

Nina Štirmer

UDK: 624:504

Pregledni članak

Rukopis prihvaćen za tisak: 17.3.2011

UTJECAJ GRAĐEVNOG MATERIJALA NA OKOLIŠ

Sažetak

Obilježje ekološki održive gradnje jest smanjenje utjecaja na okoliš tijekom građenja, ali i cijelog uporabnog vijeka građevine. Za procjenu utjecaja građevine na okoliš potrebno je razmotriti sve faze gradnje uključujući korištenje prirodnih sirovina za proizvodnju građevnih proizvoda, način građenja, uporabu same građevine te naposljetku rušenje i recikliranje. Smatra se da je građevinarstvo jedna od djelatnosti koja troši najveću količinu prirodnih resursa kao što su agregat, voda, drvo te različite prirodne sirovine za proizvodnju legura. Cement kao glavni sastojak betona neizostavan je materijal u građevinarstvu, ali pri njegovoj proizvodnji dolazi do velike potrošnje energije i emisije stakleničkog plina CO₂. Istraživanja su pokazala da je upravo cementna industrija odgovorna za 7% ukupne svjetske emisije CO₂. Pri proizvodnji jedne tone klinkera portlandskog cementa u okoliš se emitira približno 850 kg CO₂. Građevinarstvo utječe i na veliku potrošnju energije kako pri proizvodnji građevnih proizvoda i gradnji, tako i u samoj fazi korištenja građevine za potrebe grijanja, hlađenja i rasvjete.

Recikliranjem građevnog otpada i njegovom ponovnom uporabom za različite namjene smanjuje se potreba za eksploatacijom prirodnih resursa te se rješava problem odlaganja i zauzimanja novog prostora. Unatoč tim informacijama, trenutni stupanj reciklaže građevnog otpada u Republici Hrvatskoj ne prelazi 7%, a iz građevnog otpada izdvoji se tek oko 11% sekundarnih sirovina.

U radu su prikazani različiti aspekti održive gradnje s posebnim osvrtom na odabir materijala za građenje, ali i razvijanje svijesti o njihovom utjecaju na okoliš za vrijeme cijelog uporabnog vijeka.

Ključne riječi: održiva gradnja; materijali; emisija CO₂; uporabni vijek; recikliranje.

1. Uvod

Razvoj industrije građevnog materijala u posljednja dva desetljeća rezultirao je znatnom potrošnjom energije i emisijom stakleničkih plinova. Građevinarstvo, koje se u velikoj mjeri temelji na upotrebi betona kao građevnog materijala, velik

je potrošač prirodnih resursa kao što su kamen, pijesak i voda, a s druge strane, posljedica izgradnje i rušenja jest nastanak velikih količina građevnog otpada. Svaki od primarnih sastojaka betona – cement, agregat i voda – ima velik utjecaj na okoliš (Mehta, 2001.; 2002.). Cement kao glavni sastojak betona neizostavan je materijal u građevinarstvu, ali pri njegovoj proizvodnji dolazi do velike potrošnje energije i emisije stakleničkog plina CO₂ (Moriconi, 2010.). Industrija cementa doprinosi s približno 7% u ukupnoj emisiji CO₂. Smatra se da je od 1850. do 2006. godine u Zemljinu atmosferu akumulirano približno 330 x 10⁹ t CO₂ nastalog izgaranjem goriva i emisijom iz proizvodnje portlandskog cementa. U usporedbi s periodom od 1990. do 1999. god., kada je prosječni porast emisije CO₂ bio 1,3 % godišnje, u periodu od 2000. do 2006. emisija CO₂ povećana je na 3,3% godišnje (Naik i Kumar, 2010.). S obzirom na to da je pojava globalnog zatopljenja postala ozbiljan problem, postoji potreba za razvojem novih tehnologija koje će pomoći smanjenju koncentracije CO₂ u atmosferi.

Pri odabiru materijala za građenje potrebno je izmjeriti i procijeniti utjecaj na okoliš u svakom segmentu aktivnosti opisujući i procjenjujući utrošenu energiju te utjecaj materijala na okoliš za vrijeme uporabnog vijeka same konstrukcije.

2. Odabir građevnog materijala i utjecaj na okoliš

Doprinos održivoj gradnji moguć je kroz odabir materijala za građenje, pri čemu vrijedi osnovni koncept da svaki građevni materijal treba imati najmanji mogući utjecaj na okoliš promatrajući njegov životni ciklus sve od uporabe sirovine za proizvodnju pa do konačnog odlaganja (Morbi, 2010.). U posljednjih pet godina Europska komisija pridaje veliku važnost poboljšanjima u području utjecaja građevnog materijala na okoliš (EPD-ISO TC 14025; Colangelo, 2010.).

Metodologija procjene životnog ciklusa pojedine vrste građevnog materijala obuhvaća korištenje prirodnih sirovina i potrošnju energije, način proizvodnje, održavanje te mogućnost recikliranja ili odlaganje. U samoj proizvodnji potrebno je detaljno pratiti sve ulazne i izlazne parametre, utrošenu energiju, transport, emisiju štetnih tvari i utjecaj nastalog otpada pri proizvodnji.

Analiza odabira sirovina i korištenje resursa za proizvodnju građevnog materijala treba obuhvaćati:

- upotrebu obnovljivih materijala u odnosu na neobnovljive
- učinkovitost resursa – korištenje manje količine materijala
- ponovnu upotrebu materijala
- upotrebu recikliranih materijala/ostatataka iz proizvodnje
- upotrebu materijala koji se mogu reciklirati.

U tablici 1 prikazani su ekobodovi za ocjenu održivosti materijala u skladu sa sustavom za certificiranje održivosti BREEAM koji se temelje na utjecaju jednog stanovnika Europe na okoliš.

