



Graditeljska
tehnička škola
Zagreb



Co-funded by
the European Union

ZELENA GRADNJA I

PRIRUČNIK ZA UČENIKE SREDNJIH STRUKOVNIH ŠKOLA



Hrvoje Mostečak, dipl. ing. građ.

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

Ksenija Kralj, dipl. ing. građ.

Iva Illeš, dipl. ing. građ.

GREENCO 

EDUCATE | INNOVATE | TRANSFORM

IMPRESUM

Naziv publikacije

Zelena gradnja I – priručnik za učenike

Autori

Hrvoje Mostečak, dipl. ing. građ.

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

Ksenija Kralj, dipl. ing. građ.

Iva Illeš, dipl. ing. građ.

Urednici

Hrvoje Mostečak, dipl. ing. građ.

Ksenija Kralj, dipl. ing. građ.

Recenzentice

doc. dr. sc. Ivana Carević

izv. prof. dr. sc. Marijana Serdar

prof. dr. sc. Nina Štirmer

Lektorica

Iva Boršić, prof.

Nakladnik

Graditeljska tehnička škola Zagreb

Godina izdanja

2026.

Projekt

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

Predgovor

Dragi čitatelji,

pred vama se nalazi priručnik Zelena gradnja 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 je namijenjen učenicima trećih razreda.

Nadamo se da će teme obrađene u ovom priručniku čitateljima približiti problematiku i izazove tzv. zelene transformacije u sektoru graditeljstva, a korisnici priručnika na jednom mjestu dobiti sve potrebne informacije vezane za zelene vještine 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 se dva poglavlja daje pregled nastanka problematike zagađenja okoliša općenito te se, u okviru sektora graditeljstva, opisuju najvažniji pojmovi koji se koriste u stručnoj i znanstvenoj komunikaciji te pojašnjavaju obnovljivi i neobnovljivi izvori energije. U trećem se poglavlju daje pregled elemenata pametnog zelenog grada i aktivnosti koje je potrebno poduzeti da bi grad postao takvim. U četvrtom se poglavlju obrađuje tematika gospodarenja otpadom kao jednog od prioriteta za postizanje cilja smanjenja onečišćenja okoliša te očuvanja zdravlja ljudi, biljnog i životinjskog svijeta. Kako se učenici naše škole školuju za zanimanja u graditeljstvu, a graditeljstvo je jedan od velikih proizvođača 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 su pripremili i priručnik Zelena gradnja II u kojem se obrađuju nove, zanimljive teme vezane za održivo graditeljstvo.

Nadamo se da će vam čitanje ovoga priručnika biti ugodno i korisno te pobuditi daljnji interes za ovu važnu tematiku.

Urednici i koautori:

Hrvoje Mostečak, dipl. ing. građ.

Ksenija Kralj, dipl. ing. građ.

SADRŽAJ

Predgovor.....	2
1. ZAŠTITA OKOLIŠA U GRADITELJSTVU	6
UVOD	6
UTJECAJ GRAĐENJA NA OKOLIŠ.....	9
UTJECAJ STAKLENIČKIH PLINOVA	10
ULOGA ZAŠTITE OKOLIŠA U GRADITELJSTVU.....	12
LINEARNO I KRUŽNO GOSPODARSTVO	14
ODRŽIVO GRADITELJSTVO	17
CILJEVI ODRŽIVOG RAZVOJA UN-a	18
Pitanja za ponavljanje.....	21
Istraži.....	21
2. ENERGETSKA UČINKOVITOST I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U ZGRADARSTVU	22
UVOD	22
ENERGETSKA UČINKOVITOST	22
OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	28
Prednosti obnovljivih izvora energije	31
Izazovi i ograničenja obnovljivih izvora energije.....	31
NEOBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	31
Prednosti neobnovljivih izvora energije	33
Nedostaci neobnovljivih izvora energije	33
Pitanja za ponavljanje.....	34
Istraži.....	34
3. PAMETNI ZELENi GRADOVI	35
UVOD	35
PAMETNI GRAD I NJEGOVI ELEMENTI	36
Pametani promet	37
Pametna zajednica	38
Pametani okoliš	38
Pametna ekonomija	39
Pametna uprava	39
Pametni ljudi	39
ZELENI GRAD I NJEGOVE KARAKTERISTIKE	40
PRIMJERI DOBRE PRAKSE	42
Barcelona	42

Helsinki	43
Kopenhagen	44
ZAKLJUČAK	45
Pitanja za ponavljanje:	46
Istraži.....	46
4. GOSPODARENJE OTPADOM	47
UVOD	47
HIJERARHIJA GOSPODARENJA OTPADOM	49
Sprječavanje nastanka otpada	50
Ponovna uporaba	50
Oporaba	51
Recikliranje	54
Zbrinjavanje.....	55
TOK OTPADA	56
GOSPODARENJE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ.....	58
ZAKLJUČAK	61
Pitanja za ponavljanje.....	63
Istraži... ..	63
5. GOSPODARENJE GRAĐEVNIM OTPADOM	64
UVOD	64
ŠTO JE GRAĐEVNI OTPAD?	65
VRSTE GRAĐEVNOG OTPADA	65
GOSPODARENJE GRAĐEVNIM OTPADOM	66
UDIO GRAĐEVNOG OTPADA U UKUPNOM OTPADU	69
GRUPIRANJE I KATEGORIZACIJA OTPADA	70
PRIMJERI OPORABE GRAĐEVNOG OTPADA	71
REGULATIVA.....	71
Pitanja za ponavljanje.....	72
Istraži.....	72
6. UPOTREBA SEKUNDARNIH SIROVINA U GRAĐEVINARSTVU	73
OPĆENITO O RECIKLIRANJU	73
Situacija u Hrvatskoj	74
Situacija u pojedinim europskim zemljama.....	75
VAŽNOST RECIKLIRANJA GRAĐEVINSKIH MATERIJALA	75
ČELIK	75
BETON	77
DRVO	77

STAKLO	78
POLIMERI	80
GIPS-KARTONSKE PLOČE	82
OPEKA	84
PRIMJENA RECIKLIRANIH MATERIJALA	85
Pitanja za ponavljanje.....	87
Istraži.....	87
7. BETONI OD RECIKLIRANOG AGREGATA	88
RECIKLIRANI AGREGAT	89
RECIKLIRANI BETONSKI AGREGAT	90
AGREGAT OD RECIKLIRANE OPEKE	91
AGREGAT OD RECIKLIRANE PLASTIKE	92
PREDNOSTI I NEDOSTACI PRIMJENE RECIKLIRANOG AGREGATA	93
Prednosti primjene	93
Nedostaci primjene recikliranja agregata	94
PRIMJERI IZ PRAKSE	95
Hundertwasserova kuća: „Waldspirale“	95
Pitanja za ponavljanje.....	96
Istraži.....	96
LITERATURA	97

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 linearno i kružno gospodarstvo
5. navesti primjere linearnog i kružnog gospodarstva
6. objasniti pojam održivog graditeljstva.

UVOD

Promatrajući rast broja ljudi na Zemlji, s povijesnog se stajališta može govoriti o nekoliko faza. Do neolitske se 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 može procijeniti na približno nekoliko milijuna ljudi.

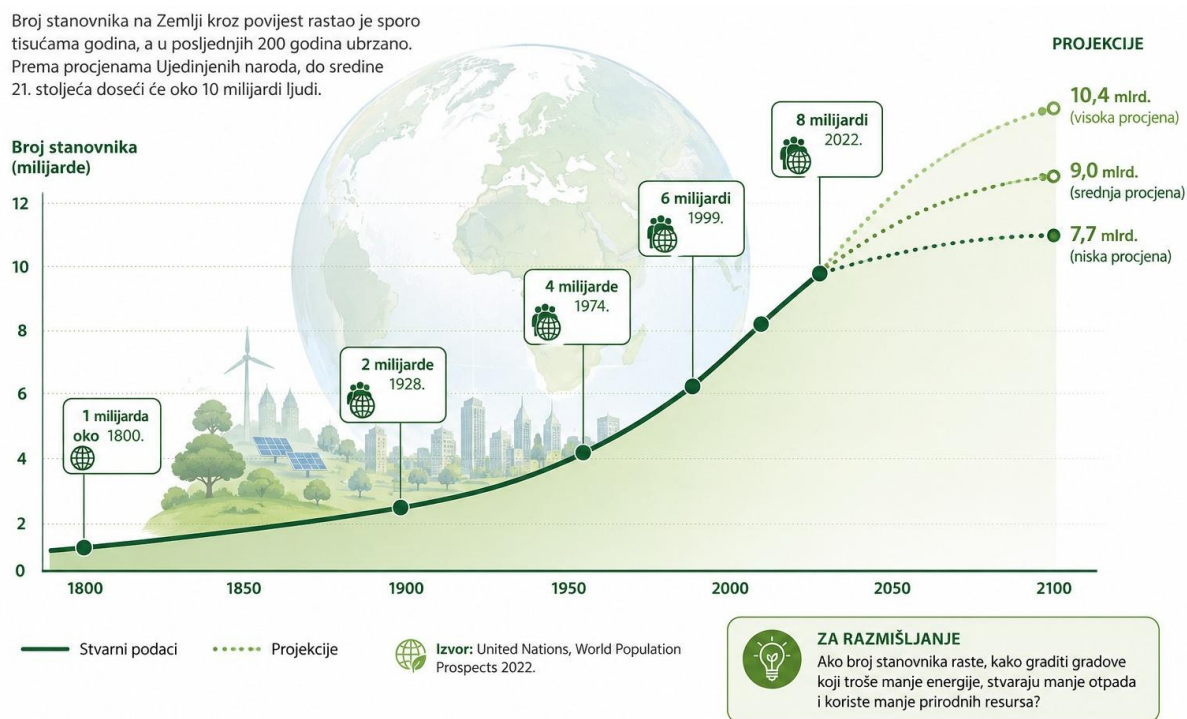
Uvođenjem poljoprivrede i stalnim naseljavanjem je došlo do promjene u navikama ljudi jer su počeli proizvoditi hranu i živjeti u trajnijim naseljima. To je omogućilo rast populacije, a procjenjuje se da je do kraja neolitskog perioda, oko 4000. godine prije nove ere, globalna populacija dosegla između 20 i 50 milijuna ljudi.

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

Moderno je doba donijelo značajan rast broja stanovnika, no i uz značajne regionalne razlike (nejednoliko naseljavanje zemljine površine). Tako se, primjerice, 1800. godine bilježilo približno milijardu stanovnika na Zemlji, 1900. godine oko 1,6 milijardi, 1950. godine oko 2,5 milijardi, 2000. godine više od 6 milijardi, a u 2023. godini, Zemlja je dosegla brojku od 8 milijardi stanovnika.

Najveći rast populacije trenutno bilježimo u Aziji i Africi dok ostale, tzv. razvijene zemlje, bilježe stagnaciju ili pad broja stanovnika.

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



Slika 1 Prikaz rasta broja stanovnika na Zemlji

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 je ostala neujednačena. To znači da u mnogim dijelovima svijeta, posebno u siromašnim regijama, ljudi pate od gladi i neishranjenosti. Povećanje populacije stvara pritisak na dostupne izvore vode. Mnoge se regije već suočavaju s nedostatkom vode, što može izazvati konflikte i migracije.

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

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

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

Kroz ovo ćemo poglavlje pokušati doći do odgovora na neka od navedenih pitanja, no konačan bi cilj bio potaknuti kritičko promišljanje svakoga od nas o ovoj problematici i stvoriti pozitivan i proaktivan stav prema promjenama u dosadašnjem načinu života.

UTJECAJ GRAĐENJA NA OKOLIŠ

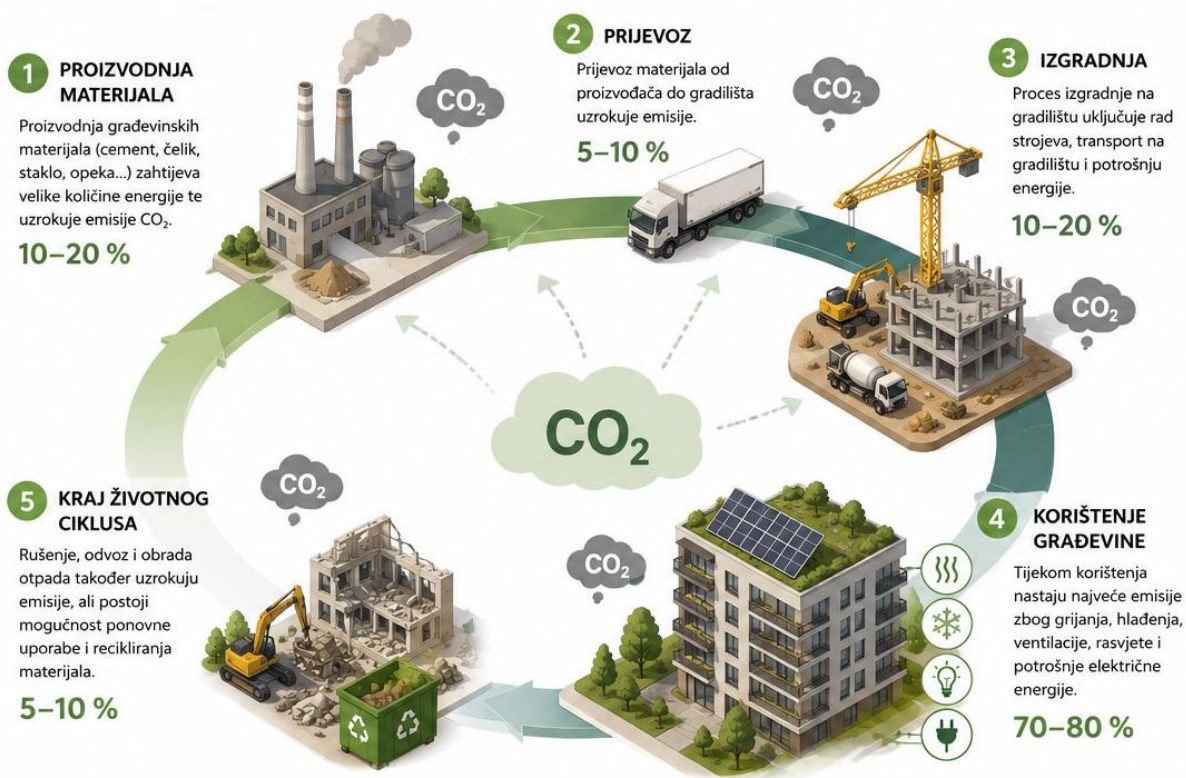
Građenje kao ljudska aktivnost ima značajan utjecaj na okoliš, a taj utjecaj može biti pozitivan ili negativan, ovisno o pristupu i korištenim materijalima. Primjerice, ako se gradi hidroelektrana za proizvodnju električne energije, govorimo o pozitivnom pristupu s aspekta stanovništva koje će dobiti električnu energiju iz tzv. obnovljivih izvora energije, a ne iz izvora koji upotrebljavaju fosilna goriva. Međutim, izgradnjom elektrana se stvaraju umjetna jezera, tzv. akumulacije koje potapaju prirodna staništa biljaka i životinja (šume, livade, naselja i sl.). S tog aspekta govorimo o negativnim utjecajima.

