

Raziskovalna naloga

SO ZELENE STENE LE ZA OKRAS ALI LAHKO Z NJIMI ČISTIMO SIVO VODO?

Raziskovalno področje: Kemija

Avtorica: Zala Kralj

Mentorici: doc. dr. Darja Istenič, univ. dipl. biol. (Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, FGG UL) in Jožica Nusdorfer, prof. kem. (Gimnazija Nova Gorica)

Nova Gorica, šol. l. 2024/25

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA.....	6
POVZETEK	7
ABSTRACT	7
1 UVOD.....	9
1.1 Siva voda za namakanje zelenih sten	9
1.2 Raziskovalni vprašanji.....	9
1.3 Hipotezi	10
2 TEORETIČNI DEL.....	11
2.1 Siva voda.....	11
2.1.1 Ponovna uporaba sive vode.....	11
2.1.2 Sestava sive vode	12
2.1.3 Fizikalne lastnosti sive vode	13
2.1.4 Kemijska onesnaževala	13
2.1.5 Biološke značilnosti	14
2.2 Vpliv sive vode na okolje	14
2.2.1 Kmetijstvo in kakovost tal	14
2.3 Sistemi za čiščenje sive vode.....	15
2.3.1 Intenzivne tehnologije	15
2.3.2 Ekstenzivne tehnologije	16
2.4 Zelene stene	16
2.4.1 Tehnologije zelenih sten.....	17
2.4.1.1 Hidroponski sistemi.....	17
2.4.1.2 Modularne stene	19
2.4.3 Substrati za zelene stene.....	20
2.4.4 Vegetacija.....	20
2.4.5 Maranta.....	20
3 EKSPERIMENTALNI DEL	22
3.1 Določanje detergentov.....	22
3.3 Pripomočki za delo v kemijskem laboratoriju	25
3.4 Substrati za zelene stene.....	26

3.4.1 Kamena volna.....	26
3.4.2 Perlit	26
3.4.3 Kokosova vlakna	27
3.4.4 Pesek.....	27
3.4.5 Zemlja za lončnice	27
3.5 Izvedba lončnega poskusa.....	27
3.6. Določanje poljske kapacitete zadrževanja vode, pH substrata in elektroprevodnosti.....	29
3.6.1 Določanje poljske kapacitete.....	29
3.6.2 Merjenje pH in elektroprevodnosti substrata	29
4 REZULTATI	31
4.1 Meritve poljske kapacitete zadrževanja vode, pH in elektroprevodnosti substrata	31
4.2 Določanje SDS v vzorcih SV	32
5 RAZPRAVA.....	36
5.1 Kamena volna	36
5.2 Perlit:pesek:kokosova vlakna	37
5.3 Zemlja za lončnice	39
6 ZAKLJUČEK	41
7 VIRI IN LITERATURA – po abecednem vrstnem redu	43
8. VIRI SLIK	44

Kazalo slik

SLIKA 1: VIRI SIVE VODE	10
SLIKA 2: MOŽNOST PONOVNE UPORABE SIVE VODE	11
SLIKA 3: UPORABA SV ZA KMETIJSKE NAMENE	14
SLIKA 4: ČIŠČENJE ODPADNE VODE	15
SLIKA 5: PRIKAZ SONARAVNE REŠITVE ZA ČIŠČENJE SV	15
SLIKA 6: ZELENA STENA NA STAVBI V LJUBLJANI	16
SLIKA 8: HIDROPONSKI SISTEM ZELENE STENE	17
SLIKA 7: ZELENA STENA PATRICKA BLANCA	17
SLIKA 9: MODULARNE ŠKATLE	18
SLIKA 10: ZEMLJA ZA LONČNICE IN KAMENA VOLNA KOT SUBSTRATA	19
SLIKA 11: MARANTA (MARANTHA SP.)	20
SLIKA 12: SHEMA EKSTRAKCIJE DETERGENTA Z METILENTSKIM MODRILOM V Kloroform.....	21
SLIKA 13: PRIPRAVA VZORCEV	23

SLIKA 14: SHEMA DOLOČEVANJA DETERGENTA	24
SLIKA 15: POSTAVITEV RAZLIČNIH SUBSTRATOV V LONCE DOMA	26
SLIKA 16: DOLOČANJE ZADRŽEVANJA VODE (LEVO SHEMATSKI PRIKAZ, DESNO REALNI POSKUS)	28

Kazalo tabel

TABELA 1: ČISTILA IN IZDELKI OSEBNE HIGIENE TER NJIHOVE KONCENTRACIJE V SINTEČNI SIVI VODI	27
TABELA 2: SUBSTRATI IN NJIHOVA ZMOŽNOST ZADRŽEVANJA VODE	30
TABELA 3: SUBSTRATI IN NJIHOV PH	30
TABELA 4: SUBSTRATI IN ELEKTROPREVODNOST	31
TABELA 5: MERITVE ABSORBANCE VZORCEV DETERGENTA	31
TABELA 6: REZULTATI LONČNEGA POSKUSA – KONCENTRACIJE DETERGENTA V SV PO DNEVIH POSKUSA OD PRVEGA DNE 12.12.2024 DO ZADNJEGA DNE 16.1.2025, V – OZNAKA ZA KAMENO VOLNO, P – ZA PERLIT, PESEK, KOKOSOVA VLAKNA, R – ZEMLJA ZA LONČNICE Z RASTLINO, Z – ZEMLJA ZA LONČNIC	33

Kazalo grafov

GRAF 1: UMERITVENA PREMICA	32
GRAF 2: REZULTATI ČIŠČENJA DETERGENTOV IZ SV S POMOČJO RAZLIČNIH SUBSTRATOV, 12.12.2024 JE ZAČETNA KONCENTRACIJA SDS V SV	34
GRAF 3: REZULTATI ČIŠČENJA DETERGENTOV IZ SV S POMOČJO KAMENE VOLNE	36
GRAF 4: REZULTATI ČIŠČENJA DETERGENTOV IZ SV S POMOČJO PERLITA, PESKA IN KOKOSOVIH VLAKEN	37
GRAF 5: REZULTATI ČIŠČENJA DETERGENTOV IZ SV S POMOČJO ZEMLJE ZA LONČNICE IN MARANTE	39

Kazalo kratic

SV – siva voda

ČV – črna voda

SDS – natrijev dodecil sulfat (sodium dodecyl sulphate)

P – perlit+pesek+kokosova vlakna v razmerju 1:1:0.02

MV – mineralna volna Knauf Urbanscape®

S – zemlja za lončnice Substrat premium, univerzalna zemlja za lončnice, Substral®

SR – zemlja za lončnice z rastlino (*Maranto – Marantha sp.*)

PAS – površinsko aktivne snovi

BPK – biokemijska potreba po kisiku

KPK – kemijska potreba po kisiku

NBS – sonaravne rešitve (nature based solutions)

ZAHVALA

Z raziskovanjem vedno rada odkrivam nove stvari, zato sem se z veseljem lotila raziskovalne naloge o zelenih stenah. Pri svojem delu sem imela priložnost sodelovati s posamezniki, ki so mi z veseljem pomagali s svojim znanjem in izkušnjami, za kar sem jim iskreno hvaležna.

Vzorci, ki sem jih želela preučiti za namene raziskovalne naloge, sem analizirala na Zdravstveni fakulteti in Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. V kemijskem laboratoriju sem izvajala meritve, spoznala sem laboratorijske metode in inštrumente ter postopke, ki so mi pomagali pri raziskavi.

Iskrena hvala tudi profesorici Jožici Nusdorfer za spodbudo, podporo pri raziskovalnem delu in koristne nasvete, ki so me usmerjali skozi celoten proces. Posebna zahvala gre doc. dr. Darji Istenič, ki je zasnovala poskus ter mi predala jasna navodila in svoje izkušnje, kar mi je omogočilo uspešno izvedbo eksperimenta.

POVZETEK

Zelene stene so zunanje ali notranje vertikalne zasaditve, ki prispevajo k boljšemu izgledu stavbe ali ambienta in prinašajo številne ekosistemске koristi. Komercialne zelene stene so namakane s pitno vodo, v katero se dodajajo mineralna gnojila, kar povečuje okoljski odtis zelene stene.

Komunalno odpadno vodo v zgradbi lahko ločimo na posamezne tokove, in sicer sivo vodo (SV) ter črno vodo (ČV), ki jo odvajamo iz stranišč. Z namenom raziskovanja različnih substratov za rast rastlin v zelenih stenah in hkratnih potencialnih filtrov za čiščenje SV, smo analizirali njihovo sposobnost za zadrževanje anionsko površinsko aktivne snovi - natrijevega dodecilsulfata (sodium dodecyl sulphate – SDS). SDS se uporablja v številnih čistilnih in negovalnih izdelkih ter je zato ena glavnih sestavin SV. V lončnih poskusih smo testirali tri substrate v štirih različicah: 1. substrat za zelene stene (perlit, pesek, kokosova vlakna - oznaka P); 2. mineralna volna Knauf Urbanscape® – oznaka MV; 3. substrat za lončnice – oznaka S; 4. substrat za lončnice z rastlino – oznaka SR). Uporabili smo okrasne sobne rastline *Maranta* sp. (Marantaceae). Vzorčili smo en mesec, vsak 4. dan po zalivanju s 300 mL predpripravljene SV, ki je vsebovala 25 mg/L SDS. Rezultati analize v obdobju enega meseca kažejo visoko učinkovitost odstranjevanja SDS iz SV pri vseh substratih. Po učinkovitosti si od najboljšega do najslabšega sledijo MV (100 %) > SR ≈ S > P (več kot 50%) pri odlični ohranjeni vitalnosti zasajenih rastlin.

Z rezultati teh raziskav smo potrdili, da se SV lahko uporablja za namakanje zelene stene in omogoča alternativo vira vode in hranil, ki se v trenutnem linearnem gospodarjenju z vodnimi viri ne izkorišča.

Ključne besede: siva voda, substrati za rast rastlin, mineralna volna, perlit, pesek, maranta, natrijev dodecil sulfat, metilensko modrilo

ABSTRACT

Green walls are external or internal vertical plantings that contribute to the better appearance of a building or environment and bring numerous ecosystem benefits. Commercial green walls are irrigated with drinking water, to which mineral fertilizers are added, increasing the environmental footprint of the green wall.

Municipal wastewater in the building can be separated into individual streams, namely gray water (GW) and black water (BW), which is discharged from toilets. To investigate various substrates for plant growth in green walls and their potential filters for GW purification, we analyzed their ability to retain the anionic surfactant - sodium dodecyl sulfate (SDS). SDS is used in many cleaning and care products and is therefore one of the main components of GW. In pot experiments, we tested three substrates in four variations: 1. substrate for green walls (perlite, sand, coconut fibers - label P); 2. mineral wool Knauf Urbanscape® - label MW; 3. substrate for potted plants - label S; 4. substrate for potted plants with a plant - label SR). We used ornamental houseplants *Maranta* sp. (Marantaceae). We sampled for one month, every 4th day after watering with 300 mL of pre-prepared GW containing up to 25 mg/L SDS. The results of the analysis over a period of one month show high efficiency in

removing SDS from GW in all substrates. In terms of efficiency, from best to worst, they follow MW (100%) > SR \approx S > P (more than 50%) with excellent preserved vitality of the planted plants.

With the results of these studies, we confirmed that GW can be used to irrigate green walls and provides an alternative source of water and nutrients that are not utilized in the current linear water resource management.

Keywords: gray water, plant growth substrates, mineral wool, perlite, sand, maranta, sodium dodecyl sulfate, methylene blue

1 UVOD

1.1 Siva voda za namakanje zelenih sten

Siva voda (SV) je odpadna voda iz gospodinjstev, ki ne vsebuje fekalij. SV se lahko ponovno uporabi za namakanje vrta, pomivanje tal, pranje avtomobilov ipd., vendar jo je pred tem običajno treba obdelati. Ponovna uporaba SV je trajnostna rešitev za zmanjšanje porabe pitne vode in obremenitve kanalizacijskih sistemov, še posebej v območjih z omejenimi vodnimi viri. Neobdelana SV predstavlja zdravstvena tveganja. Sestava SV je kompleksna, težave pa predstavljajo težke kovine, različne kemikalije in mikroplastika ki lahko adsorbirajo novodobna onesnaževala, ki so hormonski motilci.