Tablica 1. Ekobodovi (BREEAM)

Utjecaj na okoliš	Utjecaj jednog stanovnika Europe god.	(%)
1. Klimatske promjene	12,3 t ekv. CO ₂ (100 god.)	21,6
2. Crpljenje vode	377 m ³	11,7
3. Korištenje ruda	24,4 t	9,8
4. Uništavanje ozona	0,217 (kg ekv. CFC-11)*	9,1
5. Toksičnost za čovjeka	19,7 (t ekv. 1,4-diklorbenzen)	8,6
6. Ekotoksičnost za vodu	13,2 (t ekv. 1,4-diklorbenzen)	8,6
7. Nuklerani otpad	23700 mm ³	8,2
8. Ekotoksičnost za zemlju	123 (kg ekv. 1,4-diklorbenzen)	8,0
9. Nastanak otpada	3.75 t	7,7
10. Korištenje fosilnih goriva	6,51 (t ekv. nafte)	3,3
11. Eutrofikacija	32,5 (kg ekv. PO ₄)	3,0
12. Niska razina stvaranja ozona	21,5 (kg ekv. C ₂ H ₄)	0,2
13. Taloženje kiselina	71,2 (kg ekv. SO ₂)	0,05

*klorofluorouglik

U tablici 2 prikazan je utjecaj pojedine vrste građevnog materijala s obzirom na količinu utrošene energije i potencijalno štetan utjecaj na okoliš.

Tablica 2. Potrošnja energije i utjecaj na okoliš različitih vrsta građevnog materijala (Asif, 2009.)

Materijal	Energija (GJ/m ³)	Utjecaj na okolinu		
		Potencijal za globalno zatopljanje ¹ (kg/m ³)	Potencijal zakiseljavanja ² (kg/m ³)	Potencijal kreiranja fotokemijskog smoga (kg/m ³)
Aluminij	497	29975,4	162	321,3
Opeka	5,4	342	3,6	30,6
Keramičke pločice	16	1142	8	102
Beton	4,8	156	2,4	0,72
Staklo	19,2	1365,6	96	4,8
Žbuka	4,5	238,5	2,7	1,8
Crijep	2,2	288,2	2,2	2,2
PVC	116	1932	17,9	0,69
Čelik	200	17840	80	6720
Drvo	1,65	63,8	0,55	0,55

¹ekvivalent CO₂ u kg

²ekvivalent SO₂ u kg

3. Procjena održivosti

U nastavku je prikazan primjer metodologije (Gaytan i dr., 2010.) razvijene za ocjenu održivosti betona koja se temelji se na osam različitih faktora (tablica 3):

Sadržaj otpadnog, ponovno upotrijebljenog i recikliranog materijala

U ukupnoj masi betonske mješavine potrebno je odrediti količinu otpadnog, ponovno upotrijebljenog i recikliranog materijala. Primjeri materijala koji se mogu ponovno upotrijebiti su opeka i drvo, a reciklirani materijali mogu biti otpadne gume, otpad nastao rušenjem betona, leteći pepeo.

Očuvanje prirodnih resursa i povećanje uporabnog vijeka građevine

Razmatra se uporaba brzo obnovljivih materijala i proizvodi velike trajnosti koji zahtijevaju malo održavanje ili čija fizikalna i mehanička svojstva pridonose smanjenju uporabe dodatnih sirovina. To su primjerice betoni s dodatkom pigmenta ili bijeli betoni. Tom aspektu također doprinose betoni povećane trajnosti kojima se povećava uporabni vijek konstrukcije.

Smanjenje uporabe toksičnih proizvoda i drugih štetnih emisija

Procjenjuje se je li proizvodnjom betona smanjena toksičnost i druge štetne emisije. Također je važno procijeniti smanjuje li se uporabom betona onečišćenje za vrijeme održavanja konstrukcije, rabe li se tvari koje smanjuju ozon u atmosferi i dr.

Očuvanje energije i vode

Razmatraju se proizvodi koji svojim fizikalnim svojstvima pridonose smanjenju potrošnje energije i/ili smanjenju potrebe za održavanjem sustava grijanja i hlađenja. Primjeri su izolacijski betoni, lagani betoni, toplinski paneli i sl. U ovoj se kategoriji razmatra i u kojoj mjeri proizvod doprinosi očuvanju vode, npr. proizvodi u sustavima za prikupljanje kišnice, oprema s izvanrednom razinom učinkovitosti. Razmatra se upotreba zelenih krovova, betonskih kolnika i svijetlih arhitektonskih betona.

Doprinos sigurnosti i zdravlju radne okoline

Procjenjuje se osigurava li se uporabom betona zdrava okolina u kojoj ne dolazi do propuštanja štetnih tvari u zgradu, u kojoj ne dolazi do razvoja i disperzije štetnih tvari, u kojoj su otklonjene štetne tvari i u kojoj se promiče sigurnost i zdravlje za vrijeme građenja, osvjetljenost interijera, kojom se kontrolira razina buke i općenito poboljšavaju uvjeti korištenja.

Doprinos smanjenju emisije CO₂

Ocjenjuje se je li uporabom proizvoda smanjena emisija CO₂ nastala primjenom nove tehnologije ili postupka (za vrijeme procesa dobivanja sirovine, proizvodnje, ugradnje ili u bilo kojem segmentu uporabnog vijeka). Smanjenje emisije CO₂ mora biti mjerljiva veličina.

Ekobodovi

Potrebno je provjeriti zadovoljava li proizvod kriterij održivosti u skladu s relevantnim sustavom za certificiranje (npr. BREEAM ili LEED).

Druge karakteristike proizvoda ili tvrtke

Ovaj kriterij uključuje sustav upravljanja s obzirom na okoliš, inicijative kojima se unapređuje projektiranje, načine smanjenja otpada, smanjenje zagađenja i dr. relevantne aspekte.

Tablica 3. Kriteriji procjene održivosti (Gaytan i dr., 2010.)

