

# Mogućnost recikliranja obrađenog otpadnog LCD-a u betonskoj galanteriji

---

**Turčin, Maja**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:368420>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



# Mogućnost recikliranja obrađenog otpadnog LCD-a u betonskoj galanteriji

---

**Turčin, Maja**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:368420>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2020-11-04**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

MAJA TURČIN

MOGUĆNOST RECIKLIRANJA OBRAĐENOG OTPADNOG LCD – a U BETONSKOJ  
GALANTERIJI

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

MOGUĆNOST RECIKLIRANJA OBRAĐENOG OTPADNOG LCD – a U  
BETONSKOJ GALANTERIJI

KANDIDAT:

Maja Turčin, bacc. ing. geoinž.

MENTOR:

izv. prof dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić

VARAŽDIN, 2017.



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: MAJA TURČIN  
Matični broj: 131 - 2015./2016.  
Smjer: UPRAVLJANJE OKOLIŠEM

### NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

MOGUĆNOST RECIKILIRANJA OBRADENOG OTPADNOG LCD-a  
U BETONSKOJ GALANTERIJI

Rad treba sadržati: 1. Uvod  
2. Općenito o LCD uređajima  
3. Recikliranje LCD-a  
4. Pregled upotrebe LCD-a u betonskoj galanteriji  
5. Eksperimentalni postupak  
6. Rezultati i rasprava  
7. Zaključak  
8. Literatura

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 03.05.2017.

Rok predaje: 11.09.2017.

Mentor:

Izv.prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić



Predsjednik Odbora za nastavu:

Doc.dr.sc. Igor Petrović

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

MOGUĆNOST RECIKLIRANJA OBRADENOG OTPADNOG LCD – a U  
BETONSKOJ GALANTERIJ

---

(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv. prof. dr. sc. Aleksandre Anić Vučinić**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 21. 09. 2017.

Maja Turčin

---

(Ime i prezime)

Maja Turčin

---

(Vlastoručni potpis)

## SAŽETAK

**Ime i prezime:** Maja Turčin

**Naslov rada:** Mogućnost recikliranja obrađenog LCD-a u betonskoj galanteriji

Posljedica ubrzanog i modernog stila života jedan od velikih problema današnjice zbog sve veće količine električnog i elektroničkog otpada (EE otpad). Prema katalogu otpada EE otpad spada u posebnu kategoriju otpada zbog potrebe za posebnim načinom zbrinjavanja tog otpada. Zbog sve veće količine EE otpada razvijaju se različite metode kako najbolje upotrijebiti vrijedne komponente iz istog te se razvijaju različiti načini recikliranja tog otpada. U ovom diplomskom radu nastojalo se istražiti kakva su svojstva betona s umiješanim pročišćenim LCD – om u zlatotopci s različitim udjelom od 1%, 5% i 10% kao zamjenom za agregat. Ispitivala su se slijedeća svježa svojstva betona: gustoća betona, količina zraka u betonu, konzistencija betona te svojstva očvrstnulo betona nakon 28 dana: tlačna i vlačna čvrstoća. Provedenom analizom dobivenih rezultata utvrđeno je da beton s najmanjim udjelom otpadnog LCD-a ima najbolja svojstva tj. sa sve većim udjelom LCD – a opada vlačna i tlačna čvrstoća, gustoća betona, a iznos konzistencije i udio količine zraka u betonu rastu.

**Ključne riječi:** *LCD(Liquid Crystal Display), recikliranje, betonska galanterija.*

## SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OPĆENITO O LCD UREĐAJIMA .....</b>	<b>3</b>
2.1	GRAĐA I KARAKTERISTIKE LCD-A.....	4
2.2	UPOTREBA LCD-A .....	6
2.3	GOSPODARENJE OTPADNIM LCD UREĐAJIMA .....	7
2.3.1	LCD - EE otpad .....	7
2.3.2	Zakonska regulativa.....	10
<b>3</b>	<b>RECIKLIRANJE LCD – A .....</b>	<b>15</b>
3.1	PREDOBRADA OTPADNIH LCD UREĐAJA.....	17
3.2.	KRETANJE TRŽIŠNE CIJENE INDIJA .....	18
<b>4</b>	<b>PREGLED UPOTREBE LCD – A U BETONSKOJ GALANTERIJI.....</b>	<b>20</b>
4.1	REZULTATI PRETHODNIH ISTRAŽIVANJA .....	20
<b>5</b>	<b>EKSPERIMENTALNI POSTUPAK.....</b>	<b>26</b>
5.1	PLAN ISTRAŽIVANJA.....	26
5.2	MATERIJALI I METODE.....	26
5.2.1	<i>PRIPREMA UZORAKA .....</i>	<i>27</i>
5.2.2	<i>Ispiranje, neutralizacija i sušenje uzorka .....</i>	<i>28</i>
5.2.3	<i>Miješanje pročišćenog LCD – a s betonom i ispitivanje svojstva tog betona</i>	<i>29</i>
<b>6</b>	<b>REZULTATI I RASPRAVA .....</b>	<b>35</b>
6.1	REZULTATI ISPITIVANJA SVJEŽEG BETONA .....	35
6.1.1	Rezultati ispitivanja gustoće betona .....	35
6.1.2	Rezultati mjerenja količine zahvaćenog zraka.....	37
6.1.3	Rezultati mjerenja konzistencije.....	39
6.2	REZULTATI ISPITIVANJA OČVRSNULOG BETONA .....	42



6.2.1	Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće .....	42
6.2.2	Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće.....	44
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>49</b>
	<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>54</b>
	<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>56</b>

## 1 UVOD

Problem današnjice, pored sve većeg onečišćenja zraka, vode i tla je i ogroman porast količine otpadnog materijala. Zbog sve većeg broja stanovnika, porasta industrijske proizvodnje i potrošnje, stvara se sve veća količina otpada koji dovodi do sve veće onečišćenosti životne sredine. Heterogeni sastav otpadnog materijala utječe na to da su načini prerade i ponovne upotrebe raznovrsniji i složeniji. Električni i elektronički otpad (EE otpad) postao je problem velikih razmjera zbog toga jer sadrži preko tisuću različitih supstanci od kojih su mnoge otrovne i mogu stvoriti veliko onečišćenje prilikom odlaganja te se EE otpad stvara u ogromnim količinama zbog brzog zastarijevanja tehnologije proizvoda. Ubrzan razvoj tehnologije doprinio je da potrošači rijetko kad odnesu neispravne uređaje na popravak, već ih jednostavno zamjenjuju novim uređajima zbog jeftinije cijene i jednostavnosti [1].

Prosječni životni vijek računala se smanjio sa šest na samo dvije godine. Europske studije pokazuju kako količina otpada električne i elektronske opreme (OEEO) raste 3-5% godišnje, što je zabrinjavajućih četiri puta više nego otpad iz domaćinstava. Od ukupne količine svjetskog otpada, OEEO čini 5%, s time da ta brojka raste iz godine u godinu. Prema podacima jedan prosječan građanin Engleske tokom svog života odbaci čak tri tone EE otpada [1].

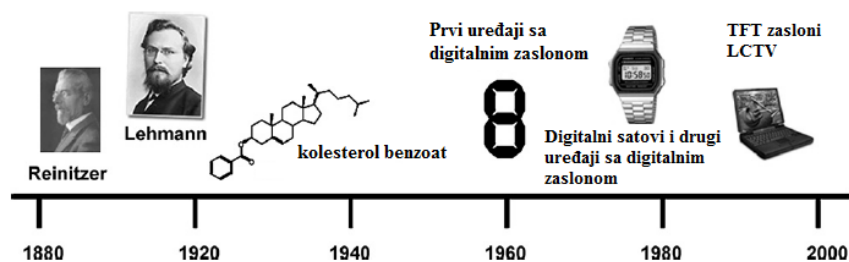
Pod reciklažom se podrazumijeva ponovni tretman otpada radi korištenja kao sirovine u proizvodnji istog ili različitog proizvoda. Reciklaža uključuje sakupljanje, odvajanje, preradu te ponovno korištenje materijala za izradu istog ili nekog drugog proizvoda. Recikliranje nije samo sredstvo očuvanja životne sredine i okoliša, već je ona i značajna djelatnost kojom se može stvarati ekonomska dobit jer je čak 70% otpada ponovno upotrebljivo. U razvijenim zemljama recikliranje je veoma razvijeno te ono ostvaruju promet od čak 160 milijuna dolara godišnje i pri tome se zapošljava 1,5 milijuna ljudi diljem svijeta. Prvi sustav za recikliranje EE otpada korišten je u Švicarskoj 1991. godine gdje su se u početku prikupljali odbačeni hladnjaci, a s vremenom su se počeli dodavati i drugi EE uređaji [1].

Cilj ovog rada je ispitati mogućnost recikliranja obrađenog otpadnog LCD – a u betonskoj galanteriji te prikazati usporedbu i analizu dobivenih rezultata.

## 2 OPĆENITO O LCD UREĐAJIMA

LCD (eng. liquid crystal display) je zaslon s tekućim kristalima koji se sastoji od čvrste i tekuće faze. U ulozi tekuće faze nalaze se tekući kristali koji se koriste za stvaranje vidljive slike. LCD uređaji imaju jako tanak zaslon te je sveprisutan u današnjoj tehnologiji. Zbog tehnologije kojom je izgrađen LCD, zasloni LCD uređaja su mnogo tanji u usporedbi s nekadašnjom tehnologijom katodne cijevi (CRT) [2].

Iako su danas zasloni s tehnologijom tekućih kristala sveprisutni oko nas, njihovo otkriće nije bilo toliko jednostavno objašnjivo i trajalo je nekoliko desetljeća (Slika 1.). Godine 1888. austrijski botaničar Fridrich Reinitzer na Institutu za fiziologiju biljaka na njemačkom sveučilištu u Pragu proučavao je svojstva kolesterol benzoata te je ustanovio da ova tvar ima dvije točke taljenja. Budući da nije mogao objasniti ovu pojavu, Reinitzer se obratio za pomoć fizičaru dr. Otto Lehmannu koji je pomoću polarizacijskog mikroskopa bolje proučio ovu pojavu i nazvao je *Fleissande Kristalle* (hrv. tekući kristali) te se taj pojam zadržao i danas. Daljnjim istraživanjima otkriveno je da pojava dviju točki taljenja nije prisutna samo kod derivata kolesterola. Tek je četrdeset godina kasnije razjašnjena struktura kolesterolova benzoata i objašnjena je veza između strukture i tekućih kristala tog spoja [3].



Slika 1. Prikaz razvoja tehnologije tekućih kristala [3]

## 2.1 GRADA I KARAKTERISTIKE LCD-A

LCD je tehnologija koja svoju primjenu nalazi u brojnim uređajima, kao što su TV/monitori, satovi, kalkulatori itd. Svaki LCD panel je strukturiran od četiri sloja koji se nastavljaju jedan na drugi (Slika 2.a.). Oni su:

- vanjski zaštitni sloj,
- polarizirajući sloj,
- sloj tekućeg kristala,
- sloj pozadinskog osvjetljenja [4].

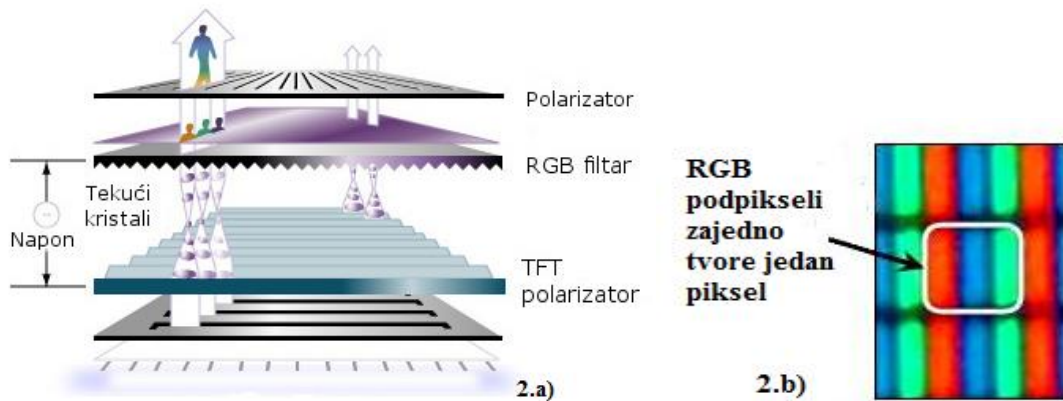
Vanjski sloj služi isključivo za zaštitu unutarnjih komponenti od oštećenja, a izrađen je od plastike, tj. najčešće od *Gorilla* stakla koje je tvrđe, tanje, lakše, otpornije na habanje i djelomično otporno na udarce u odnosu na obično staklo [4].

Polarizirajući sloj, u slučaju transreflektirajućih (TFT) LCD zaslona je jednosmjerni filter koji omogućuje prolaz svjetlosti iz zaslona prema ljudskom oku, ali ne omogućuje obratni smjer svjetlosti, odnosno iz okoline u zaslon. Ako je LCD izveden kao reflektirajući, tada polarizirajući sloj u ovom obliku ne postoji pa je rad zaslona dijelom moguć i pomoću ambijentalnog svjetla (bez dodatnog sloja pozadinskog osvjetljenja) [4].

Sloj tekućeg kristala je zadužen za generiranje slike na LCD zaslonima i nalazi se između dvije elektrode koje se sastoje od transparentnog provodnog omotača od indij kositar oksida (ITO). ITO je smjesa indij (III) oksida ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) i kositar (IV) oksida ( $\text{SnO}_2$ ) u omjeru 90:10. Kroz ovaj sloj prolazi električna struja zbog koje se čestice tekućih kristala pomiču, mijenjaju oblik i samim time tvore formu koja se želi prikazati na zaslonu. Kristali na ovaj način "gase" piksele koji se ne trebaju prikazivati, odnosno smanjuju i povećavaju osvjetljenje ostalih. Svjetlost koja prođe kroz ovaj sloj tada dolazi do RGB (crveni, zeleni i plavi) filtra i pomoću njega dodatno filtrira neutralno pozadinsko osvjetljenje i pretvara ga u svjetlost različitih valnih duljina koje naše oko interpretira kao boju (Slika 2.b.). Tradicionalni LCD zasloni imaju jednak set podpiksela koji čine jedan piksel koji definira željenu boju. Miješanjem 3 podpiksela (crveni, zeleni, plavi) moguće je dobiti iznimno velik set boja (preko 16 milijuna). Za

dobivanje bijele boje sva tri podpiksela svijetle maksimalnim intenzitetom, dok su za crnu sva tri ugašena [4].

