

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Rene Kelemen

**Ekološka i društvena prihvatljivost korištenja pepela iz  
termičke obrade biomase i mulja**

Zagreb, 2024.

*Ovaj rad izrađen je na Zavodu za materijale Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom mentorice dr. sc. Ivane Carević i komentora doc. dr. sc. Nikole Adžage i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2023./2024.*

## **SADRŽAJ RADA**

1. UVOD .....	1
2. OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI RADA .....	4
3. METODOLOGIJA I STRUKTURA RADA .....	6
4. PREGLED STANJA PODRUČJA .....	8
4.1. Korištenje otpada u građevnoj industriji .....	8
4.2. Pepeo drvene biomase.....	13
4.3. Pepeo dobiven termičkom obradom otpadnog mulja.....	14
5. ISTRAŽIVAČKI DIO.....	16
5.1. Anketno istraživanje i statistička obrada.....	16
6. EKSPERIMENTALNI RAD .....	18
6.1. MATERIJALI .....	18
6.1.1. Odabir pepela .....	18
6.1.2. Sastavi mješavina za izradu monolitnih uzoraka .....	20
6.1.3. Priprema monolitnih uzoraka za daljnje ispitivanje .....	22
6.2. METODE ISPITIVANJA .....	24
6.2.1. Ispitivanje izluživanja na uzorcima pepela .....	24
6.2.2. Ispitivanje izluživanja na monolitnim uzorcima .....	27
6.2.3. Ispitivanje izluživanja na kraju životnog vijeka.....	31
7. ANALIZA REZULTATA I RASPRAVA.....	34
7.1. Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu .....	34
7.1.1. Općenito znanje o otpadu i načinu gospodarenja pojedinih vrsta otpada .....	35
7.1.2. Percepcija i poznavanje proizvoda od recikliranog materijala.....	40
7.2. Stav stručne javnosti o industrijskom i građevnom otpadu.....	45

---

7.2.1.	Znanje struke o gospodarenju otpadom te procjena opasnosti pojedinih vrsta otpada za okoliš i ljudsko zdravlje .....	46
7.2.2.	Specifično znanje struke o održivoj upotrebi prirodnih izvora, te posvećenosti struke recikliranju otpada u fazi projektiranja.....	47
7.2.3.	Proizvodi s recikliranim materijalom, svojstva materijala i njihov odabir te integracija recikliranih materijala u građevinske/arhitektonske projekte .....	49
7.2.4.	Upravljanje otpadom na gradilištima i provedba 7. temeljnog zahtjeva za građevinu.....	52
7.3.	Statistička obrada rezultata ankete .....	55
7.4.	Rezultati ispitivanja izluživanja na uzorcima pepela .....	57
7.5.	Rezultati ispitivanja izluživanja na monolitnim uzorcima.....	64
7.6.	Rezultati ispitivanja izluživanja na kraju životnog vijeka.....	71
8.	ZAKLJUČAK .....	76
9.	ZAHVALA.....	79
10.	POPIS LITERATURE .....	80
	POPIS SLIKA .....	87
	POPIS TABLICA.....	92
	PRILOZI.....	93
	Prilog 1 – Primjer ankete pod nazivom <i>Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu</i> .....	93
	Prilog 2 – Primjer ankete pod nazivom <i>Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu</i> .....	98
	Prilog 3 – Statistička obrada rezultata ankete u programu Microsoft Excel .....	102
	SAŽETAK.....	104
	SUMMARY .....	105

---

## 1. UVOD

Tema „otpad“ jedna je od najaktualnijih tema današnjice. Količine otpada svakim danom rastu dok se prostor za odlaganje otpada sve više smanjuje. Prema podacima objavljenim na službenim stranicama Europske unije, prosječni Europljanin proizvede čak pet tona otpada godišnje, pri čemu se u nekim europskim zemljama više od 60 % tog otpada i dalje odlaže na odlagališta, a samo 38 % otpada se reciklira [1]. Obzirom na to, Europska je unija razvila direktivu pod nazivom „*Waste Framework Directive*“ kojom su postavljena neka osnovna načela gospodarenja otpadom [2]:

- gospodarenje otpadom bez ugrožavanja zdravlja ljudi i štete okolišu
- gospodarenje otpadom bez rizika za vodu, tlo, biljke ili životinje
- gospodarenje otpadom bez izazivanja smetnji bukom ili mirisima,
- gospodarenje otpadom bez negativnog utjecaja na selo ili na mjesta od posebnog interesa

Osim toga, direktivom je obuhvaćena i „waste hierarchy“, to jest hijerarhija otpada koja predstavlja temelj gospodarenja otpadom u Europskoj uniji [2]. Na samom vrhu spomenute hijerarhije otpada nalazi se *PREVENCIJA*, to jest sprječavanje stvaranja otpad kao najbolja opcija. Na drugom se mjestu nalazi *PRIPREMA ZA PONOVNU UPOTREBU*, dok se na trećem mjestu nalazi *RECIKLIRANJE*. Na predzadnjem se mjestu nalazi *OPORABA OTPADA* koji obuhvaćaju druge postupke uporabe (npr. energetska uporaba), dok bi prema hijerarhiji otpada, *ODVOZ OTPADA NA ODLAGALIŠTE* trebalo biti posljednje rješenje [2]. Grafički prikaz hijerarhije otpada vidljiv je na Slika 1.



Slika 1 Grafički prikaz "waste hierarchy" - hijerarhije otpada (prevedeno prema [2])

Uz „*Waste Framework Directive*“ važno je spomenuti i *Europski zeleni plan* (European Green Deal) kao jednu od strategija Europske unije koja je usmjerena na postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine, a ekološka i zdravstvena sigurnost su među ključnim prioritetima. Građevinski sektor, kao veliki potrošač resursa i izvor emisija, igra ključnu ulogu u postizanju ciljeva Europskog zelenog plana. Europski zeleni plan snažno podržava prelazak na cirkularnu ekonomiju u građevinskom sektoru, potičući ponovnu uporabu i reciklažu građevinskih materijala. To uključuje smanjenje otpada kroz pametnije dizajniranje, produženje životnog vijeka zgrada i infrastrukture, te povećanje korištenja recikliranih materijala (sekundarnih sirovina) u novim projektima [3].

Temeljem svega spomenutog i sukladno sa ciljevima, direktivama i planovima Europske unije u ovom je radu naglasak stavljen na recikliranje otpada, te ocjena ekološkog rizika korištenjem otpada kao sekundarne sirovina u građevinskim proizvodima. U ovom radu naglasak je stavljen na upotrebu pepela drvene biomase (PDB) i na pepeo dobiven termičkom obradom otpadnog mulja (SSA) kao otpada koji do sada nije našao svoju primjenu. Prema „*Waste Framework Directive*“, recikliranje je definirano kao svaka operacija oporabe kojom se otpadni materijali ponovno prerađuju u proizvode, materijale ili tvari, bilo za izvorne ili druge svrhe [4]. Kako bi recikliranje nekog građevnog proizvoda bilo moguće, nužno je tom proizvodu ukinuti status otpada zadovoljavajući propisane kriterije. U prethodnom Pravilniku o nusproizvodima i ukidanju statusa otpad (NN 117/2014) [5] nisu bili navedeni kriteriji koje otpad koji nastaje oporabom treba zadovoljiti. Objavom novog Pravilnika o ukidanju statusa otpada (NN 55/2023) [6] prvi su puta propisani i kriteriji kvalitete kojima materijali moraju udovoljiti nakon provedenog postupka oporabe otpada. Osim tehničkih aspekata, koji moraju biti zadovoljeni, u

dijelu 3, dodatka 1 spomenutog Pravilnika navedene su i posebni kriteriji za ukidanje statusa otpada što podrazumijeva zdravstvenu ispravnost, to jest granične vrijednosti parametra eluata/testa izluživanja recikliranog agregata i materijala za nasipavanje. Na taj način moraju biti zadovoljeni svi uvjeti koji su potrebni za korištenje otpada kao sekundarne sirovina u građevinskim proizvodima. Radom je obuhvaćano i ispitivanje nakon kraja životnog ciklusa proizvoda čime se doprinosi prelasku s linearnog na kružni gospodarski model i poštuje hijerarhija gospodarenja otpada.

Dodatno, rad obuhvaća istraživanje stavova opće populacije i stručne javnosti o gospodarenju industrijskim i građevinskim otpadom, s posebnim fokusom na ekološke i zdravstvene aspekte primjene. Razumijevanje percepcija različitih dionika omogućava uvid u razinu informiranosti o pitanjima vezanim za gospodarenjem otpadom te identifikaciju stavova i zabrinutosti oko ekoloških i zdravstvenih aspekata gospodarenja otpadom. To je posebno važno jer stavovi i mišljenja javnosti i stručnjaka često oblikuju način na koji se politike i prakse u području upravljanja otpadom provode i prihvaćaju u društvu, te dodatno omogućuju razvoj koji će dodatno doprinijeti održivom gospodarenju otpadom.

## 2. OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI RADA

Opći cilj ovog rada je društvena i ekološka evaluacija mogućnosti održivog gospodarenja industrijskim i građevnim otpadom s fokusom na pepele koji su dobiveni termičkom obradom mulja sa uređaja za pročišćivanje otpadnih voda (SSA) i pepele drvene biomase (PDB) koji trenutno nemaju svoju adekvatnu primjenu. Evaluacija je provedena istraživanjem percepcije dionika (opće populacije i stručne javnosti) o otpadu, te ispitivanjem ekoloških utjecaja i rizika onečišćenja u slučaju odlaganja i prilikom primjene kao sekundarne sirovine u različitim građevinskim materijalima.

Cilj istraživanja javne percepcije građana i stručne javnosti (građevinske i arhitektonske struke) o gospodarenju sa industrijskim i građevnim otpadom, te njihovim utjecajem na okoliš i ljudsko zdravlje te ocijeniti razinu svijesti među građanima i stručne javnosti o pitanjima gospodarenja industrijskim i građevnim otpadom i razumjeti njihove stavove, zabrinutosti i mišljenja. Kroz bolje razumijevanje stavova i percepcija različitih dionika u vezi s gospodarenjem industrijskim i građevnim otpadom mogu se identificirati i dati prijedlozi za potencijalna poboljšanja u praksama upravljanja otpadom u građevinskoj industriji.

Određivanje utjecaja na okoliš otpadnog materijala (PDB-a i SSA-a) prilikom njegovog odlaganja, identifikacija i procjena rizika onečišćenja pri njihovom korištenju kao sekundarne sirovine u miješanim cementima, kao zamjena dijela agregata u portland cementnim kompozitima i zamjenu dijela zgure u alkalno aktiviranim betonskim elementima te identifikacija i procjena rizika onečišćenja nakon kraja životnog ciklusa cementnih i alkalno aktiviranim kompozitima provedeno je na temelju ispitivanja izluživanja. Dodatno rezultati ispitivanja izluživanja mogu se koristiti za usklađivanje s propisima i standardima koji reguliraju gospodarenje otpadnim materijalima i korištenje građevnim proizvodima, a to su Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/2021) [7], Pravilnik o ukidanju statusa otpada (NN 55/2023) [6] i Zakon o gradnji (NN 153/13, NN 20/17, NN 39/19, NN 125/19) [8]. To je važno za osiguranje sigurnosti za zdravlje i za zaštitu okoliša.



Specifični ciljevi rada uključuju:

- a) istražiti percepciju o gospodarenju industrijskim i građevnim otpadom od strane različitih dionika (projektanata, inženjera, arhitekata i od strane općeg građanstva, javnosti)
- b) odrediti ekološki utjecaj na okoliš PDB-a i SSA u slučaju odlaganja
- c) identificirati i ocijeniti rizike onečišćenja pri korištenju PDB-a i SSA u slučaju primjene kao sekundarne sirovine u građevnim proizvodima (miješani cement, zamjene dijela agregata, zamjene dijela zgure u alkalno aktiviranim materijalima)
- d) identificirati i ocijeniti rizike onečišćenja nakon kraja životnog vijeka građevnih proizvoda u kojima se PDB i SSA koristio kao sekundarna sirovina.

Sukladno navedenoj problematici i ciljevima istraživanja, postavljene su sljedeće hipoteze:

H1: Građani, kao i predstavnici građevinske i arhitektonske struke, ne znaju osnovne pojmove vezane uz otpad, nisu upoznati s načinom odlaganja građevnog i industrijskog otpada te izbjegavaju upotrebu proizvoda od recikliranih materijala.

H2: Pepeo koji nastaje izgaranjem drvene biomase i pepeo koji je dobiven termičkom obradom mulja sa uređaja za pročišćivanje otpadnih voda ekološki je i zdravstveno sigurno primijeniti u cementnim kompozitima kao zamjenu dijela agregata, kao zamjenu dijela klinkera u miješanim cementima, te kao zamjenu dijela zgure u alkalno aktiviranim materijalima.

### 3. METODOLOGIJA I STRUKTURA RADA

Rad je podijeljen u nekoliko dijelova:

Istraživanje je započelo proučavanjem domaće i međunarodne literature (poglavljje 4. PREGLED STANJA PODRUČJA) s ciljem utvrđivanja postojećih saznanja o otpadu u građevinskoj industriji, ali i o postojanju pratećih zakona kojima se regulira zbrinjavanje otpada. Osim toga, analizom literature utvrđeni su načini zbrinjavanja pepela drvene biomase (PDB) kao i potencijal njegove upotrebe u građevinskoj industriji. Proučavanjem znanstvenih članaka, ali i drugu literature na temu pepela dobivenog termičkom obradom mulja (SSA) nabrojani su dosadašnji postupci njegova zbrinjavanja, ali i druge mogućnosti njegove upotrebe.

Nadalje, rad se sastoji od istraživačkog dijela (poglavljje 5. ISTRAŽIVAČKI DIO) te od eksperimentalnog rada (poglavljje 6. EKSPERIMENTALNI RAD). Istraživački dio rada podrazumijeva provođenje dvije ankete. Anketa „*Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu*“ istražuje na koji način građani percipiraju upravljanje industrijskim i građevnim otpadom te u kojoj mjeri prepoznaju njegov utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje. Druga anketa „*Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu*“ čije je provođenje za cilj imalo analizirati stav osoba građevinske i arhitektonske struke o otpadu, ali i stav o korištenju proizvoda koji sadrže otpad kao novu sirovinu te problematiku koja se javlja prilikom uporabe takvih proizvoda. Eksperimentalni rad podijeljen je u 3 faze. Prvi dio eksperimentalnog rada obuhvaća ispitivanje utjecaja pepela drvene biomase (PDB) i pepela dobivenog termičkom obradom mulja (SSA) kao materijala na okoliš u slučaju odlaganja na odlagalištima. U drugoj fazi provedena je provjera koncentracije i pokretljivosti štetnih elemenata u cementnim kompozitima i alkalno aktiviranim kompozitima s PDB-om i SSA-om. Treća faza eksperimentalnog rada obuhvaća ispitivanje koncentracija i izluživanja štetnih tvari na usitnjenim komadićima monolitnih uzoraka cementnog kompozita s PDB-om i SSA-om čime se želio pokazati ekološki utjecaj takvog proizvoda na kraju njegova životnoga vijeka.

U idućem poglavljju (poglavljje 7. ANALIZA REZULTATA I RASPRAVA) prikazani su rezultati prethodno provedenog istraživačkog i eksperimentalnog rada. Rezultati istraživačkog dijela, tj. anketa prikazani su grafički te su detaljno komentirani, a osim toga provedena je i statistička analiza na temelju koje su izvedeni određeni zaključci koji predstavljaju motiv za

daljnje istraživanje ovog područja. Nadalje, prikazani su rezultati dobiveni provođenjem sve tri faze eksperimentalnog rada. Dobiveni rezultati uspoređeni su dopuštenim graničnim vrijednostima koje su propisane Pravilnikom o ukidanju statusa otpada NN 55/2023) [6], te su na temelju provedenih usporedbi doneseni zaključci cjelokupnog istraživanja (poglavlje 8 ZAKLJUČAK).

Pregledniji prikaz željenih ciljeva, rezultata i doprinosa dobivenih provođenjem opisane metodologije vidljiv je u Tablica 1.

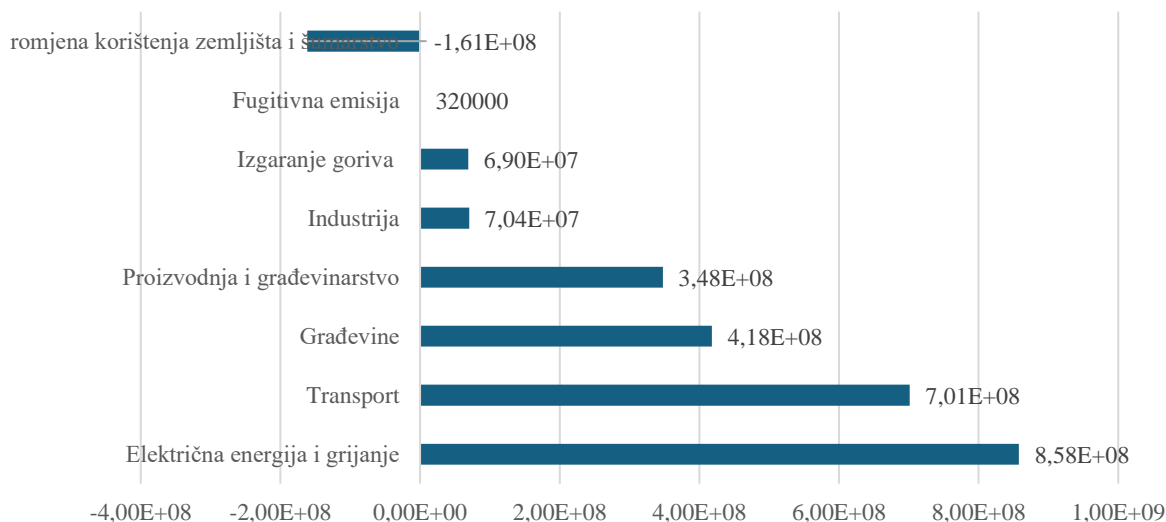
*Tablica 1 Ciljevi, metodologija, postignuti rezultati i doprinos*

<b>CILJEVI</b>	<b>METODOLOGIJA</b>	<b>REZULTATI</b>	<b>DOPRINOS</b>
<i>Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu</i>	<i>Provođenje ankete "Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu"</i>	<i>Analiza percepcije građana o industrijskom i građevnom otpadu</i>	<i>Razumijevanje stavova o industrijskom i građevnom otpadu, podizanje svijesti o pravilnog gospodarenju otpadom, osnova za izradu ili prilagodbu politika i strategija gospodarenja otpadom</i>
<i>Percepcija građevinara i arhitekata o industrijskom i građevnom otpadu</i>	<i>Provođenje ankete "Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu"</i>	<i>Analiza percepcije građevinara i arhitekata o industrijskom i građevnom otpadu</i>	
<i>Utjecaj pepela na okoliš u slučaju odlaganja</i>	<i>Odabir pepela za provođenje eksperimentalnog rada, ispitivanje izluživanja na pepelima</i>	<i>Rezultati ispitivanja pepelima u slučaju odlaganja</i>	<i>Identifikacija potencijalnih rizika kod odlaganja te pronalazak u rješenja za smanjenje odlaganja</i>
<i>Ekološka i zdravstvena ispravnost primjene pepela kao sekundarne sirovine u cilju zadovoljenja 3. temeljnog zahtjeva za građevinu Higijena, zdravlje i okoliš</i>	<i>Ispitivanje izluživanja na razini proizvoda</i>	<i>Udio izluženih teških metala i aniona iz proizvoda</i>	<i>Osiguranje ekološke i zdravstvene sigurnosti korištenja pepela kao sekundarne sirovine</i>
<i>Ekološko ponašanje kompozita nakon kraja životnog ciklusa</i>	<i>Ispitivanje izluživanja na razini otpada</i>	<i>Udio izluženih teških metala i aniona na kraju životnog vijeka građevnog proizvoda</i>	<i>Osiguranje dugoročne sigurnosti za zdravlje i okoliš, polazna točka za daljnja istraživanja u korištenju nove sirovine</i>

## 4. PREGLED STANJA PODRUČJA

### 4.1. Korištenje otpada u građevnoj industriji

Građevinska industrija usko je povezana sa ekonomskim razvojem neke zajednice što se može potvrditi velikim brojem zaposlenih u građevinskom sektoru. Prema podacima iz [9] broj zaposlenih u djelatnosti građevinarstva u drugom kvartalu 2023. godine iznosio je 115 000. Iako uvelike doprinosi ekonomskom razvoju zajednice, ali i razvoju infrastrukture, građevinska industrija ima značajan negativan utjecaj na okoliš. Građevinska industrija troši velike količine prirodnih resursa, stvara velike količine otpada, te doprinosi razvoju velikih količina CO<sub>2</sub> [10], Slika 2. Građevinski sektor smjestio se na četvrto mjesto po količini emitiranog CO<sub>2</sub> na području Europske unije u 2020. godini što je vidljivo na Slika 2 [11] koja prikazuje dijagram raspodjele emisije CO<sub>2</sub> po sektorima na području Europske unije u 2020. godini. Najveće količine CO<sub>2</sub> emitira se proizvodnjom električne energije i topline. Drugi po količini emitiranog CO<sub>2</sub> je transport, a slijede proizvodnja i građevinarstvo.



Slika 2 Dijagram emisije CO<sub>2</sub> po sektorima u Europskoj uniji, 2020. god [11]

Kao osnovni i najveći izvor velikih količina emisija CO<sub>2</sub> smatra se industrija proizvodnje cementa koji je neophodan materijal za proizvodnju betona. Cementni sektor odgovoran je za oko 7 % emisija CO<sub>2</sub> na globalnoj razini i oko 4 % emisija CO<sub>2</sub> u Europskoj uniji [12]. Obzirom na zatečeno stanje, Europska unija postavila je ambiciozne ciljeve za smanjenje emisija CO<sub>2</sub>

kao dio strategije za postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine. Ciljevi koji su postavljani, a odnose se na cementnu industriju su [13]:

- Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> do 2030. godine – cilj je smanjenje emisija CO<sub>2</sub> u proizvodnji cementa za 37 % u odnosu na količine CO<sub>2</sub> iz 1990. godine
- Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> do 2040. godine – cilj je smanjenje emisija CO<sub>2</sub> u proizvodnji cementa za 78 %.
- Neutralnost emisija do 2050. godine – cilj je postizanje neto nulte emisije CO<sub>2</sub> u proizvodnji cementa u Europi.

Kako bi se postigli gore navedeni ciljevi, osmišljene su strategije i tehnologije kojima se smanjuju emisije CO<sub>2</sub> kao što je korištenje alternativnih goriva u procesu proizvodnje cementa, razvijanje novih vrsta cementnih klinkera ili zamjene dijela cementa drugim materijalima. Korištenje alternativnih goriva u procesu proizvodnje cementa podrazumijeva upotrebu otpadnih minerala i biomase koji služe za pokretanje samog procesa proizvodnje cementa. U fazi razmatranja je i korištenje solarne energije za odvijanje procesa kalciniranja. Upotreba novih vrsta cementnih klinkera kao što su sulfo – aluminatni klinker (SAC), fero – aluminatni klinker (FAC) i kalcij – aluminatni klinker koji se kemijski razlikuju od konvencionalnog portland cementnog klinkera rezultira smanjenjem emisija CO<sub>2</sub> za 20 % – 30 %. Konačno, zamjena dijela cementa podrazumijeva upotrebu otpadnih materijala i nusproizvoda iz drugih industrija koji se mogu koristiti za zamjenu dijela vapnenca čime se značajno smanjuje količina emisije CO<sub>2</sub>. Primjeri otpadnih materijala i nusproizvoda koji se mogu koristiti za tu svrhu su: reciklirana cementna pasta, leteći pepeo iz termoelektrana na ugljen, ili zgura.

Iako cementna industrija najviše doprinosi emisijama CO<sub>2</sub> u građevinskom sektoru, ne smiju se zanemariti ni drugi materijali koji također pridonose tim emisijama. Jedna od takvih industrija je i industrija proizvodnje agregata. Naime, prema podacima iz [14], tržište agregata koji se upotrebljava u građevinarstvu iznosilo je 17,788.1 milijuna u 2019. godini, a predviđa se da će doseći 23,327.3 milijuna USD do 2027. godine. To je posljedica upotrebe velikih količina agregata u gotovo svim granama građevinarstva (npr. izgradnja prometnica, mostova i nebodera) [14]. Trenutno korišteni agregati u građevinskom sektoru su sirovine koje se dobivaju iz kamenoloma ili iz pozajmišta agregata [14]. Takav način proizvodnje agregata rezultira stvaranjem velikih količina prašine na području kamenoloma, otpadnih voda, buke te emisija CO<sub>2</sub> koje povezujemo sa njegovim transportom [14]. Obzirom na to, te sukladno

ciljevima Europske unije o smanjenju emisija CO<sub>2</sub>, te željom za prijelaz sa linearne proizvodnje na kružno gospodarstvo potrebno je pronaći materijale koji bi predstavljali adekvatnu zamjenu za običan agregat.

Zamjenom cementa nekim drugim materijalom moglo bi uvelike doprinijeti smanjenju emisija CO<sub>2</sub>. Upravo su se alkalnoaktivirani materijali (AMM) pokazali kao moguća zamjena cementa u proizvodnji betona. Alkalnoaktivirani materijali predstavljaju bilo koje vezivo dobiveno reakcijom izvora alalnog metala (aktivatora) s čvrstim silikatnim prahom (prekursor), poput letećeg pepela i zgure visokih peći, zgure feronikla, crvenog mulja, kalcinirane gline te mnogih drugih [15].

U ovom radu fokus je na otpadnim materijalima koji nisu našli svoju komercijalnu primjenu zbog nedostatka tehničkih rješenja i nedovoljne pokrivenosti propisima i normama: pepeo drvene biomase (PDB) i pepeo dobiven termičkom obradom otpadnog mulja iz pročišćivača otpadnih voda (SSA). Ovaj otpad trenutno se odlaže na odlagalištima [16].

Otpad se može odlagati u tlo ili na tlo, u površinske bazene, te na posebno pripremljeno odlagalište [7]. S ciljem pravilnog odlaganja, otpad se dijeli na opasni otpad, neopasni otpad i na inertni otpad. Opasni otpad je otpad koji posjeduje jedno ili više opasnih svojstva. Neka opasna svojstva otpada su: eksplozivno, oksidirajuće, zapaljivo, nadražujuće, toksičnost, kancerogeno, nagrizajuće, zarazno, mutageno dok je ostatak navedenih opasnih svojstava otpada nalazi u Dodatku XI. Pravilnika o gospodarenju otpadom [17]. Prema [7] neopasni otpad je otpad koji nije opasni otpad, a inertni otpad je otpad koji ne podliježe značajnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama, nije topiv, nije zapaljiv, na bilo koje druge načine fizikalno ili kemijski ne reagira niti je biorazgradiv, s tvarima s kojima dolazi u dodir ne djeluje tako da bi to utjecalo na zdravlje ljudi, životinjskog i biljnog svijeta ili na povećanje dozvoljenih emisija u okoliš [7]. Granične vrijednosti koje ne smiju biti premašene ako se otpad želi odlagati navedene su u Tablica 2.