Čimbenici	Bodovi
Sadržaj otpadnog, ponovno upotrijebljenog i recikliranog materijala	3 (za najmanje 10% mase mješavine)
Očuvanje prirodnih resursa i povećanje uporabnog vijeka građevine	1 za očuvanje prirodnih resursa 1 za povećanje uporabnog vijeka
Smanjenje uporabe toksičnih proizvoda i drugih štetnih emisija	1
Očuvanje energije i vode	1 za očuvanje energije 1 za očuvanje vode
Doprinos sigurnosti i zdravlju radne okoline	1
Doprinos smanjenju emisije CO ₂	3
Ekobodovi*	1
Druge karakteristike proizvoda ili tvrtke	1

* najmanje 5% od ukupnog broja bodova u nekim sustavima za ocjenu održivosti

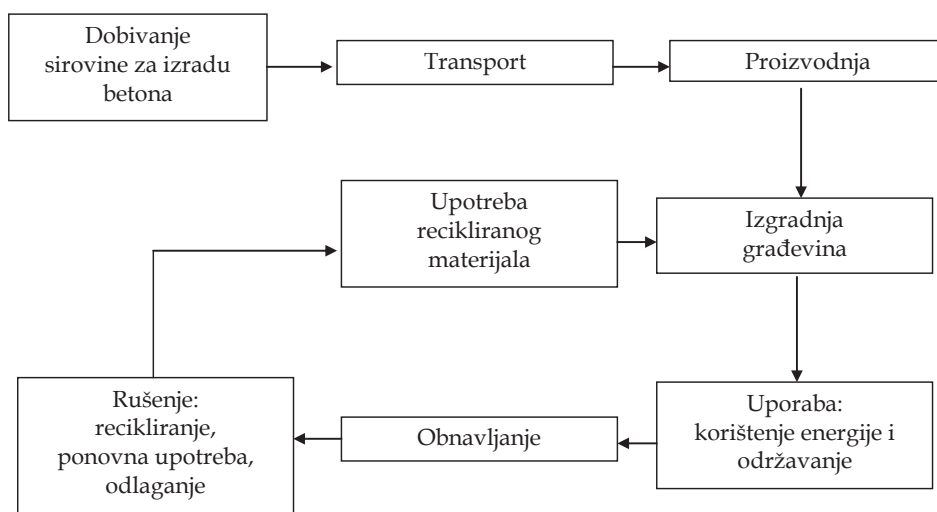
Prema predloženoj metodologiji od ukupno 14 bodova, beton se može klasificirati kao održiv ako se prema navedenoj procjeni ostvari najmanje 9 bodova.

4. Održivost industrije cementa i betona

Beton je najviše upotrebljavan materijal u svijetu nakon vode i agregata (Moats, 2010.). Glavni razlog leži u činjenici da su sastojci betona lako dostupni na malim udaljenostima od naseljenih područja i industrijskih centara. Portlandski cement koji se koristi kao vezivo u betonu ima velik ekvivalent emisije CO₂ (Sakai, 2010.), ali

povoljno je što čini tek 15% mase betona. Utrošena energija za proizvodnju cementa jest 7,32 MJ/kg, a emisija stakleničkih plinova približno 1 kg po kg portlandskog cementa proizvedenog u postrojenjima s uobičajenom opremom. Unaprjeđenjem učinkovitosti izgaranja i poboljšanjem operativne učinkovitosti mogu se postići znatna smanjenja emisije CO₂. Drugi način za smanjenje emisije CO₂ i potrošnje energije pri proizvodnji cementa jest korištenje otpadnih guma, ostataka drveta i otpada od petrolejskih proizvoda kao goriva u rotacijskim pećima.

Na slici 1 i u tablici 4 prikazane su glavne karakteristike uporabe betona (Gaytan, 2010.).



Slika 1. Uporaba betona i utjecaj na okoliš

Tablica 4. Utjecaj uporabe betona na okoliš (Gaytan, 2010.)

Proizvodnja agregata	Potrošnja prirodnih resursa Mala količina energije Otpad u obliku prašine i vode Prašina se može upotrebljavati u dr. procesima ili odložiti na odlagalište
Cement	Emisija CO ₂ za vrijeme proizvodnje Upotreba energije
Voda	Smanjenje prirodnih resursa Mala količina energije
Proizvodnja betona	Potrošnja energije pri miješanju i transportu Proizvodnja otpada koji se može ponovno reciklirati i upotrijebiti

Građenje	Emisija CO ₂ za vrijeme transporta, ugradnje i završne obrade Potrošnja energije za vrijeme ugradnje Korištenje drvene oplata koja se može odložiti na odlagališta ili čelične oplate koja se može ponovno upotrijebiti Nastanak otpada Izloženost radnika aktivnostima s visokim rizikom
Uporaba	Prenošenje energije i akumulacija energije Trajnost Radna okolina
Rušenje	Potrošnja energije Materijal nastao rušenjem može se reciklirati i ponovno upotrijebiti

Svojstva održivosti betona su:

- Lokalna raspoloživost materijala
- Trajnost
- Mogućnost oblikovanja
- Požarna otpornost
- Zvučna izolacija
- Mogućnost recikliranja
- Toplinska masa*
- Otpornost na vlagu
- Omogućuje energijsku učinkovitost zgrada
- Inertan materijal
- Ne zahtijeva završnu obradu.

*Toplinska masa označava sposobnost građevnog materijala da apsorbira i zadrži toplinu (toplinska masa ekvivalent je specifične topline, odnosno specifičnog toplinskog kapaciteta). Beton koji karakterizira velika toplinska masa ima sposobnost apsorpcije topline tijekom dana i polaganog oslobađanja u unutrašnjost zgrade tijekom noći, čime pridonosi održanju konstantne unutrašnje temperature.