Sloj pozadinskog osvjetljenja se sastoji od izvora svjetlosti. Današnji LCD ekrani uglavnom imaju LED izvor svjetla koji troši puno manje energije, ali i generira puno manje topline [4].



Slika 2. a) Presjek LCD-a; b) Mikroskopski prikaz tradicionalnog LCD zaslona [4]

Postoji mnogo dimenzija i oblika LCD zaslona no svi imaju nekoliko svojih zajedničkih karakteristika. U slijedećim odlomcima navedene su neke od njih.

- Prirodna rezolucija

LCD zasloni su napravljeni da najbolje prikazuju sliku na jednoj rezoluciji koja zavisi od veličine zaslona. Moguće je postaviti rezoluciju koja nije prirodna za neki LCD zaslon, ali onda opada kvaliteta slike i slika gubi svoj pravilan oblik [5].

- Brzina odaziva (Response Rate)

Brzina odaziva označava brzinu kojom neki piksel može mijenjati boje i ona se mjeri u milisekundama [ms]. Što piksel brže može mijenjati boje to je bolje tako da se istom vremenskom periodu ne stvara preveliki odaziv jer bi to uzrokovalo „kašnjenje“ slike [5].

- Ugao gledanja  
Za razliku od CRT zaslona, LCD zasloni ne daju istu kvalitetu slike ako se u njih gleda iz različitih uglova. Ukoliko se u LCD zaslon gleda sa strane, boje gube kvalitetu i prikaz slike postaje zamračen. Shodno tome su razvijeni *widescreen* zasloni koji su vodoravno izduženi što je prirodnije za ljudsko oko [5].
- Osvjetljenje i kontrast  
Osvjetljenje kod LCD zaslona mjeri se u kandelima po kvadratnom metru [ $\text{cd/m}^2$ ] te ono najčešće varira od 250 do 350  $\text{cd/m}^2$ . Kontrast mjeri mogućnost prikazivanja bijelih i tamnih tonova te što je taj omjer veći to je bolji kontrast. Današnji LCD zasloni imaju omjer bijelih i tamnih tonova od 450:1 do 6000:1 [5].
- Mogućnost podešavanja, integracija i priključci  
LCD zasloni se mogu veoma precizno podešavati jer postoji mnogo opcija: slika se može okretati, može se mijenjati položaj slike (vodoravni ili uspravni). Neki zasloni imaju u sebi ugrađene zvučnike, dodatne USB priključke, HDMI priključke te niz drugih priključaka kojima se LCD zaslon može povezivati s ostalim uređajima [5].

## 2.2 UPOTREBA LCD-A

LCD tehnologija ima veliku primjenu u području znanosti i inženjerstva kao i kod električnih i elektoničkih uređaja kao što su zaslon računala, mobitela ili pak kamera.

Ističu se po nekoliko prednosti u odnosu na CRT i LED:

- LCD zaslon troši manje energije,
- jeftiniji su,
- pružaju izvrstan kontrast,
- tanji su i lakši [2].

No isto tako LCD zasloni imaju nekoliko svojih nedostataka:

- zahtijevaju dodatne izvore svjetlosti,
- raspon temperature ograničen je za rad,
- niska pouzdanost [2].

## 2.3 GOSPODARENJE OTPADNIM LCD UREĐAJIMA

Svaki proizvod na tržištu ima svoju vrijednost i rok upotrebe. Cijena proizvoda označava vrijednost proizvoda, a rok upotrebe procjenjuje se na vremenski period u kojem taj proizvod može služiti za ljudsku upotrebu. Nakon toga iskorišten proizvod se baca i tako započinje proces stvaranja otpada [1].

### 2.3.1 LCD - EE otpad

Električni i elektronički uređaji i oprema predstavljaju sve proizvode koji su za svoje pravilno djelovanje ovisni o električnoj energiji ili elektromagnetskim poljima, kao i oprema za proizvodnju, prijenos i mjerenje struje te je namijenjena korištenju pri naponu koji ne prelazi 1.000 V za izmjeničnu i 1.500 V za istosmjernu struju [6]. Razlikuje se 10 vrsta EE opreme:

1. veliki kućanski uređaji kao npr.: električni štednjaci, strojevi za pranje rublja, hladnjaci;
2. mali kućanski uređaji kao npr.: usisavači, glačala, tosteri, uređaji za sušenje kose;
3. oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije kao npr.: računala, pisači, kopirna oprema, kalkulatori, telefoni, mobiteli;
4. oprema široke potrošnje kao npr.: radio i TV aparati, videokamere, hi-fi uređaji, glazbeni instrumenti, te fotonaponske ploče
5. rasvjetna oprema;
6. električni i elektronički alati (osim velikih nepokretnih industrijskih alata) kao npr.: bušilice, pile, šivaći strojevi;
7. igračke, oprema za razonodu i sportska oprema kao npr.: videoigre, računala za biciklizam, ronjenje, trčanje, veslanje i sl.;
8. medicinski proizvodi (osim svih implantiranih i inficiranih proizvoda) kao npr.: uređaji za dijalizu, kardiološki uređaji, analizatori, radioterapijska oprema;
9. instrumenti za praćenje i kontrolu kao npr.: detektori dima, termostati, instrumenti za nadziranje i sl.;



10. automatski samoposlužni uređaji kao npr.: automatski uređaji za izdavanje toplih napitaka, za izdavanje novca i sl. [6].

Kada se posjednik odluči, bilo zbog kvara ili zamjene za novi, bolji uređaj, odbaciti svoj televizor, perilicu rublja, računalo, hladnjak, mobitel, usisavač, tada taj uređaj postaje električni odnosno elektronički otpad (EE otpad) [6].

EE otpad se prema mjestu nastanka dijeli u dvije grupe:

- EE otpad iz kućanstva odnosno otpadna električna i elektronička oprema nastala u kućanstvima ili u proizvodnim i /ili uslužnim djelatnostima kad je po vrsti i količini slična EE otpadu iz kućanstva;
- EE otpad koji nastaje u gospodarstvu (industrija, obrt i slično) su otpadna električna i elektronička oprema uključujući sklopove i sastavne dijelove (elektronske cijevi, poluvodički elementi, otpornici, kondenzatori, i dr.) [7].

Tijekom 2005. i 2006. uspostavljeni su sustavi gospodarenja posebnim kategorijama otpada (ambalaža i ambalažni otpad, otpadne gume, otpadna vozila, otpadna ulja, otpadne baterije i akumulatori) koji su pokazali odlične efekte kako u zaštiti okoliša tako i u razvoju gospodarstva [8].

Tako su 2017. predstavljene količine posebnih kategorija otpada sakupljene od početka provedbe pravilnika koji nalažu sakupljanje otpada po kategorijama (Tablica 1.) [9].

Tablica 1. Količine posebnih kategorija otpada sakupljene od početka provedbe pravilnika koji uređuju gospodarenje posebnim kategorijama otpada [9]

Posebna kategorija otpada	Sakupljeno									
	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.
Ambalažni otpad (t)	198189	247861	272135	231239	178112	125258	118493	116795	110217	140441
Otpadna vozila (t)	-	6737	7887	16617	22756	35104	32109	28816	17894	16945
Otpadne baterije i akumulatori (t)	-	6484	10737	7180	8290	8480	7165	7296	6965	5596
Otpadne prijenosne baterije (t)	-	37	111	68	116	89	112	76	72	98
EE otpad (t)	-	-	5719	13522	17748	17518	16187	15025	15482	23758
Otpadna ulja - maziva (t)	-	6115	7068	6784	6640	6391	5835	5678	5753	5390
Otpadna ulja - jestiva (t)	-	1132	1606	2145	1260	1196	911	718	721	759
Otpadne gume (t)	13130	22265	21224	20234	19917	18509	18305	19346	17514	18674
Građevni otpad koji sadrži azbest (t)	-	-	0,004	1660	3283	3637	8985	11673	9284	947667
Građevni otpad (t)	275323	266457	194406	131863	362567	579240	717382	872782	761312	882256
Otpadni PCB (t)	-	-	-	-	-	227	59	113	64	38
Medicinski otpad (t)	-	-	-	-	3663	3507	3317	3118	3842	4232
Otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (tona suhe tvari)	-	6551	17674	20983	21315	18570	18457	18626	18766	20452

\*PCB – poliklorirani bifenili

### **2.3.2 Zakonska regulativa**

Otpadni LCD zasloni spadaju u skupinu EE otpada čije je gospodarenje obuhvaćeno nekolicinom propisa i pravilnika. Republika Hrvatska ima svoje zakone o gospodarenju otpadom, a kao članica Europske unije mora poštovati i zakone donesene na razini cijele Europske unije. Propisi koji obuhvaćaju temu gospodarenja otpadom EE opremom u sklopu Europske unije su slijedeći:

#### **1. Direktiva 2012/19/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 4. srpnja 2012. o otpadnoj elektroničkoj i električnoj opremi (OEEO)**

Ovom se Direktivom utvrđuju mjere za zaštitu okoliša i zdravlja ljudi sprečavanjem ili smanjivanjem štetnih učinaka generiranja otpadne električne i elektroničke opreme (OEEO) i gospodarenja tim otpadom te smanjivanjem ukupnih učinaka korištenja resursa i poboljšavanjem učinkovitosti tog korištenja u skladu s člancima 1. i 4. Direktive 2008/98/EZ, doprinoseći time održivom razvoju [10].

#### **2. Direktiva 2011/65/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 8. lipnja 2011. o ograničenju uporabe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi**

Ovom se Direktivom utvrđuju pravila o ograničavanju uporabe opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi (EEO), u svrhu doprinošenja zaštiti ljudskog zdravlja i okoliša, uključujući uporabu i odlaganje otpadnog EEO-a na okolišno prihvatljiv način [11].

Gospodarenje EE opremom u Republici Hrvatskoj regulirano je slijedećim propisima:

#### **1. Odluka o donošenju Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine (NN 3/2017)**

Temeljem ocjene postojećeg stanja u gospodarenju otpadom i obveza koje RH mora postići sukladno EU i nacionalnom zakonodavstvu, ovim Planom definiraju se sljedeći ciljevi koji se moraju dostići do 2022. godine (Tablica 2) [9].

Tablica 2. Ciljevi za gospodarenje otpadom koje je potrebno postići do 2022. godine u odnosu na 2015. godinu [9]

Br.	Cilj		
1	Unaprijediti sustav gospodarenja komunalnim otpadom	Cilj 1.1	Smanjiti ukupnu količinu proizvedenog otpada za 5 %
		Cilj 1.2	Odvojeno prikupiti 60 % mase proizvedenog komunalnog otpada (prvenstveno papir, staklo, plastika, metal, biootpad i dr.)
		Cilj 1.3	Odvojeno prikupiti 40 % mase proizvedenog biootpada koji je sastavni dio komunalnog otpada
		Cilj 1.4	Odložiti na odlagališta manje od 25 % mase proizvedenog komunalnog otpada
2	Unaprijediti sustav gospodarenja posebnim kategorijama otpada	Cilj 2.1	Odvojeno prikupiti 75 % mase proizvedenog građevnog otpada
		Cilj 2.2	Uspostaviti sustav gospodarenja otpadnim muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda
		Cilj 2.3	Unaprijediti sustav gospodarenja otpadnom ambalažom
		Cilj 2.4	Uspostaviti sustav gospodarenja morskim otpadom
		Cilj 2.5	Uspostaviti sustav gospodarenja otpadnim brodovima, podrtinama i potonulim stvarima na morskom dnu
		Cilj 2.6	Unaprijediti sustav gospodarenja ostalim posebnim kategorijama otpada
3	Unaprijediti sustav gospodarenja opasnim otpadom		
4	Sanirati lokacije onečišćene otpadom		
5	Kontinuirano provoditi izobrazne-informativne aktivnosti		
6	Unaprijediti informacijski sustav gospodarenja otpadom		
7	Unaprijediti nadzor nad gospodarenjem otpadom		
8	Unaprijediti upravne postupke u gospodarenju otpadom		

## 2. Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05)

Strategijom se uređuje gospodarenje različitim vrstama otpada na teritoriju RH, od njegova nastanka do konačnog odlaganja, s osnovnim ciljem ostvarivanja i održavanja cjelovitog sustava gospodarenja otpadom koji će biti ustrojen prema suvremenim europskim standardima i zahtjevima, a sa svrhom da se maksimalno izbjegne, odnosno

smanji nastajanje otpada, na najmanju moguću mjeru, nepovoljni utjecaj otpada na ljudsko zdravlje, okoliš i klimu, te da se cjelokupno gospodarenje otpadom uskladi s načelima održivog razvoja. Svrha Strategije je uspostaviti okvir unutar kojega će Hrvatska morati smanjiti količinu otpada koji proizvodi, a otpadom koji je proizveden održivo gospodariti [12].

### **3. Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13, 73/17)**

Ovim se Zakonom utvrđuju mjere za sprječavanje ili smanjenje štetnog djelovanja otpada na ljudsko zdravlje i okoliš na način smanjenja količina otpada u nastanku i/ili proizvodnji te se uređuje gospodarenje otpadom bez uporabe rizičnih postupaka po ljudsko zdravlje i okoliš, uz korištenje vrijednih svojstava otpada [13].

Odredbe ovoga Zakona utvrđuju sustav gospodarenja otpadom uključujući red prvenstva gospodarenja otpadom, načela, ciljeve i način gospodarenja otpadom, strateške i programske dokumente u gospodarenju otpadom, nadležnosti i obveze u gospodarenju otpadom, lokacije i građevine za gospodarenje otpadom, djelatnosti gospodarenja otpadom, prekogranični promet otpada, informacijski sustav gospodarenja otpadom te upravni i inspeksijski nadzor nad gospodarenjem otpadom [13].

### **4. Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom (NN 42/2014, 48/14, 107/14, 139/14)**

Ovim Pravilnikom propisuju se mjere za zaštitu okoliša i zdravlja ljudi, sprječavanjem ili smanjivanjem štetnih učinaka od nastajanja i gospodarenja otpadnom električnom i elektroničkom opremom (EE otpad) kao i smanjivanjem ukupnih učinaka korištenja prirodnih resursa te poboljšanjem učinkovitosti njihova korištenja, doprinoseći time održivom razvoju. Također se propisuju uvjeti gospodarenja EE otpadom u cilju sprječavanja njegova nastajanja, osiguravanja njegove ponovne uporabe, recikliranja i drugih načina uporabe u skladu s Direktivom 2012/19/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 4. srpnja 2012. o otpadnoj električnoj i elektroničkoj opremi (OEEO) [6].