Nujno je torej izpostaviti čiščenje SV. Postopki, kot so filtracija, sedimentacija, biološka razgradnja in kemična obdelava, zmanjšajo vsebnost patogenov in onesnaževal, kar omogoča varno uporabo vode za namakanje in druge nepitne namene. SV vsebuje manj onesnaževal kot odpadna voda iz stranišč, zato se za njeno obdelavo uporabljajo enostavnejše tehnologije kot za ČV, saj je SV manj onesnažena kot ČV. Pravilno čiščenje SV prispeva k trajnostnemu upravljanju vodnih virov in ohranjanju ekološkega ravnovesja. Tehnologije za obdelavo SV delimo na intenzivne in ekstenzivne (A.S. Quili in sod. 2024)

Intenzivne tehnologije so energetsko zahtevne in vključujejo postopke, kot so aktivno blato, membranski bioreaktorji ter drugi biološki filtri. Ekstenzivne tehnologije temeljijo na naravnih procesih in so energetsko manj potratne, vendar zahtevajo večjo površino. Primeri so rastlinske čistilne naprave in zelene stene. Zelene strehe in stene prinašajo številne ekosistemske koristi, kot so izboljšanje kakovosti zraka, zmanjšanje toplotnih otokov, povečanje biotske raznovrstnosti in izboljšanje estetskega videza urbanih območij, poleg tega pa lahko tudi čistijo SV. Ključni parameter učinkovitosti čiščenja zelenih sten je skrit v substratih in rastlinah, ki steno sestavljajo. To nas je vodilo v njihovo raziskovanje.

1.2 Raziskovalni vprašanja

Zanimalo nas je, koliko detergenta (izbrali smo natrijev dodecil sulfat, ang. sodium dodecyl sulphate - SDS) lahko zadržijo trije najpogosteje uporabljeni substrati za zelene stene ter koliko k temu prispevajo rastline, saj je o tem narejenih zelo malo raziskav. Proučevali smo naslednje

kombinacije: kamena volna, perlit+pesek+kokosova vlakna ter navadna zemlja za lončnice z rastlino (maranto - *Marantha* sp.) in brez nje.

Zanimalo nas je, kateri substrat bi predlagali nekomu, ki se zanima za izgradnjo zelene stene za čiščenje sive vode, pri čemer smo se omejili na tri glavna vprašanja:

- 1.) Ali bodo substrati sploh zadržali detergent?
- 2.) Ali lahko v enem mesecu ugotovimo razlike med posameznimi substrati za zadrževanje detergenta?
- 3.) Ali bo zaradi zalivanja s SV rastlina propadla?

1.3 Hipotezi

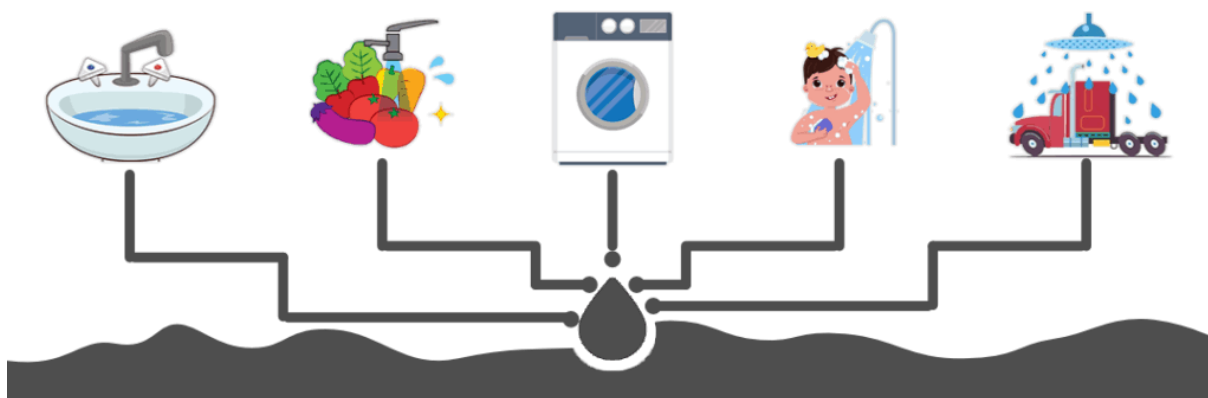
Postavili smo si tri glavne hipoteze.

- 1.) Kombinacija peska, perlita in kokosovih vlaken bo zadržala najmanj detergenta od vseh substratov.
- 2.) Kamena volna, ki ima največjo kapaciteto zadrževanja vode, bo zadržala tudi največ detergenta.
- 3.) Zemlja za lončnice z zasajeno maranto bo zadržala več detergenta kot sama zemlja brez lončnice.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Siva voda

Siva voda (SV v angleščini greywater) je odpadna voda, ki je bila uporabljena za gospodinjske namene, vendar ne vsebuje fekalij. Siva voda je voda iz kopalnih kadi, prh, umivalnikov, pralnih strojev in kuhinjskih korit v gospodinjstvih, poslovnih stavbah, šolah itd., ki se jo lahko z ustreznim razvodom infrastrukturno loči od ČV iz stranišč.



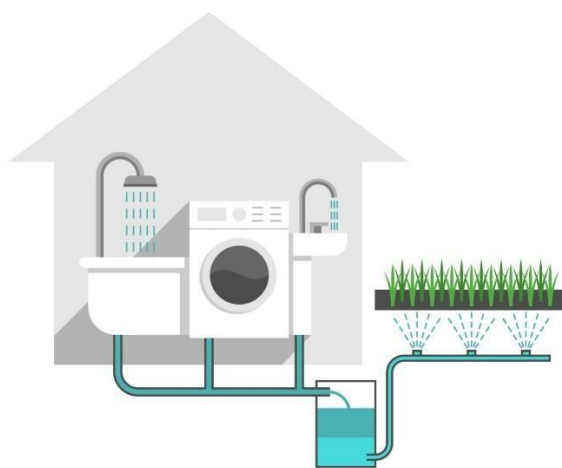
Slika 1: Viri sive vode

Količinsko, predstavlja SV do 75 % celotne količine odpadne vode, ki jo proizvedejo gospodinjstva, pri čemer se ta delež lahko poveča na približno 90 %, če se uporabljajo suha stranišča (Hernandez in sod. 2010). V primerjavi s ČV je SV manj onesnažena in jo je zato mogoče ponovno uporabiti za namakanje vrta, čiščenje tal, pranje avtomobilov ipd.. Vendar pa je treba SV pred ponovno uporabo običajno obdelati, da se odstranijo mikroorganizmi, olja, detergenti in drugi onesnaževalci.

2.1.1 Ponovna uporaba sive vode

Tehnološko je ponovna uporaba zanesljiva metoda za zagotavljanje vodne varnosti, saj ni odvisna od hidroloških razmer, kot je zbiranje deževnice. Uporaba SV za splakovanje pisoarjev in stranišč je ena od možnosti, saj je voda, ki se danes uporablja za splakovanje stranišč, pogosto pitne kakovosti. Ocenjuje se, da bi reciklaža SV za splakovanje stranišč lahko prihranila do 30 % celotne porabe gospodinjske vode. V Nemčiji so uspešno izvedli ponovno uporabo SV iz kopalnic, pri čemer so dosegli tehnične in zdravstvene standarde (Sievers, J. C. in sod. 2020).

Pregled trenutnih potreb po vodi v velikih stavbah je pokazal, da poleg SV iz kopalnic potrebujemo tudi vodo iz pralnih strojev ali padavinsko vodo, da bi zagotovili zadostne količine reciklirane vode za nepitne namene. Možne zunanje uporabe SV pa vključujejo namakanje zelenic na univerzitetnih kampusih, športnih igriščih, pokopališčih, parkih in igriščih za golf ter v domačih vrtovih. Druge možnosti vključujejo pranje vozil in oken, protipožarno zaščito, napajanje kotlov in proizvodnjo betona. Poleg tega bi se SV lahko uporabila za razvoj in ohranjanje mokrišč. Alternativen način ravnanja s SV je njena infiltracija v tla, s čimer se skrajša urbani vodni krog (Oteng-Peprah in sod. 2018).



Slika 2: Možnost ponovne uporabe sive vode

2.1.2 Sestava sive vode

Sestava SV je zelo različna in odraža predvsem vrsto in izbiro kemikalij, ki jih uporabljamo za pranje, čiščenje in osebno higieno. Kakovost vodovodnega sistema in vrsta distribucijskega omrežja prav tako vplivata na njene lastnosti. Nihanja v sestavi so odvisna od geografske lokacije, letnega časa in navad uporabnikov.

Na splošno SV vsebuje visoke koncentracije lahko biorazgradljivih organskih snovi ter komponent, ki večinoma izvirajo iz gospodinjstev. Med te sestavine spadajo hranila, kot so nitrati in ortofosfat, anionsko in kationsko površinsko aktivne snovi (detergenti), soli (fosfati, borati, natrijeve soli,...), mikroorganizmi in druge snovi. V zadnjem času beležimo tudi prisotnost ostankov farmacevtskih sredstev, kemikalij, ki izvirajo iz izdelkov za osebno nego ter včasih celo težkih kovin (svinec, nikelj, živo srebro in krom), drugih obstojnih onesnaževal in mikroplastike (sestavine nekaterih barvil, ličil, bleščic itd.). Prisotnost teh onesnaževal v SV

kaže na naraščajočo kompleksnost njene sestave in zahtevnost obdelave (Oteng-Peprah in sod. 2018).

2.1.3 Fizikalne lastnosti sive vode

Fizikalne lastnosti SV so tiste, ki vplivajo na njen videz. Vključujejo temperaturo, motnost, električno prevodnost ter koncentracijo suspendiranih snovi. Temperatura SV je med 18 in 35 °C, višje temperature so posledica uporabe tople vode za osebno higieno, kuhanje in pranje. Visoke temperature lahko spodbujajo rast mikroorganizmov, kar ni zaželeno. Poleg tega visoka temperatura povzroči obarjanje nekaterih karbonatov, kot je CaCO₃, ter drugih anorganskih soli, ki so pri višjih temperaturah manj topne. (Jefferson B. in sod. 2004)

Električna prevodnost SV, ki je merilo količine raztopljenih ionov, in se giblje med 14 in 3000 µS/cm. Povišana električna prevodnost je tudi posledica geografske lege (območja z visokim deležem karbonatov v pitni vodi – trde vode) in vodovodnega omrežja (dotrajane cevi napeljave) (Jefferson B. in sod. 2004).

Gostota SV ni vedno točno določena, odvisna je namreč od vsebnosti suspendiranih snovi, temperature, homogenosti in heterogenosti. Na splošno se šteje, da je njena gostota približno enaka gostoti pitne vode, ki znaša okoli 1000 kg/m³ pri standardnih pogojih (20 °C) (Jefferson B. in sod. 2004)

2.1.4 Kemijska onesnaževala

Kemijska sestava SV je odvisna od kemikalij, ki jih v gospodinjstvu uporabljamo pri čiščenju, kuhanju in osebni higieni in se zaradi tega lahko močno razlikuje med gospodinjstvi, še bolj pa med turističnimi objekti. pH vrednost je večinoma odvisna od pH in alkalnosti pitne vode iz katere nastaja, običajno pa se giblje med 5 in 9. SV, ki pretežno prihaja iz pralnice, bo pogosto imela višji pH od navadne gospodinjske SV, saj vsebuje alkalne sestavine iz detergentov, belil, penilcev, emulgatorjev in dispergentov s skupnim imenom površinsko aktivne snovi (PAS). PAS-i so tako glavne kemijske sestavine SV, so lahko kationske ali anionske, pri čemer so anionski PAS-i pogostejši v čistilih in pralnih sredstvih. Kationski PAS-i so amonijeve soli in predstavljajo vir amonija kot hranila v SV (Oteng-Peprah in sod. 2018).