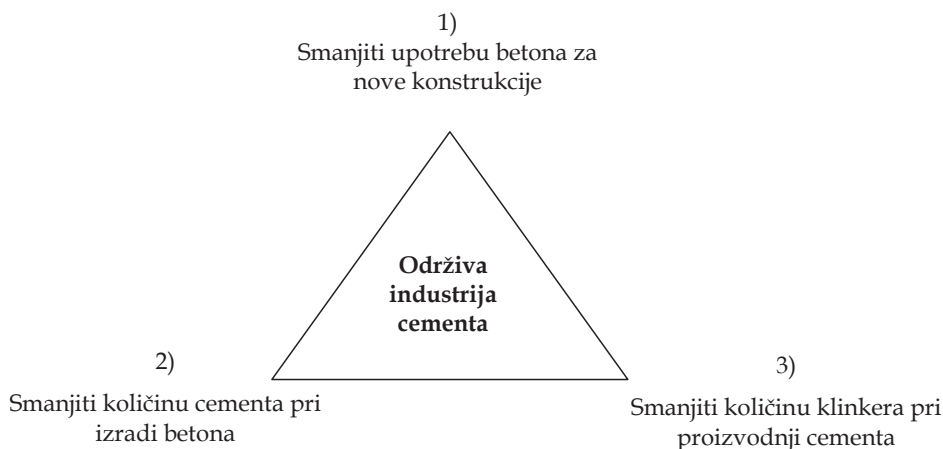
4.1. Emisija CO₂ u industriji cementa

Prosječni sastav cementa čini približno 5% gipsa, 12% sporednih sastojaka (pucolani, zgura, vapnenac) i 83% portlandskog cementnog klinkera (Mehta, 2010.). Jedan od mogućih načina smanjenja emisije CO₂ nastalog pri proizvodnji cementa jest upotreba miješanih cemenata u kojima se dio portlandskog cementnog klinkera zamjenjuje nus-proizvodima kao što su leteći pepeo nastao izgaranjem ugljena u termoelektranama ili zgura koja se dobiva pri proizvodnji željeza. No mogućnosti proizvodnje takvih cemenata ovise o raspoloživosti materijala za zamjenu portlandskog cementnog klinkera. Na temelju istraživanja provedenih u 24 zemlje OECD-a,

istočne Europe i Južne Amerike procjenjuje se da je proizvodnjom i upotrebom miješanih cemenata moguće smanjiti emisiju CO₂ za 22%. Najveći potencijal proizvodnje miješanih cemenata postoji u zemljama koje trenutno ne proizvode velike količine miješanih cemenata, a imaju termoelektrane i razvijenu industriju željeza. Drugi izvori procjenjuju da je ukupni potencijal za smanjenje emisije CO₂ upotrebom miješanih cemenata najmanje 5%, a možda i do 20% (Hendriks i dr., 2004.).

U Hrvatskoj je termoelektrana Plomin snage 125 MW u pogonu od 1970. godine, a novi blok TE Plomin II, snage 210 MW, od 1999. godine. Termoelektrana se nalazi u Plominskom polju, 5 km od morske obale. Neposredno uz samu termoelektanu smješteno je odlagalište pepela i zgure. Danas je na površini od približno 120.000 m² akumulirano oko milijun tona zgure i pepela. Sav je otpad prikladan za uporabu u cementnoj industriji s obzirom na to da izmjerene koncentracije prirodnih radionuklida zadovoljavaju zakonske odredbe (3-5). Samo se manji dio odlaže na odlagalište (Marović i dr., 2006.). Tvornica cementa Holcim-Hrvatska d.o.o. iz Koromačna u svom tehnološkom procesu proizvodnje cementa koristi otpadna mineralna ulja, gume, mesno koštano brašno i mulj iz obrade komunalnih otpadnih voda kao alternativno gorivo te rea gips (kruti otpad iz procesa odsumporavanja ugljena u termoelektani), leteći pepeo i filtarsku prašinu iz termoelektrane kao dodatak cementu i zguru s rešetki ložišta iz termoelektrane kao dodatak sirovini (Plan gospodarenja otpadom Istarske županije do 2015. god.).

Na slici 2 prikazane su mogućnosti smanjenja emisije CO₂ u industriji cementa te plan za smanjenje potrošnje cementa do 2030. godine.



Slika 2. Mogućnosti smanjenja emisije CO₂ u industriji cementa (Mehta, 2010.)

Tablica 5. Plan za smanjenje potrošnje cementa i emisije CO₂ od proizvodnje klinkera (Mehta, 2010.)

Godina	2010.	2030.
Potrošnja cementa (mil. t.)	2800	1960
Klinker faktor*	0,83	0,60
Potreba za klinkerom (mil t.)	2300	1180
Faktor emisije CO ₂ **	0,9	0,8
Ukupna emisija CO ₂ (mil. t.)	2070	940

*tona klinkera po toni cementa

**tona CO₂ po toni klinkera

4.2. „Zarobljavanje“ CO₂ u materijalima na bazi cementa

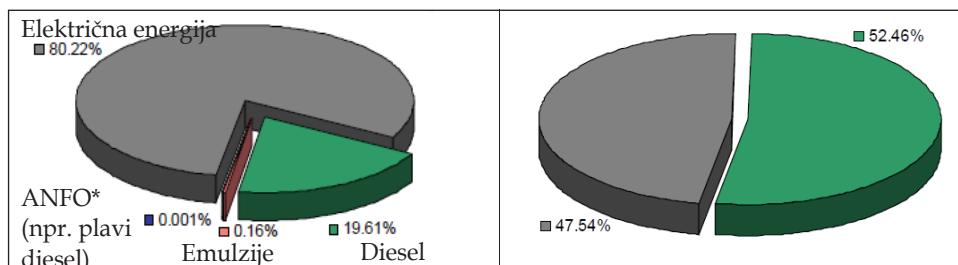
Pojedinim istraživanjima proučava se mogućnost „zarobljavanja“ CO₂ u betonu. Naime, materijali na bazi cementa, uključujući beton, u procesu karbonatizacije apsorbiraju CO₂. Karbonatizacija betona proces je u kojem ugljični dioksid iz zraka prodire u strukturu betona i reagira s kalcijevim hidroksidom i pri tome formira kalcijev karbonat. Proces karbonatizacije obično se odvija vrlo sporo, otprilike 1 mm/god., a ovisi o vrsti cementa, kvaliteti betona i uvjetima okoliša. Posljedica je karbonatizacije smanjenje pH vrijednosti betona, a to znači slabljenje zaštite armature, što može dovesti do korozije čelika u betonu (Ukrainczyk, 1994.). Prema tome, karbonatizacija betona proučava se kao alternativno rješenje za smanjenje količine CO₂ kao stakleničkog plina. Smatra se da se približno 19% CO₂ nastalog za vrijeme proizvodnje cementa reapsorbira u betonu za vrijeme uporabnog vijeka betonske konstrukcije.

