što je s hranom i vodom? Iako je poljoprivredna proizvodnja porasla, distribucija hrane ostaje neujednačena. To znači da u mnogim dijelovima svijeta, posebno u siromašnim regijama, ljudi pate od gladi i neuhranjenosti. Povećanje populacije stvara pritisak na dostupne izvore vode. Mnoge regije već se suočavaju s nedostatkom vode, što može izazvati konflikte i migracije.

Ima li porast broja stanovnika veze i s rastom i razvojem gradova? Naravno, urbanizacija dovodi do prenatrpanosti u gradovima što stvara probleme sa stanovanjem, transportom, zdravstvenim uslugama i infrastrukturom. Brza urbanizacija često rezultira širenjem neformalnih naselja (slumova) gdje ljudi žive u neadekvatnim uvjetima, bez osnovnih usluga poput vode, kanalizacije i struje.

Porast broja stanovnika na Zemlji također utječe i na ekonomiju, zapošljavanje, javno zdravlje, na društvene i političke izazove (migracije ljudi, nejednakosti među ljudima, pristup školovanju i zdravstvenim uslugama).

Budući da se u ovom nastavnom predmetu bavimo tzv „zelenom gradnjom“, postavlja se pitanje kakav utjecaj na okoliš ima naš sektor graditeljstva, utječe li izgradnja građevina na okoliš, stvara li graditeljstvo otpad, ako stvara, na koji način, može li se primjenom odgovornih i održivih politika umanjiti utjecaj na zagađenje okoliša i dobrobit planeta?

Kroz ovo poglavlje pokušat ćemo doći do odgovora na neka od navedenih pitanja, no konačan cilj je potaknuti kritičko promišljanje svakoga od nas o ovoj problematici i stvoriti pozitivan i proaktivan stav prema promjenama u našem dosadašnjem funkcioniranju.

UTJECAJ GRAĐENJA NA OKOLIŠ

Građenje kao ljudska aktivnost ima značajan utjecaj na okoliš, a taj utjecaj može biti pozitivan ili negativan u ovisnosti od pristupa i korištenih materijala. Npr, ako se gradi hidroelektrana za proizvodnju električne

energije, govorimo o pozitivnom pristupu s aspekta stanovništva koje će dobiti električnu energiju iz tzv. obnovljivih izvora energije, a ne iz izvora koji upotrebljavaju fosilna goriva. Međutim, izgradnjom elektrane stvaraju se umjetna jezera, tzv. akumulacije koje potapaju prirodna staništa biljaka i životinja (šume, livade, naselja i Slika). S tog aspekta govorimo o negativnim utjecajima.

Gradimo li primjerice s materijalima koje smo prikupili od rušenja nekih starih građevina i s njima izgradimo novu građevinu, radi se o pozitivnom utjecaju na okoliš s aspekta korištenja materijala jer on nije završio na odlagalištu otpada već je ponovno iskorišten. S druge strane, ako smo iz zemljinih resursa upotrijebili nove sirovine za proizvodnju novih građevinskih materijala, tada možemo govoriti o negativnom utjecaju na okoliš.

Građenje kao jedna od osnovnih ljudskih djelatnosti zahtijeva iskorištavanje zemljinih resursa, odnosno graditeljstvo koristi sirovine iz Zemlje. Građevinska industrija troši velike količine prirodnih resursa kao što su drvo, kamen, pijesak, voda i minerali za cement i beton. Ekstrakcija i transport ovih materijala često uzrokuju značajnu degradaciju zemljišta i ekosustava.

Osim toga, proizvodnja građevinskih materijala, njegov transport do mjesta uporabe i sama gradnja zahtijevaju veliku količinu energije, koja često dolazi iz spomenutih fosilnih goriva (ugljen, nafta, plin), doprinoseći emisijama stakleničkih plinova (Slika 2). Međutim, samom uporabom građevine također dolazi do emisije stakleničkih plinova (održavanje, energija za grijanje, hlađenje i korištenje)..



Slika 2 Emisije stakleničkih plinova prilikom proizvodnje, transporta i izgradnje te korištenja građevina (GUPP project, 2024)

UTJECAJ STAKLENIČKIH PLINOVA

Staklenički plinovi su plinovi prisutni u Zemljinoj atmosferi koji zadržavaju toplinu sunčevog zračenja i doprinose efektu staklenika. Glavni staklenički plinovi su ugljični dioksid (CO_2), metan (CH_4), dušikov oksid (N_2O) te fluorirani plinovi poput fluorougljikovodika. Njihov utjecaj na Zemljinu klimu može biti značajan.

Staklenički plinovi doprinose zadržavanju topline u atmosferi, čime povećavaju prosječnu globalnu temperaturu. To može uzrokovati klimatske promjene poput topljenja ledenih pokrova, porasta razine mora i promjene u ponašanju vremena.

CO_2 se otapa u oceanima, stvarajući ugljičnu kiselinu koja smanjuje pH oceana. To može imati štetne posljedice na morske organizme i ekosustave. Promjene u globalnoj temperaturi mogu uzrokovati češće i intenzivnije ekstremne vremenske događaje poput uragana, suša, poplava i vrućinskih valova.

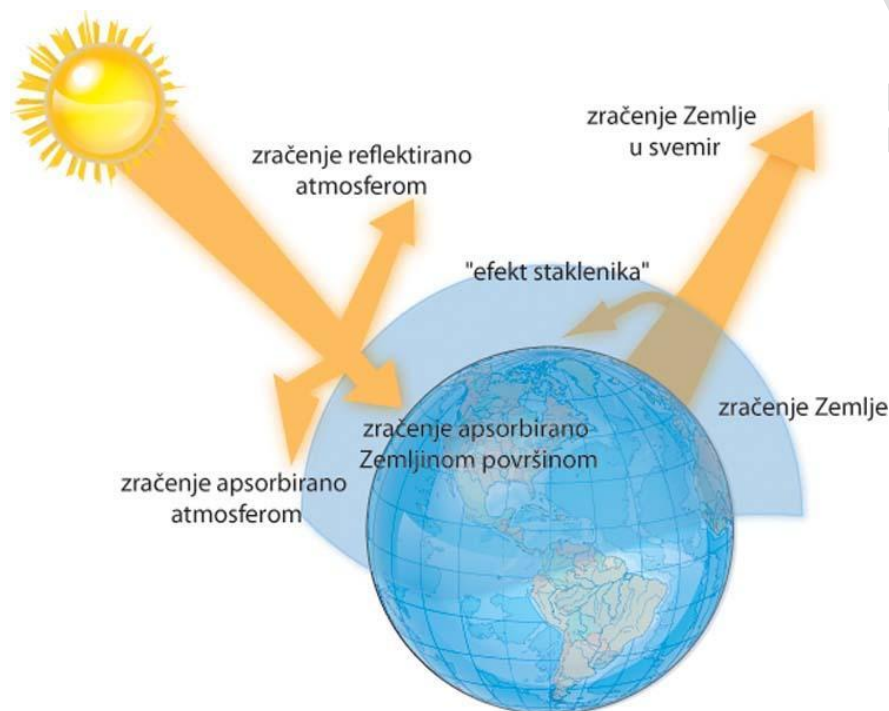
Klimatske promjene uzrokovane stakleničkim plinovima mogu negativno utjecati na životinjske i biljne vrste, poremetiti njihove ekosustave i ugroziti njihov opstanak.

Većina stakleničkih plinova nastaje kao nusproizvod ljudskih aktivnosti poput sagorijevanja fosilnih goriva, industrijskih procesa, poljoprivrede i krčenja šuma. Dakle, jasan je odgovor na pitanje tko može utjecati na emisiju stakleničkih plinova.

Efekt staklenika je prirodni proces zagrijavanja Zemljine površine uzrokovan stakleničkim plinovima koji zadržavaju toplinu u atmosferi. Bez ovog efekta, prosječna temperatura na Zemlji bila bi mnogo niža, što bi otežalo postojanje života kakvog poznajemo. Međutim, ljudske aktivnosti povećavaju koncentracije stakleničkih plinova, pojačavajući efekt staklenika i uzrokujući globalno zagrijavanje.

Efekt staklenika djeluje tako da Sunčeva energija dolazi do Zemljine površine u obliku kratkovalnog zračenja (svjetlost). Dio ove energije apsorbira se na površini Zemlje, a dio se reflektira natrag u svemir. Zemlja

apsorbira sunčevu energiju i zagrijava se. Ova energija se potom isijava natrag prema atmosferi u obliku dugovalnog infracrvenog zračenja (toplina). Staklenički plinovi (CO_2 , CH_4 , N_2O , vodena para i drugi) u atmosferi apsorbiraju i ponovno emitiraju infracrveno zračenje. Ovaj proces zadržava toplinu u atmosferi, sprječavajući je da potpuno pobjegne u svemir, jednostavno rečeno, staklenički plinovi ne dopuštaju da se toplina emitira u svemir, te se ona zadržava na Zemlji (Slika 3).



Slika 3 Prikaz efekta staklanika (Alfa Kabinet, 2024)

Kao rezultat, atmosfera i površina Zemlje postaju topliji, stvarajući povoljnu klimu za život. Da nema efekta staklenika, temperatura bi na Zemlji bila $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$. Međutim, zbog povećanog stvaranja ugljikova dioksida industrijskim procesima, zbog izgaranja fosilnih goriva i uništavanja šuma posljednjih se stotinjak godina staklenički učinak povećava i dovodi do općeg zagrijavanja atmosfere.

Globalno zagrijavanje prepoznato je kao ozbiljan problem tijekom 1990-ih. Predstavnici brojnih država postigli su 1997. u Kyotu sporazum (Protokol iz Kyota) radi smanjivanja emisije ugljikova dioksida i drugih stakleničkih plinova. Protokol je stupio na snagu 2005. a Hrvatska ga je potpisala 2007. godine (Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2024)

ULOGA ZAŠTITE OKOLIŠA U GRADITELJSTVU

Zaštita okoliša ima ključnu ulogu u graditeljstvu jer građevinski sektor značajno utječe na okoliš zbog velike potrošnje resursa, emisija stakleničkih plinova i stvaranja otpada.

Prema statističkim podacima, graditeljstvo stvara oko 40% ukupnog otpada u Europskoj uniji. Građevni otpad nastaje prilikom izgradnje građevina, raznih rekonstrukcija, rušenja i uklanjanja te održavanja postojećih građevina, a također je otpad i onaj materijal koji je nastao prilikom iskopavanja (rudarenja) sirovina kako bi se proizveo neki građevni materijal.

Prema nekim podacima (Portal Sprječavanje nastanka otpada, 2024) najveći udio u građevnom otpadu čini zemlja, kamenje i otpad od jaružanja te miješani građevni otpad i otpad od rušenja objekata. Slijede beton, cigle, crijep/pločice i keramika, metali i njihove legure te ostale vrste otpada zastupljene s manje od 7 % udjela.

Neke od ključnih uloga zaštite okoliša u graditeljstvu su sljedeće:

- Smanjenje ekološkog otiska
 - **Energetska učinkovitost:** Korištenje materijala i tehnologija koje smanjuju potrošnju energije tijekom gradnje i tijekom životnog vijeka građevina (npr. izolacija, energetska učinkovita oprema).
 - **Upotreba obnovljivih izvora energije:** korištenje solarnih panela, vjetroelektrana i drugih obnovljivih izvora za smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima.
 - **Smanjenje potrošnje vode:** Uvođenje sustava za prikupljanje i recikliranje kišnice, te upotreba niskotlačnih uređaja za smanjenje potrošnje vode.
- Očuvanje prirodnih resursa

- **Pametno planiranje:** Očuvanje zelenih površina, bioraznolikosti i ekosustava tijekom izgradnje i urbanog razvoja.
- **Korištenje recikliranih materijala:** Upotreba recikliranih građevinskih materijala kao što su reciklirani beton, drvo ili metal smanjuje eksploataciju prirodnih resursa.
- Smanjenje otpada i reciklaža
 - **Recikliranje otpada:** Razdvajanje, recikliranje i ponovna uporaba građevinskog otpada (betona, čelika, stakla) umjesto odlaganja na deponije.
 - **Smanjenje otpada:** Planiranje gradnje tako da se smanji otpad (precizno naručivanje materijala, upravljanje zaliha).
- Smanjenje emisija stakleničkih plinova
 - **Zelena infrastruktura:** Integracija zelenih krovova, zidova s vertikalnim vrtovima i filtera za smanjenje emisija stakleničkih plinova.
 - **Niskougljična gradnja:** Korištenje materijala s niskim ugljičnim otiskom i tehnologija koje smanjuju emisije CO₂ tijekom gradnje i upotrebe građevina.

LINIJSKO I KRUŽNO GOSPODARSTVO

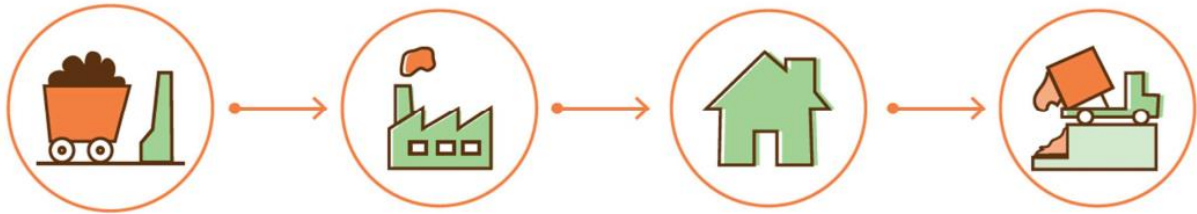
Linijsko i kružno gospodarstvo su dva različita pristupa u upravljanju resursima, proizvodnji i potrošnji.

Klimatske promjene, gubitak bioraznolikosti i iscrpljivanje prirodnih resursa izazvali su globalnu krizu, koja je dovela do onoga što neki znanstvenici smatraju novom geološkom erom: **antropocenom**¹. Ova situacija je velikim dijelom uzrokovana trenutnim modelom upravljanju resursima, proizvodnje i potrošnje koji se naziva **linijsko gospodarstvo**. Takav

¹ Antropocen – epoha koju oblikuju ljudi tj. ljudska je vrsta dominantna sila koja oblikuje Zemlju

ekonomski sustav, implementiran od prve industrijske revolucije, zasniva se na obrascu „proizvodi, koristi i bacaj“ ili „uzmi, napravi, odbaci“, pod pretpostavkom da su prirodni resursi neiscrpnj.

Slika 4 dijagramom prikazuje shematski, linearno gospodarstvo.



Slika 4 Dijagram linijskog gospodarstva (BUS-GoCircular, 2024)

Linerano gospodarstvo je tradicionalni način proizvodnje i potrošnje koji slijedi sljedeće korake:

- **Ekstrakcija:** Vađenje sirovina iz prirodnog okoliša.
- **Proizvodnja:** Proizvodnja proizvoda od sirovina.
- **Distribucija:** Proizvodi se distribuiraju do potrošača.
- **Korištenje:** Potrošači koriste proizvode.
- **Odbacivanje:** Nakon korištenja, proizvodi se odbacuju kao otpad.

Linearni model slijedi pristup „od izvora do groba“, dakle po tom se modelu konačna količina materijala iscrpljuje, što predstavlja ozbiljan rizik za okoliš i ostavlja golemu količinu otpada, što dovodi do zagađenja diljem svijeta.

Dakle, možemo ukratko zaključiti da su problemi linijskog gospodarstva:

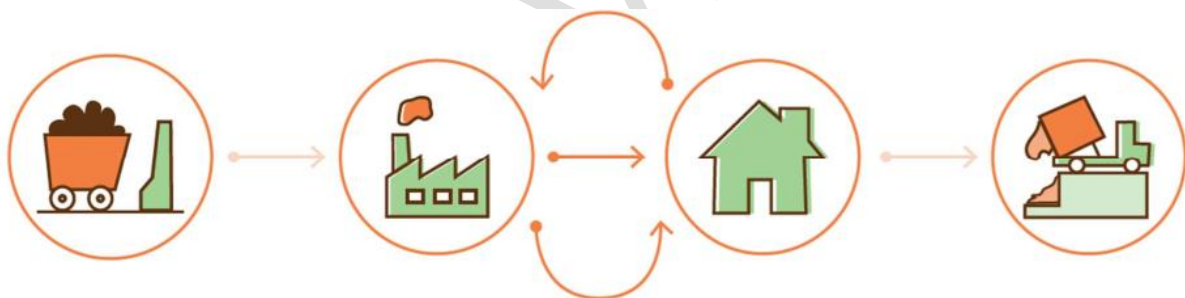
- Iscrpljivanje resursa: Ovaj model dovodi do prekomjerne eksploatacije prirodnih resursa.
- Zagađenje i otpad: Velike količine otpada stvaraju probleme zagađenja tla, vode i zraka.
- Neodrživost: Ovaj pristup nije održiv na duži rok jer se resursi troše brže nego što se mogu obnoviti.

Nasuprot linijskom gospodarstvu postoji model koji se naziva **kružno gospodarstvo**. Kružni model gospodarstva temelji se na konceptu zatvorenog ciklusa, gdje su proizvodi i materijali dizajnirani tako da se ponovo koriste, popravljaju, obnavljaju ili recikliraju.

Kružno gospodarstvo, kao novi model proizvodnje i potrošnje, pojavilo se kao održivija alternativa linearnom gospodarstvu. Cilj kružnog gospodarstva je postići učinkovitije i otpornije sustave proizvodnje i potrošnje koji minimiziraju korištenje prirodnih resursa i čuvaju one koji se koriste unutar kontinuiranih ciklusa, održavajući ili poboljšavajući njihovu vrijednost (Slika 5).

Glavne karakteristike kružnog gospodarstva uključuju:

1. **Dizajn za trajnost i ponovnu upotrebu:** Proizvodi su dizajnirani da traju duže i da se mogu lako popravljati ili reciklirati.
2. **Maksimizacija korištenja resursa:** Materijali i proizvodi se koriste što je moguće duže kroz popravak, obnovu i reciklažu.
3. **Smanjenje otpada:** Otpaci se minimiziraju kroz ponovnu upotrebu i reciklažu.
4. **Zatvaranje petlji:** Resursi ostaju u ekonomiji što je duže moguće, smanjujući potrebu za novim sirovinama.



Slika 5 Dijagram kružnog gospodarstva (BUS-GoCircular, 2024)

Neke od prednosti kružnog gospodarstva su očuvanje resursa (smanjuje se potreba za iskopavanjem novih resursa iz Zemlje), smanjenje zagađenja (manje otpada rezultira manjim zagađenjem), ekonomičnost (ponovna upotreba i reciklaža mogu smanjiti troškove i stvoriti nove poslovne prilike) i održivost (dugoročno održiviji pristup koji podržava zdraviji okoliš i ekonomiju).

