

Ponovna upotreba pročišćenih otpadnih voda u građevinskoj industriji

Čuljak, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:238347>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-09**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Josip Čuljak

**PONOVNA UPOTREBA PROČIŠĆENIH
OTPADNIH VODA U GRAĐEVINSKOJ
INDUSTRIJI**

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024. g



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Josip Čuljak

**PONOVNA UPOTREBA PROČIŠĆENIH
OTPADNIH VODA U GRAĐEVINSKOJ
INDUSTRIJI**

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor: prof. dr. sc. Dražen Vouk

Zagreb, 2024. g



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Josip Čuljak

**REUSE OF TREATED WASTEWATER IN
CONSTRUCTION INDUSTRY**

FINAL EXAM

Supervisor: prof. dr. sc. Dražen Vouk

Zagreb, 2024. g.

SAŽETAK

Ovaj rad obrađuje ponovnu upotrebu pročišćenih otpadnih voda u građevinskoj industriji, pružajući sveobuhvatnu analizu svojstava pročišćene i uporabu iste u građevinarstvu. U radu su dani osnovni pokazatelji kvalitete vode odnosno dozvoljene koncentracije u tehnološkim otpadnim vodama. Također je prikazano općenito stanje voda u svijetu i primjena pročišćene industrijske otpadne vode uz određene fizikalno-kemijske procese pročišćavanja. Navedeni su i opisani razni proizvodi u građevinskoj industriji u kojima je korištena pročišćena voda. Ovo istraživanje produbljuje razumijevanje korištenja i pročišćavanja otpadne vode kako u građevinskoj tako i u svakoj drugoj industriji, nudeći inženjerima i istraživačima teoretsko znanje i praktične primjene za proizvodnju opeke.

Ključne riječi: pročišćena otpadna voda, svojstva vode, korištenje vode, primjena vode

SUMMARY

This paper discusses the reuse of treated wastewater in the construction industry, providing a comprehensive analysis of the characteristics of treated water and its application in construction. The paper presents basic indicators of water quality, i.e., permissible concentrations in industrial wastewater. It also provides an overview of the global water situation and the application of treated industrial wastewater using specific physico-chemical treatment processes. Various products in the construction industry that utilize treated water are mentioned and described. This research deepens the understanding of wastewater use and treatment, not only in construction but also in other industries, offering engineers and researchers theoretical knowledge and practical applications for brick production.

Key words: treated wastewater, water properties, water utilization, water application.

SADRŽAJ

SAŽETAK	iv
SUMMARY	v
SADRŽAJ	vi
1. UVOD	1
2. METODE I TEHNIKE RADA	2
3. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA	3
3.1. Fizikalni procesi pročišćavanja	3
3.2. Biološki procesi pročišćavanja	4
3.3. Fizikalno – kemijski i kemijski procesi pročišćavanja	4
4. PROČIŠĆAVANJE INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA	6
4.1. Općenito	6
4.2. Pročišćavanje otpadnih voda u građevinskoj industriji	7
4.3. Kakvoća pročišćenih otpadnih voda	8
5. PONOVA UPOTREBA PROČIŠĆENE OTPADNE VODE	10
5.1. Stanje u svijetu.....	10
5.2. Mogućnost i načini korištenja vode u građevinskoj industriji	13
6. VRSTE PROIZVODA U KOJIMA JE KORIŠĆENA PROČIŠĆENA VODA	16
6.1. Proizvodi u građevinskoj industriji	17
6.2. Opis rezultata vezanih uz karakteristike gotovih proizvoda u čijoj je proizvodnji korištena pročišćena voda	17
6.2.1. Proizvodnja opeke s dodatkom EK mulja u različitim postotcima	19
6.3. Upotreba i rezultat korištenja pročišćene otpadne vode.....	21
7. ZAKLJUČAK	25
8. POPIS LITERATURE	26
9. POPIS SLIKA	27
10. POPIS TABLICA	28

1. UVOD

Jedan od osnovnih prirodnih resursa bez kojeg ne bi bilo života na zemlji je voda. Kako bi se omogućio normalan život za ljude potrebno je održavati razinu kvalitete vode, odnosno kemijski sastav i njene prirodne karakteristike.

U posljednjih nekoliko godina, utjecaj čovjeka i povećan rast industrije na okoliš je sve veći i rijetko se mogu prepoznati pozitivne promjene s obzirom na razvoj gospodarstva u svrhu porasta životnog standarda. Zbog gospodarskog razvoja i porasta stanovništva znatno su se povećale količine otpadnih voda koje se ispuštaju u vodotoke te je potrebno zaštititi iskorištavanje vodnih resursa.

Današnje gospodarenje vodnim resursima je neodrživo za budućnost i bez odgovarajućeg održivog upravljanja s ciljem štednje i optimizacijom iskorištavanja vode, količine vodnih resursa će biti ugrožene. Da ne bi došlo do onečišćenja prirodnog vodnog sustava, prije ispuštanja u okoliš komunalne otpadne vode potrebno je provesti kroz sustav pročišćavanja kako bi zadovoljile određene uvjete kvalitete. Otpad se odbacuje u prirodu što dovodi do zagađenja šuma, čistih prirodnih izvora vode koji utječu na kvalitetu vode za piće te kvalitetu života. Rezultati onečišćenja vode utječu i na biljni i životinjski svijet, a činjenica da je u nekim dijelovima svijeta sve manje pitke vode se ne smije zanemariti.

Postoje razni uzročnici onečišćenja voda kao što su kemikalije koje koriste poljoprivrednici, industrijski procesi koji su danas jedni od najvećih uzročnika zagađenja na način da proizvode otrovne otpade koji se filtriraju u vodu, te dovode u opasnost životinje koje žive u vodi i ljude koji pod utjecajem postojanja teških metala u vodi obolijevaju, rađaju se s urođenim manama i sl. Povećavanjem broja stanovnika i dinamičnog rasta industrije, povećava se i potreba za vodom, odnosno količina crpljenja vode iz podzemlja.

Glavni izvori zagađenja krških voda su otpadne vode koje proizvode kućanstva i industrija, odlagališta otpada, razvijenost prometne strukture i poljoprivreda. Potrebno je poduzeti značajne napore u navedenim područjima kako bi se spriječila i otklonila daljnja onečišćenja voda na lokalnim i globalnim razinama te zaštititi vodu i iskorištavati ju planski. Jedan od načina je povećanje broja poduzeća koje se bave razvojem i proizvodnjom tehnologija koje služe za obradu otpadnih voda te povećanje svijesti čovjeka kako bi na prikladan način djelovao bez štetnih posljedica na okoliš.

2. METODE I TEHNIKE RADA

Koristio sam razne materijale i knjige s interneta u konzultacijama s mentorom. Obrađivani su osnovni postupci pročišćavanja otpadnih voda i kakvoća vode koju minimalno mora zadovoljiti pročišćena voda pri ispuštanju u sustav odvodnje i okoliš.

3. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Kao posljedica gospodarskog razvoja i porasta stanovništva raste i količina otpadnih voda. Da bi se zaštitila kvaliteta prirodnih vodnih sustava potrebno je prije ispuštanja u recipijent pomoću pročišćavanja zadovoljiti određene uvjete kvalitete. Otpadne vode mogu se podijeliti na [1]:

- sanitarne (kućanske)
- tehnološke (industrijske)
- komunalne
- procjedne vode deponija
- potencijalno onečišćene oborinske vode

Uklanjanje onečišćujućih tvari pojedinačnim procesima ili njihovom kombinacijom vrednuje se kao učinak pročišćavanja, tj. odnos postignutog smanjenja koncentracije onečišćujuće tvari prema koncentraciji iste tvari u dotoku otpadnih voda. Učinkovitost rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ovisi o stupnju obrade. Za svaki stupanj obrade predviđaju se pojedinačni objekti i oprema, kao i dopunska oprema koja mora pridonijeti tomu da se otpadne tvari iz onečišćene vode trajno uklone na odgovarajući način. Planiranje linija tehnoloških procesa ovisi o količini i sastavu otpadnih voda, ali i o zahtjevima koji se odnose na vode koje se obrađuju. Kada se pročišćavaju gradske otpadne vode najčešće se rabe fizikalni i biološki procesi pročišćavanja uz primjenu različitih procesa obrade mulja [1].

Procesi pročišćavanja kojima se podvrgava otpadna voda mogu biti fizikalni, kemijski i biološki, a u Tablici 1 prikazana je podjela pročišćavanja prema stupnjevima (fizikalno ili primarno pročišćavanje, biološko ili sekundarno, te fizikalno-kemijsko i kemijsko, odnosno tercijarno pročišćavanje)

3.1. Fizikalni procesi pročišćavanja

Fizikalni procesi su radnje kojima se iz otpadnih voda uklanjaju krupne raspršene i plutajuće otpadne tvari pomoću rešetki. Daljnji postupci uključuju taloženje (sedimentaciju) krutih čestica pomoću gravitacijske sile u pjeskolovima te flotaciju u mastolovu u kojem se tvari iz tekućine odvajaju izdizanjem na površinu s koje se potom odvajaju. Postupci u pjeskolovu i mastolovu provode se obavezno, a nazivaju se još i prethodni postupci pročišćavanja otpadnih voda [1].

3.2. Biološki procesi pročišćavanja

Biološki proces obrade otpadnih voda jest razgradnja organskih tvari uz pomoć zajednice mikroorganizama, a odvija se spontano i u prirodi. Mikroorganizmi, najčešće bakterije, apsorbiraju organsko onečišćenje i hranjive soli koji su raspršeni ili otopljeni u otpadnim vodama. Mikroorganizmi koji obavljaju razgradnju mogu se podijeliti u skupine [1]:

1. prema potrebi za kisikom:

- aerobni mikroorganizmi, kojima je kisik otopljen u vodi potreban za život,
- anaerobni mikroorganizmi, koji mogu živjeti bez kisika otopljenog u vodi,
- fakultativni mikroorganizmi, koji mogu živjeti uz kisik otopljen u vodi ili bez njega.

2. prema vrsti metabolizma:

- autotrofni organizmi, koji se koriste Sunčevom energijom i anorganskim tvarima te proizvode nove organske spojeve,
- heterotrofni organizmi, koji se za život koriste gotovim organskim spojevima.

3.3. Fizikalno – kemijski i kemijski procesi pročišćavanja

Fizikalno-kemijski i kemijski postupci pročišćavanja uključuju [1]:

- postupke bez kemijskih promjena sastojaka (filtriranje, adsorpcija, ozračivanje, inverzna osmoza, destilacija)
- postupke s kemijskim promjenama sastojaka (neutralizacija, flokulacija, koagulacija, kemijska precipitacija (taloženje, obaranje), ionska izmjena, oksidacija).

U pročišćavanju komunalnih otpadnih voda koriste se sljedeći procesi: rešetanje, izravnavanje/ujednačavanje (egalizacija), miješanje, taloženje (sedimentacija), isplivavanje (flotacija), cijedenje (filtriranje), adsorpcija, aerobni i anaerobni procesi, nitrifikacija i denitrifikacija te uklanjanje fosfora [1].

Tablica 1. Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda [1]

Predtretman	1. stupanj	2. stupanj	3. stupanj
Rešetanje	Uklanjanje raspršene tvari	Uklanjanje biorazgradive tvari	Uklanjanje dušika i fosfora
Usitnjavanje	Taloženje	Biološki postupci	Uklanjanje postojeane organske tvari
Uklanjanje pijeska i masnoća	Isplivavanje	Fizikalno-kemijski postupci	Uklanjanje teških metala i otopljene anorganske tvari

4. PROČIŠĆAVANJE INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

4.1. Općenito

Osim uređaja za pročišćavanje sanitarno-fekalnih voda danas se projektiraju i grade uređaji za pročišćavanje otpadnih voda iz industrije. Naime, industrijske otpadne vode predstavljaju sve veću prijetnju održanju čistoće površinskih i podzemnih voda, što je glavni i osnovni razlog potrebe za izgradnjom i upravljanjem navedene vrste uređaja.

Prema vrsti onečišćenja industrijske otpadne vode dijele se na:

- Otpadne vode koje pretežno sadrže neorganske tvari,
- Otpadne vode koje pretežno sadrže organske tvari,
- Biološki teže razgradive otpadne vode,
- Biološki lakše razgradive otpadne vode.

Najznačajnije količine otpadnih voda potiču iz sljedećih industrijskih grana:

- kemijske,
- metaloprerađivačke,
- prehrambene,
- tekstilne,
- građevinske

4.2. Pročišćavanje otpadnih voda u građevinskoj industriji

Pročišćavanje otpadnih voda u građevinskoj industriji igra ključnu ulogu u očuvanju okoliša i osiguranju održivosti građevinskih projekata. U nastavku su navedene neke smjernice i standarde koje se često primjenjuju u kontekstu pročišćavanja otpadnih voda u građevinskoj industriji [Tablica 3]:

- Ukupna otopina čvrstih tvari: Maksimalna koncentracija ukupnih otopina čvrstih tvari u ispuštenim vodama može varirati ovisno o zakonodavstvu, ali obično se zahtijeva da bude ispod određene granice, na primjer, manje od 50 mg/L.
- BOD i COD: Biokemijska potrošnja kisika (BOD) i kemijska potrošnja kisika (COD) su važni pokazatelji onečišćenja voda. Zahtjevi za maksimalne koncentracije ovih parametara mogu varirati, ali se često postavljaju na razinu koja osigurava minimalni utjecaj na okoliš.
- Suspendirane čestice: Ograničavanje koncentracije suspendiranih čestica u ispuštenim vodama pomaže u sprječavanju zamućenja vodenih tijela. Smjernice obično zahtijevaju nisku koncentraciju suspendiranih čestica.
- Ukupni dušik i fosfor: Ograničenje ukupnog dušika i fosfora važno je za sprječavanje eutrofikacije vodenih ekosustava. Standardi obično postavljaju maksimalne dopuštene razine ovih tvari.
- pH vrijednost ispuštenih voda trebala bi biti u prihvatljivom rasponu, obično između 6,5 i 8,5, kako bi se osiguralo da voda ne bude prekisela ili prelužnata.
- Prisutnost bakterija poput *Escherichia coli* može biti opasna za okoliš i zdravlje ljudi. Standardi često postavljaju maksimalne dopuštene razine bakterija.
- Elektroprovodljivost može biti pokazatelj prisutnosti otopljene soli u vodi. Maksimalne koncentracije ovog parametra ovise o lokalnim uvjetima.
- Turbidnost je mjera zamućenja vode i važna je za očuvanje vodenih ekosustava. Standardi obično postavljaju maksimalne dopuštene razine turbidnosti.