4.3. Agregat

Proizvodnja agregata za izradu betona i dr. namjene obuhvaća različite aktivnosti, pri čemu dolazi do potrošnje energije i stvaranja stakleničkih plinova:

- uklanjanje vegetacije i zemlje, izgradnja postrojenja i ostale prateće aktivnosti
- bušenje, miniranje (za drobljeni agregat) i iskop materijala
- transport materijala od izvorišta do postrojenja za obradu
- obradu agregata, uključujući više stupnjeva drobljenja, ispiranja i dr.
- transport do mjesta uporabe.

Stvarna potrošnja energije pri proizvodnji agregata ovisi o veličini izvorišta/postrojenja, organizaciji postrojenja, vrsti stijene ili šljunka, vrsti opreme, njenoj učinkovitosti i održavanju, iskustvu radnika, vrsti transporta i udaljenosti od mjesta uporabe. Potrošnja energije i troškovi transporta većinom su presudan faktor za upotrebu agregata iz određenog izvorišta. Preporučuje se upotreba lokalnog agregata radi smanjenja troškova transporta i emisije CO₂. Pri proizvodnji krupnog agregata emitira se 0,0459 t CO₂ po toni proizvedenog krupnog agregata, a pri proizvodnji sitnog agregata 0,0139 t CO₂ po toni proizvedenog sitnog agregata (uključujući transport). Potrošnja energije pri proizvodnji agregata prikazana je na slici 3.



* ammonium nitrate/fuel oil tekuće gorivo – kerozin, ugljena prašina i sl.

a) Proizvodnja krupnog agregata

b) Proizvodnja sitnog agregata

Slika 3. Potrošnja energije pri proizvodnji agregata (Monteiro, 2006.)

Pri proizvodnji agregata javlja se višestruki utjecaj na okoliš u obliku buke, prašine, povećanja prometa, onečišćenja podzemnih voda i vizualnih promjena krajolika koje u smislu održivosti više nisu prihvatljive.

Utjecaj proizvodnje agregata na okoliš (Langer, 2009.):

1. *Promjena krajolika* jedan je od najvećih utjecaja koji proizvodnja agregata ima na okoliš, pa se preporučuje rehabilitacija kamenoloma.

2. *Buka i prašina* – Primarni izvor buke nastaje od kretanja vozila, rada proizvodnog pogona i miniranja. Proizvođač je odgovoran da razina buke ne prelazi dozvoljene vrijednosti. Opremu koja proizvodi buku ili prašinu treba smjestiti ispred prirodnih barijera koje će apsorbirati buku i onemogućiti prenošenje prašine.

3. *Vibracije od miniranja* mogu se pojavljivati na dnevnoj razini ili jednom do dva puta godišnje; pri tome može doći do vibracija kroz površinu zemlje, a dio energije odlazi u atmosferu i najviše se osjeća unutar konstrukcije.

4. *Utjecaj na podzemne vode* – Ovisi o lokalnim geološkim, hidrološkim i klimatskim uvjetima. U suhoj klimi evaporacija vode može smanjiti razinu podzemnih voda; u vlažnoj klimi oborine mogu dotjecati u kamenolom i povećati razinu podzemnih voda.

5. *Utjecaj na površinske vode* – Pri proizvodnji agregata uklanja se vegetacija, što može povećati otjecanje. Kako bi se smanjio nepovoljan utjecaj na okoliš, potrebno je prije vađenja agregata provesti detaljne hidrološke studije. Neprikladno vađenje agregata može ubrzati eroziju, ugroziti stabilnost nasipa i kvalitetu vode i prouzročiti gubitak obalnih staništa, no oštećena područja mogu se zaštititi vegetacijom i drenažom. Inspekcijom i primjerenim održavanjem treba se osigurati kontinuirana kontrola erozije.

6. *Utjecaj prometa* – U području proizvodnje agregata dolazi do pojačanog prometa kamiona – radi smanjenja utjecaja na ostali promet, moguće je na pojedinim dijelovima projektirati posebne prometnice za transport agregata iz kamenoloma i šljunčara; prekriti agregat koji se vozi u kamionima da bi se spriječilo rasipanje materijala, primjereno održavati kamione i prilagoditi prometnicu novim zahtjevima.

Čimbenici koje je moguće kontrolirati kako bi se smanjila potreba za agregatom ograničeni su. Potrošnja lokalnog agregata može se smanjiti upotrebom alternativnih resursa, primjerice uporabom recikliranog agregata nastalog rušenjem građevina, zgure, industrijski proizvedenih agregata, recikliranog stakla, reciklirane opeke i sl. Za svaki od navedenih alternativnih materijala treba potvrditi prikladnost za određenu namjenu. Opskrba lokalnim agregatom može se poboljšati unaprjeđenjem tehnologije i boljim iskorištavanjem agregata lošije kvalitete. Potrošnja agregata općenito se može smanjiti promjenama pri projektiranju rezultirajući manjom količinom potrebnog agregata ili izmjenama specifikacija kako bi se za pojedine namjene dozvolila i upotreba agregata slabije kvalitete. Pokazatelji kojima se može pratiti održivost agregata uključuju:

- količinu proizvedenog agregata u usporedbi s procijenjenom proizvodnjom
- volumen proizvedenog materijala u usporedbi s korištenom površinom
- udio agregata iz područja planiranih za iskorištavanje
- udio agregata iz okolišno osjetljivih područja
- udio prirodnog agregata u odnosu na reciklirani agregat
- udio područja pokrivenog suvremenom tehnologijom i aktivnostima
- udio rehabilitiranog zemljišta u usporedbi s površinom na kojoj se provode aktivnosti iskorištavanja.

Industrijski pokazatelji održivosti agregata (Europska komisija, 2006.) uključuju:

- broj sati usavršavanja izražen kao postotak ukupnih radnih sati
- vrijeme zastoja u proizvodnji prouzročeno nezgodama izraženo kao postotak ukupnih radnih sati
- ukupni broj sastanaka sa susjednom zajednicom
- potrošnja energije po toni dobivenog proizvoda
- ukupna površina koja se iskorištava po dobivenom proizvodu
- ukupni broj prijavljenih okolišnih incidenata.