Gradimo li, primjerice, materijalima koje smo prikupili od rušenja nekih starih građevina upotrijebivši ih pri izgradnji nove, 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 građevinskih materijala, tada možemo govoriti o negativnom utjecaju na okoliš.

Građenje, kao jedna od osnovnih ljudskih djelatnosti, zahtijeva iskorištavanje Zemljinih resursa, što znači da 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 prijevoz ovih materijala često uzrokuju značajnu degradaciju zemljišta i ekosustava.

Osim toga, proizvodnja građevinskih materijala, njihov prijevoz 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). Uostalom, i samom uporabom građevine također dolazi do emisije stakleničkih plinova (održavanje, energija za grijanje, hlađenje i korištenje).

Emisije nastaju u svim fazama – od proizvodnje materijala do kraja korištenja građevine.



Slika 2 Emisije stakleničkih plinova prilikom proizvodnje, prijevoza i izgradnje te korištenja građevina

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 (CO₂), metan (CH₄), dušikov oksid (N₂O) te fluorirani plinovi poput fluorouglikovodika. 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 pojavu ekstremnih vremenskih događaja.

CO₂ 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 toplinskih valova.

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

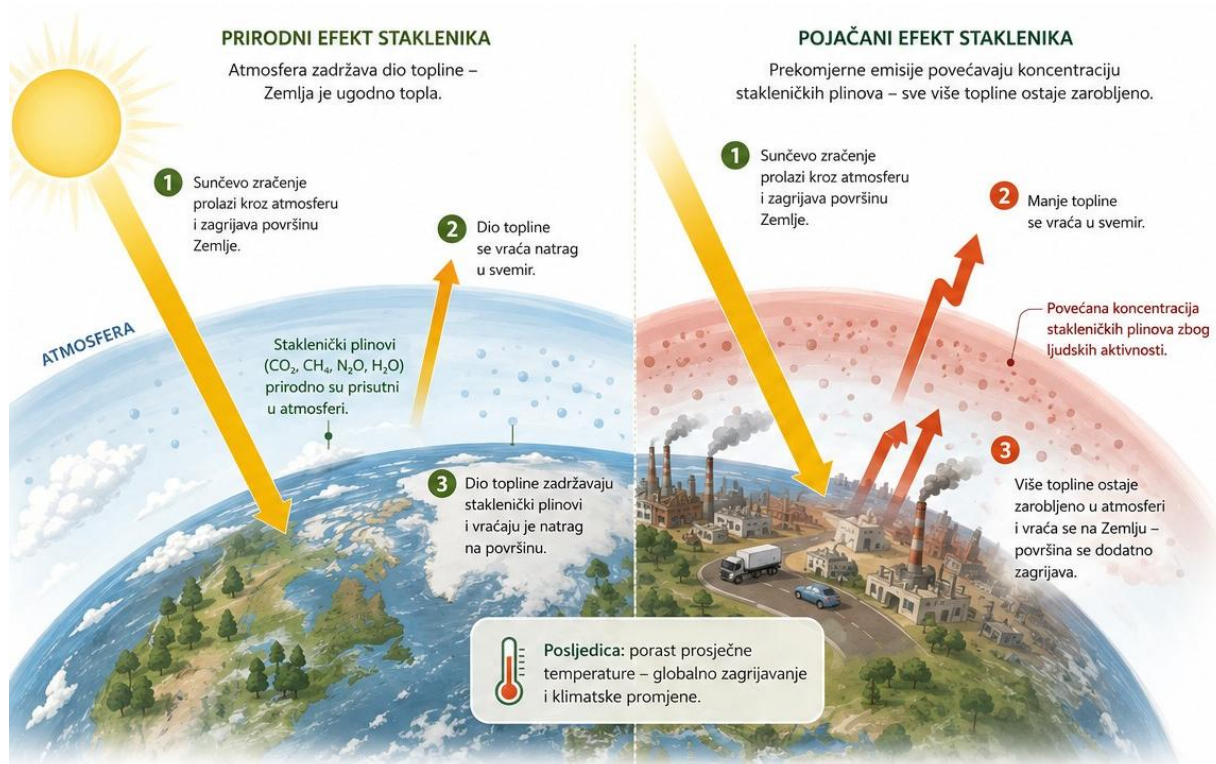
Većina stakleničkih plinova nastaje kao nusproizvod ljudskih aktivnosti poput sagorijevanja fosilnih goriva, industrijskih procesa, poljoprivrede i krčenja šuma. Dakle, jasan je odgovor na pitanje tko može utjecati na emisiju stakleničkih plinova.

Efekt staklenika je prirodni proces zagrijavanja Zemljine površine uzrokovan stakleničkim plinovima koji zadržavaju toplinu u atmosferi. Bez ovog efekta, prosječna bi temperatura na Zemlji bila 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 (svjetlosti). Dio se ove energije apsorbira 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 (topline). 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 toplota emitira u svemir te se ona zadržava na Zemlji (Slika 3).

Kao rezultat, atmosfera i površina Zemlje postaju topliji, stvarajući povoljnu klimu za život. Da nema efekta staklenika, temperatura bi na Zemlji bila - 73 °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.



Slika 3 Prikaz efekta staklenika (Alfa Kabinet, 2024)

Globalno je zagrijavanje prepoznato kao ozbiljan problem tijekom 90-ih godina prošlog stoljeća. Predstavnici brojnih država su 1997. u Kyotu postigli sporazum (Protokol iz Kyota) u svrhu 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 otpad je također i onaj materijal koji je nastao prilikom iskopavanja (rudarenja) sirovina kako bi se proizveo neki građevinski 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 građevnog 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 tehnologije koje smanjuju emisije CO₂ tijekom gradnje i upotrebe građevina.

LINEARNO I KRUŽNO GOSPODARSTVO

Linearno i kružno gospodarstvo su dva različita pristupa u upravljanju resursima, proizvodnjom i potrošnjom.

Klimatske promjene, gubitak bioraznolikosti i iscrpljivanje prirodnih resursa su izazvali globalnu krizu koja je dovela do onoga što neki znanstvenici smatraju novom geološkom erom: **antropocenom**¹. Ova situacija je velikim dijelom uzrokovana trenutnim modelom upravljanja resursima, proizvodnjom i potrošnjom, a taj se model naziva **linearnim gospodarstvom**. Takav 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 shematski prikazuje linearno gospodarstvo.

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



Slika 4 Dijagram linearnog gospodarstva

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

- **ekstrakciju** - vađenje sirovina iz prirodnog okoliša
- **proizvodnju** - proizvodnju proizvoda od sirovina
- **distribuciju** - 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 količina materijala u konačnici 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 linearnog gospodarstva sljedeći:

- 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 linearnom gospodarstvu, postoji model koji se naziva **kružno gospodarstvo**. Kružni model gospodarstva se zasniva na konceptu zatvorenog ciklusa u kojem 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 je kružnog gospodarstva 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. **maksimizaciju 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

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 se vrijeme često 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 umanjuju 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 raditi inženjeri i tehničari 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 malim utjecajem na okoliš.

Po pitanju vode, koja također nije neiscrpan resurs, trebali bi učinkovito 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.

Također bi trebali omogućiti kvalitetu unutarnjeg zraka projektiranjem sustava ventilacije i kontrole vlage te smanjiti građevni 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 minimizirala nužnost modernizacije ili rekonstrukcije. 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 je graditeljstvo ključni element u borbi protiv klimatskih promjena i u svrhu očuvanja resursa te sve više postaje standard u suvremenim građevinskim projektima diljem svijeta.

CILJEVI ODRŽIVOG RAZVOJA UN-a

Ciljevi održivog razvoja UN-a (Ciljevi SDG, engl. Sustainable Development Goals) predstavljaju skup od 17 globalnih ciljeva koje su Ujedinjeni narodi usvojili 2015. godine, s namjerom da se isti 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, zaštititi 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 - promovirati 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 učinkovite, 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 razlikuju linearno i kružno gospodarstvo?
6. Kako se može smanjiti upotreba vode u građevinama?

Istraži...

- Možete li na temelju grafičkog prikaza na Slici 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 linearni 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. razumjeti 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“, rečenica je 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 originalno nisu građene kako bi bile energetske učinkovite, klimatski neutralne ili 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 energetske učinkovitosti pojednostavljeno znači uporabiti manju količinu energije (energenata) za, primjerice, grijanje prostora zimi, hlađenje ljeti, rasvjetu, proizvodnju određenih proizvoda ili energiju 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 u 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 posvećuje sve više pažnje ovoj problematici.

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 se razvijao tijekom vremena kroz različite faze i uz pomoć raznih tehnologija, politika i praksi.

Energetska učinkovitost u zgradarstvu se odnosi 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 se mogu implementirati 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 energetske 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** - energetske učinkoviti prozori i vrata s dvostrukim ili trostrukim staklom te visokim izolacijskim svojstvima smanjuju toplinske gubitke.



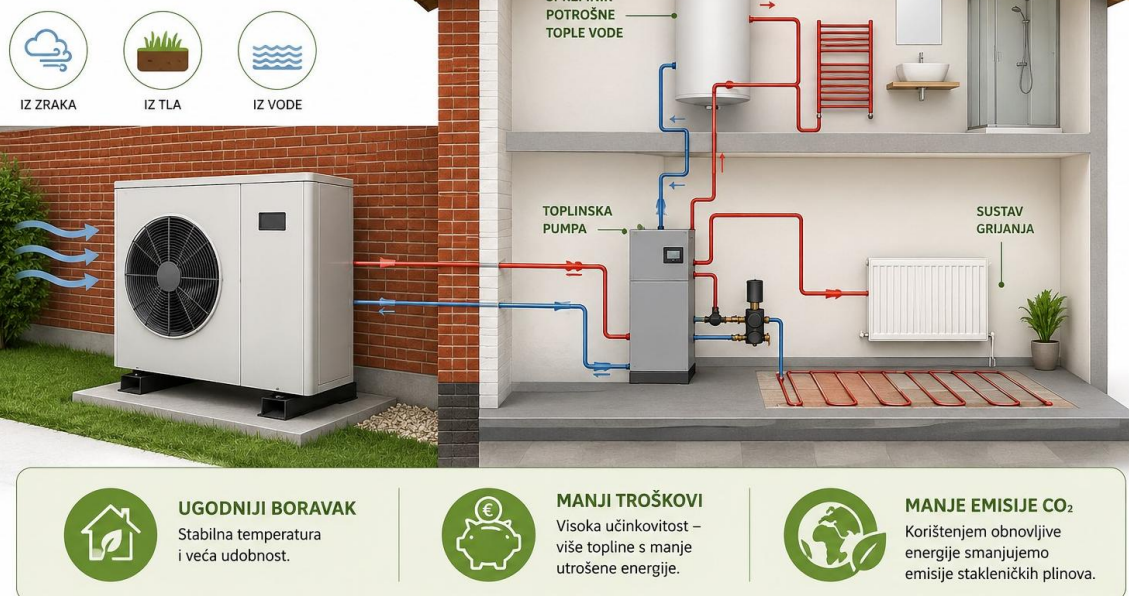
Slika 7 Primjer toplinske izolacije vanjskog zida zgrade

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 učinkovitost i udobnost (prilagođavanje temperature u pojedinim prostorijama).

TOPLINSKA PUMPA

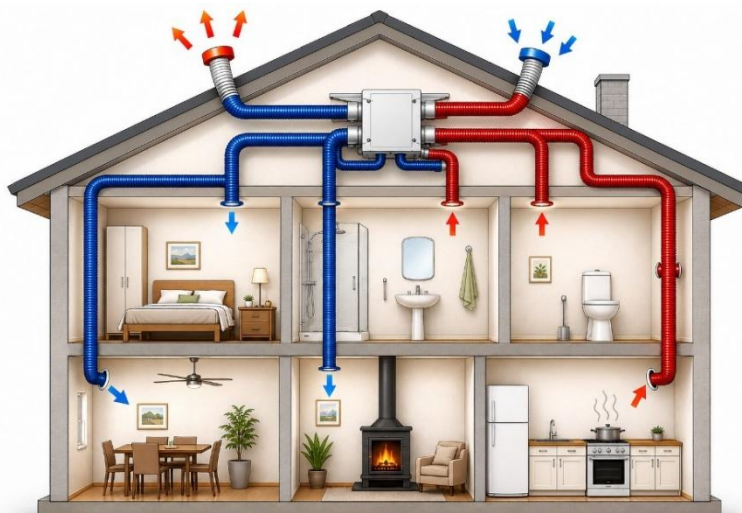
Toplinska pumpa koristi toplinu iz okoliša (zraka, tla ili vode) te je prenosi u unutrašnjost zgrade za grijanje i pripremu potrošne tople vode.