Otpadne vode za ponovnu upotrebu u nekim slučajevima, građevinski projekti mogu pročišćavati otpadne vode za ponovnu upotrebu unutar samog građevinskog mjesta, na primjer, za zalijevanje ili građevinske svrhe. Smjernice za kvalitetu vode za ponovnu upotrebu također trebaju biti usklađene s odgovarajućim standardima i regulativama. [10]

4.3. Kakvoća pročišćenih otpadnih voda

Pri utvrđivanju zagađenosti otpadnih voda posebna se pažnja posvećuje ukupnom sadržaju organskih tvari, te ugljikovodicima poznatim kao i mineralna ulja. Najčešće se ispituju biokemijska i kemijska potrošnja kisika, određuje utrošak $KMnO_4$, pH, suspendirana tvar, ukupni fosfor i dušik, deterdženti, mineralna ulja, te ukupna ulja i masti. Dok se rjeđe ispituju ukupna suspendirana tvar, temperatura, taložive tvari, ukupni ugljikovodici, ukupni aromatski i halogeni ugljikovodici, željezo, aluminij, ukupni fenoli, otopljeni kisik, boja, miris, klor, ispareni ostatak, te teško hlapive tvari.

Prilikom uzimanja uzorka vode treba nastojati uzeti što homogeniji uzorak, znači izbjegavati lišće, grane, eventualne masne mrlje i sl., osim ako je cilj ispitivanja vode-zagađenje. Bocu prije uzimanja uzorka treba isprati tri puta vodom koja se uzorkuje. Uzorak vode treba uzimati držeći bocu za dno i uranjajući otvor oko 30 cm ispod površine. Prilikom uzorkovanja čep boce ne smije se ispuštati iz ruke kako se ne bi njime unijelo vanjsko onečišćenje. Ne bi se trebalo prikupljati uzorke za vrijeme grmljavinske oluje, jake kiše ili jakoga vjetrova. Za uzorke vode iz slavine treba pustiti vodu da teče par minuta prije nego se uzme uzorak.

Temperatura vode uzete na terenu mora se očitati neposredno nakon uzimanja uzoraka. Mjeri se termometrom. U posudu za prikupljanje uzorka vode odloži se termometar na pet minuta. Postupak se ponovi tri puta i očita srednja vrijednost. U pojedinom subjektu kontrola se vrši više puta, odnosno dvaput ukoliko subjekt ima uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. U tom se slučaju uzorak uzima na ulazu i izlazu pročišćivača otpadnih voda. Broj uzorkovanja i analiza propisan je Vodopravnom dozvolom.

Potrebno je voditi računa i o tehnološkim otpadnim vodama, ukoliko se na obuhvatnom području promatranog sustava nalaze i privredni subjekti (industrija). Tehnološke otpadne vode također su obuhvaćene Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/20). Prema tome, za sve koji iz proizvodnih procesa ispuštaju tehnološke otpadne vode postoji zakonska obveza za njihovim adekvatnim zbrinjavanjem, odnosno potrebnim stupnjem pročišćavanja prije konačnog ispuštanja u sustav javne odvodnje ili površinska vodna tijela. Prema odredbama iz Pravilnika, u tablici su za pojedine pokazatelje kakvoće voda prikazane njihove granične vrijednosti, odnosno dozvoljene koncentracije opasnih i drugih tvari u tehnološkim otpadnim vodama, koje se ispuštaju u površinske vode ili u sustav javne odvodnje.

Granične vrijednosti pokazatelja odnosno dozvoljene koncentracije u tehnološkim otpadnim vodama, koje se ispuštaju u sustav javne odvodnje, posebno se određuju za BPK5, KPK, ukupni fosfor i ukupni dušik. [3]

Tablica 2. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u pročišćenim otpadnim vodama u slučaju njihovog ispuštanja u okoliš (površinska vodna tijela) i sustav javne odvodnje

FIZIKALNO-KEMIJSKI I ORGANSKI POKAZATELJI			
1. pH-vrijednost		6,5 – 9,0	6,5 – 9,5
2. Temperatura	°C	30	40
3. ΔTR ne više od	°C	5	–
4. Boja		bez	–
5. Miris		bez	–
6. Taložive tvari	ml/lh	0,5	10
7. Suspendirana tvar	mg/l	35	(c)
8. BPK ₅	mg/l	25	250
9. KPK	mg/l	125	700
10. UKUPNI DUŠIK	mg/l	15	50
11. UKUPNI FOSFOR	mg/l	2	10

5. PONOVA UPOTREBA PROČIŠĆENE OTPADNE VODE

Ponovna upotreba definira se kao radnja ili praksa ponovnog korištenja, bilo za svoju prvobitnu svrhu ili za ispunjavanje različite funkcije. Takva radnja omogućava dostupnost resursa u područjima gdje su sredstva ograničena te pridonosi održivom razvoju koji je bitan za očuvanje okoliša za sljedeće generacije, očuvanje flore i faune te ublažavanje klimatskih promjena.

Danas se sve češće pojam održivog razvoja koristi i u procesima obrade otpadnih voda te se uvodi pojam „vodeni otisak“. Vodeni otisak spada u tzv. „obitelj otisaka“ kao što su ekološki otisak i otisak ugljika [4] [5]. Dugoročno gledano, s ciljem održivosti, svrha obrade otpadnih voda neće biti samo zaštita ljudskog zdravlja i površinskih voda nego i kontrolirano korištenje resursa te smanjenje potrošnje energije i vode.

5.1. Stanje u svijetu

Ponovna upotreba otpadne vode ima mnoge prednosti kao što su manje ispuštanje otpadnih voda u recipijent, manja potrošnja pitke vode te financijske uštede. Naravno da ima i nedostataka. Na primjer, mogućnost ugrožavanja ljudskog zdravlja i kontaminacijapodzemnih voda. Nedostatci se mogu smanjiti korištenjem membranskih tehnologija koje su vrlo popularne u obradi otpadnih voda, kao i u kasnijoj obradi za ponovnu upotrebu. Membrane imaju veliku prednost, to jest mogućnost uklanjanja otopljenih tvari, organskih spojeva, spojeva s dušikom i fosforom te patogena poput bakterija i virusa [6].