Za postizanje ciljeva održivosti primjene agregata kao građevnog materijala nužno je konstantno praćenje proizvodnje, analiziranje svih pokazatelja, dobivanje povratnih informacija i suradnja s lokalnom zajednicom (McCleary i Mueller, 2010.).

Agregati lošije kvalitete također mogu biti upotrebljivi za određenu namjenu, jer se ne zahtijeva uvijek velika čvrstoća i velika trajnost betona (Fowler, 2010.). U pojedinim slučajevima treba mijenjati norme i povećati upotrebu recikliranih agregata kako bi se smanjila potrošnja prirodnih resursa (Bjegović, 2009.).

Prednosti su upotrebe recikliranog agregata (Nelson Shing, 2004) sljedeće:

- ekološki doprinos: procesom recikliranja količina materijala odložena u prirodi smanjuje se te se ujedno smanjuje eksploatacija prirodnih resursa koji su ograničeni;
- ušteda energije: proces recikliranja može se odvijati na samom rušilištu pokretnim drobilicama te se na taj način smanjuje potrošnja energije pri transportu materijala do pogona za preradu otpada od rušenja; takvom primjenom postupka recikliranja utječe se na smanjenje emisije CO₂ (nema emisije pri transportu materijala do pogona, a isti se materijal može primijeniti za ponovnu izgradnju objekta);
- cijena: reciklirani agregat može po cijeni biti 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;
- otvaranje novih radnih mjesta: nova radna mjesta otvaraju se u samim pogonima za recikliranje agregata te u institutima i ustanovama čija je zadaća ispitati i unaprijediti svojstva recikliranog agregata; s većom primjenom raste potreba za bolje obrazovanim kadrom kako bi reciklirani agregat mogao zamijeniti prirodni u širem području primjene;
- širina tržišta: prema svjetskim istraživanjima, reciklirani agregat moguće je primijeniti pri proizvodnji predgotovljenih betonskih elemenata poput rubnjaka, opločnika, blokova za sanaciju klizišta, pri izvedbi pojedinih dijelova konstrukcije.

Najveći problem primjene recikliranog agregata u betonu jesu onečišćenja u obliku ostataka drva, papira, žbuke, plastike, ulja i dr. te veća apsorpcija od prirodnih agregata zbog ostataka starog cementnog morta na zrnima agregata.

5. Drvo

U usporedbi s drugim vrstama građevnog materijala, drvo je održiv materijal koji je obnovljiv, uglavnom lako dostupan i primjerene cijene (Asif, 2009.). Poznato je da se drvo formira procesom fotosinteze pri čemu se apsorbira ugljični dioksid iz okoliša i ispušta kisik. Kao posljedica pretjeranog iskorištavanja šuma trenutno širom svijeta postoji velika potreba za pošumljavanjem. Energija utrošena za primjenu

drva kao građevnog materijala varira ovisno o tome može li se nakon korištenja u konstrukcijama upotrijebiti za druge namjene (grijanje). Emisija stakleničkih plinova također može varirati od 0 do 64 kg po m³ (Bremner, 2010.). Pri procesu raspada drveća CO₂ se vraća u atmosferu te se reapsorbira u okolnu vegetaciju. Rezanjem zrelog drveća omogućuje se bolji rast, čime se apsorbira više stakleničkih plinova nego kod zrelog drveća. Pošumljavanje zemljišta rezultira smanjenjem erozije tla i smanjenjem otjecanja kišnice, pa je klima u šumovitom području više ekološki prihvatljiva nego u područjima gole zemlje.

6. Čelik

Pri proizvodnji čelika troši se približno 50 MJ/kg i emitira se 0,91 kg stakleničkih plinova po kg čelika, što je nedostatak u usporedbi s ostalim vrstama građevnog materijala (Ashby, 2009.). Navedeni podatak temelji se na upotrebi 35% recikliranog materijala, čime je smanjena energija i emisija stakleničkih plinova. Prema nekim izvorima, industrija čelika reciklira veće količine nego što se to događa u području upotrebe aluminijskog, stakla i drva.

7. Asfalt

Pri proizvodnji asfalta 48% energije potroši se za miješanje i vađenje agregata, a 40% za proizvodnju asfalta (Zapata, 2005.). Upotrebom recikliranog agregata moguće je smanjiti potrošnju energije za 23%. Preporučuje se i posvjetljavanje tamnih površina asfalta i krovnih površina, čime bi se mogla smanjiti refleksija sunčane energije, a time i temperatura Zemljine površine (Johnson, 2009.).

8. Građevni otpad

Građevni otpad i otpad od rušenja materijal je koji proizlazi iz građenja, rušenja, renoviranja ili rekonstrukcije građevina. U okviru projekta LIFE TCY/CRO/000114 CONWAS procijenjena je količina građevnog otpada za Republiku Hrvatsku, koja iznosi 2,5 mil. tona godišnje. Trenutni stupanj reciklaže građevnog otpada ne prelazi 7%, a iz građevnog otpada izdvoji se oko 11 % sekundarnih sirovina.

Vrste materijala koje se mogu pojaviti u građevnom otpadu ovisno o vrsti radova u građevinarstvu prikazane su u tablici 6.

Tablica 6. Vrste materijala koje može sadržavati građevni otpad/otpad od rušenja (CONWAS, 2008.)

Zemljani radovi/ iskop tla	Niskogradnja	Visokogradnja	Miješani građevni otpad
Zemlja (treset) Pijesak, šljunak Glina, ilovača Kamen	Bitumen (asfalt) ili cementom vezani materijal Pijesak, šljunak, dro- bljeni kamen	Beton Opeka Vapnenac Mort Gips Ekspandirana glina Plinobeton Klinker Prirodni kamen	Drvo Plastika Papir, karton Metal Kablovi Boja, lak Šuta



Slika 4. Građevni otpad

Sirovina dobivena recikliranjem građevnog otpada može se ponovno upotrijebiti kao:

- materijal za nosive slojeve cesta, putova, staza, parkirališta
- dodatak za nove asfaltbetonske mješavine
- dodatak raznim vrstama betona
- materijal za izradu betonskih elemenata.