ODRŽIVO GRADITELJSTVO

U novije vrijeme često se susrećemo s pojmom održivog graditeljstva. Na tragu dosad spomenutih pojmova i modela gospodarenja može se zaključiti da je održivo graditeljstvo suvremeni pristup projektiranju, građenju, korištenju i održavanju građevina koji uzima u obzir **ekološke, društvene i ekonomske aspekte** kako bi se postigla dugoročna održivost. To bi značilo da se maksimalno umanje negativni utjecaji građenja na okoliš i društvo, dok se istovremeno promiče učinkovito korištenje resursa, energetska učinkovitost, zdravo okruženje za stanovanje i smanjenje troškova održavanja tijekom vremena.

Što bi konkretno trebali inženjeri i tehničari raditi kako bi postigli navedene ciljeve?

Trebali bi projektirati zgrade koje minimiziraju potrošnju energije za grijanje, hlađenje i osvjetljenje. To uključuje dobru izolaciju, korištenje obnovljivih izvora energije poput solarnih panela, kao i tehnologije za smanjenje potrošnje energije.

Nadalje, trebali bi odabrati materijale koji su ekološki prihvatljivi, poput recikliranih materijala, drva iz održivih izvora, materijala koji se mogu ponovno koristiti i onih s niskim utjecajem na okoliš.

Po pitanju vode, koja također nije neiscrpan resurs, trebali bi efikasno upravljati vodom, uključujući smanjenje potrošnje vode unutar zgrade (npr. korištenje uređaja za smanjenje potrošnje vode), sakupljanje kišnice za navodnjavanje i druge namjene te upotrebu sustava za filtriranje i reciklažu vode.

Omogućiti kvalitetu unutarnjeg zraka projektiranjem sustava ventilacije i kontrole vlage.

Smanjiti građevinski otpad i reciklirati ga što je više moguće, posebice beton i čelik.

Inženjeri bi trebali projektirati zgrade koje su trajne i mogu se prilagoditi promjenama potreba tijekom vremena, kako bi se minimizirao potreban redizajn i rekonstrukcija. Uz navedeno, postoje primjeri zgrada koje služe

za više namjena (npr. tijekom dana za jednu, a navečer za drugu namjenu) čime se smanjuje potreba za izgradnjom više zgrada.

Održivo graditeljstvo je ključni element u borbi protiv klimatskih promena i očuvanju resursa, te sve više postaje standard u suvremenim građevinskim projektima diljem svijeta.

UN CILJEVI ODRŽIVOG RAZVOJA

UN Ciljevi održivog razvoja (Ciljevi SDG, eng. Sustainable Development Goals) predstavljaju skup od 17 globalnih ciljeva koje su Ujedinjeni narodi usvojili 2015. godine, s ciljem da se postignu do 2030. godine (Slika 6). Ovi ciljevi su dio Agende 2030 za održivi razvoj i predstavljaju univerzalni poziv na akciju da se iskorijeni siromaštvo, zaštiti Zemlja i osigura mir i prosperitet za sve ljude. Evo popisa 17 ciljeva:

- Iskorjenjivanje siromaštva: Okončati siromaštvo u svim oblicima svugdje.
- Iskorjenjivanje gladi: Okončati glad, postići sigurnost hrane, poboljšati prehranu i promovirati održivu poljoprivredu.
- Zdravlje i blagostanje: Osigurati zdrave živote i promovirati blagostanje za sve u svim dobima.
- Kvalitetno obrazovanje: Osigurati inkluzivno i pravedno kvalitetno obrazovanje i promovirati mogućnosti cjeloživotnog učenja za sve.
- Rodna ravnopravnost: Postići rodnu ravnopravnost i osnažiti sve žene i djevojčice.
- Čista voda i sanitarni uvjeti: Osigurati dostupnost i održivo upravljanje vodom i sanitarnim uvjetima za sve.
- Pristupačna i čista energija: Osigurati pristup pristupačnoj, pouzdanoj, održivoj i modernoj energiji za sve.
- Dostojanstven rad i ekonomski rast: Promorati inkluzivan i održiv ekonomski rast, punu i produktivnu zaposlenost i dostojanstven rad za sve.

- Industrija, inovacije i infrastruktura: Izgraditi otpornu infrastrukturu, promovirati inkluzivnu i održivu industrijalizaciju i poticati inovacije.
- Smanjenje nejednakosti: Smanjiti nejednakost unutar i među zemljama.
- Održivi gradovi i zajednice: Učiniti gradove i ljudska naselja inkluzivnim, sigurnim, otpornim i održivim.
- Odgovorna potrošnja i proizvodnja: Osigurati održive obrasce potrošnje i proizvodnje.
- Klimatska akcija: Poduzeti hitne akcije za borbu protiv klimatskih promjena i njihovih posljedica.
- Život pod vodom: Očuvati i održivo koristiti oceane, mora i morske resurse za održivi razvoj.
- Život na kopnu: Zaštititi, obnoviti i promovirati održivo korištenje kopnenih ekosustava, održivo upravljati šumama, boriti se protiv dezertifikacije, zaustaviti i preokrenuti degradaciju zemljišta i zaustaviti gubitak biološke raznolikosti.
- Mir, pravda i snažne institucije: Promovirati mirna i inkluzivna društva za održivi razvoj, osigurati pristup pravdi za sve i izgraditi efikasne, odgovorne i inkluzivne institucije na svim razinama.
- Partnerstva za ciljeve: Ojačati sredstva za implementaciju i revitalizirati globalno partnerstvo za održivi razvoj.

Ovi ciljevi su međusobno povezani i balansiraju **tri dimenzije održivog razvoja: ekonomsku, socijalnu i ekološku**. Implementacija ovih ciljeva zahtijeva zajednički napor vlada, civilnog društva, privatnog sektora i građana.



Slika 6 UN-ovi globalni ciljevi održivog razvoja (Institut za društveno odgovorno poslovanje, 2024)

Pitanja za ponavljanje

1. Kako porast broja stanovnika utječe na zagađenje okoliša?
2. Što su fosilna goriva i za što se koriste?
3. Što utječe na povećanje stakleničkih plinova u atmosferi?
4. Navedite neke od obnovljivih izvora energije.
5. U čemu se razlikuje linijsko i kružno gospodarstvo?
6. Kako se može smanjiti upotreba vode u građevinama?

Istraži...

- Možete li na temelju grafičkog prikaza na Slika 1 predvidjeti broj stanovnika na Zemlji u budućnosti? Što mislite zašto?
- Pokušajte se prisjetiti nedavnih ekstremnih vremenskih događaja. Što mislite kako je do njih došlo?
- Pokušajte na primjerima nekih građevinskih proizvoda (npr. opeka, beton, drvo, čelik) usporediti linijski i kružni model upravljanja?
- Vidite li možda poslovnu priliku u kružnom gospodarstvu? Objasnite.
- Na web stranici detaljnije proučite 17 globalnih UN-ovih ciljeva održivog razvoja: [Savile Row \(Annual Report\) \(idop.hr\)](https://www.idop.hr/en/savile-row-annual-report)



2 ENERGETSKA UČINKOVITOST I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U ZGRADARSTVU

Autor:

Hrvoje Mostečak, dipl.ing.građ., dipl.ing.geot.

Ishodi učenja:

1. razumijeti osnovna načela energetske učinkovitosti u zgradarstvu
2. definirati osnovne pojmove obnovljivih i neobnovljivih izvora energije
3. istražiti prednosti i mane obnovljivih izvora energije

UVOD

„Za bolje sutra treba početi misliti već danas“ je rečenica koja se često ponavlja u kontekstu energetske učinkovitosti u zgradarstvu. Nove zgrade koje su projektirane sukladno aktualnim propisima i koje se grade suvremenim materijalima ne predstavljaju toliko problem, međutim veliki izazov predstavlja obnova starih zgrada koje nisu građene kao energetske učinkovite, klimatski neutralne te da koriste obnovljive izvore energije.

Problem energetske učinkovitosti je jedan od važnijih ciljeva Europske komisije jer je cilj Europe postići da zgrade do 2050. godine budu energetske učinkovite te da koriste obnovljive izvore energije.

ENERGETSKA UČINKOVITOST

Pojam energetska učinkovitost pojednostavljeno znači uporabiti manju količinu energije (energenata) za obavljanje istog posla kao što je primjerice grijanje prostora zimi, hlađenje ljeti, rasvjeta, proizvodnja određenih proizvoda, energija za kretanje vozila. Važno je istaknuti da se

energetska učinkovitost nikako ne smije promatrati kao štednja. Naime, štednja uvijek podrazumijeva određena odricanja, dok učinkovita uporaba energije nikada ne narušava uvjete rada i življenja.

Potrošnja energije u zgradama ovisi prvenstveno o karakteristikama same zgrade kao što su njezin oblik i materijali od kojih je izgrađena, ali i o karakteristikama energetske sustava u njoj kao što su sustav grijanja, električnih uređaja i rasvjete te o klimatskim uvjetima podneblja na kojem se zgrada nalazi.

Za postojeće zgrade u Hrvatskoj, posebice one starije, može se reći da troše veliku količinu svih oblika energije, posebice za grijanje, a sve više i za hlađenje prostora. Energija potrebna za grijanje, pripremu potrošne tople vode i hlađenje predstavlja najveći udio energetske potrošnje u zgradama te se posljednjih godina ovoj problematici posvećuje sve više pažnje.

Kako su zgrade najveći pojedinačni potrošači energije, tako su i najveći zagađivači okoliša. Poboljšanje energetske učinkovitosti može značajno smanjiti potrošnju energije i troškove koje stvara zgrada, kao i emisije stakleničkih plinova. Proces postizanja energetske učinkovitosti razvijao se tijekom vremena kroz različite faze i uz pomoć raznih tehnologija, politika i praksi.

Energetska učinkovitost u zgradarstvu odnosi se na optimizaciju potrošnje energije u zgradama kako bi se smanjili troškovi grijanja, hlađenja, rasvjete i drugih oblika potrošnje energije. Postizanje visoke energetske učinkovitosti u zgradama uključuje niz strategija, tehnologija i mjera koje mogu biti implementirane u novoizgrađenim zgradama kao i u renovaciji postojećih (starih) zgrada.

U nastavku se nalazi objašnjenje nekih od ključnih aspekata energetske učinkovitosti u zgradarstvu tj. elemenata koji utječu na kvalitetniju energetska učinkovitost zgrada.

1. Izolacija zgrade

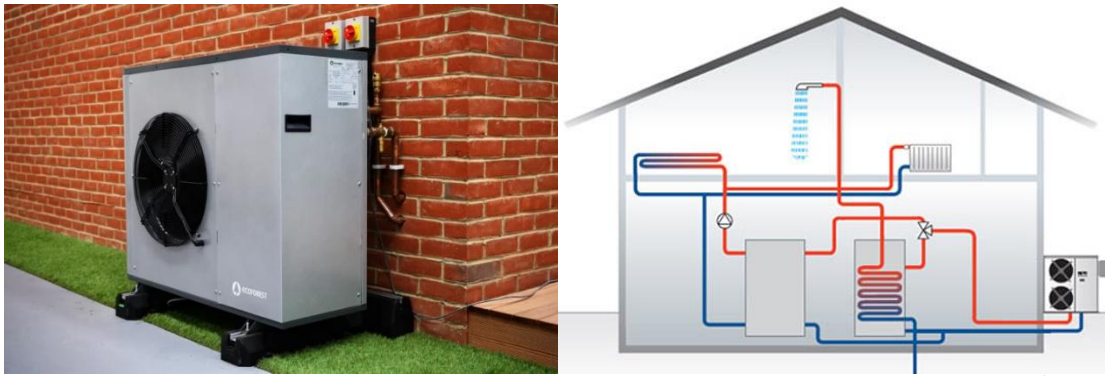
- **Toplinska izolacija:** Korištenje visokokvalitetnih izolacijskih materijala za zidove (Slika 7), krovove i podove smanjuje gubitke topline i potrebe za grijanjem ili hlađenjem.
- **Izolacija prozora i vrata:** Energetski učinkoviti prozori i vrata s dvostrukim ili trostrukim staklom te visokim izolacijskim svojstvima smanjuju toplinske gubitke.



Slika 7 Primjer toplinske izolacije vanjskog zida zgrade (Bellcom Hrvatska, 2024)

2. Sustavi grijanja i hlađenja

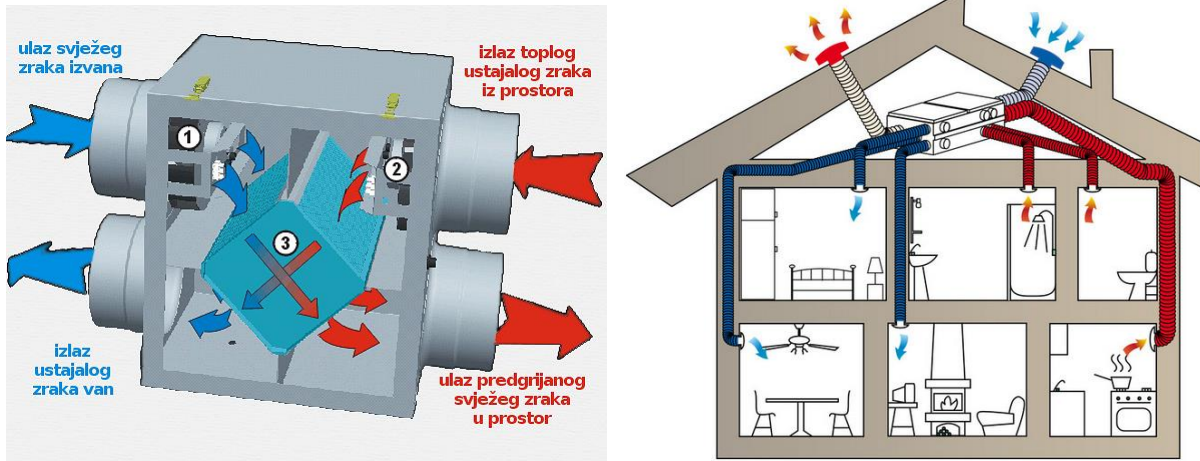
- **Visokoučinkoviti kotlovi i peći:** Moderni sustavi grijanja koriste manje energije za proizvodnju iste količine topline.
- **Toplinske pumpe:** Iskorištavanje topline iz okoliša (zraka, tla ili vode) za grijanje i hlađenje zgrada (Slika 8).
- **Zonsko grijanje i hlađenje:** Sustavi koji omogućuju regulaciju temperature po zonama unutar zgrade povećavaju efikasnost i udobnost (prilagođavanje temperature u pojedinim prostorijama).



Slika 8 Primjer toplinske pumpe (lijevo) i shematski prikaz funkcioniranja sustava (Klimaj, 2024)

3. Ventilacija

- **Sustavi za rekuperaciju topline:** Ventilacijski sustavi koji koriste otpadnu toplinu iz ispušnog zraka za predgrijavanje svježeg zraka smanjuju energetske potrebe.
- **Prirodna ventilacija:** Dizajn zgrada koji omogućuje prirodno strujanje zraka smanjuje potrebu za mehaničkom ventilacijom.



Slika 9 Rekuperatori zraka; izmjena zraka bez gubitka energije (Klima koncept, 2024)

4. Rasvjeta i električni uređaji

- **LED rasvjeta:** Korištenje LED rasvjetnih tijela koja troše manje energije i imaju duži vijek trajanja u odnosu na tradicionalne žarulje.
- **Pametna rasvjeta:** Sustavi koji automatski prilagođavaju intenzitet rasvjete ovisno o prirodnom svjetlu i prisutnosti ljudi u prostoru.

- **Električni uređaji:** nabavka uređaja za kućanstvo s energetski efikasnijom potrošnjom električne energije

5. Obnovljivi izvori energije

- **Solarni paneli:** Instalacija fotonaponskih panela na krovu ili fasadi zgrade za proizvodnju električne energije iz sunčeve energije (Slika 10).
- **Solarni termalni sustavi:** Sustavi koji koriste solarnu energiju za grijanje vode.



Slika 10 Primjer postavljenih solarnih panela na krov obiteljske kuće (Solarno net, 2024)



Slika 11 Solarni kolektor bez tlaka u kolektoru za grijanje vode (Gomon, 2024)

6. Pametni sustavi upravljanja zgradama

- **Pametni termostati:** Termostati koji prilagođavaju temperaturu ovisno o rasporedu korisnika i vanjskim uvjetima.
- **Sustavi za upravljanje energijom (EMS):** Softverski sustavi koji nadziru i optimiziraju potrošnju energije u zgradama.

7. Materijali i dizajn

- **Zeleni krovovi i fasade:** Zeleni krovovi i vertikalni vrtovi koji poboljšavaju izolacijska svojstva zgrade i smanjuju učinak urbanih toplinskih otoka.
- **Pasivne kuće:** Dizajn zgrada koji maksimalno iskorištava prirodne izvore topline i svjetla te minimizira energetske gubitke.

8. Standardi i certifikati

- **Napoznatiji međunarodni standardi i certifikati za ocjenu održivosti zgrada i građevina:** LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), DGNB ((Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), Level(s) (Europski ovir za održivost zgrada)
- **Passivhaus standard:** Njemački standard za pasivne kuće s vrlo niskom potrošnjom energije.

U zgradama se troši oko **40 %** od ukupne potrošnje energije, stoga je izuzetno važna njihova energetska učinkovitost tj. osiguravanje minimalne potrošnje energije da bi se postigla optimalna ugodnost boravka i korištenja zgrade.

Vlada Republike Hrvatske je 2014. godine donijela programe energetske obnove s ciljem smanjenja potrošnje energije u zgradama na nacionalnoj razini te smanjenja emisija CO₂ i to za zgrade različite namjene.

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Obnovljivi izvori energije koje smo već ranije spomenuli su prirodni izvori energije koji se obnavljaju prirodnim procesima i imaju manji utjecaj na okoliš u usporedbi s fosilnim gorivima (ugljen, nafta, zemni plin).

Oni igraju ključnu ulogu u smanjenju emisija stakleničkih plinova, povećanju energetske sigurnosti i promicanju održivog razvoja.

Glavne vrste obnovljivih izvora energije:

1. Solarna energija

- **Fotonaponski paneli (PV):** Paneli koji pretvaraju sunčevu svjetlost izravno u električnu energiju.
- **Solarni termalni sustavi:** Sustavi koji koriste sunčevu energiju za zagrijavanje vode ili zraka za grijanje prostora ili za proizvodnju tople vode.
- **Koncentrirana solarna energija (CSP):** Sustavi koji koriste zrcala ili leće za koncentriranje sunčeve energije na mali prostor, proizvodeći toplinu koja se koristi za generiranje električne energije.

2. Energija vjetra

- **Kopnene vjetroturbine:** Instalacije vjetroturbina na kopnu koje pretvaraju kinetičku energiju vjetra u električnu energiju.
- **Offshore vjetroturbine:** Vjetroturbine smještene u moru, gdje su vjetrovi obično jači i trajniji nego na kopnu. Vjetroelektrane na moru i njihove pojedinačne vjetrenjače mnogo su veće od onih na kopnu.