## **5. Pravilnik o ograničavanju uporabe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi (NN 131/2013, 16/14, 90/14, 142/14, 128/15, 96/16, 20/17)**

Ovim se Pravilnikom utvrđuju pravila o ograničavanju uporabe opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi, (EEO), u svrhu doprinošenja zaštiti ljudskog zdravlja i okoliša, uključujući uporabu i odlaganje otpadne EEO-a na okolišno prihvatljiv način [14].

## **6. Pravilnik o katalogu otpada (NN 90/2015)**

Pravilnikom o katalogu otpada propisuje se Katalog otpada, kategorizacija za prekogranični promet otpadom i količina određenog otpada koja se smatra neznatnom. Katalog otpada sadrži Kategorizaciju otpada osim kategorizacije za prekogranični promet otpadom, Popis grupa i podgrupa otpada i Popis otpada [15].

U Katalogu otpada EE otpad nalazi se u grupama 16 i 20 (Tablica 3.). Neke vrste EE otpada smatraju se opasnim, a neke neopasnim otpadom. Opasnim se otpadom smatra ona EE oprema koja sadrži tvari kao što su polikloriran bifenili (PCB-ovi), klorfluorouglicji, klorofluorouglicjikovodici (HCFC), fluoriraniuglicjikovodici (HFC), azbest, živa i dr. [7].

Tablica 3. Katalog otpada – EE otpad [7]

<b>KLJUČNI BROJ</b>	<b>NAZIV OTPADA</b>
16	OTPAD KOJI NIJE DRUGDJE SPECIFICIRAN U KATALOGU
16 02	otpad iz električne i elektroničke opreme
16 02 09*	transformatori i kondenzatori koji sadrže PCB - e
16 02 10*	odbačena oprema koja sadrži PCB - ili je onečišćena istima, a nije navedena pod 16 02 08
16 02 11*	odbačena oprema koja sadrži klorofluorouglikove, HCFC, HFC
16 02 12*	odbačena oprema koja sadrži slobodni azbest
16 02 13*	odbačena oprema koja sadrži opasne komponente, a koja nije navedena pod 16 02 09 do 16 02 12
16 02 14	odbačena oprema koja nije navedena pod 16 02 09 do 16 02 13
16 02 15*	opasne komponente izbačene iz odbačene opreme
10 02 16	komponente izbačene iz odbačene opreme
20	KOMUNALNI OTPAD (OTPAD IZ KUĆANSTAVA I SLIČAN OTPAD IZ OBRTA, INDUSTRIJE I USTANOVA) UKLJUČUJUĆI ODVOJENO SAKUPLJENE SASTOJKE
20 01	odvojeno sakupljeni sastojci (osim 15 01)
20 01 21*	fluorescentne cijevi i ostali sastojci koji sadrže živu
20 01 23*	odbačena oprema koja sadrži klorofluorouglikove
20 01 35*	odbačena električna i elektronička oprema koja nije navedena pod 20 01 21 i 20 01 23, koja sadrži opasne komponente
20 01 36	odbačena električna i elektronička oprema koja nije navedena pod 20 01 21, 20 01 23 i 20 01 35

Vrste otpada označene zvjezdicom (\*) su opasni otpad

### 3 RECIKLIRANJE LCD – A

Sustav sakupljanja i oporabe otpadnih električnih i elektroničkih uređaja i opreme pokazao je od uspostave brz napredak te je u 2010. godini dosegnut cilj propisan Pravilnikom o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom (NN 42/14, 48/14, 107/14, 139/14) od 4 kg sakupljenih otpadnih EE uređaja i opreme po stanovniku. Nakon smanjivanja sakupljenih količina narednih godina u 2015. godini ponovno je dosegnut cilj te je prikupljeno 4,73 kg/stanovnik otpadnih EE uređaja i opreme iz kućanstva. Od 2016. godine cilj odvojenog sakupljanja bit će izražen kao udio količina stavljenih na tržište u prethodne tri godine, čime će se za RH znatno olakšati dostizanje cilja (sukladno toj metodologiji u 2015. godini dosegnuta je već razina sakupljanja od 60%). Daljnje povećanje zakonskih ciljeva zahtijeva poboljšanje organizacije sakupljanja. U 2015. godini ostvareni su i propisani minimalni ciljevi za uporabu i recikliranje koji se primjenjuju po kategorijama EE uređaja i opreme, a koji iznose od 70 do 80% za uporabu i 50 do 80% za recikliranje, ovisno o kategoriji EE opreme prema prilogu I. Pravilnika. Kapaciteti za obradu EE otpada u RH su veći od nacionalnih potreba. Sustav gospodarenja EE otpadom dostatno je razvijen te je potrebno razmotriti mogućnosti poboljšanja sustava u smislu kontrole i uključivanja svih obveznika plaćanje naknade [9].

Prema podacima Hrvatske agencije za okoliš i prirodu, u 2016. godini na području RH je ukupno 84 izgrađenih reciklažnih dvorišta i 46 mobilnih reciklažnih dvorišta u kojima je moguće prikupljanje određenih vrsta otpada kao što su problematični otpad, otpadni papir, metal, staklo, plastiku, tekstil, glomazni otpad, jestiva ulja i masti, deterdženti, boje, lijekovi, EE otpad, baterije i akumulatori i građevni otpad od manjih popravaka iz kućanstva [9].

U posljednjih nekoliko desetljeća, tehnološki napredak u upravljanju elektroničkim podacima i komunikacijama potaknuo je ekonomski rast i unaprijedio život ljudi na nebrojeno načina. Ipak, rastuća ovisnost o elektroničkim proizvodima kako u kućanstvima tako i na radnim mjestima postavila je novi ekološki izazov, a to je nastanak električnog i elektroničkog otpada [9].



S obzirom na sustavne promjene u računalnoj tehnologiji i pojavljivanje novih elektroničkih kućanskih pomagala ovaj tok otpada predstavlja jednu od najbrže rastućih kategorija otpada. Sve je veći broj uređaja i opreme koji nakon svoga vijeka trajanja postaju EE otpad, uzrokujući time dva problema: onečišćenje okoliša i nepovratni gubitak vrijednih sirovina [9].

Naime, EE otpad može sadržavati opasne materijale, kao što su npr. olovo, krom, kadmij, živa, fosfor, razni bromidi, berilij, barij, silicij, arsen, itd. Živa iz elektroničke opreme predstavlja vodeći izvor žive u komunalnom otpadu. Dodatno, plastici koja se koristi u elektroničkoj opremi često se dodaju i inhibitori požara na bazi broma, koji uslijed neodgovarajućeg gospodarenja ovom vrstom otpada mogu uzrokovati značajne negativne učinke na okoliš. S druge strane, EE otpad sadrži brojne vrijedne materijale (staklo, plastiku, plemenite metale), koji se mogu ponovno iskoristiti. Ponovna uporaba i recikliranje sirovina iz islužene elektroničke opreme pomaže u očuvanju prirodnih resursa i sprječavanju onečišćenja zraka i vode i sprječavanju nastanka stakleničkih plinova uzrokovanih proizvodnjom novih proizvoda [9].

Zbog svega navedenog od izuzetne je važnosti spriječiti nastanak EE otpada i ponovno iskoristiti ili reciklirati staru EE opremu i uređaje te je stoga predložen niz mjera i provedbenih mehanizama za smanjenje količina ukupno nastalog EE otpada i smanjenje njegova štetnog utjecaja na okoliš. Načelo održivog razvoja trebao bi biti vodilja razvoja gospodarstva i industrije današnjeg čovjeka te ono glasi: „Zadovoljiti potrebe sadašnjosti bez ograničavanja budućih generacija da zadovolje svoje potrebe” [9].

Oporaba jest svaki postupak ponovne obrade otpada koji omogućava izdvajanje sekundarnih sirovina ili uporabu otpada u energetske svrhe. Oni dijelovi otpada koji se ne mogu ponovno koristiti moraju se zbrinuti na ekološki prihvatljiv način [16].

Otpadni električni i elektronički uređaji i oprema sadrže plastiku, metale i slične materijale koji se mogu nakon recikliranja - uporabe ponovo koristiti kao sekundarna sirovina za neki novi proizvod [1].

### **3.1 PREDOBRAĐA OTPADNIH LCD UREĐAJA**

Postupci predobrade nužan su dio obrade LCD-a kako bi se dobio čisti ITO sloj kao sekundarna sirovina iz koje se može izdvojiti indij i drugi metali. Prije svega otpadni LCD-i moraju biti rastavljeni na komponente koje se mogu dalje oporabiti ili koje pak moraju biti na valjani način zbrinute. Postoje različiti koraci predobrade ovisno o komponenti koja se želi dobiti, a one su: piroliza, fizikalno – kemijske metode, drobljenje i razdvajanje pomoću električne energije [17].

#### **Piroliza**

Na temelju tradicionalne primjene spaljivanja, mnogi znanstvenici proučavali su pirolizu kao metodu za uklanjanje organskog materijala. Ova metoda može poslužiti i za uklanjanje tekućih kristala iz otpadnog LCD-a. U osnovi postoje dvije vrste pirolize dušična i vakuum piroliza. Kod dušične pirolize predmet se spaljuje na temperaturi između 300 – 700°C. Ova metoda mora se poboljšati zbog velike potrošnje energije za podizanje temperature za odvijanje odgovarajućih kemijskih procesa. Također je nedostatak ove metode što se sam produkt pirolize prije mora pročistiti jer sadrži velike količine raznih dušikovih spojeva. Vakuumska piroliza se odvija pri nižim temperaturama i produkt dobiven vakuumskom pirolizom nije potrebno dodatno pročišćavati te je time količina uložene energije u samu pirolizu manja i metoda je ekonomski isplativija [17].

#### **Fizikalno – kemijske metode**

Neki istraživači predložili su korištenje kombinacije fizikalnih i kemijskih metoda za odvajanje polarizirajućeg filma i tekućih kristala od samog stakla kroz pravilan redoslijed koraka [17].

Kod ove metode otpadni LCD – i također se podvrgavaju visokoj temperaturi od 230°C -240°C kako bi se mogli izdvojiti polarizirajući film i tekući kristali iz slojeva LCD-a koji se s površine skidaju ručno. Nakon podvrgavanja visokoj temperaturi otpadni LCD

se ispire raznim otopinama (npr. aceton) te se indij i ostali vrijedni metali otapaju i na taj način se izlužuju iz LCD-a [17].

### **Drobljenje**

Drobljenje je jedan od obaveznih postupaka prilikom recikliranja otpadnog LCD – a. Prema nekim istraživačima veličina čestica drobljenja otpadnog LCD – a ima utjecaj na količinu izluženih metala prilikom postupka obrade LCD – a kiselinom. Ova metoda nije savršena za izluživanje vrijednih metala iz LCD –a zbog velikog utroška energije te je ona ekonomski neisplativa, uz to neizbježan je gubitak vrijednih metala [17].

### **Razdvajanje pomoću električne energije**

Odvajanje ITO sloja pomoću visokog napona zahtjeva vrlo visku količinu energije, ali s druge strane smanjen je gubitak vrijednih metala iz otpadnog LCD – a. Budući da nema nusprodukata koji bi predstavljali moguće dodatno onečišćenje okoliša ova metoda je ekološki najprihvatljivija [17].

## **3.2. KRETANJE TRŽIŠNE CIJENE INDIJA**

Indij kao element vrlo je rijedak u prirodi, a nalazi se u LCD zaslonima. Indij se najčešće reciklira iz ITO sloja u Japanu i Koreji. Sama proizvodnja indija veoma je skup postupak. Prosječna cijena indija na slobodnom tržištu 2016. godine iznosila je 240\$ po kilogramu. Tokom 2015. i 2016. godine cijene indija na tržištu jako su varirale od najniže cijene od najnižih 218\$ do najviših 264\$. U Tablici 4. prikazana je proizvodnja indija u 2015. i 2016. godini u nekim zemljama svijeta [18].

*Tablica 4. Prikaz proizvodnje indija [18]*

<b>Država</b>	<b>Proizvodnja indija (tona)</b>	
	<b>2015. godina</b>	<b>2016. godina</b>
Belgija	20	25
Kanada	70	65
Kina	350	290
Francuska	41	-
Japan	70	70
Koreja	195	195
Peru	9	5
Rusija	4	5
Ukupno	759	655

## **4 PREGLED UPOTREBE LCD – A U BETONSKOJ GALANTERIJI**

Budući da nastaje sve više OEEO vrlo je “popularno” istraživanje različitih mogućnosti njegovog recikliranja. Recikliranjem se smanjuje preostala količina otpada koju je nemoguće ponovno iskoristiti te se tako smanjuje i količina odloženog otpada na odlagalištima otpada [1].

### **4.1 REZULTATI PRETHODNIH ISTRAŽIVANJA**

Odlaganje opasnog otpada na odlagalištima otpada je nedopustivo tj. ono se treba na valjani način zbrinuti, a još bolja opcija je ukoliko za taj otpad postoji način recikliranja, bilo da se on može iskoristiti u cijelosti ili pak samo u dijelovima [19].

U svijetu sve više privlači pažnju upotreba recikliranog LCD stakla u betonu. Utvrđeno je da se staklo može ponovno upotrijebiti kao zamjena za agregat u betonu [20].

Rezultati nekih istraživanja prethodno provedenih s otpadnim LCD – om su:

#### **1. LCD otpadno staklo kao zamjenski pijesak**

Tajvan proizvodi TFT-LCD zaslone u postotku od 25% ukupne svjetske proizvodnje te je time Tajvan drugi najveći proizvođačem TFT-LCD zaslona u svijetu. Međutim, sam proces proizvodnje uključuje i velike količine otpada, u kojeg spada i LCD staklo iz otpada nekvalificiranih proizvoda i ostataka materijala, a to čini oko 1000 tona godišnje. Dakle, recikliranje i obrada staklenog otpada je nužno. Otpadno staklo zamjenjuje do 20% finog stakla u zidanim blokovima. Osim toga, zbog pucolanske aktivnosti otpadnog stakla, brušeno otpadno staklo zamjenjuje do 30% cementa [19].

Tajvan je pred nestajanjem prirodnih pješćanih resursa, a isto tako mu nedostaje kvalificiranih građevinskih materijala. Osim toga, prekomjerno iskorištavanje prirodnog pijeska dovelo je do onečišćenja u okolišu, ozbiljnog utjecaja na vode i očuvanje tla, kao i ekološku ravnotežu. Tajvanski znanstvenik Her – YungWang detaljno je proučavao zamjenu stakla LCD – a i pijeska u betonu, kako bi otpadno

staklo moglo eventualno poslužiti kao izvor pijeska, riješiti smanjenu opskrbu prirodnim riječnim pijeskom i reciklirati se za postizanje ciljeva gospodarstva i sigurnosti. Tokom ovog istraživanja praćeni su parametri poput čvrstoće i trajnosti betona kako bi se odredio optimalan sadržaj stakla i zamijene stakla, a time bi se osigurala kvaliteta betona u skladu s važećim standardima [19].