Tablica 2 Granične vrijednosti za odlaganje otpada u ovisnosti o vrsti otpada

Parametar	Izražen kao	Jedinica	NEOPASNI OTPAD		OPASNI OTPAD		INERTNI OTPAD	
			Za odlagalište anorganskog neopasnog otpada s niskim sadržajem organske/biorazgradive tvari	Za odlagalište pretežito organskog otpada	Za zrnati otpad koji je prikladan za prihvata na odlagališta opasnog otpada		Za zrnati otpad koji je prikladan za prihvata na odlagališta opasnog otpada	
			Granična vrijednost parametra eluata***T/K = 10 l/kg	Granična vrijednost parametra eluata **T/K = 10 l/kg	Granična vrijednost parametra eluata **T/K = 2 l/kg	Granična vrijednost parametra eluata **T/K = 10 l/kg	Granična vrijednost parametra eluata **T/K = 2 l/kg	Granična vrijednost parametra eluata **T/K = 10 l/kg
Arsen	As	mg/kg suhe tvari	2	2	6	25	0,10	0,50
Barij	Ba	mg/kg suhe tvari	500	100	100	300	7	20
Kadmij	Cd	mg/kg suhe tvari	1	1	3	5	0,03	0,04
Ukupni krom	Cr	mg/kg suhe tvari	10	10	25	70	0,20	0,05
Bakar	Cu	mg/kg suhe tvari	50	50	50	100	0,90	2
Molibden	Mo	mg/kg suhe tvari	50	10	20	30	0,30	0,50
Nikal	Ni	mg/kg suhe tvari	10	10	20	40	0,20	0,40
Olovo	Pb	mg/kg suhe tvari	10	10	25	50	0,20	0,50
Antimon	Sb	mg/kg suhe tvari	0,7	0,7	2,0	5,0	0,02	0,06
Selen	Se	mg/kg suhe tvari	2,5	0,5	4	7	0,06	0,10
Cink	Zn	mg/kg suhe tvari	50	50	90	200	2	4
Kloridi	Cl	mg/kg suhe tvari	75.000	15.000	17.000	25.000	550	800
Fluoridi	F	mg/kg suhe tvari	150	150	200	500	4	10
Sulfati	SO <sub>4</sub>	mg/kg suhe tvari	100.000	20.000	25	50.000	560	1.000

U sklopu HORIZON projekta *AshCycle – Integration of underutilized ashes into material cycles by industry-urban symbiosis* [18] razvijaju se novi miješani cementi i novi betonski proizvodi koji koriste PDB i SSA kao sekundarna sirovina. Kako bi se otpadni materijal, kao što su PDB i SSA mogli koristiti za zamjenu dijela klinkera i/ili agregata, potrebno im je ukloniti status otpada. Prema Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/2021), otpad možemo definirati kao bilo koju tvar ili predmet koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti [7]. Osim toga, prema članku 45. navedenog Zakona, propisani su uvjeti za ukidanje statusa otpada, te se na temelju članka 45. stavke 10. donosi i Pravilnik o ukidanju statusa otpada (NN 55/2023) [6]. Pravilnikom o ukidanju statusa otpada propisuju se pojedini posebnih kriterija za ukidanje statusa otpada za određenu tvar ili predmet, način provedbe propisa Europske unije kojima se utvrđuju kriteriji za ukidanje statusa pojedine vrste otpada, izvješće proizvođača o ukidanju statusa otpada, sadržaj izjave o sukladnosti proizvođača tvari ili predmeta upisanog u Očevidnik za ukidanje statusa otpada [6]. Granične vrijednosti za ukidanje statusa otpada dane Pravilnikom [6] i njegove primjene kao nove sekundarne sirovine navedene su u Tablica 3:

*Tablica 3 Granične vrijednosti parametra eluata/testa izluživanja recikliranog agregata i materijala za nasipavanje*

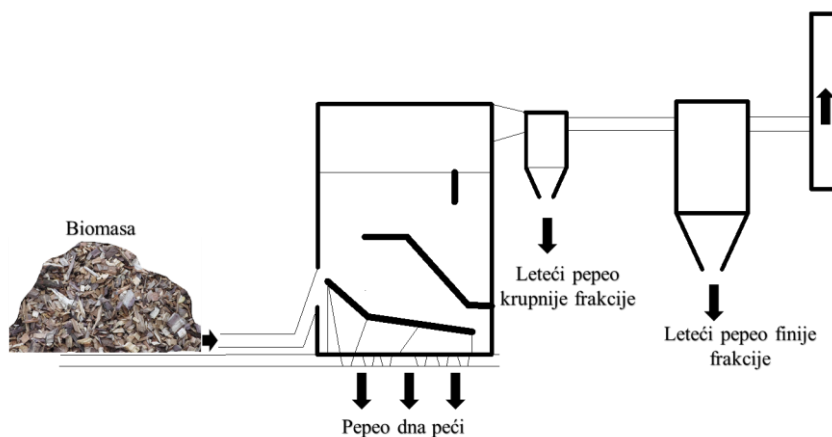
<b>Granične vrijednosti parametra eluata/testa izluživanja</b>		
As	mg/kg suhe tvari	0,5
Ba	mg/kg suhe tvari	20
Cd	mg/kg suhe tvari	0,04
Cr	mg/kg suhe tvari	0,5
Cu	mg/kg suhe tvari	2
Mo	mg/kg suhe tvari	0,5
Ni	mg/kg suhe tvari	0,4
Pb	mg/kg suhe tvari	0,5
Sb	mg/kg suhe tvari	0,06
Se	mg/kg suhe tvari	0,1
Zn	mg/kg suhe tvari	4
Cl <sup>-</sup>	mg/kg suhe tvari	800
F	mg/kg suhe tvari	10
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/kg suhe tvari	1000



## 4.2. Pepeo drvene biomase

Pepeo drvene biomase (PDB) je otpad koji nastaje pri korištenju drvene biomase. Faktori koji utječu na kvalitetu i kvantitetu PDB-a su vrsta biomase, tehnologija postrojenja, lokacija skupljanja pepela te način skladištenja [15]. Lokacije skupljanja PDB-a unutar procesa izgaranja vidljive su na Slika 3, prema kojoj se PDB dijeli na [16]

- pepeo s dna peći koji se skuplja na dnu komore za izgaranje (engl. *bottom ash*);
- relativno gruba frakcija letećeg pepela sakupljena od ciklona ili kotlova (engl. *coarse fly ash*)
- fini leteći pepeo sakupljen od elektrostatskih filtera ili filtera iz vrećice (engl. *fine fly ash*)



Slika 3 Podjela PDB-a prema lokaciji skupljanja u postrojenju [21]

Za potrebe ovog rada korišteni su uzorci pepela sakupljenih elektrostatskim filterom ili filterom iz vrećice (engl. *fine fly ash*) te PDB dobiveni miješanjem pepela sakupljenih na različite (prethodno opisane) načine (engl. *mix ash*).

Uzlazni trend korištenja drvene biomase uvelike utječe i na porast količine proizvedenog PDB-a [17] koji se u većini slučajeva odlaze na odlagališta [18], no često se koristi i u poljoprivredi i šumarstvu kao gnojivo i/ili poboljšivač tla [19] [20]. Pri takvoj upotrebi PDB-a treba voditi računa o opasnim elementima u tragovima i pH vrijednosti koji mogu dovesti do ekoloških problema [21]. S ciljem sprječavanja nekontroliranog odlaganja PDB-a, ali i sprječavanja mogućih ekoloških problema sve je više zakonskih regulativa kojima se pokušava ograničiti njegovo odlaganje i korištenje. Primjera radi, dansko zakonodavstvo dopušta korištenje maksimalno 3 mg/ha PDB-a na šumskom tlu, kako bi se recirkulirao tijekom 10-godišnjeg

razdoblja, ali ne više od tri puta u roku od 75 godina [22]. Osim toga, odlaganje PDB-a predstavlja veliki trošak jer je za odlaganje jedne tone PDB-a potrebno izdvojiti i do 500 EUR [16].

Prethodno navedene činjenice upućuju na potrebu pronalaženja novih metoda recikliranja i ponovne upotrebe PDB-a. Pregledom stanja područja utvrđeno je da se PDB kao takav, može upotrijebiti u određenoj mjeri kao zamjena dijela klinkera u proizvodnji cementa [23], kao inertno punilo [24] ili kao zamjena za pijesak [25].

### 4.3. Pepeo dobiven termičkom obradom otpadnog mulja

Otpadni mulj predstavlja nusprodukt koji nastaje prilikom procesa pročišćavanja otpadnih voda. Pročišćavanje otpadnih voda odvija se uz pomoć uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) koji smanjuje ispuštanje otpadnih tvari u okoliš pri čemu dolazi do stvaranja značajnih količina mulja (pročišćavanjem jednog m<sup>3</sup> vode nastaje 0,5 kg mulja) koji se mora adekvatno zbrinuti [26]. Prema hrvatskom zakonodavstvu, mulj nastao u UPOV-ovima tretira se kao neopasni otpad koji treba adekvatno obraditi i zbrinuti u okoliš. Dosadašnja praksa nudi više mogućih rješenja zbrinjavanja mulja kao sporednog proizvoda pročišćavanja otpadnih voda [27]:

- Odlaganje (na odlagališta ili u prošlosti odlaganje u more koje je danas zabranjeno)
- Korištenje u poljoprivredi
- Poboljšanje lošeg temeljnog tla i zapunjavanje rovova
- Termička obrada i daljnje gospodarenje pepelom.

Dosada se otpadni mulj u većini slučajeva zbrinjavao na način da se upotrebljavao u poljoprivredi kao poboljšivač tla [28] u zemljama poput Francuske, Španjolske i Velike Britanije dok je ostatak mulja odlagao na odlagalište ili je spaljen [26]. Zbog obaveza prema Europskoj uniji, ali i zbog sve veće količine otpadnog mulja koji se svakodnevno proizvodi, traže se nova rješenja za adekvatno zbrinjavanje otpadnog mulja kao što je termička obrada otpadnog mulja i daljnje gospodarenje dobivenim pepelom. Termičkom obradom mulja stvara se otpad (pepeo – SSA) koji se može u odnosu na svoje karakteristike i kemijski sastav upotrijebiti u određenim granama gospodarstva s posebnim naglaskom na građevinsku industriju u proizvodnji cementa, betona, opeke, keramike, ugradnji u asfaltne mješavine u

cestogradnji, proizvodnji mješavina za poboljšanje tla, izdvajanje fosfora kao ograničenog resursa na Zemlji i dr. [27] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38].

## 5. ISTRAŽIVAČKI DIO

### 5.1. Anketno istraživanje i statistička obrada

S ciljem obuhvaćanja što je moguće veće populacije, ankete su provedene popunjavanjem elektroničkih obrazaca (CAWI – Computer Assisted Web Interviewing). Elektronički obrasci za anketu „*Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu*“ slani su u nekoliko grupa na društvenim mrežama (Facebook), a to su: „*Grupa ZA BROVJE!*“, „*Moj kvart Savica*“ te grupa „*Novosti iz TRNSKOG*“. Na taj je način prikupljeno 135 odgovora od ukupno 10768 ljudi koji su činili ispitnu populaciju. Prevedeno u postotke, na sudjelovanje u anketi odazvalo se 1,25 % ispitne populacije zbog čega se rezultati ove ankete ne mogu smatrati reprezentativnima, no mogu poslužiti kao dobar orijentir za razumijevanje stavova i temelj za provođenje daljih istraživanja. Druga anketa pod nazivom „*Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu*“ provedena je slanjem elektroničkih obrazaca u nekoliko društava koji okupljaju osobe građevinske i/ili arhitektonske struke: Društvo građevinskih inženjera i tehničara Varaždin, Društvo građevinskih inženjera i tehničara Međimurje te Udruženje arhitekata Međimurja. Osim u navedena društva i udruženja, anketa je provedena i u trgovačkom društvu PZC Varaždin d.d. te u Upravnom odjelu za komunalne poslove, urbanizam i zaštitu okoliša grada Varaždina. Na taj je način prikupljeno 135 anketnih odgovora, dok se ukupna ispitna populacija sastojala od 361 osobe. Izraženo u postocima, na sudjelovanje u anketi odazvalo se 37,4 % ispitne populacije.

Prva anketa pod nazivom „*Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu*“ podijeljena je u tri dijela. Prvi dio obuhvaća općenita pitanja o ispitanicima: starost, spol, mjesto u kojem žive te stupanj obrazovanja. Druga dio ankete obuhvaća 10 pitanja čiji je cilj bio ustanoviti generalni stav građana o otpadu. Osim toga, želio se dobiti uvid o znanju građana o otpadu te o načinima njegova zbrinjavanja. U posljednjem dijelu ankete kroz 11 pitanja želio se utvrditi stav građana o proizvodima koji sadrže reciklirani materijal

Druga anketa „*Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu*“ čije je provođenje za cilj imalo analizirati stav osoba građevinske i arhitektonske struke o otpadu, ali i stav o korištenju proizvoda koji sadrže otpad kao novu sirovinu te problematiku koja se javlja prilikom uporabe takvih proizvoda. Ova anketa podijeljena je u dva dijela. Prvi dio podrazumijeva općenita pitanja kojima se prikupljaju informacije o ispitanicima (starost,

spol, naselje, struka). Drugi se dio ankete bazirao na 18 pitanja čijim se postavljanjem željelo utvrditi znanje, upoznatost i mišljenje struke o otpadu, te o proizvodima sa recikliranim otpadom kao sekundarne sirovine. Rezultati anketa statistički su obrađeni. Statistička obrada rezultata provođena je u računalnom programu MS Excel zbog čega su rezultati ankete prethodno trebali bi analizirani i dodatno prilagođeni. Prilagodba rezultata podrazumijeva pretvorbu tekstualnih odgovora kao što su „Da“ i „Ne“ u brojeve 0 i 1 pri čemu je odgovor „Ne“ zamijenjen brojem 0, dok je umjesto odgovora „Da“ korišten broj 1. Konačno, rezultati statističke obrade dobiveni su testiranjem statističkih hipoteza. Testiranje statističkih hipoteza je postupak donošenja odluke o odbacivanju ili neodbacivanju  $H_0$  na osnovu informacije dobivene iz opažanja slučajnog uzorka [39]. Statistika pomoću koje se donosi odluka o odbacivanju ili neodbacivanju  $H_0$  zove se test-statistika [39]. Za potrebe statističke analize ovog rada, hipoteze smo testirali na temelju razlike parametara Bernoullijevih raspodjela i na taj način izveli bitne zaključke koji su bili motiv za daljnje istraživanje.

Primjer ankete „*Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu*“ nalazi se u Prilogu 1 – Primjer ankete pod nazivom *Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu*, dok se primjer druge ankete nalazi u Prilogu 2 – *Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu*.

## 6. EKSPERIMENTALNI RAD

### 6.1. MATERIJALI

#### 6.1.1. Odabir pepela

U sklopu projekta *Ashcycle – Integration of Underutilized Ashes into Material Cycles by Industry-Urban Symbiosis* [18] provedena su ispitivanja teških metala na 24 različita uzoraka pepela. Od svih prikupljenih pepela, odabrani su oni koji su predmet daljnjeg istraživanja u sklopu projekta *AshCycle* (mehanička svojstva i svojstva trajnosti). Denominacija uzoraka dana je Tablica 4. Promatrani su rezultati teških metala samih pepela: As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn (Tablica 5). Vidljive su veće vrijednosti Cu, Zn, Ni i Cr u SSA pepelima (P4 i P5) u odnosu na PDB uzorke, dok su razine Cd veće kod PDB uzoraka u odnosu na SSA uzorke. Vizualni prikaz svih uzoraka dan je na Slika 4.

Tablica 4 Promatrani pepeli u radu

Lokacija prikupljeno pepela	Vrsta pepela	Oznaka pri ispitivanju	Oznaka u radu
Gospić	Leteći PDB	GOS fly	<b>P1</b>
Požega	Miješani PDB	POŽ mix	<b>P2</b>
Bjelovar	Miješani PDB	BJ mix	<b>P3</b>
Našice	SSA	NA SSA	<b>P4</b>
Karlovac	SSA	KA SSA	<b>P5</b>
Žakanje	Miješani PDB	ŽAK mix	<b>P6</b>

Tablica 5 Vrijednosti teških metala u pepelima

	Oznaka uzorka	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Metal, mg/l	Mo	2,37	1,44	0,98	6,64	24,2	2,93
	Cu	87,7	99,8	75,7	281,7	269,5	85,3
	Pb	51,31	15,87	8,9	44,32	107,63	17,09
	Zn	730,7	112,9	132	918,7	1165,8	231,5
	Ni	36,6	48,8	31,5	70,5	122,3	46,9
	As	9,9	2,1	2,5	6,9	5,7	1,9
	Cd	5,68	2,84	2,37	0,26	0,29	5,49
	Sb	3,54	0,44	0,32	9,82	12,44	0,36
	Cr	72	63	50	108	238	145
	Ba	259	685	935	277	208	936

	Oznaka uzorka	P1	P2	P3	P4	P5	P6
	Se	1	0,7	1	3	3,6	0,8
Primjena AshCycle rješenja		Zamjena dijela klinkera u cementu ili zgure u AAM sustavu	Zamjena dijela agregata u OPC sustavu	Zamjena dijela agregata u OPC sustavu	Zamjena dijela klinkera u cementu	Zamjena dijela klinkera u cementu ili zgure u AAM sustavu	Zamjena dijela agregata u OPC sustavu ili zgure u AAM sustavu



*Slika 4 Vizualni prikaz odabranih pepela*

Navedeni pepeli koriste se kao sekundarne sirovine za proizvodnju morta/betona, Tablica 5. Pepeo P1 korišten je kao zamjena dijela klinkera i kao zamjena dijela zgure u alkalno aktiviranom materijalu. Pepeo P2 i pepeo P3 korišteni su kao zamjena dijela agregata, dok je pepeo P4 korišten kao zamjena dijela klinkera. Pepeo P5 primjenjuje se kao zamjena dijela klinkera, zamjena dijela agregata te kao zamjena dijela zgure u alkalno aktiviranom materijalu. Pepeo P6 koristi se kao zamjena dijela agregata te kao zamjena dijela zgure u alkalno aktiviranom materijalu.

### 6.1.2. Sastavi mješavina za izradu monolitnih uzoraka

Izrađene su četiri različite mješavine u kojima su odabrani pepeli korišteni na različite načine. U Tablica 6 navedene su oznake monolitnih uzoraka te pepeli koji su korišteni za izradu mješavina. Iako su izrađene četiri mješavine za izradu monolitnih uzoraka, daljnje ispitivanje je provedeno na pet uzoraka jer je prilikom raskalupljivanja uočeno oštećenje, pa je taj uzorak označen kao M2 te je podvrgnut daljnjem ispitivanju kao i preostali uzorci, u cilju utvrđivanja na koji način loša ugradnja utječe na rezultate izluživanja.

*Tablica 6 Mješavine za izradu monolitnih uzoraka*

Oznaka uzorka u radu	Oznaka uzorka pri ispitivanju	Korišten pepeo	Način upotrebe pepela
M1	ŽAK 1	P6	20 % zamjene agregata
M2	ŽAK 2 - oštećen	P6	20 % zamjene agregata
M3	SSA 1	P5	zamjena dijela klinkera u miješanom cementu
M4	M0 - 2 - referentna mješavina	-	alkalno aktivirana referentna mješavina
M5	M6 - 15	P6	15 % zamjene zgure

Za izradu cementnih monolitnih uzoraka korištena je vodovodna voda temperature  $20 \pm 2$  °C, te miješani cement sa pepelom P5 proizveden u suradnji sa proizvođačem cementa NEXE d.d. Osim toga, za pripremu mortova (mješavine M1, M2, M3) korišten je standardizirani pijesak



CEN u skladu s normom HRN EN 196-1 [45]. Mješavine morta pripremljene su prema normi HRN EN 196-1 [46]. Sastav morta i skladištenje materijala prije uporabe u skladu je s navedenom normom koja određuje da maseni odnos komponenti CEN standardnog pijeska, cementa i vode bude 3 : 1 : 0,5 pa bi prema tome svaka serija morta trebala sadržavati  $1350 \pm 5$  g pijeska,  $450 \pm 2$  g cementa te  $225 \pm 1$  g vode. Za potrebe ovog rada, prilikom izrada mješavina zadržani su navedeni omjeri, no dio agregata zamijenjen je PDB-om. Svaka mješavina korištena je za izradu po 3 monolitna uzorka dimenzija 40 x 40 x 160 mm, a potrebne količine pojedinih komponenata navedene su u:

- Tablica 7 za uzorke M1 i M2 – 20 % agregata zamijenjeno je PDB-om oznake P6
- Tablica 8 za uzorak M3 – korišten je miješani cement koji sadrži pepeo P5

*Tablica 7 Sastav mješavine za izradu uzoraka M1 i M2*

<b>Komponenta</b>	<b>Masa [g]</b>
CEM II B – S 42,5 N	450
voda	225
pijesak	1080
pepeo P6	270

*Tablica 8 Sastav mješavine za izradu uzorka M3*

<b>Komponenta</b>	<b>Masa [g]</b>
Miješani cement s pepelom P5	450
voda	225
pijesak	1350

Kod pripreme alkalno aktiviranih monolitnih uzoraka M4 i M5 napravljene su dvije mješavine, od kojih je prva mješavina bila referentna (M4), dok je u drugoj mješavini M5 15 % zgure zamijenjeno PDB-om oznake P6. Sastav referentne mješavine razvijen je na Tehničkom Sveučilištu u Delftu - *Technical University of Delft (TU Delft)* u sklopu projekta *Ashcycle – Integration of Underutilized Ashes into Material Cycles by Industry-Urban Symbiosis*. Sastavni materijali za izradu navedenih mješavina su: zgura koja ima ulogu prekursora, aktivatori  $\text{Na}_2\text{O}$  i  $\text{SiO}_2$ , vodovodna voda temperature  $20 \pm 2$  °C i drobljeni agregat. Potrebne količine pojedinih komponenta za izradu 1 m<sup>3</sup> betona navedene su u Tablica 9 i Tablica 10.

*Tablica 9 Sastav referentne mješavine za izradu uzorka M4*

<b>Komponenta</b>		<b>Masa [kg]</b>
prekursor	zgura	400
aktivatori	Na <sub>2</sub> O	18
	SiO <sub>2</sub>	8,72
voda		169,31
agregat		1699,41

*Tablica 10 Sastav mješavine za izradu uzorka M5*

<b>Komponenta</b>		<b>Masa [kg]</b>
prekursor	zgura	340
	pepeo P6	60
aktivatori	Na <sub>2</sub> O	18
	SiO <sub>2</sub>	8,72
voda		169,31
agregat		1691,01

### 6.1.3. Priprema monolitnih uzoraka za daljnje ispitivanje

Priprema mortova započinje ulijevanjem vode u miješalicu, a slijedi dodavanje veziva i agregata. Miješanje traje ukupno 4 minute, no brzina miješanja se mijenja. Nakon početnog miješanja na nižoj brzini koje traje 60 sekundi, slijedi pauza od 60 sekundi kako bi se materijal sa stijenki miješalice ručno vratio u zonu miješanja. Nakon pauze, slijedi miješanje višom brzinom u trajanju od 120 sekundi.

Po završetku miješanja, kalupi dimenzija 40 x 40 x 160 mm ispunjuju se mortom te se vibriraju s ciljem kvalitetnije ugradnje (Slika 5 i Slika 6).



*Slika 5 Kalupi ispunjeni mješavinom za izradu uzoraka M1 i M2*



*Slika 6 Kalupi ispunjeni mješavinom za izradu uzorka M3*

Kalupe koji su prethodno ispunjeni mortom potrebno je prekriti nepropusnim materijalom s ciljem sprječavanja evaporacije vode iz uzoraka.

Nakon 24 sata, monolitni uzorci se raskalupljuju. Uzorci su nakon raskalupljivanja, a prije ispitivanja skladišteni na sobnoj temperaturi i na relativnoj vlažnosti od oko 40-60 %. Ovim uvjetima željelo se simulirati najnepovoljniji scenarij za izluživanje štetnih tvari iz monolitnih uzoraka u okoliš. Naime, cilj je bio oponašanje situacije u kojoj nakon dugotrajnog sušnog razdoblja, tijekom kojeg su uzorci izloženi suhim uvjetima (faza prije ispitivanja), dolazi do naglog i obilnog padanja kiše (početak ispitivanja izluživanja). Ova nagla promjena uvjeta uzrokuje intenzivno izluživanje štetnih tvari iz monolitnih uzoraka, što omogućuje procjenu maksimalnog ekološkog rizika koji bi mogao nastati u stvarnim okolišnim uvjetima.

## 6.2. METODE ISPITIVANJA

S ciljem utvrđivanja zdravstvene opasnosti i utjecaja pojedinog građevnog proizvoda na okoliš u kojem se nalazi, u sklopu ovog istraživanja proveden je i eksperimentalan rad. Eksperimentalan rad sastoji se od tri dijela:

- ispitivanje izluživanja na uzorcima pepela
- ispitivanje izluživanja na monolitnim uzorcima morta
- ispitivanje izluživanja na kraju životnog vijeka (krhotine)

### 6.2.1. Ispitivanje izluživanja na uzorcima pepela

Ispitivanje je provedeno u skladu s normom HRN EN 12457-2:2005 *Karakterizacija otpada – izluživanje – Provjera izluživanja zrnatog otpadnog materijala i muljeva – 2. dio: Jednostupanjski postupak kod omjera tekuće-čvrsto od 10 l/kg za materijale s veličinom čestica manjom od 4 mm (sa smanjenjem veličine čestica ili bez smanjenja)* [47]. Postupak ispitivanja započinje uzimanjem i vaganjem 20 g pepela svake vrste (Slika 7 i Slika 8), nakon čega je potrebno izmjeriti 200 ml otapala tj. deionizirane vode. Na taj se način postiže zahtijevani omjer tekuće-čvrsto od 10 l/kg. Staklene boce volumena 300 ml ispunjavaju se pepelom i prethodno izmjerenom količinom deionizirane vode.



*Slika 7 Vaganje pepela P3*



*Slika 8 Vaganje pepela P5*

Dobiveno je šest uzoraka koji se stavljaju u uređaj za miješanje što je vidljivo na Slika 9. Miješanje se provodi 24 sata sa brzinom miješanja 250 okretaja/min nakon čega se uzorci ostavljaju da se slegnu u trajanju od  $15 \pm 5$  min.



*Slika 9 Miješanje uzoraka*

Prije filtracije eluata, provodi se mjerenje električne provodljivosti uz istovremeno mjerenje temperature (Slika 10). Slijedi postupak filtracije eluata. Filtriranje se provodi kroz membranski filter s promjerom pora od  $0,45 \mu\text{m}$  uz korištenje vakuumpumpe (Slika 11). Vakuumpumpa ubrzava i pospješuje postupak filtracije. Nakon filtracije, mjeri se pH vrijednost eluata uz istovremeno mjerenje temperature (Slika 12). Na kraju, uzorcima se dodaje dušična kiselina ( $\text{HNO}_3$ ) kako bi se pH vrijednost uzorka smanjila ispod 2. Tako pripremljeni uzorci (Slika 13), spremni su za elementarnu analizu. Elementarna analiza prethodno pripremljenih uzoraka provedena je u Centralnom kemijskom – tehnološkom laboratoriju tvrtke HEP – Proizvodnja d.o.o. gdje su ispitani pepeli P1, P2, P3, P4 i P5, dok je pepeo oznake P6 ispitan u laboratoriju Zavoda za hidrotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu



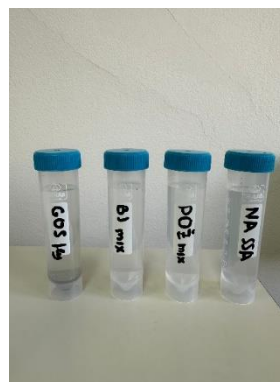
*Slika 10 Uređaj za mjerenje električne provodljivosti*



*Slika 11 Filtracija eluata*



*Slika 12 Uređaj za mjerenje pH vrijednosti*

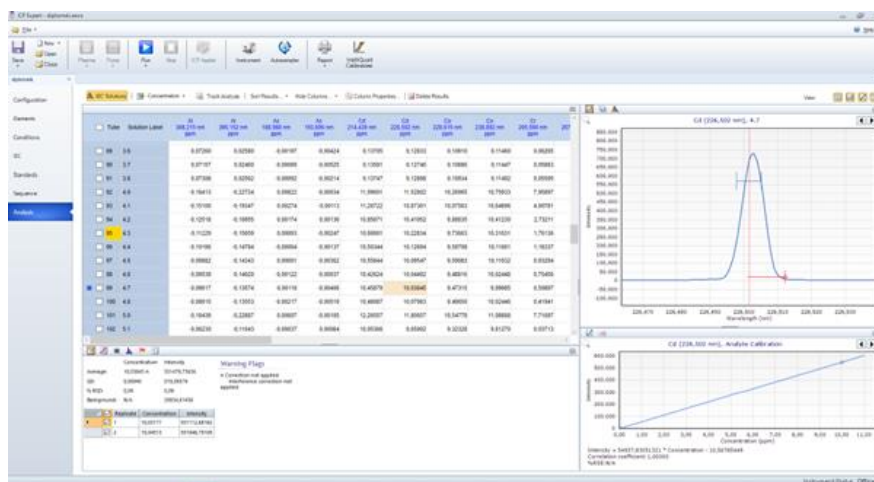


*Slika 13 Uzorci spremni za daljnje ispitivanje*

Za elementarnu analizu korišten je optički emisijski spektrometar s induktivno spregnutom plazmom (ICP OES). ICP-OES analiza se temelji na činjenici da atomi i ioni mogu apsorbirati energiju za prelazak elektrona iz osnovnog u pobuđeno stanje te da tako pobuđeni atomi prilikom povratka na nižu energetska razinu oslobađaju svjetlost na određenim valnim duljinama. Količina oslobođene svjetlosti, odnosno intenzitet zračenja na pojedinoj valnoj duljini proporcionalan je koncentraciji tog elementa u uzorku. Izvor energije potreban za pobudu atoma i iona dolazi od plazme argona na 10000 K. Ispitivanje se provodi na ICP uređaju koji se nalazi u laboratoriju Zavoda za hidrotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, prikazanom na Slika 14, a rezultati se očitavaju uz pomoć softverskog sučelja čiji je izgled vidljiv na Slika 15.



Slika 14 Sustav za provođenje ICP analize smješten u laboratoriju Zavoda za hidrotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu



Slika 15 Softversko sučelje

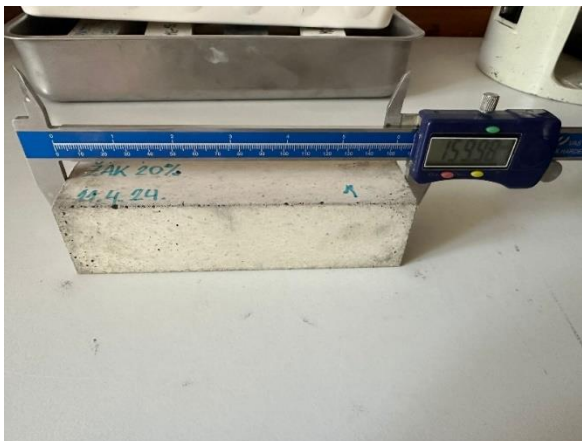
## 6.2.2. Ispitivanje izluživanja na monolitnim uzorcima

Ispitivanje izluživanja na monolitnim uzorcima provodi se prema normi HRN EN 16637-1:2023 *Građevni proizvodi – Procjena otpuštanja opasnih tvari – 1. dio: Upute za utvrđivanje ispitivanja izluživanja i dodatnih koraka ispitivanja* [48], te prema normi HRN EN 16637-2:2023 *Građevni proizvodi – Procjena otpuštanja opasnih tvari – 2. dio: Horizontalno dinamičko ispitivanje izluživanja s površine* [49]. Norma propisuje minimalne dimenzije uzoraka na kojima se provodi ispitivanje, pa sukladno tome za potrebe ispitivanja korišteni su

uzorci dimenzija 40x40x160 mm. Prije uranjanja uzoraka u deioniziranu vodu uzorci se važu (Slika 16) te im se mjere dimenzije (Slika 17). Izmjerene vrijednosti prikazane su u Tablica 11.



Slika 16 Vaganje monolitnih uzoraka



Slika 17 Mjerenje dimenzija monolitnih uzoraka

Tablica 11 Dimenzije i masa monolitnih uzoraka

Oznaka uzorka u radu	Oznaka uzorka pri ispitivanju	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Oplošje (mm <sup>2</sup> )	Masa uzorka (g)
M1	ŽAK 1	40,87	40,02	159,98	0,02915	556,40
M2	ŽAK 2-oštećen	41,20	39,94	160,37	0,02932	529,70
M3	SSA 1	40,85	40,06	160,74	0,02928	571,80
M4	AAM 0	40,83	40,15	160,08	0,02921	634,10
M5	AAM 6	41,80	40,20	159,85	0,02958	631,54

Monolitni uzorci (Slika 18) stavljaju se u posudu na dva ležaja kao što je prikazano na Slika 19, pri čemu treba paziti da stranice posude budu minimalno udaljene 20 mm od stranica uzorka.