Slika 1 Prikaz kopnenih vjetroturbina (Zaštita prirode, 2024)



Slika 2 Prikaz offshore vjetroturbine (Energypress, 2024)

3. Hidroenergija

- **Brane i hidroelektrane:** Korištenje brana za stvaranje velikih rezervoara vode koja se pušta kroz turbine za proizvodnju električne energije.
- **Mikro hidroelektrane:** Male hidroelektrane koje koriste rijeke ili potoke za proizvodnju električne energije na lokalnoj razini.
- **Energija valova i plime:** Tehnologije koje koriste energiju morskih valova i plime za proizvodnju električne energije.



Slika 14 Primjer hidroelektrane (Lešće) (HEP Proizvodnja d.o.o. , 2024)

4. Geotermalna energija

- **Geotermalne elektrane:** Korištenje topline iz unutrašnjosti Zemlje za proizvodnju električne energije.
- **Geotermalni sustavi grijanja i hlađenja:** Korištenje topline iz tla za grijanje zgrada zimi i hlađenje ljeti pomoću toplinskih pumpi.

5. Biomasa

- **Biomasa za proizvodnju topline i električne energije:** Korištenje organskog materijala (drva, poljoprivrednih ostataka, otpada) za proizvodnju topline ili električne energije.
- **Biogoriva:** Tekuća biogoriva kao što su bioetanol i biodizel proizvedena iz biljaka i drugih organskih materijala koja se koriste kao zamjena za fosilna goriva u transportu.

6. Energija iz otpada

- **Termička obrada otpada:** Korištenje čvrstog otpada za proizvodnju energije kroz procese spaljivanja (Slika 15).
- **Anaerobna digestija:** Proces u kojem mikroorganizmi razgrađuju organski otpad u odsutnosti kisika, proizvodeći bioplina koji se može koristiti za proizvodnju topline i električne energije (Slika 15).



Slika 15 Lijevo: Spalionica otpada Spittelau u Beču, dizajn: Friedensreich Hundertwasser (Ekovjesnik, 2021) i desno: postrojenje za anaerobnu digestiju pročišćivača otpadnih voda Zagreba (Odorčić, 2022)

Prednosti obnovljivih izvora energije

- **Održivost:** Neiscrpní izvori energije koji se obnavljaju prirodnim procesima.

- **Smanjenje emisija stakleničkih plinova:** Značajno niže emisije CO₂ u usporedbi s fosilnim gorivima.
- **Povećana energetska sigurnost:** Smanjenje ovisnosti o uvozu fosilnih goriva.
- **Ekonomske prilike:** Otvaranje novih radnih mjesta u sektorima obnovljive energije.
- **Zdravstvene koristi:** Manje zagađenje zraka i voda što poboljšava javno zdravlje.

Izazovi i ograničenja obnovljivih izvora energije

- **Intermitentnost (povremenost):** Neki obnovljivi izvori, poput solarne i vjetroenergije, ovise o vremenskim uvjetima i nisu stalno dostupni.
- **Visoki početni troškovi:** Ulaganje u tehnologije obnovljive energije može biti skupo, iako dugoročno donosi uštede.
- **Potrebna infrastruktura:** Integracija obnovljivih izvora energije u postojeće energetske mreže zahtijeva prilagodbe i ulaganja.
- **Odlaganje otpada i uređaja nakon korištenja:** Prilikom termičke obrade nastaje otpad koji se trenutno odlaže. Dodatno postoji izazov što nakon uređaja kada im završi životni vijek.

NEOBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Neobnovljivi izvori energije su izvori koji se ne mogu obnoviti ili se obnavljaju izuzetno sporo u geološkim vremenskim okvirima. Njihova upotreba rezultira smanjenjem dostupnih zaliha i često ima značajan negativan utjecaj na okoliš. Glavni neobnovljivi izvori energije uključuju fosilna goriva i nuklearnu energiju.

U neobnovljive izvore energije spadaju:

1. Fosilna goriva

Nafta - koristi se za proizvodnju benzina, dizela, kerozina, maziva i brojnih kemikalija. Ekstrahira se bušenjem naftnih bušotina na kopnu ili na moru. Sagorijevanje nafte emitira značajne količine ugljičnog dioksida (CO₂) i drugih štetnih tvari, doprinoseći globalnom zagrijavanju i zagađenju zraka.

Ugljen - koristi se prvenstveno za proizvodnju električne energije u termoelektranama i za proizvodnju čelika. Kopa se iz rudnika ugljena, bilo površinskim kopanjem ili podzemnim rudarenjem. Sagorijevanje ugljena proizvodi velike količine CO₂, sumpor-dioksida (SO₂), dušikovih oksida (NO_x) i čestica, uzrokujući kisele kiše i zagađenje zraka.

Prirodni plin - koristi se za grijanje, kuhanje, proizvodnju električne energije i kao sirovina u industriji. Ekstrahira se iz podzemnih plinskih polja putem bušotina. Iako sagorijevanje prirodnog plina proizvodi manje CO₂ od nafte i ugljena, emisije metana (snažan staklenički plin) tijekom vađenja i transporta predstavljaju ozbiljan problem.

2. Nuklearna energija

Nuklearna energija se koristi za proizvodnju električne energije u nuklearnim elektranama. Energija se dobiva iz nuklearne fisije urana ili plutonija. Uran se ekstrahira iz rudnika urana. Nuklearne elektrane ne emitiraju CO₂ tijekom proizvodnje energije, ali proizvodnja nuklearnog otpada, potencijalni rizici od nesreća (npr. Černobil 1986., Fukushima 2011. godine) i izazovi skladištenja radioaktivnog otpada predstavljaju značajne ekološke i sigurnosne probleme.

Prednosti neobnovljivih izvora energije

- **Visoka energetska gustoća:** Fosilna goriva i nuklearna energija imaju visoku energetska gustoću, što znači da mala količina može proizvesti veliku količinu energije.
- **Pouzdanost i stabilnost:** Neobnovljivi izvori energije mogu pružiti stabilan i kontinuiran izvor energije, što je ključno za osnovnu (baznu) proizvodnju električne energije.

- **Postojeća infrastruktura:** Većina svjetske energetske infrastrukture dizajnirana je za korištenje fosilnih goriva, što znači da su većina elektrana, vozila i industrijskih postrojenja optimizirana za ove izvore energije.

Nedostaci neobnovljivih izvora energije

- **Ograničene zalihe:** Fosilna goriva su ograničena i njihova eksploatacija dovest će do iscrpljivanja resursa.
- **Negativan utjecaj na okoliš:** Emisije stakleničkih plinova, zagađenje zraka, tla i voda, te ekološke katastrofe povezane s vađenjem i transportom fosilnih goriva.
- **Nuklearni otpad i rizici:** Nuklearna energija stvara opasan radioaktivni otpad koji zahtijeva dugotrajno skladištenje i predstavlja ozbiljne sigurnosne rizike.

Budućnost neobnovljivih izvora energije je kompleksna tema koja uključuje razmatranje nekoliko faktora, uključujući globalne energetske potrebe, klimatske promjene, tehnološki razvoj i ekonomske trendove.

Dok će fosilna goriva i dalje igrati ulogu u globalnoj energetici u kratkoročnom razdoblju, dugoročni trendovi ukazuju na sve veći prijelaz na obnovljive izvore energije.

Pitanja za ponavljanje

1. Podrazumijeva li energetska učinkovitost štednju energije? Pojasni.
2. Navedi nekoliko ključnih aspekata energetske učinkovitosti u zgradarstvu.
3. Koje su prednosti, a koji nedostaci obnovljivih izvora energije? Razmisli da li postoje još neke prednosti i nedostaci korištenja obnovljivih izvora energije osim ovdje navedenih.
4. Koje su prednosti, a koji nedostaci neobnovljivih izvora energije?
5. Navedi neke primjere obnovljivih i neobnovljivih izvora energije?

Istraži...

- Na Youtube kanalu na adresi <https://www.youtube.com/watch?v=Bpo3gpiU4do> prouči temu „Izvrсна arhitektura i energetska učinkovitost jednog dječjeg vrtića“



- Na Youtube kanalu na adresi <https://www.youtube.com/watch?v=JaLi9T0I7Yk> prouči temu „Energetska učinkovitost u Hrvatskoj“



- Istraži koje izazove nosi sa sobom obnovljivi izvori energije. Koju energiju bi ti koristio na svojoj zgradi/kući i zašto? Razmisli o prednostima i manama sa ekonomskog i ekološkog aspekta.

RADNA

3 PAMETNI ZELENI GRADOVI

Autorica:

Tihana Matota, dipl.ing.arh., univ. spec. oecoing.

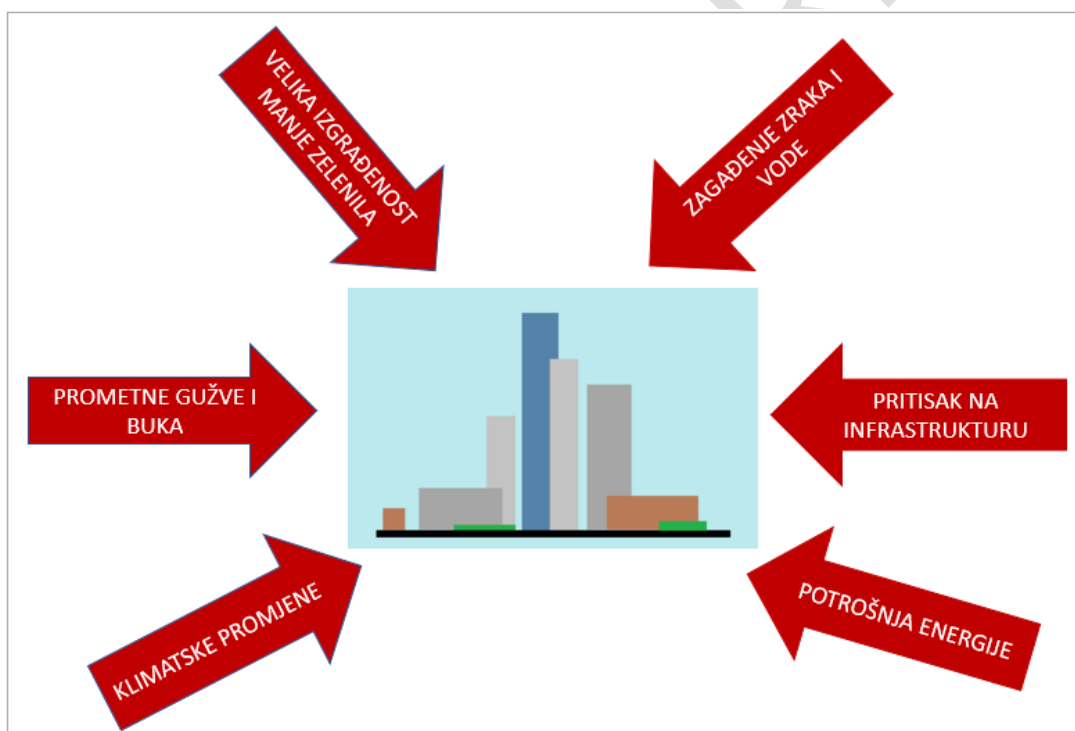
Ishodi učenja:

1. objasniti pojam urbanizacije
2. razumjeti pojam pametnog grada
3. odrediti elemente pametnog grada
4. odrediti karakteristike zelenog grada
5. razumjeti pojam ugljične neutralnosti

UVOD

Povijesno gledano, gradovi se smatraju najvišim oblicima ekonomskih i sociokulturnih tvorevina u ljudskoj civilizaciji. Svjetsko stanovništvo je u stalnom porastu, a najveći rast nastaje upravo u gradovima. Početkom 20. stoljeća u gradovima je živjelo 12,5 % ukupnog svjetskog stanovništva dok sto godina kasnije taj postotak iznosi 52%. Predviđa se da će do 2050. godine u gradovima živjeti oko 70% ukupne svjetske populacije (Mattias Höjer, Josefin Wangel, 2014). Proces izgradnje i širenja gradova uvjetovan ubrzanim doseljavanjem stanovnika naziva se urbanizacija. Urbanizacija je danas najintenzivnija u nerazvijenim zemljama i zemljama u razvoju u kojima brzorastući gradovi ne mogu svim stanovnicima pružiti kvalitetne i dostupne usluge (Slika 16). Razvijene Europske zemlje i zemlje Sjeverne Amerike su suočene sa drugačijim problemima; u gradovima koji su urbanizirani u proteklim stoljećima, sada postoji trend seljenja stanovništva u predgrađa ili suburbije što stavlja novi pritisak na gradske transportne sustave.

I dok urbanizacija i razvoj gradova ima pozitivne učinke kao što je npr. ekonomski rast, javlja se i niz negativnih efekata, odnosno procjenjuje se da gradovi trenutno troše 65% svjetske potrošnje energije, odnosno stvaraju 70% ukupne količine stakleničkih plinova (EU Mission: Climate-Neutral and Smart Cities, 20224). S obzirom na to potrebno je osmišljavati rješenja, koja će uz danas dostupnu tehnologiju u budućnosti riješiti navedene probleme. U cilju unapređenja funkcioniranja gradova i poboljšanja kvalitete života njihovih stanovnika, a s obzirom na razvoj digitalizacije, razvijaju se ideje o tome kako bi gradovi u budućnosti trebali izgledati. Dva vrlo raširena koncepta koja posljednjih desetljeća prihvaća sve veći broj svjetskih gradova su koncepti Pametnog grada i Zelenog grada.



Slika 16 Negativni utjecaji na suvremene gradove (autor)

PAMETNI GRAD I NJEGOVI ELEMENTI

Pametni grad (engl. Smart city) (Włodarczak, 2024) je grad koji koristi digitalne i komunikacijske tehnologije kao i analize podataka u cilju stvaranja učinkovitog i sigurnog gradskog prostora. Navedeno rezultira

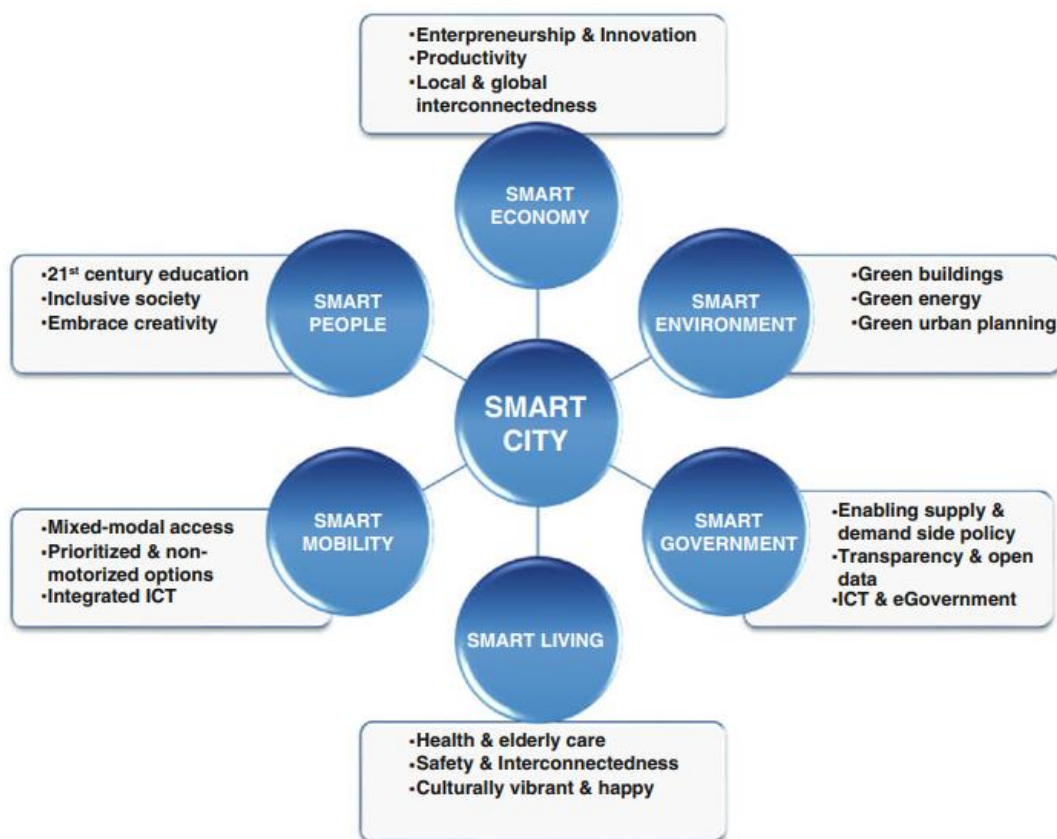
boljom kvalitetom života ljudi u gradu te uravnoteženim razvojem gospodarstva uz očuvanje okoliša. Koncept Pametnog grada je vizija poboljšanja kvalitete života i uštede resursa koju uvodi sve veći broj gradova, osobito onih u razvijenim zemljama Sjeverne i Zapadne Europe, Sjeverne Amerike i Australije.

Ovisno o lokalnim specifičnostima, elemenata Pametnog grada može biti više, no u literaturi se najčešće spominje sljedećih šest (Włodarczak, 2024) (Slika 17):

- „Pametna“ promet,
- „Pametna“ zajednica,
- „Pametna“ okoliš,
- „Pametna“ ekonomija,
- „Pametna“ uprava i
- „Pametni“ ljudi.

Pametna promet

Promet značajno negativno utječe na kvalitetu zraka i glavni je generator buke u gradovima. Upravo je zato u taj sektor većina gradova želi unijeti poboljšanja. U tom cilju se u gradovima uvode inteligentni sustavi upravljanja prometom koji koriste baze podataka za poboljšanje protoka prometa, instaliraju pametni semafori koji smanjuju prometnu gužvu, pametni sustavi parkiranja koji koriste senzore i podatke kako bi pomogli vozačima u otkrivanju dostupnih parkirnih mjesta te autonomni automobili. Pametni zeleni gradovi ulažu znatne napore i u unapređenje dostupnosti javnog gradskog prijevoza kroz izgradnju prigradskih i podzemnih željeznica te uvode električne autobuse. Potiče se upotreba nemotoriziranih prometnih sredstava pa se uređuju biciklističke i pješачke staze, kako bi se smanjio broj motoriziranih vozila na cestama.



Slika 17 Shema „Pametnog grada“ (Peter Wlodarczak, 2024)

Pametna zajednica

„Pametnan grad“ ima organizirani i lako dostupan zdravstveni sustav i sustav brige za starije i druge ranjive skupine stanovništva. Građani se osjećaju sigurno, a urbani prostori i aktivnosti su planirani na način da omogućavaju mnogo kvalitetnih interakcija te kulturnih i drugih manifestacija.