Poleg nitratov, fosfatov in natrija, ki izvirajo iz kuhinjske soli in detergentov, celokupno organsko obremenitev sive vode (SV) določamo z biokemijsko potrebo po kisiku (BPK) in

kemijsko potrebo po kisiku (KPK). BPK meri količino kisika, ki ga mikroorganizmi porabijo za razgradnjo organskih snovi v vodi, medtem ko KPK meri skupno količino kisika, potrebnega za kemično oksidacijo vseh snovi v vodi. Višja vrednost BPK kaže na večjo količino organskih snovi in potencialno onesnaženje vode, KPK pa vključuje tudi snovi, ki jih mikroorganizmi ne morejo razgraditi, a jih lahko oksidirajo kemikalije (Oteng-Peprah in sod. 2018).

2.1.5 Biološke značilnosti

SV vsebuje mikroorganizme, kot so bakterije in praživali, ki vanjo preidejo ob stiku s človeškim telesom ali hrano. Nepravilno ravnanje s hrano v kuhinji in rokovanje z okuženimi živili sta glavna vira patogenih bakterij, kot je *Salmonella* sp., medtem ko je fekalna onesnaženost pogosta predvsem zaradi slabe osebne higiene in zaradi pranja plenice. Najbolj nevarna je zagotovo bakterija iz človeškega blata, *Escherichia coli* (*E.coli*), ki je tudi kazalnik fekalne onesnaženosti ali udora ČV v SV (Oteng-Peprah in sod. 2018).

2.2 Vpliv sive vode na okolje

Neprečiščeni izpusti komunalne in industrijske odpadne vode močno vplivajo na kakovost površinskih voda. Ponovna uporaba sive vode (SV) je učinkovit ukrep za preprečevanje onesnaževanja, še posebej v državah z omejenimi vodnimi viri. Več kot 10 % svetovnega prebivalstva uživa hrano, pridelano z namakanjem z odpadno vodo, pri čemer je delež v državah z nizkimi dohodki in suhim podnebjem bistveno višji (Khajvand in sod. 2022).

2.2.1 Kmetijstvo in kakovost tal

SV vsebuje hranila, kot sta dušik in fosfor, ki spodbujata rast rastlin, vendar lahko prisotnost natrija, kloridov in drugih kemikalij škodljivo vpliva na pridelke in kakovost tal. Dolgotrajna uporaba neprečiščene SV lahko povzroči kopičenje soli, surfaktantov, borovih spojin in olj v tleh, kar vodi v poslabšanje rasti pogojev in rodovitnosti tal. Visoka slanost zmanjšuje sposobnost rastlin za privzem vode in hranil, kar vpliva na slabši pridelek. Alkalnost se povečuje zaradi prisotnosti natrijevih, kalijevih ali kalcijevih soli v detergentih, kar lahko povzroči degradacijo tal in omeji rast določenih rastlinskih vrst.

Poleg kemijskih tveganj je treba upoštevati tudi biološka tveganja. Mikroorganizmi v SV so lahko patogeni in povzročajo bolezni pri rastlinah ter potencialno vplivajo na zdravje ljudi.

Fekalne bakterije in drugi mikroorganizmi lahko onesnažijo pridelek, zlasti če se voda uporablja za namakanje užitnih delov rastlin. Visoka pH-vrednost SV (nad 8) lahko negativno vpliva na rastline, saj zmanjša razpoložljivost ključnih mikrohranil (Khajvand, M. in sod. 2022).



Slika 3: Uporaba SV za kmetijske namene

2.3 Sistemi za čiščenje sive vode

V predhodnem poglavju smo predstavili možna tveganja in nujnost, da se SV pred ponovno uporabo ustrezno prečisti. Postopki, kot so filtracija, sedimentacija, biološka razgradnja in kemična obdelava, lahko zmanjšajo vsebnost patogenov, organskih onesnaževal in soli, kar omogoča varno uporabo vode za namakanje in druge nepitne namene.

Običajno jo uvrščamo med manj obremenjeno različico komunalne odpadne vode, saj vsebuje vse, kar vsebuje odpadna voda, vendar v manjših koncentracijah. Zato se za njeno obdelavo uporabljajo podobne tehnologije kot za obdelavo komunalne odpadne vode. Če je čiščenje pravilno izvedeno, lahko recikliranje SV pomembno prispeva k trajnostnemu upravljanju vodnih virov, zmanjšanju pritiska na naravne zaloge sladke vode ter ohranjanju ekološkega ravnovesja. Na splošno lahko tehnologije za obdelavo SV razdelimo v dve skupini: intenzivne in ekstenzivne (Roš in sod. 2010).

2.3.1 Intenzivne tehnologije

To so tehnologije, ki so energetske zelo zahtevne in so enake čiščenju komunalne odpadne vode na osnovi aktivnega blata. Postopek vključuje zbiranje odpadne vode, odstranjevanje trdnih delcev, maščob in olj, ter biološko razgradnjo z aktivnim blatom v prezračevalnih bazenih. Mikroorganizmi porabljajo organsko snov in amonij, prečiščena voda pa se odvaja v površinske

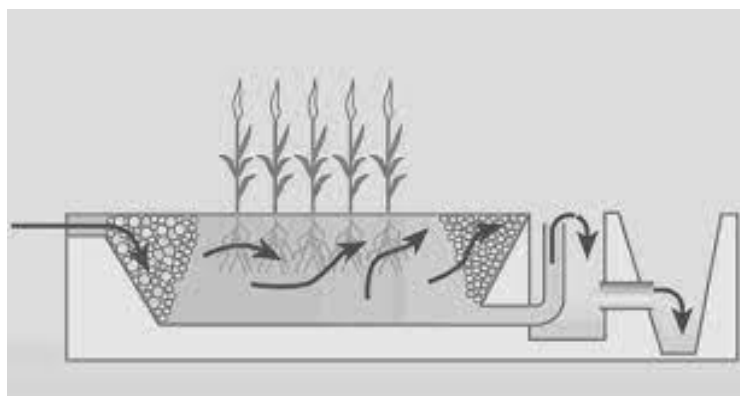
vode. Odvečno blato se prečrpa v gnilišče, kjer nastaja metan, preostanek blata pa se sežge ali uporabi za prekrivanje smetišč ali gnojenje zemlje (Roš in sod. 2010).



Slika 4: Čiščenje odpadne vode

2.3.2 Ekstenzivne tehnologije

Ekstenzivne tehnologije, znane tudi kot sonaravne rešitve (NBS), temeljijo na naravnih procesih brez uporabe energije (kolikor je to mogoče) in zahtevajo večjo površino kot intenzivne tehnologije. Tipični primeri NBS za obdelavo sive vode (SV) so sistemi z rastlinami, ki uspevajo na mokriščih, kot so vrbe in trsi. NBS lahko vključujejo tudi okrasne rastline, ki tolerirajo kemijske spojine v SV in uspevajo v vlažnih tleh, kar omogoča estetsko dovršene rastlinske čistilne naprave – zelene stene. Te rešitve so učinkovite, stroškovno ugodne in uporabniku prijazne, saj omogočajo obnovo in ponovno uporabo hranil iz odpadnih voda. Zelene stene v kombinaciji z rastlinskimi čistilnimi napravami imajo velik potencial za trajnostno oblikovanje stavb v urbanih območjih (Rutar Polanec, 2021).



Slika 5: Prikaz sonaravne rešitve za čiščenje SV

2.4 Zelene stene

Zaradi naraščajoče urbanizacije in s tem povezanega onesnaževanja okolja je vključevanje zelenih površin v mestna območja izjemno pomembno. Zelene površine, kot so zelene strehe in

stene, prinašajo številne ekosistemske koristi, ki pozitivno vplivajo na okolje. Izboljšujejo kakovost zraka, porabo energije v stavbah, povečujejo biotsko raznovrstnost in povečujejo estetski videz urbanih območij. Njihova uporaba je ključna za trajnostni razvoj mest in izboljšanje kakovosti življenja prebivalcev. Medtem ko so zelene strehe v Sloveniji že dobro uveljavljene, se je v zadnjih letih razvil tudi sistem vertikalnih zelenih površin, ki jih je lažje vključiti v mestno arhitekturo (Kolenc, 2016).

Zelene stene so vertikalni vrtovi, pritrjeni na zunanje ali notranje stene stavb. V nasprotju z zelenimi fasadami, kjer rastline rastejo iz tal, zelene stene omogočajo rastlinam, da koreninijo v posebni podpori, pritrjeni na steno. Voda in hranila prihajajo iz te vertikalne podpore, ne iz tal. Komercialne zelene stene so namakanje s pitno vodo, v katero se dodajajo mineralna gnojila, kar povečuje okoljski odtis zelene sten (Kolenc, 2016)



Slika 6: Zelena stena na stavbi v Ljubljani

2.4.1 Tehnologije zelenih sten

2.4.1.1 Hidroponski sistemi

Hidroponski sistemi so ena izmed glavnih tehnologij zelenih sten. Te sisteme je prvi predstavil francoski botanik Patrick Blanc (Slika 7), ki je znan kot pionir zelenih sten.



Slika 7: Zelena stena Patricka Blanca

Hidroponski sistemi omogočajo rast rastlin brez zemlje, saj rastline koreninijo v substratu, kot so reciklirana sintetična vlakna. Ta vlakna zagotavljajo strukturno podporo, zadržujejo vlago in omogočajo prosto rast korenin. To pa povečuje njihovo moč in stabilnost. Hidroponski sistemi so zelo lahki, kar omogoča njihovo namestitvev na različne površine, vključno z visokimi stavbami (Weinmaster M., 2009). Slabosti hidroponskih sistemov (Slika 8) se kažejo predvsem v trajnih namestitvah rastlin, saj niso modularni ter zahtevnosti vzdrževanja stalnega pH vrednosti in prevodnosti (Weinmaster M., 2009).



Slika 8: Hidroponski sistem zelene stene

2.4.1.2 Modularne stene

Modularne stene so druga glavna tehnologija zelenih sten. Rastline rastejo v panelih, napoljenih s substratom, kot so kokosova vlakna, šota ali kamena volna. Ti paneli so lahko izdelani iz plastike, kovine ali drugih materialov. Paneli so primerni začasne postavitve, saj jih je enostavno namestiti, zamenjati in odstraniti (Slika 9) (Weinmaster M., 2009).

Obstajata dve glavni različici modularnih sten. Prva je t.i. pravi modularni sistem, kjer je na posameznem panel zasajenih šest do petnajst rastlin, odvisno od velikosti in vrste modula.

Druga različica uporablja plastične ali kovinske nosilce, ki vsebujejo več poševnih celic. Te so običajno napolnjene z zemljo in nato zasajene. Poševne celice pomagajo držati rastline na mestu in olajšajo namakanje. Voda kaplja skozi zadnji del panelov. Ti sistemi se običajno lahko postavijo drug ob drugem in zložijo v višino (Slika 10).

Prednosti modularnih sten so v začasnih, kratko-sezonskih zasaditvah in enostavnosti zamenjave rastlin. Slabosti so predvsem v omejenem prostoru za razvoj korenin, kar zmanjšuje raznolikost, večje mase v primerjavi s hidroponskimi sistemi, kar oteži namestitev na nekatere površine in večje višine; obstaja pa tudi večja verjetnost izruvanja rastline v vremenskih neprilikah (Weinmaster M., 2009).



Slika 9: Modularne škatle



Slika 10: Zemlja za lončnice in kamena volna kot substrata

2.4.3 Substrati za zelene stene

Zelene stene, ki so vertikalno nameščene na stavbah, zahtevajo lahke substrate za zmanjšanje masne obremenitve. Lahki materiali, ki se lahko uporabljajo v te namene so: pesek, perlit, vermikulit, kokosova vlakna, kamena volna, pena in zemlja. Poleg majhne teže so glavne zahteve za substrate visoko zadrževanje vode, filtracijska sposobnost in podpora rasti rastlin. Izbira substrata za učinkovito čiščenje SV, je pomembnejša od njegove majhne teže ali od izbire rastlin (Rutar Polanec, 2021).