*Slika 18 Monolitni uzorci prije ispitivanja*



*Slika 19 Monolitni uzorak u posudi za ispitivanje*

Nakon što su uzorci postavljeni u posudu na nosače, slijedi određivanje potrebne količine deionizirane vode. U tu svrhu norma propisuje omjer volumena tekućine L i površine uzorka koja je uronjena u otopinu A (obzirom da je cijeli uzorak potopljen u otopinu, A predstavlja oplošje uzorka). Navedeni omjer mora biti jednak  $L/A=80 \pm 10 \text{ l/m}^2$ . Izračunata količina otopine stavlja se u pripremljenu posudu u kojoj se nalazi uzorak. Posuda se zatvara te se bilježi vrijeme zatvaranja posude. Nakon  $6 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$  odstranjuje se eluat na način da se ne odstranjuju sitni dijelovi materijala koji su moguće pali s ispitnog uzorka. Uklonjena tekućina filtrira se kroz filter  $0,45 \mu\text{m}$ , te se mjeri pH vrijednost i električna provodljivost ispitane tekućine. Postupci ispitivanja električne provodljivosti i pH vrijednosti kao i postupak filtracije provode se na isti način kao i kod ispitivanja izluživanja na uzorcima pepela. Filtrirani eluat se priprema za ispitivanje koncentracije teških metala (ICP analizu) kao što je prethodno opisano. Osim ICP analize, za kvantitativno određivanje sulfata i klorida u uzorcima koristi se UV/Vis spektroskopija. UV/Vis spektroskopija je tehnika koja se temelji na apsorpciji svjetlosti od strane nepoznate tvari ili uzorka. Ispitivanje se zasniva na osvjetljavanju uzorka elektromagnetskim zrakama različitih valnih duljina u vidljivom spektru, ali i u susjednim područjima, tj. ultraljubičastom (UV) i dijelom donjeg infracrvenog područja (IR) spektra. Ovisno o tvari, svjetlost se djelomično apsorbira. Preostala svjetlost, tj. propuštena svjetlost, bilježi se kao funkcija valne duljine pomoću prikladnog detektora, pružajući UV/Vis spektar uzorka. Kao rezultat toga, postoji jedinstvena i specifična veza između tvari i njenog UV/Vis

spektra jer svaka tvar apsorbira svjetlost na različit način. Spektar se zatim može koristiti za identifikaciju ili kvantifikaciju tvari [50].

Postupak ispitivanja se nastavlja zamjenom odstranjenog eluata novim eluatom u istoj količini, a cijeli se postupak ponavlja u 8 vremenskih intervala koji su određeni normom, a prikazani su u Tablica 12.

*Tablica 12 Prikaz vremenskih intervala u kojima se odvija ispitivanje*

<b>Vremensko uzorkovanje</b>	<b>Trajanje između pojedinih uzorkovanja</b>	<b>Trajanje od početka testiranja (t<sub>0</sub>)</b>
1	6 h ± 15 min	6 h
2	18 h ± 15 min	1 dan
3	1 dan i 6 h ± 45 min	2 dana i 6 h
4	1 dan i 18 h ± 75 min	4 dana
5	5 dana ± 75 min	9 dana
6	7 dana ± 75 min	16 dana
7	20 dana ± 7 h	36 dana
8	28 dana ± 12 h	64 dana

Rezultati koji se dobivaju ICP analizom i Uv/Vis spektroskopijom izraženi su u mjernoj jedinici mg/l, dok su granične vrijednosti izluživanja pojedinih teških metala, sulfata i klorida izražene u mg/m<sup>2</sup>. Kako bi bilo moguće dobivene rezultate usporediti sa graničnim vrijednostima, potrebno ih je svesti na zajedničku mjernu jedinicu (mg/m<sup>2</sup>). Norma [49] daje formulu za pretvorbu mjerne jedinice mg/l u mg/m<sup>2</sup>:

$$r_i = \frac{c_i \times V}{A}$$

gdje su:  $r_i$  – vrijednost površinskog ispuštanja tvari u razdoblju  $i$  (mg/m<sup>2</sup>)

$i$  – period od 1 do  $k$

$k$  – broj eluata sakupljenih u ispitivanju

$c_i$  – koncentracija tvari u eluatu  $i$  (mg/l)

$V$  – volumen sredstva za ispiranje (deionizirana voda) (l)

$A$  – oplošje ispitivanog uzorka (m<sup>2</sup>)

Kumulativne vrijednosti izluživanja pojedinog elementa računa se prema formuli:

$$R_n = \sum_{i=1}^n \times r_i \text{ za } n = 1 \text{ do } k$$

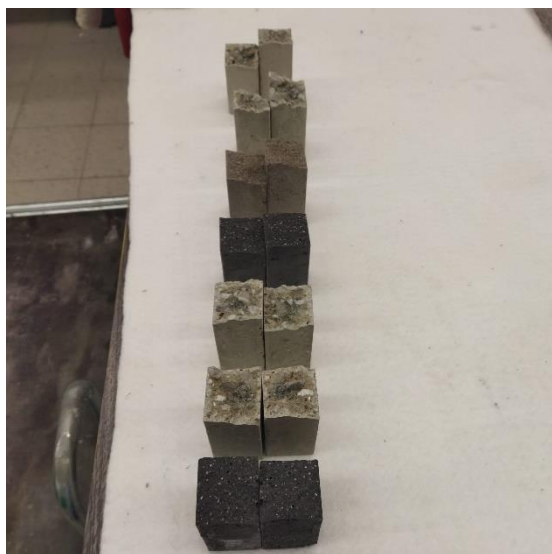
gdje su:  $R_n$  – kumulativna vrijednost površinskog ispuštanja tvari za razdoblje  $n$

$r_i$  – vrijednost površinskog ispuštanja tvari u razdoblju  $i$  ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )

$k$  – broj eluata sakupljenih u ispitivanju

### 6.2.3. Ispitivanje izluživanja na kraju životnog vijeka

Ispitivanje ekološkog utjecaja proizvoda koji u sebi sadrže PDB i pepele dobivene termičkom obradom otpadnog mulja na kraju njihovog životnog vijeka provodi se na način da se monolitni uzorci usitnjavanju, tj. pretvaraju se u krhotine. Prije usitnjavanja monolitnih uzoraka, ispitana je tlačna čvrstoća prema normi *HRN EN 196-1:2016 - Metode ispitivanja cementa -- 1. dio: Određivanje čvrstoće* [45]. Sukladno tome monolitni uzorci dimenzija 40 x 40 x 160 mm prvo ispituju se na čvrstoći na savijanje, nakon čega slijedi ispitivanje tlačne čvrstoće. Nakon ispitivanja (Slika 20), uzorci su dodatno usitnjeni čekićem kako bi se simulirao građevinski otpad i otpad nakon rušenja (Slika 21) nakon čega je slijedila priprema uzoraka za ispitivanje izluživanja štetnih tvari.



*Slika 20 Uzorci nakon ispitivanja čvrstoće na savijanje*



*Slika 21 Dodatno usitnjavanje uzoraka, čekićem*

Ispitivanje se provodi u skladu s normom HRN EN 12457-2:2005 *Karakterizacija otpada – izluživanje – Provjera izluživanja zrnatog otpadnog materijala i muljeva – 2. dio: Jednostupanjski postupak kod omjera tekuće-čvrsto od 10 l/kg za materijale s veličinom čestica manjom od 4 mm (sa smanjenjem veličine čestica ili bez smanjenja)* [47], a postupak ispitivanja istovjetan je onom opisanom u odlomku 6.2.1. *Ispitivanje izluživanja na uzorcima pepela*. U nastavku su prikazane dvije slike provedenog ispitivanja (Slika 22 i Slika 23) te Tablica 13 sa oznakama za lakše i jasnije razlikovanje krhotina.



*Slika 22 Usitnjeni uzorak*



*Slika 23 Otopine spremne za ispitivanje*

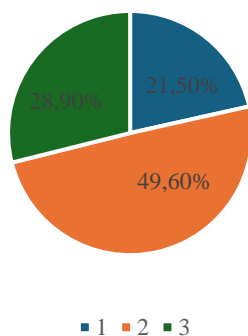
*Tablica 13 Oznaka usitnjenih monolitnih uzoraka*

<b>Oznaka monolitnog uzorka</b>	<b>Oznaka uzorka pri ispitivanju</b>	<b>Oznaka usitnjenog uzorka (krhotina)</b>
M1	ŽAK 1	K1
M2	ŽAK 2 - oštećen	K2
M3	SSA 1	K3
M4	M0 - 2 - referentna mješavina	K4
M5	M6 - 15	K5

## 7. ANALIZA REZULTATA I RASPRAVA

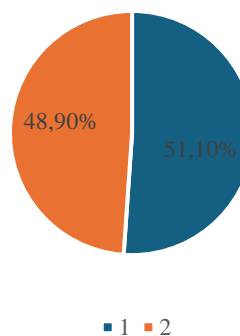
### 7.1. Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu

Ispitanici koji su sudjelovali u anketi većinom su starosti od 30 do 49 godina (49,6 % ispitanika). Prate ih ispitanici koji imaju 50 ili više godina (28,9 %), dok je najmanje ispitanih onih koji su starosti do 29 godina (21,5 %) (Slika 24). Udio muškaraca i žena među ispitanicima je podjednak, no ipak je bilo nešto više ženskih ispitanika (51,1%) u odnosu na muškarce (48,9 %) što je vidljivo na Slika 25.



Slika 24 Dobne skupine ispitanika

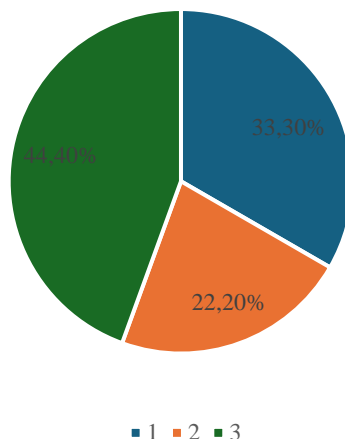
(1-do 29 godina; 2-od 30 – 49 godina; 3-50 godina i više)



Slika 25 Spol ispitanika

(1-ženski; 2-muški)

Ispitanici su većinom bili iz područja Zagreba (Jarun, Borovje, Špansko, Folnegovićevo naselje, Savica), no zabilježeni su i neki odgovori izvan područja Zagreba (Varaždin). Prema stupnju obrazovanja, većina ispitanika se izjasnila da je visoke stručne spreme (VSS) (44,4 %), njih 33,3 % se izjasnilo da je se srednje stručne spreme (SSS), dok je najmanji broj ispitanika bio više stručne spreme (VŠS) (22,2 %) što je i vidljivo na Slika 26.



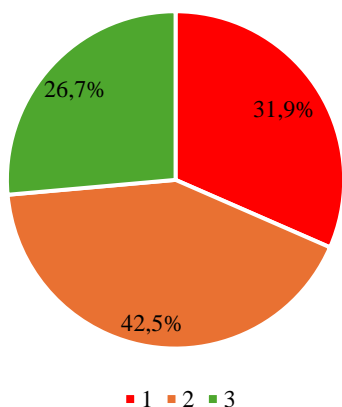
Slika 26 Podjela ispitanika prema stupnju obrazovanja

1 – srednja stručna sprema (SSS); 2 – viša stručna sprema (VŠS); 3 – visoka stručna sprema (VSS)

#### 7.1.1. Općenito znanje o otpadu i načinu gospodarenja pojedinih vrsta otpada

Prvi dio ankete obuhvaća niz pitanja koja propitkuju znanje građana o osnovnim pojmovima vezanim uz gospodarenje otpadom. Pitanja su postavljena kako bi se dobio uvid u upoznatost građana sa navedenom tematikom. Dodatno obuhvaća nekoliko pitanja o važnosti gospodarenja otpadom, te njihovoj zabrinutosti kad je u pitanju otpad i o načinima na koji se gospodari pojedinim vrstama otpada.

Analizom rezultata (Slika 27) uočeno je da većina ispitanika nije upoznata (31,9 %) ili je samo načula (42,5 %) za pojam „obrnuta piramida gospodarenja otpadom“. Pojmovi „recikliranje“, „oporaba“ ili „ponovno upotrijebiti“ nešto su poznatiji građanima, pa čak 45,2 % ispitanika zna navedene pojmove i razumije koje su različitosti između njih, (Slika 28). Rezultati posljednjeg pitanja ove skupine pokazuju da 52,6 % ispitanika razlikuje pojmove „inertni otpad“, „neopasan otpad“ i „opasan otpad“, kao što je vidljivo na Slika 29.

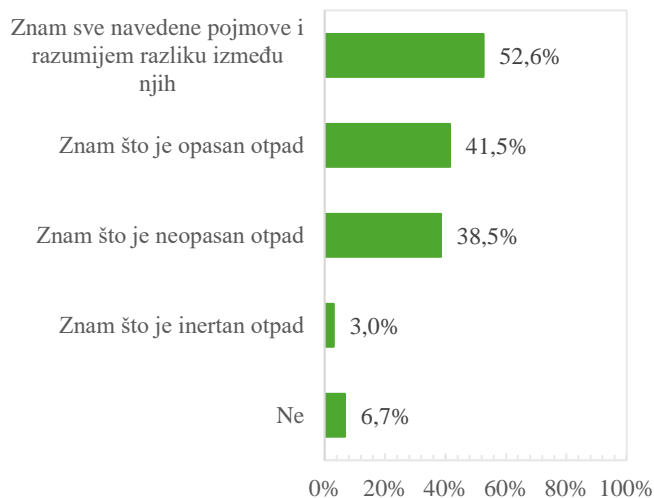


Slika 27 Prikaz rezultata na pitanje: "Znate li što je obrnuta piramida gospodarenja otpadom?"

(1 - Ne znam ništa o tom pojmu; 2 - Samo sam našuo/načula, ali ne bih znao/znala objasniti; 3 - Da, upoznat sam sa navedenim pojmom)



Slika 28 Prikaz rezultata na pitanje: "Znate li razliku između pojmova reciklirati, oporabiti, ponovno upotrijebiti?"

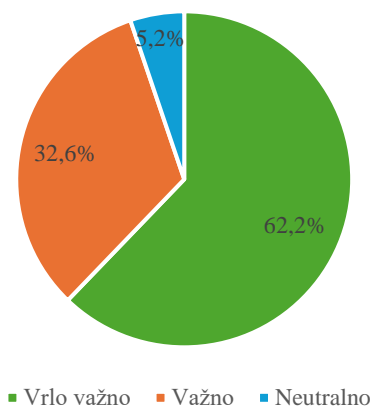


Slika 29 Prikaz rezultata na pitanje: "Znate li razliku između inertnog, neopasnog i opasnog otpada?"

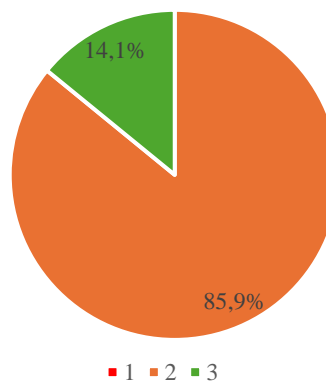
Iz priloženih rezultata vidljivo je da više od 60 % građana smatra vrlo važnim da su prakse gospodarenja otpadom zdravstveno prihvatljive, slika 30. Važno je uočiti da više od 85 % ispitanika primjećuje ilegalno odlaganje otpada te smatra da bi trebala postojati bolja kontrola i veće novčane kazne, slika 31. Uvidom u rezultate posljednjeg pitanja vidljivo je da više od 95 % građana zabrinjava utjecaj otpada na okoliš te na biljni i životinjski svijet, slika 32. Dodatno



smatraju da otpad ima značajan utjecaj na klimatske promjene (81 %), te predstavlja veliki zdravstveni rizik (81,5 %).



Slika 30 Slika 7 8 Prikaz rezultata na pitanje o važnosti zdravstvene prihvatljivosti u okvirima gospodarenja otpadom



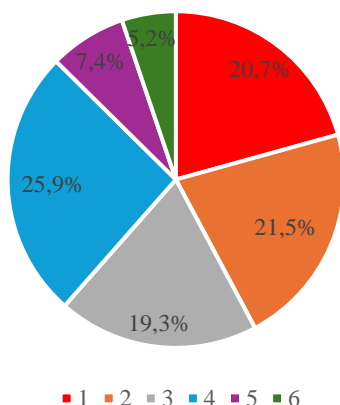
Slika 31 Prikaz rezultata na pitanje: "Koji je Vaš stav o ilegalnom odlaganju otpada?"

(1 - Ne primjećujem navedeno; 2 - Primjećujem, i mislim da bi trebala biti veća kontrola i novčane kazne; 3 - Primjećujem, prijavljujem nadležnim službama i mislim da bi trebala biti veća kontrola i novčane kazne)



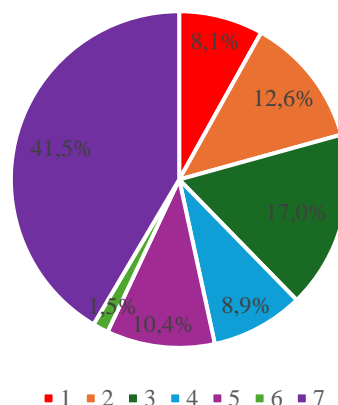
Slika 32 Prikaz rezultata na pitanje: „Što Vas najviše brine kad je u pitanju otpad?“

Cilj postavljenih pitanja, danih na Slika 33, Slika 34, Slika 35 i Slika 36, je prikupiti mišljenja građana o tome da li znaju što se događa s otpadom, odnosno na koji načini se gospodari pojedinim vrstama otpada. Analizom dobivenih rezultata ustanovljeno je da 49,6 % građana smatra da otpad koji nastaje nakon uređenja stana ili rušenja zgrade (građevni otpad i otpad nakon rušenja) se odlaže na ilegalna odlagališta ili ga preuzimaju tvrtke koje se oglašavaju na javim mjestima, no nije jasno gdje taj otpad na kraju završava. Osim toga, 7,4 % ispitanika ne vjeruje da se građevni otpad i otpad nakon rušenja reciklira, Slika 33. Kada je u pitanju otpadni mulj iz komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, čak 41,5 % građane ne zna ništa o navedenoj tematici. Preostalih 58,5 % dijeli mišljenja o upotrebi otpadnog mulja što je vidljivo na Slika 34. Što se tiče gospodarenjem pepelom dobivenim termičkom obradom drveta, 54,1 % ispitanika ne zna ništa o navedenoj tematici, Slika 35. Bitno je istaknuti da čak 9,6 % građana smatra da se pepeo dobivenim termičkom obradom drveta odlaže ilegalno, a njih 19,3 % smatra da se pepeo dobiven termičkom obradom drveta legalno odlaže od kojih njih 5,9 % smatra da se pepeo odlaže na legalna odlagališta, 11,9 % ispitanika smatra da pepeo odlaže na legalna odlagališta iako ima potencijalnu primjenu, dok 1,5 % ispitanika smatra da Republika Hrvatska ima uspostavljen sustav za gospodarenje pepelom. U posljednjem pitanju ovog odlomka, ispitanici su trebali procijeniti koliko je pojedina vrsta otpada opasna za okoliš i za ljudsko zdravlje, Slika 36. Analizom odgovora ispitanika, može se zaključiti da građani smatraju plastiku kao najopasniji otpad za okoliš i za ljudsko zdravlje, dok s druge strane najmanje opasnim smatraju pepeo nastao termičkom obradom drveta. Ono što je zanimljivo uočiti da 34,1% te 36,3% građana smatra otpadni mulj iz komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i zguru iz proizvodnje čelika jako opasnim. Potrebno je napomenuti da se zgura tradicionalno koristi kao sirovina u građevinskoj industriji već dugi niz godina.



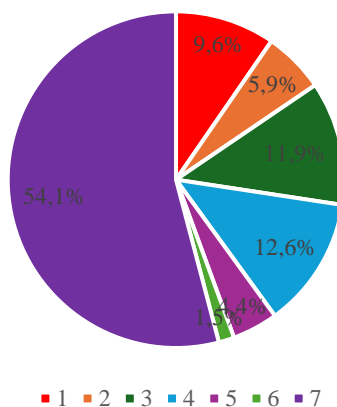
Slika 33 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Što se događa s otpadom nakon uređenja stana ili rušenja zgrade?"

(1-Mislim da se takav otpad većinom ilegalno odlaže; 2-Mislim da takav otpad preuzimaju tvrtke koje se oglašavaju na javnim mjestima, ali nisam siguran/na kamo odvoze taj otpad; 3-Mislim da se takav otpad većinom odlaže na legalna odlagališta; 4-Mislim da se takav otpad odlaže na legalna odlagališta, iako ima potencijalnu primjenu u građevinarstvu; 5-Kažu da se reciklira, ali ne vjerujem u to; 6-Mislim da se takav otpad ponovno koristi i da u RH imamo uspostavljen sustav za gospodarenje građevinskim otpadom)



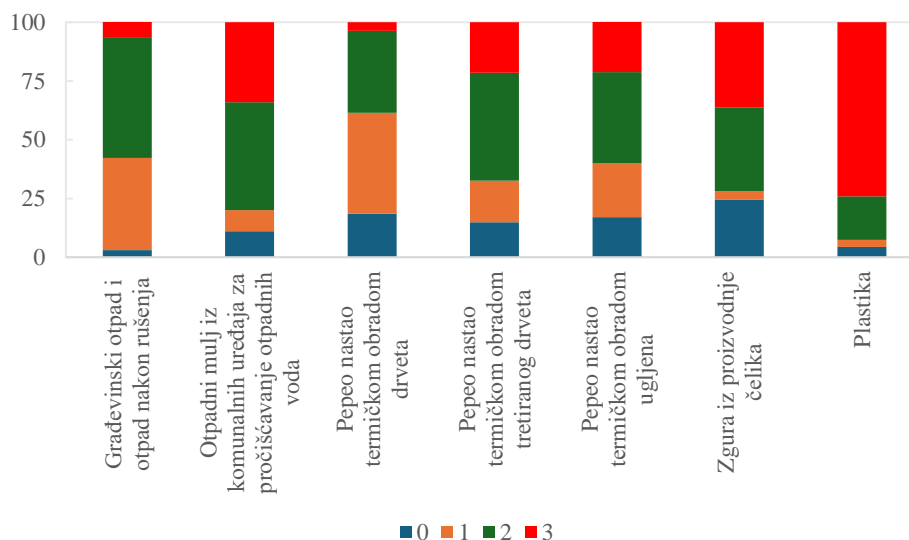
Slika 34 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Na koji se način trenutno gospodari otpadnim muljem iz komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda?"

(1-Mislim da se takav otpad većinom ilegalno odlaže; 2-Mislim da se takav otpad većinom odlaže na legalna odlagališta; 3-Mislim da se takav otpad odlaže na legalna odlagališta, iako ima potencijalnu primjenu ponovnog korištenja; 4-Mislim da se većinom koristi u poljoprivredi; 5-Kažu da se reciklira, ali ne vjerujem u to; 6-Republika Hrvatska ima uspostavljen za gospodarenje muljem u koji potpuno vjerujem; 7-Ne znam ništa o tome)



Slika 35 Prikaz odgovora na pitanje: "Kako se trenutno gospodari pepelom dobivenim termičkom obradom drveta?"

(1-Mislim da se takav otpad većinom ilegalno odlaže; 2-Mislim da se takav otpad većinom odlaže na legalna odlagališta; 3-Mislim da se takav otpad odlaže na legalna odlagališta, iako ima potencijalnu primjenu ponovnog korištenja; 4-Mislim da se većinom koristi u poljoprivredi; 5-Kažu da se reciklira, ali ne vjerujem u to; 6-Republika Hrvatska ima uspostavljen za gospodarenje pepelom u koji potpuno vjerujem; 7-Ne znam ništa o tome)



Slika 36 Rezultati procjene građana o tome koliko je pojedina vrsta otpada opasna za okoliš i ljudsko zdravlje

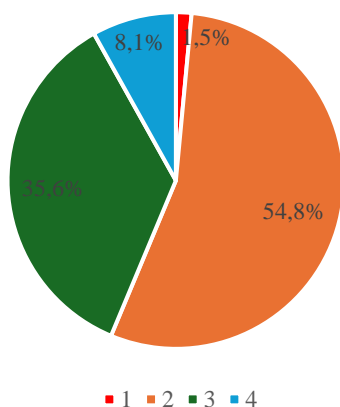
(0-ne znam ništa o navedenom; 1- smatram da nije opasno; 2-smatram da je opasno ako se ilegalno odlaže; 3- smatram jako opasnim otpadom)

Na temelju postavljenih pitanja i analize dobivenih rezultata, možemo zaključiti da postoji značajan nedostatak informacija i svijesti među građanima o postupcima gospodarenja različitim vrstama otpada. Velik broj građana nema jasnu sliku o tome što se događa s otpadom koji nastaje u različitim situacijama, poput uređenja stana ili rušenja zgrada, ili o postupcima vezanim uz otpadni mulj iz komunalnih postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda te pepelom dobivenim termičkom obradom drveta. Osim toga, postoji značajan postotak građana koji ne vjeruje u recikliranje određenih vrsta otpada ili smatra da se odvijaju nelegalne prakse u vezi s gospodarenjem otpadom. Važno je istaknuti i da građani prepoznaju plastiku kao najopasniji otpad za okoliš i ljudsko zdravlje, dok pepeo nastao termičkom obradom drveta ocjenjuju kao najmanje opasan. Analiza ukazuje na potrebu za poboljšanjem informiranosti i edukacije građana o održivim praksama gospodarenja otpadom, kao i potrebu za transparentnijim i učinkovitijim sustavima upravljanja otpadom.

### 7.1.2. Percepcija i poznavanje proizvoda od recikliranog materijala

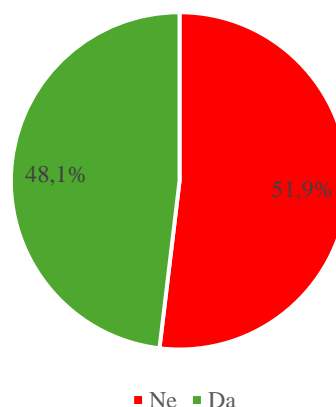
Ovaj odlomak odnosi se na dostupnost i poznavanje proizvoda koji su proizvedeni recikliranjem otpada. Proizvodi s recikliranim otpadom relativno su novi na tržištu, a predstavljaju jedan od mogućih načina iskorištavanja otpada. Postavljanjem niza pitanja želio se dobiti uvid o stavovima građanstva o proizvodima s recikliranim otpadom, njihovoj dostupnosti na tržištu, ali i njihovoj primjeni u svakodnevnom životu. Većina ispitanika (54,8 %) smatra da je na

tržištu dostupan premali broj proizvoda koji se dobivaju recikliranjem otpada (Slika 37), što bi se moglo povezati sa time da čak 51,9% ispitanika ne poznaje niti jedan proizvod u kojem se koristi reciklirani industrijski otpad, Slika 38. S druge strane, 48,1 % građana poznaje jedan ili više proizvoda koji se proizvode od recikliranog otpada, a kao primjere tih proizvoda građani su navodili: PET boce, reciklirani papir, staklo, otpadna guma kao podloga na igralištima, četkice za zube, odjeća, signalni stupići, ambalaža za kozmetiku i sl.



*Slika 37 Dostupnost proizvoda dobivenih recikliranjem otpada*

(1-Nije dostupno; 2-Malo, moglo bi biti bolje; 3-Dostupno je, ali samo u pojedinim industrijama; 4-Dostupno je jako puno takvih proizvoda na tržištu)

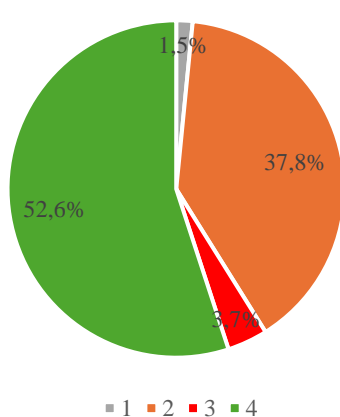


*Slika 38 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Poznajete li neki proizvod u kojem se koristi reciklirani industrijski otpad u svakodnevnoj upotrebi?"*

Posljednji odlomak ankete sastoji se od niza pitanja koja su postavljena s ciljem prikupljanja mišljenja i stavova ispitanika o proizvodima koji koriste reciklirani materijal kao sirovinu, ali i utvrđivanja prihvaćenosti takvih proizvoda u društvu.

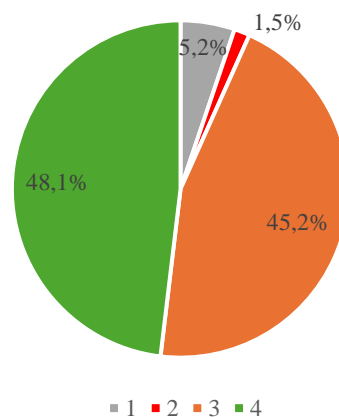
Rezultati pokazuju da većina ispitanika smatra da proizvodi s recikliranim materijalom imaju jednaku tehničku ispravnost kao i proizvodi koji ne sadrže reciklirani materijal (Slika 39). Uz to, 48,1 % građana smatra da su proizvodi koji koriste reciklirani materijal kao sirovinu zdravstveno sigurni za ljude i okoliš jednako kao proizvodi koji su napravljeni bez recikliranog materijala (Slika 40). Važno je naglasiti da bi većina ispitanika (99,3 %) upotrebljavala proizvod koji koristi otpad kao novu sirovinu, s time da je 20 % ispitanika važno da proizvod bude tehnički, zdravstveno i ekološki ispravan, dok je 25,2 % ispitanika važno da proizvod bude zdravstveno i ekološki ispravan, Slika 41. Uz to bitno je napomenuti da 74,1 % građana podržava mandatornu (obveznu) politiku korištenja otpada kao nove sirovine u proizvodima uz

obavezno ispitivanje utjecaja takvih proizvoda na zdravlje i na okoliš koje mora biti javno dostupno i vidljivo, Slika 42.



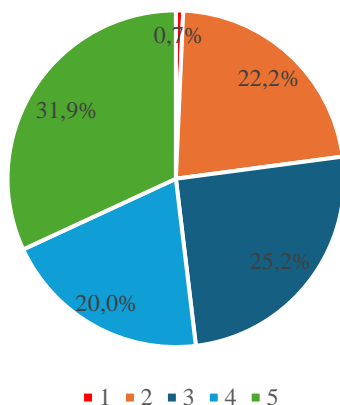
Slika 39 Prikaz odgovora na pitanje o tehničkoj ispravnosti proizvoda koji koriste reciklirani materijal kao sirovinu

(1-Ne znam ništa o navedenom; 2-Nisam siguran/na, ovisi o proizvođaču; 3-Ne, ovi bez recikliranog materijala su bolji; 4-Da)



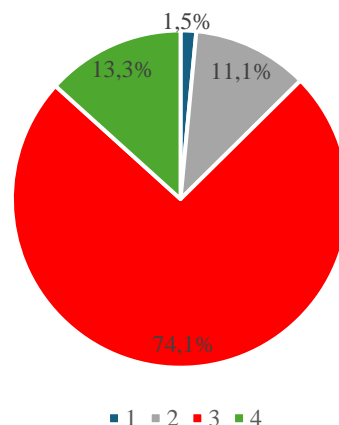
Slika 40 Mišljenje građana o zdravstvenoj sigurnosti proizvoda koji koriste reciklirani materijal kao sirovinu, te njihov utjecaj na okoliš

(1-Ne znam ništa o navedenom; 2-Ne; 3-Možda, mislim da bi trebali ispitivati, ali nisam siguran/an da li se to radi; 4-Da)



Slika 41 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Biste li upotrebljavali proizvod koji koristi otpad kao novu sirovinu?"