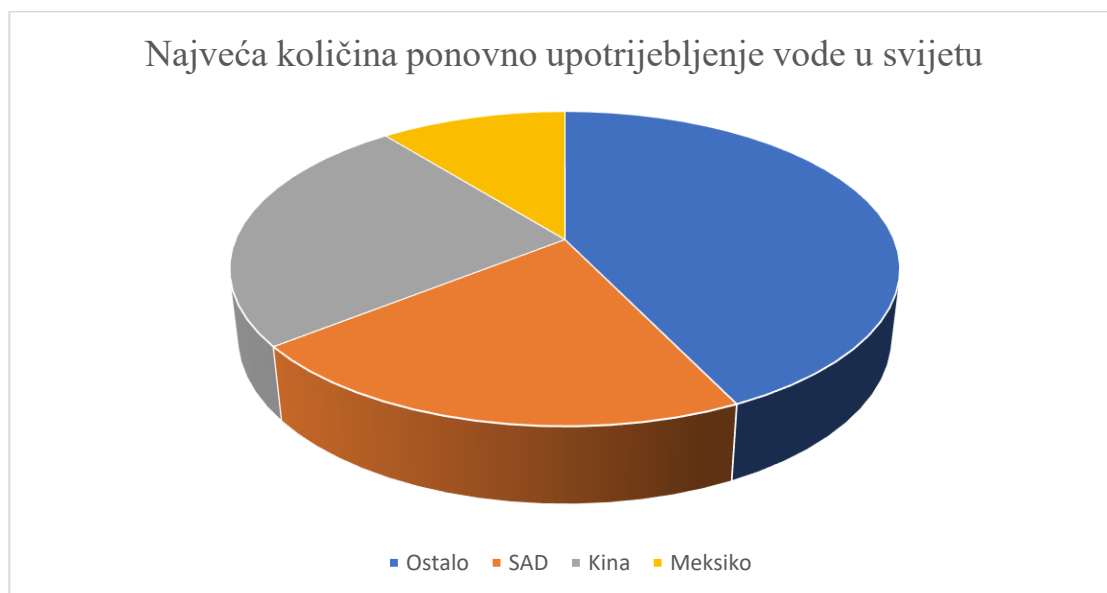
U svijetu su Kina, Meksiko i Sjedinjene Američke Države zemlje s najvećom količinom ponovno upotrijebljene otpadne vode dok su Katar, Izrael i Kuvajt u vrhu tablice zemalja s najvećim stupnjem ponovnog korištenja po glavi stanovnika. Kina je na prvom mjestu u ukupnoj ponovnoj upotrebi vode, a Katar je prvi po ponovnoj upotrebi vode po glavi stanovnika. Kuvajt ima udio ponovno korištene vode od 2,2 % ukupno iskorištene vode, dok SAD obrađuje 7,6 milijuna m³/danu za ponovnu upotrebu. U svijetu se trenutno obradi iponovno upotrijebi 1 milijarda m³ vode godišnje. Potencijal je puno veći, ali to ovisi o ekonomskoj isplativosti te mogućnosti korištenja takve vode i zakonskoj regulativi.

Sulaibiya je najveće svjetsko postrojenje za obradu otpadne vode za ponovnu upotrebu pomoću membranske tehnologije. Nalazi se u blizini Kuvajta i obradi 375 000 m³/dan. Takva voda nije za piće te se miješa sa boćatom vodom. Influent koji prolazi proces pročišćavanja prvo prolazi primarnu obradu, a zatim slijedi biološka obrada.

Cilj biološke obrade je proizvesti efluent s BPK (biološka potrošnja kisika) i TSS (ukupna suspendirana tvar) vrijednostima ne većim od 20 mg/L.

Nakon biološke obrade slijedi ultrafiltracija (UF) i reverzna osmoza (RO) gdje efluent postaje upotrebljiv za ponovnu upotrebu. Kombinacija prethodno spomenutih membrana (UF+RO) omogućuje uklanjanje bakterija i patogena i tako nastaje voda zadovoljavajuće kvalitete za ponovnu upotrebu [6].

Ujedinjeni narodi (UN) su za Svjetski dan voda u 2017. godini obrađivali tematiku otpadnih voda što je pomoglo podizanju svijesti za rješavanje tog globalnog problema. Prema ciljevima održivog razvoja koje je predložio UN u svjetskom izvješću „Water Development“ iz 2017., obvezuju se vlade na prepolovljavanje udjela nepročišćenih otpadnih voda i znatno povećanje recikliranja i sigurne ponovne uporabe do 2030. godine.

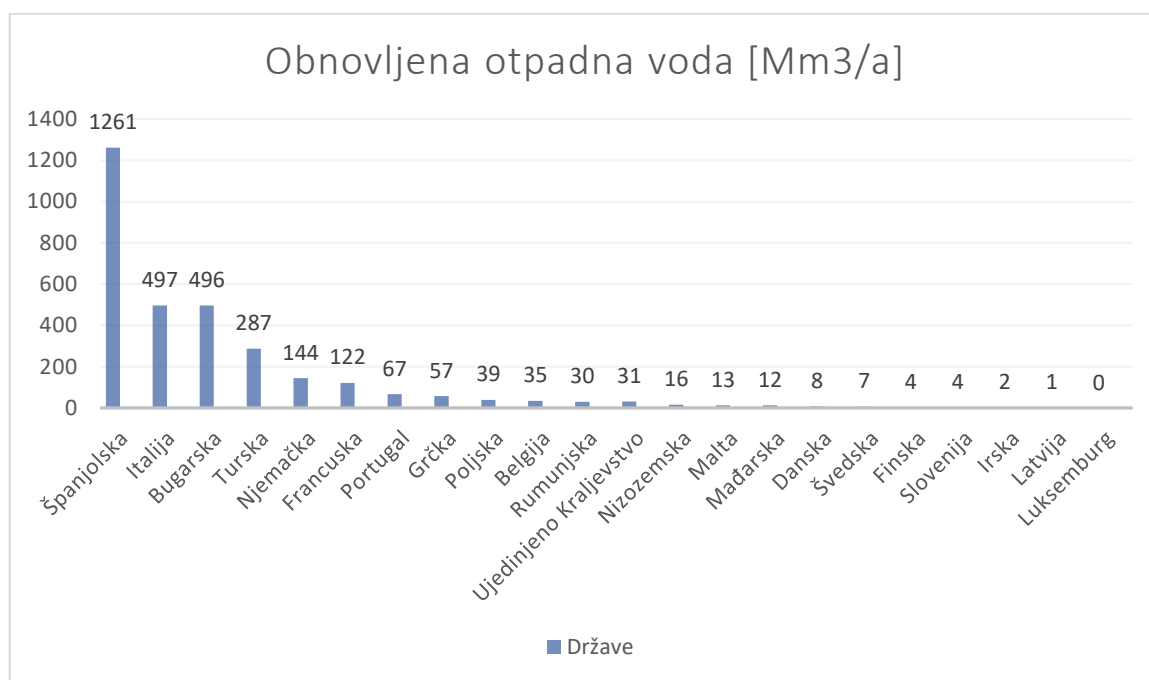


Slika 1. Prikaz stanja u svijetu

Danas, oko 80% otpadnih voda bez prethodne obrade završi u površinskim vodnim tijelima (vodotocima i morima) čime se ugrožava zdravlje ljudi i okoliš. Osim prethodno spomenutog izvješća, o otpadnoj vodi kao alternativnom resursu govori Svjetsko izvješće o razvoju vode iz 2017. godine. To izvješće prikazuje tehničke aspekte otpadne vode, zakone vezane za ponovnu uporabu vode, te regionalne aspekte tog područja za cijeli svijet.