Istraživane su tri različite pokusne betonske mješavine sa udjelima od 0%, 20%, 40%, 60% i 80% otpadnog stakla LCD -a koje bi zamijenilo pijesak te su se ispitivala slijedeća svojstva: tlačna čvrstoća, čvrstoća na savijanje, vlačna čvrstoća i modul elastičnosti [19].

Rezultati testa slijeganja i pada protoka od 20% staklenog zamjenskog pijeska bili su vrlo blizu dizajnu slijeganja (15cm) za tri pokusne mješavine. To pokazuje da se gubitak obradivosti povećava s količinom LCD zamjenskog staklenog pijeska. Tlačna čvrstoća betonskih uzoraka smanjena je s povećanjem količine zamjenskog staklenog pijeska za tri pokusne mješavine u različitim razdobljima sušenja. Uzorak s 80% staklenog pijeska je pokazao najmanju tlačnu čvrstoću. Kada se stvrdne nakon 28 dana, tlačna čvrstoća uzoraka s različitim količinama staklenog pijeska bili su veći od proračunske čvrstoće. U slučaju zamjene s 20% staklenim pijeskom, interaktivna snaga između staklenog pijeska i hidrat proizvoda relativno je poboljšala tlačnu čvrstoću betona. Trend rasta čvrstoće bio je sličan onoj iz kontrolne skupine, posebice nakon 90 dana. Tlačna čvrstoća od 20% staklenog pijeska za beton za tri pokusne mješavine daje najbolje rezultate, 94%, 93% i 95% od kontrolne skupine kada je stvrdnjavanje 7 dana. To dokazuje da je proizveden rani razvoj čvrstoće betonskog uzorka [19].

Čvrstoća na savijanje raste s produljenjem dana sušenja betona. Sa zamjenskim 20% staklenim pijeskom čvrstoća na savijanje bila je blizu kontrolne skupine u srednjoj i kasnoj fazi očvršćivanja betona. Proizvedena čvrstoća je minimalno 96% od etalona [19].

Gubitak težine betona uzrokovan sulfatom smanjen je s povećanjem količina staklenog pijeska. To znači da dodatak staklenog pijeska betonu učinkovito poboljšava djelovanje na sulfat [19].

Tajvanski su znanstvenici došli do rezultata kako LCD stakleni pijesak može gusto integrirati s cementnom pastom. Gusti C-H-S (kalcij-silikat-hidrat) gel je proizveden u staklenom betonskom pijesku i spojen u kontinuiranu matricu, koja stvara gustu betonsku strukturu. To potvrđuje da LCD stakleni betonski pijesak ima bolju čvrstoću i izdržljivost [19].

## **2. Trajnost samostalno-konsolidiranog betona s umiješanim LCD otpadnim staklom**

Tajvanski su znanstvenici istraživali svojstva samozbijajućeg betona, gdje se koristi stakleni pijesak s tekućim kristalima (0%, 10%, 20% i 30%) umjesto agregata. Rezultati pokazuju da se protok pada samozbijajućeg betona (SCC) povećava s većim sadržajem staklenog pijeska. Osim toga, zamijenivši 20% od agregata daje najveću tlačnu čvrstoću i čvrstoću na savijanje. Samozbijajući beton sa staklom ima najveći ultrazvučni impuls brzine. Nakon 56 dana, električna otpornost je veća od 20 kΩcm. Konačno, kada je volumen stakla povećan do 30%, količina penetracije klorid iona se smanjuje i trajnost samozbijajućeg staklenog betona se poboljšava [20].

Beton sa staklom kao agregatom zahtijeva veći sadržaj vode od konvencionalnih betona za postizanje iste obradivosti. U nekim studijama, uporaba otpadnog stakla kao agregata nema značajan utjecaj na obradivost betona, no to nije dovelo do smanjenja protoka na slijeganje, sadržaj zraka i jedinicu mase za svježe tvari. Utvrđeno je da se tlačna, vlačna i čvrstoća na savijanje na neizravan način smanjuju proporcionalno povećanju sadržaja otpadnog staklenog agregata. Čvrstoća se značajno smanjuje kada je sadržaj stakla preko 20%. Staklo je hidrofobno, pa dodavanjem u beton, može smanjiti apsorpciju vode i suho stezanje [20].

Tlačna čvrstoća i čvrstoća na savijanje betona koji sadrži otpadne tekuće kristale smanjila se s povećanjem staklenog sadržaja. Beton koji sadrži zamjenu s udjelom

staklenog pijesaka od 20% rezultirao je s najvišim svojstvima čvrstoće. Najviši ultrazvučni impuls brzine i otpornosti mjereni su za beton koji sadrži zamjenu s udjelom staklenog pijesaka od 30%. Najniže vrijednosti su pronađene za beton koji sadrži zamjenu s udjelom staklenog pijesaka od 0%, vjerojatno zbog manjih staklenih zrnaca koji mogu ispuniti pore u pijesku i smanjiti betonske šupljine. Kao rezultat toga, ultrazvučni impuls brzine i otpornosti raste s povećanjem sadržaja staklenog pijeska. S povećanjem sadržaja otpadnog staklenog pijeska može se smanjiti betonsko stezanje. Nakon osam ciklusa korozije zbog djelovanja sulfata zaključeno je da otpadni stakleni pijesak može učinkovito smanjiti koroziju i time povećati trajnost betona. Stakleni pijesak može popuniti unutarnje pore i smanjiti penetraciju klorid iona [20].

### **3. Istraživanje inženjerskih svojstava otpadnih LCD stakla koji se koriste u kontroliranim materijalima niske čvrstoće betona**

Proizvodnja TFT-LCD prednjih panela u Tajvanu obuhvaća globalni udio od 39,2%, što je najviša stopa proizvodnje u svijetu. Zbog velike količine proizvodnje TFT-LCD prednjih panela neizbježan je nastanak velike količine otpada u postupku proizvodnje. Tajvanski znanstvenik Her-Yung Wang proučavao je recikliranje otpadnog LCD stakla u proizvodnji kontroliranog materijala niske čvrstoće (controlled low strength materials; CLSM), koji se vrlo često koristi za punjenje cjevovoda i kolničkih temelja širom svijeta. Staklo zamjenjuje pijesak u omjerima 0%, 10%, 20% i 30%, u cilju proizvodnje CLSM uzoraka s visokim sadržajem silicija. Uzorci su testirani na tlačnu čvrstoću, ultrazvučni puls brzine, električnu otpornost i omjer propusnosti [21].

Rezultati pokazuju slijeganje u rasponu do 20 cm i pad protoka u rasponu do 41 cm. Za opći tip CLSM, podešavanje vremena za zamjene od 10% staklenog pijeska je najkraće, dok za zamjene betone s udjelom staklenog pijeska od 30% je najduže. Tlačna čvrstoća teži padu kad je zamjenski stakleni pijesak u porastu. Uzorak od 10% staklenog pijeska je bio bolji nego druge grupe, blizu kontrolnoj skupini. Nakon 28 dana, tlačna čvrstoća iznosi 2,87 – 2,40 MPa. Brzina ultrazvučnog pulsa povećava se s povećanjem količine zamjenskog staklenog pijeska. Uzorak ranije visoke čvrstoće bio je gušći od opće čvrstoće i stoga ima veću brzinu ultrazvučnog



pulsa. Veći omjer vode i veziva dovodi do smanjenja svojstva električne otpornosti. Svojstva električne otpornosti za različite omjere vode i veziva su niži od 20 kΩ cm, u skladu s očekivanim željenim rezultatima u smislu trajnosti. Nakon 28 dana uzorak pokazuje da električna otpornost ranije visoke čvrstoće više nego dvostruko premašuje opću čvrstoću. Koeficijent propusnosti raste s povećanjem omjera vode i veziva. Za uzorak ranije visoke čvrstoće koeficijent propusnosti iznosi 0,75 – 0,35 %, što znači da je manji od opće čvrstoće. Uočeno je da dodavanje otpadnog LCD stakla u CLSM zadovoljava inženjerska svojstva uključujući i visoku fluidnost, nisku čvrstoću, visoku propusnost i nisku električnu otpornost [21].

#### **4. Recikliranje otpadnog stakla tankog filma tranzistora zaslona s tekućim kristalima (TFT – LCD) proizvedeno kao staklena keramika**

LCD paneli s tankim film tranzistor zaslonom (TFT-LCD) koriste se svakodnevno u elektroničkim proizvodima i njihova potražnja je u porastu. Konvencionalno usvojeni tretmani TFT-LCD otpadnog stakla ne zadovoljavaju WEEE Direktivu [22].

Uvjeti postupka koji su korišteni u izradi staklene keramike su sinteriranje temperature od 800 – 950°C, sinteriranje vremena od 6 h i povećanje temperature od 5°C/min. Korišteni testovi su tvrdoća po Vickersu, upijanje vode i test poroznosti, kako bi se utvrdila kvaliteta proizvoda. Rezultati testova koji su pokazali najbolje rezultate su tvrdoća po Vickersu 12,1 GPa, na temperaturi od 900°C tijekom 6 h, gustoća je 2,4 g/cm<sup>3</sup>, a upijanje vode 0%. Dakle, TFT-LCD otpadno staklo može se smatrati kao dobar materijal za staklenu keramiku [22].

#### **5. Korištenje otpadnog stakla tankog filma tranzistora zaslona s tekućim kristalom (TFT – LCD) u proizvodnji keramičkih pločica**

Uvjeti rada pod kojim je rađena proizvodnja glinenog crijepa s otpadnim staklom tankog film tranzistora zaslona s tekućim kristalom su: različiti pritisak (2,45 MPa), temperatura sinteriranja (900°C – 1200°C), sinteriranje vremena (6h), postotak tankog filma tranzistora zaslona s tekućim kristalom (TFT-LCD) otpadnog stakla

(0 – 50%) i porast temperature od 5°C/min. TFT-LCD otpadno staklo i glina su drobljeni do čestica iste veličine, zatim mljeveni, prosijani i na kraju sušeni. Karakteristike sinteriranja pomiješane gline s TFT-LCD otpadnim staklenim pločicama ispitane su radi procijene izvedivost ponovnog korištenja TFT-LCD otpadnog stakla [23].

Dodavanjem TFT-LCD otpadnog stakla u mješavine, povećava se prividni gubitak težine. Prema kriteriju *CNS 3299* keramičke pločice moraju imati upijanje vode manje od 17%. Upijanje vode se smanjuje kako se udio TFT-LCD otpadnog stakla povećava, neovisno o temperaturi. Postotak stezanja povećava se s povećanjem TFT-LCD otpadnog stakla i temperaturom spaljivanja. Dakle, količina TFT-LCD otpadnog stakla u mješavini i temperatura paljenja su dva ključna faktora koje treba kontrolirati kako bi se smanjilo stezanje tijekom procesa sinteriranja. Umješavanjem 50% TFT-LCD otpadnog stakla rezultira značajnim povećanjem omjera poroznosti uzoraka u odnosu na omjer poroznosti keramičkih pločica koje sadrže TFT-LCD otpadno staklo. Povećanje temperature rezultira povećanjem čvrstoće na savijanje i otpornost na abraziju na pločicama. Omjer poroznosti se smanjuje kako se povećava stezanje [23].

## **5 EKSPERIMENTALNI POSTUPAK**

### **5.1 PLAN ISTRAŽIVANJA**

Cilj ovog diplomskog rada je bio mljeveni LCD veličine 10mm umiješati u betonsku mješavinu kao zamjenu za agregat u postocima 1%, 5% i 10% uz prethodnu obradu istog u otopini zlatotopke te ispitati utjecaj na tlačnu i vlačnu čvrstoću betona nakon 28 dana. Svi uzorci betonske mješavine su izrađeni, čuvani i ispitivani u laboratoriju tvrtke ZAGORJE – TEHNOBETON d.d. u Varaždinu. Ispitivanje tlačne i vlačne čvrstoće ispituje se nakon 28 dana prema normi HRN EN 12390 za očvrstnule betone. Za svaki različiti udio LCD – a ispituju se po tri kocke za vlak i tlak veličine 150x150x150 mm.

### **5.2 MATERIJALI I METODE**

Za izradu betonskih kocki u ovom diplomskom radu korišten je razred betona C 20/25 čija čvrstoća iznosi  $25 \text{ N/mm}^2$ . Razred betona je normirana vrijednost čvrstoće nakon 28 dana starosti utvrđena na određenim oblicima uzoraka i pripremljenim normiranim postupcima.

Kao mineralno punilo u izradi betona korišteni su agregati istovjetni onima koji se ugrađuju u betonske opločnike u tvornici Zagorje Tehnobeton d.d. iz Varaždina. Upotrebom istih mineralnih agregata u svim pokusima izbjegava se eventualni upliv svojstava agregata na ispitivane čvrstoće betona. Mineralna punila, odnosno pijesak klase 8/4 mm i pijesak klase -4 mm, industrijski su proizvod tvrtke Colas mineral d.o.o. iz Varaždina, dobivena eksploatacijom i oplemenjivanjem građevnog šljunka i pijeska na eksploatacijskom polju Hrastovljan.

Kao vezivo za pripremu betona korišten je cement CEM II/A-S 42,5R odnosno miješani portlandski cement s dodatkom zgure, razreda čvrstoće 42,5 R, izrađen prema normi BAS EN 197-1:2013. Proizvod je cementare Našicecement d.d. iz Našica.

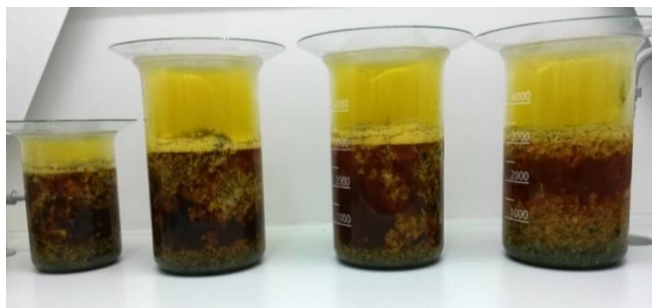
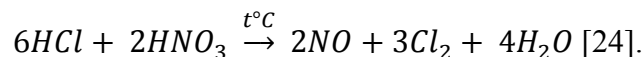
Ekperimentalni postupak u sklopu ovog diplomskog rada obuhvaćao je slijedeće korake:

1. pripremanje uzoraka (odvaga uzoraka, pripremanje otopine zlatotopke),
2. pročišćavanje uzorka u zlatotopci,
3. ispiranje, neutralizacija i sušenje uzorka do stalne mase,
4. miješanje pročišćenog LCD – a s betonom i ispitivanje svojstva tog betona,
5. analiza i diskusija dobivenih rezultata.