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

3. Ventilacija

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



Slika 9 Rekuperatori zraka; izmjena zraka bez gubitka energije

4. Rasvjeta i električni uređaji

- **LED rasvjeta** - korištenje LED rasvjetnih tijela koja troše manje energije i imaju dulji 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** - uređaji za kućanstvo s energetske učinkovitijom 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 toplinski sustavi** - sustavi koji koriste solarnu energiju za grijanje vode.



Slika 10 Primjer postavljenih solarnih panela na krov obiteljske kuće



Slika 11 Solarni kolektor bez tlaka u kolektoru za grijanje vode

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 energetske optimizirano arhitektonsko projektiranje

- **Zeleni krovovi i fasade** - zeleni krovovi i vertikalni vrtovi koji poboljšavaju izolacijska svojstva zgrade i smanjuju učinak urbanih toplinskih otoka.
- **Zgrade gotovo nulte energije** - zgrade koje maksimalno iskorištavaju prirodne izvore topline i svjetla te minimiziraju energetske gubitke.

8. Certifikati

- **Najpoznatiji međunarodni 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 okvir za održivost zgrada)

- **Passivhaus standard** - Njemački standard za pasivne kuće s vrlo malom potrošnjom energije.

U zgradama se troši oko **40 %** 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.

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Obnovljivi izvori energije koji su već ranije spomenuti 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 su:

1. Solarna energija

- **Fotonaponski paneli (PV)** - paneli koji pretvaraju sunčevu svjetlost izravno u električnu energiju.
- **Solarni toplinski 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 proizvodnju električne energije.

2. Energija vjetra

- **Kopnene vjetroturbine** - instalacije vjetroturbina na kopnu koje pretvaraju kinetičku energiju vjetra u električnu energiju.

- **Vjetroturbine u moru** - vjetroturbine smještene u moru, gdje su vjetrovi obično jači i trajniji nego na kopnu. Vjetroelektrane na moru i njihove pojedinačne vjetrenjače su mnogo veće od onih na kopnu.



Slika 1 Prikaz kopnenih vjetroturbina



Slika 2 Prikaz offshore vjetroturbine

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)

4. Geotermalna energija

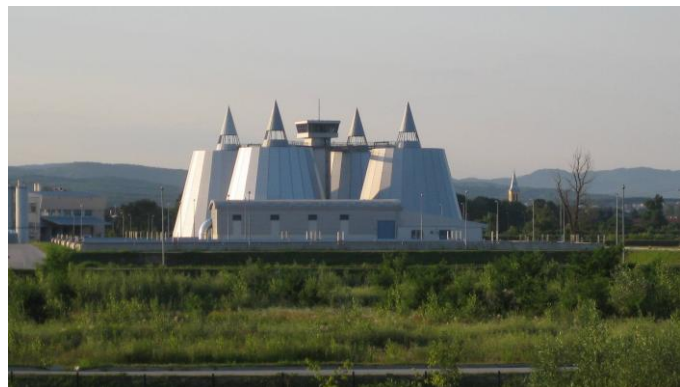
- **Geotermalne elektrane** - korištenje topline iz unutrašnjosti Zemlje za proizvodnju električne energije.
- **Geotermalni sustavi grijanja i hlađenja** - korištenje topline iz tla za grijanje zgrada zimi i hlađenje ljeti pomoću toplinskih pumpi.

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 prijevozu.

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 nedostatku kisika, proizvodeći bioplin koji se može koristiti za proizvodnju topline i električne energije (Slika 15).



Slika 15 Lijevo: Spalionica otpada Spittelau u Beču, dizajn: Friedensreich Hundertwasser i desno: postrojenje za anaerobnu digestiju pročišćivača otpadnih voda Zagreba (Izvor: Google Maps, 2010)

Prednosti obnovljivih izvora energije

- **Održivost** - neiscrpní izvori energije koji se obnavljaju prirodnim procesima.
- **Smanjenje emisija stakleničkih plinova** - značajno manje 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.
- **Veliki 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. Povrh toga, izazov je zbrinuti uređaje kojima je završio životni vijek.

NEOBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Neobnovljivi izvori energije su izvori koji se ne mogu obnoviti ili se obnavljaju izrazito 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 (CO_2) 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 CO_2 , sumpor-dioksida (SO_2), 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 CO_2 od nafte i ugljena, emisije metana (snažan staklenički plin) tijekom vađenja i prijevoza 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 CO_2 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 energetsku gustoću, što znači da se s malom količinom može proizvesti velika količina 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 projektirana 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 prijevozom 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 postoje li 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“



3. PAMETNI ZELENİ 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 je stanovništvo u stalnom porastu, a najveći rast nastaje upravo u gradovima. Početkom 20. stoljeća, u gradovima je živjelo tek 12,5 % ukupnog svjetskog stanovništva dok sada, stotinu 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 urbanizacijom. Urbanizacija je danas najintenzivnija u nerazvijenim zemljama i tzv. zemljama u razvoju u kojima brzorastući gradovi ne mogu svim stanovnicima pružiti kvalitetne i dostupne usluge (Slika 16). Razvijene se europske zemlje i zemlje Sjeverne Amerike suočavaju s drugačijim problemima; u gradovima koji su urbanizirani u proteklom stoljećima, sada postoji trend seljenja stanovništva u predgrađa ili suburbije što stavlja novi pritisak na gradske sustave prijevoza.

Dok urbanizacija i razvoj gradova imaju i pozitivne učinke kao što je npr. ekonomski rast, javlja se i niz negativnih efekata, odnosno procjenjuje se da gradovi trenutno utječu na 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 unaprjeđenja funkcioniranja gradova i poboljšanja kvalitete života njihovih stanovnika, a s obzirom na razvoj digitalizacije, razvijaju se ideje o tome kako bi gradovi trebali izgledati u budućnosti. Dva vrlo raširena koncepta koja posljednjih desetljeća prihvaća sve veći broj svjetskih gradova su koncepti pametnog i zelenog grada.



Slika 16 Negativni utjecaji na suvremene gradove

PAMETNI GRAD I NJEGOVI ELEMENTI

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

boljom kvalitetom života ljudi u gradu te uravnoteženijim 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):

- pametan promet
- pametna zajednica
- pametan okoliš
- pametna ekonomija
- pametna uprava
- pametni ljudi.

Pametan promet

Promet značajno negativno utječe na kvalitetu zraka i glavni je izvor buke u gradovima. Upravo zato većina gradova u taj sektor želi unijeti poboljšanja. Stoga 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 unaprjeđenje 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 pješačke staze kako bi se smanjio broj motoriziranih vozila na cestama.



Slika 17 Shema „Pametnog grada“

Pametna zajednica

Pametna grad ima organiziran i lako dostupan zdravstveni sustav i sustav brige za starije i druge ranjive skupine stanovništva. Građani se u njemu osjećaju sigurnim, a urbani se prostori i aktivnosti planiraju na način da omogućavaju mnogo kvalitetnih interakcija i obiluju kulturnim i drugim manifestacijama.

Pametan okoliš

Zaštita okoliša je još jedno područje kojem se u suvremenim gradovima posvećuje velika pozornost. Pametni gradovi nastoje organizirati održivo gospodarenje otpadom; razvijeni su sustavi odvajanja otpada te se stanovnike potiče da u tome aktivno sudjeluju. Promiče se smanjenje otpada kroz stimuliranje ponovne upotrebe, dijeljenja, doniranja te recikliranja. Pametni gradovi otpad često koriste u proizvodnji energije. Prioritet je prelazak na pretežitu ili potpunu upotrebu obnovljivih izvora energije kao što su snaga vjetrova, solarna i geotermalna energija. 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 se planiranje koristi analizama podataka kako bi uskladilo zahtjeve izgradnje i ekonomskog rasta s potrebama, navikama i željama stanovnika, smanjilo negativne utjecaje na okoliš te maksimaliziralo broj zelenih površina. Pametnim se planiranjem rasporeda djelatnosti, institucija i stanovanja unutar grada smanjuje vrijeme prijevoza, potrošnje goriva te zagađenja 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 na 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 velik broj obrazovnih ustanova na svim razinama obrazovanja. Pristupačno je i široko dostupno obrazovanje, dodatna usavršavanja i cjeloživotno učenje. Pametna grad ima komparativne prednosti kojima može privući visokospecijalizirane stručnjake za život i rad. Široke mogućnosti zapošljavanja omogućavaju svim stanovnicima dobar standard života.

ZELENI GRAD I NJEGOVE KARAKTERISTIKE

Zeleni grad ili kako ga se još naziva – održivi grad - je grad u kojem se pri njegovu planiranju i izgradnji prednost daje 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. godine², no neki su europski gradovi odredili taj cilj postići još u ovom desetljeću.

Ideja zelenog grada se zasniva 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 učinkovito sakupljanje kišnice
- „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 biciklima, rekreativno trčanje, šetnju ljubimaca, urbano vrtlarenje i sl.

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

Osim navedenog, zeleni gradovi provode i druge mjere održivosti kao što su: razvijanje učinkovitih sustava odvajanja otpada i njegovog 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 ciljeva pametnih gradova, poput Kopenhagena, Amsterdama, Osla, Toronta i drugih, svrstavaju ujedno i u zelene gradove.



Slika 18 Rješenja za neutraliziranje klimatskih promjena u gradovima

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 s 1,7 milijuna stanovnika, smatra se jednim od najnaprednijih pametnih gradova u Europi. Taj je grad, drugi po veličini u Španjolskoj, odredio čak 22 cilja (Slika 19) prema načelima pametnog zelenog grada. Budući da je Barcelona i turistički grad s bogatom kulturnom baštinom, osim osnovnih pametnih elemenata, uvode se i oni koji imaju za cilj učiniti ga i pametnom turističkom destinacijom. Informacijska i komunikacijska tehnologija se upotrebljava u kontroliranju posjeta turista pojedinim objektima te se tako smanjuju gužve. Barcelona je također opremljena senzorima 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).

1	Telekomunikacijske mreže		12	Aktivno građanstvo	
2	Urbana digitalna platforma		13	Transparentno i otvoreno upravljanje	
3	Pametni podaci		14	Barcelona na dlanu (digitalne usluge)	
4	Pametna javna rasvjeta		15	Pametno upravljanje otpadom	
5	Energetska učinkovitost		16	Pametno reguliranje	
6	Pametno upravljanje vodama		17	Pametne inovacije	
7	Pametna mobilnost		18	Zdravstvene i socijalne usluge	
8	Obnova i očuvanje prirode		19	Obrazovanje	
9	Urbana transformacija		20	Pametna turistička destinacija	
10	Pametno opremanje javnih prostora		21	Infrastruktura i logistika	
11	Urbana otpornost i prilagodba		22	Kultura, sport i slobodno vrijeme	

Slika 19 Program Barcelone kao pametnog grada

Helsinki

Finski grad 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 od prometa za 69 % 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 u Helsinkiju grijanje čini više od polovice emisija stakleničkih plinova, 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).

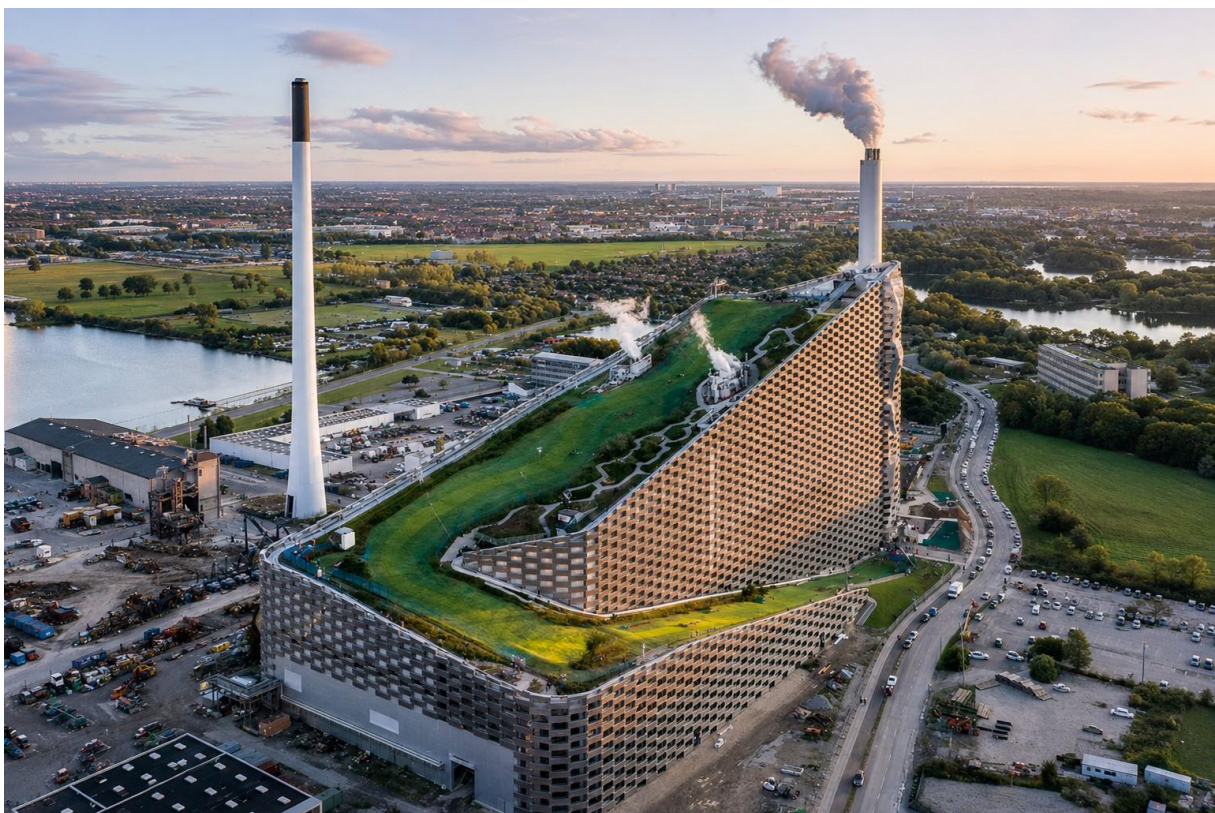
Osim toga, Helsinki, u kojem se još uvijek za grijanje djelomično koristi ugljen, postupno provodi prelazak na obnovljive izvore energije. Kako bi se ostvario taj cilj, Helsinki gradi toplinsku elektranu koja će koristiti spaljivanje otpada za proizvodnju toplinske energije, potiče ugradnju toplinskih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