U Europi 71% otpadne vode prolazi neki stupanj pročišćavanja, a u Južnoj Americi taj udio čini samo 20%. Svjetsko tržište ponovne upotrebe otpadne vode u 2016. godini doseglo je zaradu od 12,2 milijarde dolara, dok se za 2023. godinu procjenjuje rast za 100%. Ovakav podatak prikazuje velike potrebe za ovakvom industrijom te pogodnosti za okoliš, ekonomiju i klimatske promjene što je razlog da se u Europskoj uniji ponovnoj upotrebi pristupa vrlo ozbiljno.

Izvešće o ponovnoj upotrebi vode iz 2013. godine donosi prikaz trendova i trenutne situacije u toj industriji. Slika broj [2] prikazuje potencijal zemalja EU-a za ponovnu upotrebu otpadne vode [7] [8].



Slika 2. Potencijal ponovne upotrebe otpadnih voda zemalja EU-a [8]

Ponovna uporaba vode u EU-u trenutačno je daleko od ostvarivanja svojeg potencijala, unatoč činjenici da su utjecaj na okoliš i energija potrebna za zahvaćanje i distribuciju slatke vode puno veći. Štoviše, trećina područja EU-a suočava se s problemima u opskrbi vodom tijekom cijele godine, a nestašica vode i dalje je važno pitanje za mnoge države članice EU-a. Sve nepredvidljiviji meteorološki uvjeti, uključujući velike suše, također će vjerojatno imati negativne posljedice na količinu i kvalitetu slatkovodnih resursa. Novim se pravilima nastoji osigurati da se na najbolji način iskoristi pročišćena voda iz uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda te se na taj način omogući pouzdan alternativni način opskrbe vodom. Iskorištavanjem otpadne vode koja nije za piće kao novog načina opskrbe vodom pridonijet će se i ostvarivanju financijskih ušteda i koristi za okoliš. Europska komisija predlaže [8] [9]:

- minimalne zahtjeve za ponovnu upotrebu vode, koji obuhvaćaju mikrobiološke elemente te zahtjeve za rutinsko i validacijsko praćenje. Utvrđivanjem minimalnih zahtjeva jamčit će se da je pročišćena voda proizvedena u skladu s novim pravilima sigurna za navodnjavanje,
- upravljanje rizicima na temelju kojeg se moraju ukloniti sve dodatne opasnosti kako bi ponovna uporaba vode bila sigurna,
- povećanu transparentnost pomoću koje će javnost na internetu imati pristup informacijama o praksi ponovne uporabe vode u svojoj državi članici.

5.2. Mogućnost i načini korištenja vode u građevinskoj industriji

Korištenje pročišćene vode u građevinskoj industriji ima niz prednosti, uključujući očuvanje pitke vode i smanjenje opterećenja na okoliš. U nastavku se navodi nekoliko mogućnosti i načina kako se pročišćena voda može koristiti u građevinskoj industriji:

- Građevinske operacije i radovi: Pročišćena voda može se koristiti za različite građevinske radove, kao što su miješanje betona, priprema morta, suhi preljev i hlađenje opreme. Korištenjem pročišćene vode za ove svrhe, smanjuje se potreba za korištenjem pitke vode iz sustava javne vodoopskrbe čime se ostvaruju uštede i štite se prirodni vodni resursi.
- Navodnjavanje: U nekim slučajevima, pročišćena voda može biti korištena za navodnjavanje zelenih površina, kao što su travnjaci ili zasad voćaka i povrća. Ovakav pristup pomaže u očuvanju pitke vode za ljudsku potrošnju i osigurava kvalitetan rast biljaka.
- Punjenje gradilišnih bazena: Na gradilištima često postoje privremeni bazeni za skladištenje vode potrebne za radove. Korištenjem pročišćene vode za ove bazene, umanjuje se potreba za upotrebom pitke vode iz sustava javne vodoopskrbe svježije vode.
- Sprinkler sustavi: U većim građevinama, poput stambenih zgrada ili uredskih kompleksa, pročišćena voda može se koristiti za napajanje sprinkler sustava za zaštitu od požara.
- Sanitarni sustavi: Pročišćena voda može se koristiti u sanitarnim sustavima građevina za ispiranje WC-a i druge potrebe. Upotrebom pročišćene vode za ovakve svrhe, smanjuje se opterećenje na kanalizacijski sustav, a smanjuje se i korištenje pitke vode iz sustava javne vodoopskrbe

- Održavanje građevina: Pročišćena voda može se koristiti i za održavanje građevina, kao što je pranje fasada, prozora i drugih površina. Ovime se također smanjuje potrošnja pitke vode iz sustava javne vodoopskrbe i čuva okoliš.

Važno je napomenuti da se uvijek moraju poštivati lokalni propisi i standardi kvalitete vode kada se koristi pročišćena voda u građevinske svrhe. U nekim slučajevima, potrebno je provesti dodatne tretmane vode kako bi se osigurala njena odgovarajuća kvaliteta za određene namjene. U svakom slučaju, korištenje pročišćene vode u građevinskoj industriji predstavlja ekološki osviješten i održiv pristup.

Standardi kvalitete vode za korištenje pročišćene vode u građevinske svrhe mogu se razlikovati ovisno o zakonodavstvu i lokalnim propisima svake zemlje ili regije. Općenito, standardi kvalitete vode za građevinske svrhe često se temelje na smjernicama i normama koje su razvijene od strane organizacija koje se bave vodnim resursima i javnim zdravstvom.

Najčešće organizacije koje postavljaju smjernice i standarde kvalitete vode u građevinske svrhe su Svjetska zdravstvena organizacija (WHO), Američka agencija za zaštitu okoliša (EPA), Europska agencija za okoliš (EEA) i slične organizacije na nacionalnoj i regionalnoj razini. Opće smjernice za kvalitetu vode za ponovnu upotrebu u građevinskim projektima mogu uključivati sljedeće parametre i maksimalne koncentracije:

Tablica 3. Standardi koje ispunjava pročišćena voda za ponovno korištenje [10]

Parametar	Maksimalna koncentracija
Totalna otopina čvrstih tvari	< 10 mg/L
BPK (Biokemijska potrošnja kisika)	< 10 mg/L
KPK (Kemijska potrošnja kisika)	< 50 mg/L
Suspendirane čestice	< 10 mg/L
Ukupni dušik	< 10 mg/L
Ukupni fosfor	< 1 mg/L
Bakterijski indeks (<i>Escherichia coli</i>)	< 100 CFU/mL
pH vrijednost	6.5 - 8.5
Elektroprovodljivost	< 1500 μ S/cm
Turbidnost	< 5 NTU

Ovi su podaci općeniti i mogu varirati ovisno o specifičnim zahtjevima, zakonodavstvu i standardima ovisno o području. Važno je konzultirati lokalne vodopravne i građevinske propise te kontakte nadležnih tijela kako biste dobili točne i ažurirane smjernice za određenu regiju.