2.4.4 Vegetacija

Proces čiščenja sive vode ne temelji le na sestavi medija, temveč tudi na rastlinah in v mikroorganizmih, ki sestavljajo zeleno steno. Na splošno velja, da je mikrobno delovanje glavni mehanizem za odstranjevanje onesnaževal, vpliv rastlin pa je minimalen. Kljub temu pa zasajeni sistemi dosegajo boljše učinkovitosti v primerjavi z nezasajenimi kontrolami.

Vegetacija v vertikalni zeleni steni deluje kot biofiltracijski sistem, omogoča procese, kot so oksidacija, filtracija, sedimentacija, adsorpcija, mikrobna asimilacija in mikrobna aktivnost, ter zagotavlja temperaturno blaženje in dodatno površino za rast mikroorganizmov v koreninski coni (Rutar Polanec, 2021).

2.4.5 Maranta

Maranta (*Marantha sp.*) je rod rastlin, ki pripada družini *Marantaceae*. Najbolj znana vrsta je *Maranta arundinacea*, znana kot "prayer plant". Maranta je zelo primerna za zelene stene, saj

je enostavna za vzdrževanje, uspeva ob povečani vlažnosti in zaščiti pred premočno sončno svetlobo. Poleg tega izboljšuje kakovost zraka v prostoru, saj absorbira škodljive snovi in povečuje vlažnost, kar je še posebej koristno v zaprtih prostorih, kjer zelene stene ne le okrasijo prostor, ampak tudi pripomorejo k bolj zdravemu in prijetnemu okolju (VanZilein sod. 2024).

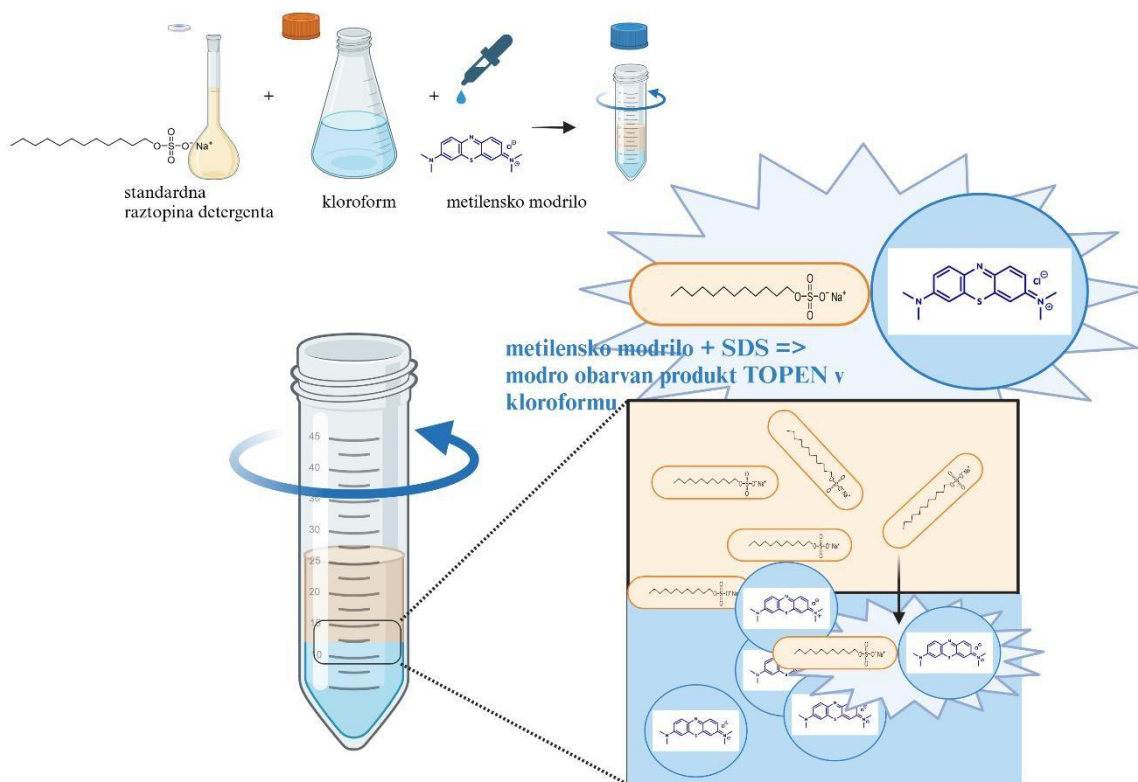


Slika 11: Maranta (Marantha sp.)

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Določanje detergentov

Detergenti so površinsko aktivne snovi, ki omogočajo, da se ostanki maščobe na posodi ustrezno očistijo. Za določitev detergentov (primer ostanka anionsko površinsko aktivne snovi) uporabimo postopek z organskim barvilom metilensko modrilo ali metilen modro, ki so ga razvili že leta 1975 (Fortuna, 2018). Metilen modro je intenzivno kationsko barvilo, ki tvori modre soli z detergenti, v našem primeru z natrijevim dodecil sulfatom (SDS-om, od tod naprej detergent). Ta kompleks lahko nato ekstrahiramo v organskem topilu, na primer v kloroformu. Na ta način lahko določimo koncentracijo detergenta s spektrofotometrom z merjenjem absorbance pri 665 nm (Slika 12).



Slika 12: Shema ekstrakcije detergenta z metilenskim modrilom v kloroform

Izvedbo meritve absorbance modro obarvane raztopine izmerimo s spektrofotometrom (Bavcon Kralj in sod. 2020). Sestavni deli instrumenta so svetloba točno določene barve (valovne dolžine, v našem primeru rumeni snop svetlobe), ki jo izberemo in nato pošljemo v vzorec, ki je komplementarne barve (v našem primeru modra raztopina zaradi metilenskega modrila).

Absorbpcija svetlobe se zgodi ob prehodu svetlobnega snopa komplementarne barve (v našem primeru rumeno oranžne) čez kvarčno kiveto (štirioglasta steklena posoda v obliki kvadra, ki ima točno določeno dolžino, širino in višino), ki smo jo napolnili z merjeno obarvano raztopino (v našem primeru modre barve). Zmanjšani snop svetlobe, ki upade zaradi absorbance svetlobe v naši raztopini, pomeni večjo količino detergentov v vzorcu.

Koliko točno znaša ta količina, pa nam pove matematična povezava, ki sta jo opisala znanstvenika Lambert in Beer, zato po njiu ta zakon imenujemo Beer - Lambertov zakon. Med koncentracijo in absorbirano svetlobo (absorbanco) nastane premo sorazmerje ali linearna povezava. Seveda ta premica velja le za nizke koncentracije.

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l$$

A ... absorbanca; l ... pot svetlobe skozi vzorec [cm]; c

koncentracija preučevane snovi [mol L⁻¹]; ε konstanta; ki je

lastnost posamezne raztopine (L mol⁻¹ cm⁻¹).

Beer - Lambertov zakon v »praksi« lahko povzamemo v enačbo premice, kjer je absorbanca A, odvisna spremenljivka y, koncentracija snovi c, v našem primeru koncentracija detergenta pa neodvisna spremenljivka x. Enačba, ki sledi, je t. i. enačba premice (Bavcon Kralj in sod. 2020):

$$A = \varepsilon \cdot l \cdot c = k \cdot c$$

ali:

$$y = k \cdot x + n$$

3.2 Priprava umeritvene krivulje in analiza SV

Za ugotavljanje koncentracije ostankov čistilnega sredstva v SV smo uporabili hiter postopek določanja detergenta z metilen modrim. Metoda je občutljiva, natančna in enostavna za uporabo (Fortuna in sod. 2018). Če želimo preveriti, kakšno absorbanco bodo imele obarvane raztopine detergenta z metilen modrim, moramo najprej pripraviti v laboratoriju raztopine, z znanimi koncentracijami detergenta. Odvisnost naraščajoče absorbance v odvisnosti od koncentracije

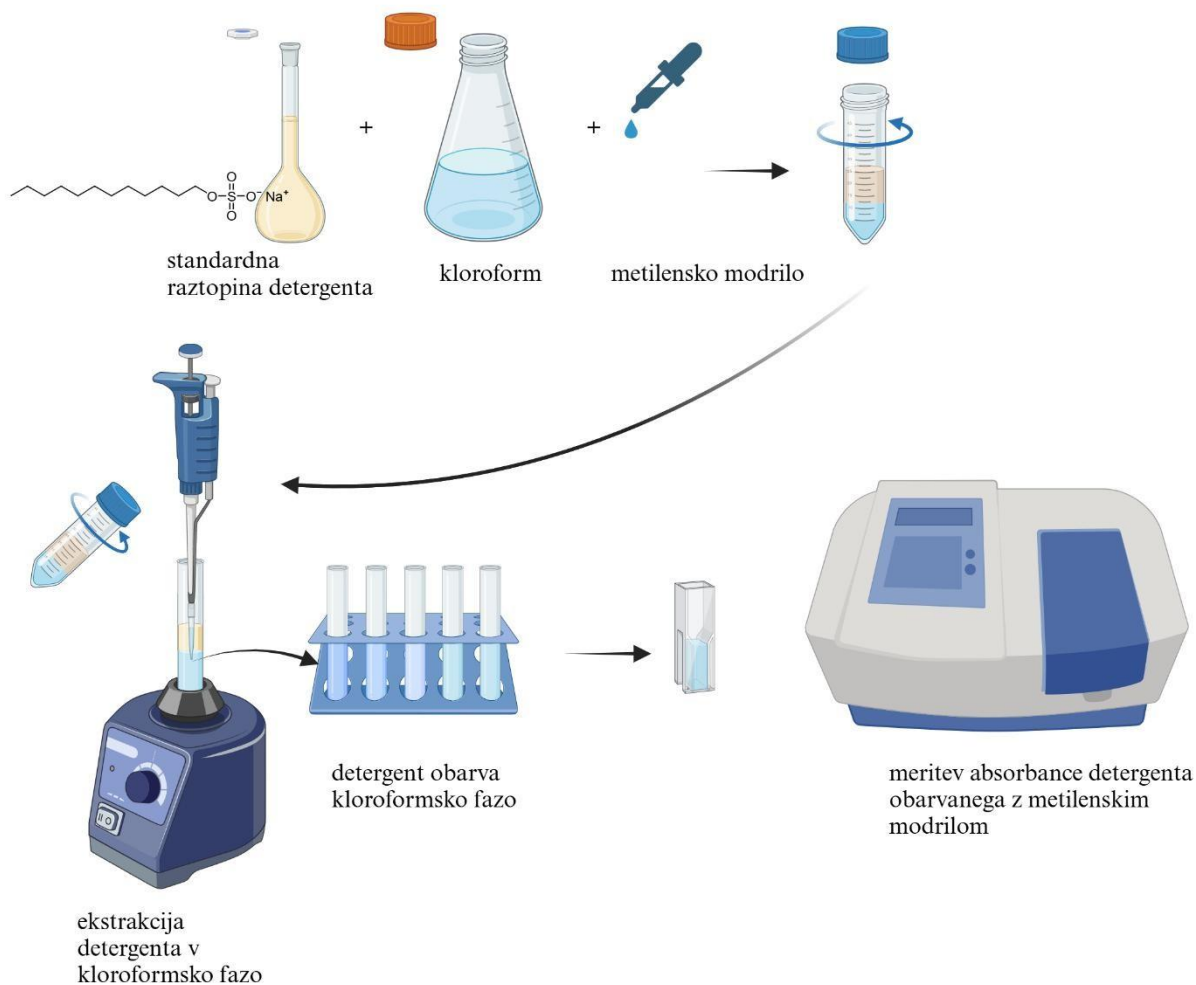
detergenta v raztopini lahko povežemo v umeritveno premico. Na x-os nanašamo koncentracije in na y-os izmerjeno absorbanco. Že na oko pa lahko opazimo, kako se večja intenziteta modre barve z naraščanjem koncentracije detergenta.