Slika 20 Pametna prometna rješenja u Helsinkiju

Kopenhagen

Danski glavni grad Kopenhagen ide prema cilju postajanja prvim ugljično neutralnim gradom u svijetu. 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, (izgrađena 2011. godine) projektirana je tako da na svome krovu ima jednu od najduljih 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 služi i za rekreaciju, odnosno skijanje na travi (CopenHill, 2024)

ZAKLJUČAK

S obzirom na geografski položaj i teritorijalnu pripadnost, svaki grad ima jedinstvene značajke pa time i izazove s kojima se susreće. Europski gradovi imaju uravnoteženiji razvoj nego gradovi u nerazvijenijim dijelovima svijeta, no i ovdje postoji potreba za poboljšanjem funkcioniranja grada, osobito prometnih te energetske sustava. Mnogi europski gradovi su već približili ciljevima ugljične neutralnosti te time značajno doprinose smanjenju globalnog zatopljenja. Hrvatski se gradovi susreću sa specifičnim vrstama problema; pojavom depopulacije, ali i priljevom strane radne snage kojoj treba omogućiti kvalitetne uvjete života. Europa, pa tako i Hrvatska, počinje 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 čisteg i zdravijeg okoliša kao i pružanju boljih društvenih i gospodarskih mogućnosti svojim stanovnicima. U tome im suvremene tehnologije mogu uvelike pomoći.

Pitanja za ponavljanje:

1. Nabroji elemente pametnog grada.
2. Koje su karakteristike zelenog grada?
3. Što obuhvaća pojam pametan promet, a što pametan okoliš?
4. Nabroji pozitivne utjecaje zelenila u gradovima.

Istraži...

- Na internetu pronađi i analiziraj tri primjera pametnih gradova i pametnih rješenja kojima su ti gradovi unaprijedili funkcioniranje nekih od gradskih funkcija.
- Na internetu pronađi 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 koristi Helsinki i reci misliš li mogu li se provesti u gradu u kojem živiš?
- Razmisli i opiši koje se od mjera pametnog grada i zelenog grada primjenjuju u gradu u kojem živiš?

4. GOSPODARENJE OTPADOM

Autorica:

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

Ishodi učenja:

1. razlikovati pojmove uporaba, ponovna uporaba, recikliranje i zbrinjavanje.
2. razumjeti pojam gospodarenja otpadom
3. objasniti pojam hijerarhije gospodarenja otpadom
4. objasniti postupke gospodarenja otpadom
5. objasniti pojmove energetske i mehaničke uporabe otpada
6. uvidjeti negativnosti zbrinjavanja otpada na odlagalištima
7. objasniti pojam Centra za gospodarenje otpadom.

UVOD

Gospodarenje otpadom predstavlja djelatnosti sakupljanja, prijevoza, razvrstavanja, uporabe, recikliranja 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, građevni otpad se sastoji 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 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

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

- **opasni otpad** – otpad koji ima 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 s 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 sljedeći postupci gospodarenja otpadom: sprječavanje 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

Sprječavanje 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 sprječavanje njegova nastanka. Sprječavanje 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.

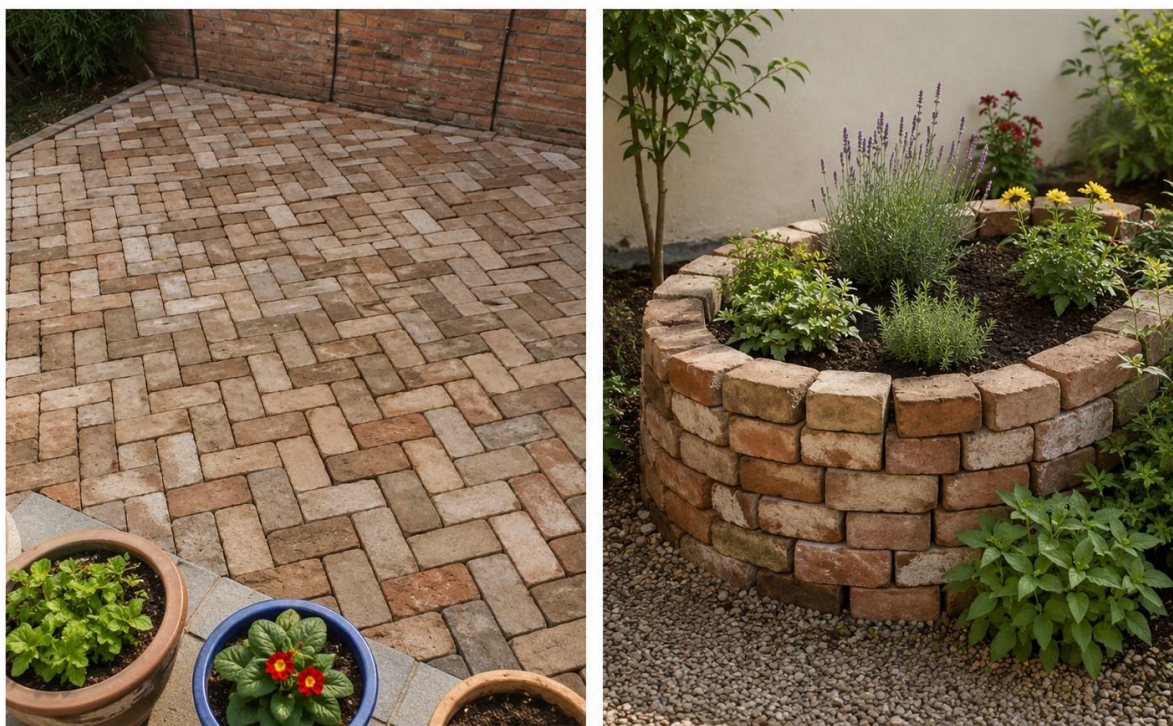
Sprječavanje nastanka otpada se može postići, primjerice (European Union, 2006):

- 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
- planiranjem pri projektiranju racionalne potrošnje materijala uz minimiziranje ostataka materijala
- odabirom proizvoda koji se mogu bez oštećenja demontirati i ponovno iskoristiti
- davanjem prednosti pri odabiru materijala onima koji imaju bolje mogućnosti recikliranja i manje su opasni po okoliš.

Ponovna uporaba

Ponovna uporaba otpada je postupak gospodarenja otpadom kojim se proizvod ponovno koristi u istu svrhu. Neke vrste građevnog 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 zamjena elemenata. Ako je primjenjiva, ponovna upotreba je po okoliš i ljudsko zdravlje vrlo prihvatljiva jer, u odnosu na druge metode niže hijerarhije, 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 opoločenje dvorišta ili za izradu povišenih gredica

Oporaba

Oporaba predstavlja 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.

Oporaba otpada s obzirom na tehnologiju koja se primjenjuje može biti: materijalna, mehanička, toplinska, kemijska i energetska oporaba te

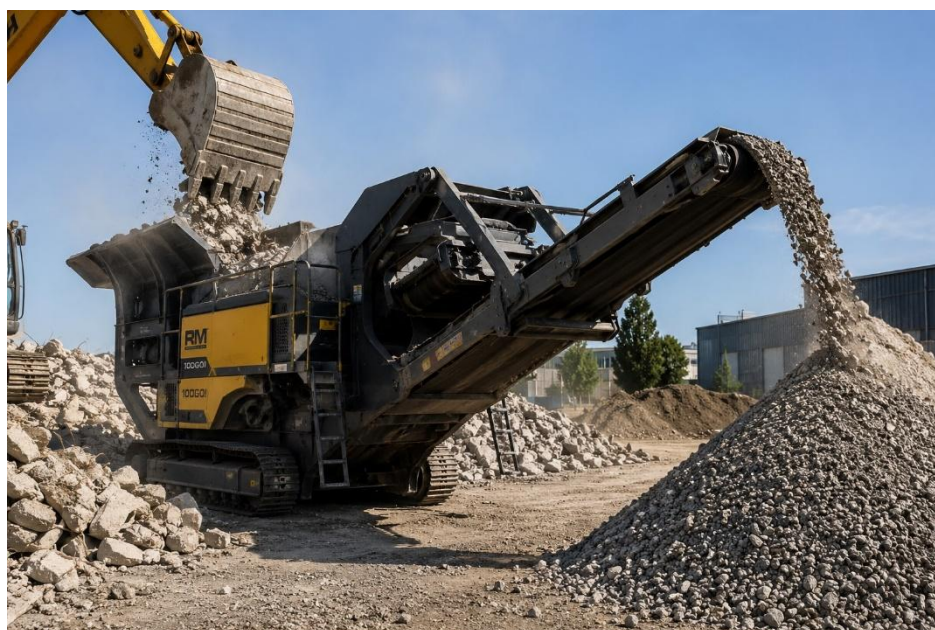
biorazgradnja. Na građevni otpad se u najvećoj mjeri primjenjuje materijalna, mehanička i energetska uporaba.



Slika 6 Oporaba građevnog otpada preradom u reciklirani granulirani agregat za ponovnu primjenu u graditeljstvu

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

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



Slika 7 Drobilica betona na gradilištu

Energetska oporaba je postupak termičke obrade 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 prihvaćena u tolikoj mjeri. 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 ispuštale su u atmosferu veće količine štetnih spojeva (*dioksini* 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 (engl. **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 proizveden iz uljane repice

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

Recikliranje

Recikliranje je 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.

Recikliranje građevnog otpada je, zbog njegova heterogenog sastava, složeniji postupak od recikliranja otpada kućanstava. Preduvjet uspješnog recikliranja su čisti izdvojeni materijali bez drugih dodataka (boja, lakova, veziva i sl.). Da bi se to postiglo, potrebno je provoditi učinkovite 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 građevni otpad dalje sortira u reciklažnom postrojenju. Postupci koji se tamo provode su sljedeći:

- 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.

Zbrinjavanje

Zbrinjavanje je svaki postupak koji nije uporaba, 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 (primjerice azbest) i spaljivanje.

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 dijele se u 3 kategorije:

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

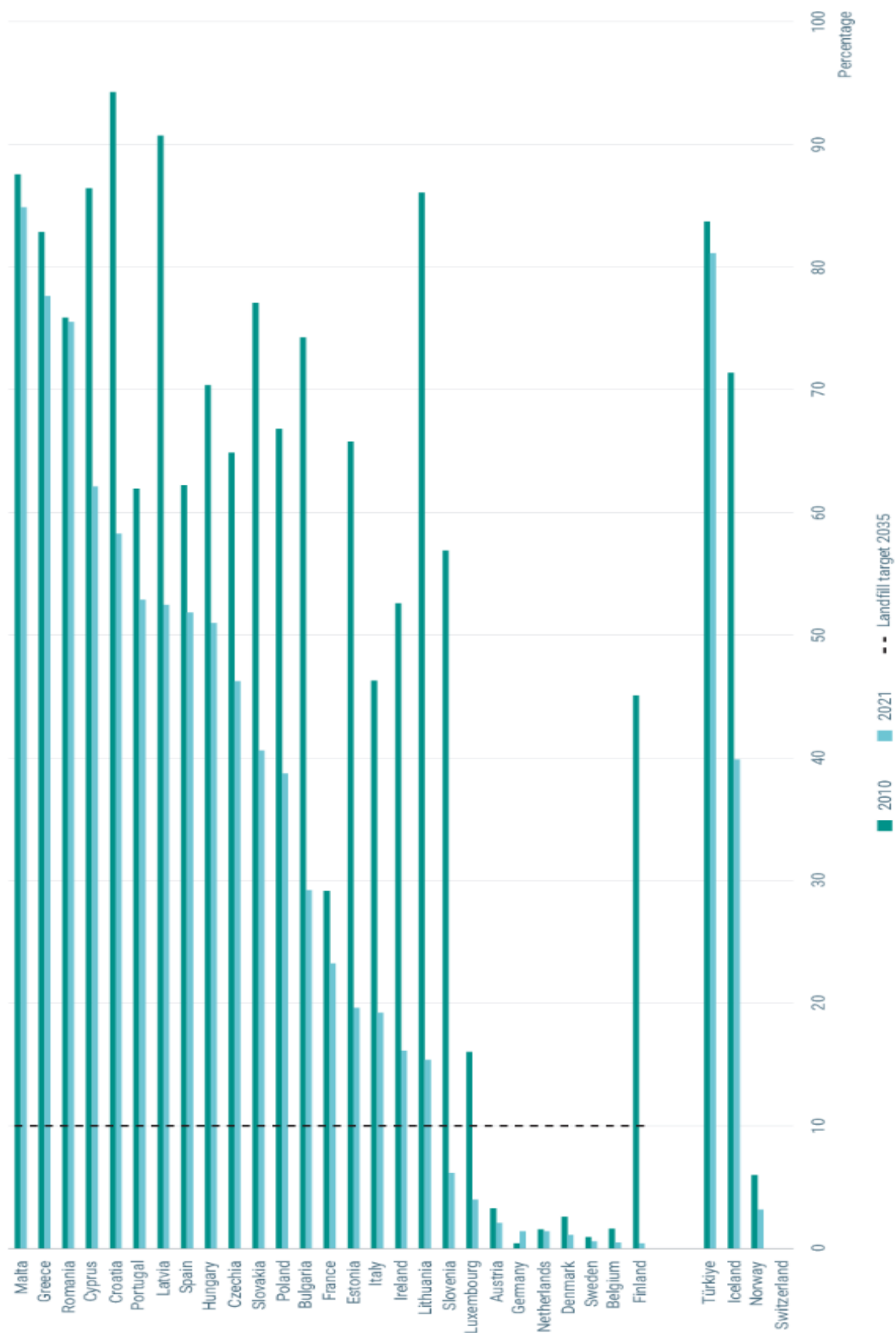
Budući da je građevni otpad heterogen te djelomično sadrži i neopasni i inertni, ali i opasni otpad, svaku od te vrste otpada potrebno je razdvojiti i odložiti na vrstu odlagališta primjerenu upravo toj vrsti otpada. Iako se na