Pametnan okoliš

Zaštita okoliša je još jedno područje kojem se u suvremenim gradovima posvećuju velika pozornost. Pametni gradovi nastoje organizirati održivo gospodarenje otpadom; razvijeni su sistemi odvajanja otpada te se stanovnike potiče da aktivno u tome sudjeluju. Potiče se reduciranje otpada kroz poticanje ponovne upotrebe, djeljenja, doniranja te recikliranje. Pametni gradovi često otpad koriste u proizvodnji energije. Prelazak na pretežitu ili potpunu upotrebu obnovljivih izvora energije kao što su snaga vjetrova, solarna energija i geotermalna energija je prioritet. Potiče se ušteda

energije u zgradarstvu na način da obveznom postaje gradnja zgrada gotovo nulte energije, energetska obnova starih zgrada kao i racionalno korištenje energije (npr. rasvjete, grijanja).

Urbanističko planiranje se koristi analizama podataka kako bi uskladilo zahtjeve izgradnje i ekonomskog rasta sa potrebama, navikama i željama stanovnika, smanjilo negativne utjecaje na okoliš te maksimaliziralo broj zelenih površina. Pametnim planiranjem rasporeda djelatnosti, institucija i stanovanja unutar grada smanjuje se vrijeme transporta, potrošnja goriva te zagađenje zraka uslijed dnevnih putovanja na posao i s posla (planiranje takozvanog „15 minutnog grada“).

Pametna ekonomija

Ekonomiju u Pametnom gradu pokreću inovacije i visoka tehnologija. Ona ima podršku znanosti i sveučilišta koja se bave najsuvremenijim istraživanjima usmjerenima ne samo za znanost, industriju i poslovanje, već i na zaštitu kulturne baštine, arhitekturu, planiranje, razvoj i slično. (T.M.Vinod Kumar, Bharat Dahiya, 2017)

Pametna uprava

Uprava je u Pametnom gradu lako dostupna njegovim stanovnicima, učinkovita je i otvorena u svome djelovanju, a građani su uz pomoć informacijske i komunikacijske tehnologije dobro informirani i uključeni u odlučivanje.

Pametni ljudi

Pametna grad ima veliki broj obrazovnih ustanova na svim nivoima obrazovanja. Obrazovanje, dodatna usavršavanja i cjeloživotno obrazovanje je široko dostupno. Pametna grad ima komparativne prednosti kojima može privući visokospecijalizirane stručnjake za život i rad u njemu. Široke mogućnosti zapošljavanja omogućavaju dobar standard svim stanovnicima.

ZELENI GRAD I NJEGOVE KARAKTERISTIKE

Zeleni grad ili kako ga se još naziva: „održivim gradom“ je grad u kojem je pri njegovu planiranju i izgradnji dana prednost zelenim površinama, a u cilju očuvanja zdravlja ljudi, čistog okoliša te sveobuhvatne dobrobiti njegovih stanovnika. Kako bi se smanjilo globalno zatopljenje potrebno je postići ugljičnu neutralnost. Ugljična neutralnost znači postizanje ravnoteže između emitiranja ugljika i apsorpcije ugljika iz atmosfere. Zemlje članice EU su se obvezale postići ugljičnu neutralnost do 2050. godine ², no neki Europski gradovi su odredili cilj to postići još u ovom desetljeću.

Ideja „Zelenog grada“ se temelji na rezultatima istraživanja o odnosu čovjeka i prirode koji su potvrdili pretpostavku da prisutnost elemenata prirode u čovjekovu svakodnevnom okruženju pozitivno utječe na njegovo fizičko i mentalno zdravlje. Kako bi se stanovnicima gusto izgrađenih gradova omogućilo ostvarenje potrebe za svakodnevnim kretanjem i provođenjem vremena na otvorenom nužno je u gradu planirati dovoljan broj zelenih površina. Zbog toga su na razini EU nastale inicijative koje potiču razvoj zelenih gradova pa se između ostalog i dodjeljuju nagrade gradovima koji su u tom cilju postigli napredak. Elementi zelenog grada su:

- zelenilo nastalo ljudskim djelovanjem: novouređeni parkovi, livade, igrališta, zeleni sustavi za efikasno sakupljanje kišnice i
- „divlje“ zelenilo koje je ostatak prirodnog okoliša poput šumaraka, močvara, pašnjaka ili polja koji se uređuju kako bi ih građani mogli koristiti za šetnje, vožnju bicikala, jogging, šetnju ljubimaca, urbano vrtlarenje iSlika ⁵

Ravnomjerno raspoređene i mnogobrojne zelene površine ujedno doprinose ublažavanju klimatskih promjena, odnosno ugljičnoj neutralnosti; predstavljaju upojne površine za prihvat intenzivnih padalina, pomažu u smanjivanju prekomjernih temperatura (tkz: toplinski otoci) te povećavaju bioraznolikost.

Osim navedenog, zeleni gradovi provode i druge mjere održivosti kao što su: razvijanje efikasnih sustava odvajanja otpada i njegova recikliranja, proizvodnja i korištenje energije iz pretežito ili u potpunosti obnovljivih izvora, sustavi štednje energije i vode.

Planiranje klimatski neutralnih i održivih gradova ugodnih za život, zajednički su ciljevi i Pametnim i Zelenim gradovima pa se većina gradova koji su u velikoj mjeri napredovali u postizanju cilja biti Pametnim, poput Copenhagena, Amsterdama, Osla, Toronta i drugih svrstavaju ujedno i u Zelene gradove.



Slika 18 Rješenja za neutraliziranje klimatskih promjena u gradovima (European Nurserystock Association, 2024)

Rješenja za neutraliziranje klimatskih promjena u gradovima su (Slika 18) (European Nurserystock Association, 2024):

- uzgoj urbanih šuma,
- povećanje broja zelenih površina i urbanih koridora,
- zeleni krovovi i zidovi,
- više vodenih površina za skladištenje vode.

PRIMJERI DOBRE PRAKSE

Barcelona

Barcelona, Španjolski grad sa 1,7 milijuna stanovnika se smatra jednim od najnaprednijih Pametnih gradova Europe. Drugi po veličini grad u Španjolskoj je odredio čak 22 cilja (Slika 19) prema načelima Pametnog

zelenog grada. Budući da je Barcelona i turistički grad sa bogatom kulturnom baštinom, osim osnovnih Pametnih elemenata uvode se i ona koja imaju za cilj učiniti je Pametnom turističkom destinacijom. Informacijska i komunikacijska tehnologija se upotrebljava u kontroliranju posjeta turista pojedinim objektima te se tako smanjuju gužve. Barcelona je također opremljena sensorima postavljenim na LED rasvjetnim stupovima koji nadziru promet, kvalitetu zraka, aktivnost pješaka i buku, a koji po potrebi mogu prigušiti ili isključiti svjetla javne rasvjete te tako pridonijeti uštedi energije. Osim toga razvijena je platforma za izravno sudjelovanje građana u donošenju odluka u vezi funkcioniranja grada. Primjerice, građani direktno putem aplikacija glasuju o namjeni sredstava iz gradskog proračuna. (Ferrer, 2024)

Barcelona Smart City's 22 programs

1	Telecommunications networks		12	Citizenship	
2	Urban Platform		13	Open Government	
3	Smart Data		14	Barcelona in the pocket	
4	Smart Light		15	Smart Garbage Collection	
5	Energy self-sufficiency		16	Smart Regulation	
6	Smart Water		17	Smart Innovation	
7	Smart Mobility		18	Health and Social Services	
8	Renaturation		19	Education	
9	Urban Transformation		20	Smart Tourist Destination	
10	Smart Furnishings		21	Infrastructure and Logistics	
11	Urban Resilience		22	Leisure and Culture	

Slika 19 Program Barcelone kao „Pametnog grada“ (Ferrer, 2024)

Helsinki

Finski Helsinki je postavio cilj da do 2035. postane ugljično neutralan i na putu je prema postizanju tog cilja. Još 2017. godine grad je uspio smanjiti emisije stakleničkih plinova za 27% u odnosu na 1990. godinu. Drugi cilj na kojem Helsinki radi je smanjenje emisija iz prometa za 69% u roku od tri desetljeća do 2035. godine, s mjerama poput prijelaza cjelokupnog voznog parka gradskih autobusa na električni pogon, širenja mreže podzemne željeznice i razvoj mreže za punjenje električnih automobila (Slika 20). Budući da grijanje čini više od polovice emisija stakleničkih plinova u Helsinkiju, grad je usredotočen na provedbu mjera energetske obnove zgrada. Time planira smanjiti emisije iz zgrada za 80%, kao i povećati broj kućanstava koja koriste obnovljive izvore energije. (Penttilä, 2024)

Osim toga, Helsinki u kojem se još uvijek za grijanje djelomično koristi ugljen postupno provodi prelazak na obnovljive izvore energije. Kako bi se ostvario taj cilj Helsinki gradi toplinsku elektranu koja će koristiti spaljivanje otpada za proizvodnju toplinske energije, potiče ugradnju toplinskih crpki, povećava korištenje energije vjetera i solarnu energiju u proizvodnji električne energije, koristiti skladišta električne energije i uvodi pametne sisteme upravljanja potrošnjom toplinske i električne energije.



Slika 20 „Pametna“ prometna rješenja u Helsinkiju (Penttilä, 2024)

Kopenhagen

Danski glavni grad Kopenhagen ide prema cilju postati prvim ugljično neutralnim gradom u svijetu do 2025. godine. Uvode se gradski autobusi na električni pogon te se uređuje vrlo velik broj biciklističkih staza. Stanovnici sve više prihvaćaju naviku korištenja bicikala pa samo 29% kućanstava posjeduje automobil. Nadalje, više od dvije trećine gradskih hotela ima ekološki certifikat i nudi bicikle za iznajmljivanje. Svaki hotel ima i menadžera za zaštitu okoliša. Četvrtina ukupne gradske prodaje hrane sastoji se od organskih proizvoda, a čak se i brza hrana poput pizze, hamburgera i craft piva proizvodi s organskim sastojcima. Spalionica otpada koja proizvodi toplinsku i električnu energiju, Copenhill, (izgrađen 2011. godine) projektirana je tako da na svome krovu ima jednu od najdužih umjetnih staza za skijanje i snowboarding te je postala jedno od važniji znamenitosti i turističkih atrakcija grada (Top 5 Most Sustainable Cities in the World, 2024) (Slika 12).



Slika 21 CopenHill u Copenhagenu je spalionica otpada koja je ujedno toplinska elektrana ali i služi za rekreaciju, odnosno skijanje na travi (CopenHill, 2024)

ZAKLJUČAK

S obzirom na njegov geografski položaj i teritorijanu pripadnost svaki grad ima jedinstvene značajke pa time i izazove sa kojima se susreće. Europski gradovi imaju uravnoteženiji razvoj no gradovi u nerazvijenijim dijelovima svijeta no i ovdje postoji potreba za poboljšanjem funkcioniranja gradskih funkcija, osobito prometnih te energetske sustava. Mnogi Europski gradovi su se već približili ciljevima biti ugljično neutralnim te time značajno doprinose smanjenju globalnog zatopljanja. Hrvatski gradovi se susreću sa specifičnim vrstama problema; pojavom depopulacije, ali i priljeva strane radne snage kojoj treba pripremiti kvalitetne uvjete života. Europa pa tako i Hrvatska počinju osjećati posljedice klimatskih promjena. Bez obzira na svoje specifičnosti svi gradovi trebaju poduzeti mjere kako bi umanjili učinke tih promjena: pridonijeti postizanju ugljične neutralnosti, očuvanju biološke raznolikosti, osiguravanju čistijeg i zdravijeg okoliša kao i pružanje boljih društvenih i gospodarskih mogućnosti svojim stanovnicima. U tome im suvremene tehnologije uvelike mogu pomoći.

Pitanja za ponavljanje:

1. Nabroji elemente Pametnog grada?
2. Koje su karakteristike Zelenog grada?
3. Što obuhvaća pojam Pametan transport, a što Pametan okoliš?
4. Nabroji pozitivne utjecaje zelenila u gradovima.

Istraži...

- Pronađi na internetu i analiziraj tri primjera Pametnih gradova i pametnih rješenja kojima su ti gradovi unaprijedili funkcioniranje nekih od gradskih funkcija.

- Pronađi na internetu i analiziraj tri primjera Zelenih ili održivih gradova. Koji su elementi održivosti uvedeni u te gradove?
- Prouči Sliku 20 te navedi koja su to Pametna prometna rješenja koja Helsinki koristi i što misliš mogu li se uvesti u gradu u kojem živiš?
- Razmisli i opiši koje od mjera Pametnog grada i Zelenog grada si primijetio da se primjenjuju u gradu u kojem živiš?

RADNA VERZIJA

4 GOSPODARENJE OTPADOM

Autorica:

Tihana Matota, dipl.ing.arh., univ. spec. oecoing.

Ishodi učenja:

1. razumjeti pojam gospodarenja otpadom
2. objasniti pojam hijerarhije gospodarenja otpadom
3. objasniti postupke gospodarenja otpadom
4. objasniti pojmove energetske i mehaničke oporabe otpada
5. uvidjeti negativnosti zbrinjavanja otpada na odlagalištima
6. objasniti pojam Centra za gospodarenje otpadom

UVOD

Gospodarenje otpadom predstavlja djelatnosti sakupljanja, prijevoza, razvrstavanja, oporabe i zbrinjavanja otpada, te nadzor nad obavljanjem tih djelatnosti i nadzor nad lokacijama za zbrinjavanje otpada.

Građevni otpad je otpad nastao prilikom gradnje, rekonstrukcije, uklanjanja i održavanja postojećih građevina, te otpad nastao od iskopanog materijala pri pripremi terena za gradnju (Narodne novine, 2021) (Slika 3). Ovisno o vrsti građevinskog objekta, lokaciji te vrsti radova, građevinski otpad se može sastojati od vrlo različitih vrsta materijala te je u pravilu heterogen.

Zbrinjavanje otpada se u Europskoj Uniji smatra jednim od prioriteta u cilju smanjenja onečišćenja okoliša te očuvanja zdravlja ljudi, biljnog i životinjskog svijeta. Otpad s druge strane nije samo problem već može predstavljati i vrijednu sirovinu za ponovnu upotrebu, recikliranje ili proizvodnju energije. Neke Europske zemlje su već postigle visoku razinu ekološkog zbrinjavanja otpada. U Republici Hrvatskoj, se još uvijek velik dio otpada odlaže na odlagalištima što predstavlja najmanje prihvatljiv način zbrinjavanja. Iskustva zemalja koje imaju razvijene sustave zbrinjavanja

otpada pokazuju nam da zbrinjavanje otpada ne mora nužno imati negativan utjecaj na okoliš, zdravlje ljudi i ekonomiju već da otpad uz primjenu suvremenih znanja i tehnologija može biti i ekonomski iskoristiv i ekološki prihvatljiv.



Slika 3 Nerazvrstani građevni otpad na gradilištu (EKOS za gospodarenje otpadom, 2024)

VRSTE OTPADA

Otpad s obzirom na njegova svojstva možemo podijeliti na (European Union, 2006):

- **Opasni otpad** – otpad koji posjeduje jedno ili više opasnih svojstava, odnosno sadrži opasne tvari koje su npr. zapaljive, oksidirajuće, eksplozivne, nadražujuće, toksične (npr. azbest, katran).
- **Neopasni otpad** – otpad koji ne sadrži opasne tvari no u dodiru sa drugim materijalima može doći do određenih štetnih procesa (npr. drvo, gips)
- **Inertni otpad** - otpad koji ne podliježe značajnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama, nije topiv, nije zapaljiv, ne reagira na bilo koje druge načine fizikalno ili kemijski niti je biorazgradiv (npr. opeka, beton)

HIJERARHIJA GOSPODARENJA OTPADOM

Gospodarenje otpadom je skup aktivnosti kojima se zbrinjava otpad, a obuhvaća: odvojeno sakupljanje, smanjenje količine otpada i/ili njegovog štetnog utjecaja na okoliš, uporabu i/ili zbrinjavanje otpada (European Union, 2006). Ono obuhvaća i djelatnosti vezane uz trgovinu otpadom, održavanje lokacija odlagališta i procjenjivanje utjecaja na okoliš. Posljedice neprimjerenog postupanja otpadom su zagađenje okoliša i prirode te ugroza zdravlja ljudi.

Kako do toga ne bi došlo koriste se slijedeći postupci gospodarenja otpadom: sprečavanje nastanka otpada, ponovno korištenje, recikliranje otpada, druge vrste obrade otpada te odlaganje otpada na odlagališta. (European Union, 2006)

Na Slika 4 su navedeni postupci prikazani u hijerarhijskom odnosu počevši od najprihvatljivijeg na vrhu do najnepoželjnijeg na dnu.



Slika 4 Hijerarhija gospodarenja otpadom (European Union, 2006)

Sprečavanje nastanka otpada

Kružno gospodarstvo je model proizvodnje i potrošnje dobara koji ima za cilj produljenje životnog vijeka proizvoda te samim time smanjenje količine proizvedenog otpada, odnosno sprečavanje njegova nastanka. Sprečavanje nastanka otpada su mjere poduzete prije nego je tvar,

materijal ili proizvod postao otpad. U odnosu na postupke koji su niži u hijerarhiji, ovaj postupak ima najpovoljniji utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi. Sprečavanje nastanka otpada se može postići, primjerice (European Union, 2006):

- davanjem prioriteta rekonstrukciji postojećih zgrada u odnosu na rušenje i izgradnju novih,
- projektiranjem zgrada koje će se prema potrebi moći adaptirati, nadograditi i prilagoditi novim namjenama,
- pri projektiranju planirati racionalnu potrošnju materijala uz minimiziranje ostataka materijala,
- odabirom proizvoda koji se mogu bez oštećenja demontirati i ponovno iskoristiti,
- pri odabiru materijala dati prednost onima koji imaju bolje mogućnosti recikliranja i manje su opasni po okoliš

Ponovno korištenje

Neke vrste građevinskog otpada se nakon rušenja i demontaže objekata bez prerade mogu ponovno upotrijebiti u istu ili drugačiju svrhu. Preduvjeti ponovne upotrebe elemenata i materijala su, između ostalog, zadržana svojstva materijala, čistoća bez dodataka drugih materijala te cjelovitost elemenata. Kako bi se tijekom rušenja sačuvalo što više neoštećenog materijala i elemenata te time povećala mogućnost ponovne upotrebe potrebno je provoditi selektivno (plansko) rušenje.

Radnje koje prethode ponovnoj ugradnji već korištenih građevinskih materijala i elemenata su njihov pregled, čišćenje, prema potrebi popravak i djelomična zamijena elemenata. Ukoliko je primjenjiva, ponovna upotreba je po okoliš i ljudsko zdravlje vrlo prihvatljiva jer u odnosu na druge metode koje su prema hijerarhiji ispod nje iziskuje manju potrošnju energije, novca te štedi prirodne resurse. Najčešće se ponovno upotrebljavaju kamen, opekarski proizvodi (Slika 5) te drvo.



Slika 5 Opeka koja je nakon rušenja zida ponovno upotrebljena za popoločenje dvorišta (Araujo, 2024)

Recikliranje

Recikliranjem se otpadni materijali prerađuju u materijale ili proizvode koji će se upotrijebiti za istu ili drugu namjenu.