Važno je naglasiti da se standardi kvalitete vode mogu mijenjati ovisno o namjeni pročišćene vode (betoniranje, hlađenje betona itd.), tj. voda može biti nešto lošijih parametara za razliku od navedeni u tablici. Npr. korištenje vode u građevinarstvu pri proizvodnji opeke i visokim temperaturama u peći nema potrebe za ovako kvalitetnom vodom.

6. VRSTE PROIZVODA U KOJIMA JE KORIŠĆENA PROČIŠĆENA VODA

Rezultati i karakteristike gotovih proizvoda koji su proizvedeni korištenjem pročišćene vode ovise o mnogim čimbenicima, uključujući kvalitetu pročišćene vode, vrstu proizvoda, proces proizvodnje i druge faktore.

Potrebno je pratiti kvalitetu pročišćene vode jer ona ima ključnu ulogu u procesima. Nečistoće u vodi mogu imati negativan utjecaj na gotov proizvod, stoga je važno pažljivo pratiti i održavati sustave pročišćavanja kako bi se osigurala konzistentna i visoka kvaliteta vode za proizvodnju. Također, proizvođači često provode testiranja gotovih proizvoda kako bi potvrdili usklađenost s propisanim standardima i specifikacijama.

- **Prehrambeni proizvodi:** Korištenje pročišćene vode u prehrambenoj industriji može rezultirati proizvodima koji zadovoljavaju strože higijenske standarde i imaju bolju stabilnost. Pročišćena voda osigurava da proizvodi nemaju neugodan miris, okus ili boju koji bi mogli potjecati od nečistoća u vodi. Primjeri proizvoda mogu uključivati razne napitke, konzerviranu hranu, pakirane proizvode i slično.
- **Farmaceutski proizvodi:** Pročišćena voda često se koristi u proizvodnji lijekova i farmaceutskih proizvoda. Visoka kvaliteta vode je ključna u ovim industrijama kako bi se osigurala čistoća i pouzdanost lijekova.
- **Kozmetički proizvodi:** Pročišćena voda koristi se u proizvodnji kozmetičkih proizvoda, uključujući losione, kreme, šampone i slično. To pomaže u osiguravanju kvalitete i dugotrajnosti proizvoda.
- **Građevinski materijali i industrija:** U proizvodnji građevinskih materijala, poput betona, morta, opeke i slično, korištenje pročišćene vode može pozitivno utjecati na njihove mehaničke karakteristike i trajnost.
- **Elektronika:** Pročišćena voda koristi se u proizvodnji poluvodiča i drugih elektroničkih komponenti kako bi se izbjeglo oštećenje osjetljivih dijelova od mineralnih tvari i onečišćujuće tvari.

6.1. Proizvodi u građevinskoj industriji

Građevinski materijali:

- Beton i mort: Upotreba pročišćene vode u miješanju betona i morta može pomoći u poboljšanju čvrstoće, trajnosti i otpornosti na mraz gotovih građevinskih materijala.
- Opeka i blokovi: Korištenje pročišćene vode u proizvodnji opeke i blokova može rezultirati proizvodima veće čvrstoće i stabilnosti strukture.
- Gipsani proizvodi: Gips se koristi u proizvodnji različitih građevinskih elemenata, poput gipsanih ploča i ukrasnih elemenata. Voda se dodaje gipsu kako bi se stvorila plastificirana masa koja se lako oblikuje i stvrdnjava.
- Asfaltna smjesa: U proizvodnji asfaltne smjese koja se koristi za izgradnju cesta, voda se koristi za miješanje bitumena s agregatima i punjenje praznina kako bi se dobila kompaktna i trajna površina

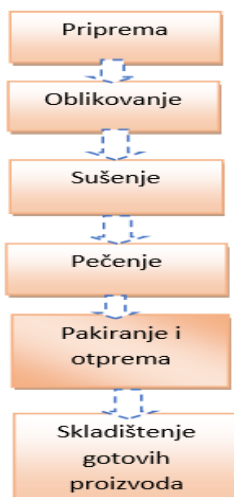
6.2. Opis rezultata vezanih uz karakteristike gotovih proizvoda u čijoj je proizvodnji korištena pročišćena voda

Proizvodnja opeke se može grupirati u dvije različite tehnološke cjeline:

- Eksploatacija sirovine na gliništu
- Proizvodnja opeke i opekarskih proizvoda
- Proizvodnja opeke se sastoji od pripreme, oblikovanja, sušenja, pakiranja i otpreme te na samom kraju skladištenje gotovih proizvoda.

Dobava sirovine je proces koji se sastoji od 3 faze:

- odstranjivanje površinskog sloja,
- iskopa gline,
- prijevoza gline do vanjske deponije na lokaciju postrojenja te
- sanacije terena u glinokopu.



Slika 3. Faze u proizvodnji opeke

Priprema (fina i grupa prerada) i oblikovanje sirovine:

Gruba prerada odvija se izvan proizvodne hale. Grubi mlin ukopan je u zemlju i natkriven čime se smanjuje širenje prašine. Gruba prerada sastoji se od jednolikog zahvaćanja sirovine utovarim strojem, punjenja sandučastog dodavača i doziranja u grubi mlin. U fazi grube pripreme sirovine na transportnoj traci se miješa glina sa krutim otpadom, zauljenom vodom te ostalim tekućim otpadima. Nakon gnječenja i homogenizacije u grubom mlinu glineni kompozit se transportnom trakom (uz adekvatno vlaženje) otprema na tehnološko odležavalište koje ujedno služi i kao međuskladište.

Fina prerada počinje poprečnim „struganjem” gline sa odležavališta pomoću utovarivača i transportiranjem u sandučasti dodavač. Uz dodavač se nalaze i još dva dozatora preko kojih se mogu dozirati manji dodatci kao što je hidratizirano vapno, otpadni muljevi i sl. Nakon toga slijede grubi i fini valjkasti mlin i još jedan dozator za moguće ostale dodatke. Sljedeći korak je miješanje i zaparivanje u dvoosovinskoj miješalici vakuum-preše pa vakuumiranje i istiskivanje kroz određenu matricu —usnik. Konačno oblikovanje obavlja se rezanjem istisnute i profilirane glinene trake na blokove propisane veličine.

Sušenje i pečenje sirovine:

Pečenje proizvoda se sastoji od 3 faze (zagrijavanje, pečenje i hlađenje proizvoda) Nakon pečenja stanje proizvod se prati na sljedeće načine: vizualnom kontrolom stanja u peći kroz otvore na postoljima plamenika i kroz slobodne otvore za loženje, praćenjem temperatura u pojedinim zonama peći na ekranu smještenom na upravljačkom ormaru peći, kao i temperatura, koje printer ispisuje neposredno prije svakog uvođenja nove polovice vagona u tunelsku peć, pregledom vagona sa pečenim proizvodima na izlazu iz tunelske peći. Nakon završenog procesa opeka se adekvatno priprema i otprema do kupaca kamionima.

6.2.1. Proizvodnja opeke s dodatkom EK mulja u različitim postotcima

Tijekom proizvodnje laboratorijskih opeka korišten je mulj generiran tijekom elektrokemijskog procesa pročišćavanja zauljenih otpadnih voda koji je sušen konvencionalno pri 105°C, žaren na 550°C, dekantiran mokri mulj i tehnološka pročišćena voda.