odlagalištima otpada danas primjenjuju mjere zaštite okoliša ona su i nadalje veliki onečišćivači. Zbog toga sve europske zemlje idu k cilju smanjenja odnosno potpunog prekida sa praksom odlaganja otpada na odlagalištima (engl. **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 više od 90 % otpada, što je bilo najviše u odnosu na ostale zemlje. Do 2021. godine se situacija popravila te je tada taj udio bio nešto manji od 60 %. Zemlje koje su 2021. godine na odlagalište odlagala najmanje otpada su Njemačka, Švedska, Belgija i Finska s manje od 3 %. Švedska je primjer zemlje koja 99 % otpada ponovno oporabljuje: 47 % otpada se reciklira dok se 52 % energetsom oporabom pretvara u energiju.

TOK OTPADA

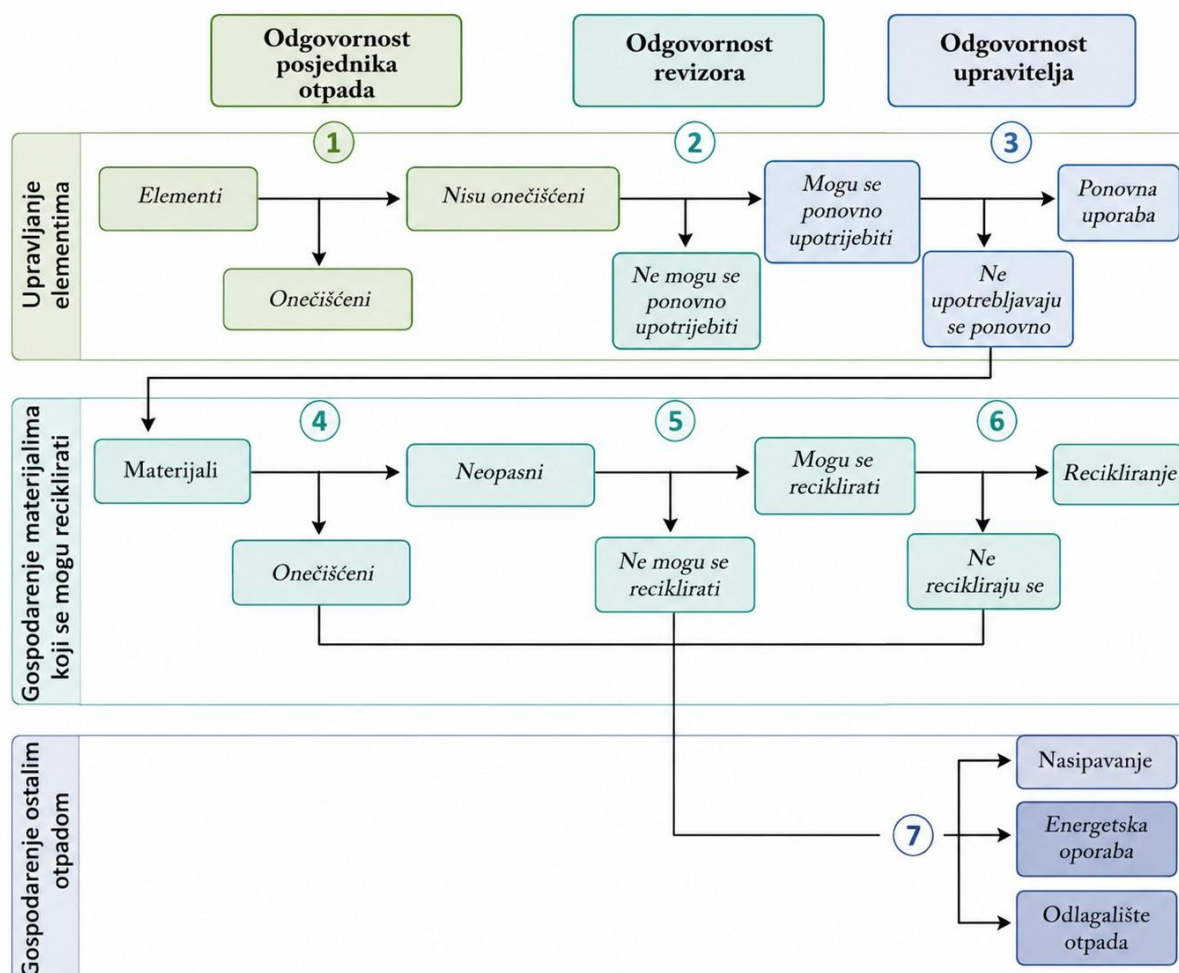
Gospodarenje otpadom zasniva se na sljedećim načelima:

- **načelo onečišćivač plaća** – proizvođač otpada odnosno vlasnik otpada snosi troškove gospodarenja otpadom
- **načelo blizine** – obrada otpada mora se obavljati u najbližoj odgovarajućoj građevini ili uređaju u odnosu na mjesto nastanka otpada
- **načelo samodostatnosti** – gospodarenje otpadom trebalo bi se provoditi u zemlji nastanka koja bi ga trebala zbrinuti na okolišno prihvatljiv način
- **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 slijede jedan iza drugoga. Navedeno se naziva tokom građevnog otpada, a on jasno pokazuje slijed, postupke i odgovornosti sudionika u svakoj njegovoj fazi.



Slika 10 Tok građevnog otpada

GOSPODARENJE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ

Hrvatska je ulaskom u EU preuzela obvezu zbrinjavanja otpada sukladno europskoj Direktivi o otpadu. Slijedom toga je donesen 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 jedanaest Centara,

do sada je stavljeno u funkciju samo njih dva: Marišćina u Primorsko-goranskoj i Kaštijun u Istarskoj županiji.

Centri za gospodarenje otpadom su postrojenja za obradu otpada u kojima 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:

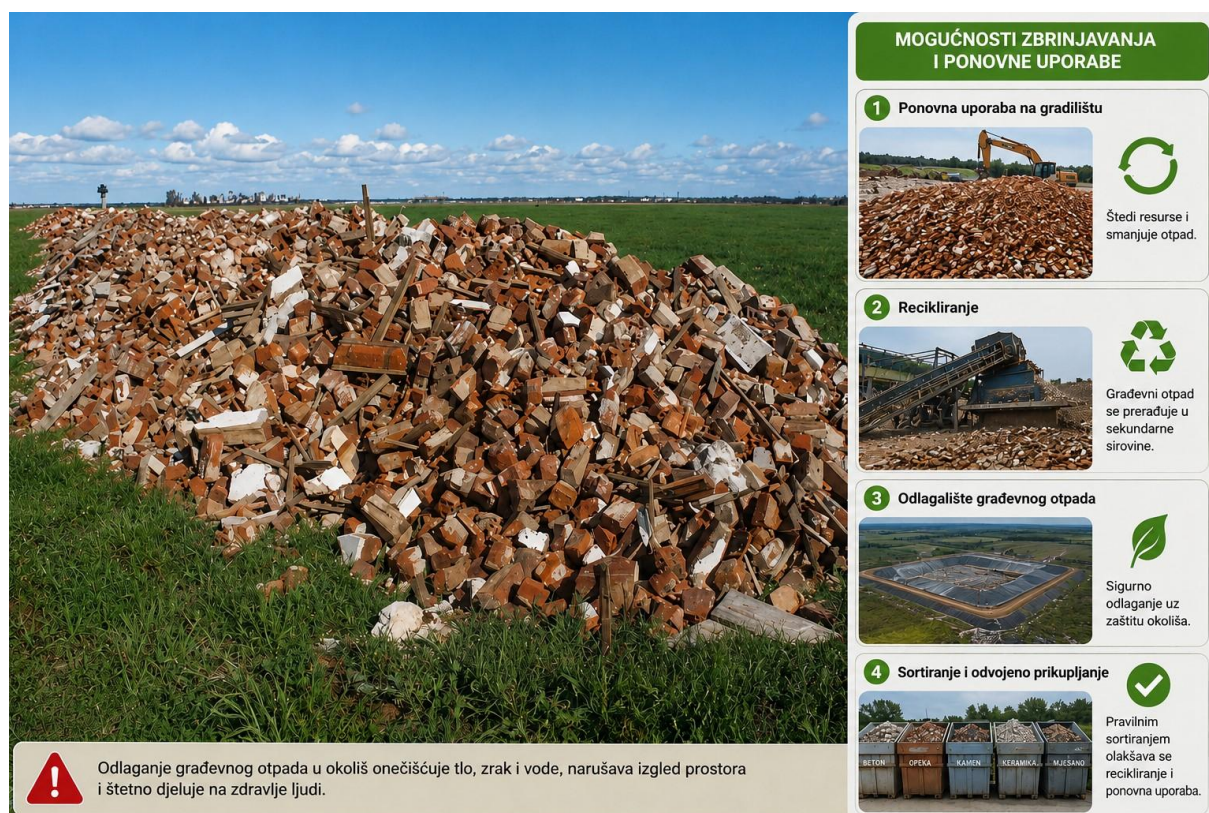
- **reciklažna dvorišta** - nadzirani ograđeni prostori namijenjeni odvojenom prikupljanju i privremenom skladištenju manjih količina opasnog komunalnog otpada, reciklabilnog komunalnog otpada i drugih vrsta otpada
- **reciklažna dvorišta za građevni otpad** - građevina namijenjena razvrstavanju, mehaničkoj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



Slika 11 Centar za gospodarenje otpadom Kaštijun u Istarskoj županiji

U Centru za gospodarenje otpadom obavljaju se 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 12 Nerazvrstani građevni otpad odložen u okoliš i mogućnosti njegova zbrinjavanja i uporabe

S obzirom da navedeni cjeloviti sustav gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj još nije uveden, najveći dio otpada odlaže se na 88 službenih odlagališta. Problem je postao veći nakon serija potresa na Banovini, Zagrebu i okolici, kada je u kratkom vremenu nastala velika količina građevnog otpada. Pritisci na okoliš zbog nastanka građevnog otpada postoje i u priobalnom području gdje je izgradnja vrlo intenzivna, a time je i količina građevnog otpada koji nastaje velika. U 2022. godini, ukupna količina odloženog otpada porasla je za 8 % u odnosu na prethodnu godinu,

te je iznosila 1.717.898 tona. Navedeni podaci ukazuju na porast količine odloženog otpada u posljednje tri godine iako je Hrvatska, kao i sve članice EU preuzela obvezu do 2035. godine smanjiti odlaganje komunalnog otpada za 10 %. Iako se broj ilegalnih odlagališta otpada u posljednjih 20 godina značajno smanjio, u Hrvatskoj ona još uvijek postoje kao i praksa odlaganja otpada u okoliš.

ZAKLJUČAK

Cilj gospodarenja otpadom je što više smanjiti količine otpada koje se deponiraju na odlagalištima, a povećati njegovu ponovnu uporabu. Da bi se to postiglo, nužno se voditi **načelima kružnog gospodarenja otpadom**. Građevni 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, ako se građevni 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 građevnim 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, projekatara 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 proizvodu, uvjetovanje izdavanja građevinske dozvole ispunjavanjem propisane razine ekološkog otiska zgrade i snažniji mehanizmi sprječavanja nezakonitog odlaganja građevnog otpada. Kvalitetu recikliranog materijala mogu jamčiti propisani postupci kontrole i certificiranja.

Osim što je cilj Europske unije pa tako i Republike Hrvatske što više otpada obraditi i upotrijebiti, potrebno je unaprijediti i načine obrade otpada. 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 odživih 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 povećati i 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 sprječavanja 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 građevnim otpadom i otpadom od rušenja“, European Commission, 2016., te analiziraj jedan od primjera dobre prakse koji su navedeni u tom dokumentu.
- Istraži mogućnost i pronadi 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. – 2021. g. Poredaj zemlje od one koja je postigla najveći napredak do one koja je najmanje napredovala.

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 oporabe građevnog otpada.