Recikliranje građevinskog otpada je zbog njegova heterogenog sastava kompliciraniji postupak od recikliranja otpada kućanstava. Preduvjet uspješnog recikliranja su čisti izdvojeni materijali bez drugih dodataka (boja, lakova, veziva i Slika). Da bi se to postiglo potrebno je provoditi efikasne postupke odvajanja otpada prema njegovoj vrsti i svojstvima kako bi se olakšala obrada i sačuvala vrijedna svojstva materijala. Temeljito odvajanje otpada treba izvršiti već na samom gradilištu, a zatim se građevinski otpad dalje sortira u reciklažnom postrojenju. Postupci koji se tamo provode su slijedeći:

- odvajanje sitnog otpada rešetkom,
- drobljenje ostatka drobilicom u sitnije dijelove,
- odvojanje čeličnih dijelova pomoću magneta,
- odvajanje frakcija (različitih veličina materijala) na vibracijskom situ.

Suvremeni automatizirani sustavi za odvajanje otpada koriste senzore koji precizno i brzo detektiraju vrstu materijala. Postoje dvije osnovne verzije takvih uređaja:

- 1) **NIR (infacrveni senzori)** – prepoznaju materijale prema njihovu kemijskom sastavu pa se njime može izdvojiti primjerice kamen, drvo, papir ili polimerni otpad.
- 2) **VIS – spektrometrija** – senzori prepoznaju različite boje pa se otpad odvaja prema boji (crvena opeka, sivi kamen).

Danas se osim navedenog za razvrstavanje otpada koriste robotizirane tehnologije i umjetna inteligencija.

Druge vrste obrade otpada

U druge vrste obrade spada niz postupaka kojima otpad koji nije moguće ponovno upotrijebiti prerađujemo kako bi proizveli sirovine ili energiju. Navedeni postupci se još nazivaju i oporabom otpada. Oporaba otpada s obzirom na tehnologiju koja se primjenjuje može biti: materijalna, mehanička, toplinska, kemijska, energetska te biorazgradnja. Na građevinski otpad se u najvećoj mjeri primjenjuje materijalna, mehanička i energetska oporaba.



Slika 6 Reciklirani granulirani agregat (Europska komisija, 2016)

Materijalna oporaba je korištenje građevnog otpada za nasipavanje i zemljane radove.

Mehanička oporaba je prerada kod koje se ne mijenja kemijski sastav otpada već se on usitnjava, drobi, melje, prosijava te tako dobivamo agregat (Slika 6, Slika 7) i sirovinu za recikliranje.



Slika 7 Drobilica betona na gradilištu (AXYO EQUIPEMENTS DE RECYCLAGE, 2017)

Energetska oporaba je postupak termičke obraade otpada u svrhu dobivanja energije. U nekim Europskim zemljama (Njemačka, Nizozemska, Danska, Švedska i Austrija) primjena termičke obrade otpada ima dugu tradiciju i veliku primjenu dok kod ostalih nije u tolikoj mjeri prihvaćena. Navedena situacija dovodi do toga da se velikim količinama otpada danas trguje između zemalja koje nemaju adekvatno organiziran sustav zbrinjavanja otpada i zemalja koje imaju izgrađen dovoljan broj postrojenja za termičku obradu. Spaljivati se može otpad koji je razvrstan, utvrđenog sastava te se u pravilu spaljuje neopasni otpad.

Spalionice otpada sa starijim tehnologijama su ispuštale u atmosferu veće količine štetnih spojeva (*dioxini* i *furani*) te se nisu koristile u svrhu energetske oporabe. Današnje moderne tehnologije omogućavaju znatno smanjenje emisije štetnih plinova iz spalionica te se one ujedno koriste za proizvodnju energije (eng. **waste-to-energy**).

Suvremene spalionice otpada se najčešće projektiraju kao **kogeneracijska** postrojenja, što znači da se u njima istovremeno proizvodi toplinska i električna energija (Slika 8).



Slika 8 Spalionica otpada u Renovi u Švedskoj kao gorivo koristi biodizel dobiven iz uljane repice (Industry Global New 24, 2024)

Osim što se u njima spaljuje kruti otpad, u spalionicama se spaljuje i mulj koji ostaje nakon postupka pročišćavanja otpadnih voda. Ukoliko pepeo koji nastaje kao produkt spaljivanja ima karakteristike opasnog otpada, potrebno ga je zbrinuti na način koji po okoliš nije štetan. Moderne spalionice koje imaju vrlo efikasne načine odvajanja štetnih sastojaka iz otpada prije spaljivanja, proizvode pepeo koji je dovoljno čist da ga je moguće upotrijebiti kao sirovinu u proizvodnji betona ili cestogradnji.

Odlaganje otpada

Odlaganje otpada je najmanje prihvatljiva mjera zbrinjavanja otpada te se primjenjuje za onaj otpad za koji se niti jedna od prethodnih mjera nije mogla primijeniti. Na odlagalištima bi trebao završiti najmanji udio od ukupno nastalog otpada. Prije odlaganja otpada na odlagalište potrebno je odrediti kategoriju otpada uz pomoć postupaka uzimanja uzoraka i ispitivanja svojstava otpada, kako bi se spriječile neželjene kemijske reakcije između odloženog otpada.

Odlagališta otpada se dijele u 3 kategorije:

- 1. odlagalište za opasni otpad**
- 2. odlagalište za neopasni otpad i**
- 3. odlagalište za inertni otpad.**

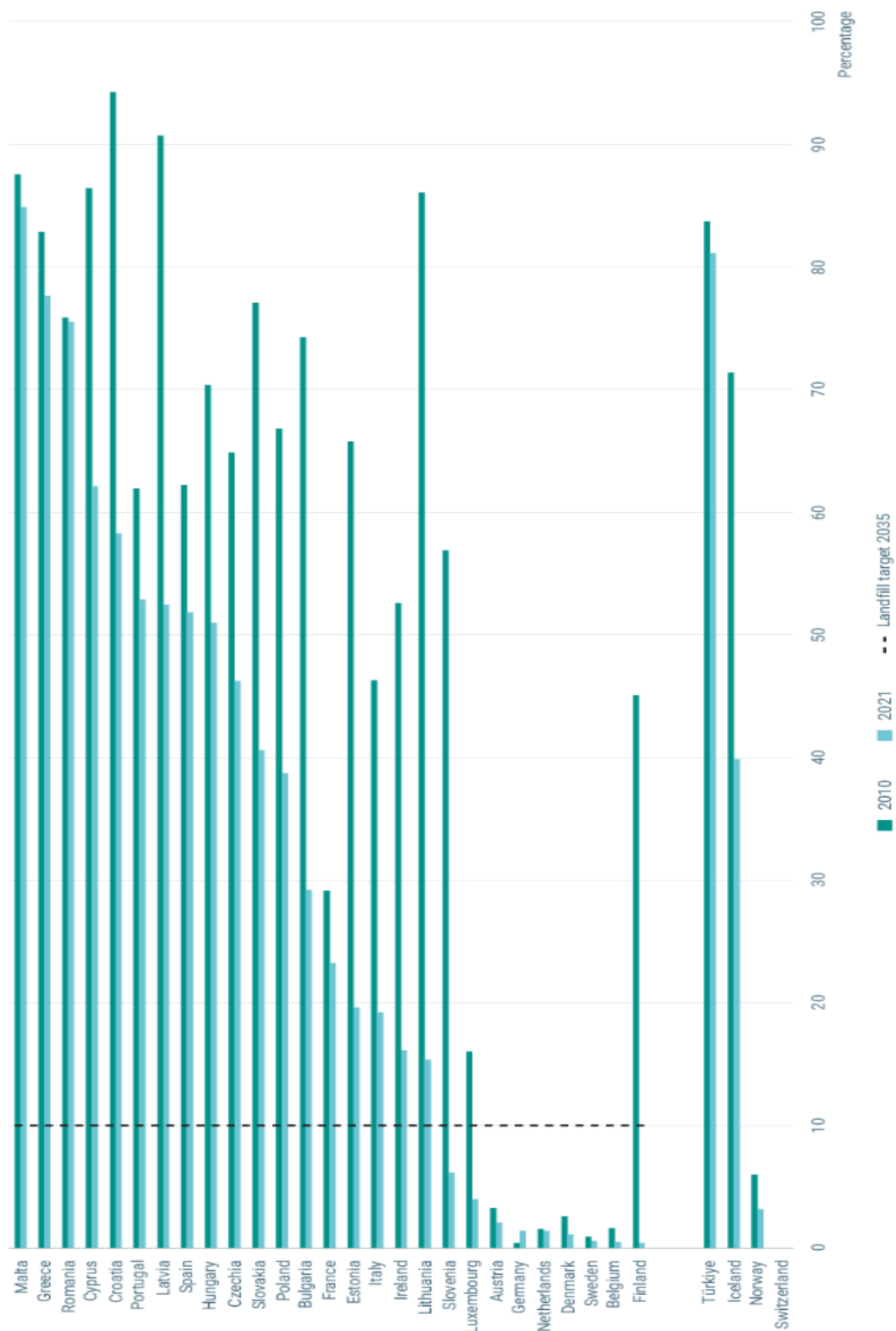
Budući da je građevni otpad heterogen te djelomično sadrži i neopasni i inertni i opasni otpad, svaki od te vrste otpada je potrebno razdvojiti i

odložiti na vrstu odlagališta primjerenu upravo toj vrsti otpada. Iako se na odlagalištima otpada danas primjenjuju mjera zaštite okoliša ona su i nadalje veliki onečišćivači. Zbog toga sve Europske zemlje idu ka cilju smanjenja odnosno potpunog prekida sa praksom odlaganja otpada na odlagalištima (eng. **zero waste**). Slika 9 prikazuje vidljiv udio otpada u ukupnom otpadu koji je pojedina od Europskih zemalja odlagala na odlagalištima 2010. i 2021. godine. Iz navedenog se vidi da je Hrvatska 2010. godine na odlagališta odlagala preko 90% otpada, što je bilo najviše u odnosu na ostale zemlje. Do 2021. godine se je situacija popravila te je tada taj udio bio nešto manji od 60%. Zemlje koje su 2021. godine najmanje otpada odlagale na odlagališta su Njemačka, Švedska, Belgija i Finska sa manje od 3%. Švedska je primjer zemlje koja 99% otpada pononovno upotrebljava: 47% otpada se reciklira dok se 52% energetsom oporabom pretvara u energiju.

TOK OTPADA

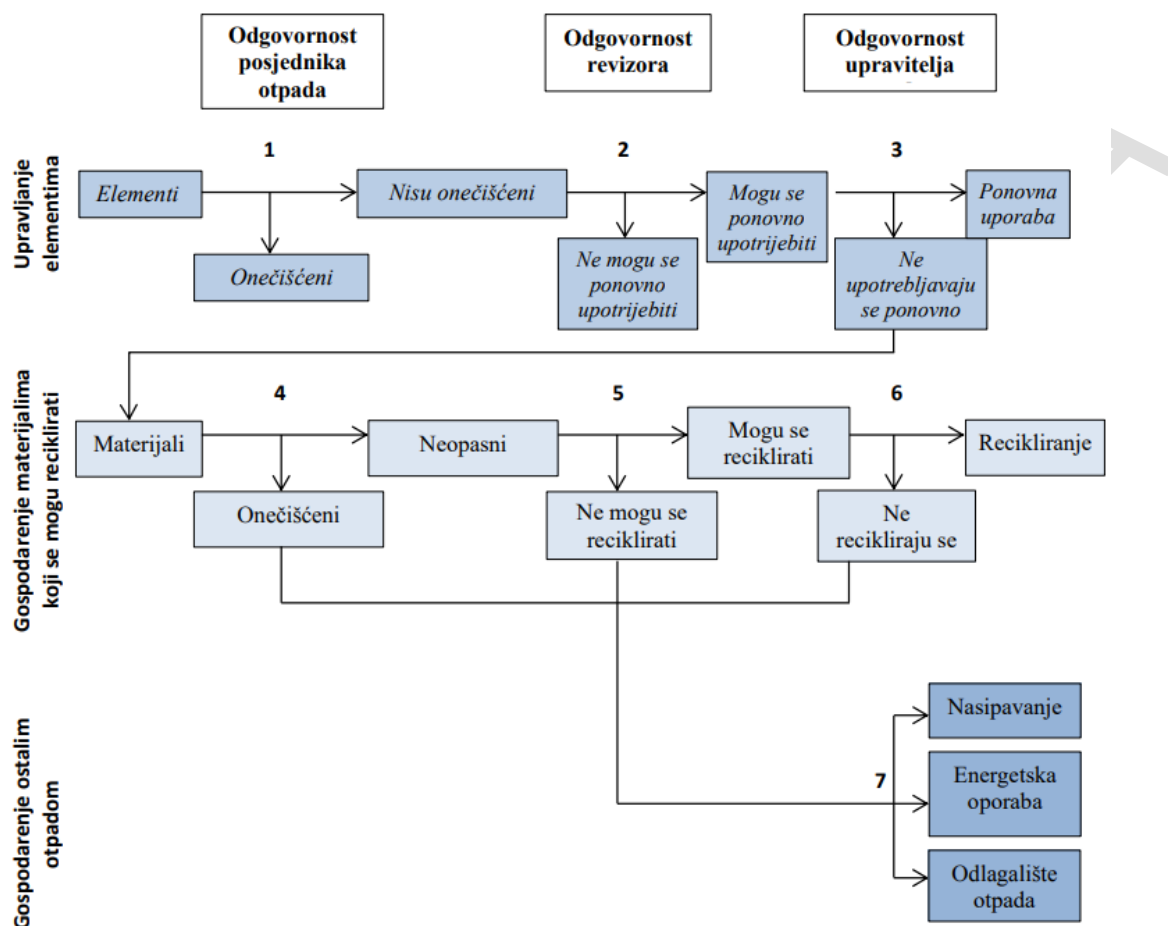
Gospodarenje otpadom se temelji na sljedećim načelima:

- a) „**načelo onečišćivač plaća**“ – proizvođač otpada odnosno vlasnik otpada snosi troškove gospodarenja otpadom
- b) „**načelo blizine**“ – obrada otpada mora se obavljati u najbližoj odgovarajućoj građevini ili uređaju u odnosu na mjesto nastanka otpada,
- c) „**načelo samodostatnosti**“ – gospodarenje otpadom bi se trebalo provoditi u zemlji nastanka, odnosno ta zemlja bi ga trebala zbrinuti na okolišno prihvatljiv način,
- d) „**načelo sljedivosti**“ – predstavlja utvrđivanje porijekla otpada uključujući sastav proizvoda, ambalaže i proizvođača tog proizvoda.



Slika 9 Udio otpada odloženog na odlagališta otpada u Europskim zemljama, 2010. i 2021.

Na Slika 10 je prikazano provođenje hijerarhije gospodarenja otpadom u obliku 7 koraka koji posljedično slijede jedan iza drugoga. Navedeno se naziva tokom građevinskog otpada, a on jasno pokazuje slijed, postupke i odgovornosti sudionika u svakoj njegovoj fazi.



Slika 10 Tok građevinskog otpada (Europska komisija, 2016)

GOSPODARENJE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ

Hrvatska je ulaskom u EU preuzela obvezu zbrinjavanja otpada sukladno EU Direktivi o otpadu. S obzirom na to donesen je zakonodavni okvir prema kojem se gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj treba organizirati izgradnjom mreže regionalnih Centara za gospodarenje otpadom. Međutim, iako je na području države planirano 11 Centara do sada su stavljeni u funkciju samo njih 2: Marišćina u Primorsko–goranskoj i Kaštijun u Istarskoj županiji.

Centri za gospodarenje otpadom su postrojenja za obradu otpada gdje se količina neiskoristivog otpada koji ostaje na kraju procesa svodi na minimum inertnog otpada pogodnog za odlaganje. Obično se sastoje od postrojenja za mehaničko-biološku obradu otpada, postrojenja za obradu otpadnih voda, unutarnje infrastrukture, druge opreme te odlagališta za otpad. Osim Centra za gospodarenje otpadom u sustavu gospodarenja otpadom su i sljedeće građevine:

- **Reciklažna dvorišta** - nadzirani ograđeni prostori namijenjeni odvojenom prikupljanju i privremenom skladištenju manjih količina opasnog komunalnog otpada, reciklabilnog komunalnog otpada i drugih vrsta otpada,
- **Reciklažna dvorišta za građevinski otpad** - građevina namijenjena razvrstavanju, mehaničkoj obradi i privremenom skladištenju građevnog otpada.
- **Pretovarne stanice** – nalaze se na izdvojenim lokacijama, a služe za prihvata i pretovar otpada u svrhu ekonomičnog transporta do Centra za gospodarenje otpadom.

U Centru za gospodarenje otpadom se obavljaju sljedeći postupci:

1. prihvata sortiranog i nesortiranog otpada,
2. mehaničko-biološka obrada,
3. odlaganje ostatnog dijela sa što manjim udjelom organske tvari,
4. smanjenje količine odloženog otpada na manje od 35 % ulazne mase,
5. obrada tekućih i plinovitih ostataka.



Slika 11 Centar za gospodarenje otpadom Kaštijan (Europska komisija, 2016)

S obzirom da navedeni cjeloviti sustav gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj još nije uveden, najveći dio otpada se odlaže na 88 službenih odlagališta. Problem je postao veći nakon serija potresa na Banovini, Zagrebu i okolici kada je u kratkom vremenu nastala velika količina građevinskog otpada. Pritisci na okoliš zbog nastanka građevinskog otpada postoje i u priobalnom području gdje je izgradnja vrlo intenzivna, a time i količina građevinskog otpada koji nastaje velika. U 2022. godini ukupna količina odloženog otpada (svih vrsta) porasla je za 8 % u odnosu na prethodnu godinu, ista je iznosila 1.717.898 tona što je 56 % od ukupno nastalog otpada. Navedeni podaci ukazuju na porast količina odloženog otpada u posljednje tri godine iako je Hrvatska, kao i sve članice EU preuzela obvezu do 2035. godine smanjiti odlaganje komunalnog otpada na 10%. Iako se broj ilegalni odlagališta otpada u posljednjih 20 godina značajno smanjio, u Hrvatskoj ona još uvijek postoje kao i praksa odlaganja otpada u okoliš.



Slika 12 Nerazvrstan građevinski otpad odložen u okoliš (Europska komisija, 2018)

ZAKLJUČAK

Cilj gospodarenja otpadom je što više smanjiti količine otpada koje se deponiraju na odlagalištima, a povećati njegovu ponovnu upotrebu. Da bi se to postiglo nužno se voditi **načelima kružnog gospodarenja otpadom**. Građevinski otpad je po svome sastavu pretežito inertan i neopasan otpad te je većinu materijala koji ostaje nakon građevinskih aktivnosti moguće ponovno upotrijebiti, reciklirati ili oporabiti. Osim toga, ukoliko se građevinski otpad koristi kao sirovina, posljedično će se manje sirovina uzimati iz okoliša te time smanjiti pritisak na prirodne sustave.