U tablici 7 prikazane su neke mogućnosti ponovne upotrebe otpadnih materijala iz visokogradnje i niskogradnje nakon postupka recikliranja.

Tablica 7. Mogućnosti uporabe otpadnih materijala (CONWAS, 2008.)

Vrsta materijala	Porijeklo	Primjena
Čisti lom opeke	Proizvodnja opeke	Dodatni materijal za proizvodnju zidnih elemenata, betona, laganog betona, stabiliziranje, drenažni slojevi, ispuna, nasipavanje
Miješani lom od rušenja u visokogradnji s lomom opeke (šuta miješana s opekom)	Stambena gradnja, visokogradnja	Dodatni materijal za proizvodnju zidnih elemenata, betona, laganog betona, stabiliziranje, ispuna, nasipavanje, završni slojevi podova
Miješani lom od rušenja u visokogradnji	Industrija, visokogradnja	Stabiliziranje nasipa, izgradnja sportskih terena
Mineralni otpad	Industrogradnja, visokogradnja	Nasipavanje, izgradnja sportskih terena – drenaža
Reciklirani pijesak	Industrogradnja, visokogradnja	Podloga za postavljanje cijevi pri uvodnju infrastrukture (plin, voda itd.)
Asfaltni lom	Cestogradnja	Nevezani gornji nosivi slojevi, nevezani donji nosivi slojevi, vezani nosivi slojevi, izgradnja poljoprivrednih putova, dodatni materijali za proizvodnju asfalta
Betonski lom	Cestogradnja, izgradnja mostova, industrogradnja	Nevezani gornji nosivi slojevi, nevezani donji nosivi slojevi, cementom vezani nosivi slojevi, izgradnja poljoprivrednih putova, dodatni materijali za proizvodnju betona, drenažni slojevi
Miješani asfaltni/betonski lom	Cestogradnja, parkirališta, izgradnja mostova	Nevezani gornji nosivi slojevi, nevezani donji nosivi slojevi, vezani nosivi slojevi, izgradnja poljoprivrednih putova

Radi izbjegavanja nastanka otpada i povećanja postotka reciklaže građevnog otpada, potrebno je učiniti sljedeće (Scheibengraf, 2005.):

- u fazi planiranja:
 - planirati građevine sa što dužim vijekom trajanja
 - obratiti pažnju na čitav životni vijek ugrađenih materijala
 - omogućiti jednostavno odvajanje dijelova građevine s kratkim životnim vijekom radi olakšavanja odvajanja otpada
 - izrađivati projekte rušenja
- kod planiranja gradilišta
 - koordinirati sve tvrtke koje rade na jednom gradilištu
 - organizirati odvajanje na licu mjesta
 - dogovoriti uporabu iskoristivih materijala

- kod odabira građevnih materijala
 - voditi računa o ekonomičnosti i oporabljivosti istih
 - koristiti u najmanjoj mogućoj mjeri mješavine organskih i anorganskih materijala
 - što manje koristiti kompozite
 - koristiti reciklirani materijal.

Osnovne mjere koje se za poticanje reciklaže građevnog otpada mogu izvesti na temelju danskih iskustava (COWI) jesu:

- visoke naknade za deponiranje građevnog otpada
- porezi na korištenje prirodnih sirovina
- projekti kojima se promiče reciklaža i istražuju novi načini primjene
- nacionalni akcijski plan za reciklažu građevnog otpada
- potpora lokalnih vlasti reciklaži i razvoju sustava
- dobrovoljne aktivnosti proizvođača otpada i građevinskog sektora
- izrada norma, smjernica, specifikacija i uputa za primjenu reciklata.

9. Zaključak

Pri odabiru materijala za građenje i njegov utjecaj na okoliš potrebno je razmotriti četiri bitna segmenta vezana uz životni ciklus građevine: proizvodnju materijala, građenje, uporabu i rušenje građevine. Kao što je prikazano, svaki građevni materijal proizvodi se kombinacijama različitih sirovina, posljedica čega je potrošnja energije i proizvodnja otpada. Pri procjeni održivosti građevnog materijala potrebno je analizirati različite aspekte, od toga je li sirovina obnovljiva, jesu li ograničeni resursi, koliko je potrebno energije za njegovu proizvodnju, koliko je proizvedeno otpada i kakav ima utjecaj na okoliš. Proces građenja zahtijeva potrošnju energije i uzrokuje nastanak otpada koji ovisi o korištenim materijalima. Prednost treba dati materijalima sa što manjim negativnim utjecajem na okoliš, koji zahtijevaju manju potrošnju energije, tako da proces građenja bude što učinkovitiji i da osigurava što manje količine otpada. Uporabni vijek konstrukcije ima direktan utjecaj na održivost, a ovisi o trajnosti upotrijebljenog materijala i mogućnosti obnove. Isto je tako potrebno detaljno razmotriti postotak konstrukcije koji se može ponovno upotrijebiti, količinu materijala koja se može reciklirati, kakav je utjecaj otpada koji će nastati rušenjem konstrukcije i koji se materijali mogu odlagati.