UVOD

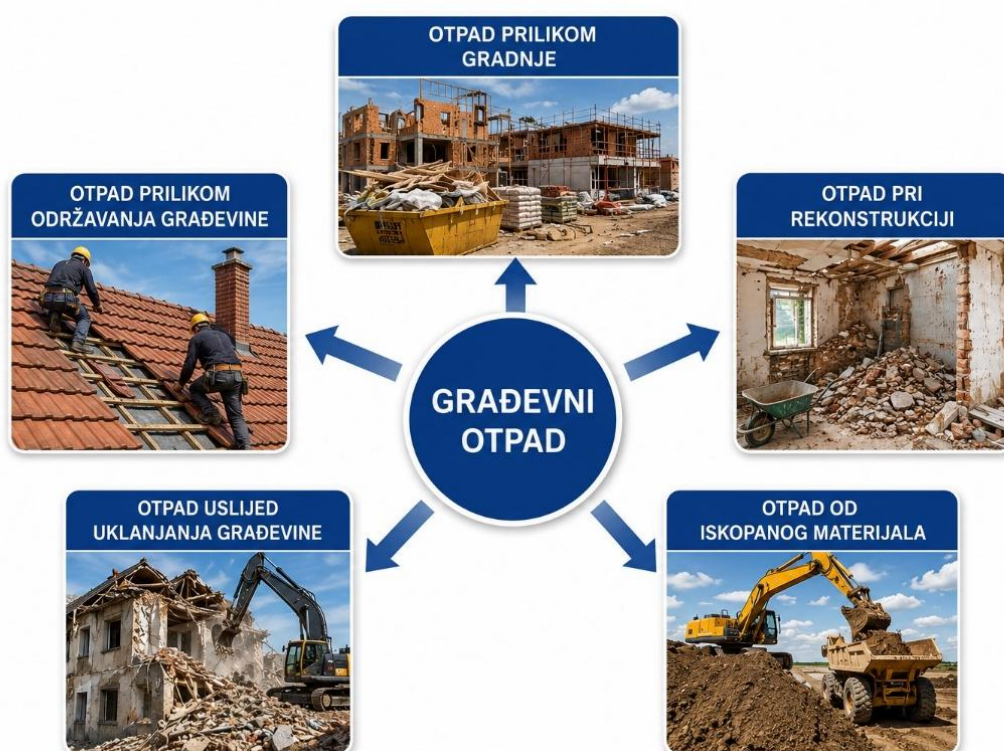
Graditeljstvo kao djelatnost je veliki potrošač materijala i sirovina, ali i jedan od najvećih proizvođača otpada. Procjenjuje se da oko trećine ukupnog otpada koji nastaje u Europskoj Uniji čini otpad koji nastaje u graditeljstvu te ta djelatnost uzrokuje značajne emisije stakleničkih plinova. (Europska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

Građevni otpad čini oko 24 % ukupnog otpada u Republici Hrvatskoj. 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 za 50 % do 2030. godine, a sve se više teži i postizanju cilja „nultog“ otpada. Stoga je važno znati koje je komponente građevnog otpada moguće oporabiti i reciklirati i na koji način.

ŠTO JE GRAĐEVNI OTPAD?

Pravilnikom o gospodarenju građevnim otpadom (NN 38/2008), građevni otpad se definira 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 se vrste otpada smatraju građevnim otpadom.



Slika 13 Vrste građevnog otpada

VRSTE GRAĐEVNOG OTPADA

Građevni se otpad može podijeliti na:

- zemlju, 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 se otpad koji nastaje prilikom iskopa i zemljanih radova 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 upotrijebljenog 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, građevni 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 građevnog otpada nastalog od rušenja budući da je imao raširenu upotrebu u građevinarstvu 20. stoljeća (pokrov). Pri rukovanju, skladištenju te prijevozu tog materijala, potrebno je poduzeti posebne zaštitne mjere kako ne bi došlo do rasipanja čestica azbesta.

GOSPODARENJE GRAĐEVNIM OTPADOM

Sav nastali građevni otpad je potrebno 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 je moguće oporabiti i reciklirati. Oporabom se otpad koristi kao sirovina za nove materijale ili kao energent. Recikliranje, kao dio oporabe, predstavlja upotrebu materijala da bi se dobila sirovina, ali ne i energent. Prilikom rušenja starih građevina, otpadni betonski materijal se može reciklirati na način da se samelje i ponovno koristi kao agregat ili materijal za nasipavanje. Gips-kartonske ploče se mogu reciklirati i, u sklopu prerade, postati sirovina za izradu novih gips-

kartonskih ploča. Reciklirana opeka se može 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 imati 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

Zakon o gradnji (NN 155/25) definira osam temeljnih zahtjeva na osnovi kojih se svaka građevina mora projektirati, izvesti ili ukloniti.

Temeljni zahtjev Održive uporabe prirodnih izvora definira da građevina i njezini dijelovi moraju biti projektirani, izgrađeni, upotrijebljeni, održavani i rastavljeni ili uklonjeni tako da tijekom životnog ciklusa upotreba prirodnih izvora bude održiva i osigurava:

1. što veće povećanje resursno učinkovite uporabe sirovina i sekundarnih materijala visoke okolišne održivosti
2. što veće smanjenje ukupne količine upotrijebljenih sirovina
3. što veće smanjenje ukupne količine ugrađene energije
4. što veće smanjenje nastalog otpada
5. što veće smanjenje ukupne uporabe vode namijenjene za ljudsku potrošnju i sanitarne vode
6. što veće povećanje ponovne uporabe ili mogućnosti recikliranja građevine, djelomično ili u cijelosti, te njezinih materijala nakon rastavljanja ili uklanjanja i
7. jednostavnost rastavljanja.

Dakle, Zakonom se jasno definiraju osnove gospodarenja građevnim otpadom i one se temelje na ponovnoj uporabi i recikliranju građevnog otpada.

Oporaba građevnog otpada u ekološkom smislu 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.

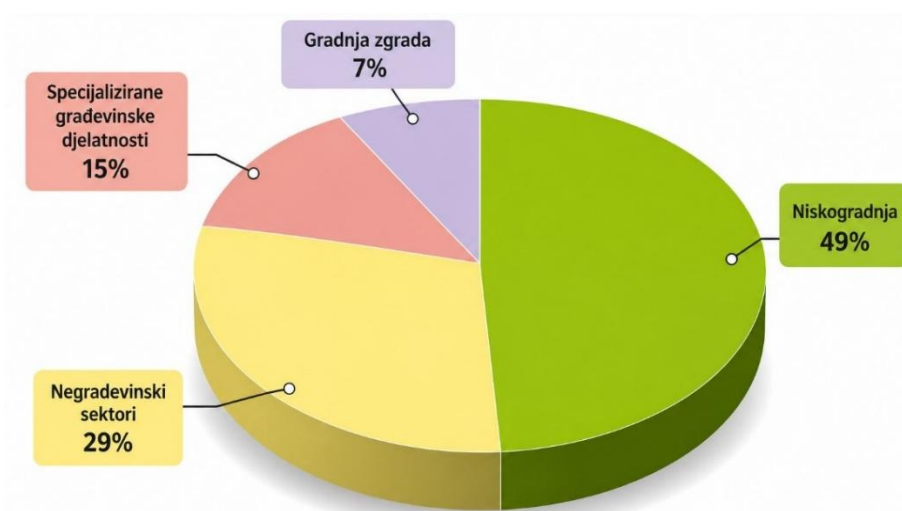
UDIO GRAĐEVNOG OTPADA U UKUPNOM OTPADU

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. Na povećanje građevnog otpada su utjecali potresi u Petrinji i Zagrebu 2020. godine. Prema procjeni Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja iz 2020. godine, ukupna količina otpada u 2020. godini 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 se otpad u Republici Hrvatskoj kategorizira i grupira u Katalogu otpada, sukladno Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23).

Prema Pravilniku o gospodarenju otpadom (NN 106/22, 138/24, 108/25), građevni se otpad označava ključnim brojem 17 koji je podijeljen u 9 podgrupa kao što je prikazano u tablici 2.

Svaka podgrupa dalje definira vrstu i svojstva otpada.

Inertni je otpad onaj 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 se otpad ne otapa, ne gori, ne zagađuje okoliš kemijskim reakcijama i ne utječe na zdravlje ljudi.

Tablica 2 Grupa građevnog otpada s podgrupama

KOD	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

Opasni građevni otpad predstavlja otpad koji može utjecati na zdravlje ljudi i onečišćenje okoliša. U takav se otpad ubrajaju onečišćeno tlo, jaružni mulj, materijali i tvari koje mogu sadržavati ljepljiva, 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 GRAĐEVNOG OTPADA



REGULATIVA

- Zakon o gradnji (NN 155/25)
- Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23)
- Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 106/22, 138/24, 108/25)

Pitanja za ponavljanje

1. Koje se vrste otpada smatraju građevnim otpadom?
2. Što je oporaba?
3. Kakav je to inertni otpad?
4. Kojim se ključnim brojem označava građevni otpad?
5. Objasni što znači gospodarenje otpadom.
6. Koje su prednosti uporabe otpada?
7. Kako se može reciklirati opeka?
8. Objasni 8. 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. imenovati osnovne materijale koji se mogu reciklirati iz područja građevinarstva
2. razlikovati reciklirane materijale i njihova svojstva
3. opisati postupak recikliranja pojedinih materijala
4. navesti ulogu recikliranja u graditeljstvu
5. navesti primjere upotrebe recikliranih materijala u građevinarstvu.

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 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 proizvesti ekološki podobne građevinske materijale koji moraju imati izvanredna svojstva i biti otporni na atmosferske utjecaje.

Istraživanja ubrzano napreduju pa se od građevnog otpada već proizvode razni trajniji i jeftiniji građevinski materijali od onih 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 tek 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 se više zemalja zakonski obvezuje na primjenu održivih građevinskih materijala, a novi se standardi, koji uključuju i napredne građevinske tehnike, ne odnose 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

Kako je ranije navedeno, u Hrvatskoj udio otpada od građevinskog sektora u ukupnom otpadu iznosi 23,8 %.

Kao pozitivan 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. Pri Gospodarenju otpadom u Sisačko – moslavačkoj županiji u 2021. godini, 284.089 t mineralnog građevnog otpada nastalog kao posljedica potresa nije klasificirano kao otpad za odlaganje nego je odgovarajuće pripremljeno, obrađeno i dalje iskorišteno u građevinske i druge svrhe. Ukupna količina otpada koji se može dovesti u vezu sa zagrebačkim potresom iz 2020. i 2021. godine, procjenjuje se na približno 62.000 tona.

Doneseni su dokumenti i propisi kojima se reguliraju pitanja obnove 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. Na primjeru Danske se može naučiti kako riješiti problem recikliranja građevnog otpada. Do 1984. godine, Danska je reciklirala samo 11 % građevnog otpada. Nezadovoljni učinkom, 1987. su godine uveli "porez na otpad" te se od tada udio recikliranog građevnog otpada iz godine u godinu povećavao da bi do 2004. godine Danska reciklirala čak 94 % građevnog otpada (Danska agencija za zaštitu okoliša, 2004.).

VAŽNOST RECIKLIRANJA GRAĐEVINSKIH MATERIJALA

Velika je eksploatacija sirovina kao što su kamen, pijesak i željezo diljem svijeta i u velikim količinama kako bi se zadovoljile potrebe tržišta. S druge strane, na gradilištu nastaju velike količine građevnog 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. Recikliranje smanjuje stvaranje divljih odlagališta, ali i troškova izgradnje, no, za ispravno je upravljanje procesom recikliranja nužan učinkovit sustav zbrinjavanja i prikupljanja građevinskog materijala.

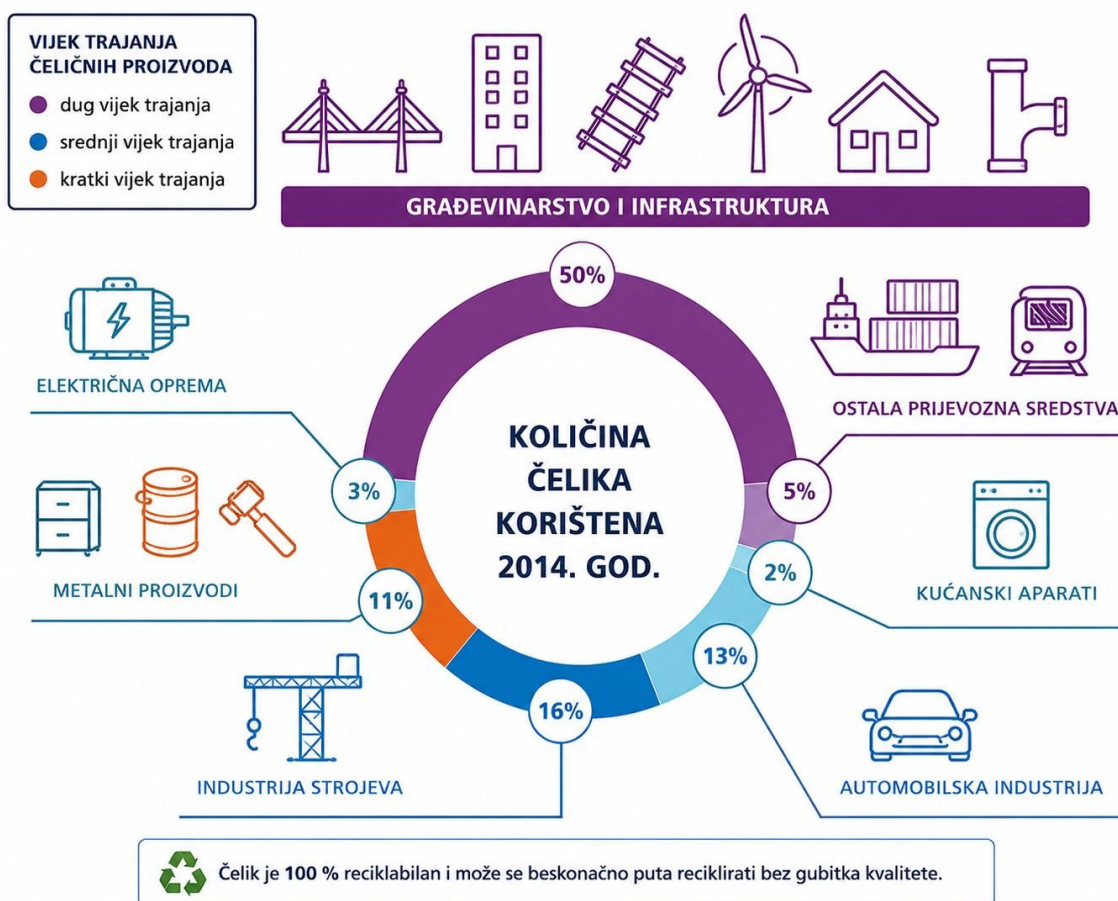
ČELIK

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, sudeći po

predviđenoj količini eksploatacije, istrošiti u idućih 170 godina. Značaj čeličnog otpada sve više raste jer se lako prerađuje u čelik, a na taj se način štede energija i sirovine za buduće generacije.