Za potrebe istraživanja otpadni LCD dobiven je od tvrtke Spectra Media d.o.o. koja je ujedno i državni koncesionar za recikliranje i oporabu OEEO U Republici Hrvatskoj. Korišten je LCD prethodno mljeven na veličinu 10 mm.

### 5.2.1 PRIPREMA UZORAKA

Iz vreće s dostavljenim uzorkom nasumično je uzeto i izvagano u velikim staklenim čašama četiri uzorka LCD – a od 1000g i jedan uzorak LCD – a od 500g. U digestoru iznad odvađenog uzorka pripremi se otopina zlatotopke u omjeru HCl:HNO<sub>3</sub> = 3:1 te se to ostavilo stajati 48 sati kako bi reakcija odvila do kraja (Slika 3.). Ova reakcija je trenutna i odmah se pojavi žuti dim koji je rezultat reakcije i nastanak klora. Reakcija sama po sebi je vrlo egzotermna i dolazi do oslobađanja velike količine topline koja se osjetila na stjenci staklenih čaša. Jednadžba reakcije je slijedeća:



Slika 3. Uzorak tek stavljen u zlatotopku

### 5.2.2 Ispiranje, neutralizacija i sušenje uzorka

Nakon 48 sati reakcija je u potpunosti stala i otpadni LCD je pročišćen tj. metali iz uzorka otopljeni su te se je cijela organska komponenta uzorka također otopila u zlatotopci (Slika 4.).



*Slika 4. Uzorak LCD – a u zlatotopci nakon 48 sati*

Slijedeći korak je bio filtriranje pročišćenog uzorka uz pomoć velikog sita i filterpapira (slika 5.a) i slika 5.b)). Nakon filtracije cijeli uzorak LCD – a morao se neutralizirati jer je bio pH uzorka veoma nizak, a za ugradnju LCD – a u betonsku mješavinu pH mora biti neutralan. Jedan od načina neutralizacije, koji je upotrijebljen jest da se sav uzorak stavio u jednu veliku plastičnu posudu te se s uzorkom izmiješala vodena otopina natrijeve lužine ( $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ). Miješajući uzorak u plastičnoj posudi postiže se ravnomjerna neutralizacija u cijelom uzorku, a ne samo pri vrhu uzorka u posudi. Dodavanje natrijeve lužine traje toliko dugo dokle pH otopine ne postane neutralan; pH se može ispitivati neutralnim pH indikatorom koji ima priloženu tablicu u kojoj su označene boje za svaku zasebnu pH vrijednost te se na taj način lako može prepoznati u kojem području pH je sama otopina.



*Slika 5.a)*



*Slika 5.b)*

*Slika 5. a) i 5.b). Filtracija uzorka*

Prije daljnjeg ispitivanja uzorak se morao sušiti toliko dugo dokle ne postigne svoju stalnu masu te se na taj način osiguralo da uzorak više ne sadrži vodu (Slika 6.).



*Slika 6. Suhi pročišćeni uzorak LCD – a*

### **5.2.3 Miješanje pročišćenog LCD – a s betonom i ispitivanje svojstva tog betona**

Ispitivanje svih svojstava betona u koji je umješan LCD obavljeno je u laboratoriju tvrtke ZAGORJE TEHNOBETON d.d.. Doneseni osušeni LCD umiješali su se u beton u omjerima od 1%, 5% i 10% kao zamjena za agregat te su ispitivana slijedeća svojstva:

1. gustoća betona,
2. količina zraka u betonu,
3. konzistencija (obradivost) betona,
4. tlačna čvrstoća,
5. vlačna čvrstoća.

### 5.2.3.1 *Gustoća betona*

Gustoća betona se računa kao omjer mase betona [m] i volumena koji zauzima beton [V], a njezina formula glasi:

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] [25].$$

Betoni se najčešće prema gustoći svrstavaju u 3 skupine:

1. običan beton:  $\rho = 2000 - 2600 \text{ kg/m}^3$ ,
2. lagani beton:  $\rho = 800 - 2000 \text{ kg/m}^3$ ,
3. teški beton:  $\rho > 2600 \text{ kg/m}^3$  [25].

Za proračun se uzima prosječna gustoća betona  $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$  za nearmirani beton, dok se za armirani beton uzima prosječna gustoća od  $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$  [25].

### 5.2.3.2 *Količina zraka u betonu*

Svu količinu zraka iz betona nije moguće u potpunosti potisnuti van iz betona tijekom zbivanja betonske mješavine. U betonu zaostaje otprilike oko 0,5% do 2% pora. Same pore smanjuju čvrstoću betona, a ukoliko je postotak pora visok one ugrožavaju stabilnost i postojanost betona pa je iz tog razloga beton potrebno zbiti što je više moguće. Količina zraka u betonu, tj. poroznost betona ispituje se porometrom (Slika 7.). U posudu poznatog volumena stavi se uzorak i zatim poklopi te prostor između uzorka i poklopca popuni vodom. U poklopcu je tlačna komora poznatog volumena u kojoj se pomoću pumpe može postići određeni pritisak. Otvaranjem ventila pritisak se raspodijeli na zrak u porama uzorka pa se na manometru očita prosječni pritisak zraka u porama uzorka i tlačnoj komori, a također postoji i skala s koje se očita udio pora u uzorku betona [26].

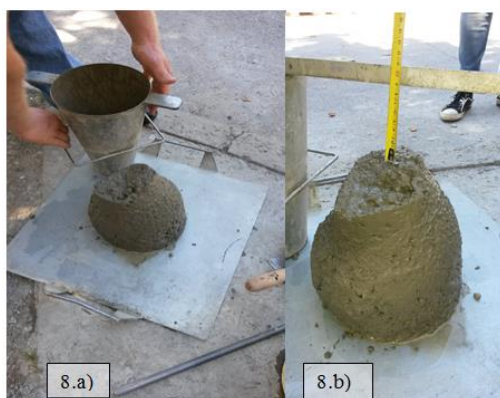


*Slika 7. Mjerenje količine zraka u betonu pomoću porometra*

### **5.2.3.3 Konzistencija**

Mjerenje konzistencije izvodi se metodom slijeganja. Konzistencija je obrnuto proporcionalna slijeganju, odnosno što je veće slijeganje, konzistencija je manja. Svježi beton se zbija u limenom kalupu oblika šupljeg krnjeg stošca. Nakon podizanja kalupa prema gore, veličina za koju se beton sliježe mjerodavna je za određivanje razreda konzistencije betona. Unutrašnjost kalupa i podloga navlaže se mokrom krpom i kalup se postavi na horizontalnu podlogu širim krajem prema dolje. Tijekom punjenja kalup se čvrsto drži uz podlogu stojeći na papučicama. Kalup se puni uzorkom svježeg betona u 3 sloja gdje je svaki otprilike visine  $1/3$  kalupa kada je zbijen. Svaki sloj se zbija sa 25 udaraca šipke za zbijanje. Udarci trebaju biti ravnomjerno raspoređeni po cijelom poprečnom presjeku sloja. Nakon zbijanja gornjeg sloja potrebno je izravnati površinu betona valjanjem šipke za nabijanje. Višak betona sa podloge potrebno je ukloniti. Kalup se pažljivo ukloni, podizanjem prema gore (Slika 8.a)). Odmah nakon uklanjanja kalupa mjeri se i bilježi slijeganje ( $h$ ) tako da se odredi razlika između visine kalupa i najviše točke slegnutog ispitnog uzorka (Slika 8.b)) [27].





*Slika 8.a) Kalup za mjerenje konzistencije betona i uzorak; 8.b) Mjerenje konzistencije*

Beton se prema metodi slijeganja svrstava u nekoliko razreda slijeganja ovisno o visini slijeganja (Tablica 5.) [27].

*Tablica 5. Prikaz razreda slijeganja*

Razred slijeganja	Slijeganje [mm]
S1	10 – 40
S2	50 – 90
S3	100 – 150
S4	160 - 210

#### **5.2.3.4 Tlačna čvrstoća očvrstnalog betona**

Čvrstoća materijala je njegova sposobnost da se odupre djelovanju unutrašnjih naprezanja koja se javljaju pod utjecajem vanjskog opterećenja. Čvrstoća materijala se ocjenjuje na bazi maksimalnog opterećenja pri kojem nastupa razaranje materijala. Ona se utvrđuje eksperimentalno ispitivanjem standardnih uzoraka propisanih dimenzija na propisan način (norma: HRN EN 12390:2000) [28].

Tlačna čvrstoća betona je sposobnost betona da se odupre djelovanju tlačne sile. Određuje se na osnovi računa vjerojatnosti i statistike korištenjem rezultata ispitivanja probnih uzoraka u obliku valjka promjera baze 150 i visine 300 mm ili kocaka dimenzija 150x150x150 mm (Slika 9.). Uzorci se uzimaju od svježeg betona te čuvaju

28 dana u uvjetima od bar 95% vlažnosti ili u vodi temperature  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ , nakon čega se lome i određuje njihova tlačna čvrstoća. Tlačna čvrstoća za normalne betone iznosi do 50 MPa [28].



*Slika 9. Ispitivanje tlačne čvrstoće betona*

#### **5.2.3.5 Vlačna čvrstoća očvrsnulog betona**

Vlačna čvrstoća betona je znatno manja od tlačne čvrstoće betona i znatno varira s obzirom na način ugradnje betona. Postoji više načina ispitivanja vlačne čvrstoće betona:

- a) direktna metoda (direktno razvlačenje uzorka – određivanje čiste vlačne čvrstoće),
- b) metoda savijanja uzorka (određivanje savojne vlačne čvrstoće),
- c) metoda dvostrukog udara,
- d) metoda cijepanja valjka [28].

Vlačna čvrstoća jako varira za neku klasu betona te se iz tog razloga postoji donja granica za vlačnu čvrstoću te ona za naš razred betona C 20/25 iznosi:  $f_{ctk,0,5} = 1,5 \text{ MPa}$  i postoji gornja granica za vlačnu čvrstoću, a ona za naš razred betona C 20/25 iznosi:  $f_{ctk,0,95} = 2,9 \text{ MPa}$  [29].

Za potrebe ovog diplomskog rada, vlačna čvrstoća se ispitivala metodom cijepanja (Slika 10.).



*Slika 10. Ispitivanje vlačne čvrstoće betona*

## **6 REZULTATI I RASPRAVA**

Kako bi se utvrdio utjecaj umiješavanja neobrađenog i obrađenog LCD-a u beton kao zamjena za agregat u različitim udjelima, u ovom poglavlju analizirani su rezultati ispitivanja etalona, betona s udjelom LCD – a bez prethodne obrade (LCD X% BO) i betona s udjelom LCD – a s prethodnom obradom (LCD X%) gdje oznaka „X“ označava udio LCD – a u betonskoj mješavini od 1%, 5% ili 10%. Etalon označava vrijednosti ispitivanih parametara betona bez umiješavanja LCD – a u beton. Sva ispitivanja provedena su u istim uvjetima u laboratoriju tvrtke ZAGORJE TEHNOBETON d.d. prema postupku opisanom u prethodnom poglavlju [30].

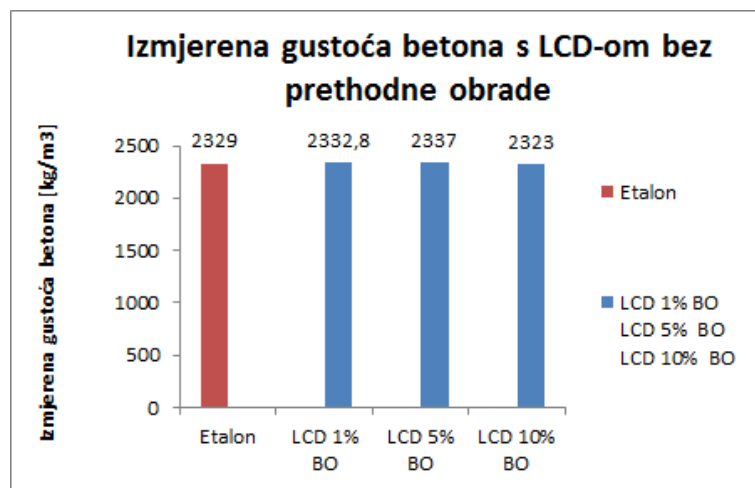
### **6.1 REZULTATI ISPITIVANJA SVJEŽEG BETONA**

Ispitivanja svježeg betona provode se prvenstveno zbog preventivnog karaktera [29]. Stoga su u sljedećim podpoglavljima analizirani rezultati ispitivanja svježeg betona. Analizirani su vrijednosti gustoće, konzistencije i količine zraka svježeg betona s umiješanim neobrađenim i obrađenim LCD-om.

#### **6.1.1 Rezultati ispitivanja gustoće betona**

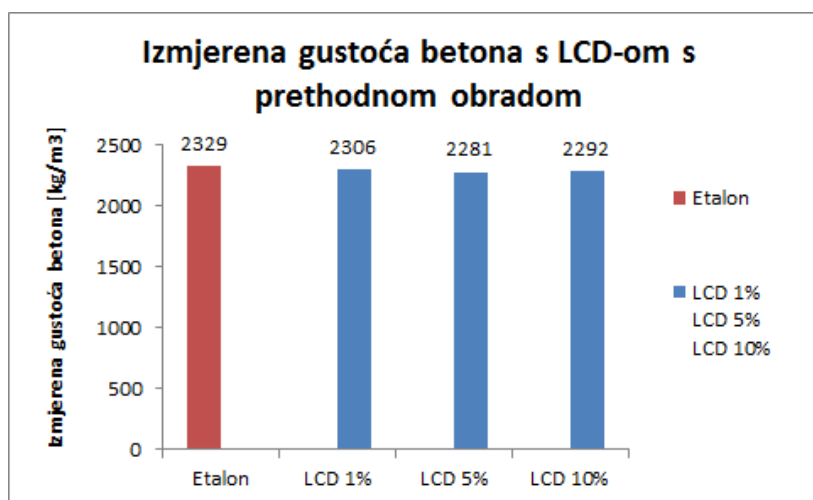
Prilikom ispitivanja svojstava svježeg betona, nakon umiješavanja smjese mjeri se gustoća svježeg betona kao omjer mase i definiranog volumena betona. Ispituje se svaki put kada se mjeri konzistencija ili ispituje sadržaj zraka [29].