(1-Ne bi koristio/la; 2-Da, ako bi bio/la sigurna u tehničku ispravnost proizvoda; 3-Da, ako bi bio/la sigurna ekološku i zdravstvenu ispravnost proizvoda; 4-Da, ako bi bio/la sigurna i tehničku i ekološku ispravnost proizvoda; 5-Da)

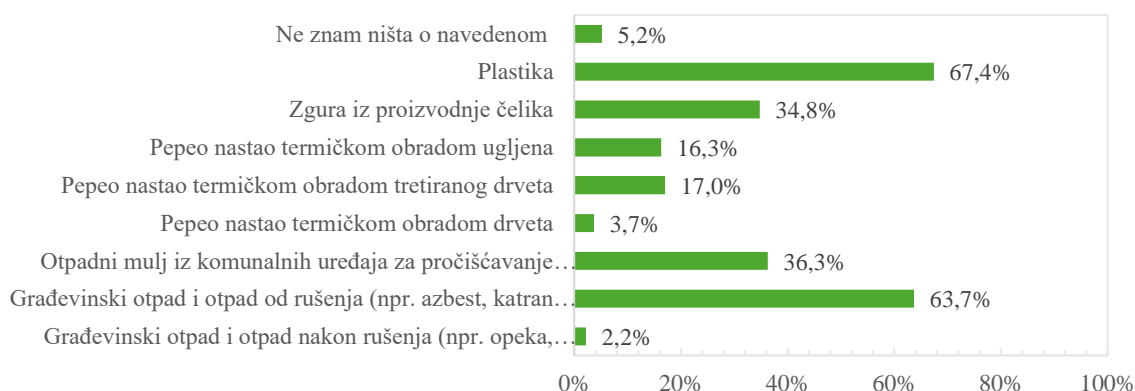


Slika 42 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Podržavate li mandatornu (obveznu) politiku korištenja otpada kao nove sirovine u proizvodima?"

(1-Ne, nikako; 2-Ne, bojim se da bi se varalo sa rezultatima ispitivanja utjecaja na zdravlje i okoliš; 3-Da, ali mora biti obvezno dokazano ispitivanjem utjecaja na zdravlje i okoliš i javno objavljeno; 4-Da, bezuvjetno)

Nadalje, su ispitanci bili zamoljeni da označe otpad za koji smatraju da je najopasniji za zdravlje i okoliš kada se koristi kao nova sirovina u građevinskom sektoru. Analizom rezultata

iz Slika 43 vidljivo je da građani kao najopasniji otpad smatraju plastiku (67,4 %), dok se kao drugi najopasniji otpad smatra građevinski otpad nakon rušenja kao što su katran i azbest (63,7 %), a najmanje opasnim smatraju opeku, beton, staklo koji nastaju u procesu rušenja (2,2 %). Uspoređujući odgovore na pitanje „Koji otpad građani smatraju najopasnijim za zdravlje i okoliš kada se on koristi kao nova sirovina u građevinskom sektoru?“ prikazane na Slika 43, sa Rezultatima procjene građana o tome koliko je pojedina vrsta otpada opasna za okoliš i ljudsko zdravlje prikazanih na Slika 36, može se zaključiti da odgovori na oba dva pitanja potvrđuju da građani smatraju plastiku kao najopasniji otpad za okoliš i ljudsko zdravlje. S druge strane, građani su procijenili da najmanje opasnim smatraju pepeo dobiven termičkom obradom drveta (Slika 36), dok pri korištenju otpada kao nove sirovine u građevinskom sektoru najmanje opasnim smatraju građevinski otpad i otpad nakon rušenja kao što je opeka, beton i staklo (Slika 43).



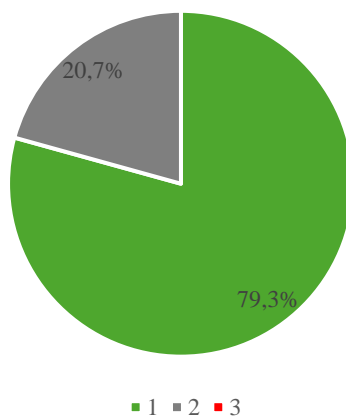
*Slika 43 Prikaz odgovora na pitanje o otpadu koji građani smatraju najopasnijim za zdravlje i okoliš korištenjem kao nove sirovine u građevinskom sektoru.*

Kada je u pitanju kupnja novih proizvoda koji su napravljeni od otpada, 70,4 % ispitanika smatra da nije bitno od čega je proizvod napravljen, već je samo bitno da je proizvod siguran i ispravan za korištenje. Na drugom mjestu prema kupnji, građani su istaknuli proizvode napravljene od građevinskog otpada i otpada nakon rušenja, Slika 44. Usporedbom rezultata prikazanih na Slika 41 i Slika 44 može se zaključiti da bi većina ispitanika upotrebljavala otpad kao novu sirovinu, te da većini ispitanika pri kupnji novih proizvoda napravljenih od otpada nije bitno od čega je proizvod napravljen, već ih samo zanima sigurnosti i ispravnost proizvoda pri korištenju.



Slika 44 Prikaz odgovora na pitanje o kupnji proizvoda koji su napravljeni od otpada

Na kraju, bitno je naglasiti da svi ispitanici smatraju da treba povećati novčane kazne za ilegalno odlaganje otpada, no 20,7 % građana smatra da bi se to na neki način zloupotrebilo, Slika 45



Slika 45 Stav građana o povećanju novčane kazne za ilegalno odlaganje otpada

(1-Da, bezuvjetno; 2-Da, ali mislim da bi se to nekako zloupotrebilo; 3-Ne)

Prije završetka ispunjavanja ankete, ispitanici su imali mogućnost napisati kratak komentar vezan uz proučavanu tematiku. U nastavku su navedeni neki od komentara koji potvrđuju zabrinutost građana i daju poticaj za daljnje istraživanje i usavršavanje načina gospodarenja otpadom. Komentari ispitanika:

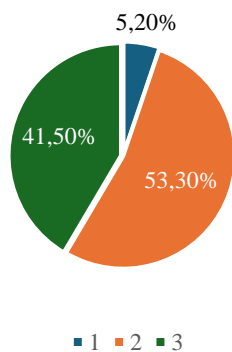
- „Ovo je važna treba, treba još puno raditi na osvješćivanju ljudi.“



- „Potrebno je sve više reciklirati otpad ,te ga natrag upotrebljavati da ne zagađujemo okoliš.“
- „Sve je to premalo u odnosu na velike količine otpada koji se proizvede, ali to je sve povezano sa troškovima zbrinjavanja istoga.“
- „Smatram da je potrebno više informirati javnost o mogućnosti pravilnog zbrinjavanja komunalnog otpada kao i korištenje proizvoda od recikliranog materijala.“
- „Građevinski otpad se može jako dobro upotrijebiti recikliran za gradnju cesta i ostalih građevina.“

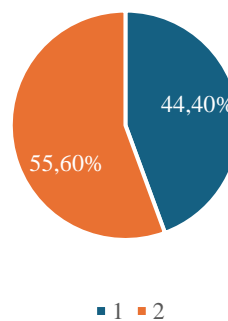
## 7.2. Stav stručne javnosti o industrijskom i građevnom otpadu

Osim ankete gdje je ispitivana skupina bila opća populacija, provedena je i anketa o industrijskom i građevinskom otpadu među osobama građevinske i arhitektonske struke. U anketi su ponajviše sudjelovale osobe u dobi od 30 – 40 godina, njih čak 53,3 %, Slika 46, a većinu ispitanih čine muškarci, njih 55,6% što je vidljivo na Slika 47.



Slika 46 Dobne skupine ispitanika

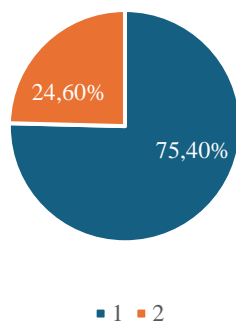
(1-do 29 godina; 2-od 30 – 49 godina; 3-50 godina i više)



Slika 47 Spol ispitanika

(1-ženski; 2-muški)

Anketa je obuhvatila područje sjeverne Hrvatske, većinom Varaždin i Čakovec, ali i područje Grada Zagreba te njegovu okolicu. Iako je cilj bio dobiti podjednaki broj odgovora i od građevinske i od arhitektonske struke, u ovoj anketi prevladala je građevinska struka što je vidljivo na Slika 48.

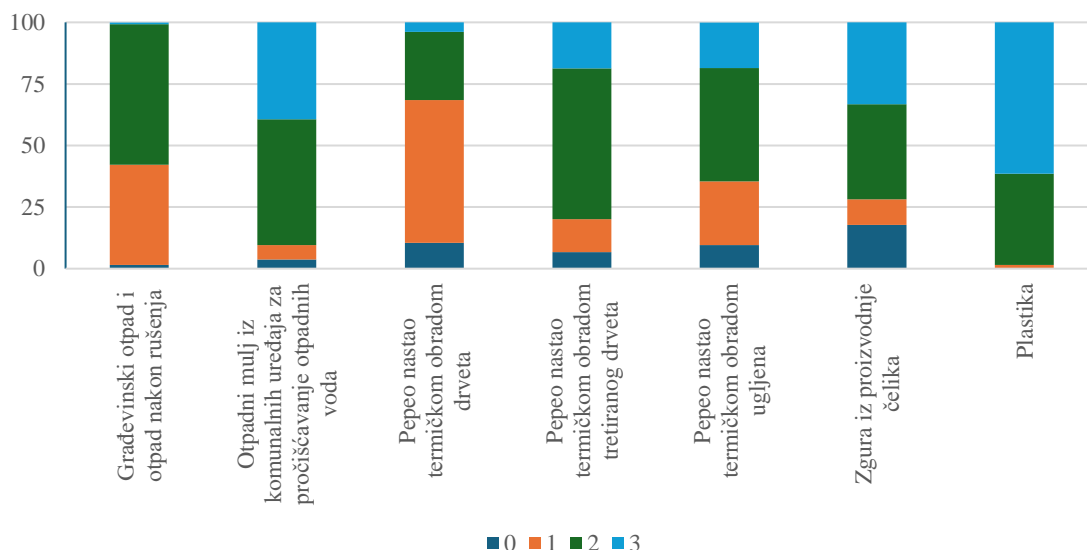


Slika 48 Prikaz odgovora na pitanje: "Koje ste struke?"

(1-Građevinska struka; 2-Arhitektonska struka)

### 7.2.1. Znanje struke o gospodarenju otpadom te procjena opasnosti pojedinih vrsta otpada za okoliš i ljudsko zdravlje

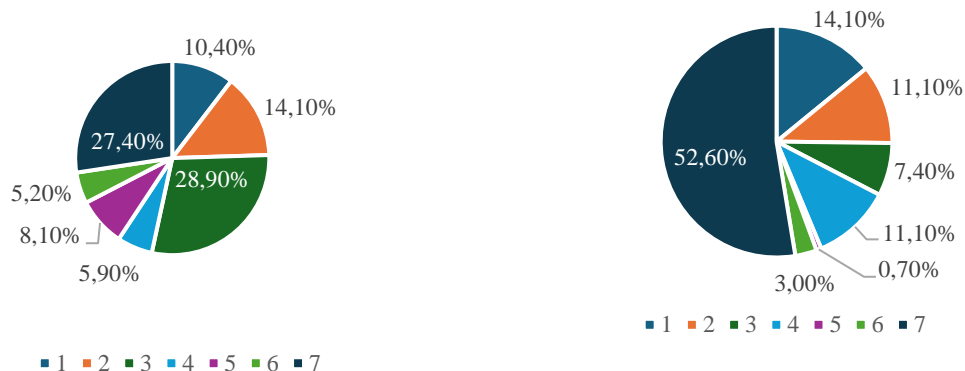
U sklopu ankete ispitanici su bili zamoljeni da procjene koliko je pojedina vrsta otpada opasna za okoliš i ljudsko zdravlje. Analizom i uvidom u rezultate može se zaključiti da struka kao najopasniji otpad smatra plastiku, dok najmanje opasnim smatra pepeo koji je nastao termičkom obradom drveta i građevinski otpad i otpad od rušenja, Slika 49.



Slika 49 Rezultati procjene struke o tome koliko je pojedina vrsta otpada opasna za okoliš i ljudsko zdravlje (0-ne znam ništa o navedenom; 1- smatram da nije opasno; 3-smatram da je opasno ako se ilegalno odlaže; 3-smatram jako opasnim otpadom)

Na pitanje o gospodarenju otpadnim muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Slika 50, 28,9 % ispitanika smatra da se otpadni mulj odlaže na legalna odlagališta, iako ima

potencijal ponovnog korištenja. S druge strane, 27,4 % ispitanika ne zna ništa o zbrinjavanju otpadnog mulja. Kada je riječ o gospodarenju pepelom dobivenim termičkom obradom drveta čak 52,6 % ispitanika ne zna ništa o tome, Slika 51.



*Slika 50 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Na koji se način trenutno gospodari otpadnim muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda?"*

(1-Mislim da se većinom ilegalno odlaže, 2-Mislim da se većinom odlaže na legalno odlagalište, 3-Mislim da se odlaže na legalna odlagališta, iako ima potencijal ponovnog korištenja, 4-Mislim da se većinom koristi u poljoprivredi, 5-Kažu da se reciklira, ali ne vjerujem u to, 6-Republika Hrvatska ima uspostavljen sustav za gospodarenje muljem u koji potpuno vjerujem, 7-Ne znam ništa o tome)

*Slika 51 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Na koji se način trenutno gospodari otpadnim pepelom dobivenim termičkom obradom?"*

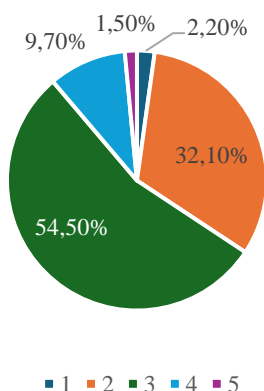
(1-Mislim da se većinom ilegalno odlaže, 2-Mislim da se većinom odlaže na legalno odlagalište, 3-Mislim da se odlaže na legalna odlagališta, iako ima potencijal ponovnog korištenja, 4-Mislim da se većinom koristi u poljoprivredi, 5-Kažu da se reciklira, ali ne vjerujem u to, 6-Republika Hrvatska ima uspostavljen sustav za gospodarenje muljem u koji potpuno vjerujem, 7-Ne znam ništa o tome)

## 7.2.2. Specifično znanje struke o održivoj upotrebi prirodnih izvora, te posvećenosti struke recikliranju otpada u fazi projektiranja

Ovaj odlomak obuhvaća pitanja o kojima se želio dobiti uvid u znanje građevinske i arhitektonske struke o održivoj upotrebi prirodnih resursa, te o posvećenosti struke recikliranju otpada, ali i utjecaju materijala na okoliš. Uvidom u rezultate prikazane na Slika 52, većina ispitanika (54,5%) jest upoznata sa pojmom održive upotrebe prirodnih resursa, nekolicina je vrlo dobro (9,7 %) ili izvrsno upoznata (1,5%), dok je 32,1 % ispitanika slabo upoznat sa navedenim pojmom. Iako je većina ispitanika upoznata sa pojmom održive upotrebe prirodnih izvora, na pitanje o tome što uključuje 7. temeljni zahtjev za građevinu mišljenja su podijeljena Slika 53:

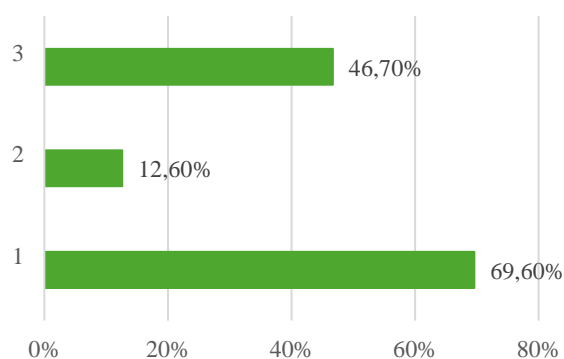
- 69,6 % ispitanika smatra da „održiva upotreba prirodnih izvora“ kao 7. temeljni zahtjev za građevinu uključuje ponovnu uporabu ili mogućnost reciklaže građevine i njezinih dijelova nakon uklanjanja.
- 46,7 % ispitanika je mišljenja da „održiva upotreba prirodnih izvora“ kao 7. temeljni zahtjev za građevinu podrazumijeva uporabu okolišu prihvatljivih sirovina i sekundarnih materijala pri izgradnji građevina.
- Ostatak ispitanika (12,6 %) smatra da se „održiva upotreba prirodnih izvora“ kao 7. temeljni zahtjev za građevinu odnosi na trajnost građevine.

Prema Zakonu o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19) [8] 7. temeljni zahtjev za građevinu – *Održiva uporaba prirodnih izvora* obuhvaća: ponovnu uporabu ili mogućnost reciklaže građevine, njezinih materijala i dijelova nakon uklanjanja; trajnost građevine; uporabu okolišu prihvatljivih sirovina i sekundarnih materijala u građevinama.



Slika 52 Samoprocjena ispitanika o poznavanju pojma "održiva upotreba prirodnih resursa"

(1-nisam uopće upoznat/a, 2-slabo sam upoznat/ae, 3-upoznat sam, 4-vrlo dobro sam upoznat, 5-izvršno sam upoznat/a)



Slika 53 Prikaz odgovora na pitanje: "Što „održiva upotreba prirodnih izvora“ kao 7. temeljni zahtjev za građevinu uključuje?"

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

Što se tiče posvećenosti struke recikliranju otpada prilikom projektiranja i izvođenja radova, Slika 54 samo 24,4 % smatra da posvećuje dovoljno pažnje, 51,9 % ispitanika svjesno je da se ne posvećuje dovoljno pažnje recikliranju otpada, a 23,7 % ispitanika smatra da recikliranje otpada nije područje njihovog rada te da tome ne trebaju posvećivati pažnju. Kada je riječ pažnji

posvećenoj na utjecaj materijala na okoliš, rezultati su slični prijašnjem pitanju, a vidljivi su na Slika 55.



*Slika 54 Pažnja posvećena recikliranju otpada u fazi projektiranja i izvođenja radova*

(1-Da, planski je uključeno u projektiranje i izvođenje, 2-Ne, ali naglasak na recikliranje bi trebao biti puno veći, 3-Recikliranje otpada nije moj posao)

*Slika 55 Pažnja posvećena utjecaju materijala na okoliš u fazi projektiranja i izvođenja radova*

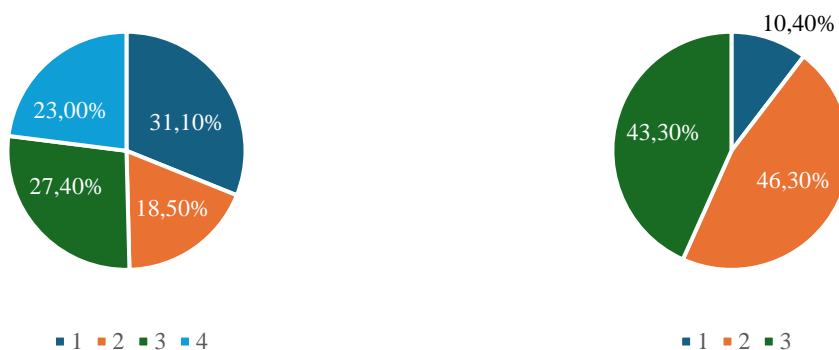
(1- Planski je uključeno u projektiranje i izvođenje 2- Ne provodim nikakve dodatne mjere od uobičajenih praksi, 3- Dokazivanje utjecaja na okoliš i provođenje mjera nisu moj posao)

### 7.2.3. Proizvodi s recikliranim materijalom, svojstva materijala i njihov odabir te integracija recikliranih materijala u građevinske/arhitektonske projekte

Postavljanje pitanja o proizvodima s recikliranim materijalom za cilj je imalo utvrditi učestalost pojave takvih proizvoda u praksi, ali i njihov utjecaj na projektiranje i izvođenje nove građevine.

Rezultati prikazani na Slika 56 pokazuju da se samo 31,1 % ispitanika svakodnevno susreće sa proizvodima s recikliranim materijalom, njih 27,4 % ne obraća pažnju na proizvode s kojima se susreće, dok preostali ispitanici pokušavaju izbjegavati takve proizvode ili se uopće s njima ne susreću. Što se tiče utjecaja proizvoda s recikliranim materijalom na projektiranje i izvođenje radova (Slika 57) većina ispitanika tvrdi da takvi proizvodi ne stvaraju nikakve dodatne probleme, iako 10,4 % ispitanika izbjegava proizvode s recikliranim materijalom jer im oni otežavaju radove i stvaraju dodatne probleme. U konačnici, velika većina ispitanika (90,3 %) se slaže sa tvrdnjom da trebaju biti zadovoljeni tehnički i ekološki aspekti proizvoda koji se upotrebljavaju (Slika 58). Iako su proizvodi sa recikliranim materijalom sveprisutni, 55,6 %

ispitanika bi preporučilo upotrebu takvih proizvoda tek nakon stjecanja povjerenja u taj proizvod, dok bi 43,7 % ispitanika svakako preporučilo upotrebu navedenih proizvoda, Slika 59.

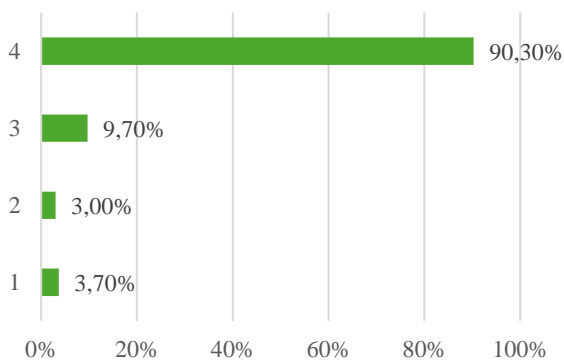


Slika 56 Prikaz odgovora na pitanje: "Koliko se često u Vašem poslu susrećete s proizvodima s recikliranim materijalom?"

(1-Svakodnevno; 2-Ponekad, no pokušavam izbjegavati takve proizvode;3- Ne obraćam pažnju na to; 4-Uopće se ne susrećem s takvim proizvodima)

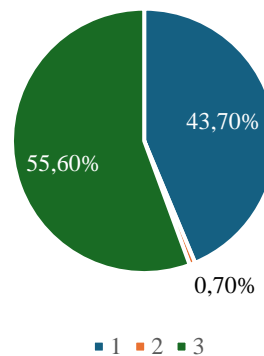
Slika 57 Odgovori ispitanika na pitanje: "Predstavlja li upotreba proizvoda s recikliranim materijalom dodatne probleme prilikom projektiranja i izvođenja nove građevine?"

(1-Da, takvi proizvodi otežavaju radove i stvaraju dodatne probleme zbog čega ih izbjegavam; 2-Ne; takvi proizvodi ne stvaraju nikakve dodatne probleme 3-Nemam dovoljno znanja o tome)



Slika 58 Prikaz slaganja struke sa pojedinim tvrdnjama

(1- Proizvodi s recikliranim otpadom značajno poboljšavaju svojstva građevine; 2-D Proizvodi s recikliranim otpadom loše utječu na svojstva građevine; 3- Bolja svojstva građevine postižu se upotrebom klasičnih proizvoda; 4 Važno je da su zadovoljeni tehnički i ekološki aspekti proizvoda koje koristim)

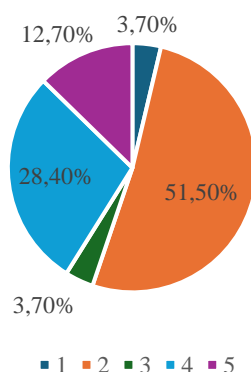


Slika 59 Prikaz odgovora na pitanje: "Biste li kao projektant/ica preporučili upotrebu proizvoda s recikliranim materijalom?"

(1-Da; 2-Ne; 3-Možda kada bih stekao/la povjerenje da je proizvod jednako vrijedan kao proizvod koji trenutno)

Odabir materijala sa ispravnim svojstvima u fazi projektiranja te njihova primjena u fazi izvođenja uvjet su za postizanje projektiranog uporabnog vijeka građevine. Obzirom na to,

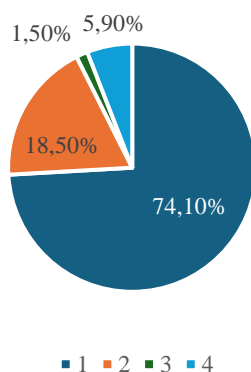
iznimno je bitno na koji se način materijali odabiru, ali i kakva su njihova svojstva. Analizom rezultata prikazanih na Slika 60, može se uočiti da više od 50 % ispitanika pri odabiru materijala koji su ekološki prihvatljivi koristi dostupnu dokumentaciju kao što je Izjava utjecaja na okoliš. Dio ispitanika (28,4 %) pri izboru materijala uspoređuju tehničku kvalitetu, dok manji dio ispitanika smatra cijenu kao najbitniji faktor prilikom odabira materijala (3,7 %). 12,7 % ispitanika ne obraća pažnju na utjecaj materijala na okoliš prilikom njihova odabira.



*Slika 60 Grafički prikaz odgovora: "Kako odabirete materijale koji su ekološki prihvatljivi i imaju minimalan negativan utjecaj na okoliš i zdravlje?"*

(1-Koristim se alatima i metodama ispitivanja kojima točno mogu kvantificirati utjecaj na okoliš; 2-Koristim se dostupnom dokumentacijom(npr. Izjava utjecaja na okoliš); 3-Najbitnija mi je cijena; 4-Najbitnija mi je tehnička kvaliteta; 5-Ne obraćam pažnju na to)

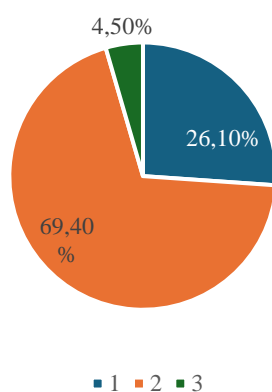
Na pitanje o provođenju ispitivanja ponašanja materijala pri izluživanju, samo je 7,4 % ispitanika odgovorilo potvrdno, a ispitivanje su provodili na zahtjev investitora (1,5 %) ili zbog ispunjavanja zakonskih obaveza. (5,9 %). S druge strane, velika većina (74,1 %) nije upoznata sa navedenim ispitivanjem. Grafički prikaz rezultata vidljiv je na Slika 61.



*Slika 61 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Jeste li ikada ispitivali ponašanje materijala pri izluživanju?"*

(1-Nije mi poznato niti sam to ikada radio/la ili dao/la na ispitivanje; 2Poznato mi je, ali nikada nisam radio/la ili dao/la na ispitivanje; 3-Da, na zahtjev investitora; 4-Da, samo ako je nužno prema uputama zakona i drugih regulativa)

Što se tiče važnosti integracije recikliranih materijala u građevinske i arhitektonske projekte obzirom na zahtjeve za održivim razvojem, 69,4 % ispitanika integraciju recikliranih materijala smatra iznimno bitnim, no svjesni su nedostatka znanja i mogućnosti primjene takvi proizvoda. Suprotno tomu, 4,5 % ispitanika integraciju recikliranih materijala ne smatra posebno važnom i tvrdi da su tradicionalni materijali dovoljni za zadovoljenje zahtjeva za održivim razvojem. Grafički prikaz rezultata prikazan je na Slika 62.



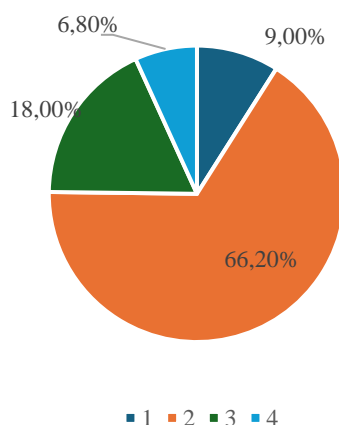
*Slika 62 Važnost integracije recikliranih materijala u građevinske/arhitektonske projekte s obzirom na zahtjeve za održivim razvojem*

(1-Izuzetno važno, reciklirani materijali smanjuju ekološki otisak građevinskih/arhitektonskih projekata; 2-Važno, no još uvijek postoji nedostatak znanja i mogućnosti primjene proizvoda od recikliranog materijala; 3-Manje važno, tradicionalni materijali su dovoljni za zadovoljenje zahtjeva za održivim razvojem)

#### 7.2.4. Upravljanje otpadom na gradilištima i provedba 7. temeljnog zahtjeva za građevinu

Posljednji odlomak sadrži nekoliko pitanja koja ciljano traže informacije o provođenju određenih mjera u praksi. Dobiveni rezultati ankete prikazani na Slika 63 pokazuju da 66,2 % ispitanika smatra da nedostaje sustavne podrške za učinkovito upravljanje otpadom na gradilištima. S druge strane, 9 % ispitanika smatra da postoji dovoljno znanja, resursa i podrške za učinkovito upravljanje otpadom na gradilištima, dok 18 % ispitanika smatra da to ovisi o izvođaču.

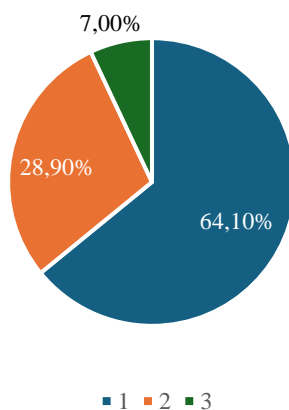




Slika 63 Grafički prikaz rezultata na pitanje: "Smatrate li da postoji dovoljno znanja, resursa i podrške za učinkovito upravljanje otpadom na gradilištima?"

(1-Da; 2-Ne, nedostaje sustavne podrške; 3-Ovisi o izvođaču 4-Nisam siguran/na);

Što se tiče dokazivanja 7. temeljnog zahtjeva za građevinu, 64,1 % ispitanika ne zna dokazati navedeni zahtjev, usprkos tomu što svaki projekt na kojem radi ima razrađen dokaz o ispunjavanju 7. temeljnog zahtjeva. 28,9 % ispitanika smatra da nije potrebno posebno dokazivanje navedenog temeljnog zahtjeva, 7 % ispitanika zna dokazati 7. temeljni zahtjev za građevinu. Grafički prikaz rezultata prikazan je na Slika 64.