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 čeličanicama i ljevanih željeza u ljevaonicama.

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



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

Najkvalitetniji je otpad upravo 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 dvije trećine gotovih čeličnih proizvoda vrati u ciklus (recikliranje) nakon što su bili u uporabi tijekom 20 godina, dok se gubitak od oko jedne trećine uglavnom događa zbog korozije čelika.

BETON

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

Za recikliranje čvrstog betona se koristi posebna drobilica 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 ga bilo ponovno moći iskoristiti (stari prozori, vrata, drvene podne obloge).

Drvo tretirano kemijskim sredstvima u svrhu zaštite, predstavlja opasnost prilikom recikliranja zbog kemikalija koje su opasne ili otrovne za okoliš i čovjeka. Najčešće se takvo drvo spaljuje pri čemu se dobiva toplinska energija uz kontrolu emisije plinova. Oporaba kemijski tretiranog drva moguća je i nakon postupka utekućivanja, prilikom kojeg se odvajaju kemijski opasne i otrovne tvari. Takvo drvo se tada može oporabiti u

produkciji izolacijskih materijala, iverice, materijala za stabilizaciju tla i slično.

Mekše drvo, koje je često jeftinije, također se može reciklirati i često se koristi za izradu raznih ploča primjerice MDF ili - OSB ploča (ploča napravljenih od drvenih vlakana ili izduženih komadića drveta koje se sjedinjuju sintetičkim ljepilom i spajaju pod pritiskom i velikom temperaturom).



Slika 17 Usitnjavanje i separacija materijala

Netretirano se drvo koristi kao gorivo ili malč (usitnjena drvena građa koja se koristi u poljoprivredi kako bi se zaštitilo tlo na kojem rastu poljoprivredne kulture od utjecaja sunčevih zraka na površinu tla, vjetra koji raznosi suhu površinu i kiše koja razara strukturu tla i ispiru humus).

STAKLO

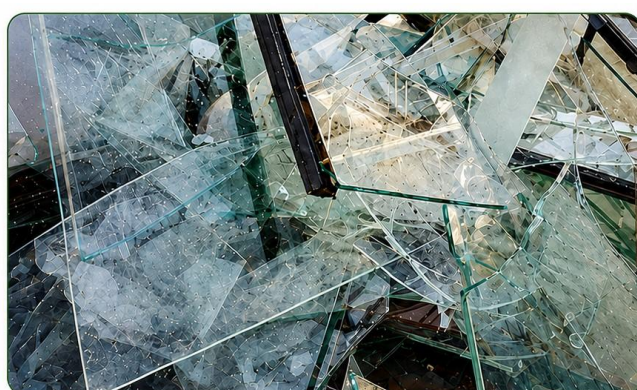
Staklo je gotovo idealan materijal za recikliranje jer se može skoro beskonačno puta reciklirati i koristiti. Korištenje recikliranog stakla

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 se od jedne tone otpadnog stakla, uz dodatak energije, dobiva jedna tona novih staklenki.

Iako staklene boce prolaze kroz uobičajen proces reciklaže, reciklaža prozorskog stakla suočava se 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.



ŠTO JE OTPADNO STAKLO?

Otpadno staklo nastaje pri rušenju, obnovi i gradnji objekata, te u proizvodnim procesima. Može se višekratno reciklirati bez gubitka kvalitete.

VRSTE OTPADNOG STAKLA



PROZORSKO
STAKLO



AMBALAŽNO
STAKLO



STAKLO U BOJI



MIJEŠANO
STAKLO

PRIMJERI IZVORA



PROZORI
I STAKLENE
STIJENE



STAKLENA
AMBALAŽA



STAKLENA
VRATA I TUŠ
KABINE



LABORATORIJSKO
STAKLO



STAKLENI
PANELI

RECIKLIRANJE I OPORABA



PRIKUPLJANJE
I TRANSPORT



SORTIRANJE
I ČIŠĆENJE



USITNJAVANJE



TOPLJENJE



NOVI STAKLENI
PROIZVODI



STAKLO SE 100 % RECIKLIRA

Recikliranjem stakla štedi se energija, smanjuje eksploatacija sirovina i smanjuje količina otpada na odlagalištima.

Slika 18 Otpadno staklo

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.

POLIMERI

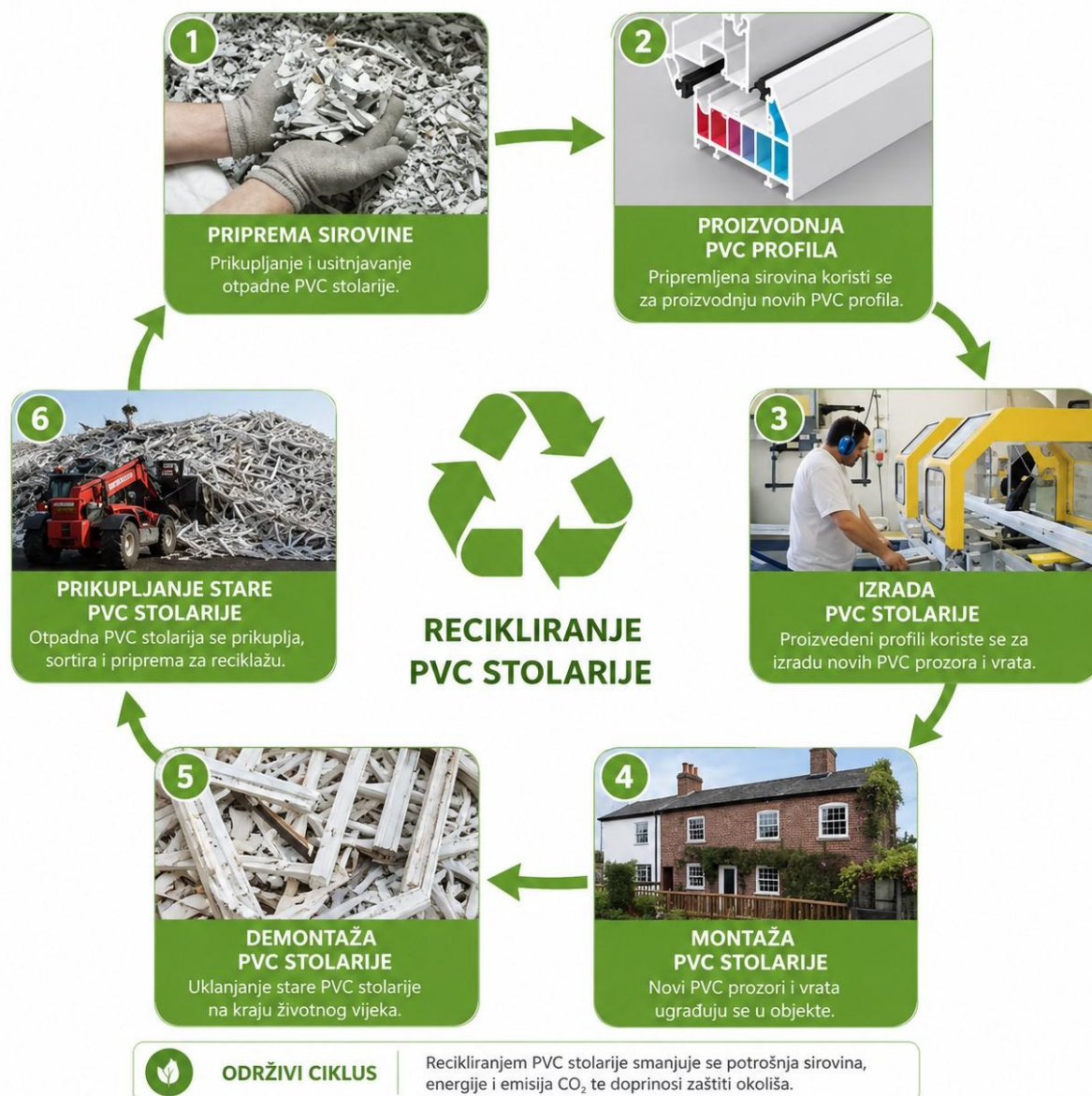
Danas se u svijetu reciklira otprilike 18 % plastike što je malo, ali ipak predstavlja veliki pomak jer osamdesetih godina prošlog stoljeća recikliranje kao takvo uopće nije ni postojalo. Najčešće se recikliraju plastične boce, ali postoje plastični proizvodi (poput slamki) kod kojih to nije moguće.

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. Polimerni materijali koji se koriste u građevinarstvu pripadaju kategoriji materijala koji se vrlo teško recikliraju.

Jedan od najpopularnijih materijala iz ove kategorije je polivinil klorid, odnosno PVC koji se većinom nalazi u stolariji. Samo se 5 % PVC-a reciklira, a to uključuje 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 polimerne granule u postrojenjima za preradu.

Stari se prozori drobe u drobilici te se, pomoću sustava sortiranja, strani materijali (staklo, spojnice, brtve i ostaci zida) odvajaju od PVC-a, a samljeveni se materijal 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

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

GIPS-KARTONSKE PLOČE

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



Slika 20 Otpadni gips

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

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

Na osnovi se tih istraživanja moglo 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 trebalo bi konstantno kontrolirati mljevenje i

termičku obradu otpadnog gipsa kako bi se održala kvaliteta recikliranog materijala.



Slika 21 Strojevi za proces recikliranja gipsa

OPEKA

Jedan je od načina ponovne upotrebe opeke dobivene rušenjem neke građevine da se pažljivim rušenjem građevine odvajaju odgovarajući komadi opeke te se, očišćeni od morta, ponovno upotrebljavaju za istu namjenu. Drugi način upotrebe opeke je drobljenje u sitnije komade i korištenje kao recikliranog agregata.



Slika 22 Ponovna upotreba i recikliranje opeke (Ivana Kesegić, 2008)

Tako dobiven reciklirani agregat se može upotrijebiti u proizvodnji novih betonskih mješavina s osjetno smanjenim negativnim utjecajem na okoliš. U ukupnoj količini otpada nastalog rušenjem stambenih građevina, otprilike 35 % čini opeka te bi je trebalo iskoristiti i ukloniti iz ukupnog otpada. Recikliranjem opeke je moguće dobiti dodatni materijal za proizvodnju zidnih elemenata, betona, laganog betona, stabiliziranje, drenažne slojeve, ispune, nasipavanje terena i drugo.

PRIMJENA RECIKLIRANIH MATERIJALA

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



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



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

Reciklirano se staklo može koristiti kao agregat u proizvodnji mikrobetona i običnog betona. Istraživanja su pokazala da boja stakla utječe na svojstva betona, kao i veličina agregata. Stoga se stakleni agregat koristi kao stakleni prah, sitni i krupni agregat.

Još je jedna inovativna ideja da se dio cementa zamijeni ekološki prihvatljivijim materijalom – biopepelom (pepeo iz drvene biomase) koji nastaje u energanama nakon termičke obrade, a koji se primjenjuje u proizvodnji predgotovljenih betonskih elemenata u cestogradnji (Beton – Lučko d.o.o.). Takva kombinacija doprinosi rješavanju problema odlaganja pepela drvene biomase i smanjenju emisija stakleničkih plinova.

Pitanja za ponavljanje

1. Objasni pojam recikliranje.
2. Navedi materijale u građevinarstvu koji se mogu oporabiti.
3. Navedi materijale koji se koriste u građevinskoj industriji, a koji se mogu reciklirati i upotrijebiti.
4. Navedi materijale koji se ne koriste u građevinskoj industriji, a koji se mogu reciklirati i 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 događa s dotrajalim 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 utjecaj proizvodnje čelika i betona 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 veliki potrošač prirodnih resursa, no ujedno je i veliki proizvođač građevnog otpada. Najkorišteniji materijal u građevinarstvu je beton, a njegovi neizostavni sastojci su cement, agregat i voda te svaki od njih ima velik utjecaj na okoliš.

Ukupna se svjetska proizvodnja industrijskog pijeska i šljunka u 2023. godini procjenjuje na 400 milijuna m³, a ukupna se proizvodnja cementa u svijetu u istoj godini procjenjuje na 4,1 milijardu tona, dok je 1995. godine iznosila tek 1,39 milijardi tona. Navedeno upućuje na porast potrošnje cementa i rast građevinskog sektora općenito. Proizvodnja cementa utječe na veliku potrošnju energije i emisije ugljikovog dioksida. Istraživanja su pokazala kako se pri proizvodnji cementa oslobađa približno 7 % ukupne emisije ugljikovog dioksida. Zbog svega navedenog, javila se potreba za promjenom načina na koji građevinska industrija danas djeluje.