Slika 4. Priprema mulja postupkom filtracije za proces sušenja i žarenja

Proizvedeno je ukupno 10 serija opeka: opeka sa ugrađenim konvencionalno sušenim muljem u postotcima 1%, 10% i 20%, dekantirani mulj u postotcima 5%, 10%, 20% i 100% glina i dekantirani mulj koji je korišten za homogenizaciju sirovina umjesto pitke vode.

Za svaku seriju proizvedeno je 30 opeka u obliku diska, dimenzija: promjer $d=50$ mm, debljina $s=14$ mm, masa $m=41-52$ g.

Tablica 4. Udjeli sirovina u smjesi za proizvodnju opeka sa konvencionalno sušenim muljem

Udio / %	1%	10%	20%
Glina	99	90	80
Voda	33	30	37
Otpad**	1	10	20

Tablica 5. Udjeli sirovina u smjesi za proizvodnju opeka sa dekantiranim muljem

Udio / %	5%	10%	20%	100% glina+dekantirani mulj
Glina	95	90	80	100
Voda	23	20	8,6	-
Otpad***	5	10	20	37

Tablica 6. Udjeli sirovina u smjesi za proizvodnju opeka sa žarenim muljem

Udio / %	5%	10%	20%
Glina	95	90	80
Voda	29	29	
Otpad***	5	10	

Proizvedene su laboratorijske opeke sa ugrađenom tehnološkom pročišćenom vodom umjesto vode za piće.

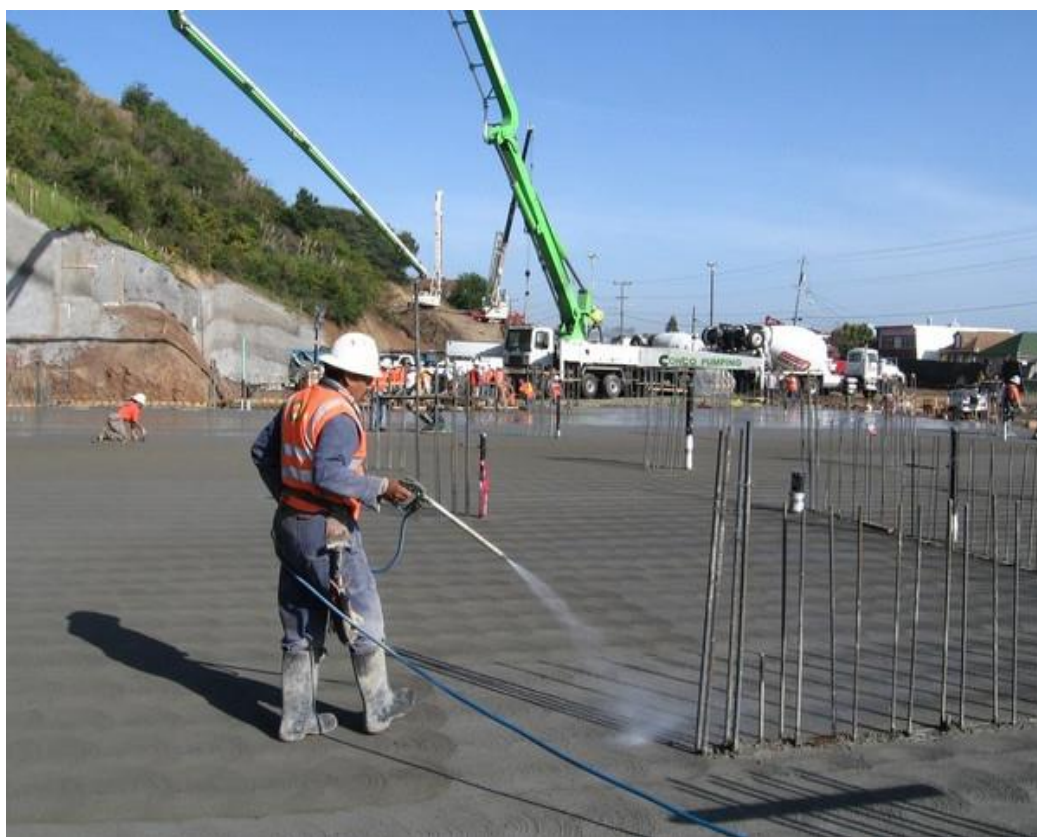


Slika 5. Gotovi proizvod opeke

6.3. Upotreba i rezultat korištenja pročišćene otpadne vode

U nastavku su prikazani različiti primjeri iz prakse vezani za upotrebu i rezultate korištenja pročišćene otpadne vode u građevinskoj industriji:

- Zalijevanje građevinskih materijala: Pročišćena voda može se koristiti za zalijevanje svježe postavljenog betona, opeke, kamena i drugih građevinskih materijala tijekom razdoblja nakon postavljanja. Zalijevanje se obično provodi nekoliko puta tijekom nekoliko dana kako bi se održala vlažnost površine i spriječilo brzo isparavanje vode. Time se sprječava stvaranje površinskih pukotina i osigurava bolja čvrstoća i trajnost materijala.



Slika 6. Korištenje otpadne vode pri zalijevanju građevinskih materijala na gradilištima (<https://www.gradnja.me/clanak/623/koliko-je-bitno-pravilno-njegovanje-betona>)

- Hlađenje opreme: Građevinske operacije kao što su bušenje, rezanje ili brušenje stvaraju toplinu koja može negativno utjecati na alate i opremu. Korištenjem pročišćene vode za hlađenje tih alatnih strojeva, smanjuje se rizik od pregrijavanja, čime se produljuje njihov vijek trajanja i povećava učinkovitost rada.

- Građevinski bazeni: Na gradilištima gdje je potrebno skladištenje velikih količina vode, mogu se koristiti privremeni građevinski bazeni. Pročišćena voda može se koristiti za punjenje ovih bazena, čime se smanjuje potrošnja pitke vode koja bi inače bila potrebna za ove svrhe. Kada se pročišćena voda više ne koristi, može se obraditi i reciklirati za druge svrhe ili se vratiti u prirodno okruženje.



Slika 7. Korištenje otpadne vode kao tehnološke na stočarskoj farmi

(<https://webgradnja.hr/clanci/bazeni-za-pohranu-otpadnih-voda-u-stocarskim-farmama-spremnici-za-tekucu-gnojnicu/598>)

- Pražnjenje građevinskih jama: Tijekom izgradnje temeljnih jama, kanala ili drugih iskopina, često se koristi voda za ispiranje i pražnjenje ovih jama. Pročišćena voda je prikladna za ovu svrhu jer sprječava zagađenje tla i podzemnih voda tijekom postupka pražnjenja.
- Građevinsko čišćenje: Pročišćena voda može se koristiti za pranje i čišćenje građevinskih površina kao što su fasade, prozori i podovi. Budući da je pročišćena voda oslobođena nečistoća i minerala, ne ostavlja mrlje i tragove na površinama, što rezultira čistijim i atraktivnijim izgledom građevine.