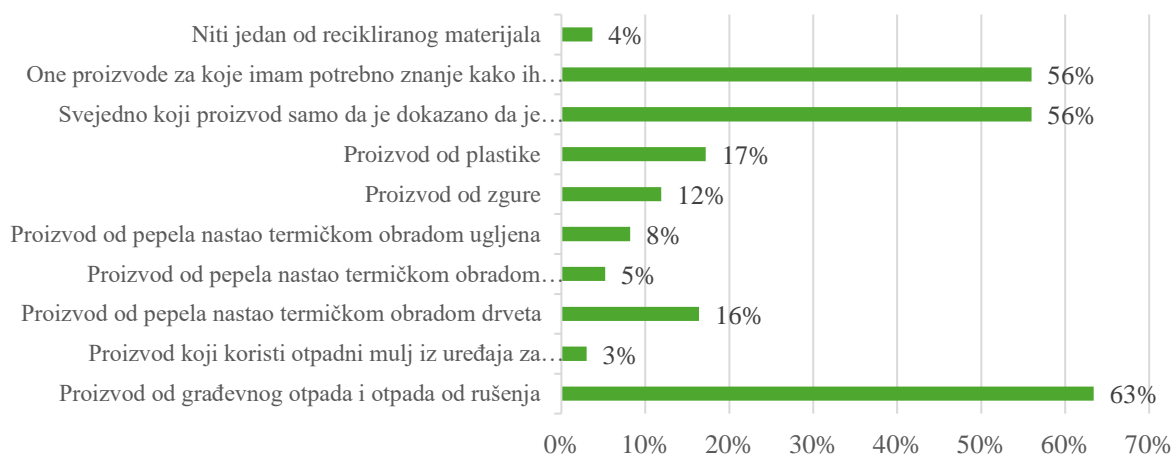


Slika 64 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Znate li dokazati 7. temeljni zahtjev za građevinu (održiva uporaba prirodnih izvora)?"

(1-Ne, ali svaki projekt na kojem radim ima razrađen dokaz o ispunjavanju 7.temeljnog zahtjeva; 2-Nije potrebno posebno dokazivanje i razrada o održivoj upotrebi resursa; 3-Da, svaki projekt to ima razrađeno);

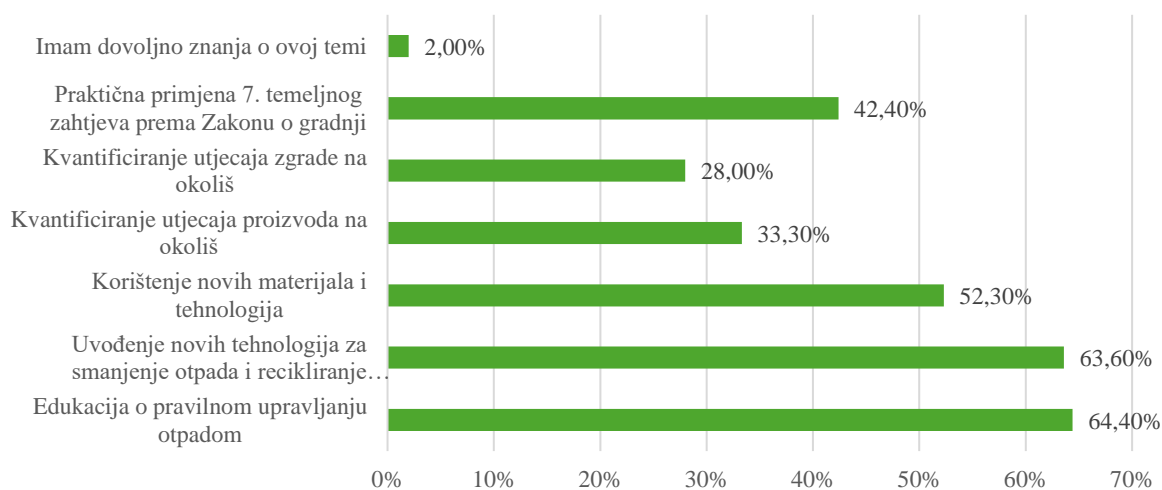
Na pitanje: „Koji biste od ovih proizvoda koristili u svojim projektima i /ili gradilištima?“ (Slika 65), 63 % ispitanika odgovara da bi koristili proizvode od građevnog otpada koji je nastao rušenjem. Velikom broju ispitanika (56 %) je svejedno koji će se proizvod koristiti u njihovim

projektima, jedino im je bitno da je korišten proizvod siguran i ispravan za korištenje. Od svih ponuđenih proizvoda, najmanji broj ispitanika (3 %) bi koristio proizvode koji sadrže otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.



*Slika 65 Odgovor na pitanje: "Koji biste od ovih proizvoda koristili u svojim projektima i/ili gradilištima?"*

U posljednjem pitanju, ispitanici su bili zamoljeni da označe znanja koja im nedostaju po pitanju korištenja otpada kao nove sirovine (Slika 66). Najveći broj ispitanika (64,4%) smatra da im nedostaje edukacije iz područja o pravilnom upravljanju otpadom i uvođenju novih tehnologija za smanjenje otpada i recikliranje materijala na gradilištima. S druge strane, samo 2 % ispitanika smatra da ima dovoljno znanja o korištenju otpada kao nove sirovine.



*Slika 66 Odgovori na pitanje: "Koja znanja smatrate da Vam nedostaju po pitanju korištenja otpada kao nove sirovine?"*

Sumarno gledajući, rezultati ankete pokazuju da postoji značajan nedostatak znanja unutar struke o pravilnom gospodarenju specifičnim vrstama otpada, poput pepela dobivenog termičkom obradom, te o metodama odlaganja građevnog i industrijskog otpada. Istovremeno, postoji pozitivan stav prema upotrebi recikliranih materijala u građevinskim i arhitektonskim projektima, iako je prisutan nedostatak informacija i mogućnosti njihove primjene. Samo mali postotak ispitanika (10,40 %) smatra da proizvodi od recikliranih materijala otežavaju radove, te da stvaraju dodatne probleme zbog čega izbjegavaju njihovu upotrebu. Ovi podaci upućuju na potrebu za daljnjom edukacijom struke kako bi se unaprijedilo znanje i potaknula održiva praksa u gospodarenju otpadom i korištenju recikliranih materijala.

### 7.3. Statistička obrada rezultata ankete

Osim opisne analize dobivenih rezultata provedenih anketa, u sklopu ovog rada provedena je i statistička analiza testiranja statističkih hipoteza. Rezultati provedenog ispitivanja opisani su u nastavku dok se rezultati dobiveni u računalnom programu nalaze u Prilogu 3 – *Statistička obrada rezultata ankete u programu Microsoft Excel*.

Provedbom statističke analize željele su se potvrditi neke od pretpostavljenih hipoteza:

- Hipoteza 1: *U struci je veći broj ženskih osoba koje posvećuju dovoljno pažnje recikliranju otpada prilikom projektiranja i izvođenja radova u odnosu na muškarce.*
- Hipoteza 2: *Osobe s višim stupnjem obrazovanja imaju više znanja o proizvodima koje svakodnevno koriste, a koji u sebi sadrže reciklirani industrijski otpad kao jednu od sastavnih komponenata.*
- Hipoteza 3: *Veći dio populacije građevinske i arhitektonske struke smatra plastiku opasnijim otpadom u odnosu na građevni otpad i otpad od rušenja.*
- Hipoteza 4: *Veći dio opće populacije (građanstvo) smatra plastiku opasnijim otpadom u odnosu na građevni otpad i otpad od rušenja.*

S ciljem testiranja Hipoteze 1, provedena je usporedba udjela u populaciji (parametra Bernoullijevih raspodjela) pomoću t-testa za nezavisne uzorke. Rezultati dobiveni usporedbom ( $t=2,31$ ,  $p=0,011 < 0,05$ ) pokazuju da je udio žena koje posvećuju dovoljno pažnje recikliranju

otpada prilikom projektiranja i izvođenja radova značajno veći nego udio muškaraca koji posvećuju dovoljno pažnje recikliranju otpada prilikom projektiranja i izvođenja radova.

Kako bi potvrdili valjanost Hipoteze 2, provedena je usporedba udjela u populaciji (parametra Bernoullijevih raspodjela) pomoću t-testa za nezavisne uzorke. Rezultati dobiveni usporedbom ( $t=-1,34$ ,  $p=0,091>0,05$ ) pokazuju da ne možemo odbaciti pretpostavku da je znanje o svakodnevno korištenim proizvodima koji u sebi sadrže reciklirani industrijski otpad podjednako kod osoba različitih stupnjeva obrazovanja. Točnije, nije dokazano da je znanje kod osoba različitih stupnjeva obrazovanja podjednako, nego izračunata razlika nije dovoljno velika da bi se mogla proglasiti statistički značajnom. Relativno niska p-vrijednost ( $p=0,091$ ) upućuje da bi daljnja istraživanja mogla jasnije utvrditi postojanje razlike, to jest, korištenjem drugačije metodologije (veći uzorci, ispitivanje uživo, razlikovanje VSS od doktorata) mogla bi se pokazati značajna razlika.

Hipoteza 3 i Hipoteza 4 uspoređuju odgovore na pitanje koje je postavljeno objema populacijama. Provedena je usporedba udjela u populaciji (struci) (parametra Bernoullijevih raspodjela) pomoću t-testa za zavisne uzorke. Kao potvrdu valjanosti Hipoteze 3 može se zaključiti da je udio populacije (struke) koji smatra plastiku jako opasnom statistički značajno veći nego udio populacije (struke) koji smatra građevni otpad jako opasnim ( $t=14,40$ ,  $p=2,73E-29<0,05$ ). Analogno tome, kao potvrdu valjanosti Hipoteze 4 može se zaključiti da je udio populacije (građanstvo) koji smatra plastiku jako opasnom statistički značajno veći nego udio populacije (građanstvo) koji smatra građevni otpad jako opasnim ( $t=16,11$ ,  $p=1,86E-33<0,05$ ).

## 7.4. Rezultati ispitivanja izluživanja na uzorcima pepela

Ispitivanju izluživanja štetnih tvari na uzorcima pepela prethodila je priprema uzoraka. U procesu pripreme uzoraka izmjerena je električna provodljivost i pH vrijednost profiltriranih uzoraka. Istovremeno pri mjerenju električne provodljivosti i pH vrijednosti uzoraka izmjerene su i temperature uzoraka. Rezultati navedenih ispitivanja prikazani su u Tablica 14.

*Tablica 14 Rezultati ispitivanja električne provodljivosti i pH vrijednosti uz istovremeno mjerenje temperature*

	<b>Mjerna jedinica</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
Električna provodljivost	mS/cm	23,16	27,52	22,02	1,47	14,43	24,35
Temperatura pri mjerenju električne vodljivosti	°C	23,40	23,10	23,50	23,30	23,10	23,00
pH vrijednost	-	12,46	12,76	12,51	9,79	12,29	12,57
Temperatura pri mjerenju pH vrijednosti	°C	22,40	23,00	21,90	21,70	21,30	23,10

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da uzorak P4 ima značajno nižu vrijednost električne provodljivosti u odnosu na preostale uzorke. Temperature izmjerene pri određivanju električne provodljivosti su gotovo jednake i kreću se u rasponu od 23,00 do 23,50°C. Analizom dobivenih rezultata vidljivo je da se pH vrijednosti uzoraka P1, P2, P3 P5 i P6 nalaze u rasponu od 12,29 do 12,76, dok je izmjerena pH vrijednost uzorka P4 nešto niža i iznosi 9,79. Temperature izmjerene pri određivanju pH vrijednosti kreću se u rasponu od 21,30 do 23,10°C.

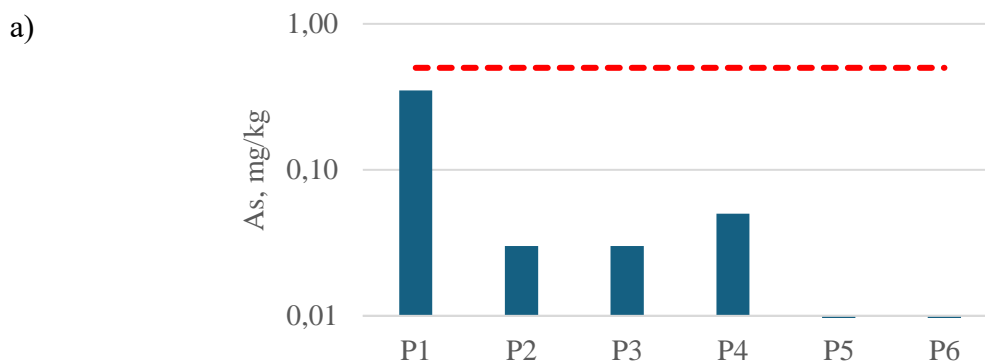
Kako bi se omogućila lakša analiza dobivenih rezultata, rezultati su prikazani u obliku stupčastih dijagrama. Dijagrami prikazuju količinu izluživanja pojedine štetne tvari iz dostavljenih uzoraka. Na apscisi su navedene oznake ispitivanih pepela, dok je na ordinati prikazana količina izluživanja pojedine štetne tvari izražene u mg/kg. Maksimalne dozvoljene količine izluženih štetnih tvari u dijagramima su prikazane crtkanom crvenom linijom. Granične vrijednosti parametra eluata definirane su u dokumentu: Odluka vijeća od 19. prosinca 2002. o utvrđivanju kriterija i postupaka za prihvata otpada na odlagališta.

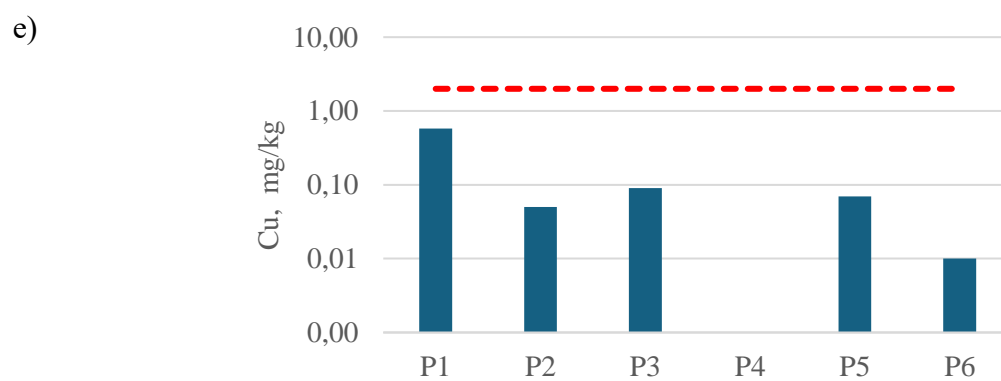
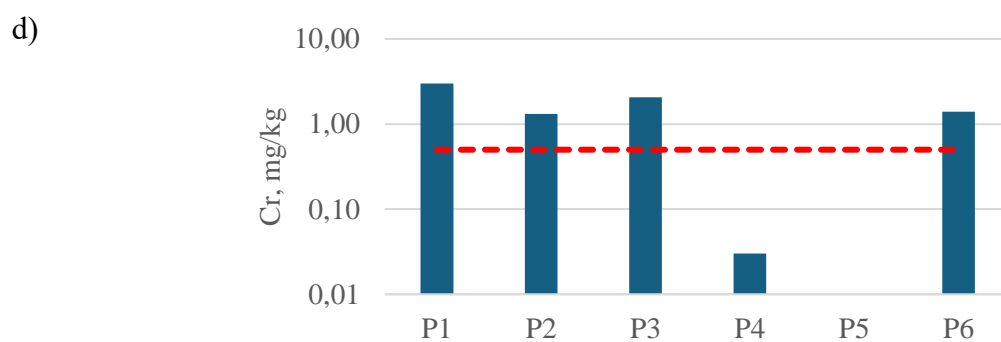
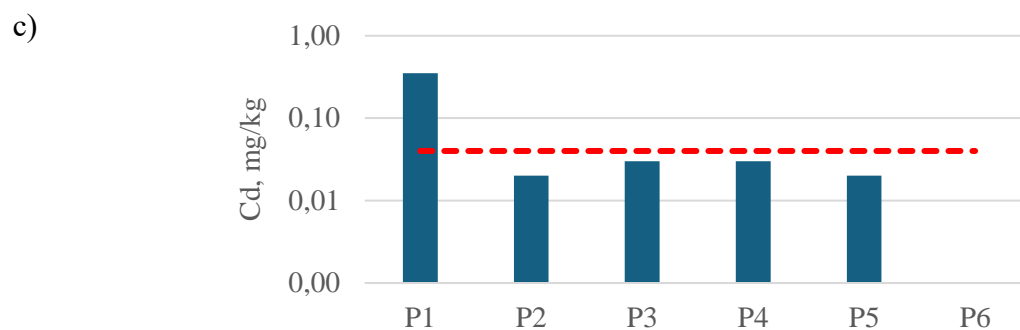
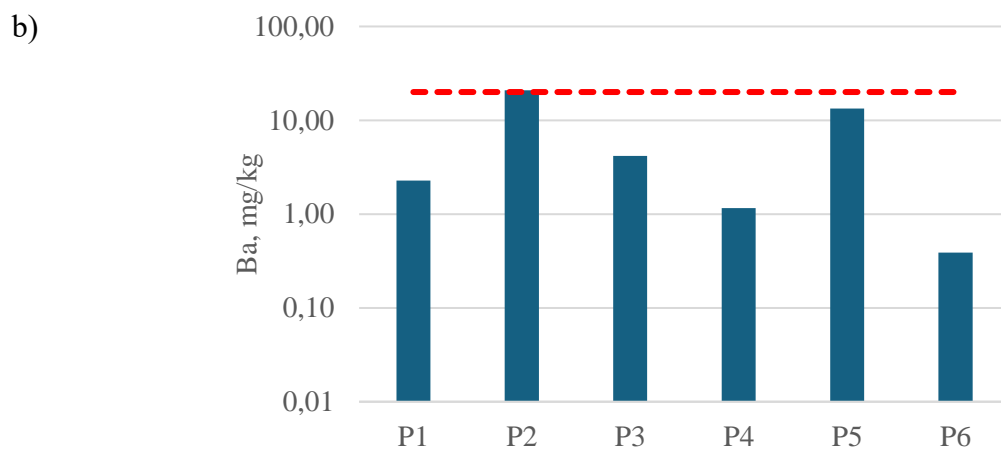
U nastavku je dan prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem izluživanja te analizom eluata, Slika 67. Uvidom u rezultate vidljivo je da samo u slučaju izluživanja arsena (As), bakra (Cu), nikla

(Ni) i fluorida ( $F^-$ ) nisu dosegnute maksimalno dozvoljene vrijednosti. Svi ostali elementi se izlužuju u količinama koje premašuju dozvoljene granične vrijednosti. Kod nekih elemenata, kao što su barij (Ba) i olovo (Pb) količine izluženog elementa premašuju definirane granične vrijednosti za iznimno malu vrijednost, dok se preostali elementi izlužuju u količinama koje premašuju granične vrijednosti. Primjeri tih elementa su: kadmij (Cd), krom (Cr), molibden (Mo), antimon (Sb), selenij (Se), cink (Zn), kloridi ( $Cl^-$ ) i sulfati ( $SO_4^{2-}$ ).

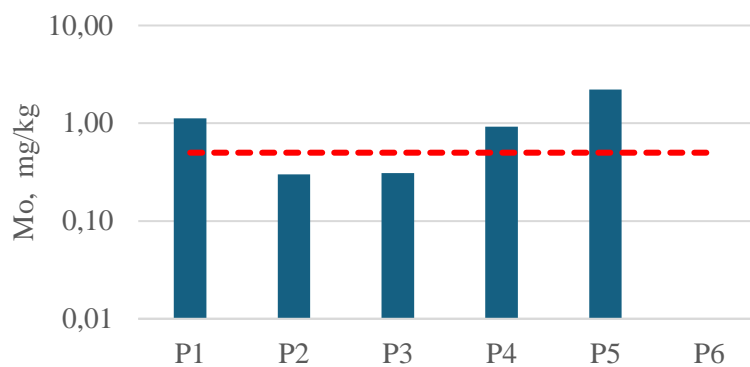
Iz priloženih grafičkih prikaza može se uočiti sljedeće:

- pepeo P1 ne zadovoljava kriterije za metale: kadmij (Cd), krom (Cr), molibden (Mo), olovo (Pb), antimon (Sb), cink (Zn) te za anione klorida ( $Cl^-$ ) i sulfata ( $SO_4^{2-}$ )
- pepeo P2 ne zadovoljava kriterije za metale: barij (Ba) i krom (Cr)
- pepeo P3 ne zadovoljava propisane kriterije za krom (Cr) te za sulfate ( $SO_4^{2-}$ )
- pepeo P4 ne zadovoljava kriterije za molibden (Mo) te za sulfate ( $SO_4^{2-}$ ). Vidljivo je da je pepeo P4 jedini pepeo koji ne sadrži bakar (Cu)
- pepeo P5 ne zadovoljava kriterije za molibden (Mo) i selenij (Se). Osim toga, može se uočiti da pepeo P5 jedini sadrži selenij (Se), ali isto tako je on jedini pepeo koji ne sadrži krom (Cr) ni sulfate ( $SO_4^{2-}$ )
- pepeo P6 ne zadovoljava propisane kriterije za krom, dok su količine preostalih elemenata unutar graničnih vrijednosti.

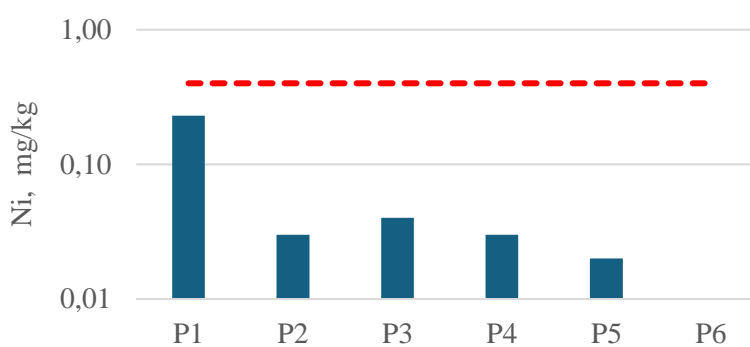




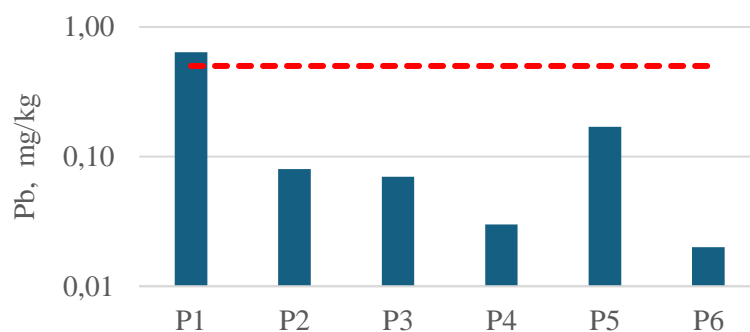
f)



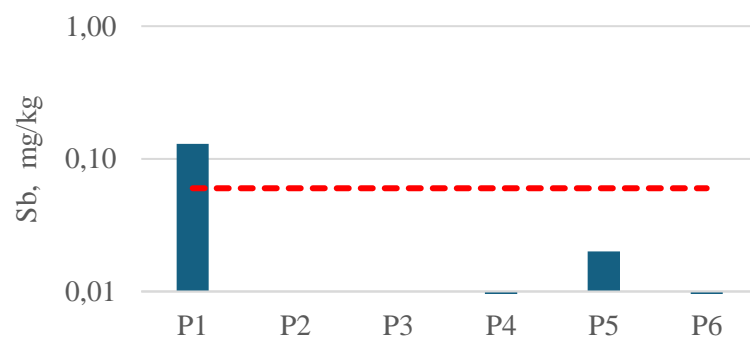
g)



h)

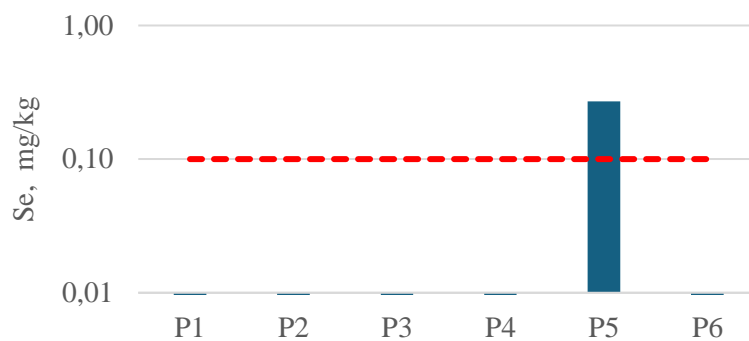


i)

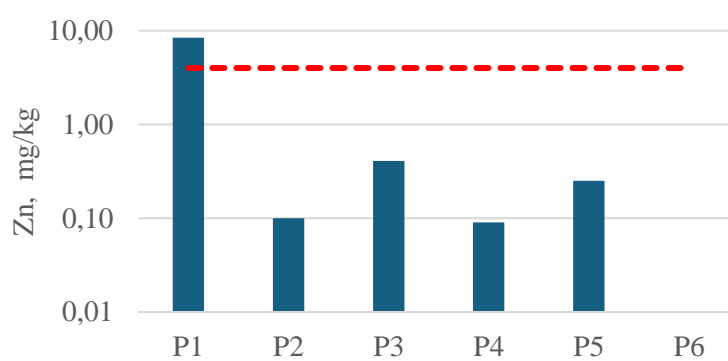




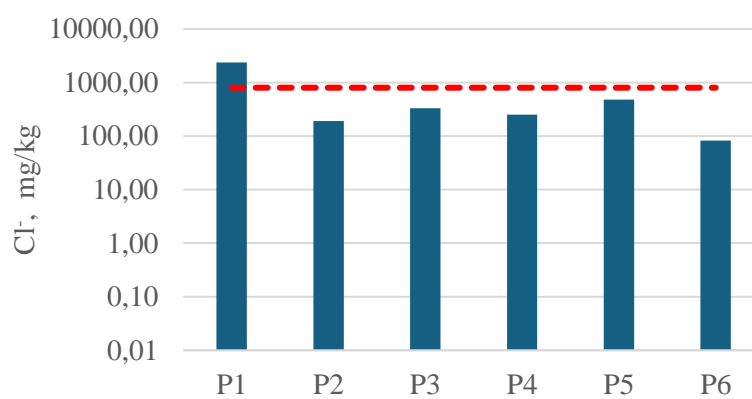
j)



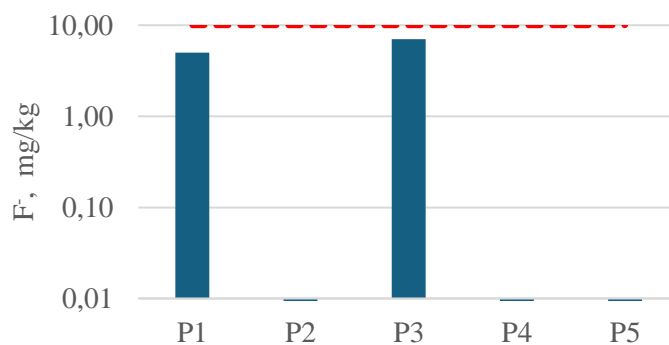
k)

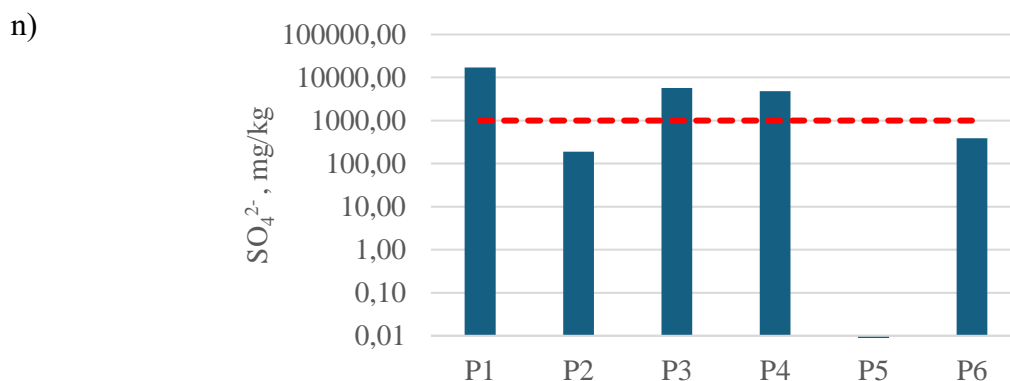


l)



m)





Slika 67 Izluživanja teških metala, klorida, fluorida i sulfata iz uzoraka PDB (stupci) te granične vrijednosti za ukidanje statusa otpada (crvena linija): a) element arsen (As); b) element barij (Ba); c) element kadmij (Cd); d) element krom (Cr); e) element bakar (Cu); f) element molibden (Mo); g) element Nikal (Ni); h) element olovo (Pb); i) element antimon (Sb); j) element selenij (Se); k) element cink (Zn); l) elementi kloridi (Cl<sup>-</sup>); m) element fluor (F); n) elementi sulfati (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Iako rezultati ispitivanja upućuju na to da niti jedan od ispitanih pepela ne zadovoljava propisane granične vrijednosti, ispitivanje na monolitnim uzorcima nastavljeno je na dvama odabranim pepelima, P5 i P6. Na taj način se željelo istražiti kako se otpad kao sekundarna sirovina ponaša u samom uzorku/proizvodu. Unutar Pravilnika o ukidanju statusa otpada (NN 55/2023) [6] Republika Hrvatska je definirala granične vrijednosti za izluživanje koje otpad mora zadovoljiti kako bi se koristio se sekundarna sirovine i te vrijednosti su istovjetne onima kada je otpad kategoriziran kao inertni čime se značajno ograničava korištenje otpada kao sekundarne sirovine. Poznato je da se teški metali vežu unutar hidratizirane cimente matrice. Takav primjer je korištenje SSA kao sirovine u proizvodnji klinkera gdje su sve vrijednosti izluživanja ispod graničnih [51]. Pojedine zemlje su definirale svoje granične vrijednosti parametara izluživanja u slučaju ukidanja statusa otpada kao što su Finska, Slovenija i Nizozemska [52] [53] [54] [55], Tablica 15.