Literatura

- Ashby, M. F. (2009.), *Materials and environment – eco informed material choice*. Elsevier, str. 118-126.
- Asif, M. (2009.), *Sustainability of timber, wood and bamboo in construction*. U: J. M. Khatib (ur.), *Sustainability of construction materials*. Woodhead publishing limited, str. 31-54.
- BREEAM: the Environmental Assessment Method for Buildings Around The World, <http://www.breeam.org/>.
- Bremner, T. W. (2010.), *The future of construction materials in a sustainable world*, U: J. Zachar; P. Claisse; R. T. Naik; E. Ganjian (ur.), *Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies*. Ancona 28-30.06.2010., Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization.
- Bjegović, Dubravka; Štirmer, Nina; Mikulić, Dunja (2009.), *Construction and Demolition Waste Usage Possibilities*, *Proceedings of the Fifth International Conference on Construction in the 21st Century*, CITC-V, Istanbul, U: Birgonul, Azhar, Ahmed, Dikmen, Budayan (ur.), str. 1637-1645.
- Colangelo, Francesco; Vaccaro, Roberta; Cioffi, Raffaele (2010.), *Life cycle assessment of sustainable concrete made with recycled aggregates*, U: J. Zachar; P. Claisse; R. T. Naik; E. Ganjian, (ur.), *Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies*. Ancona 28-30.06.2010., Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization.
- CONWAS project, LIFE05 TCY/CRO/000114. (2006-2008). *Development of sustainable construction and demolition waste management system for Croatia*, http://www2.igh.hr/conwas/index_E.htm.
- COWI, *Lessons to be learned from Denmark on Recycling of C&D Waste*.
- Fowler, David W. (2010.), *How can aggregates be used to enhance sustainable concrete?*, U: J. Zachar; P. Claisse; R. T. Naik; E. Ganjian, (ur.), *Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies*. Ancona 28-30.06.2010., Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization.
- Gaytan, C. Arturo; Montano, R. Homero; Uribe, A. Roberto; Silva M. Antonio (2010), *Classification of green concrete for sustainable solutions*, U: J. Zachar; P. Claisse; R. T. Naik; E. Ganjian, (ur.), *Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies*. Ancona 28-30.06.2010., Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization.
- Johnson, C. (2009.), *Environmental effects of asphalt pavement, roads and parking*, www.mb-soft.com/public3/asphalt.html.
- Langer, W. (2009.), *Sustainability of aggregates in construction*. U: J. M. Khatib (ur.), *Sustainability of construction materials*. Woodhead publishing limited, str. 1-30.
- LEED - Green Building Rating System, <http://www.leed.net/>.

- Marović, Gordana; Senčar, Jasminka; Bronzović, Maja; Franić, Zdenko, i Kovač, Jadranka (2006.), *Otpad vezan uz proizvodnju električne energije i proizvodnju mineralnih gnojiva*, *hrcak.srce.hr/file/7502*, str. 333-338.
- McCleary, Terrence; Mueller, Matthew (2010.), *Difficulties in choosing sustainable materials*, U: J. Zachar; P. Claisse; R. T. Naik; E. Ganjian, (ur.), *Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies*. Ancona 28-30.06.2010., Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization.
- Moats, Harry P. (2010.), *Concrete: timeless, sustainable, and beautiful*, U: J. Zachar; P. Claisse; R. T. Naik; E. Ganjian, (ur.), *Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies*. Ancona 28-30.06.2010., Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization.
- Monteiro, P. J. M. (2006.), *Concrete – microstructure, Properties and Materials*, McGraw-Hill.
- Morbi, A.; Cangiano, S.; Borgarello, E. (2010.), *Cement based materials for sustainable development*, U: J. Zachar; P. Claisse; R. T. Naik; E. Ganjian (ur.), *Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies*. Ancona 28-30.06.2010., Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization.
- Moriconi, A.; Giacomo (2010.), *Sustainability-driven innovation in the society of the future*, U: J. Zachar; P. Claisse; R. T. Naik; E. Ganjian, (ur.), *Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies*. Ancona 28-30.06.2010., Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization.
- Sakai, Koji (2010.), *Concrete and sustainability*, U: J. Zachar; P. Claisse; R. T. Naik; E. Ganjian, (ur.), *Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies*. Ancona 28-30.06.2010., Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization.
- Mehta, P. Kumar (2010), *Sustainable cements and concrete for the climate change era – a review*, U: J. Zachar; P. Claisse; R. T. Naik; E. Ganjian, (ur.), *Second International Conference on Sustainable construction materials and technologies*. Ancona 28-30.06.2010., Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization.
- Nelson, Shing C. (2004.), *High-strength structural concrete with recycled aggregate*, *Ph.D Thesis*, University of Southern Queensland, Faculty of engineering and surveying.
- Scheibengraf, Martin; Reisinger, Hubert (2005): *Abfallvermeidung und verwertung: Baurestmassen*.
- Štirmer, Nina; Bjegović, Dubravka; Rosković, Ružica (2009), *Pilot project for construction and demolition waste recycling in Croatia, Sardinia 2009*, U: Cossu, R.; Diaz, L. F.; Stegmann, R. (ur.), Cagliari: CISA Publisher, str. 275-276.
- Ukrainczyk, Velimir (1994.), *Beton, struktura, svojstva, tehnologija*, Alcor.
- Zapata, P.; Gambatese, I. (2005.), *II. Infrastructure Syst.*, Vol. II issue 1, March 9-20.

Influence of Construction Materials on the Environment

Summary

The environmentally sustainable construction characteristic is to reduce the environmental impact during construction, and the entire lifetime of the building. To estimate the impact of buildings on the environment, it is necessary to consider all construction phases including the use of natural raw materials for production of building products, construction method, the use of the building and eventually demolition and recycling. Construction is considered as an activity that consumes the largest amount of natural resources, such as aggregate, water, wood and various natural raw materials for production of alloys. Cement as the main constituent of concrete is very important material in construction, but its production requires high energy consumption and it leads to greenhouse gas emissions of CO₂. Studies have shown that the cement industry is responsible for 7 % of total CO₂ emissions. In the production of one ton of Portland cement clinker, into the environment is emitted approximately 850 kg of CO₂. Construction also causes high energy consumption in the production of building products and in construction phase as well as in the use of the building for heating, cooling and lighting.

The construction waste recycling and its reuse for various purposes reduces the need for the natural resources exploitation and solves the disposal problems and new space occupation. Despite these findings, the current level of construction waste recycling in the Republic of Croatia does not exceed 7 %, and from construction waste, only 11 % secondary raw materials is separated.

The paper presents different aspects of sustainable construction, with special emphasis on the building materials selection, and developing awareness of their impact on the environment during the entire lifetime of the building.

Keywords: sustainable construction; materials; CO₂ emission; lifetime; recycling.

Doc. dr. sc. Nina Štirmer
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za materijale
Kačićeva 26, 10000 Zagreb
ninab@grad.hr