Slika 8. Korištenje otpadne vode za čišćenje fasada (<https://cisto.hr/pranje-i-pjeskarenje-fasade/>)

- Sustavi navodnjavanja i drenaže: Pročišćena voda može se koristiti u sustavima navodnjavanja kako bi se održavale zelene površine i biljke oko građevinskih objekata. Također, može se koristiti u sustavima drenaže kako bi se smanjilo opterećenje na kanalizacijske sustave. Ovo pomaže u očuvanju okoliša i smanjenju potrošnje svježeg vode.
- Suvremeni završni premazi: U proizvodnji suvremenih završnih premaza, kao što su boje, lakovi i premazi, pročišćena voda može se koristiti kao otapalo ili osnova za mješavinu. Ovakav pristup može smanjiti upotrebu tradicionalnih otapala koja mogu sadržavati štetne tvari.
- Izolacijski materijali: Pročišćena voda može se koristiti u proizvodnji različitih izolacijskih materijala, kao što su stiropor, mineralna vuna i poliuretanska pjena. Ovime se osigurava čistoća i kvaliteta izolacijskih materijala, koji igraju ključnu ulogu u energetske učinkovitosti građevina.
- Krovni premazi: U proizvodnji krovova i krovnih premaza, pročišćena voda može se koristiti za miješanje premaza koji se nanose na površine kako bi se zaštitile od vode, sunca i drugih atmosferskih utjecaja.

- Hidroizolacija: U proizvodnji hidroizolacijskih materijala, poput tekućih hidroizolacija i bitumenskih membrana, pročišćena voda igra važnu ulogu u osiguravanju kvalitete i trajnosti tih materijala.



Slika 9. Korištenje otpadne vode za u proizvodnji hidroizolacijskih materijala i njihovom korištenju na gradilištima (<https://palir.hr/hidroizolacija-temelja/>)

U građevinskoj industriji često se koriste velike količine vode, pa korištenje pročišćene vode može značajno doprinijeti uštedi resursa i smanjenju utjecaja na okoliš. Također, pravilno rukovanje i odlaganje pročišćene vode, kako bi se spriječilo zagađenje, također su važni aspekti održive prakse u građevinskoj industriji. Ugrađivanje sustava za pročišćavanje vode na gradilištima može pružiti održiv pristup upravljanju vodnim resursima, a istovremeno smanjiti utjecaj na okoliš i pomoći u štednji vode. Sve ove prakse igraju ključnu ulogu u promicanju održive građevinske industrije.

7. ZAKLJUČAK

Voda je vrlo bitan i nezamjenjiv resurs kao temeljni čimbenik ljudskog opstanka, gospodarskog i urbanog razvoja. Međutim, zbog gospodarskog razvoja i porasta stanovništva znatno su se povećale količine otpadnih voda. Današnje gospodarenje vodenim resursima je neodrživo za budućnost i bez odgovarajućeg održivog upravljanja s ciljem štednje i optimizacijom iskorištavanja vode, količine vodnih resursa će biti ugrožene. Da ne bi došlo do onečišćenja prirodnog vodenog sustava prije ispuštanja u okoliš, otpadne vode potrebno je provesti kroz sustav pročišćavanja kako bi zadovoljile određene uvjete kvalitete. Sve se više pažnje posvećuje zaštiti okoliša i održivom razvoju te se može reći da ponovna upotreba otpadne vode može pozitivno utjecati na količine pitke vode, smanjenje onečišćenja u vodotocima i donijeti financijske uštede.

U ovom radu posebno su opisani rezultati i primjena pročišćene otpadne voda u građevinskoj industriji. Potrebno je što više koristiti sustave za pročišćavanje otpadnih voda prvenstveno da se ne ugrozi okoliš. Ponovnom upotrebom pročišćene otpadne vode se postiže ekonomska učinkovitost kojom se smanjuju operativni troškovi.

Ponovna upotreba otpadne vode je put k održivom razvoju te se može na siguran način primijeniti za razne svrhe kao što je poljoprivreda, industrija, građevina i dr. Obradenu otpadnu vodu treba gledati kao alternativni resurs koji se može ponovno iskoristi i pridonijeti očuvanju prirodnih izvora vode.

8. POPIS LITERATURE

[1] Tušar Božena (2009), Pročišćavanje otpadnih voda

[2] <http://www.asio.cz/hr/>, teh. dok. tvrtke Asio d.o.o.

[3] <https://webgradnja.hr/>

[4]]Daly, Toward some operational principles of sustainable development
https://www.academia.edu/5024984/Commentary_TOWARD_SOME_OPERATIONAL_PRINCIPLES_OF_SUSTAINABLE_DEVELOPMENT_

[5] P. K. Cornejo, M. V. E. Santana, D. R. Hokanson, J. R. Mihelcic i Q. Zhang, Carbonfootprint of water reuse and desalination: a review of greenhouse gas emissions and estimation tools:

https://www.researchgate.net/publication/277676134_Carbon_footprint_of_water_reuse_and_desalination_A_review_of_greenhouse_gas_emissions_and_estimation_tools

[6] Where Is the Most Water Reuse Taking Place, Fluence 2017:

<https://www.fluencecorp.com/where-is-the-most-water-reuse-taking-place/>

[7] IWA, Wasterwater report 2018:

<http://www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2018/02/OFID-Wastewater-report-2018.pdf>

[8] Optimising water reuse in the EU, 2013

http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/BIO_IA%20on%20water%20reuse_Final%20Part%20I.pdf

[9] Prijedlog uredbe europskog parlamenta i vijeća o minimalnim zahtjevima za ponovnu uporabu vode

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/ALL/?uri=COM:2018:0337:FIN>

[10] Tedeschi, S. (1997). Zaštita voda. Zagreb: Hrvatsko društvo građevinskih inženjera.

9. POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz stanja u svijetu	11
Slika 2. Potencijal ponovne upotrebe otpadnih voda zemalja EU-a	12
Slika 3. Faze u proizvodnji opeke.....	18
Slika 4. Priprema mulja postupkom filtracije za proces sušenja i žarenja.....	19
Slika 5. Gotovi proizvod opeke.....	20
Slika 6. Korištenje otpadne vode pri zalijevanju građevinskih materijala na gradilištima.....	21
Slika 7. Korištenje otpadne vode kao tehnološke na stočarskoj farmi	22
Slika 8. Korištenje otpadne vode za čišćenje fasada	23
Slika 9. Korištenje otpadne vode za u proizvodnji hidroizolacijskih materijala i njihovom korištenju na gradilištima	24

10. POPIS TABLICA

Tablica 1: Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda	5
Tablica 2: Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u pročišćenim otpadnim vodama u slučaju njihovog ispuštanja u okoliš (površinska vodna tijela) i sustav javne odvodnje	9
Tablica 3: Standardi koje ispunjava pročišćena voda za ponovno korištenje	14
Tablica 4: Udjeli sirovina u smjesi za proizvodnju opeka sa konvencionalno sušenim muljem.....	19
Tablica 5: Udjeli sirovina u smjesi za proizvodnju opeka sa dekantiranim muljem	20
Tablica 6: Udjeli sirovina u smjesi za proizvodnju opeka sa žarenim muljem	20