Tablica 15 Granične vrijednosti parametra eluata/testa izluživanja (mg/kg) u slučaju ukidanja statusa otpada za Sloveniju, Nizozemsku i Finsku

Parametar	Slovenija, T/K = 10 l/kg	Nizozemska, T/K = 10 l/kg	Finska (prekriven), T/K = 10 l/kg	Finska (popločen), T/K = 10 l/kg
As	0,4	0,9	0,5	1,5
Ba	20	22	20	60
Cd	0,04	0,04	0,04	0,04
Cr	0,6	0,63	0,5	3
Cu	2	0,9	2	6

<b>Parametar</b>	<b>Slovenija, T/K = 10 l/kg</b>	<b>Nizozemska, T/K = 10 l/kg</b>	<b>Finska (prekriven), T/K = 10 l/kg</b>	<b>Finska (popločen), T/K = 10 l/kg</b>
Mo	1	1	0,5	6
Ni	0,5	0,44	0,4	1,2
Pb	0,6	2,3	0,5	1,5
Sb	0,5	0,16	0,06	0,18
Se	1	0,15	0,1	0,5
Zn	3,5	4,5	4	12
Cl <sup>-</sup>	1000	616	800	2400
F <sup>-</sup>	10	55	10	50
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5000	1730	1000	10000

## 7.5. Rezultati ispitivanja izluživanja na monolitnim uzorcima

Kao što je opisano u poglavlju 6.2. METODE ISPITIVANJA, *odlomak 6.2.1. Ispitivanje izluživanja na monolitnim uzorcima*, ispitivanje izluživanja na monolitnim uzorcima odvija se u 8 vremenskih intervala koji su određeni normom. Ispitivanje je započelo u ponedjeljak 8.7.2024. u 10 sati, te se od tada mjeri vrijeme za određivanje intervala propisanih normom [49]. Prateći dinamiku ispitivanja navedenu u normi [49] predviđeni završetak ispitivanja je 11.9.2.2024. Obzirom na to, rezultati koji su prikazani i obrađeni u ovom radu ne uključuju podatke s 64. dana ispitivanja.

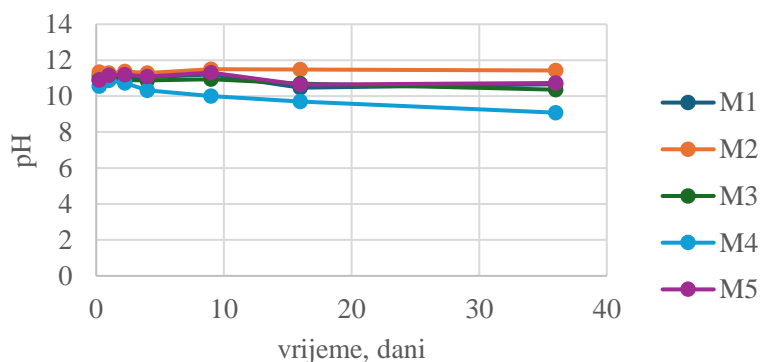
U nastavku su prikazani rezultati izmjerene pH vrijednosti i električne provodljivosti, nakon čega su dani grafički prikazi rezultata koji su dobiveni provođenjem ICP analize i UV/Vis spektroskopije, Tablica 16.

Tablica 16 Izmjerene pH vrijednosti i vrijednosti električne provodljivosti

TVrijeme	Datum	Oznaka uzorka	pH	Električna provodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
ISPITIVANJE U 16:00	8.7.2024.	M1	11,13	1337
		M2	11,34	1920
		M3	10,9	820
		M4	10,55	1340
		M5	10,9	1684
ISPITIVANJE U 10:00	9.7.2024.	M1	11,13	1095
		M2	11,28	1587
		M3	10,93	746
		M4	10,88	1236
		M5	11,16	1727
ISPITIVANJE U 16:00	10.7.2024.	M1	10,98	593
		M2	11,37	1391
		M3	10,89	533
		M4	10,74	793
		M5	11,2	1259
ISPITIVANJE U 10:00	12.7.2024.	M1	11,05	724
		M2	11,29	1129
		M3	10,88	456
		M4	10,33	537
		M5	11,09	1168
ISPITIVANJE U 10:00	17.7.2024.	M1	11,21	914
		M2	11,5	1727

TVrijeme	Datum	Oznaka uzorka	pH	Električna provodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
		M3	10,94	489
		M4	10,01	764
		M5	11,31	1505,67
ISPITIVANJE U 10:00	24.7.2024.	M1	10,47	393
		M2	11,48	1698
		M3	10,7	418
		M4	9,7	614
		M5	10,64	846
ISPITIVANJE U 10:00	13.8.2024.	M1	10,67	581
		M2	11,42	1605
		M3	10,36	272
		M4	9,08	799
		M5	10,74	1091

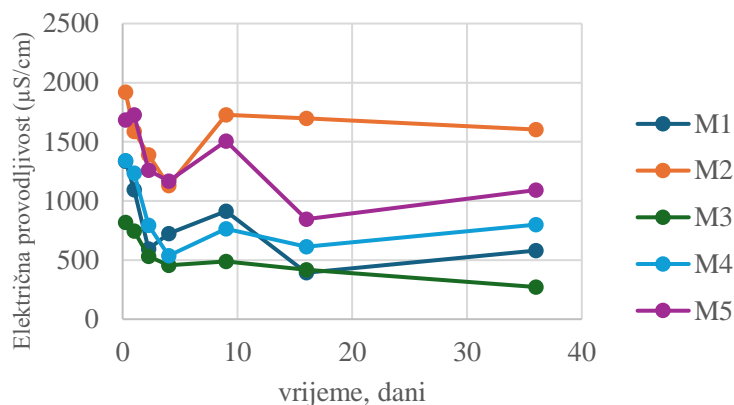
Analizom gore prikazanih rezultata uočeno je da kod svih ispitanih monolitnih uzoraka pH vrijednost počinje padati nakon devetog dana od početka ispitivanja. Trend padanja pH vrijednosti nastavlja se i nakon 16. dana kod uzoraka M2, M3 i M4 dok je kod uzoraka M1 i M5 zabilježen blagi ponovni rast pH vrijednosti. Gledajući generalno, može se zaključiti da je kod svih uzoraka tijekom vremena došlo do pada pH vrijednosti. U svrhu lakše interpretacije, tablično prikazane pH vrijednosti, dodatno su prikazane i grafički na Slika 68.



Slika 68 Grafički prikaz promjene pH vrijednosti kroz vrijeme

Što se tiče električne provodljivosti, uočeno je da ona pada kod svih ispitanih uzoraka od početka mjerenja, pa sve do četvrtog dana od početka ispitivanja. U razdoblju od četvrtog do devetog dana zabilježen je nagli rast električne provodljivosti, nakon čega vrijednosti električne provodljivosti kod svih uzoraka padaju. Pad vrijednosti električne provodljivosti nastavlja se

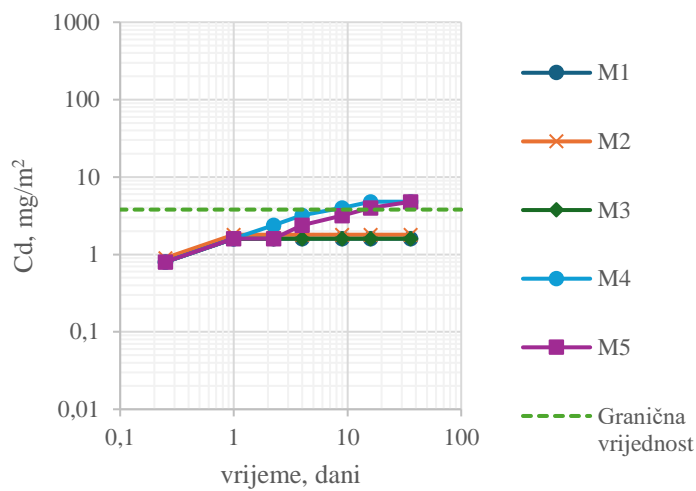
kod uzoraka M2 i M3, dok je kod uzoraka M1, M4 i M5 ponovno zabilježen porast vrijednosti. U svrhu lakše interpretacije, tablično prikazane vrijednosti električne provodljivosti, dodatno su prikazane i grafički na Slika 69.



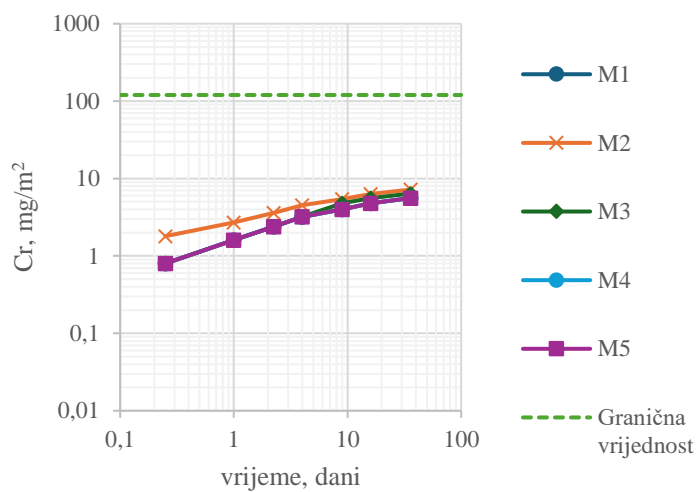
*Slika 69 Grafički prikaz promjene električne provodljivosti kroz vrijeme*

Slijedi grafički prikaz kumulativnih vrijednosti izluživanja teških metala, sulfata i klorida iz monolitnih uzoraka, Slika 70. Rezultati su prikazani u logaritamskom mjerilu pri čemu je na ordinati prikazana količine pojedine izlužene tvari izražene u  $\text{mg}/\text{m}^2$ , dok se na apscisi bilježi vrijeme u danima. Sveukupno je prikazano osam grafova za tvari čije je izluživanje zabilježeno, a to su: kadmij (Cd), krom (Cr), bakar (Cu), Nikal (Ni), olovo (Pb), Cink (Zn) te anioni sulfati ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) i kloridi ( $\text{Cl}^-$ ). Prilikom ispitivanja nije zabilježeno izluživanje arsena (As), žive (Hg), selenija (Se) i antimona (Sb), pa s obzirom na to, ne postoje ni grafovi izluživanja navedenih elemenata. Zbog nedostatka nacionalne regulative o graničnim vrijednostima izluživanja iz monolitnih proizvoda, kumulativna vrijednost izluženja po površini uzorka za svaki pojedini metal uspoređivana je s nizozemskim graničnim vrijednostima prema Soil Quality Degree [52].

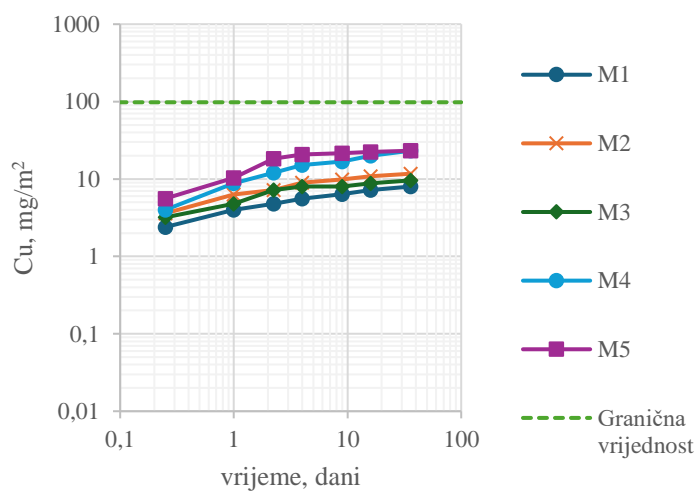
a)



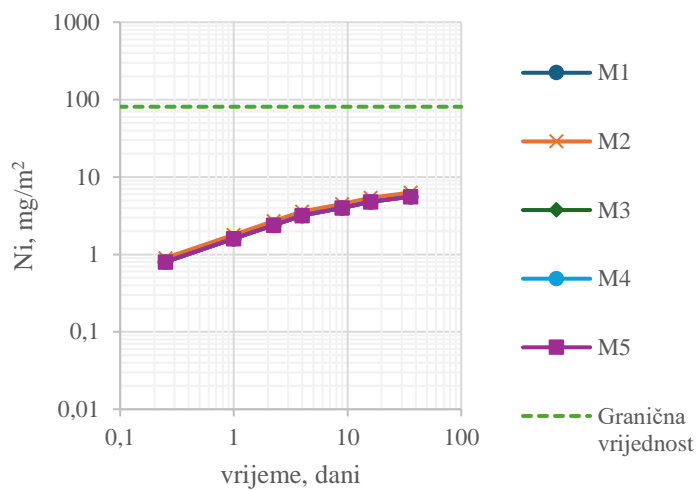
b)



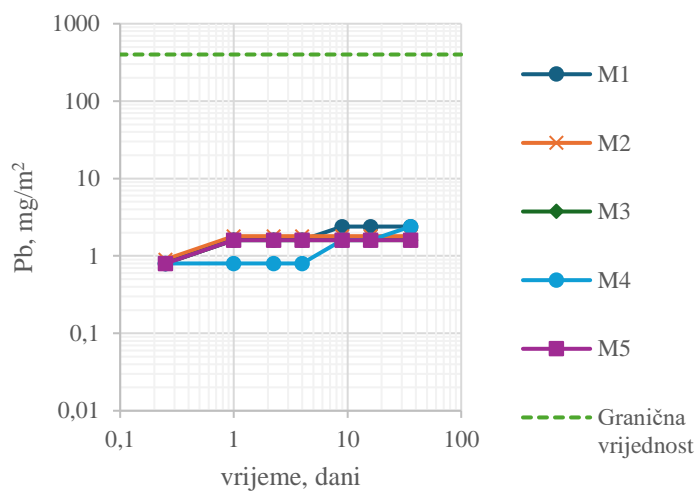
c)



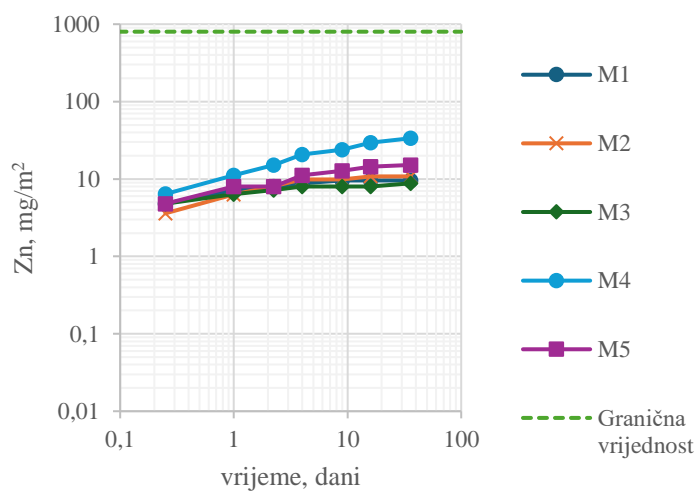
d)



e)

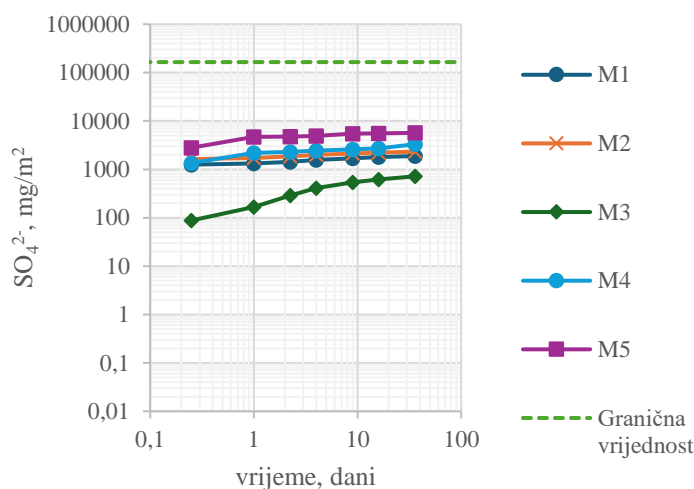


f)

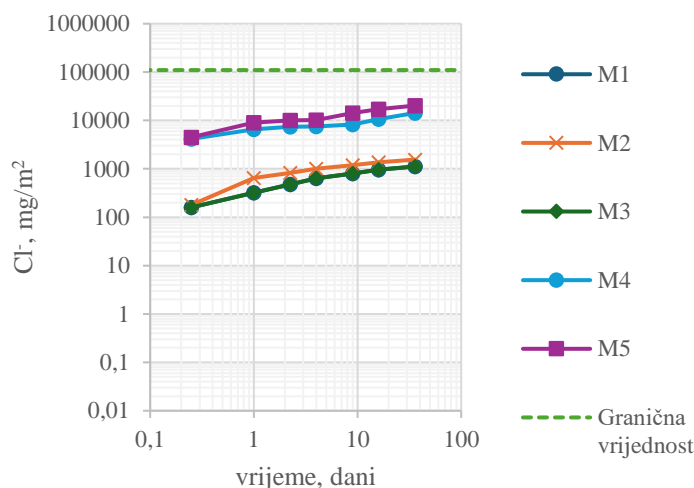




g)



h)



Slika 70 Kumulativne vrijednosti izluživanja teških metala, sulfata i klorida iz monolitnih uzoraka (linije) te granične vrijednosti iz Nizozemskih normativa Dutch Soil Quality Degree (zelena linija): a) element kadmij (Cd); b) element krom (Cr); c) element bakar (Cu); d) element nikal (Ni); e) element olovo (Pb); f) element cink (Zn); g) sulfati ( $SO_4^{2-}$ ); h) kloridi ( $Cl^-$ )

Iako se prethodno ispitani pepeli (7.4. Rezultati ispitivanja izluživanja na uzorcima pepela) prema važećem Pravilniku o ukidanju statusa otpada [6] ne bi smjeli koristiti kao sekundarna sirovina za proizvodnju novih proizvoda, uvidom u rezultate prikazane na slici 7 – 47 može se uočiti da su vrijednosti izluživanja gotovo svih teških metala i aniona iz monolitnih uzorak ispod dopuštenih vrijednosti. Jedini teški metal čija je granična vrijednost premašena jest kadmij (Cd) za uzorke oznaka M4 i M5 (alkalno aktivirani materijali). Naime, ispitivanjem je utvrđeno da je količina kadmija koja se izlužila iz monolitnog uzorka M4 premašila graničnu vrijednost za  $0,2 \text{ mg/m}^2$  deveti dan od početka ispitivanja, dok je količina kadmija koja se izlužila iz uzorka M5 premašila graničnu vrijednost za  $0,197 \text{ mg/m}^2$  tek nakon 16 dana od

početka ispitivanja. Bitno je uočiti da je veća količina izluženih elementa gotovo uvijek bila kod uzoraka M4 i M5.

Temeljem analize rezultata dobivenih ispitivanjem na monolitnim uzorcima pokazuje da se upotreba PDB-a i SSA-a kao zamjene dijela agregata u cementnim kompozitima te kao zamjenu dijela klinkera u miješanim cementima može smatrati sigurnom iz zdravstvenog, ali i iz ekološkog aspekta obzirom na to da granične vrijednosti izluživanja teških metala i aniona nisu premašene. S druge strane, ispitivanjem se pokazalo da upotrebom PDB-a i SSA-a kao zamjene dijela zgre u alkalno aktiviranim materijalima dolazi do izluživanja teškog metala kadmija (Cd) u količinama koje premašuju granične vrijednosti. Prema [56], može se uočiti da se veća količina kadmija (Cd) koji se izlužio pojavio kod monolitnog uzorka oznake AA – WBA0/30, koji sadrži pepeo dobiven termičkom obradom komunalnog otpada, te aktivatore NaOH i Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> u omjeru 1:4. U ostalim AAM uzorcima izluživanje kadmija bilo je znatno niže i unutar dopuštenih granica. Rezultati objavljeni u [57] pokazuju iznimno male količine kadmija (Cd) koji se izlužio. Potrebno su dodatna ispitivanja provjere korištenja SSA i PDB u AAM uzorcima kako bi se provjerila upotreba SSA i PDB u AAM uzorcima te utvrdili sastavi koji zadovoljavaju ekološke i zdravstvene standarde.

## 7.6. Rezultati ispitivanja izluživanja na kraju životnog vijeka

S ciljem određivanja ekološkog utjecaja proizvoda koji u sebi sadrže PDB i SSA na kraju njihovog životnog vijeka provodi se usitnjavanjem monolitnih uzoraka, to jest monolitni uzorci se pretvaraju u krhotine. Usitnjavanju uzoraka prethodilo je vaganje i ispitivanje čvrstoće na savijanje i tlačne čvrstoće, a rezultati dobiveni ispitivanjem prikazani su u Tablica 17.

Tablica 17 Vrijednosti čvrstoće na savijanje i tlačne čvrstoće monolitnih uzoraka

Oznaka uzorka	Masa [g]	Čvrstoća na savijanje		Tlačna čvrstoća	
		Sila [kN]	Naprezanje [MPa]	Naprezanje [MPa]	Srednja vrijednost [MPa]
M1	548,1	3,407	8	87,08	87,305 ± 0,225
				87,53	
M3 - 1	567,2	3,117	7,3	108	102,645 ± 3,418
				98,99	
M3 - 2	573,8	3,39	7,9	100,52	
				103,07	
M4 - 1	627,7	2,003	4,7	115,4	117,175 ± 1,610
				117,6	
M4 - 3	627,9	1,82	4,3	116,1	
				119,6	
M5 - 1	623,2	1,319	3,1	103,15	98,945 ± 4,390
				101,54	
M5 - 2	628,3	1,5	3,6	91,7	
				99,39	

Kao što je opisano u poglavlju 6.2.3. *Ispitivanje izluživanja na kraju životnog vijeka* monolitni su uzorci prvo ispitani na savijanje, a nakon čega im je ispitana tlačna čvrstoća. Analizom dobivenih rezultata može se uočiti da uzorak M1 ima najveću čvrstoću na savijanje, dok je najmanja vrijednost naprezanja pri savijanju zabilježena kod uzorka M5 – 1. Ispitivanje čvrstoće na savijanje rezultiralo je slomom monolitnih uzoraka na dva dijela. Svakom od tih dijelova ispitana je tlačna čvrstoća, te su rezultati navedeni u prethodnoj tablici, a osim toga dodatno je prikazana srednja vrijednost tlačne čvrstoće i standardna devijacija za svaku pojedinu mješavinu. Konačno, iz priloženog je vidljivo da najveću tlačnu čvrstoću ima uzorak M4, dok je najmanja tlačna čvrstoća zabilježena pri ispitivanju uzorka M1.

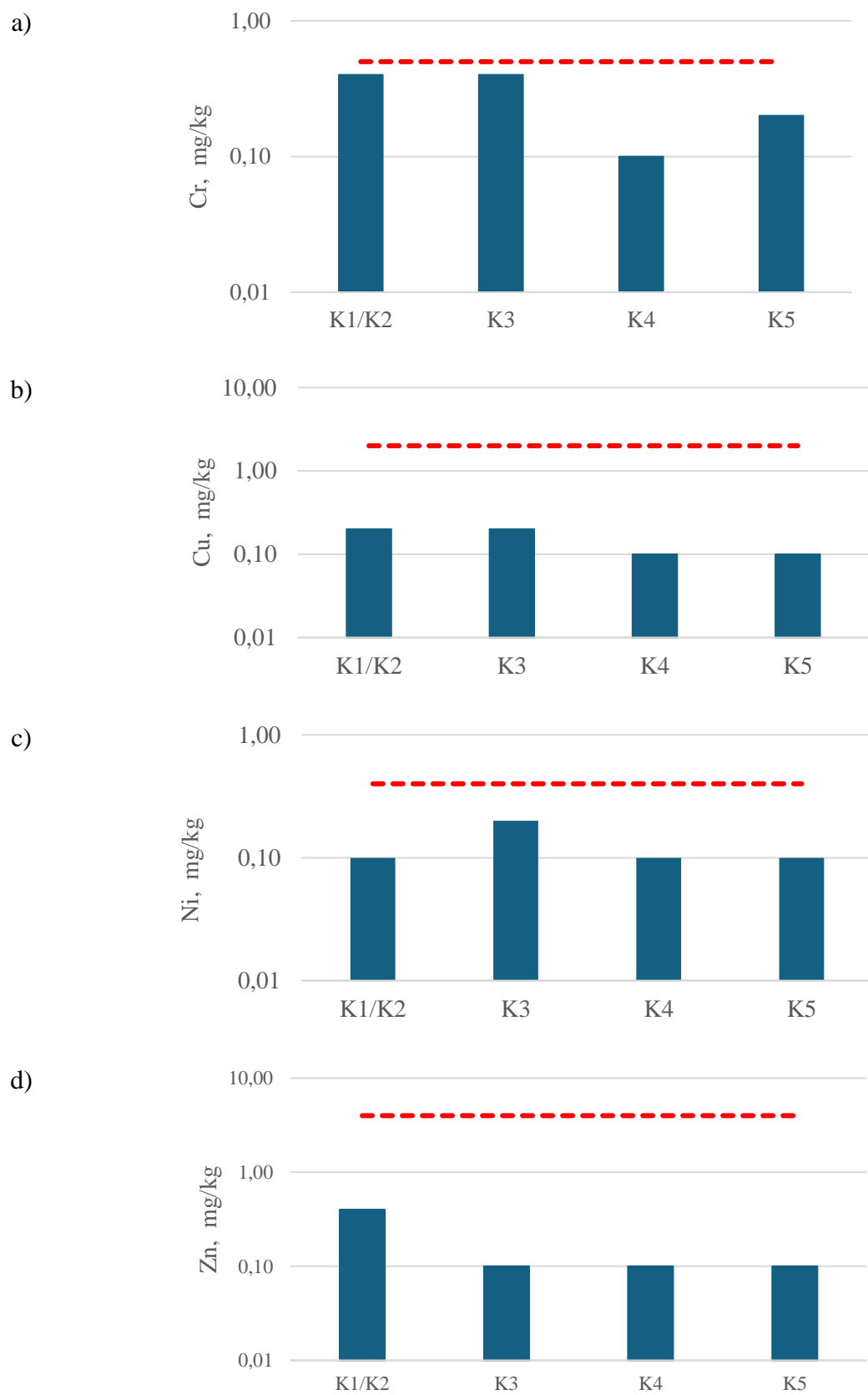
Nakon ispitane čvrstoće, uzorci su podvrgnuti usitnjavanju kako bi se ispitaio njihov ekološki utjecaj na kraju njihovog životnog vijeka. Prateći normirani postupak, svakom uzorku određena je pH vrijednost, električna provodljivost i temperatura eluata pri ispitivanju. Rezultati ispitivanja prikazani su u Tablica 18

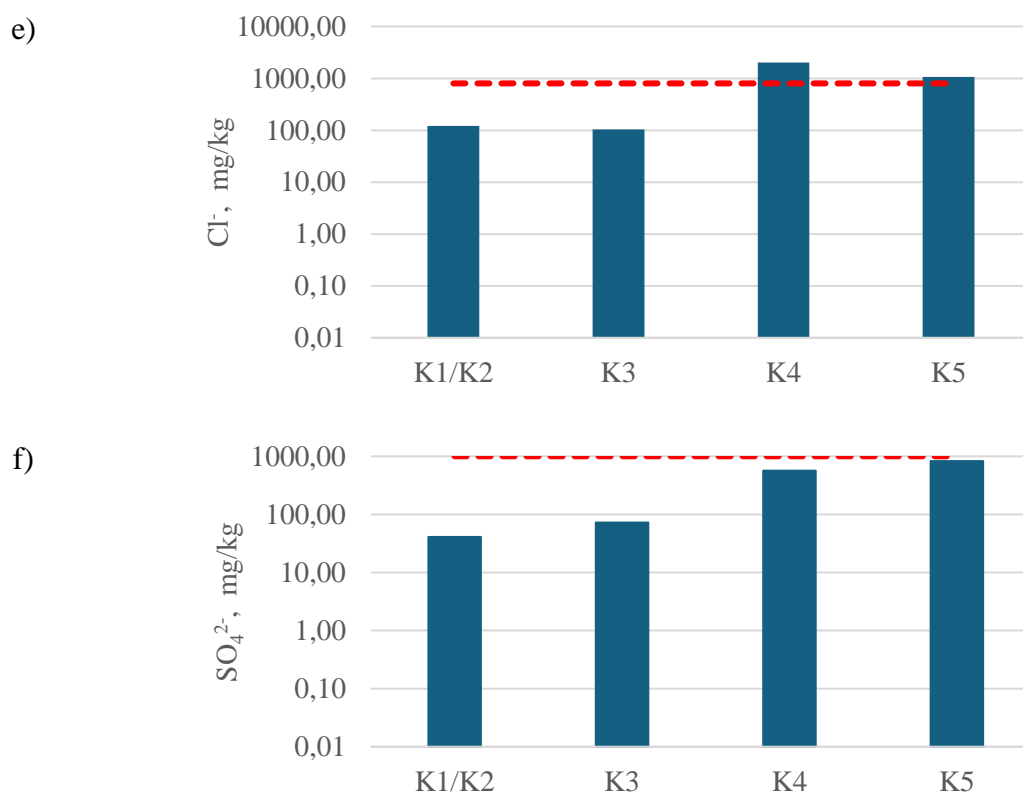
*Tablica 18 pH vrijednost i električna provodljivost usitnjenih uzoraka (krhotina)*

	Mjerna jedinica	K1	K3	K4	K5
Električna provodljivost	mS/cm	13,52	12,01	7,66	8,15
pH vrijednost	-	12,29	12,28	11,93	11,94
Temperatura pri mjerenju	°C	23,2	22,9	23,5	22,9

Uvidom u podatke prikazane u Tablica 18 može se uočiti da je najveća pH vrijednost određena u eluatu uzorka K1, dok je najmanju pH vrijednost imao eluat uzorka K4. Sumarno, može se uočiti da su eluati svih ispitanih uzoraka lužnati. Kada je riječ električnoj provodljivosti, najveću električnu provodljivost imao je eluat uzorka K1, dok je najmanja električna provodljivost određena u uzorku K4. Izmjerene vrijednosti temperature kreću se u rasponu od 22,9 °C do 23,5 °C.