No postoje i neke zapreke koje mogu otežati provedbu kružnoga gospodarenja građevinskim otpadom kao što su dostupnost i niska cijena prirodnih agregata koji mogu smanjiti potražnju za skupljim recikliranim materijalima, nedovoljno odvajanje otpada na mjestu njegova nastanka te nužnost selektivnoga rušenja koje je skuplje. Također je kod investitora, projektanata i izvođača još uvijek, u određenoj mjeri, prisutan nedostatak povjerenja u kvalitetu recikliranih materijala. Postoje rješenja koja bi se mogla primijeniti u rješavanju tih pitanja. To bi na primjer mogle biti mjere određivanja obaveznog postotka recikliranoga udjela u građevnome materijalu, uvjetovanje izdavanja građevinske dozvole ispunjavanjem propisane razine ekološkog otiska zgrade, snažniji mehanizmi sprečavanja

nezakonitog odlaganja građevinskog otpada. Kvalitetu recikliranog materijala mogu garantirati propisani postupci kontrole i certificiranja.

Osim što je cilj Europske unije pa tako i Republike Hrvatske što više otpada obraditi i ponovno upotrijebiti, potrebno je unaprijediti i načine obrade otpada. Nisko tehnološke postupke proizvodnje reciklata niže vrijednosti (engl. **downcycling**) poput agregata za izgradnju cesta i za nasipavanje koji se danas najčešće koriste trebali bi zamijeniti postupci recikliranja i korištenja dobivenih sirovina za, na primjer, proizvodnju visoko kvalitetnih i odzivih građevinskih materijala i proizvoda (engl. **upcycling**). Takvi postupci, osim što su pozitivni sa stajališta zaštite okoliša, daju i dodanu vrijednost u ekonomskom smislu.

Kako bi se smanjile količine otpada koje se odlažu na odlagališta i u okoliš osim gore navedenog potrebno je i povećati opću osvještenost o štetnosti takvog postupanja, poticati razdvajanje otpada te razviti infrastrukturu za recikliranje otpada.

Pitanja za ponavljanje

1. Objasni pojam i nacrtaj shemu hijerarhije gospodarenja otpadom.
2. Objasni pojam sprečavanja nastanka otpada.
3. Što je to ponovno korištenje, a što recikliranje?
4. Objasni pojam mehaničke oporabe.
5. Objasni tok građevnog otpada te navedi najmanje povoljan način zbrinjavanja otpada.
6. Objasni pojmove: zero waste i waste-to-energy.
7. Što je to centar za gospodarenje otpadom i od kojih građevina se sastoji?

Istraži...

- Pronađi na internetu dokument: „Protokol EU-a za gospodarenje građevinskim otpadom i otpadom od rušenja“, European Commission,

2016, te analiziraj jedan od primjera dobre prakse koji su navedeni u tom dokumentu.

- Istraži mogućnost i pronađi primjere ponovnog korištenja kamena u graditeljstvu.
- Švedska je zemlja koja samo 1 % otpada deponira na odlagališta. Istraži na koji način ta zemlja gospodari otpadom.
- Prouči dijagram sa Slika 3. te odredi koliko je smanjenje u količini odloženog otpada na odlagalištima postigla pojedina od navedenih zemalja u razdoblju 2010–2021g. Poredaj zemlje od one koja je postigla najveći napredak do one koja je najmanje napredovala.

RADNA VERZIJA

5 GOSPODARENJE GRAĐEVNIM OTPADOM

Autorica:

Ksenija Kralj, dipl.ing.građ.

Ishodi učenja:

1. definirati građevni otpad
2. nabrojati vrste građevnog otpada
3. opisati postupak zbrinjavanja otpada
4. razlikovati kategorije građevnog otpada
5. koristiti se zakonskom regulativom
6. analizirati mogućnosti uporabe građevnog otpada

UVOD

Graditeljstvo kao djelatnost je veliki potrošač materijala i sirovina, ali i jedan od najvećih generatora otpada. Procjenjuje se da oko trećine ukupnog otpada koji nastaje u Europskoj Uniji čini otpad koji nastaje u graditeljstvu te ta djelatnost uzrokuje značajne emisije stakleničkih plinova. (Europska komisija, 2016).

U Republici Hrvatskoj oko 24 % ukupnog otpada čini građevni otpad. Sukladno zakonskoj regulativi potrebno je provoditi mjere gospodarenja otpadom čija je svrha smanjiti otpad koji će se trajno deponirati. Veliku količinu građevnog otpada moguće je reciklirati i oporabiti. UN-ov cilj održivog razvoja predviđa smanjenje otpada na 50% do 2030. godine, a sve se više teži i postizanju cilja nultog otpada. Stoga je važno znati koje komponente građevnog otpada je moguće oporabiti i reciklirati i na koji način.

ŠTO JE GRAĐEVNI OTPAD?

Pravilnikom o gospodarenju građevnim otpadom (NN 38/2008), građevni otpad je definiran kao otpad nastao prilikom gradnje građevina, rekonstrukcije, uklanjanja i održavanja postojećih građevina, te otpad nastao od iskopanog materijala, koji se ne može bez prethodne uporabe koristiti za građenje građevine zbog čijeg građenja je nastao.

Pravilnikom je, dakle, jasno definirano koje vrste otpada se smatraju građevnim otpadom.



Slika 13 Vrste građevnog otpada (Property Guru, 2024)

VRSTE GRAĐEVNOG OTPADA

Građevni otpad može se podijeliti na:

- tlo, kamenje i vegetaciju koji se uklanjaju prilikom pripreme terena na kojem će se graditi,
- otpad koji nastaje na gradilištu kao posljedica izgradnje novih objekata,
- otpad koji nastaje od potpunog ili djelomičnog rušenja objekta,
- otpad nastao kod izgradnje i održavanja prometnica.

Građevni otpad koji nastaje prilikom iskopa i zemljanih radova se sastoji od zemlje, pijeska, šljunka, i kamena. U radovima niskogradnje građevni otpad predstavljaju bitumen (asfalt), cementom vezani materijal, pijesak, šljunak i drobljeni kamen. Pri gradnji objekata visokogradnje velik dio otpada predstavlja ambalažni materijal, odnosno karton, polimerni otpad, drvo, metal te ostaci upotrebljenog materijala za gradnju. Nakon rušenja ili rekonstrukcije objekata visokogradnje u najvećoj mjeri ostaje otpadni građevinski materijal: beton, opeka, staklo, gips, kamen, PVC, drvo te metali. Iako se glavnina otpada može okarakterizirati kao inertni otpad, građevinski otpad može sadržavati i opasne tvari. Jedan od materijala koji je zbog svoje toksičnosti i kancerogenosti opasan za čovjekovo zdravlje je azbest. Azbest se često susreće u sastavu građevinskog otpada od rušenja budući je imao raširenu upotrebu u građevinarstvu 20. stoljeća (pokrov). Pri rukovanju, skladištenju te prijevozu tog materijala je potrebno poduzeti posebne zaštitne mjere kako nebi došlo do rasipanja čestica azbesta.

GOSPODARENJE GRAĐEVNIM OTPADOM

Sav nastali građevni otpad potrebno je obraditi. Obrada počinje na gradilištima, gdje se otpad sortira. Tako se može razdvojiti građevinski čelik, beton, drvo, lim, plastika, stara opeka, staklo, gips-kartonske ploče i

slično. Otpad nastao na gradilištu moguće je oporabiti i reciklirati. Oporabom se otpad koristi kao sirovina za nove materijale ili kao energent. Recikliranje, kao dio oporabe, predstavlja ponovnu upotrebu materijala da bi se dobila sirovina ali ne i energent. Prilikom rušenja starih građevina otpadni betonski materijal može se reciklirati na način da se samelje i ponovno koristi kao agregat ili materijal za nasipavanje. Gips-kartonske ploče mogu se reciklirati i u sklopu prerade postati sirovina za izradu novih gips-kartonskih ploča. Reciklirana opeka može se koristiti za proizvodnju agregata za beton.

Svaki proizvod nastao oporabom otpadnog građevinskog materijala, jednako kao i bilo koji drugi proizvod ugrađen u građevinu, sukladno zakonskoj regulativi, mora posjedovati Izjavu o svojstvima.

Građevni otpad koji nije moguće oporabiti za novu sirovinu ili energiju potrebno je zbrinuti. Zbrinjavanje građevnog otpada podrazumijeva njegovo odlaganje na za to predviđenim odlagalištima. Odlaganje otpada može biti na površini ili podzemno.

Proces razvrstavanja, oporabe i odlaganja (zbrinjavanja) građevnog otpada naziva se GOSPODARENJE GRAĐEVNIM OTPADOM.



Slika 14 Prikaz procesa gospodarenja otpadom

U Zakonu o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19) definirano je sedam temeljnih zahtjeva za građevinu, na osnovu kojih mora biti projektirana i izvedena svaka građevina.

Temeljni zahtjev Održiva uporaba prirodnih izvora, definira da građevine moraju biti projektirane, izgrađene i uklonjene tako da je uporaba prirodnih izvora održiva, a posebno moraju zajamčiti sljedeće:

1. ponovnu uporabu ili mogućnost reciklaže građevine, njezinih materijala i dijelova nakon uklanjanja
2. trajnost građevine
3. uporabu okolišu prihvatljivih sirovina i sekundarnih materijala u građevinama

Dakle, zakonom su jasno definirane osnove gospodarenja građevnim otpadom, koje se temelje na ponovnoj uporabi i recikliranju građevnog otpada.

Oporaba građevnog otpada u ekološkom pogledu ima nekoliko koristi:

- Smanjuje se količina trajno deponiranog otpada
- Smanjuje se potreba za upotrebom neobnovljivih izvora (npr. kamen i glina)
- Smanjuje se emisija CO₂ u okoliš što je čest problem pri proizvodnji nekih materijala kao npr. cementa

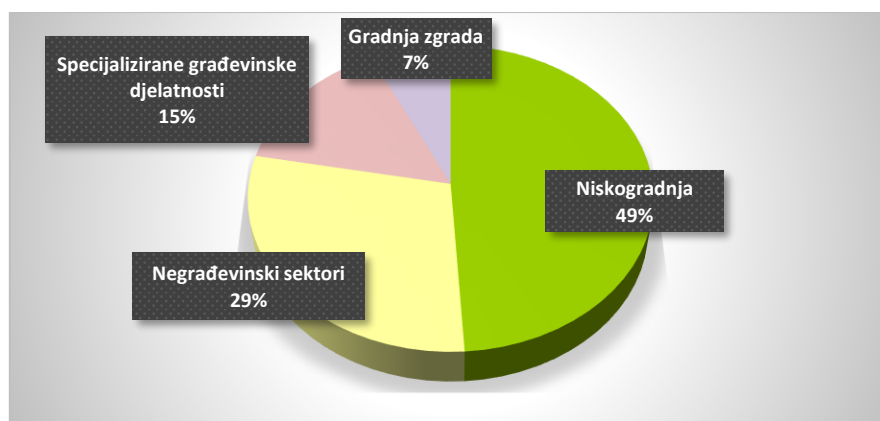
UDIO GRAĐEVNOG OTPADA U UKUPNOM OTPADU

U Europskoj uniji 37,5 % ukupnog otpada čini građevni otpad, dok je u Republici Hrvatskoj taj udio nešto manji i iznosi 23,8 %.

Tablica 1 *Obrađeni otpad u RH u 2022. g. prema vrsti otpada (Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, 2024)*

OBRAĐENI OTPAD U RH U 2022.	
Zemlja, kamen i otpad od jaružanja	50,3 %
Otpadni metali	19,0 %
Beton, cigla, crijep, pločice, keramika	11,5 %
Ostali građevni otpad i otpad od rušenja	9,6 %
Mješavine bitumena, ugljeni katran	8,1 %
Ostali otpad	1,5 %

Prema porijeklu, građevni otpad u najvećem udjelu potječe iz niskogradnje, a najmanje iz sektora zgradarstva. Potresi u Petrinji i Zagrebu 2020. godine utjecali su na povećanje građevnog otpada. Prema procjeni Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja iz 2020. godine, ukupna količina otpada od zagrebačkog potresa iznosi 50 000 t.



Slika 15 Izvješće o gospodarenju građevnim otpadom u 2020. godini, (Izvješće o gospodarenju građevnim otpadom u 2020. godini, 2021)

GRUPIRANJE I KATEGORIZACIJA OTPADA

Sav otpad u Republici Hrvatskoj je kategoriziran i grupiran u Katalogu otpada, sukladno Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23). Prema Pravilniku o gospodarenju otpadom (NN 106/22), građevni otpad nalazi se u grupi 17 koja je podijeljena u 9 podgrupa kako slijedi:

Tablica 2 Grupa građevnog otpada s podgrupama

17	GRAĐEVINSKI OTPAD I OTPAD OD RUŠENJA OBJEKATA (UKLJUČUJUĆI ISKOPANU ZEMLJU S ONEČIŠĆENIH LOKACIJA)
17 01	beton, cigle, crijep/pločice i keramika
17 02	drvo, staklo i plastika
17 03	mješavine bitumena, ugljeni katran i proizvodi koji sadrže katran
17 04	metali (uključujući njihove legure)

17 05	zemlja (uključujući iskopanu zemlju s onečišćenih lokacija), kamenje i otpad od jaružanja
17 06	izolacijski materijali i građevinski materijali koji sadrži azbest
17 08	građevinski materijal na bazi gipsa
17 09	ostali građevinski otpad i otpad od rušenja objekata

Svaka podgrupa dalje definira vrstu i svojstva otpada.

Inertni otpad je otpad koji ne reagira fizikalno, biološki ili kemijski tijekom vremena ili u kontaktu s drugim tvarima. Primjeri inertnog otpada su beton, opeka, kamen, pločice i dr. Inertni otpad se ne otapa, ne gori, ne zagađuje okoliš kemijskim reakcijama i ne utječe na zdravlje ljudi.

Opasni građevinski otpad predstavlja otpad koji može utjecati na zdravlje ljudi i onečišćenje okoliša. U takav otpad ubrajaju se onečišćeno tlo, jaružni mulj, materijali i tvari koje mogu sadržavati ljepila, brtvila i mastiks, katran, azbest, drvo obrađeno fungicidima i pesticidima, premazi od halogenih usporivača gorenja, rasvjetni elementi od žive, sustavi s CFC-ima (klorofluorouglicima), spremnici za opasne tvari, itd. (Europska komisija, 2016)

PRIMJERI OPORABE GRAĐEVINSKOG OTPADA

OPEKA	➔	agregat za proizvodnju betona materijal za nasipavanje
ASFALT	➔	agregat za proizvodnju betona materijal za nasipavanje
BETON	➔	agregat za proizvodnju betona materijal za nasipavanje
METALI	➔	metali
PLASTIKA stolarija)	➔	granule za proizvodnju plastike (PVC
DRVO	➔	drvene ploče
STAKLO	➔	staklo
GIPS – KARTONSKE PLOČE	➔	gips – kartonske ploče

REGULATIVA

- Zakon o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19)
- Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23)
- Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 106/2022)

Pitanja za ponavljanje

1. Koje vrste otpada se smatraju građevnim otpadom?
2. Što je uporaba?
3. Kakav je to inertni otpad?
4. U kojoj grupi u Katalogu otpada se nalazi građevni otpad?
5. Objasni što znači gospodarenje otpadom!
6. Koje su prednosti uporabe otpada?
7. Kako se može reciklirati opeka?
8. Objasnite 7 temeljni zahtjev za građevine Zakona o gradnji.

Istraži...

- Odaberi 5 vrsta građevnog otpada i pronađi na koji način ih je moguće reciklirati. Pronađi primjere u praksi.
- Što je Izjava o svojstvima?
- Recikliranje betona:
<https://www.youtube.com/watch?v=DjbLEqnWAIo>
- Reciklirana opeka:
<https://www.youtube.com/watch?v=giiTe6LzQDk>
- Recikliranje gips – kartonskih ploča:
https://www.youtube.com/watch?v=loHSbPYt_A4
- Prisjeti se pojmova: izgradnja, rekonstrukcija i adaptacija, te pronađi primjere u praksi.



6 UPOTREBA SEKUNDARNIH SIROVINA U GRAĐEVINARSTVU

Autorica:

Iva Illeš, dipl. ing. građ.

Ishodi učenja:

1. Razlikovati pojmove uporaba, ponovna uporaba, recikliranje i zbrinjavanje.
2. Imenovati osnovne materijale koji se mogu reciklirati iz područja građevinarstva.
3. Razlikovati reciklirane materijale i njihova svojstva.
4. Opisati postupak recikliranja pojedinih materijala.
5. Navesti ulogu recikliranja u graditeljstvu.
6. Navesti primjere upotrebe recikliranih materijala u građevinarstvu.

KORISNI POJMOVI

Oporaba – svaki postupak čiji je glavni rezultat uporaba otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale koje bi inače trebalo uporabiti za tu svrhu ili otpad koji se priprema kako bi ispunio tu svrhu (primjerice, prerada dotrajalog drva u drvena vlakanca čijom se daljnjom obradom dobiva potpuno novi materijal, iverica). Oporaba obuhvaća pripremu za ponovnu uporabu, recikliranje i nasipavanje. Ne uključuje energetska oporaba i preradu u materijale koji će se uporabljivati kao gorivo ili druga sredstva za proizvodnju energije.

Ponovna uporaba – postupak gospodarenja otpadom kojim se proizvod ponovno koristi u istu svrhu, primjerice, prozor ili crijep koji su u dobrom

stanju na građevini koju rušimo, iznova koristimo kod izgradnje nove građevine.

Recikliranje - svaki postupak oporabe, uključujući ponovnu preradu organskog materijala, kojim se otpadni materijali prerađuju u proizvode, materijale ili tvari za izvornu ili drugu svrhu. Ne uključuje uporabu otpada u energetske svrhe, odnosno prerade u materijal koji se koristi kao gorivo ili materijal za nasipavanje.

Zbrinjavanje - svaki postupak koji nije oporaba, čak i kad postupak ima za sekundarnu posljedicu obnovu tvari ili energije. Najčešći postupci zbrinjavanja građevinskog otpada su odlaganje na odlagališta, odlaganje otpada u kasete (primjer: azbest) i spaljivanje.

OPĆENITO O RECIKLIRANJU

Štednja novca, energije i prirodnih resursa je pokazatelj razvijenog društva, a društvu i životnoj sredini se pomaže smanjenjem otpada ponovnom upotrebom i recikliranjem.

S obzirom na to da je zaštita okoliša postala svjetski prioritet, a proizvodnja građevinskih materijala i gradnja imaju velik utjecaj na zagađenje i globalno zatopljenje, donose se strogi standardi koji postavljaju novi temelj okolišno podobnoj gradnji. Ubrzan tehnološki razvoj i brojne inovacije potiču proizvođače na zaokret prema zelenim proizvodima pa se u institucijama širom svijeta istražuje kako od otpada komponirati ekološki podobne građevinske materijale koji moraju imati izvanredna svojstva i biti otporni na atmosferske utjecaje.