Postopek je bil tak: v posamezne epruvete smo nato najprej odpipetirali 0,4 ml fosfatnega pufra, nato smo dodali 0,1 ml metilenskega modrila ter 0,5 ml našega vzorca SV. Vse skupaj smo premešali s pomočjo vortex mešala (Slika 13).



Slika 13: Priprava vzorcev

Nato smo v epruvete dodali še 3 ml kloroforma in vsebino posameznih epruvet ponovno zmešali na mešalu. Epruvete smo nato postavili v hladilnik na 4 °C. Po petih minutah smo epruvete vzeli iz hladilnika in jih še enkrat ročno premešali. Ko se je naredila meja med kloroformom, ki se je obarval modro, in raztopino, smo s pomočjo kapalke kloroformski sloj prenesli v kiveto ter s pomočjo spektrometra NANOCOLOR® VIS (Macherey-Nagel) izmerili absorbanco pri valovni dolžini 665 nm (Slika 14).



Slika 14: Shema določevanja detergenta

3.3 Pripomočki za delo v kemijskem laboratoriju

Za lončni poskus izveden doma smo potrebovali:

- 12 loncev za rože + plastični podstavki; - 3 marante (*Marantha sp.*);
- 0,5 kg x 3 zemlje za lončnice;
- 0,5 kg x 3 zemlje za lončnice + maranta (*Marantha sp.*);
- 0,5 kg x 3 pesek + perlit + kokosova vlakna; - 0,4 kg x 3 kamena volna.

Za meritve absorbance vzorcev in pripravo umeritvene premice smo potrebovali:

- merilni valj;
- tehtnico;
- laboratorijske žličke; - kapalke;

- merilne bučke;
- epruvete s stojalom;
- električni mešalnik (vortex);
- merilne in avtomatske pipete;
- kivete;
- spektrofotometer - NANOCOLOR® VIS (Macherey-Nagel);

Za meritev poljske kapacitete vode, meritve pH in elektroprevodnosti smo potrebovali

- lij;
- čaše;
- merilne valje;
- pH senzor (SenTix 940, WTW, Nemčija);
- temperaturni in elektroprevodnostni senzor (TetraCon 925, WTW, Nemčija).

3.4 Substrati za zelene stene

3.4.1 Kamena volna

Kamena volna je stisnjena v kocke 2 x 2 x 2 cm (Urbanscape® Green Cubes), ki so zelo porozne in imajo visoko sposobnost zadrževanja vode (Sonneveld C., 1991). Kamena volna, znana tudi kot mineralna volna, je narejena iz diabaza in bazalta, ki se stopita pri temperaturi 1600 °C. Tekoči material se nato oblikuje v vlakna s pomočjo centrifugalne komore. Vlakna so obdelana z vlažilnim sredstvom, stisnjena in stabilizirana s posebnim vezivom v plošče. Te plošče so zelo porozne in imajo visoko sposobnost zadrževanja vode, kar je odvisno od debeline in gostote vlaken ter količine dodanega veziva in vlažilnega sredstva.

3.4.2 Perlit

Perlit je odličen termoizolacijski material, ki ima stabilno strukturo, vendar slabo zadržuje vodo (Cvenkel N., 2020). Pridobljen je iz vulkanskih aluminijevih silikatov, ki vsebujejo 2-5% kristalno vezane vode. Najprej jih zmeljejo in nato segrejejo na 1100-1200 °C, kar povzroči, da se silikati razširijo in postanejo lahki ter porozni. Na splošno perlit izboljšuje fizikalne in kemijske lastnosti talnih substratov, ker povečuje njihovo zmogljivost za vodo in zrak ter zmanjšuje nihanje temperature tal. pH vrednost perlita je med 6,5 in 7,5 (Cvenkel N., 2020).

3.4.3 Kokosova vlakna

Kokosova vlakna so odpadni material primeren za rastlinske substrate. Zunanja lupina kokosovih orehov zagotavlja dragoceno vlakno, imenovano kokosova vlakna. Kokosova šota je stranski produkt, ki nastane pri pridobivanju dolgih vlaken iz kokosovih lupin za izdelavo vrvi in preprog. Ker je to odpadni material, je kokosova šota primerna in verjetno najboljša izbira za trajnostni substrat (Cvenkel N., 2020).

3.4.4 Pesek

Pesek običajno pridobivamo iz rek ali kamnolomov in ga pred uporabo operemo, da je čist - brez patogenov in prahu. Lahko se ponovno uporabi in se uporablja tudi kot samostojen substrat za ukoreninjenje potaknjencev. Pesek ne sme vsebovati glin, ker lahko ta zniža pH vrednost. Pesek ima veliko specifično težo (1400-1700 g/l), kar ugodno vpliva na stabilnost lončkov (Cvenkel N., 2020) vendar obremenjuje vertikalne posaditve.

3.4.5 Zemlja za lončnice

Zemlja za lončnice običajno vsebuje malo ali nič prave zemlje in je v glavnem sestavljena iz šote in peska ali perlita. Substrat se ponaša z rahlo in zračno teksturo, ki omogoča razvoj razvitega koreninskega sistema.



Slika 15: Postavitev različnih substratov v lonce doma

3.5 Izvedba lončnega poskusa

Lonce postavimo na plastične podstavke, kamor lovimo izcedno vodo. Vsak substrat smo testirali v treh ponovitvah (Slika 15).

Pripravili smo lonce z naslednjimi substrati:

- 0,5 kg zemlje za lončnice,

- 0,5 kg mešanice substrata za zelene stene: perlit, pesek, kokosova vlakna v razmerju 1:1:0.02,
- 0,5 kg zemlje za lončnice z dodano maranto,
- 0,4 kg kamene volne Knauf Urbanscape® Green Cubes.

Poskus smo postavili na vzhodno stran prostora. Vzorčenje je trajalo en mesec, pri čemer smo substrate vsake štiri dni zalivali z laboratorijsko pripravljeno SV. SV smo pripravili iz čistil in izdelkov osebne higiene kot je navedeno v Preglednici 1. Tako pripravljena SV je vsebovala do 25 mg/L SDS.

Preglednica 1: Čistila in izdelki osebne higiene ter njihove koncentracije v sintetični sivi vodi

Produkt	g/L	Proizvajalec
Amonijev klorid	0,0145	
Čistilo za površine	0,053	Klimtek d.o.o.
Čistilo za posodo	0,066	Denk mit DM
Tableta za pomivalni stroj	0,065	Somat Gold
Sol za pomivalni stroj	0,05	Tandil
Tekoči detergent za pranje perila	0,1555	Denk mit DM
Mehčalec za perilo	0,0735	Denk mit DM
Šampon in gel za tuširanje	0,276	Shauma
Bazlam za lase	0,0805	Balea DM
Zobna pasta	0,015	Aquafresh triple protection
Tekoče milo za roke	0,057	Balea DM

Vsak lonec smo zalili s 3 dl SV. Da smo dosegli nasičenje substratov s SV, smo morali vse substrate pred začetkom eksperimenta nasititi s 4 dl SV, le kamene volna je zaradi visoke sposobnosti zadrževanja potrebovala dvakratnik, torej 8 dl. Zalivanje smo izvajali postopno – najprej polovico predvidene količine vode, nato še preostanek, da je prehod skozi substrat potekal enakomerno.

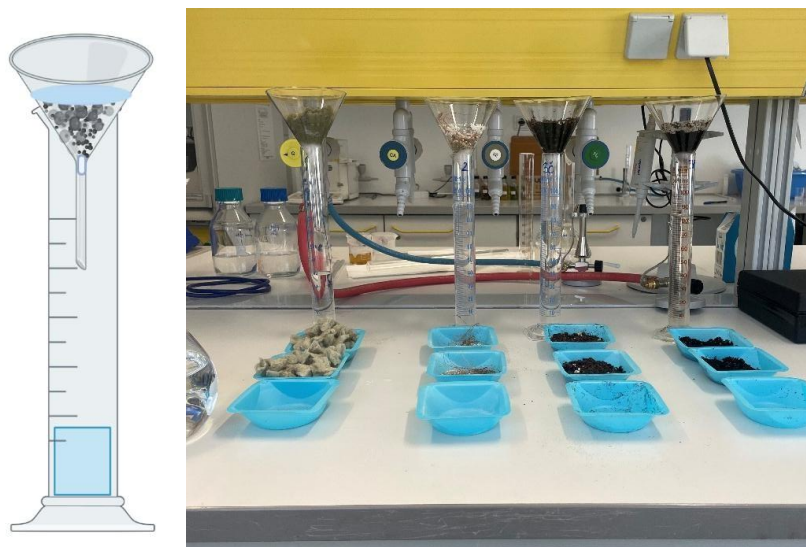
Pred vsakim novim zalivanjem smo SV, ki je pretekla skozi substrat v podstavek v treh dneh zbrali, pred ponovnim zalivanjem, premešali in 50 mL vzorca shranili v zamrzovalniku do analize v laboratoriju. Višek SV v podstavku smo pred ponovnim zalivanjem zavrgli.

3.6. Določanje poljske kapacitete zadrževanja vode, pH substrata in elektroprevodnosti

3.6.1 Določanje poljske kapacitete

Poljska kapaciteta zadrževanje vode je podatek, koliko vode zadrži naš substrat preden prepusti vodo. Poskus smo naredili kot je prikazano na sliki 16. V z vato zatesnjen lij naneseemo 10 g substrata, ki ga stisnemo tako, da nima vidnih vmesnih zračnih prostorov. Substrat nato prelijemo s 100 mL vode in počakamo 20 min. Določimo vodo, ki jo je substrat zadržal po enačbi:

$$m(\text{zadržane vode}) = \frac{100 \text{ g (vode na začetku)} - m \text{ vode na dnu merilnega valja}}{10 \text{ g substrata}}$$



Slika 16: Določanje zadrževanja vode (levo shematski prikaz, desno realni poskus)

3.6.2 Merjenje pH in elektroprevodnosti substrata

Obstajajo tri glavne mednarodno priznane metode merjenja pH zemlje (SIST ISO 10390). Pri vseh treh metodah je potrebno 1 do 2 ure zemljo v vodni raztopini mešati, da se vzpostavi ravnotežje med zemljo in vodno raztopino in šele po dveh urah lahko izmerimo pH vrednost s pH stekleno elektrodo (pH senzor - SenTix 940, WTW, Nemčija). V 100 mL čašo odtehtamo 10 g zemlje in dodajmo 50 ml 0,01M CaCl₂. 2 uri mešamo na mešalu, po dveh urah izmerimo pH vrednost.

Elektroprevodnost je merilo koncentracije ionov v vodi, odvisna je od stopnje disociacije in koncentracije elektrolitov. Merimo jo s konduktometrom, tako, da pomočimo sondo v

raztopino, ki jo dobimo po 2 urah mešanja 10 g substrata v 50 mL destilirane vode z elektroprevodnostni senzorjem (TetraCon 925, WTW, Nemčija). Anorganske snovi so dobri prevodniki, medtem ko organske molekule, ki se ne disociirajo, slabo prevajajo električni tok. Na prevodnost SV vplivajo koncentracije ionov (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-). Prevodnost se povečuje s koncentracijo ionov in z višanjem temperature.

4 REZULTATI

4.1 Meritve poljske kapacitete zadrževanja vode, pH in elektroprevodnosti substrata

Preglednica 2 prikazuje zmožnost različnih substratov za zadrževanje in prepuščanje vode. Za vsak substrat sta prikazani dve vrednosti: količina zadržane vode (izražena v g) in količina prepuščene vode (izražena v g). V tabeli so prikazane tri meritve za vsak substrat, na podlagi katerih smo izračunali povprečne vrednosti za zadržano in prepuščeno vodo. Vrednosti so podane za 10 g substrata prelitega s 100 ml destilirane vode. Prostornino izmerjeno z valjem v ml smo pretvorili v g, ker je gostota vode 1 g/ml.