Rezultati izluživanja prikazani su stupčastim dijagramima gdje je na ordinati dana količina izluženog elementa u mjernoj jedinici mg/kg, dok su na apscisi navedeni nazivi ispitivanih uzoraka. Uzorci K1 i K2 izrađeni su od iste smjese pa je zato ispitivanje izluživanja provedeno na krhotinama samo jednog uzorka, a rezultati su prikazani stupcem oznake K1/K2. Ukupno je prikazano 6 dijagrama za elemente čije je izluživanje zabilježeno, a to su: krom (Zn), bakar (Cu), nikal (Ni), cink (Zn) te kloridi (Cl) i sulfati (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Osim navedenih elemenata, ispitivano je i izluživanje arsena (As), kadmija (Cd), žive (Hg), olova (Pb). Selenija (Se) i antimona (Sb) no do izluživanja navedenih elemenata nije došlo, pa sukladno tome ne postoje ni grafovi izluživanja tih elemenata.





Slika 71 Izluživanje teških metala, sulfata i klorida iz krhotina nastalih usitnjavanjem monolitnih uzoraka (plavi stupci) te granične vrijednosti za ukidanje statusa otpada (crvena linija): a) element krom (Cr); b) element bakar (Cu); c) element nikal (Ni); d) element cink (Zn); e) kloridi (Cl<sup>-</sup>); f) sulfati (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Analizom gore prikazanih dijagrama (Slika 71) može se zaključiti da uzorci K1, K2 i K3 ne premašuju niti jednu graničnu vrijednost propisanu Pravilnikom o odlagalištima otpada [58] koje su pak jednake graničnim vrijednostima za ukidanje statusa otpada prema [6]. S druge strane, količina izluženih klorida iz uzoraka K4 i K5 premašuju propisane granične vrijednosti. U uzorku K4 granična vrijednost izluženih klorida premašena je za 1211,6 mg/kg, dok je u uzorku K5 granična vrijednost izluženih klorida premašena za 261,3 mg/kg.

Ovim ispitivanjem se pokazalo da monolitni uzorci koji u svom sastavu sadrže PDB i SSA na kraju svog životnog vijeka (što se simulirano usitnjavanjem monolitnih uzoraka) zadovoljavaju kriterije za klasificiranje kao inertan otpad, koji su navedeni *Pravilnikom o odlagalištima otpada za inertni otpad* [58]. Time se potvrđuje činjenica da ne postoji negativan utjecaj upotrebe PDB-a i SSA-a kao zamjene dijela agregata u cementnim kompozitima kao ni korištenja navedenih pepela kao zamjene dijela klinkera u miješanim cementima. Nadalje, krhotine monolitnih uzoraka od alkalno aktiviranih materijala u kojima su PDB i SSA korišteni

kao zamjena dijela zgure premašuju propisane granične vrijednosti, te se klasificiraju kao neopasni otpad.

## 8. ZAKLJUČAK

Rezultati ankete „*Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu*“ pokazali su kakva je percepcija građana kada je riječ o gospodarenju industrijskim i građevnim otpadom, te ukazuju da postoji značajan nedostatak informacija i svijesti među građanima o postupcima gospodarenja različitim vrstama otpada. Velik broj građana nema jasnu sliku o tome što se događa s otpadom koji nastaje u različitim situacijama, poput uređenja stana ili rušenja zgrada, ili o postupcima vezanim uz otpadni mulj iz komunalnih postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda te pepelom dobivenim termičkom obradom drveta. Također, značajan postotak građana ne vjeruje u recikliranje određenih vrsta otpada ili sumnja na nelegalne prakse u gospodarenju otpadom. Navedeno ukazuje na potrebu za dodatnim informiranjem i educiranjem građana o mogućnostima, te održivim praksama gospodarenja otpadom.

Analizom rezultata provedene ankete „*Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu*“, može se donijeti zaključak da većina ispitanika (52,6 %) nije upoznata sa načinom odlaganja otpada kao što je pepeo dobiven termičkom obradom, dok 27,4 % ispitanika ne zna ništa o gospodarenju otpadnim muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Struka je nešto bolje informirana o gospodarenju i odlaganju SSA u usporedbi s PDB-om, no i dalje je visok postotak onih koji nisu upoznati s načinima odlaganja građevnog i industrijskog otpada, što ukazuje na potrebu za dodatnom edukacijom i informiranjem. Daljnjom analizom prikupljenih podataka uočen je pozitivan trend upotrebe proizvoda od recikliranih materijala. Samo mali postotak ispitanika (10,4 %) smatra da proizvodi od recikliranih materijala otežavaju radove i stvaraju dodatne probleme zbog čega izbjegavaju njihovu upotrebu. S druge strane, čak 46,3 % struke je potvrdilo da upotreba proizvoda od recikliranih materijala ne stvara nikakve dodatne probleme. Upravo zbog toga, većina ispitanika (69,4 %) smatra da je interakcija recikliranih materijala u građevinske/arhitektonske projekte važna s obzirom na zahtjeve za održivim razvojem, iako naglašavaju da još uvijek postoji nedostatak znanja, kao i mogućnosti primjene takvih proizvoda.

Činjenice i obrazloženja koja su dana u prethodnim odlomcima potvrđuju istinitost hipoteze H1: *Građani, kao i predstavnici građevinske i arhitektonske struke, ne znaju osnovne pojmove vezane uz otpad, nisu upoznati s načinom odlaganja građevnog i industrijskog otpada te*



izbjegavaju upotrebu proizvoda od recikliranih materijala te upućuju na traženje adekvatnih rješenja.

Provođenjem eksperimentalnog rada na uzorcima pepela uočeno je da niti jedan od odabranih ispitanih pepela ne zadovoljava granične vrijednosti propisane *Pravilnikom o ukidanju statusa otpada (NN/55/2023)* [6] koje su pak istovjetne graničnim vrijednostima iz [58] koje moraju biti zadovoljene kako bi otpad bio okarakteriziran kao inertan otpad. Na taj je način značajno ograničeno korištenje otpada kao sekundarne sirovine čime se otvara mogućnost za postavljanje pitanja: „Postoji li potreba za njihovom korekcijom?“.

Temeljem analize rezultata dobivenih ispitivanjem na monolitnim uzorcima može se zaključiti da se upotreba PDB-a i SSA-a kao zamjene dijela agregata u cementnim kompozitima te kao zamjenu dijela klinkera u miješanim cementima može smatrati sigurnom iz zdravstvenog i ekološkog aspekta. S druge strane, ispitivanjem se pokazalo da upotrebom PDB-a i SSA-a kao zamjene dijela zgure u alkalno aktiviranim materijalima dolazi do izluživanja teškog metala kadmija (Cd) u količinama koje premašuju granične vrijednosti zbog čega se ne može potvrditi ekološka i zdravstvena ispravnost takvih proizvoda.

Usitnjavanjem monolitnih uzoraka željelo simulirati kraj životnog vijeka betonskih proizvoda. Provođenjem ispitivanja na krhotinama monolitnih uzoraka koji u svom sastavu sadrže PDB i SSA pokazalo se da takvi uzorci zadovoljavaju kriterije za klasificiranje kao inertan otpad, koji su navedeni *Pravilnikom o odlagalištima otpada za inertan otpad* [58]. Time se potvrđuje činjenica da ne postoji negativan utjecaj upotrebe PDB-a i SSA-a kao zamjene dijela agregata u cementnim kompozitima kao ni korištenja navedenih pepela kao zamjene dijela klinkera u miješanim cementima. S druge strane, krhotine monolitnih uzoraka od alkalno aktiviranih materijala u kojima su PDB i SSA korišteni kao zamjena dijela zgure premašuju propisane granične vrijednosti zbog čega ih ne možemo okarakterizirati kao inertni otpad.

Temeljem donesenih zaključaka, može se reći da se pepeo koji nastaje izgaranjem PDB i SSA ekološki i zdravstveno sigurno može primijeniti u cementnim kompozitima kao zamjena dijela agregata te kao zamjena dijela klinkera u miješanim cementima, dok se s druge strane, njihova primjena kao zamjena dijela zgure u alkalno aktiviranim materijalima nije prihvatljiva s ekološkog i zdravstvenog stajališta. Konačno, može se zaključiti da je hipoteza H2: *Pepeo koji nastaje izgaranjem drvne biomase i pepeo koji je dobiven termičkom obradom mulja sa uređaja*

*za pročišćivanje otpadnih voda ekološki je i zdravstveno sigurno primijeniti u cementnim kompozitima kao zamjenu dijela agregata, kao zamjenu dijela klinkera u miješanim cementima, te kao zamjenu dijela zgure u alkalno aktiviranim materijalima djelomično potvrđena.*

## 9. ZAHVALA

*Istraživanje prikazano u ovom radu provedeno je u okviru HORIZON projekta AshCycle – Integration of underutilized ashes into material cycles by industry-urban symbiosis, oznaka projekta 101058162.*

*Ovim putem želim se zahvaliti svojoj mentorici dr. sc. Ivani Carević na uloženom vremenu i trudu, ali i stručnom vođenju kroz izradu ovog rada. Zahvaljujem se i na svim stručnim savjetima koji su doprinijeli izradi ovog rada.*

*Zahvaljujem se i komentoru doc. dr. sc. Nikoli Adžagi što me usmjerio i pomogao oko statističke obrade i analize rezultata provedenih anketa.*

*Hvala i Katarini Licht, mag. ing. oecoing. na pomoći oko provođenja ICP - OES analize, UV/Vis spektroskopije te stručnim komentarima.*

*Zahvaljujem se i prof.dr.sc. Nini Štirmer što me potaknula na pisanje ovog rada.*

*Veliko hvala i svim kolegicama i kolegama sa Zavoda za materijale.*

*Najviše se zahvaljujem svojoj obitelji, a posebno svojim roditeljima i bratu na strpljenju, pomoći i neprestanoj podršci koju mi pružaju.*

## 10. POPIS LITERATURE

- [1] Directorate-General for Environment, “Environment (Waste and recycling) - European Commission.” Accessed: Aug. 25, 2024. [Online]. Available: [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling_en)
- [2] Directorate-General for Environment, “Environment (Waste Framework Directive) - European Commission.” Accessed: Aug. 25, 2024. [Online]. Available: [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en)
- [3] Directorate-General for Communication, “The European Green Deal - European Commission.” Accessed: Aug. 25, 2024. [Online]. Available: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- [4] Joint Research Centre, “Definition of recycling - EU Science Hub - European Union.” Accessed: Aug. 24, 2024. [Online]. Available: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/less-waste-more-value/definition-recycling\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/less-waste-more-value/definition-recycling_en)
- [5] Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, *Pravilnik o nusproizvodima i o ukidanju statusa otpada (NN 117/2014)*. Hrvatska, 2014.
- [6] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, *Pravilnik o ukidanju statusa otpada (NN 55/2023)*. Hrvatska, 2023.
- [7] Hrvatski sabor, *Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/2021)*. Hrvatska, 2021.
- [8] Hrvatski sabor, *Zakon o gradnji (NN 153/13, NN 20/17, NN 39/19, NN 125/19)*. Hrvatska, 2019.
- [9] Hrvatski graditeljski forum, “Nedostatak radnika ograničavajući je razvojni problem graditeljstva,” Jan. 2024.
- [10] “UNEP - UN Environment Programme.” Accessed: May 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.unep.org/>

- [11] H. Ritchie, P. Rosado, and M. Roser, "Breakdown of carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions by sector." Accessed: May 15, 2024. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- [12] Joint Research Centre, "Deep decarbonisation of industry: The cement sector Cement sector overview," 2020, *European Commission*.
- [13] The European Cement Association, "Cementing the European Green Deal - Reaching climate neutrality along the cement and concrete value chain by 2050." Accessed: May 18, 2024. [Online]. Available: <https://cembureau.eu/>
- [14] "Fortune Business insights - Europe Construction Aggregates Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Type (Crushed Stones, Sand & Gravel, Recycled Aggregates, and Others), By Application (Structural Material, Ready Mix Concrete, Precast Concrete, Asphalt Types, and Others), By End-Use Industry (Commercial, Residential, Industrial, and Infrastructure), and Regional Forecast, 2020-2027." Accessed: May 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.fortunebusinessinsights.com/europe-construction-aggregates-market-104698>
- [15] M. Serdar, D. Bjegović, N. Štirmer, and I. B. Pečur, "Research challenges for broader application of alternative binders in concrete," 2019, *Union of Croatian Civil Engineers and Technicians*. doi: 10.14256/JCE.2729.2019.
- [16] B. Milovanović, N. Štirmer, I. Carević, and A. Baričević, "Pepeo drvene biomase kao sirovina u betonskoj industriji," 2019, *GRAĐEVINAR*.
- [17] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, *Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 106/22)*, vol. NN106/2022. Hrvatska, 2022.
- [18] Horizon Europe – Research and Innovation Action, "Ashcycle – Integration of Underutilized Ashes into Material Cycles by Industry-Urban Symbiosis," Oznaka projekta: 101058162. Accessed: Aug. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.ashcycle.eu/en>

- [19] S. V. Vassilev, D. Baxter, L. K. Andersen, and C. G. Vassileva, “An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification,” *Fuel*, vol. 105, pp. 40–76, Mar. 2013, doi: 10.1016/J.FUEL.2012.09.041.
- [20] S. van Loo and J. Koppejan, *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*. 2012.
- [21] I. Carević and N. Štirmer (mentor), “Karakterizacija cementnih kompozita s letećim pepelom drvene biomase,” 2020, *Građevinski fakultet, Zagreb*.
- [22] Bioenergy Europe’s Pellet Report, “Bioenergy Europe statistical report 2023.”
- [23] M. Freire, H. Lopes, and L. A. C. Tarelho, “Critical aspects of biomass ashes utilization in soils: Composition, leachability, PAH and PCDD/F,” *Waste Management*, vol. 46, pp. 304–315, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.WASMAN.2015.08.036.
- [24] A. Maresca, J. Hyks, and T. F. Astrup, “Recirculation of biomass ashes onto forest soils: ash composition, mineralogy and leaching properties,” *Waste Management*, vol. 70, pp. 127–138, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.WASMAN.2017.09.008.
- [25] J. Pesonen, T. Kuokkanen, P. Rautio, and U. Lassi, “Bioavailability of nutrients and harmful elements in ash fertilizers: Effect of granulation,” *Biomass Bioenergy*, vol. 100, pp. 92–97, May 2017, doi: 10.1016/J.BIOMBIOE.2017.03.019.
- [26] B. M. Steenari and O. Lindqvist, “Stabilisation of biofuel ashes for recycling to forest soil,” *Biomass Bioenergy*, vol. 13, no. 1–2, pp. 39–50, Jan. 1997, doi: 10.1016/S0961-9534(97)00024-X.
- [27] A. Maresca, M. Hansen, M. Ingerslev, and T. F. Astrup, “Column leaching from a Danish forest soil amended with wood ashes: fate of major and trace elements,” *Biomass Bioenergy*, vol. 109, pp. 91–99, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.BIOMBIOE.2017.12.014.
- [28] S. Assiamah, S. Agyeman, K. Adinkrah-Appiah, and H. Danso, “Utilization of sawdust ash as cement replacement for landcrete interlocking blocks production and mortarless construction,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, p. e00945, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.CSCM.2022.E00945.

- [29] Z. Yang and J. Huddleston, “Effects of Wood Ash on Properties of Concrete and Flowable Fill,” *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, vol. 4, Jan. 2016.
- [30] L. M. Ottosen, E. Ø. Hansen, P. E. Jensen, G. M. Kirkelund, and P. Golterman, “Wood ash used as partly sand and/or cement replacement in mortar,” *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 11, no. 5, pp. 781–791, 2016, doi: 10.2495/SDP-V11-N5-781-791.
- [31] D. Vouk, M. Serdar, D. Nakić, and A. Anić-Vučinić, “Use of sludge generated at WWTP in the production of cement mortar and concrete,” *GRAĐEVINAR*, pp. 199–210, 2016.
- [32] D. Vouk, D. Malus, and D. Nakić, “ZBRINJAVANJE MULJA S UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA ,” *XIII. Međunarodni simpozij Gospodarenje otpadom - Zagreb 2014 - Zbornik radova*, pp. 348–364, 2014.
- [33] D. Vouk, Malus. Davor, and Tedeschi. Stanislav, “Muljevi s komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ,” *GRAĐEVINAR*, pp. 341–349, Nov. 2010.
- [34] T. Taruya, N. Okuno, and K. Kanaya, “Reuse of sewage sludge as raw material of Portland cement in Japan,” *Water Science & Technology*, 2002.
- [35] C. R. Cheeseman and G. S. Viridi, “Properties and microstructure of lightweight aggregate produced from sintered sewage sludge ash,” *Resour Conserv Recycl*, vol. 45, no. 1, pp. 18–30, Sep. 2005, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2004.12.006.
- [36] I. J. Chiou, K. S. Wang, C. H. Chen, and Y. T. Lin, “Lightweight aggregate made from sewage sludge and incinerated ash,” *Waste Management*, vol. 26, no. 12, pp. 1453–1461, Jan. 2006, doi: 10.1016/J.WASMAN.2005.11.024.
- [37] C. H. Chen, I. J. Chiou, and K. S. Wang, “Sintering effect on cement bonded sewage sludge ash,” *Cem Concr Compos*, vol. 28, no. 1, pp. 26–32, Jan. 2006, doi: 10.1016/J.CEMCONCOMP.2005.09.003.
- [38] M. Cyr, M. Coutand, and P. Clastres, “Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (SSA) in cement-based materials,” *Cem Concr Res*, vol. 37, no. 8, pp. 1278–1289, Aug. 2007, doi: 10.1016/J.CEMCONRES.2007.04.003.

- [39] D. F. Lin, K. L. Lin, M. J. Hung, and H. L. Luo, "Sludge ash/hydrated lime on the geotechnical properties of soft soil," *J Hazard Mater*, vol. 145, no. 1–2, pp. 58–64, Jun. 2007, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2006.10.087.
- [40] L. Chen and D.-F. Lin, "Stabilization treatment of soft subgrade soil by sewage sludge ash and cement," pp. 321–327, Feb. 2009.
- [41] Federal Highway Administration Research and Technology, "User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction: Sawage Sludge Ash - Material Description," 2012.
- [42] S. Donatello and C. R. Cheeseman, "Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review," *Waste Management*, vol. 33, no. 11, pp. 2328–2340, Nov. 2013, doi: 10.1016/J.WASMAN.2013.05.024.
- [43] M. Chen, D. Blanc, M. Gautier, J. Mehu, and R. Gourdon, "Environmental and technical assessments of the potential utilization of sewage sludge ashes (SSAs) as secondary raw materials in construction," *Waste Management*, vol. 33, no. 5, pp. 1268–1275, May 2013, doi: 10.1016/J.WASMAN.2013.01.004.
- [44] N. Adžaga, "Prezentacija: Testiranje statističkih hipoteza," 2020, *Zagreb*.
- [45] Hrvatski zavod za norme, "Metode ispitivanja cementa -- 1. dio: Određivanje čvrstoće (HRN EN 196-1:2016)," 2016, *Croatia*: HRN EN 196-1:2016.
- [46] The European Committee for Standardization, "Methods of testing cement -- Part 1: Determination of strength (EN 196-1:2016)," 2016.
- [47] Hrvatski zavod za norme, *Karakterizacija otpada – izluživanje – Provjera izluživanja zrnatog otpadnog materijala i muljeva – 2. dio: Jednostupanjski postupak kod omjera tekuće-čvrsto od 10 l/kg za materijale s veličinom čestica manjom od 4 mm (sa smanjenjem veličine čestica ili bez smanjenja )*. 2005.
- [48] Hrvatski zavod za norme, *Građevni proizvodi – Procjena otpuštanja opasnih tvari – 1. dio: Upute za utvrđivanje ispitivanja izluživanja i dodatnih koraka ispitivanja (HRN EN 16637-1:2023)*. 2023.



- [49] Hrvatski zavod za norme, *Građevni proizvodi – Procjena otpuštanja opasnih tvari – 2. dio: Horizontalno dinamičko ispitivanje izluživanja s površine (HRN EN 16637-2:2023)*. 2023.
- [50] METTLER TOLEDO Group, “Easy Spectrophotometry Guide - Fundamentals and Applications.” Accessed: Jun. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.mt.com/gb/en/home/library/guides/lab-analytical-instruments/easy-spectrophotometry-guide.html>
- [51] R. K. Dhir, G. S. Ghataora, and C. J. Lynn, “Environmental Assessment, Case Studies and Standards,” *Sustainable Construction Materials*, pp. 225–259, Jan. 2017, doi: 10.1016/B978-0-08-100987-1.00009-3.
- [52] Ministry of Infrastructure and Water Management, “Rijkswaterstaat Environment - Soil Quality Decree.” Accessed: Jul. 05, 2024. [Online]. Available: <https://rwsenvironment.eu/subjects/soil/legislation-and/soil-quality-decree/>
- [53] H. Saveyn *et al.*, “Study on methodological aspects regarding limit values for pollutants in aggregates in the context of the possible development of end-of-waste criteria under the EU Waste Framework Directive,” Luxembourg, Sep. 2014.
- [54] F. Ministry of the Environment, *Finnish Government Decree 591/2006 on reuse of some waste materials in earth construction, amended by 403/2009 and 1825/2009*. .
- [55] Vlada Republike Slovenije, *Uredbo o odpadkih - Priloga 5: Dopustne vsebnosti za onesnaževala v njihovih izlužkih za predelane snovi ali predmete, ki bodo uporabljeni v zunanjem okolju in izpostavljeni atmosferskim vplivom in imajo lastnost izluževanja* . 2022.
- [56] A. Maldonado-Alameda *et al.*, “Environmental potential assessment of MSWI bottom ash-based alkali-activated binders,” *J Hazard Mater*, vol. 416, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125828.
- [57] G. M. Kim, J. G. Jang, F. Naeem, and H. K. Lee, “Heavy Metal Leaching, CO<sub>2</sub> Uptake and Mechanical Characteristics of Carbonated Porous Concrete with Alkali-Activated

Slag and Bottom Ash,” *Int J Concr Struct Mater*, vol. 9, no. 3, pp. 283–294, Sep. 2015, doi: 10.1007/s40069-015-0111-x.

- [58] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, *Pravilnik o odlagalištima otpada ( NN 4/2023)*. Hrvatska , 2023.

## POPIS SLIKA

Slika 1 Grafički prikaz "waste hierarchy" - hijerarhije otpada (prevedeno prema [2]).....	2
Slika 2 Dijagram emisije CO <sub>2</sub> po sektorima u Europskoj uniji, 2020. god [11] .....	8
Slika 3 Podjela PDB-a prema lokaciji skupljanja u postrojenju [21].....	13
Slika 4 Vizualni prikaz odabranih pepela .....	19
Slika 5 Kalupi ispunjeni mješavinom za izradu uzoraka M1 i M2 .....	23
Slika 6 Kalupi ispunjeni mješavinom za izradu uzorka M3.....	23
Slika 7 Vaganje pepela P3.....	24
Slika 8 Vaganje pepela P5.....	24
Slika 9 Miješanje uzoraka .....	25
Slika 10 Uređaj za mjerenje električne provodljivosti .....	26
Slika 11 Filtracija eluata.....	26
Slika 12 Uređaj za mjerenje pH vrijednosti .....	26
Slika 13 Uzorci spremni za daljnje ispitivanje.....	26
Slika 14 Sustav za provođenje ICP analize smješten u laboratoriju Zavoda za hidrotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.....	27
Slika 15 Softversko sučelje .....	27
Slika 16 Vaganje monolitnih uzoraka .....	28
Slika 17 Mjerenje dimenzija monolitnih uzoraka .....	28
Slika 18 Monolitni uzorci prije ispitivanja.....	29
Slika 19 Monolitni uzorak u posudi za ispitivanje.....	29
Slika 20 Uzorci nakon ispitivanja čvrstoće na savijanje .....	32
Slika 21 Dodatno usitnjavanje uzoraka, čekićem.....	32
Slika 22 Usitnjeni uzorak .....	32
Slika 23 Otopine spremne za ispitivanje .....	32

Slika 24 Dobne skupine ispitanika .....	34
Slika 25 Spol ispitanika.....	34
Slika 26 Podjela ispitanika prema stupnju obrazovanja.....	35
Slika 27 Prikaz rezultata na pitanje: "Znate li što je obrnuta piramida gospodarenja otpadom?" .....	36
Slika 28 Prikaz rezultata na pitanje: "Znate li razliku između pojmova reciklirati, oporabiti, ponovno upotrijebiti?" .....	36
Slika 29 Prikaz rezultata na pitanje: "Znate li razliku između inertnog, neopasnog i opasnog otpada? .....	36
Slika 30 Slika 7 8 Prikaz rezultata na pitanje o važnosti zdravstvene prihvatljivosti u okvirima gospodarenja otpadom.....	37
Slika 31 Prikaz rezultata na pitanje: "Koji je Vaš stav o ilegalnom odlaganju otpada?" .....	37
Slika 32 Prikaz rezultata na pitanje: „Što Vas najviše brine kad je u pitanju otpad?“ .....	37
Slika 33 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Što se događa s otpadom nakon uređenja stana ili rušenja zgrade?" .....	39
Slika 34 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Na koji se način trenutno gospodari otpadnim muljem iz komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda?" .....	39
Slika 35 Prikaz odgovora na pitanje: "Kako se trenutno gospodari pepelom dobivenim termičkom obradom drveta?" .....	39
Slika 36 Rezultati procjene građana o tome koliko je pojedina vrsta otpada opasna za okoliš i ljudsko zdravlje .....	40
Slika 37 Dostupnost proizvoda dobivenih recikliranjem otpada .....	41
Slika 38 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Poznajete li neki proizvod u kojem se koristi reciklirani industrijski otpad u svakodnevnoj upotrebi?" .....	41
Slika 39 Prikaz odgovora na pitanje o tehničkoj ispravnosti proizvoda koji koriste reciklirani materijal kao sirovinu .....	42
Slika 40 Mišljenje građana o zdravstvenoj sigurnosti proizvoda koji koriste reciklirani materijal kao sirovinu, te njihov utjecaj na okoliš.....	42

Slika 41 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Biste li upotrebljavali proizvod koji koristi otpad kao novu sirovinu?" .....	42
Slika 42 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Podržavate li mandatornu (obveznu) politiku korištenja otpada kao nove sirovine u proizvodima?" .....	42
Slika 43 Prikaz odgovora na pitanje o otpadu koji građani smatraju najopasnijim za zdravlje i okoliš korištenjem kao nove sirovine u građevinskom sektoru. ....	43
Slika 44 Prikaz odgovora na pitanje o kupnji proizvoda koji su napravljeni od otpada .....	44
Slika 45 Stav građana o povećanju novčane kazne za ilegalno odlaganje otpada .....	44
Slika 46 Dobne skupine ispitanika .....	45
Slika 47 Spol ispitanika.....	45
Slika 48 Prikaz odgovora na pitanje: "Koje ste struke?" .....	46
Slika 49 Rezultati procjene struke o tome koliko je pojedina vrsta otpada opasna za okoliš i ljudsko zdravlje (0-ne znam ništa o navedenom; 1- smatram da nije opasno; 3-smatram da je opasno ako se ilegalno odlaže; 3- smatram jako opasnim otpadom) .....	46
Slika 50 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Na koji se način trenutno gospodari otpadnim muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda?" .....	47
Slika 51 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Na koji se način trenutno gospodari otpadnim pepelom dobivenim termičkom obradom?" .....	47
Slika 52 Samoprocjena ispitanika o poznavanju pojma "održiva upotreba prirodnih resursa. ....	48
Slika 53 Prikaz odgovora na pitanje: "Što „održiva upotreba prirodnih izvora“ kao 7. temeljni zahtjev za građevinu uključuje?" .....	48
Slika 54 Pažnja posvećena recikliranju otpada u fazi projektiranja i izvođenja radova .....	49
Slika 55 Pažnja posvećena utjecaju materijala na okoliš u fazi projektiranja i izvođenja radova .....	49
Slika 56 Prikaz odgovora na pitanje: "Koliko se često u Vašem poslu susrećete s proizvodima s recikliranim materijalom?" .....	50
Slika 57 Odgovori ispitanika na pitanje: " Predstavlja li upotreba proizvoda s recikliranim materijalom dodatne probleme prilikom projektiranja i izvođenja nove građevine?" .....	50

Slika 58 Prikaz slaganja struke sa pojedinim tvrdnjama.....	50
Slika 59 Prikaz odgovora na pitanje: "Biste li kao projektant/ica preporučili upotrebu proizvoda s recikliranim materijalom?" .....	50
Slika 60 Grafički prikaz odgovora: "Kako odabirete materijale koji su ekološki prihvatljivi i imaju minimalan negativan utjecaj na okoliš i zdravlje?" .....	51
Slika 61 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Jeste li ikada ispitivali ponašanje materijala pri izluživanju?" .....	51
Slika 62 Važnost integracije recikliranih materijala u građevinske/arhitektonske projekte s obzirom na zahtjeve za održivim razvojem.....	52
Slika 63 Grafički prikaz rezultata na pitanje: "Smatrate li da postoji dovoljno znanja, resursa i podrške za učinkovito upravljanje otpadom na gradilištima?" .....	53
Slika 64 Grafički prikaz odgovora na pitanje: "Znate li dokazati 7. temeljni zahtjev za građevinu (održiva uporaba prirodnih izvora)?" .....	53
Slika 65 Odgovor na pitanje: "Koji biste od ovih proizvoda koristili u svojim projektima i/ili gradilištima?" .....	54
Slika 66 Odgovori na pitanje: "Koja znanja smatrate da Vam nedostaju po pitanju korištenja otpada kao nove sirovine? " .....	54
Slika 67 Izluživanja teških metala, klorida, fluorida i sulfata iz uzoraka PDB (stupci) te granične vrijednosti za ukidanje statusa otpada (crvena linija): a) element arsen (As); b) element barij (Ba); c) element kadmij (Cd); d) element krom (Cr); e) element bakar (Cu); f) element molibden (Mo); g) element Nikal (Ni); h) element olovo (Pb); i) element antimon (Sb); j) element selenij (Se); k) element cink (Zn); l) elementi kloridi (Cl <sup>-</sup> ); m) element fluor (F); n) elementi sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	62
Slika 68 Grafički prikaz promjene pH vrijednosti kroz vrijeme .....	65
Slika 69 Grafički prikaz promjene električne provodljivosti kroz vrijeme.....	66
Slika 70 Kumulativne vrijednosti izluživanja teških metala, sulfata i klorida iz monolitnih uzoraka (linije) te granične vrijednosti iz Nizozemskih normativa Dutch Soil Quality Degree (zeleno linija): a) element kadmij (Cd); b) element krom (Cr); c) element bakar (Cu); d) element nikal (Ni); e) element olovo (Pb); f) element cink (Zn); g) sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ); h) kloridi (Cl <sup>-</sup> ).....	69

Slika 71 Izluživanje teških metala, sulfata i klorida iz krhotina nastalih usitnjavanjem monolitnih uzoraka (plavi stupci) te granične vrijednosti za ukidanje statusa otpada (crvena linija): a) element krom (Cr); b) element bakar (Cu); c) element nikal (Ni); d) element cink (Zn); e) kloridi (Cl <sup>-</sup> );f) sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	74
Slika 72 Anketa Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu.....	93
Slika 73 Anketa Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu.....	94
Slika 74 Anketa Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu.....	95
Slika 75 Anketa Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu.....	96
Slika 76 Anketa Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu.....	97
Slika 77 Anketa Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu .....	98
Slika 78 Anketa Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu .....	99
Slika 79 Anketa Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu .....	100
Slika 80 Anketa Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu .....	101
Slika 81 Rezultati dobiveni u programu MS Excel za ispitivanje Hipoteze 1 .....	102
Slika 82 Rezultati dobiveni u programu MS Excel za ispitivanje Hipoteze 2 .....	102
Slika 83 Rezultati dobiveni u programu MS Excel za ispitivanje Hipoteze 3 .....	103
Slika 84 Rezultati dobiveni u programu MS Excel za ispitivanje Hipoteze 4 .....	103

## POPIS TABLICA

Tablica 1 Ciljevi, metodologija, postignuti rezultati i doprinos.....	7
Tablica 2 Granične vrijednosti za odlaganje otpada u ovisnosti o vrsti otpada .....	11
Tablica 3 Granične vrijednosti parametra eluata/testa izluživanja recikliranog agregata i materijala za nasipavanje .....	12
Tablica 4 Promatrani pepeli u radu .....	18
Tablica 5 Vrijednosti teških metala u pepelima .....	18
Tablica 6 Mješavine za izradu monolitnih uzoraka.....	20
Tablica 7 Sastav mješavine za izradu uzoraka M1 i M2.....	21
Tablica 8 Sastav mješavine za izradu uzorka M3 .....	21
Tablica 9 Sastav referentne mješavine za izradu uzorka M4 .....	22
Tablica 10 Sastav mješavine za izradu uzorka M5 .....	22
Tablica 11 Dimenzije i masa monolitnih uzoraka.....	28
Tablica 12 Prikaz vremenskih intervala u kojima se odvija ispitivanje .....	30
Tablica 13 Oznaka usitnjenih monolitnih uzoraka.....	33
Tablica 14 Rezultati ispitivanja električne provodljivosti i pH vrijednosti uz istovremeno mjerenje temperature .....	57
Tablica 15 Granične vrijednosti parametra eluata/testa izluživanja (mg/kg) u slučaju ukidanja statusa otpada za Sloveniju Nizozemsku i Finsku .....	62
Tablica 16 Izmjerene pH vrijednosti i vrijednosti električne provodljivosti .....	64
Tablica 17 Vrijednosti čvrstoće na savijanje i tlačne čvrstoće monolitnih uzoraka .....	71
Tablica 18 pH vrijednost i električna provodljivost usitnjenih uzoraka (krhotina) .....	72



## PRILOZI

### Prilog 1 – Primjer ankete pod nazivom *Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu*

#### Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu

Ovo istraživanje provodi se za potrebe studentskog rada na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Cilj istraživanja je analizirati stav osoba tehničke struke, točnije građevinske i arhitektonske struke te arhitekata o otpadu i korištenju proizvoda koji sadrže otpad kao novu sirovinu.