Rezultati ispitivanja gustoće svježeg betona s umiješanim neobrađenim LCD-om prikazani su na Iz Slici 11.. Vidljivo je da u betonskoj smjesi s povećanjem udjela LCD–a koji nije prethodno obrađen ne dolazi do znatne promjene vrijednosti gustoće samog betona.



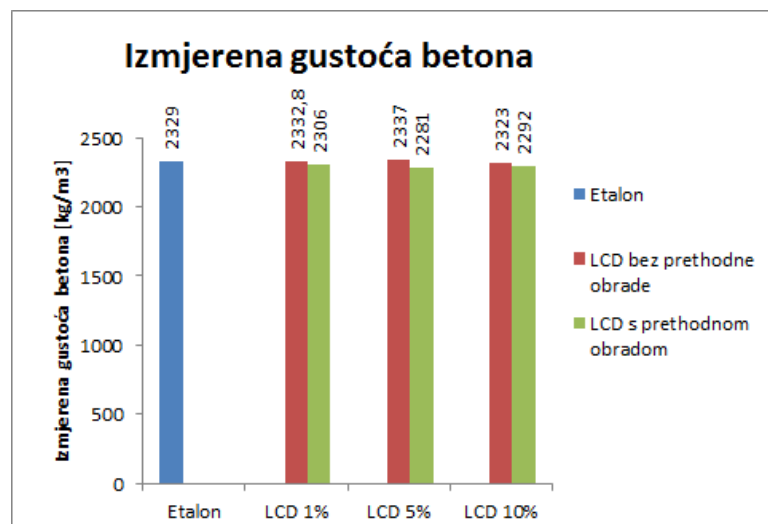
Slika 11. Prikaz rezultata izmjerene gustoće betona s različitim udjelima LCD – a bez prethodne obrade

Nadalje, rezultati ispitivanja gustoće svježeg betona s umiješanim obrađenim LCD-om prikazani su na Slici 12.. Na temelju izmjerenih vrijednosti gustoće, može se zaključiti da se gustoće betonskih mješavina ne mijenjaju značajno.



Slika 12. Prikaz rezultata izmjerene gustoće betona s različitim udjelima LCD – a s prethodnom obradom

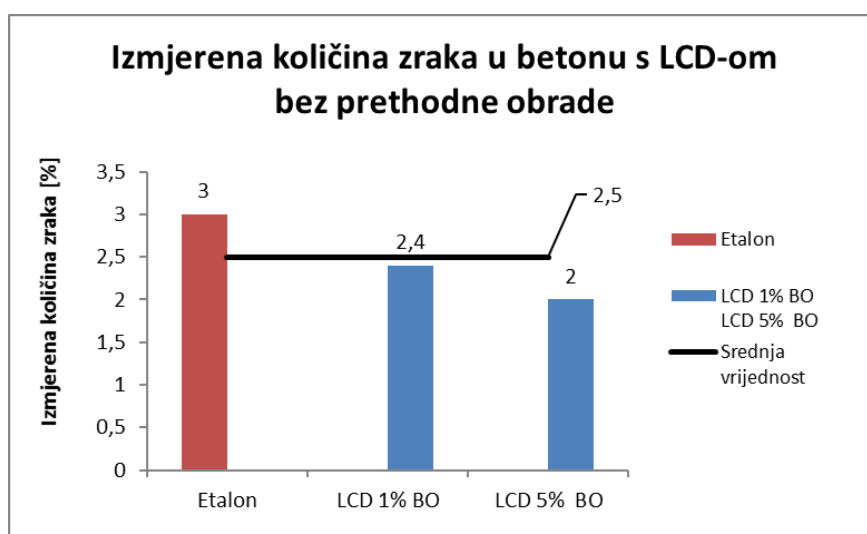
Prema autoru *Herak - Marović V.* [25] gustoća normalnog betona iznosi:  $\rho = 2000 - 2600 \text{ kg/m}^3$ , stoga se može zaključiti kako bez obzira na udio neobrađenog ili obrađenog LCD-a u betonu, ne dolazi do značajne promjene vrijednosti gustoće betona kao što je prikazano na Slici 13. Može se uočiti kako su vrijednosti gustoće betona bez prethodne obrade LCD –a malo veće od gustoće betona s prethodnom obradom LCD–a.



Slika 13. Ukupni prikaz rezultata ispitivanja gustoće betona

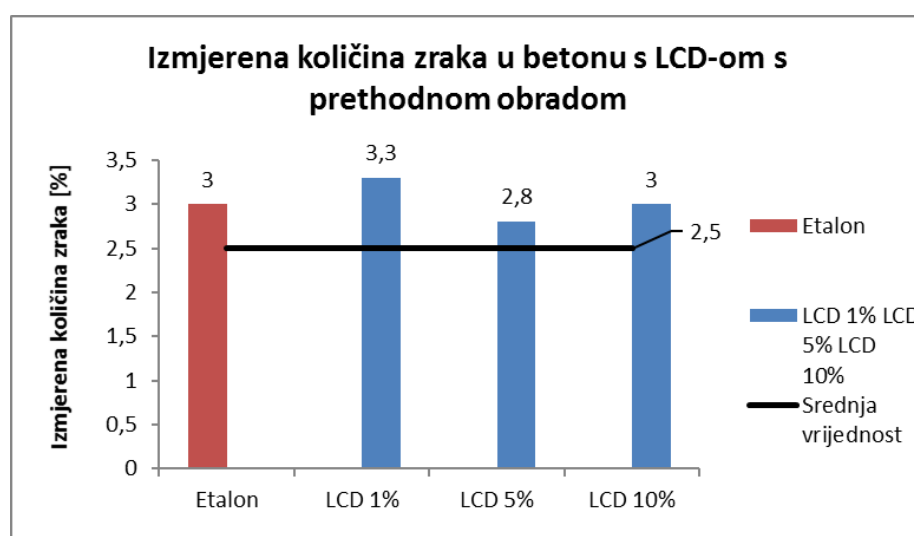
### 6.1.2 Rezultati mjerenja količine zahvaćenog zraka

Količina zahvaćenog zraka u svježem betonu ispituje se poradi utvrđivanja kvalitete granulometrijske linije agregata [29]. Rezultati ispitivanja količine zahvaćenog zraka u betonu s LCD–om bez prethodne obrade prikazani su na Slici 14.. Uočava se pad vrijednosti količine zahvaćenog zraka u betonu s obzirom na etalon. Međutim, beton sa svim udjelima LCD –a bio bi pogodan za korištenje jer količina zahvaćenog zraka ne pada znatno ispod srednje vrijednosti koja za beton s maksimalnom frakcijom agregata do 16 mm iznosi 2,5% [31].



Slika 14. Izmjerena količina zraka u betonu s LCD – om bez prethodne obrade

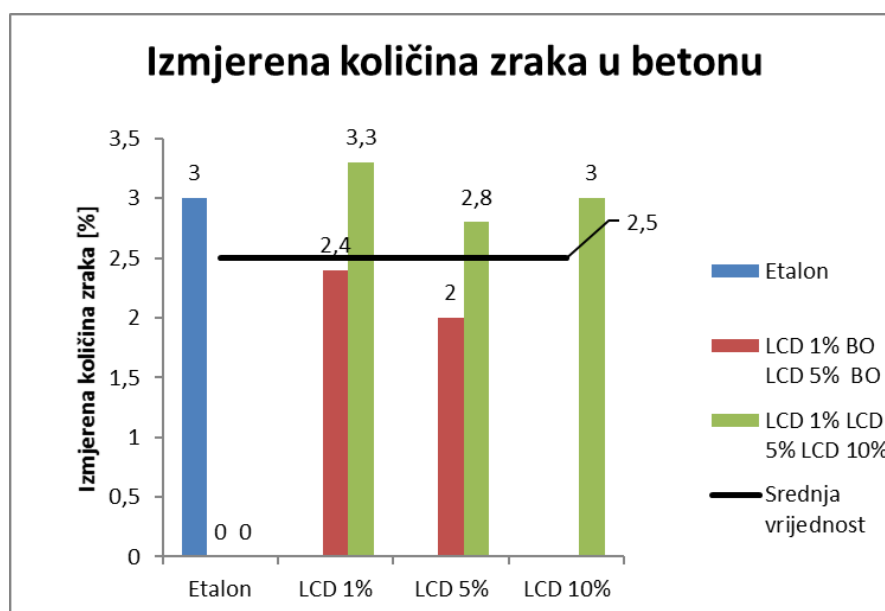
Izmjerena količina zahvaćenog zraka u betonu s LCD – om s prethodnom obradom prikazana je na Slici 15. Primjećen je porast vrijednosti količine zahvaćenog zraka za udio od 1% obrađenog LCD –a, dok je za udio od 5% primjećen blagi pad vrijednosti količine zahvaćenog zraka u odnosu na etalon. Udio količine zahvaćenog zraka s obrađenim LCD-om od 10% je jednak kao udio količine zahvaćenog zraka u etalonu. Iz ovih podataka vidljivo je da je količina zraka u betonskoj mješavini malo veća od srednje granice (2,5 %) [31], no to nužno ne znači da bi ukoliko se ponovno umiješaju betoni s istom količinom obrađenog LCD –a dobili potpuno isti rezultati. Stoga se ovi rezultati u praksi tretiraju kao zadovoljavajući za betonske mješavine.



Slika 15. Izmjerena količina zraka u betonu s LCD – om s prethodnom obradom

Usporedni prikaz vrijednosti količine zahvaćenog zraka u betonu s neobrađenim i obrađenim LCD – om prikazan je na Slici 16. Uočava se veća vrijednost količine zahvaćenog zraka u betonima s LCD – om koji su prethodno obrađeni u odnosu na vrijednosti količine zahvaćenog zraka u betonima s LCD - om bez prethodne obrade. Količina zraka u betonima utječe na čvrstoću samog betona, ali u ovom slučaju količina zraka ne mijenja se znatno s obzirom na srednju vrijednost (2,5%) te ona ne utječe na čvrstoću betona [31]. Prema tome, usporedbom rezultata vrijednosti količine zahvaćenog zraka, uočava se kako se umiješavanjem neobrađenog LCD-a u beton povećava količina pora ispunjenih zrakom, dok se umiješavanjem obrađenog LCD-a smanjuje količina pora ispunjenih zrakom.

Primjerice, ukoliko granulometrijska krivulja agregata odstupa od optimalnog pakiranja zrna utoliko je veći sadržaj zahvaćenog zraka što je posebno uočljivo kod betona s manjim količinama cementne paste [29]. Budući da je u beton umiješan neobrađeni i obrađeni LCD u različitim udjelima kao zamjena za agregat, različite vrijednosti količine zahvaćenog zraka u odnosu na vrijednosti etalona rezultat su promijenjene granulometrijske krivulje. Nadalje, beton s umiješanim obrađenim LCD-om od 1% ima odlike betona s manjim količinama cementne paste, stoga bi se moglo zaključiti kako obrada LCD-a i njegovo umiješavanje u beton do 1% utječe na količinu cementne paste, no za to su potrebna dodatna istraživanja.



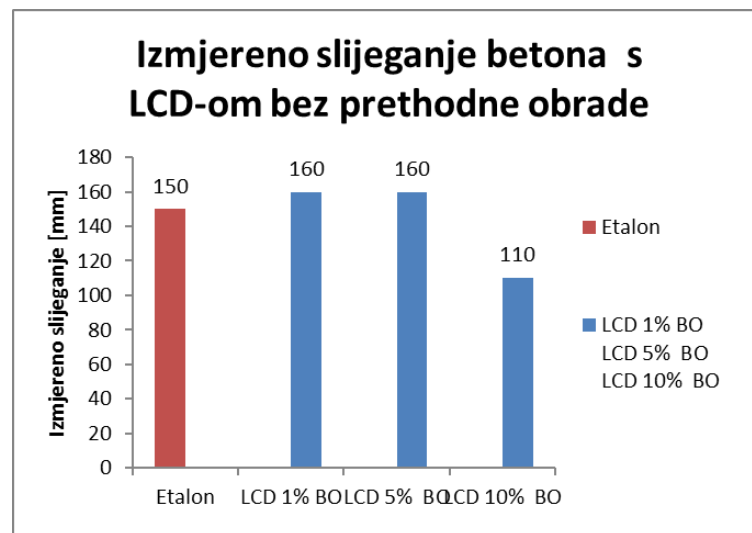
Slika 16. Prikaz rezultata mjerenja količine zraka

### 6.1.3 Rezultati mjerenja konzistencije

Mjerenje konzistencije izvodi se metodom slijeganja. Konzistencija je obrnuto proporcionalna slijeganju, odnosno što je veće slijeganje, konzistencija je manja [27]. Rezultati ispitivanja umiješavanja neobrađenog LCD-a u beton prikazani su na Slici 17.. vidi se blag porast slijeganja betona s udjelom od 1 i 5 % LCD – a bez prethodne obrade nakon čega dolazi do znatnog pada kod betona s udjelom od 10% neobrađenog LCD-a. Beton s udjelom od 1% i 5% prethodno neobrađenog LCD –a spada u razred slijeganja

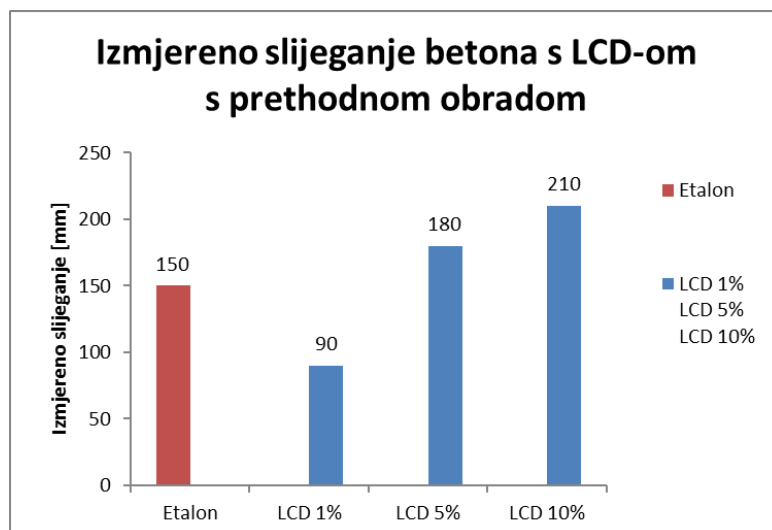


S4, dok beton s udjelom LCD – a od 10% spada u razred slijeganja S3 [27]. Iz ovih podataka se može zaključiti da povećanjem udjela do 5% neobrađenog LCD – a raste čvrstoća betona te je iz tog razloga visina slijeganja manja (pogledati Slika 20.). Iako se tu radi o dva različita razreda slijeganja, oba betona zadovoljavaju sve kriterije konzistencije i mogu se normalno koristiti [27].