Preglednica 2: Substrati in njihova zmožnost zadrževanja vode

Substrat / meritev	kamena volna		pesek, perlit, kokosova vlakna		zemlja za lončnice	
	zadržana voda [g]	prepuščena voda [g]	zadržana voda [g]	prepuščena voda [g]	zadržana voda [g]	prepuščena voda [g]
1. meritev	60	40	6	94	16	84
2. meritev	61	39	7	93	21	79
3. meritev	66	34	11	89	13	87
POVPREČJE	62	38	8	92	17	83

Razpredelnica prikazuje pH vrednosti različnih substratov. Za vsak substrat so prikazane tri meritve pH vrednosti. Na podlagi teh treh meritev smo izračunali povprečno pH vrednost (Preglednica 3) za vsak substrat. Vrednosti so podane za 10 g substrata prelitega s 50 ml 0,01M CaCl₂.

Preglednica 3: Substrati in njihov pH

meritve	kamena volna	pesek, perlit, kokosova vlakna	zemlja za lončnice
1. meritev	8,79	6,32	5,98
2. meritev	9,02	6,47	6,19
3. meritev	9,16	6,6	6,17
POVPREČJE	8,99	6,46	6,11

Kamena volna se je izkazala kot alkalna, medtem ko sta bili zemlja za lončnice in mešanica pesek, perlit, kokosova vlakna rahlo kisli.

Preglednica 4 prikazuje elektroprevodnost različnih substratov. Za vsak substrat so prikazane tri meritve, na podlagi katerih smo izračunali povprečno elektroprevodnost. Zemlja za lončnice ima najvišjo elektroprevodnost s povprečjem 487 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sledita ji volna s povprečjem 53,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in mešanica peska, perlita ter kokosovih vlaken z 62,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Destilirana voda ima električno prevodnost od 0,5 – 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, naša je imela 2,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Vrednosti so podane za 10 g substrata prelitega s 50 ml destilirane vode.

Preglednica 4: Substrati in njihova elektroprevodnost

meritve	kamena volna	pesek, perlit, kokosova vlakna	zemlja za lončnice
1. meritev	38,8	42,9	519
2. meritev	43,1	62,4	519
3. meritev	78,2	82,9	422
POVPREČJE	53,4	62,7	487

4.2 Določanje SDS v vzorcih SV

V Preglednici 5 je predstavljena absorbanca že pripravljenih vzorcev s točno določeno količino (v odstotkih) detergenta, ki smo jo pripravili sami.

Tabela 5: Meritve absorbance vzorcev detergenta

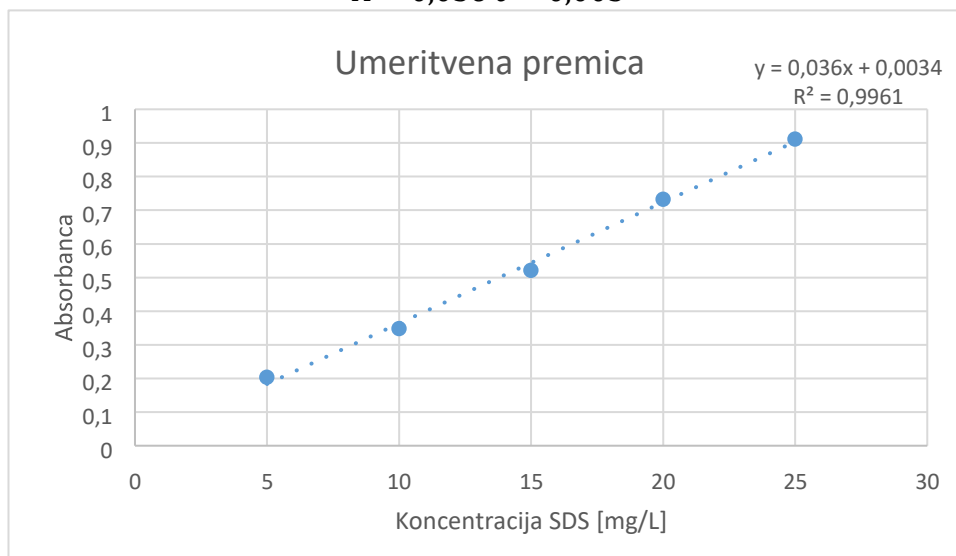
Koncentracija SDS [mg/L]	Prva ponovitev	Druga ponovitev	Tretja ponovitev	Četrta ponovitev	Srednja vrednost \bar{x}
10	0,162	0,151	0,171	0,161	0,161
15	0,332	0,327	0,340	0,340	0,335
20	0,539	0,539	0,556	0,550	0,546
25	0,734	0,730	0,723	0,711	0,725

Umeritvena premica (Graf 1), ki nam linearno poveže točke koncentracije z izmerjeno absorbanco sledi spodnji enačbi,

$$y = 0,036 x - 0,003$$

ki jo lahko izrazimo z absorbanco (odvisna spremenljivka y) in koncentracijo (neodvisna spremenljivka x):

$$A = 0,036 c - 0,003$$



Graf 1: Umeritvena premica

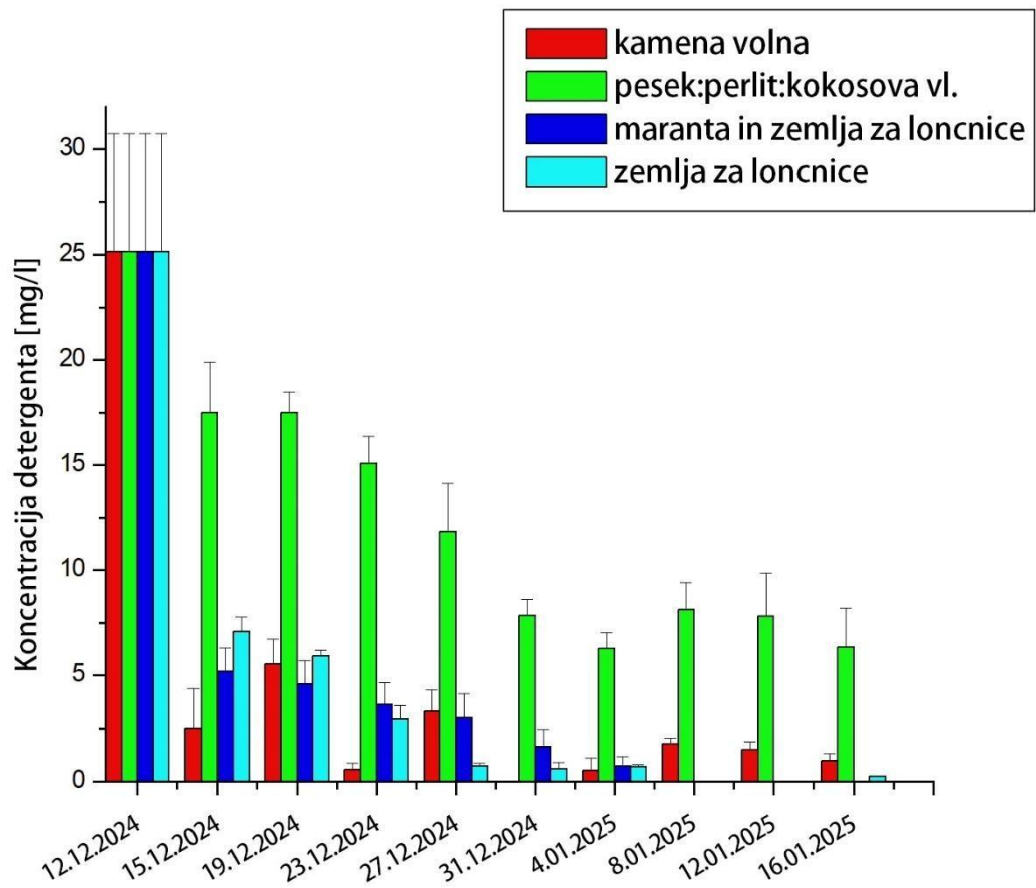
S pomočjo umeritvene premice lahko sedaj izračunamo koncentracije detergenta v SV iz lončnega poskusa. Izmerjeni podatki so v Preglednici 6.

Preglednica 6: Rezultati lončnega poskusa – koncentracije detergenta v SV po dnevih poskusa od prvega dne 12.12.2024 do zadnjega dne 16.1.2025, V – oznaka za kameno volno, P – za perlit, pesek, kokosova vlakna, R – zemlja za lončnice z rastlino, Z – zemlja za lončnic

steklena volna									
datum	V1A	V1B	V2A	V2B	V3A	V3B	povprečje absorbanca	koncentracija SDS v [mg/l]	napaka konc.
12.12.2024	1,014	1,076	1,065	1,064	0,627	0,786	0,89	25,16	5,57
15.12.2024	0,058	0,057	0,039	0,034	0,187	0,18	0,09	2,49	1,91
19.12.2024	0,17	0,141	0,206	0,19	0,254	0,25	0,20	5,52	1,22
23.12.2024	0,042	0,035	0,015	0,017	0,014	0,013	0,02	0,55	0,30
27.12.2024	0,092	0,09	0,108	0,106	0,173	0,166	0,12	3,32	1,01
31.12.2024	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	0,004	0,004	0,00	0,00	0,00
4.01.2025	0,003	0,01	0,008	0,003	0,057	0,047	0,02	0,51	0,58
8.01.2025	0,081	0,075	0,056	0,051	0,071	0,065	0,07	1,76	0,30
12.01.2025	0,079	0,069	0,054	0,043	0,056	0,042	0,06	1,50	0,38
16.01.2025	0,027	0,018	0,051	0,048	0,045	0,041	0,04	0,98	0,33
pesek:perlit:kokosova vlakna									
datum	P1A	P1A	P2A	P2B	P3A	P3B			
12.12.2024	1,014	1,076	1,065	1,064	0,627	0,786	0,89	25,16	5,57
15.12.2024	0,677	0,661	0,525	0,504	0,7	0,679	0,62	17,48	2,41
19.12.2024	0,671	0,66	0,624	0,612	0,597	0,582	0,62	17,48	0,98
23.12.2024	0,568	0,559	0,488	0,478	0,584	0,577	0,54	15,07	1,30
27.12.2024	0,545	0,526	0,357	0,35	0,411	0,408	0,43	11,85	2,29
31.12.2024	0,297	0,291	0,266	0,265	0,336	0,326	0,30	7,85	0,78
4.01.2025	0,267	0,266	0,206	0,204	0,261	0,258	0,24	6,28	0,78
8.01.2025	0,307	0,295	0,261	0,252	0,369	0,357	0,31	8,14	1,28
12.01.2025	0,349	0,336	0,203	0,188	0,352	0,345	0,30	7,81	2,06
16.01.2025	0,246	0,238	0,174	0,165	0,329	0,325	0,25	6,36	1,82

maranta in zemlja za lončnice									
datum	R1		R2		R3				
12.12.2024	1,014	1,076	1,065	1,064	0,627	0,786	0,89	25,16	5,57
15.12.2024	0,252	0,241	0,226	0,218	0,155	0,144	0,21	5,18	1,14
19.12.2024	0,245	0,236	0,179	0,174	0,149	0,135	0,19	4,60	1,11
23.12.2024	0,195	0,188	0,173	0,17	0,105	0,095	0,15	3,66	1,02
27.12.2024	0,164	0,158	0,171	0,166	0,072	0,069	0,13	3,04	1,11
31.12.2024	0,089	0,086	0,134	0,133	0,037	0,034	0,09	1,63	0,84
4.01.2025	0,07	0,064	0,089	0,081	0,011	0,01	0,05	0,71	0,46
8.01.2025	0,011	0,007	0,035	0,026	<0,000	<0,000	0,02	0,00	0,00
12.01.2025	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	0,00	0,00	0,00
16.01.2025	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	0,00	0,00	0,00
zemlja za lončnice									
datum	Z1		Z2		Z3				
12.12.2024	1,014	1,076	1,065	1,064	0,627	0,786	0,89	25,16	5,57
15.12.2024	0,245	0,23	0,296	0,29	0,286	0,279	0,27	7,09	0,70
19.12.2024	0,235	0,229	0,223	0,216	0,244	0,243	0,23	5,93	0,28
23.12.2024	0,17	0,164	0,117	0,115	0,109	0,105	0,13	2,94	0,66
27.12.2024	0,047	0,044	0,059	0,053	0,064	0,062	0,05	0,73	0,11
31.12.2024	0,071	0,069	0,068	0,059	0,015	0,014	0,05	0,57	0,31
4.01.2025	0,057	0,051	0,051	0,039	0,06	0,059	0,05	0,67	0,10
8.01.2025	0,011	0,01	0,003	0,002	0,015	0,012	0,01	0,00	0,00
12.01.2025	0,023	0,018	0,009	0,003	0,028	0,021	0,02	0,00	0,00
16.01.2025	0,036	0,034	0,044	0,045	0,034	0,034	0,04	0,23	0,03

Če podatke iz zgornje preglednice prenesemo v stolpčni diagram dobimo Graf 2. Iz njega se lepo vidi, da smo sicer imeli sipanje med posameznimi lonci v poskusu, vendar ostaja trend jasen. Čisto vsi substrati so izkazali sposobnost čiščenja SV z več kot 50% znižanjem SDS iz začetnih 25 mg/L.