Istraživanja ubrzano napreduju pa se od građevinskog otpada već proizvode razni trajniji i jeftiniji građevinski materijali od konvencionalnih. Uz to već postoje brojne stručne udruge koje potiču gradnju i obnovu starih zgrada obnovljenim materijalima pa bi takav pristup uskoro mogao postati

industrijski standard, što će uvelike utjecati na budućnost industrije građevinskog materijala.

Otpad koji nastaje pri rušenju zgrada je veliko opterećenje za okoliš, jer se ponovno iskoristi samo trećina. Kako je potražnja za sirovinama sve veća, a prirodni se resursi ubrzano iscrpljuju, recikliranje ima dvostruki učinak. Kada se otpad usmjeri u proizvodne pogone dobivaju se **sekundarne sirovine**, a istodobno se značajno smanjuju zagađenja. Sve više zemalja zakonski se obvezuje na primjenu održivih građevinskih materijala, a novi standardi koji uključuju i napredne građevinske tehnike ne odnose se samo na novogradnju već i na obnovu postojećih zgrada. Propisi su sve stroži, te već postoje alati za procjenu životnog ciklusa zgrade i njenog utjecaja na okoliš.

Situacija u Hrvatskoj

Na Građevinskom fakultetu u Zagrebu u okviru jednog projekta procijenjeno je da Republika Hrvatska proizvodi 2,5 mil. tona godišnje građevinskog otpada.

U EU građevinski sektor ukupnom otpadu doprinosi s najvećim udjelom od čak 37,5 % u ukupno nastalom otpadu, dok taj udio u Hrvatskoj iznosi 23,8 %.

Kao pozitivni primjer sa značajnim rezultatima u sprječavanju nastanka otpada u 2021. i 2022. godini, izdvaja se primjer obrade materijala od potresa koji se dogodio u Sisačko-moslavačkoj županiji. Procjenjuje se da je u 2021. godini nastalo 1,63 milijuna tona građevinskog otpada, što je gotovo 17 posto više nego godinu prije. Ukupna količina otpada koji se može dovesti u vezu sa potresom procijenjen je na ukupno oko 62.000 tona.

Doneseni su dokumenti i propisi kojima su regulirana pitanja obnove, ali i gospodarenja otpadom.

Situacija u pojedinim europskim zemljama

U nekim europskim zemljama, na primjer Nizozemskoj, Belgiji i Danskoj recikliranje građevnog otpada čini više od 80 % ukupno proizvedenog građevnog otpada i otpada od rušenja zajedno. Na primjeru Danske može se uočiti kako riješiti problem recikliranja građevinskog otpada. Do 1984. godine, Danska je reciklirala samo 11 % građevinskog otpada. Nezadovoljni učinkom, 1987. godine uveli su "porez na otpad" te se od tada udio recikliranog građevinskog otpada iz godine u godinu povećavao pa je 2004. godine Danska reciklirala 94 % građevinskog otpada.

VAŽNOST RECIKLIRANJA GRAĐEVINSKIH MATERIJALA

Velika eksploatacija sirovina kao što su kamen, pijesak i željezo koriste se širom svijeta u velikim količinama kako bi se zadovoljile potrebe tržišta. S druge strane, na gradilištu nastaju velike količine građevinskog otpada koji često završi u nerazvrstanom otpadu, te se ne reciklira.

Kada bi se otpad pravilno zbrinjavao, razvrstavao i potom reciklirao, osim što bi bilo manje otpada, bilo bi manje potrebe za iskorištavanjem sirovina. Recikliranjem smanjujemo stvaranje divljih odlagališta, ali i troškova izgradnje, no za ispravno upravljanje procesom recikliranja nužan je učinkovit sustav zbrinjavanja i prikupljanja građevinskog materijala.

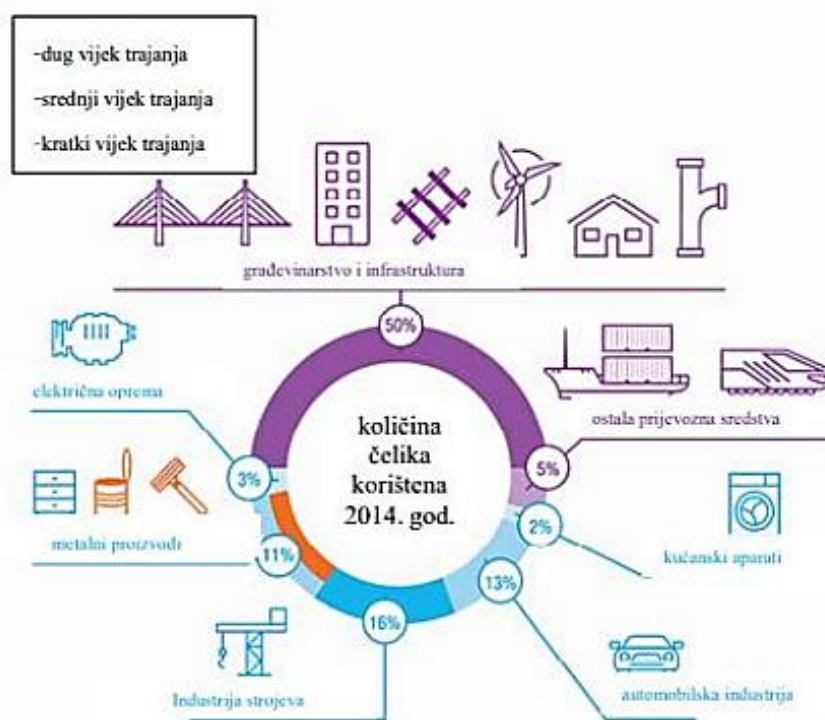
ČELIK

Čelik se dobiva miješanjem željezne rude s ugljikom i taljenjem u visokim pećima ili recikliranjem čeličnog otpada pomoću električnih peći. Recikliranje čelika datira još iz Rimskog Carstva, kada su vojnici skupljali ratne predmete ostavljene na bojnopolju i koristili ih za proizvodnju novog oružja. Procjenjuje se da će se rezerve željezne rude pri predviđenoj količini eksploatacije istrošiti za narednih 170 godina. Značaj čeličnog

otpada sve više raste jer se lako prerađuje u čelik, a na taj način se za buduće generacije štedi energija i sirovine.

Čelični otpad je najčešće čelik koji je u obliku nekog proizvoda završio svoj "životni vijek" te se koristi kao sekundarna sirovina za proizvodnju novog čelika u čeličanama i lijevanih željeza u ljevaonicama.

Čelični se otpad dijeli u klase, obično prema podrijetlu i po kvaliteti. Čelik se upotrebljava u različitim područjima ljudske djelatnosti ali najveći udio čelika se koristi u sektoru građevinarstva i infrastrukture (Slika 16).



Slika 16 Prikaz primjene čelika u 2014. godini (Rajković, 2020)

Najkvalitetniji otpad je čelični otpad koji se sastoji od čeličnih proizvoda odbačenih nakon uporabe (automobili, električni uređaji, poljoprivredna oprema, željezničke tračnice, konzerve za hranu i piće itd.).

Prosječno se oko 2/3 gotovih čeličnih proizvoda vrati u ciklus (recikliranje) nakon što su bili u uporabi tijekom 20 godina dok se gubitak od oko 1/3 uglavnom događa zbog korozije čelika.

BETON

Recikliranjem betona smanjuje se značajna količina građevinskog otpada, smanjuju se troškovi gradnje, ali i količina emisije CO₂ pri izradi novog betona.

Posebna drobilica koristi se za recikliranje čvrstog betona, čime se proizvodi materijal poznat kao "reciklirani agregat".

Donedavno se reciklirani beton koristio samo za izradu temelja i temeljnih ploča, no ispitivanja su pokazala da i reciklirani agregat učinkovitim tehnologijama može osigurati planiranu tlačnu čvrstoću nosivih elemenata. Reciklirani agregat je po cijeni prihvatljiviji od prirodnog agregata ako je proces recikliranja dobro organiziran. Izvođači također ostvaruju uštedu pri odvozu materijala u pogone za reciklažu jer ne plaćaju naknadu za odlaganje otpada.

DRVO

Drvo u građevnim konstrukcijama traje stotinjak godina, a odbačeno se može lako i jeftino preraditi u nove proizvode. Najbolje bi bilo kad bi ga ponovno mogli iskoristiti (stari prozori, vrata, drvene podne obloge).

Mekše drvo, koje je često jeftinije, također se može reciklirati i često se koristi za izradu raznih ploča primjerice MDF ili - OSB ploča (ploče napravljene od drvenih vlakana ili izduženih komadića drveta koja su sjedinjena sintetičkim lijepkom i spojena pod pritiskom i velikom temperaturom).



Slika 17 Usitnjavanje i separacija materijala (Tehneko, 2024)

Netretirano drvo se koristi kao gorivo ili malč (usitnjena drvena građa koju koristimo u poljoprivredi kako bi zaštili tlo na kojem rastu poljoprivredne kulture od: utjecaja sunčevih zraka na površinu tla, vjetrova koji raznose suhu površinu, kiše koja razara strukturu tla i ispire humus).

STAKLO

Staklo je gotovo idealan materijal za recikliranje, jer se može gotovo beskonačno puta reciklirati i ponovno koristiti. Korištenje recikliranog stakla za pridonosi očuvanju sirovina i smanjuje količinu otpada odloženog na odlagališta otpada.

Recikliranje stakla troši manje energije nego njegova proizvodnja od kvarcnog pijeska, vapnenca i sode. Svaka tona stakla iskorištena za proizvodnju novog uštedi oko 315 kg ispuštenog ugljičnog dioksida.

Iskoristivost otpadnog stakla je odlična jer od jedne tone otpadnog stakla, uz dodatak energije, dobit će se jedna tona novih staklenki.

Iako staklene boce prolaze kroz uobičajen proces reciklaže, reciklaža prozorskog stakla se suočava s nizom komplikacija. Zbog svog različitog kemijskog sastava i temperature taljenja, prozorsko staklo, koji je najčešći otpadni materijal u građevinskoj industriji, ne može se reciklirati zajedno s ostalim staklenim proizvodima.



Slika 18 Otpadno staklo (Resumo recikliranje, 2024)

Međutim, prozorsko staklo se nakon obrade može ugraditi kao zamjena za jedan dio agregata u asfaltu ili u betonskoj mješavini za izradu betonskih podova pa čak i u žute i bijele reflektivne boje za iscrtavanje linija na cesti.

PLASTIKA

Danas se u svijetu reciklira otprilike 18 % plastike što je malo, ali ipak predstavlja veliki pomak, jer osamdesetih godina prošlog stoljeća recikliranje kao takvo uopće nije postojalo. Najčešće se recikliraju plastične boce, ali postoje plastični proizvodi (poput slamki) kod kojih to nije moguće.

Što se tiče plastike koja se koristi za uređenje doma, poput vrtnog namještaja i kutija za pohranu, situacija je malo lošija i prema nekim (optimističnim) istraživanjima procjenjuje se da se čak do 14 % takvih materijala u svijetu reciklira. Plastični materijali koji se koriste u građevinarstvu spadaju u kategoriju materijala koji se vrlo teško recikliraju.

Jedan od najpopularnijih materijala iz ove kategorije je polivinil klorid, odnosno PVC kojeg nalazimo većinom u stolariji. Samo 5 % PVC-a se reciklira, a to uključuje s okvire prozora i vrata i ostalu građevinsku opremu poput kabela, PVC obloga i slično.

Proizvođači i uslužni djelatnici prikupljaju stare prozore koji se potom prerađuju u plastične granule u postrojenjima za preradu.

Stari prozori se drobe u drobilici te se pomoću sustava sortiranja, strani materijali (staklo, spojnice, brtve i ostaci zida) odvajaju od PVC-a, a samljeveni materijal se zatim prerađuje u granule u rezanome mlinu i podvrgava različitim postupcima odvajanja i pripreme kako bi se poboljšala kvaliteta recikliranog PVC-a.



Slika 19 Postupak recikliranja PVC stolarije (MR PVC sistem, 2024)

Stari PVC prozori mogu se reciklirati najviše sedam puta jer samo tada zadržavaju kvalitetu i otpornost.

GIPS-KARTONSKE PLOČE

Jedan od najvećih problema današnjice je neadekvatno odlaganje otpada koji zauzima puno volumena. Jedan od tih materijala su definitivno gips-kartonske ploče pa je njihovo zbrinjavanje skupo i teško. Veći komadi gips-kartonskih ploča mogu se ponovno upotrijebiti, no ukoliko nisu za upotrebu onda se prerađuju i koriste se kod nove izgradnje.



Slika 20 Otpadni gips (Horvat, 2016)

Kao posljedica odlaganja gips-kartonskih ploča na odlagalištima s anaerobnim uvjetima života javljaju se kisele kiše koje su štetne za okoliš. Proces recikliranja sastoji se od mljevenja i spaljivanja otpada. Mljevenje se može provoditi u mlinovima, dok se spaljivanje odvija u pećnicama pri temperaturama oko 150 ° C u vremenskom trajanju od nekoliko sati.

Znanstvenici su uspoređivali su fizikalna, kemijska i mehanička svojstva komercijalnog gipsa i otpadnog gipsa koji je prošao jedan ciklus recikliranja i otpadnog gipsa koji je prošao kroz tri ciklusa recikliranja.

Na temelju tih istraživanja, moglo se zaključiti da se otpadni gips može reciklirati kroz više ciklusa za istu svrhu te da su mu svojstva približna komercijalnom gipsu. No, važno je naglasiti da bi se procesi recikliranja trebali poboljšavati, odnosno mljevenje i spaljivanje otpadnog gipsa trebalo bi konstantno kontrolirati kako bi se održala kvaliteta recikliranog materijala.



Slika 21 Strojevi za proces recikliranja gipsa (Horvat, 2016)

OPEKA

Jedan od načina ponovne upotrebe opeke dobivene rušenjem neke građevine jest uporaba tj. da pažljivim rušenjem građevine odvajamo odgovarajuću komade opeke (ili crijepa) te ih očišćenu od morta možemo ponovno upotrijebiti za izgradnju nove građevine. Drugi način upotrebe opeke je da je drobimo u sitnije komade i koristimo kao reciklirani agregat.



Slika 22 Ponovna upotreba opeke kao građevinskog materijala (Ivana Kesegić, 2008)

Tako dobiven reciklirani agregat može se upotrijebiti u proizvodnji novih betonskih mješavina sa osjetno smanjenim negativnim utjecajem na okoliš. Otprilike 35 % u ukupnoj količini otpada nastalog rušenjem stambenih građevina čini opeka te bi ju trebalo iskoristiti i ukloniti iz ukupnog otpada kroz okoliš.

Recikliranjem opeke moguće je dobiti dodatni materijal za proizvodnju zidnih elemenata, betona, laganog betona, stabiliziranje, drenažne slojeve, ispune, nasipavanje terena.

PRIMJENA RECIKLIRANIH MATERIJALA

U Hrvatskoj su primjenom recikliranih materijala razvijeni inovativni građevni proizvodi. RUCONBAR je betonski zid za zaštitu od buke čiji je apsorpcijski sloj izrađen od laganog betona koji sadrži gumene granule dobivene recikliranjem istrošenih automobilskih guma. ECO-SANDWICH je višeslojni zidni panel izrađen od betona s recikliranim agregatom od betona i reciklirane opeke te sloja ECOSE® mineralne vune.



Slika 23 RUCONBAR - Zidni panel za zaštitu od buke (Beton Lučko, 2024)



Slika 24 ECO-SANDWICH - predgotovljeni sendvič panel (ECO-SANDWICH, 2015)

Za izradu betona, može se koristiti i reciklirano staklo. Kombinacijom odgovarajućeg cementa, boje i vrste stakla moguće je napraviti estetski vrlo atraktivne proizvode. Prozirni beton LiTraCon (Light-transmitting concrete), izum je mađarskog arhitekta Árona Losonczija i jedan je od najinovatnijih primjera upotrebe stakla u betonu. Beton koji propušta svjetlost izumljen je 2001. godine, a izrađuje se uglavnom kao obični beton uz dodatak staklenih optičkih vlakana.



Slika 25 LiTraCon, beton sa izloženim agregatom (Worldconstructionnetwork, 2024)

Još jedna inovativna ideja je da se standardni cement zamijeni ekološki prihvatljivijim materijalom – biopepelom (pepeo iz drvne biomase) koji nastaje nakon sagorijevanja u visokim pećima u bioelektranama, a koji se primjenjuje u proizvodnji predgotovljenih betonskih elemenata (cestovni rubnjak, kanalice). Takva kombinacija daje rješenje problema odlaganja pepela iz drvne biomase i ekoloških problema emisija stakleničkih plinova.

Pitanja za ponavljanje

1. Objasni pojam recikliranje.
2. Navedi materijale u građevinarstvu koje možemo oporabiti.
3. Navedi materijale koji se koriste u građevinskoj industriji, a koje možemo reciklirati i ponovno ih upotrijebiti.
4. Navedi materijale koji se ne koriste u građevinskoj industriji, a koje možemo reciklirati i ponovno ih upotrijebiti u građevinskoj industriji.

Istraži...

- Istraži kako ti možeš utjecati na smanjenje otpada.
Primjerice: kupovina rabljenih proizvoda, kupovina proizvoda koji koriste manje pakiranja, kupovina proizvoda za višekratnu upotrebu umjesto jednokratnih, popravak proizvoda te posuđivanje, iznajmljivanje ili dijeljenje rijetko korištenih predmeta itd.
- Istraži što se dešava s dotrajanim PVC prozorima kad ih odlučimo zamijeniti?
- Istraži što bi se od građevnog otpada još moglo iskoristi kao sirovina za izradu betona?

7 BETONI OD RECIKLIRANOG AGREGATA

Autorica:

Iva Illeš, dipl. ing. građ.

Ishodi učenja:

1. Objasniti zašto armiranobetonske konstrukcije štetno djeluju na okoliš.
2. Imenovati porijeklo materijala koji se koristi u proizvodnji betona od recikliranog agregata.
3. Ukratko opisati princip rada drobilice.
4. Navesti mehanička svojstva recikliranog betona.
5. Iskazati prednosti i mane recikliranog betona

UVOD

Građevinarstvo je velik potrošač prirodnih resursa, no isto tako je i velik proizvođač građevinskog otpada. Osnovni materijal u građevinarstvu je beton, a njegovi neizostavni sastojci su cement, agregat i voda te svaki od njih ima velik utjecaj na okoliš.