Ljubazno Vas molim da izdvojite 10 minuta vremena i odgovorite na pitanja u nastavku. Na taj način ćete uvelike pomoći u istraživanju.

Anketa je anonimna.

Unaprijed Vam se zahvaljujem,

Rene Kelemen, student 1. godine diplomskog studija, smjer Materijali

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

*\* Označava obavezno pitanje.*

#### OPĆENITO

1. 1. Označite u koju dobnu skupinu pripadate \*

Označite samo jedan oval.

- do 29 godina  
 od 30 - 49 godina  
 od 50 godina naviše

2. 2. Spol \*

Označite samo jedan oval.

- muški  
 ženski

3. 3. Naznačite naselje/grad/kvart/selo u kojem živite (ako ste iz Zagreba navedite kvart u kojem stanujete).

\_\_\_\_\_

4. 4. Koji je stupanj Vašeg obrazovanja? \*

Označite samo jedan oval.

- Osnovna škola (OS)  
 Srednja stručna sprema (SSS)  
 Viša stručna sprema (VŠS)  
 Visoka stručna sprema (VSS)

5. 5. Upišite Vaše zanimanje. \*

\_\_\_\_\_

#### GENERALNI STAV O OTPADU

6. 1. Znete li što je obrnuta piramida gospodarenja otpadom? \*

Označite samo jedan oval.

- Ne znam ništa o tom pojmu  
 Samo sam načuo/načula, ali ne bih znao/znala objasniti  
 Da, upoznat sam sa navedenim pojmom

*Slika 72 Anketa Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu*

## Ekološka i društvena prihvatljivost korištenja pepela iz termičke obrade biomase i mulja

7. 2. Zna li razliku između pojmova reciklirati, oporabiti, ponovno upotrijebiti? (moguće je zaokružiti više odgovora.) \*
- Odaberite sve točne odgovore.
- Ne, nikad nisam čuo/čula za navedene pojmove
  - Znam što je recikliranje
  - Znam što je oporaba
  - Znam što je ponovna upotreba
  - Znam sve navedene pojmove i razumijem razliku između njih
8. 3. Zna li razliku između inertnog, neopasnog i opasnog otpada? (moguće je zaokružiti više odgovora.) \*
- Odaberite sve točne odgovore.
- Ne
  - Znam što je inertan otpad
  - Znam što je neopasan otpad
  - Znam što je opasan otpad
  - Znam sve navedene pojmove i razumijem razliku između njih
9. 4. Koliko je za Vas važno da su prakse gospodarenja otpadom ekološki i zdravstveno prihvatljive? \*
- Označite samo jedan oval.
- Vrlo važno
  - Važno
  - Neutralno
  - Nije važno
  - Nimalo važno
10. 5. Koji je Vaš stav o ilegalnom odlaganju otpada? \*
- Označite samo jedan oval.
- Ne primjećujem navedeno
  - Primjećujem, i mislim da bi trebala biti veća kontrola i novčane kazne
  - Primjećujem, prijavljujem nadležnim službama i mislim da bi trebala biti veća kontrola i novčane kazne
11. 6. Što Vas najviše brine kad je u pitanju otpad? (moguće je zaokružiti više odgovora.) \*
- Odaberite sve točne odgovore.
- Utjecaj na okoliš (tlo, zrak, vodu, biljni i životinjski svijet)
  - Utjecaj na klimatske promjene
  - Zdravstveni rizici
  - Nepravilne prakse odlaganja
  - Nedostatna infrastruktura
  - Nedovoljne mogućnosti recikliranja
12. 7. Na temelju dosadašnjih saznanja, znate li znate što se događa s otpadom nakon primjerice uređenja stana ili rušenja zgrade? \*
- Označite samo jedan oval.
- Mislim da se takav otpad većinom ilegalno odlaže.
  - Mislim da takav otpad preuzimaju tvrtke koje se oglašavaju na javnim mjestima, ali nisam siguran/na kamo odvoze taj otpad.
  - Mislim da se takav otpad većinom odlaže na legalna odlagališta.
  - Mislim da se takav otpad odlaže na legalna odlagališta, iako ima potencijalnu primjenu u građevinarstvu
  - Kažu da se reciklira, ali ne vjerujem u to
  - Mislim da se takav otpad ponovno koristi i da u RH imamo uspostavljen sustav za gospodarenje građevinskim otpadom

Slika 73 Anketa Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu

## Ekološka i društvena prihvatljivost korištenja pepela iz termičke obrade biomase i mulja

13. 8. Na temelju dosadašnjih saznanja, znate li na koji način se trenutno gospodari otpadnim muljem iz komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda? \*

Označite samo jedan oval.

- Mislim da se većinom ilegalno odlaže
- Mislim da se većinom odlaže na legalno odlagalište
- Mislim da se odlaže na legalna odlagališta, iako ima potencijalnu primjenu ponovnog korištenja
- Mislim da se većinom koristi u poljoprivredi
- Kažu da se reciklira, ali ne vjerujem u to
- Republika Hrvatska ima uspostavljen sustav za gospodarenje muljem u koji potpuno vjerujem
- Ne znam ništa o tome

14. 9. Na temelju dosadašnjih saznanja, znate li na koji način se trenutno gospodari pepelom dobivenim termičkom obradom drveta? \*

Označite samo jedan oval.

- Mislim da se većinom ilegalno odlaže
- Mislim da se većinom odlaže na legalno odlagalište
- Mislim da se odlaže na legalna odlagališta, iako ima potencijalnu primjenu ponovnog korištenja
- Mislim da se većinom koristi u poljoprivredi
- Kažu da se reciklira, ali ne vjerujem u to
- Republika Hrvatska ima uspostavljen sustav za gospodarenje pepelom u koji potpuno vjerujem
- Ne znam ništa o tome

10. Označite koliko mislite da je ova vrsta opasna za okoliš i ljudsko zdravlje? (0 - ne znam ništa o navedenom; 1- smatram da nije opasno; 2-smatram da je opasno ako se ilegalno odlaže; 3- smatram jako opasnim otpadom)

15. Građevinski otpad i otpad nakon rušenja (npr. beton, opeka, staklo) \*

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3

ne z     smatram jako opasnim otpadom

16. Otpadni mulj iz komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda \*

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3

ne z     smatram jako opasnim otpadom

17. Pepeo nastao termičkom obradom drveta \*

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3

ne z     smatram jako opasnim otpadom

18. Pepeo nastao termičkom obradom tretiranog drveta \*

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3

ne z     smatram jako opasnim otpadom

Slika 74 Anketa Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu

## Ekološka i društvena prihvatljivost korištenja pepela iz termičke obrade biomase i mulja

19. Pepeo nastao termičkom obradom ugljena \*

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3

ne z     smatram jako opasnim otpadom

20. Zgura iz proizvodnje čelika \*

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3

ne z     smatram jako opasnim otpadom

21. Plastika \*

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3

ne z     smatram jako opasnim otpadom

### STAV O PROIZVODIMA SA RECIKLIRANIM OTPADOM

22. 11. Po Vašem mišljenju, koliko je na tržištu dostupno novih proizvoda koji se dobivaju recikliranjem otpada? \*

Označite samo jedan oval.

- Dostupno je jako puno takvih proizvoda na tržištu  
 Dostupno je, ali samo u pojedinim industrijama  
 Malo, moglo bi bolje  
 Nije dostupno

23. 12. Poznajete li neki proizvod u kojem se koristi reciklirani industrijski otpad u svakodnevnoj upotrebi? \*

Označite samo jedan oval.

- Da  
 Ne

24. 13. Ukoliko je odgovor na prethodno pitanje bio potvrđan, navedite o kojem je proizvodu/proizvodima riječ.

\_\_\_\_\_

25. 14. Mislite li da proizvodi koji koriste reciklirani materijal kao sirovinu imaju jednaku tehničku vrijednost/ispravnost kao proizvodi koji su napravljeni bez recikliranog materijala? \*

Označite samo jedan oval.

- Da  
 Ne, ovi bez recikliranog materijala su bolji  
 Nisam siguran/na, ovisi o proizvođaču  
 Ne znam ništa o navedenom

26. 15. Mislite li da su proizvodi koji koriste reciklirani materijal kao sirovinu zdravstveno sigurni za ljude i okoliš jednako kao proizvodi koji su napravljeni bez recikliranog materijala? \*

Označite samo jedan oval.

- Da  
 Možda, mislim da bi trebali ispitivati, ali nisam siguran/an da li se to radi  
 Ne  
 Ne znam ništa o navedenom

Slika 75 Anketa Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu

## Ekološka i društvena prihvatljivost korištenja pepela iz termičke obrade biomase i mulja

27. 16. Označite otpad koji smatrate najopasnijim za zdravlje i okoliš korištenjem kao nove sirovine u građevinskom sektoru. \*

Odaberite sve točne odgovore.

- Građevinski otpad i otpad nakon rušenja (npr. opeka, beton, staklo itd.)
- Građevinski otpad i otpad od rušenja (npr. azbest, katran itd.)
- Otpadni mulj iz komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda
- Pepeo nastao termičkom obradom drveta
- Pepeo nastao termičkom obradom tretiranog drveta
- Pepeo nastao termičkom obradom ugljena
- Zgura iz proizvodnje čelika
- Plastika
- Ne znam ništa o navedenom

28. 17. Biste li upotrebljavali proizvod koji koristi otpad kao novu sirovinu? \*

Označite samo jedan oval.

- Da
- Da, ako bi bio/la sigurna u tehničku ispravnost proizvoda
- Da, ako bi bio/la sigurna ekološku i zdravstvenu ispravnost proizvoda
- Da, ako bi bio/la sigurna i tehničku i ekološku ispravnost proizvoda
- Ne bi koristio/la

29. 18. Kada se nalazite u prostoru u kojem živite i radite, razmišljate li o tome kakvi su materijali korišteni za izradu elemenata koji Vas okružuju, posebno s ekološkog i zdravstvenog aspekta (zidovi, podovi, prozori, obloge, vrata)? \*

Označite samo jedan oval.

- Da, to mi je jako bitno i to sam istražio/la prilikom dugoročnog boravka
- Da, ali samo za pojedine materijale
- Nisam nikada pridavao/la pažnju (veći fokus na razmještaj prostorija, boje zidova, i sl.)

30. 19. Podržavate li mandatornu (obveznu) politiku korištenja otpada kao nove sirovine u proizvodima? \*

Označite samo jedan oval.

- Da, bezuvjetno
- Da, ali mora biti obvezno dokazano ispitivanjem utjecaja na zdravlje i okoliš i javno objavljeno
- Ne, bojim se da bi se varalo sa rezultatima ispitivanja utjecaja na zdravlje i okoliš
- Ne, nikako

31. 20. Treba li povećati novčane kazne ilegalnog odlaganja otpada? \*

Označite samo jedan oval.

- Da, bezuvjetno
- Da, ali mislim da bi se to nekako zloupotrebljavalo
- Ne, nikako

32. 21. Ako je novi proizvod napravljen od otpada kao nove sirovine (reciklirani materijal) te je ujedno i jeftin, koji od navedenih proizvoda biste kupili? (moguće označiti više odgovora.) \*

Odaberite sve točne odgovore.

- Proizvod od građevinskog otpada i otpada nakon rušenja
- Proizvod koji koristi otpadni mulj iz komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda
- Proizvod od pepela nastao termičkom obradom drveta
- Proizvod od pepela nastao termičkom obradom tretiranog drveta
- Proizvod od pepela nastao termičkom obradom ugljena
- Proizvod od zgure dobivene proizvodnjom čelika
- Proizvod od plastike
- Svejedno koji proizvod i od čega samo da je dokazano da je siguran i ispravan za korištenje
- Niti jedan od recikliranog materijala

xs.google.com/forms/d/1YCRPHBwYXMiHhbgzKUPTrMqW7sudOU71NHv6deU/edit

9/11

https://docs.google.com/forms/d/1YCRPHBwYXMiHhbgzKUPTrMqW7sudOU71NHv6deU/edit

024. 05:47

Stav građana o industrijskom i građevnom otpadu

33. Ako želite, ostavite Vaš komentar na temu korištenja građevinskog i industrijskog otpada.

Slika 76 Anketa Percepcija građana o industrijskom i građevnom otpadu

## Prilog 2 – Primjer ankete pod nazivom *Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu*

### Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu

Ovo istraživanje provodi se za potrebe studentskog rada na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Cilj istraživanja je analizirati stav osoba tehničke struke, točnije građevinske i arhitektonske struke o otpadu i korištenju proizvoda koji sadrže otpad kao novu sirovinu.

Ljubazno Vas molim da izdvojite 10 minuta vremena i odgovorite na pitanja u nastavku. Na taj način ćete uvelike pomoći u istraživanju. Anketa je anonimna.

Unaprijed Vam se zahvaljujem.

Rene Kelemen, student 1. godine diplomskog studija, smjer Materijali

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Prijedite na pitanje broj 1 Prijedite na pitanje broj 1

#### OPĆENITO

#### 1. Označite u koju dobnu skupinu pripadate

Označite samo jedan oval.

- Do 29 godina  
 Od 30 - 49 godina  
 Od 50 godina naviše

#### 2. Spol

Označite samo jedan oval.

- Muški  
 Ženski

#### 3. Naznačite naselje/grad/kvart/selo u kojem živite (ako ste iz Zagreba navedite kvart u kojem stanujete).

\_\_\_\_\_

#### 4. Koje Ste struke?

Označite samo jedan oval.

- Građevinske struke  
 Arhitektonske struke

#### PITANJA O OTPADU I O PROIZVODIMA SA RECIKLIRANIM OTPADOM

#### 1. Označite prema Vašem mišljenju koliko je navedena vrsta otpada opasna za okoliš i ljudsko zdravlje?

(0 - ne znam ništa o navedenom; 1- smatram da nije opasno; 2- smatram da je opasno ako se ilegalno odlaže; 3- smatram jako opasnim otpadom)

#### 5. Građevni otpad i otpad od rušenja (npr. beton, opeka, staklo)

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3  
ne z     smatram jako opasnim otpadom

#### 6. Otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3  
ne z     smatram jako opasnim otpadom

Slika 77 Anketa Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu

## Ekološka i društvena prihvatljivost korištenja pepela iz termičke obrade biomase i mulja

7. Pepeo nastao termičkom obradom drveta

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3  
ne z     smatram jako opasnim otpadom

8. Pepeo nastao termičkom obradom tretiranog drveta

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3  
ne z     smatram jako opasnim otpadom

9. Pepeo nastao termičkom obradom ugljena

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3  
ne z     smatram jako opasnim otpadom

10. Zgura iz proizvodnje čelika

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3  
ne z     smatram jako opasnim otpadom

11. Plastika

Označite samo jedan oval.

0 1 2 3  
ne z     smatram jako opasnim otpadom

12. 2. Na temelju dosadašnjih saznanja, znate li na koji se način trenutno gospodari otpadnim muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda?

Označite samo jedan oval.

- Mislim da se većinom ilegalno odlaže  
 Mislim da se većinom odlaže na legalno odlagalište  
 Mislim da se odlaže na legalna odlagališta, iako ima potencijal ponovnog korištenja  
 Mislim da se većinom koristi u poljoprivredi  
 Kažu da se reciklira, ali ne vjerujem u to  
 Republika Hrvatska ima uspostavljen sustav za gospodarenje muljem u koji potpuno vjerujem  
 Ne znam ništa o tome

13. 3. Na temelju dosadašnjih saznanja, znate li na koji se način trenutno gospodari pepelom dobivenim termičkom obradom drveta?

Označite samo jedan oval.

- Mislim da se većinom ilegalno odlaže  
 Mislim da se većinom odlaže na legalno odlagalište  
 Mislim da se odlaže na legalna odlagališta, iako ima potencijal ponovnog korištenja  
 Mislim da se većinom koristi u poljoprivredi  
 Kažu da se reciklira, ali ne vjerujem u to  
 Republika Hrvatska ima uspostavljen sustav za gospodarenje pepelom u koji potpuno vjerujem  
 Ne znam ništa o tome

Slika 78 Anketa Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu

## Ekološka i društvena prihvatljivost korištenja pepela iz termičke obrade biomase i mulja

14. 4. Ocijenite svoje znanje o održivoj upotrebi prirodnih resursa ?

Označite samo jedan oval.

- nisam uopće upoznat/a  
 slabo sam upoznat/a  
 upoznat/a sam  
 vrlo dobro sam upoznat/a  
 izvrsno sam upoznat/a

15. 5. Što „održiva upotreba prirodnih izvora“ kao 7. temeljni zahtjev za građevinu uključuje?

Odaberite sve točne odgovore.

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

16. 6. Posvećujete li dovoljno pažnje recikliranju otpada prilikom projektiranja i izvođenja radova?

Označite samo jedan oval.

- Da, planski je uključeno u projektiranje i izvođenje  
 Ne, ali naglasak na recikliranje bi trebao biti puno veći  
 Recikliranje otpada nije moj posao

17. 7. Posvećujete li dovoljno pažnje utjecaju materijala na okoliš prilikom projektiranja i izvođenja radova?

Označite samo jedan oval.

- Planski je uključeno u projektiranje i izvođenje  
 Ne provodim nikakve dodatne mjere od uobičajenih praksi  
 Dokazivanje utjecaja na okoliš i provođenje mjera nisu moj posao

18. 8. Koliko se često u Vašem poslu susrećete s proizvodima s recikliranim materijalom?

Označite samo jedan oval.

- Svakodnevno  
 Ponekad, no pokušavam izbjegavati takve proizvode  
 Ne obraćam pažnju na to  
 Uopće se ne susrećem sa takvim proizvodima

19. 9. Predstavlja li upotreba proizvoda s recikliranim materijalom dodatne probleme prilikom projektiranja i izvođenja nove građevine?

Označite samo jedan oval.

- Da, takvi proizvodi otežavaju radove te stvaraju dodatne probleme zbog čega ih izbjegavam  
 Ne, takvi proizvodi ne stvaraju nikakve dodatne probleme  
 Nemam dovoljno znanja o tome

20. 10. S kojom se od ovih tvrdnji slažete:

Odaberite sve točne odgovore.

- Proizvodi s recikliranim otpadom značajno poboljšavaju svojstva građevine  
 Proizvodi s recikliranim otpadom loše utječu na svojstva građevine  
 Bolja svojstva građevine postižu se upotrebom klasičnih proizvoda  
 Važno je da su zadovoljeni tehnički i ekološki aspekti proizvoda koji koristim

21. 11. Biste li kao projektant/ica preporučili upotrebu proizvoda s recikliranim materijalom?

Označite samo jedan oval.

- Da  
 Ne  
 Možda kada bih stekao/la povjerenje da je proizvod jednako vrijedan kao ovaj koji do sada koristim

Slika 79 Anketa Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu



## Ekološka i društvena prihvatljivost korištenja pepela iz termičke obrade biomase i mulja

22. 12. Kako odabirete materijale koji su ekološki prihvatljivi i imaju minimalan negativan utjecaj na okoliš i zdravlje?

Označite samo jedan oval.

- Koristim se alatima i metodama ispitivanja kojima točno mogu kvantificirati utjecaj na okoliš
- Koristim se dostupnom dokumentacijom (npr. Izjava utjecaja na okoliš)
- Najbitnija mi je cijena
- Najbitnija mi je tehnička kvaliteta
- Ne obraćam pažnju na to

23. 13. Jeste li ikada ispitivali ponašanje materijala pri izluživanju (procjena otpuštanja opasnih tvari)?

Označite samo jedan oval.

- Nije mi poznato niti sam to ikada radio/la ili dao/la na ispitivanje
- Poznato mi je, ali nikada nisam radio/la ili dao/la na ispitivanje
- Da, na zahtjev investitora
- Da, samo ako je nužno prema uputama zakona i drugih regulativa

24. 14. Kako biste ocijenili važnost integracije recikliranih materijala u građevinske/arhitektonske projekte s obzirom na zahtjeve za održivim razvojem?

Označite samo jedan oval.

- Izuzetno važno, reciklirani materijali smanjuju ekološki otisak građevinskih/arhitektonskih projekata
- Važno, no još uvijek postoji nedostatak znanja i mogućnosti primjene proizvoda od recikliranog materijala
- Manje važno, tradicionalni materijali su dovoljni za zadovoljenje zahtjeva za održivim razvojem

25. 15. Smatrate li da postoji dovoljno znanja, resursa i podrške za učinkovito upravljanje otpadom na gradilištima?

Označite samo jedan oval.

- Da
- Ne, nedostaje sustavne podrške
- Ovisi o izvođaču
- Nisam siguran/a

26. 16. Znete li dokazati 7. temeljni zahtjev za građevinu (održiva uporaba prirodnih izvora)?

Označite samo jedan oval.

- Ne, ali svaki projekt na kojem radim ima razrađen dokaz o ispunjavanju 7. temeljnog zahtjeva
- Nije potrebno posebno dokazivanje i razrada o održivoj upotrebi resursa
- Da, svaki projekt to ima razrađeno

27. 17. Koji biste od ovih proizvoda koristili u svojim projektima ili na gradilištima? (moguće označiti više odgovora)

Odaberite sve točne odgovore.

- Proizvod od građevnog otpada i otpada od rušenja
- Proizvod koji koristi otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda
- Proizvod od pepela nastao termičkom obradom drveta
- Proizvod od pepela nastao termičkom obradom tretiranog drveta
- Proizvod od pepela nastao termičkom obradom ugljena
- Proizvod od zgure
- Proizvod od plastike
- Svejedno koji proizvod samo da je dokazano da je siguran i ispravan za korištenje
- One proizvode za koje imam potrebno znanje kako ih koristiti
- Niti jedan od recikliranog materijala

ca.google.com/forms/d/1VaaYNT7CAcM-CgZ4n\_jVSkTRGMj8ZfzG8ID7T7Y/edit

7/9

https://docs.google.com/forms/d/1VaaYNT7CAcM-CgZ4n\_jVSkTRGMj8ZfzG8ID7T7Y/edit

104. 08/07

Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu

28. 18. Koja znanja smatrate da Vam nedostaju po pitanju korištenja otpada kao nove sirovine? (moguće označiti više odgovora)

Odaberite sve točne odgovore.

- Edukacija o pravilnom upravljanju otpadom
- Uvođenje novih tehnologija za smanjenje otpada i recikliranje materijala na gradilištima
- Korištenje novih materijala i tehnologija
- Kvantificiranje utjecaja proizvoda na okoliš
- Kvantificiranje utjecaja zgrade na okoliš
- Praktična primjena 7. temeljnog zahtjeva prema Zakonu o gradnji
- Imam dovoljno znanja o ovoj temi

Slika 80 Anketa Stav građevinske i arhitektonske struke o industrijskom i građevnom otpadu

Prilog 3 – Statistička obrada rezultata ankete u programu Microsoft Excel

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		
	Muškarci - parametri za stat. obradu	Žene - parametri za stat. obradu
Mean	0,32	0,15
Variance	0,220540541	0,129661017
Observations	75	60
Pooled Variance	0,180225564	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	133	
t Stat	2,311958837	
P(T<=t) one-tail	<b>0,011158246</b>	
t Critical one-tail	1,656391244	
P(T<=t) two-tail	0,022316492	
t Critical two-tail	1,977961264	

Slika 81 Rezultati dobiveni u programu MS Excel za ispitivanje Hipoteze 1

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	0,4	0,522222222
Variance	0,245454545	0,252309613
Observations	45	90
Pooled Variance	0,250041771	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	133	
t Stat	<b>-1,338765524</b>	
P(T<=t) one-tail	<b>0,091465423</b>	
t Critical one-tail	<b>1,656391244</b>	
P(T<=t) two-tail	0,182930845	
t Critical two-tail	<b>1,977961264</b>	

Slika 82 Rezultati dobiveni u programu MS Excel za ispitivanje Hipoteze 2

t-Test: Paired Two Sample for Means		
	<i>Plastika_S</i>	<i>Građevni otpad_S</i>
Mean	0,614814815	0,007407407
Variance	0,238584854	0,007407407
Observations	135	135
Pearson Correlation	0,068377029	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	134	
t Stat	<b>14,39863725</b>	
P(T<=t) one-tail	2,73456E-29	
t Critical one-tail	<b>1,656304542</b>	
P(T<=t) two-tail	5,46912E-29	
t Critical two-tail	<b>1,977825758</b>	

Slika 83 Rezultati dobiveni u programu MS Excel za ispitivanje Hipoteze 3

t-Test: Paired Two Sample for Means		
	<i>Plastika_OP</i>	<i>Građevni otpad_OP</i>
Mean	0,740740741	0,066666667
Variance	0,193477059	0,062686567
Observations	135	135
Pearson Correlation	0,09035079	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	134	
t Stat	<b>16,11300466</b>	
P(T<=t) one-tail	1,86412E-33	
t Critical one-tail	<b>1,656304542</b>	
P(T<=t) two-tail	3,72824E-33	
t Critical two-tail	<b>1,977825758</b>	

Slika 84 Rezultati dobiveni u programu MS Excel za ispitivanje Hipoteze 4

## SAŽETAK

### **Ekološka i društvena prihvatljivost korištenja pepela iz termičke obrade biomase i mulja**

Rene Kelemen

Gospodarenje otpadom postao je svakodnevni izazov. Količina otpada raste, dok je prostora za njegovo odlaganje sve manje. Kako bi se suočila s ovim problemom, Europska unija donijela je "*Waste Framework Directive*", koja postavlja temeljna načela gospodarenja otpadom, uključujući hijerarhiju otpada koja favorizira prevenciju, ponovnu uporabu i recikliranje. Kako bi se otpad koristio kao nova sirovina mora zadovoljiti tehnička svojstva i funkcionalnost, ali i dokazat ekološku i zdravstvenu ispravnost. Fokus ovog rada ekološka evaluacija primjene pepela drvene biomase (PDB) i pepela dobivenog termičkom obradom otpadnog mulja (SSA kao sekundarnih sirovina u građevinskim proizvodima. Rezultati istraživanja pokazuju da PDB i SSA mogu biti ekološki i zdravstveno sigurni za uporabu u cementnim kompozitima, ali nisu prikladni kao zamjena za zgru u alkalno aktiviranim materijalima. Anketna istraživanja opće populacije i stručne javnosti ukazuju na potrebu za dodatnom edukacijom i informiranjem građana i stručnjaka o održivom gospodarenju otpadom.

**KLJUČNE RIJEČI :** pepeo drvene biomase, pepeo dobiven termičkom obradom otpadnog mulja, izluživanje, ankete, sekundarna sirovina

## SUMMARY

### **Environmental and social acceptability of using ash from the thermal treatment of biomass and sludge**

Rene Kelemen

Waste management has become a daily challenge. Amount of waste is increasing, while the space for its disposal is decreasing. To address this issue, the European Union introduced the "*Waste Framework Directive*," which establishes fundamental principles of waste management, including a waste hierarchy that prioritizes prevention, reuse, and recycling. For waste to be used as a new raw material, it must meet technical properties and functionality, as well as prove its environmental and health safety. Focus of this paper is ecological evaluation of wood biomass ash (WBA) and sewage sludge ash (SSA) application as secondary raw materials in construction products. Research results indicate that WBA and SSA can be environmentally and health-safe for use in cement composites but are not suitable as a slag replacement in alkali-activated materials. Survey research of the general population and experts highlights the need for further education and information regarding sustainable waste management.

**KEYWORDS:** wood biomass ash, sewage sludge ash, leaching, surveys, secondary resources