Graf 2: Rezultati čiščenja detergentov iz SV s pomočjo različnih substratov, 12.12.2024 je začetna koncentracija SDS v SV

5 RAZPRAVA

Substrati za zelene stene imajo poleg zadrževanja vode, majhne teže in podpore rastlinam ključno vlogo pri primarnih procesih odstranjevanja onesnaževal, kar je pomembnejši dejavnik kot izbira rastlin (Pradhan in sod., 2019). V lanski raziskavi šestih različnih substratov so ugotovili, da se substrati med seboj močno razlikujejo po adsorpciji onesnaževal. Kavna usedlina in kokosova vlakna sta se izkazali kot odlična filtra za adsorpcijo organskih onesnaževal (84,2 % in 93,1 %), bioogljje in zeolit sta bila učinkovita pri zadrževanju celokupne organske snovi (izračunano kot totalni ogljik), zeolit pa najboljši pri odstranjevanju amonijaka in fosfatov. Odpadne zmete kosti so bile učinkovite pri odstranjevanju fosfatov (77,3 %), so slabo odstranjevale amonijeve ione. Perlit, kot običajen medij za zelene stene, se je izkazal kot najslabši substrat za vsa onesnaževala. Zaradi različnih sposobnosti odstranjevanja in fizikalnih lastnosti vsakega substrata ter različnih sestav SV je pomembno določiti mešano strategijo substratov za učinkovito čiščenje sive vode (Anangadan in sod., 2024).

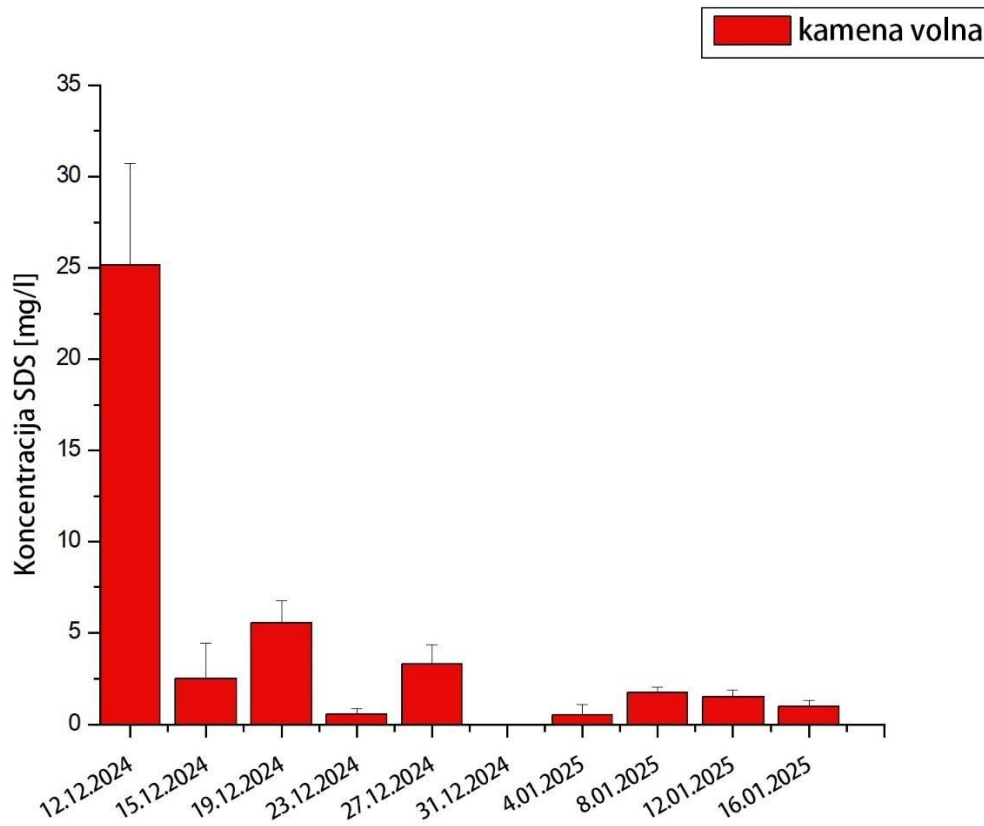
V ta namen smo našo raziskavo oblikovali tako, da smo testirali različne substrate; mešanico perlit, pesek, kokosova vlakna v razmerju 1 : 1 : 0,02; mineralno volno Knauf Urbanscape® ter substrat za lončnice ter preverili, kateri substrat zadrži največ detergenta SDS iz SV. Na grafu 2 so za primerjavo substrati predstavljeni skupaj, za namen razprave pa bolj podrobno vsak zase v nadaljevanju.

5.1 Kamena volna

Pri meritvah poljske kapacitete zadrževanja vode smo dokazali, da kamena volna zadrži več kot 60% vode (62%), kar je največ v primerjavi z ostalimi substrati. Velika zadrževalna kapaciteta pa pomeni veliko breme teže na vertikalni steni. Električna prevodnost je primerljiva s peskom in skoraj 10-krat manjša od zemlje za lončnice (53,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$), kar pomeni, da bi rastlinam v takem substratu morali nujno dodajati še dodatna hranila. V akvaponski pridelavi zelenjave, ki ni vpeta v steno je izbira kamene volne, ki ji dodajalo hranila, še vedno prva izbira (Khandaker in sod. 2018). pH vrednost je bila alkalna (pH 8,99), kar slabo vpliva na rast rastlin (Khajvand, M. in sod. 2022).

V naši raziskavi se je izkazala kot odličen substrat, ki je zadržal največ detergenta. Stopnja odstranitve SDS iz SV je bila skoraj 80% že po prvem tednu (Graf 3). Do konca meseca je

kamena volna uspela popolnoma odstraniti ves detergent. Odstranjevanje SDS je bilo učinkovito od prvega dne poskusa in se tekom izvajanja poskusa ni spreminjalo bistveno.



Graf 3: Rezultati čiščenja detergentov iz SV s pomočjo kamene volne

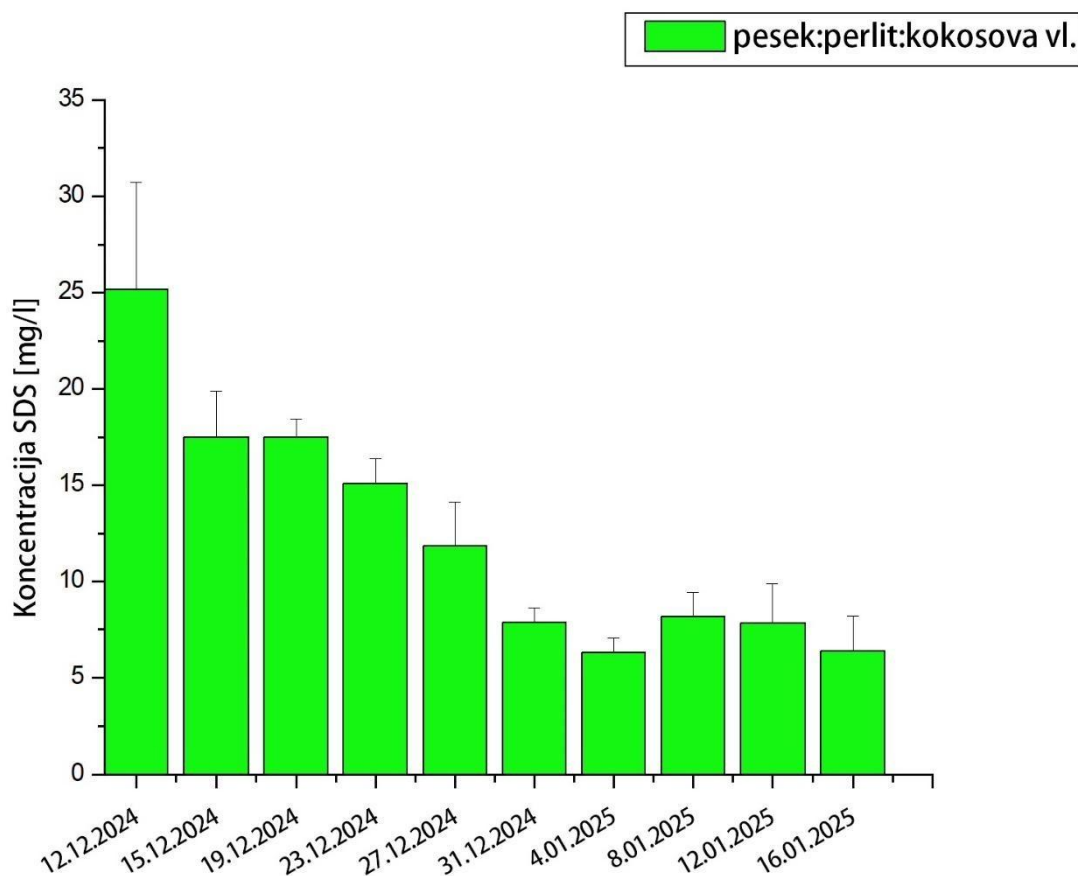
5.2 Perlit:pesek:kokosova vlakna

Sistemi filtracije s peskom so primerni za odpadno vodo, vendar niso lahki in obremenjujejo konstrukcijo. Perlit se je izkazal za najboljšega glede hidravlične in čistilne učinkovitosti med bolj prepustnimi mediji, medtem ko so kokosova vlakna najboljša med manj prepustnimi mediji. Različne mešanice razmerja kokosovih vlaken in perlita lahko uspešno čistijo SV, pri čemer so se perlit in kokosova vlakna že izkazali kot učinkoviti za odstranjevanje kovin, barvil in suspendiranih trdnih snovi (Rutar Polanec, 2021). Podatkov o zadrževanju detergentov nismo našli.

Kombinacija peska, perlita in kokosovih vlaken v razmerju 1 : 1 : 0,02 je zadržala najmanj SDS iz SV v seriji naših meritev. Koncentracija je padala do tretjega tedna, nato pa se je do konca eksperimenta zadržala med 70 – 75% odstranjenega SDS iz SV (Graf 4). Pri meritvah poljske kapacitete zadrževanja vode, je mešanica pričakovano prepustila največ

vode, več kot 90% (92%). Majhna zadrževalna kapaciteta vode pomeni, da so pretoki na steni lahko večji in da ima zelena stena lahko večjo cirkulacijo. Električna prevodnost je primerljiva s kameno volno (62,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$) in skoraj 10-krat manjša od zemlje za lončnice, kar pomeni, da bi rastlinam v takem substratu morali nujno dodajati še dodatna hranila. pH substrata je bil 6,46, kar je primerno za rast rastlin, glede na to, da je imela zemlja za lončnice primerljivo pH vrednost (pH 6,11).