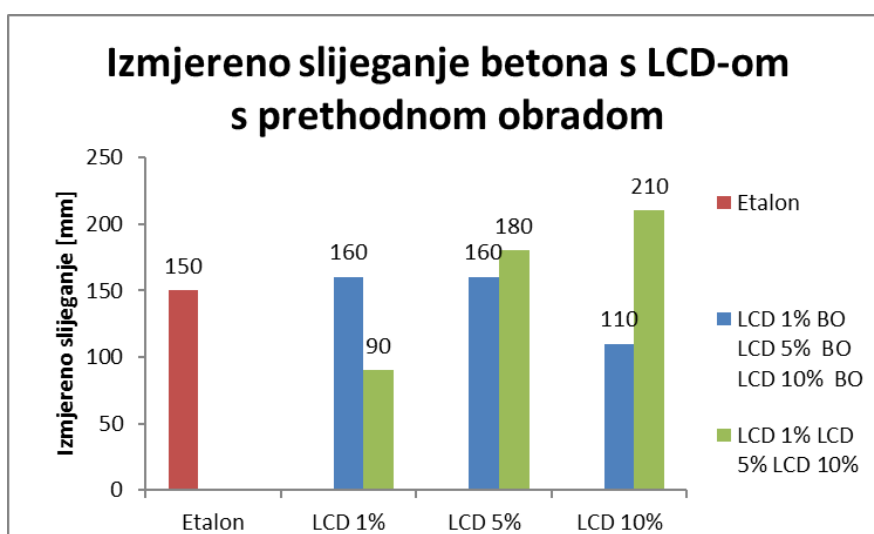
Slika 17. Izmjereno slijeganje betona s LCD - om bez prethodne obrade

Nadalje, rezultati slijeganja betona u koji je umješan obrađen LCD prikazani su na Slici 18.. Uočava se znatan pad vrijednosti slijeganja betona s udjelom od 1% obrađenog LCD-a u odnosu na etalon. Istovremeno za isti uzorak može se primjetiti rast vrijednosti količine zahvaćenog zraka (pogledati Sliku 16.) što poboljšava konzistenciju betona, stoga je ovaj rezultat slijeganja u skladu s dobivenim budući da je slijeganje obrnuto proporcionalno konzistenciji. Moglo bi se zaključiti kako je razlog ovog odstupanja u obradi LCD-a i udjelu umješavanja, međutim potrebna su daljnja istraživanja radi utvrđivanja razloga. S povećanjem udjela obrađenog LCD-a povećava se i slijeganje, odnosno konzistencija pada. Daljnjim povećanjem udjela obrađenog LCD-a na 10% slijeganje je znatno veće u odnosu na etalon. Za udio obrađenog LCD – a od 1% beton spada u razred slijeganja S2, a betoni s udjelom obrađenog LCD – a od 5% i 10% spadaju u razred slijeganja S4. Ovdje se porastom udjela obrađenog LCD – a čvrstoća betona smanjuje (pogledati Slika 21.). Beton razreda slijeganja S2 je čvršći i njega je teže ugrađivati u betonske konstrukcije na samom gradilištu, nego li beton razreda slijeganja S4.



Slika 18. Izmjereno slijeganje betona s LCD - om s prethodnom obradom

Temeljem ukupnih rezultata za konzistenciju betona s neobrađenim i obrađenim LCD – om (Slika 19.), vidljiva su dva potpuno suprotna rezultata istraživanja. Kod betona bez prethodne obrade LCD – a vidljivo je da vijednost visine slijeganja povećanjem LCD – a opada tj. da beton postaje čvršći. Betoni s prethodnom obradom LCD – a imaju zabilježen pad vrijednosti slijeganja u odnosu na etalon za udio od 1% obrađenog LCD – a te se s povećanjem udjela obrađenog LCD-a na 5% i 10% uočava rast vrijednosti slijeganja, odnosno dolazi do pada čvrstoće betona. Prema tome, umješavanje neobrađenog LCD-a u beton do udjela od 5% ne utječe znatno na slijeganje betona, a samim time i konzistenciju betona u odnosu na etalon.



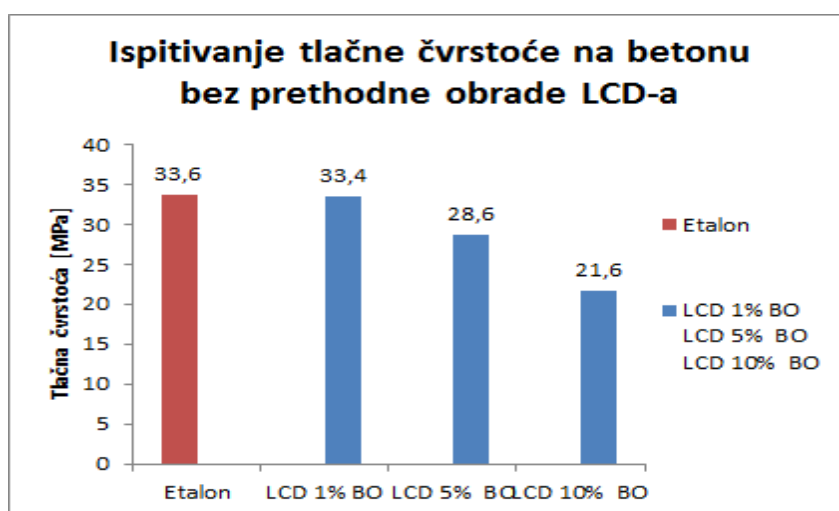
Slika 19. Prikaz rezultata mjerenja slijeganja

## 6.2 REZULTATI ISPITIVANJA OČVRSNULOG BETONA

Ispitivanje svojstva očvrtnulog betona se provodi ispitivanjem vrijednosti tlačne i vlačne čvrstoće. Navedena ispitivanja provode se kako bi se utvrdila sposobnost betona da se odupre djelovanju unutrašnjih naprezanja koja se javljaju pod utjecajem vanjskog opterećenja [28]. Stog su u sljedećim podpoglavljima analizirane vrijednosti tlačne i vlačne čvrstoće očvrtnulog betona nakon 28 dana s umiješanim neobrađenim i obrađenim LCD-om.

### 6.2.1 Rezultati ispitivanje tlačne čvrstoće

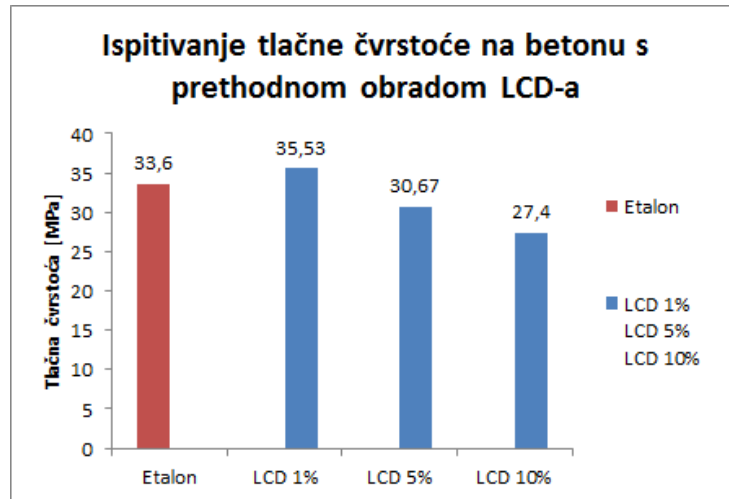
Tlačna čvrstoća betona predstavlja mjeru mogućnosti betona da se odupre djelovanju tlačne sile [28]. Rezultati mjerenja tlačnih čvrstoća za beton s udjelima LCD –a bez prethodne obrade prikazani su na Slici 20.. Porastom udjela neobrađenog LCD-a u betonu u odnosu na etalon dolazi do pada vrijednosti tlačne čvrstoće. Beton s udjelom neobrađenog LCD – a od 1% i 5% zadovoljava kriterij čvrstoće [29], a beton s udjelom neobrađenog LCD – a od 10% prikazuje manju vrijednost tlačne čvrstoće te on nije pogodna za korištenje.



Slika 20. Ispitivanje tlačne čvrstoće za beton bez prethodne obrade LCD – a

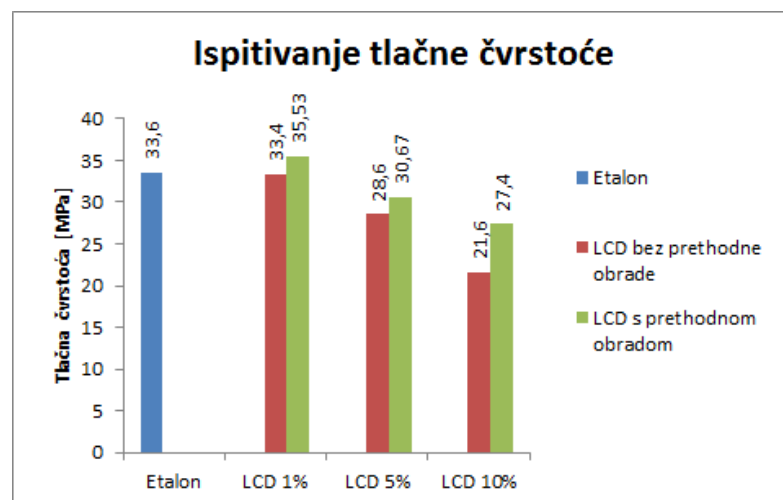
Nadalje, rezultati tlačnih čvrstoća za beton s udjelima 1%, 5% i 10% LCD –a s prethodnom obradom prikazani su Slikom 21. Sukladno očekivanjima iz rezultata za konzistenciju, vidljivo je da beton s udjelom obrađenog LCD – a od 1% pokazuje

najveću čvrstoću gdje je visina slijeganja bila najmanja. Povećanjem udjela obrađenog LCD – a u betonu, tlačna čvrstoća opada. Do tog zaključka došao je i *Her-Yung Wang* u svojem istraživanju [20]. Betoni s udjelima obrađenog LCD – a od 5% i 10% zadovoljavaju kriterij tlačne čvrstoće [29].



Slika 21. Ispitivanje tlačne čvrstoće za beton s prethodnom obradom LCD - a

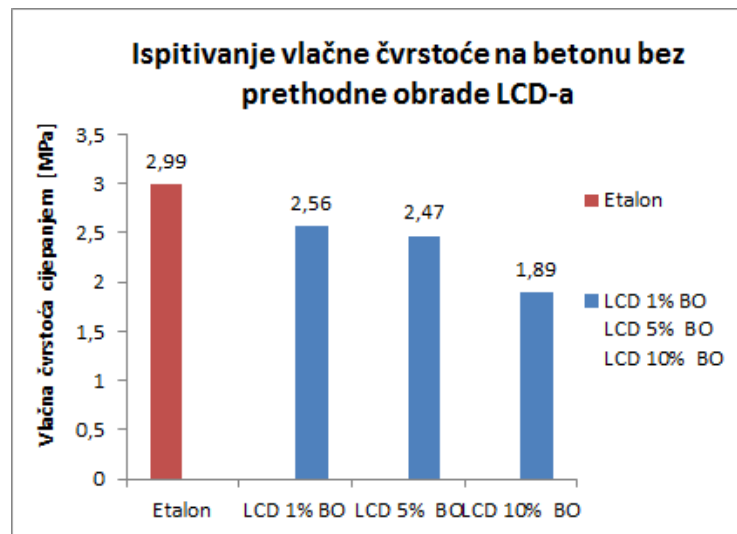
Poradi utvrđivanja razlika, prikazali su se rezultati oba istraživanja vrijednosti tlačne čvrstoće s neobrađenim i obrađenim LCD – om s različitim udjelima. Iz rezultata se može zaključiti, što se tiče tlačne čvrstoće, da je bolje koristiti betone s udjelima LCD – a koji su bili prethodno obrađeni jer pokazuju veće vrijednosti tlačnih čvrstoća te su ti betoni tvrdi.



Slika 22. Prikaz rezultata mjerenja tlačne čvrstoće

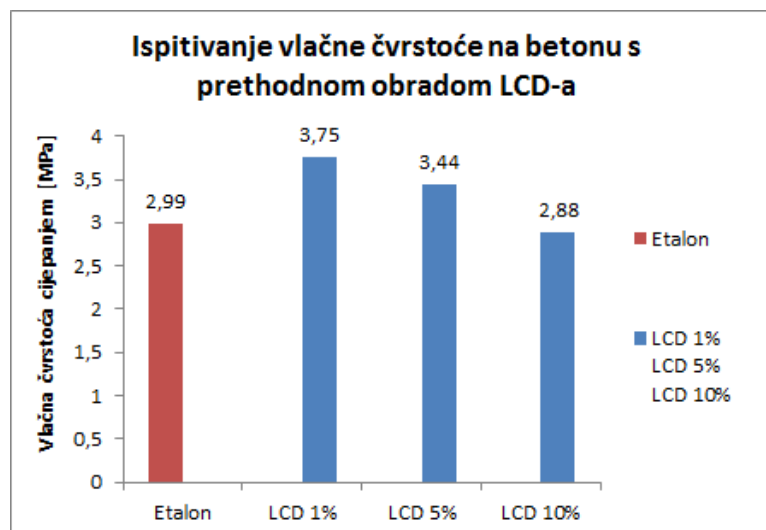
## 6.2.2 Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće

Vrijednost ispitivanja vlačne čvrstoća betona je znatno manja od tlačne čvrstoće betona i znatno varira s obzirom na način ugradnje betona [28] Navedeno se može primjetiti na Slici 12.gdje su prikazani rezultati vlačne čvrstoće betona bez prethodne obrade LCD – a. Vidljivo je da povećanjem udjela neobrađenog LCD – a vrijednost vlačne čvrstoće betona opada, ali ona je i dalje unutar granica za projektiranu klasu betona C20/25 te betoni sa svim udjelima betona zadovoljavaju kriterij vlačne čvrstoće [29].