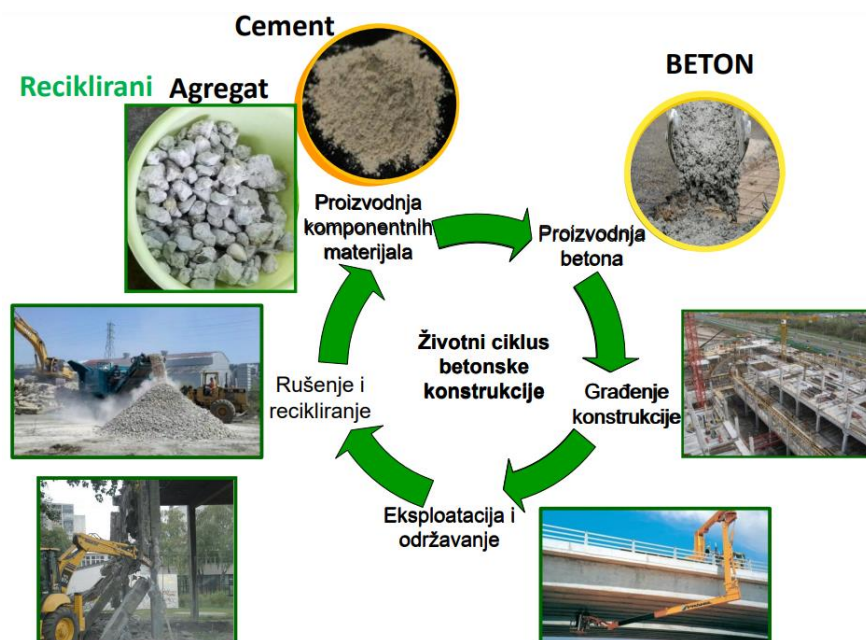
Ukupna globalna proizvodnja industrijskog pijeska i šljunka procijenjena je na 400 milijuna m³ u 2023. godini. Ukupna proizvodnja cementa u svijetu za 2023. godinu procijenjena je na 4,1 milijardu tona. Ukupna proizvodnja cementa 1995 godine iznosila je 1,39 milijardu tona. Navedeno upućuje na porast potrošnje cementa i građevinskog sektora. Proizvodnja cementa rezultira velikom potrošnjom energije i emisije ugljikovog dioksida (kod proizvodnje cementa stavara se ugljični dioksid). Istraživanja su pokazala kako se pri proizvodnji cementa oslobađa približno 7 % ukupne emisije ugljikovog dioksida. Jedan od problema današnjice je i globalno zatopljenje

zbog čega je potrebno smanjiti količinu ugljikovog dioksida u atmosferi. Zbog svega navedenog javila se potreba za promjenom načina na koji naša građevinska industrija danas djeluje.

Pojavio se interes za razvoj i upotrebu novih građevinskih materijala koji su ekološki prihvatljivija alternativa tradicionalnom betonu i ostalim manje prihvatljivim građevinskim materijalima zbog štetnih utjecaja na okoliš prilikom njihove proizvodnje.

RECIKLIRANI AGREGAT

Zakonodavstva diljem svijeta pozivaju svoje zemlje članice da recikliraju sve više građevinskog otpada i otpada od rušenja jer ponovna uporaba drobljenog betona umjesto prirodnog kamena štedi okoliš i resurse. Na slici 45 prikazan je primjer životnog ciklusa betonske konstrukcije: od kolijevke (proizvodnja cementa, agregata, aditiva), proizvodnje betona, ugradnju, korištenje betonske konstrukcije do groba (kraj životnog ciklusa koji obuhvaća rušenje i odlaganja ili recikliranje). Kod kraja životnog ciklusa betonske konstrukcije, materijal koji rušimo nazivamo građevni otpad i otpad od rušenja. Taj materijal možemo ponovo koristiti: reciklirati. Kako bi se otpad mogao koristiti kao nova sirovina (tzv. sekundarna sirovina), mora zadovoljiti ekološke i tehničke standarde (norme). Hrvatska je preuzela niz europskih norma iz područja agregata, bilo za betonske, zidane ili kolničke konstrukcije. Iz norma, na koje upućuju pojedini tehnički propisi, definirani su zahtjevi (što treba zadovoljiti agregat kako bi se mogao koristiti) za agregat, a time i za reciklirani agregat.



Slika 26 Životni ciklus betonske konstrukcije (Ignjatović, 2024)

RECIKLIRANI BETONSKI AGREGAT

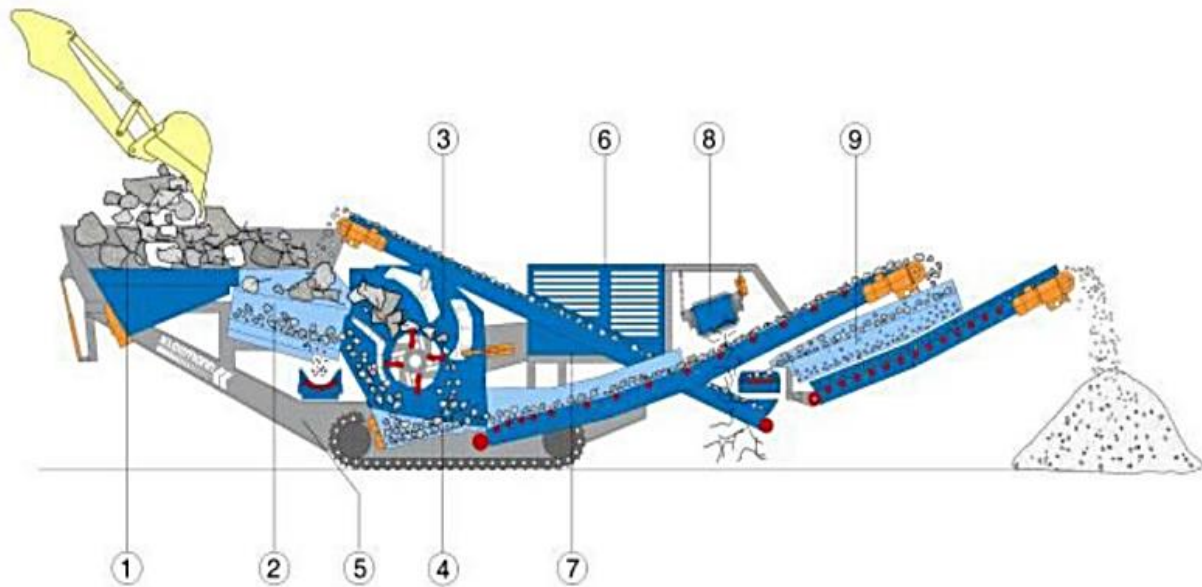
Reciklirani betonski agregat je proizveden od drobljenog građevinskog otpada i otpada od rušenja koji se prvenstveno sastoji od betona, ali uključuje i agregatne materijale kao što su pijesak, šljunak, troska i drobljeno kamenje. Tipičan postupak za recikliranje betonskog agregata je sljedeći:

- primarno drobljenje uz pomoć čeljusnih drobilica
- uklanjanje željeznih ostataka uz pomoć magnetskih separatora
- pregledavanje i uklanjanje stranih materijala kao što su cigla, plastika i asfalt
- sekundarno drobljenje
- prosijavanje recikliranog betonskog agregata u različite frakcije.

Reciklirani betonski agregat obično ima veći udio sitnih čestica jer su zrna drobljenog agregata obavijena cementnim mortom pa se količina vode koje se dodaje betonskoj smjesi mora prilagoditi kako bi dobili beton određene kvalitete.

Otegotna je okolnost da se u postrojenju za reciklažu miješaju betoni iz više izvora, a svojstva recikliranog agregata uvelike ovise i o kvaliteti izvornog betona.

Reciklirani agregat treba zadovoljiti sva ispitivanja kao i obični agregat iz prirodnih nalazišta. Svojstva recikliranog agregata koja se razlikuju od svojstava agregata iz prirodnih nalazišta su gustoća, upijanje vode i udio nečistoća (drvo, plastika i sl.). Slika 27 prikazuje presjek uređaja za drobljenje agregata sa svim svojim komponentama.



Slika 27 Struktura mobilnog reciklažnog uređaja - drobilice, 1 - Koš za prihvaćanje otpadnog materijala, 2 - Sita, 3 - drobilica, 4 - vibrirajući prolaz za istovar, 5 - šasija drobilice, 6 - motor, 7 - elektronske kontrole, 8 - sita za odvajanje frakcija, 9 - gusjenice (Ignjatović, Upotreba recikliranih i otpadnih materijala u betonskim konstrukcijama - korak ka održivom građevinarstvu, 2024)

AGREGAT OD RECIKLIRANE OPEKE

Budući da agregat zauzima između 70 % i 80 % ukupnog volumena betona, čvrstoća agregata uvelike utječe na konačnu čvrstoću betona.

Beton s recikliranom opekom ima relativno manju tlačnu čvrstoću od betona s prirodnim agregatom. Pri starosti od 28 dana tlačna čvrstoća betona s krupnom recikliranom opekom iznosi 10 % do 35 % u odnosu na beton s prirodnim agregatom, a za beton sa sitnom recikliranom opekom oko 30 % do 40%.

Udio cementa u betonu s recikliranom opekom može biti i do 20 % veći nego kod običnog betona, a korištenjem sitne i krupne frakcije reciklirane opeke kao agregata, potreban udio cementa u sastavu betonske mješavine može biti i veći od 20 %.



Slika 28 Beton s recikliranim agregatom: lijevo – reciklirani agregat od drobljene opeke (Ivana Banjad Pečur, Bojan Milovanović, Dubravka Bjegović, Nina Štirmer, Marina Bagarić, Ivana Carević, 2020)

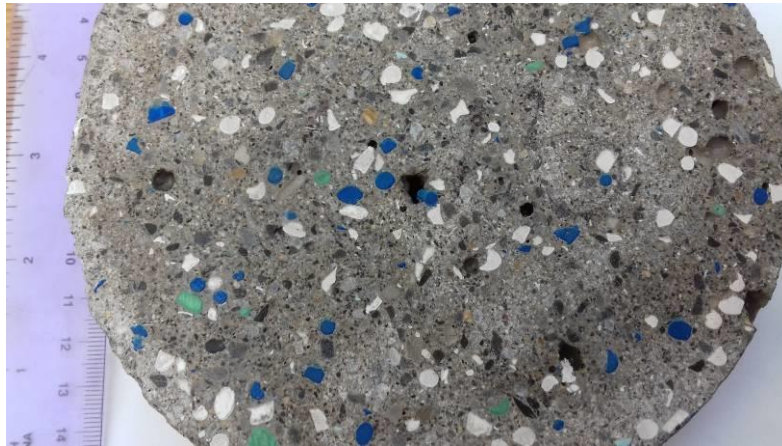
AGREGAT OD RECIKLIRANOG STAKLA

U proizvodnji betona s recikliranim staklom potrebno je paziti na način na koji će se projektirati betonske mješavine. Staklo ne apsorbira vodu pa se mijenja sastav betonske mješavine. Takav utjecaj stakla može se neutralizirati posebnim dodacima betonu.

Istraživanja su pokazala da je beton s dodatkom stakla otporan na smrzavanje i odmrzavanja te da ima visoku otpornost na požar i UV zračenje. Kada se staklo sortira po bojama može imati estetska svojstva.

AGREGAT OD RECIKLIRANE PLASTIKE

Izrada betona sa recikliranom plastikom se ne razlikuje mnogo od klasičnog betona. Razlika je samo u tome što se umjesto određenog postotka agregata dodaje plastika. Prije nego što smrvimo plastiku, plastiku je potrebno oprati da bi se riješili raznih dodataka i nečistoće. Težina betona sa recikliranom plastikom je manja od težine klasičnog betona. Razlika u težini javlja se zbog manje gustoće plastike u odnosu na agregat koji mijenja.



Slika 29 Beton od reciklirane plastike (Gradnja.me, 2024)

Kod betona s recikliranom plastikom otpornost na požar je manja od otpornosti na požar klasičnog betona. Ako udio plastičnog agregata velik u odnosu na ostali agregat, pri požaru se oslobađa otrovni plin, te se zbog toga ne preporučuje upotreba takvog betona za unutarnje zidove. Dakle, najveća mana reciklirane plastike je ta što je lako zapaljiva.

Beton sa recikliranom plastikom bi se mogao koristiti za betonske elemente koji nisu nosivi i koji ne zahtijevaju visoku čvrstoću i otpornost na požar, a budući da manje upija vodu može se koristiti za razna popločenja ili drenaže.

PREDNOSTI I NEDOSTACI PRIMJENE RECIKLIRANJA AGREGATA

Prednosti primjene recikliranja agregata

- *Ekološki doprinos*

Prema podacima iz literature, oko 40 % materijala od rušenja odlaže se u prirodu (ovaj postotak ovisi od države do države). Procesom recikliranja, ta se količina materijala smanjuje te se ujedno smanjuje eksploatacija prirodnih resursa.

- *Ušteda energije*

Ako se proces recikliranja može se odvijati na samom gradilištu, pokretnim drobilicama, na taj će se način smanjiti potrošnja energije pri transportu materijala do pogona za preradu otpada od rušenja. Ovakvim postupkom

recikliranja utječe se na smanjenje emisije CO₂ (nema emisije pri transportu materijala do pogona, a isti se materijal može primijeniti za ponovnu izgradnju objekta).

- *Ekonomski doprinos*

Reciklirani agregat je po cijeni prihvatljiviji od prirodnog agregata ukoliko je proces recikliranja dobro organiziran. Izvođači također ostvaruju uštedu pri odvozu materijala u pogone za reciklažu jer ne plaćaju naknadu za odlaganje otpada.

- *Mogućnost otvaranja novih radnih mjesta*

Nova radna mjesta otvaraju se u pogonima za recikliranje agregata u institutima i ustanovama čija je zadaća ispitati i unaprijediti svojstva recikliranog agregata. S većom primjenom upotrebe recikliranog agregata raste i potreba za kvalitetnije obrazovanim kadrom.

- *Široka mogućnost primijene*

Prema dosadašnjim istraživanjima, reciklirani agregat je moguće primijeniti pri proizvodnji predgotovljenih betonskih elemenata poput rubnjaka, opločnika, blokova za sanaciju klizišta, pri izvedbi pojedinih dijelova konstrukcije mostova te nekonstruktivnih i konstruktivnih dijelova građevina.

Nedostaci primjene recikliranja agregata

- *Nedostatak normi, propisa i preporuka*

U svijetu se ulažu veliki naponi i znatna financijska sredstva u istraživanja kompatibilnosti recikliranog agregata u pojedinim granama građevinarstva. Unatoč tomu, danas još nema dovoljan broj propisa, normi i preporuka koje bi osigurale konstantnu i sigurnu primjenu recikliranog agregata.

- *Zagađenje vode*

U procesu recikliranja važnu ulogu ima proces ispiranja agregata, međutim voda kojom se obavlja proces ispiranja agregata pokazuje da voda u kojoj se agregat ispirao ima povišenu pH vrijednost.

Donošenjem odgovarajućih zakonskih mjera, provođenjem edukacije dijela stručne populacije kao i edukacijom cjelokupnog stanovništva treba

postupno nastojati povećati udio recikliranog građevinskog otpada u primjeni.

Potrebno je i kontinuirano provoditi nadzor u suradnji s inspekcijskim službama, te osmisliti i provesti funkcionalnu prenamjenu saniranih i očišćenih divljih odlagališta i površina.

Zemlje članice EU s dodatnim poticajima i drugim propisima stimuliraju ponovnu uporabu recikliranog materijala, a time pridonose i buđenju ljudske svijesti o načinu deponiranja otpada, dok nasuprot, s različitim ekološkim naknadama destimuliraju uporabu prirodnog materijala.

PRIMJERI IZ PRAKSE

Hundertwasserova kuća: „Waldspirale“

Ova stambena zgrada izgrađena je u Darmstadtu, a dizajnirao ju je poznati arhitekt Friedensreich Hundertwasser. Stambena zgrada sadrži 105 stanova. Ovo je prva visoka zgrada izgrađena u Njemačkoj od recikliranog betona, 12.000 m³, čime se čuvaju velike količine prirodnih resursa poput šljunka i pijeska. Korištenje recikliranog betona provedeno je u bliskoj suradnji s Institutom za betonske konstrukcije, te je u tom pogledu jedan od pionirskih projekata u zemlji. Provedena su brojna ispitivanja kako bi se provjerila svojstva recikliranog betona, kako svježeg tako i očvrsnulog betona. Rezultati tlačne čvrstoće pokazuju da su svi postigli svoj cilj ili čak bili bolji od očekivanog. Za zidove, ploče i stupove korištena je betonska mješavina razreda C25/30.



Slika 30 Waldspirale (Darmstadt, Njemačka, 1998) (Ignjatović, 2024)

Pitanja za ponavljanje

1. Opiši životni ciklus betona.
2. Navedi građevinski otpad koji možemo upotrijebiti kao agregat u proizvodnji betona.
3. Navedi neke prednosti i mane recikliranih agregata.

Istraži...

- Istraži postoje li još neki materijali (koji su otpadni materijali, ali ne nužno porijeklom iz građevinske industrije) kojima možemo zamijeniti udio agregata u betonskoj mješavini?
- Istraži postoji li građevina od recikliranog agregata u našoj domovini.
- Istraži koliko se poduzeća u Hrvatskoj bavi recikliranjem građevinskog otpada.

RADNA VERZIJA

LITERATURA

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

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

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

<https://www.poslovni.hr/hrvatska/gotovo-70-gradevnog-otpada-moze-se-i-mora-reciklirati-4292414>, <https://rooferscardi>

Prostor. (2024). Dohvaćeno iz <https://www.casopisprostor.me>

Rajković, M. (2020). *Čelični otpad kao sekundarna sirovina za proizvodnju*. Dohvaćeno iz <https://repositorij.simet.unizg.hr/islandora/object/simet%3A324/datastream/PDF/view>

Resumo recikliranje. (2024). *Resumo recikliranje*. Dohvaćeno iz <https://resumo-recikliranje.hr/>

Smjernice za revizije otpada prije rušenja i obnove zgrada. (2018). Dohvaćeno iz <https://www.hgk.hr/documents/smjernice5cf0e60075037.pdf>

State of Zero Waste Municipalities Report 2022. (2022). Dohvaćeno iz https://zerowastecities.eu/wp-content/uploads/2021/12/SZWMR_2021-Final.pdf

Tehneko. (2024). *Tehneko*. Dohvaćeno iz <https://www.tehneko.com.hr/7185/obrada-drvenog-otpada>

Two Brothers Contracting. (2024). Dohvaćeno iz <https://tbcdemo.com/wp-content/uploads/2020/04/Mobile-Concrete-Crushing-Services.jpg>

Worldconstructionnetwork. (2024). *Worldconstructionnetwork.com*. Dohvaćeno iz <https://www.worldconstructionnetwork.com/projects/litracon>

Zaštita prirode. (2024). Dohvaćeno iz <https://zastita-prirode.hr/>

Zero waste Europe. (2024). Dohvaćeno iz https://zerowasteurope.eu/wpcontent/uploads/edd/2019/09/ZWE_Policy-briefing_The-impact-of-Waste-to-Energy-incineration-on-Climate.pdf

Županijski centar za gospodarenje otpadom Marišćina. (2024). Dohvaćeno iz <https://www.ekoplus.hr/mariscina.php/>