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

RECIKLIRANI AGREGAT

Zakonodavstva diljem svijeta pozivaju svoje zemlje članice da recikliraju sve više građevnog otpada i otpada od rušenja jer uporaba drobljenog betona umjesto prirodnog kamena štedi okoliš i resurse. Na slici 45 je prikazan primjer životnog ciklusa betonske konstrukcije: od „kolijevke“ (proizvodnje cementa, agregata, dodataka), proizvodnje betona, ugradnje, korištenja betonske konstrukcije pa do „groba“ (kraja životnog ciklusa koji obuhvaća rušenje i odlaganje ili recikliranje). Kao što je ranije definirano, na kraju životnog ciklusa betonske konstrukcije, materijal koji se ruši nazivamo građevnim otpadom ili otpadom od rušenja. Taj se materijal može ponovo koristiti ili reciklirati. Kako bi se otpad mogao upotrijebiti kao nova sirovina (tzv. sekundarna sirovina), mora zadovoljiti ekološke i tehničke zahtjeve. Hrvatska je preuzela niz europskih norma iz područja agregata, bilo za betonske, zidane ili kolničke konstrukcije. Iz norma na koje upućuju pojedini tehnički propisi, definiraju se zahtjevi koje treba zadovoljiti materijal kako bi se koristio kao reciklirani agregat.



Slika 44 Životni ciklus betonske konstrukcije

RECIKLIRANI BETONSKI AGREGAT

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

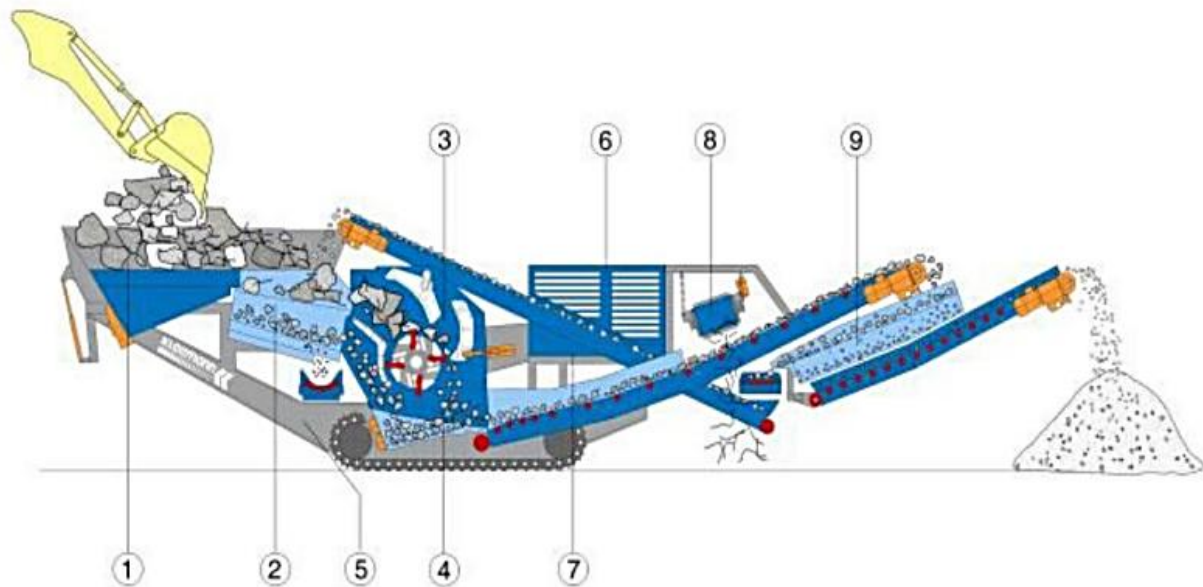
- primarno drobljenje uz pomoć čeljusnih drobilica
- uklanjanje željeznih ostataka uz pomoć magnetskih separatora
- pregledavanje i uklanjanje stranih materijala kao što su cigla, plastika i asfalt
- sekundarno drobljenje
- prosijavanje recikliranog betonskog agregata u različite frakcije.

Reciklirani betonski agregat obično ima veći udio sitnih čestica jer su zrna drobljenog agregata obavijena cementnim mortom pa se količina vode koja

se dodaje betonskoj mješavini mora prilagoditi kako bi se dobio 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 25 prikazuje presjek uređaja za drobljenje agregata sa svim svojim komponentama.



Slika 25 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 % (Kesegić, Bjegović, Netinger, 2008).

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 veći i od 20 %.



Slika 266 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 je betona s recikliranim staklom potrebno paziti na način na koji će se projektirati betonske mješavine. Staklo ne apsorbira vodu pa se mijenja sastav betonske mješavine. Takav se utjecaj stakla može neutralizirati posebnim dodacima betonu.

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

AGREGAT OD RECIKLIRANE PLASTIKE

Izrada betona s recikliranom plastikom se ne razlikuje mnogo od običnog betona. Razlika je samo u tome što se umjesto određenog postotka

agregata dodaje plastika. Prije nego što se plastika smrvi, potrebno ju je oprati od raznih dodataka i nečistoća. Masa betona s recikliranom plastikom manja je od mase običnog betona. Razlika u masi se javlja zbog manje gustoće plastike u odnosu na prirodni agregat.



Slika 277 Beton od reciklirane plastike

Beton s recikliranom plastikom je manje otporan na požar od običnog betona. Ako je 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 je mana reciklirane plastike laka zapaljivost.

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

PREDNOSTI I NEDOSTACI PRIMJENE RECIKLIRANOG AGREGATA

Prednosti primjene

- *Ekološki doprinos*

Prema podacima iz literature, oko 40 % materijala od rušenja se odlaže u prirodu (ovaj postotak mijenja se 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 odvijati na samom gradilištu, pokretnim drobilicama, na taj će se način smanjiti potrošnja energije pri prijevozu materijala do pogona za preradu otpada od rušenja. Ovakvim se postupkom recikliranja utječe na smanjenje emisije CO₂ (nema emisije pri prijevozu materijala do pogona, a isti se materijal može primijeniti za izgradnju objekta).

- *Ekonomski doprinos*

Reciklirani je agregat 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.

- *Mogućnost otvaranja novih radnih mjesta*

Nova se radna mjesta otvaraju 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 je agregat moguće primijeniti pri proizvodnji predgotovljenih betonskih elemenata poput rubnjaka, opločnika, blokova za sanaciju klizišta, pri izvedbi pojedinih dijelova konstrukcije mostova te nekonstrukcijskih i konstrukcijskih 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 ima povišenu pH vrijednost.

Donošenjem odgovarajućih zakonskih mjera, provođenjem edukacije dijela stručne populacije kao i edukacijom cjelokupnog stanovništva treba postupno nastojati povećati udio recikliranog građevnog otpada.

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 dodatnim poticajima i drugim propisima stimuliraju uporabu recikliranog materijala, čime pridonose buđenju ljudske svijesti o načinu deponiranja otpada, a povrhu toga, različitim ekološkim naknadama destimuliraju uporabu prirodnog materijala.

PRIMJERI IZ PRAKSE

Hundertwasserova kuća: „Waldspirale“

Waldspirale je stambena zgrada izgrađena u Darmstadtu, a projektirao ju je poznati arhitekt Friedensreich Hundertwasser. Stambena zgrada ima 105 stanova. To je prva visoka zgrada u Njemačkoj u potpunosti izgrađena od recikliranog betona, 12.000 m³ čime se očuvala velika količina prirodnih resursa poput šljunka i pijeska. Korištenje recikliranog betona je provedeno u bliskoj suradnji s Institutom za betonske konstrukcije te je u tom pogledu dio jednog od pionirskih projekata u zemlji. Provedena su brojna ispitivanja kako bi se provjerila svojstva betona s recikliranim agregatom u svježem i očvrslom stanju. Rezultati tlačne čvrstoće su pokazali da su svi postigli svoj cilj ili bili čak i bolji od očekivanog. Za zidove, ploče i stupove je korištena betonska mješavina čvrstoće C25/30.



WALDSPIRALE

📍 Darmstadt, Njemačka

📅 Izgrađena: 1998. – 2000.

👤 Arhitekt: Friedensreich Hundertwasser

🌿 Stambena zgrada sa 105 stanova koja utjelovljuje Hundertwasserovu filozofiju sklada čovjeka i prirode.



Slika 288 Waldspirale (Darmstadt, Njemačka, 1998)

Pitanja za ponavljanje

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

Istraži...

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

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=PLtKvIYZskyM4BTIJC1707IMYkaNUvMI4t&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>
- Danska Agencija za zaštitu okoliša*. (2025). Dohvaćeno iz [www2.mst.dk: https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2005/87-7614-815-7/html/kap05.htm#5.4](http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2005/87-7614-815-7/html/kap05.htm#5.4)
- 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](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 Pečur, Bojan Milovanović, Dubravka Bjegović, Nina Štirmer, Marina Bagarić, Ivana Carević. (2020). *Godišnjak 2020. Akademije tehničke znanosti Hrvatske*. Dohvaćeno iz <https://hrcak.srce.hr/file/387342>
- Ivana Kesegić, D. B. (2008). *Upotreba reciklirane opeke kao agregata za beton*. Dohvaćeno iz <https://hrcak.srce.hr/file/56136>
- Izvešće o gospodarenju građevnim otpadom u 2020. godini*. (2025). Dohvaćeno iz https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/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/>
- Kesegić, I., Bjegović, D., & Netinger, I. (2025). *Upotreba reciklirane opeke kao agregata za beton*. Dohvaćeno iz <https://hrcak.srce.hr/file/56136>
- Kontrol biro. (2024). Dohvaćeno iz <https://kontrolbiro.hr/>
- Kufrin, J. (2025). *Izvešće o gospodarenju građevnim otpadom u 2021. godini*. Dohvaćeno iz www.haop.hr: https://isgo-portal.haop.hr/sites/default/files/izvjesca/2023-04/OTP_2022_Izvjesce%202021_FINAL_cistopis4.pdf
- Kušević-Vukšić, M., & Puntarić, E. (2025). *Pregled podataka o odlaganju i odlagalištima otpada za 2022. godinu*. Dohvaćeno iz <https://www.haop.hr/>: https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/komunalni/2022_IZVJE%C5%A0%C4%86E_ODLAGALI%C5%A0TA_FV.pdf
- Matterport. (2024). Dohvaćeno iz <https://www.matterport.partners/hr/prvni-kroky-s-kamerou>
- MGIPU. (2019). *SMJERNICE ZA ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE*. Zagreb, Hrvatska: Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja.
- Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije. (2024). Dohvaćeno iz <https://isgo-portal.mingor.hr/hr/pokazatelji/gradjevni-otpad>
- MR PVC sistem. (2024). *MR PVC sistem*. Dohvaćeno iz <https://www.mrpvcsystem.rs/hemijska-reciklaza-polivinil-hlorida-pvc/>

- Narodne novine. (2021). *Zakon o gospodarenju otpadom NN 84/21, 142/23*. Dohvaćeno iz <https://www.zakon.hr/z/2848/Zakon-o-gospodarenju-otpadom>
- Odorčić, B. (2022). *Već 15 godina u službi pročišćavanja otpadnih voda Zagreba*. Dohvaćeno iz <https://www.energetika-net.com/izdvajamo/vec-15-godina-u-sluzbi-prociscavanja-otpadnih-voda-zagreba-34732>
- Pregled podataka o odlaganju i odlagalištima otpada za 2022. godinu*. (2022). Dohvaćeno iz https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/komunalni/2022_IZVJE%C5%A0%C4%86E_ODLAGALI%C5%A0TA_FV.pdf
- Property Guru. (2024). *Property Guru*. Dohvaćeno iz <https://www.propertyguru.com.sg/property-guides/renovation-contractor-singapore-13578>, <https://www.poslovni.hr/tag/zagreb-nekretnine-zane>, <https://www.poslovni.hr/hrvatska/gotovo-70-gradevnog-otpada-moze-se-i-mora-reciklirati-4292414>, <https://rooferscardi>
- Prostor*. (2024). Dohvaćeno iz <https://www.casopisprostor.me>
- Rajković, M. (2020). *Čelični otpad kao sekundarna sirovina za proizvodnju*. Dohvaćeno iz <https://repozitorij.simet.unizg.hr/islandora/object/simet%3A324/datastream/PDF/view>
- Resumo recikliranje. (2024). *Resumo recikliranje*. Dohvaćeno iz <https://resumo-recikliranje.hr/>
- Smjernice za revizije otpada prije rušenja i obnove zgrada*. (2018). Dohvaćeno iz <https://www.hgk.hr/documents/smjernice5cf0e60075037.pdf>
- State of Zero Waste Municipalities Report 2022*. (2022). Dohvaćeno iz https://zerowastecities.eu/wp-content/uploads/2021/12/SZWMR_2021-Final.pdf
- Tehneko. (2024). *Tehneko*. Dohvaćeno iz <https://www.tehnoeko.com.hr/7185/obrada-drvenog-otpada>
- Two Brothers Contracting*. (2024). Dohvaćeno iz <https://tbcdemo.com/wp-content/uploads/2020/04/Mobile-Concrete-Crushing-Services.jpg>
- Worldconstructionnetwork. (2024). *Worldconstructionnetwork.com*. Dohvaćeno iz <https://www.worldconstructionnetwork.com/projects/litracon>
- Zaštita prirode*. (2024). Dohvaćeno iz <https://zastita-prirode.hr/>
- 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/>