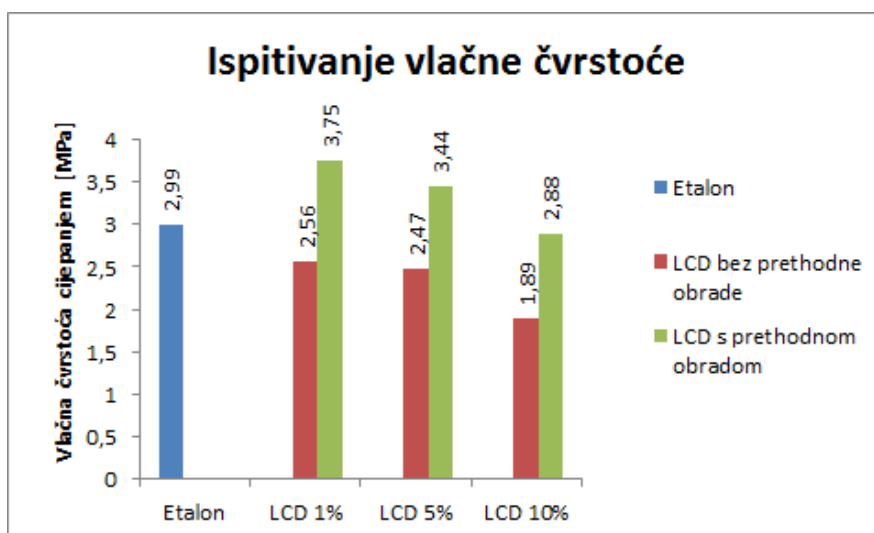
Slika 23. Ispitivanje vlačne čvrstoće za beton bez prethodne obrade LCD – a

Naime, prikaz rezultata vrijednosti vlačne čvrstoće betona s različitim udjelima prethodno obrađenog LCD – a nalazi se na Slici 24. Shodno očekivanjima iz ispitivanja konzistencije i tlačne čvrstoće, beton s udjelom LCD – a od 1% pokazuje najveću vrijednost vlačne čvrstoće, čak veću od etalona. Nakon toga s povećanjem udjela obrađenog LCD-a opada vrijednost vlačne čvrstoće betona. Iako rezultati vlačne čvrstoće za udjele LCD – a od 1% i 5% prelaze gornje granice vlačnih čvrstoća, to ne znači da ti betoni nisu upotrebljivi, već ukazuju na to da je njihova čvrstoća veća i da su izdržljiviji [29].



Slika 24. Ispitivanje vlačne čvrstoće za beton s prethodnom obradom LCD – a

Usporedni prikaz rezultata vrijednosti vlačne čvrstoće betona s neobrađenim i obrađenim LCD – om prikazan je na Slici 25. Vidljivo je da beton koji sadrži prethodno obrađen LCD pokazuje znatno veću vrijednost vlačne čvrstoće, no obje vrste betona se mogu koristiti jer zadovoljavaju kriterij vlačne čvrstoće [29].



Slika 25. Prikaz rezultata mjerenja vlačne čvrstoće

Ovo istraživanje ukazalo je na veće vrijednosti tlačne i vlačne čvrstoće betona s obrađenim LCD-om za razliku od betona s neobrađenim LCD-om. Prema radu *Her - Yung Wanga* [19], na bolju čvrstoću i izdržljivost betona utječe udio staklenog dijela LCD-a., no pri tome je uvelike bitan proces odvijanja alkalijsko – silicijske reakcije. Prema tome, može se zaključiti kako se s obradom LCD-a pospješuje izdvajanje

staklenih čestica iz LCD-a na što ukazuju veće vrijednosti čvrstoća betona s umješanim obrađenim betonom.

## 7 ZAKLJUČAK

Svake godine u svijetu nastaje sve više EE otpada te je potrebno pronaći način kako i na koji način će se taj otpad adekvatno moći reciklirati bez posljedica na okoliš i ljudsko zdravlje. Prema nekim istraživanjima umješavanjem LCD – a u beton, cigle, keramičke pločice i dr. poboljšavaju se karakteristike istih.

Budući da gustoća normalnog betona iznosi:  $\rho = 2000 - 2600 \text{ kg/m}^3$  može se zaključiti kako udio LCD u betonu ne utječe značajno na gustoću samog betona bilo da je LCD prethodno obrađen ili ne. Može se uočiti kako su vrijednosti gustoće betona bez prethodne obrade LCD –a malo veće od gustoće betona s prethodnom obradom LCD–a.

U betonima s LCD – om koji je prethodno obrađen nalazi se veća vrijednost količine zahvaćenog zraka, nego li u betonu s LCD - om bez prethodne obrade. Količina zahvaćenog zraka u betonima utječe na čvrstoću samog betona, ali u ovom slučaju količina zraka ne mijenja se znatno te ona ne utječe znatno na čvrstoću betona.

Kod betona bez prethodne obrade LCD – a, vrijednost konzistencije se s većim udjelom LCD – a povećava tj. beton postaje čvršći. Betoni s prethodnom obradom LCD – a imaju zabilježen pad vrijednosti konzistencije s povećanjem udjela LCD – a tj. čvrstoća betona opada. Iako dolazi do različitog ponašanja betona s umješanim neobrađenim i obrađenim otpadnim LCD – om, općenito ne može se govoriti kako je neki oblik betona bolji po svojoj čvrstoći.

Što se tiče rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće, vidljivo je da je bolje koristiti betone s udjelima LCD – a koji su bili prethodno obrađeni jer pokazuju veće vrijednosti tlačnih čvrstoća i ti betoni su tvrdi u odnosu na beton koji sadrži LCD koji nije prethodno obrađen. Beton s udjelom prethodno neobrađenim LCD – om od 10% jedini ima slabije rezultate tlačne čvrstoće te ne zadovoljava kriterij tlačne čvrstoće u potpunosti.

Iz svih prikazanih rezultata može se zaključiti da je korištenje LCD –a s udjelima od 1%, 5% i 10% u betonu kao zamjena za agregat moguća bez obzira je li prethodno obrađen ili ne obrađen LCD. Iznimka je beton s udjelom neobrađenog LCD – a od 10%



jer on prikazuje manju vrijednost tlačne čvrstoće te on nije pogodan za korištenje iz sigurnosnih razloga. Beton koji sadrži prethodno obrađen LCD, neovisno o udjelu istoga, pokazuje veću vrijednost tlačne čvrstoće od betona koji sadrži LCD bez prethodne obrade, no obje vrste betona se mogu koristiti.

Budući da se LCD obrađuje najčešće u svrhu izdvajanja indija, opravdanost korištenja obrađenog LCD za umiješavanje u beton ovisit će o potrebi indija na tržištu. Budući da je cijena indija na tržištu trenutno u padu, ne isplati se potraživati indij iz sekundarnih sirovina. Stoga je bolje koristiti neobrađen LCD za umiješavanje u beton, budući da je i okolišu prihvatljiviji budući da je manji utrošak kiselina.

## 8 LITERATURA

- [1] Jovičić S. *Reciklaža i problemi elektronskog otpada*. Dostupno na: <https://www.industrija.rs/vesti/clanak/reciklaza-i-problemi-elektronskog-otpada>. Datum pristupa: 16.08.2017.
- [2] EL-PRO-CUS. *Construction and Working Principle of LCD Display*. Dostupno na: <https://www.elprocus.com/ever-wondered-lcd-works/>. Datum pristupa: 15.08.2017.
- [3] Hussain A, Pina A. S, Roque A. C. A. *Bio-recognition and detection using liquid crystals*. Vol. 1-8. Biosensors and Bioelectronics. Elsevier. 2009.
- [4] Pavlović D. *Ekrani: LCD vs. AMOLED; RGB vs. PenTile*. mob.hr. Dostupno na: <http://mob.hr/ekrani-lcd-vs-amoled-rgb-vs-pentile/>. Datum pristupa: 15.08.2017.
- [5] 3M. *Display Films Products*. Dostupno na: [http://www.3m.com/3M/en\\_US/display-solutions-us](http://www.3m.com/3M/en_US/display-solutions-us). Datum pristupa: 15. 08. 2017.
- [6] *Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom (NN 42/2014)*. Narodne novine. 2014. Broj 42. [16.08.2017.]

- [7] Agencija za zaštitu okoliša. *EE otpad*. Dostupno na: <http://www.azo.hr/EEOtpad>. Datum pristupa: 16. 08. 2017.
- [8] *Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. - 2015. (NN 85/2007)*. Narodne novine. 2007. Broj 85. [20.08.2017.].
- [9] *Odluka o donošenju Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. - 2022. godine (NN 3/2017)*. Narodne novine. 2017. Broj 3. [16.08.2017.].
- [10] *Direktiva 2012/19/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 4. srpnja 2012. o otpadnoj elektroničkoj i električnoj opremi (OEEO)*. Europski parlament i Vijeće Europske unije. 2012. [16.08.2017.].
- [11] *Direktiva 2011/65/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 8. lipnja 2011. o ograničenju uporabe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi*. Europski parlament i Vijeće Europske unije. 2011. [16.08.2017.].
- [12] *Strategija gospodarenja otpadoma Republike Hrvatske (NN 130/05)*. Narodne novine. 2005. Broj 130 [16.08.2017.].
- [13] *Zakon o održivom gospodarenju otpadom NN 94/13*. Narodne novine. 2013. Broj 94. [07.09.2016].

- [14] *Pravilnik o ograničavanju uporabe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi (NN 131/2013)*. Narodne novine. 2013. Broj 131. [16. 08. 2017.].
- [15] *Pravilnik o katalogu otpada (NN 90/2015)*. Narodne novine. 2015. Broj 90. [16. 08. 2017.].
- [16] *Zakon o otpadu (NN 178/2004)*. Narodne novine. 2004. Broj 178. [05.09.2017.].
- [17] Zhang K, Wu Y, Wang W, Li B, Zhang Y, Zuo T. *Recycling indium from waste LCDs: A review*. Resources, Conservation and Recycling. Elsevier. 2015.
- [18] Tolcin A. *Indium*. National Minerals Information Center. Dostupno na: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/indium/mcs-2017-indiu.pdf>. Datum pristupa: 06. 09. 2017.
- [19] Wang H. Y. *A study of the effects of LCD glass sand on the properties of concrete*. Vol. 29. Waste Management. Elsevier. 2009.
- [20] Wang H. Y. *Durability of self-consolidating concrete using waste LCD glass*. Vol. 24, Construction and Building Materials. Elsevier. 2009.

- [21] Wang H. Y. *A study of the engineering properties of waste LCD glass applied to controlled low strength materials concrete*. Vol. 23. Construction and Building Materials. Elsevier. 2009.
- [22] Lin K. L. i suradnici, *Recycling thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass*. Vol. 17. Journal of Cleaner Production. Elsevier. 2009.
- [23] Lin K. L. *Use of thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass in the production of ceramic tiles*. Vol. 148. Journal of Hazardous Materials. Elsevier. 2007.
- [24] ChemiDay. *Hydrogen chloride react with nitric acid*. Dostupno na: <https://chemiday.com/en/reaction/3-1-0-2281>. Datum pristupa: 20.08.2017.
- [25] Herak - Marović V. *Betonske konstrukcije I (2007/2008)*. Dostupno na: <https://www.slideshare.net/Durim-Bajrami/01-bk1-fizikalna-svojstva-betona>. Datum pristupa: 01.09.2017.
- [26] Pavlic V. *Projektiranje sastava betona, svježi beton*. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu. Geotehnički fakultet. 2012.
- [27] Gabrijel I. *Ispitivanje svježeg betona – slijeganje*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu,

Građevinski fakultet. 2015.

[28] Pavlic V. *Statistička ocjena kvalitete, Ispitivanje očvrslag betona*. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. 2012.

[29] V. Ukrainczyk. *Beton*. Zagreb. ALCOR. 1994.

[30] Dokuš T. *Recikliranje LCD uređaja*. Diplomski rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. 2015.

[31] I. Stipanović I. *Proizvodnja betona i projektiranje sastava*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet. 2007.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz razvoja tehnologije tekućih kristala (3) .....	3
Slika 2. a) Presjek LCD-a; b) Mikroskopski prikaz tradicionalnog LCD zaslona (4).....	5
Slika 3. Uzorak tek stavljen u zlatotopku .....	27
Slika 4. Uzorak LCD – a u zlatotopci nakon 48 sati.....	28
Slika 5. a) i 5.b). Filtracija uzorka .....	29
Slika 6. Suhi pročišćeni uzorak LCD – a.....	29
Slika 7. Mjerenje količine zraka u betonu pomoću porometra .....	31
Slika 8.a) Kalup za mjerenje konzistencije betona i uzorak; 8.b) Mjerenje konzistencije .....	32
Slika 9. Ispitivanje tlačne čvrstoće betona.....	33
Slika 10. Ispitivanje vlačne čvrstoće betona .....	34
Slika 11. Prikaz rezultata izmjerene gustoće betona s različitim udjelima LCD – a bez prethodne obrade.....	36
Slika 12. Prikaz rezultata izmjerene gustoće betona s različitim udjelima LCD – a s prethodnom obradom.....	36
Slika 13. Ukupni prikaz rezultata ispitivanja gustoće betona.....	37
Slika 14. Izmjerena količina zraka u betonu s LCD – om bez prethodne obrade.....	37
Slika 15. Izmjerena količina zraka u betonu s LCD – om s prethodnom obradom .....	38
Slika 16. Prikaz rezultata mjerenja količine zraka.....	39
Slika 17. Izmjereno slijeganje betona s LCD - om bez prethodne obrade.....	40
Slika 18. Izmjereno slijeganje betona s LCD - om s prethodnom obradom.....	41
Slika 19. Prikaz rezultata mjerenja slijeganja .....	41
Slika 20. Ispitivanje tlačne čvrstoće za beton bez prethodne obrade LCD – a.....	42
Slika 21. Ispitivanje tlačne čvrstoće za beton s prethodnom obradom LCD - a.....	43
Slika 22. Prikaz rezultata mjerenja tlačne čvrstoće .....	43

Slika 23. Ispitivanje vlačne čvrstoće za beton bez prethodne obrade LCD – a.....	44
Slika 24. Ispitivanje vlačne čvrstoće za beton s prethodnom obradom LCD – a.....	45
Slika 25. Prikaz rezultata mjerenja vlačne čvrstoće .....	45



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Količine posebnih kategorija otpada sakupljene od početka provedbe pravilnika koji uređuju gospodarenje posebnim kategorijama otpada (9).....	9
Tablica 2. Ciljevi za gospodarenje otpadom koje je potrebno postići do 2022. godine u odnosu na 2015. godinu (9) .....	11
Tablica 3. Katalog otpada – EE otpad (7).....	14
Tablica 4. Prikaz proizvodnje indija (18) .....	19
Tablica 5. Prikaz razreda slijeganja .....	32