To je v skladu s študijo Abd-ur-Rehman (2022), kjer so preučevali učinkovitost petih stenskih substratov (zeolit, perlit, datljeva semena, kavna usedlina in kokosova vlakna) za odstranjevanje šestih vrst organskih onesnaževal (zdravila, pesticidi,...) v SV, kjer so se organski substrati (datljeva semena, kavna usedlina in kokosova vlakna) izkazali za bolj učinkoviti pri njihovem odstranjevanju v primerjavi z naravnimi minerali (zeolit in perlit). Enako so potrdili tudi v kasnejši študiji, kjer je perlit znova najslabše zadržal organska onesnaževala (Anangadan in sod., 2024) v primerjavi z odpadnimi organskimi substrati (mlete kosti, kavna usedlina,...).

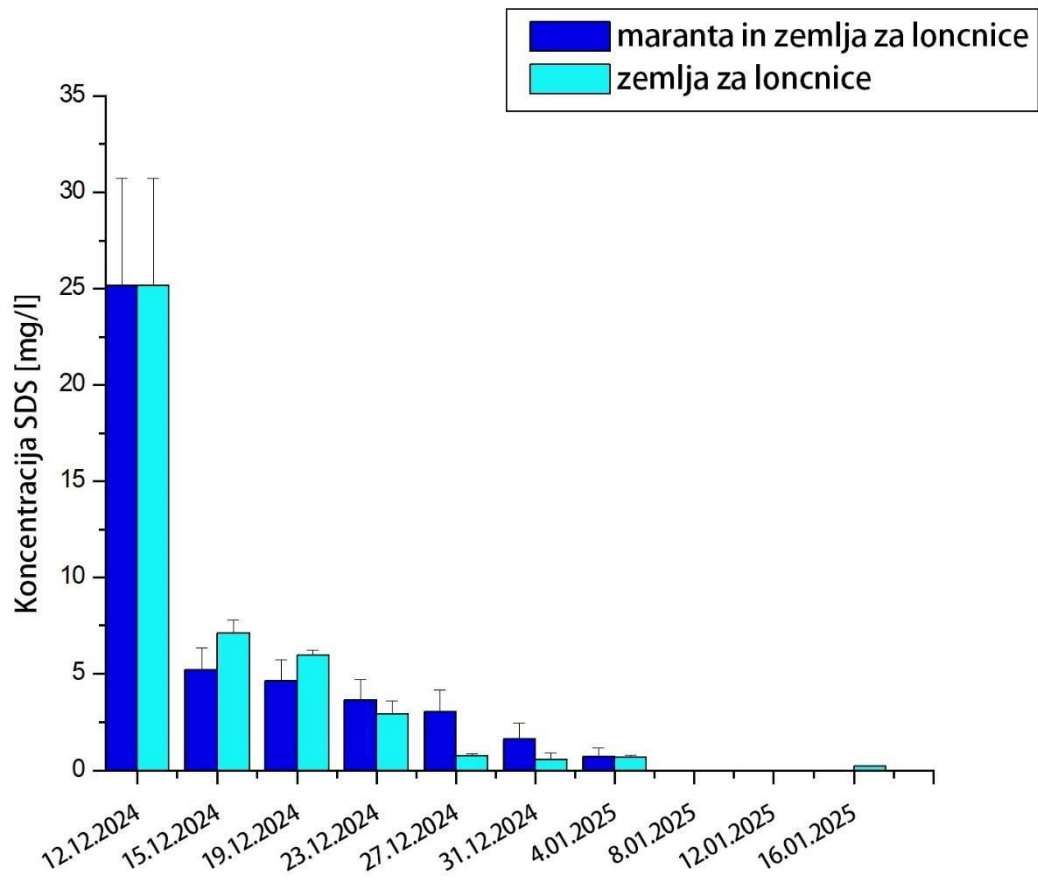


Graf 4: Rezultati čiščenja detergentov iz SV s pomočjo perlita, peska in kokosovih vlaken

5.3 Zemlja za lončnice

Zemlja za lončnice z rastlino ali brez je enakomerno zadrževala SDS iz SV. Popolnoma ga je odstranila po 14-ih dneh. Po enem mesecu poskusa ne moremo trditi, da je rastlina prispevala k boljšemu odstranjevanju, lahko pa zatrdimo, da je bila rastlina v odlični formi (Graf 5), saj ni bilo vidnih škodljivih vplivov SV. Podobno kot v primeru perlita, se iztočna koncentracija SDS zmanjšuje od začetka proti koncu poskusa, kar nakazuje na vzpostavljanje mikrobne združbe, ki prispeva k razgradnji SDS. Pri meritvah poljske kapacitete zadrževanja vode, je mešanica pričakovano prepustila največ vode, več kot 80% (83%). Majhna zadrževalna kapaciteta vode pomeni, da so pretoki na steni lahko večji in da ima zelena stena lahko večjo cirkulacijo. Električna prevodnost je bila 10-krat večja od ostalih dveh substratov (487 $\mu\text{S}/\text{cm}$), kar pričakovano ustreza večji vsebnosti ionov in dodanih gnojil. pH substrata je bil 6,11, kar je rahlo kislo območje in je skladno s pH vrednostmi šot (Zamljen in sod., 2020).

V nasprotju z raziskavo Addo-Bankas (2024), kjer so poročali o boljši adsorpcijski zmogljivosti perlita v primerjavi z zemljo za lončnice, se je v našem primeru zadnja izkazala za boljšo izbiro. Imela je dvakrat večjo zadrževalno sposobnost kot mešanica perlita, peska in kokosovih vlaken in največjo električno prevodnost, kar se kaže v raztopljenih soleh in huminskih kislinah, ki so na voljo za rast rastlin (Addo-Bankas in sod. 2024).



Graf 5: Rezultati čiščenja detergentov iz SV s pomočjo zemlje za lončnice in marante

6 ZAKLJUČEK

V raziskavi smo preučevali, kako lahko različni substrati v zelenih stenah prispevajo k čiščenju sive vode, glede odstranjevanja izbranega detergenta - natrijevega dodecilsulfata (SDS).

Rezultati so pokazali, da vsi testirani substrati v določeni meri zadržujejo detergent, pri čemer je bila najučinkovitejša kamena volna, ki je dosegla popolno odstranitev SDS. Sledili sta zemlji za lončnice, tako z kot brez rastline, ki sta odstranili večino detergenta, ter mešanica perlita, peska in kokosovih vlaken, ki je bila najmanj učinkovita, a je kljub temu dosegla več kot 50odstotno odstranitev.

Ugotovili smo, da lahko zelene stene predstavljajo sonaravno rešitev za ponovno uporabo sive vode, saj lahko delujejo kot biološki filtri in hkrati omogočajo rast rastlin. Pomembno vlogo pri čiščenju igra substrat, saj njegova sestava določa sposobnost zadrževanja vode in adsorpcijo onesnaževal.

V sklopu raziskave smo torej potrdili prvi dve od zastavljenih hipotez.

- 1.) Kombinacija peska, perlita in kokosovih vlaken je zadržala najmanj detergenta od vseh substratov.

Hipotezo potrdimo. Ta substrat je naslabše zadrževal SDS, vendar je kljub slabši zadrževalni kapaciteti prečistil več kot 50 % začetne koncentracije SDS iz SV.

- 2.) Kamena volna, ki ima največjo kapaciteto zadrževanja vode, je zadržala tudi največ detergenta.

Hipotezo potrdimo. Kamena volna je zadržala največjo količino SDS-ja.

- 3.) Zemlja za lončnice z zasajeno maranto je zadržala več detergenta kot sama zemlja brez lončnice.

Hipotezo ovržemo. V enem mesecu nismo potrdili razlik v zadrževanju SDS iz SV v enakem substratu z in brez rastline.

Naša raziskava je bila omejena na en mesec spremljanja učinkovitosti substratov. Za nadaljnje raziskave bi bilo smiselno podaljšati poskus in spremljati, kako dolgo substrati ohranjajo svojo sposobnost čiščenja. S tem bi lahko določili točko zasičenja substrata, pri kateri se njihova učinkovitost zmanjša in se začne koncentracija detergentov v izcedni vodi povečevati. Takšna

raziskava bi bila primernejša za natančno določanje zmožnosti substratov in njihovo uporabo v sistemih zelenih sten. Nadgradnja raziskave v smeri daljšega spremljanja in določitve prebojne sposobnosti substrata za zadrževanje SDS, bi bila smiselna pred aplikacijo v realno infrastrukturo. Prav tako bi bilo smiselno testirati tudi različne kombinacije substratov.

7 VIRI IN LITERATURA – po abecednem vrstnem redu

- Anangadan, S. M., Pradhan, S., Saththasivam, J., McKay, G., & Mackey, H. R. (2024). A kinetic evaluation of nutrient and organic matter removal in greywater for green Walls: Assessing the performance of Mineral-Based, Organic, and Waste-Derived plant support media. *Separation and Purification Technology*, 349, 127517. Dostopno na: Google Scholar.
- Abd-ur-Rehman, H. M., Deletic, A., Zhang, K., & Prodanovic, V. (2022). The comparative performance of lightweight green wall media for the removal of xenobiotic organic compounds from domestic greywater. *Water Research*, 221, 118774. Dostopno na: Google Scholar.
- Addo-Bankas, O., Wei, T., Tang, C., & Zhao, Y. (2024). Optimizing greywater treatment in green walls: A comparative analysis of recycled substrate materials. *Journal of Water Process Engineering*, 67, 106282. Dostopno na: Google Scholar.
- Bavcon Kralj, Mojca, Košenina, Suzana, Trebše, Polonca. *Analizne metode : analizna kemija, kemijske tehnologije, nevarne snovi : univerzitetni učbenik za študente univerzitetnega študija Sanitarne inženirstvo*. 1. izd. Ljubljana: Zdravstvena fakulteta, 2022. [XII], 142 str., ilustr. ISBN 978-961-6808-98-9. Dostopno na: COBISS.
- Cvenkel, N. 2020. Izbior substratov za gojenje mačeh. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Dostopno na: Digitalna knjižnica BF.
- Fortuna, A., 2018. Določanje ostankov površinsko aktivne snovi in biocida na posodi iz različnih materialov po ročnem čiščenju, 2018, magistrsko delo. Dostopno na: RUL
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. (2004). Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water science and technology*, 50(2), 157-164. Dostopno na: Google Scholar.
- Leal, L. H., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. N. (2011). Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination*, 270(1-3), 111-115. Dostopno na: Google Scholar.
- Khajvand, M., Mostafazadeh, A. K., Drogui, P., & Tyagi, R. D. (2022). Management of greywater: environmental impact, treatment, resource recovery, water recycling, and decentralization. *Water Science & Technology*, 86(5), 909-937. Dostopno na: Google Scholar.
- Khandaker, M., & Kotzen, B. (2018). The potential for combining living wall and vertical farming systems with aquaponics with special emphasis on substrates. *Aquaculture research*, 49(4), 1454-1468. Dostopno na: Google Scholar.
- Kolenc, Hana, 2016. Zelena stena kot čistilna naprava [na spletu]. Diplomsko delo. Maribor: H. Kolenc. Dostopno na: <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=63498>
- Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., & DeVries, N. K. (2018). Greywater characteristics, treatment systems, reuse strategies and user perception—a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(8), 255. Dostopno na: Google Scholar.
- Pradhan, S., Al-Ghamdi, S. G., & Mackey, H. R. (2019). Greywater recycling in buildings using living walls and green roofs: A review of the applicability and challenges. *Science of The Total Environment*, 652, 330-344. Dostopno na: Google Scholar.
- Roš, M., & Zupančič, G. D. (2010). Čiščenje odpadnih voda. Visoka šola za varstvo okolja. Dostopno na: <https://plus.cobiss.net/cobiss/si/sl/bib/nsktrs/252459776>

- Rutar Polanec, Valentina, 2021. Green wall development for greywater treatment and heat recovery : master thesis no.: 74/II. VOI [na spletu]. Magistrsko delo. Ljubljana: V. Rutar Polanec. Dostopno na: <https://repozitorij.unilj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=124991>
- Sievers, J. C., Londong, J., Albold, A., Oldenburg, M., & Lohaus, J. (2014, May). Characterisation of greywater–estimation of design values. In Proceedings of 17th International EWA Symposium “Water, Energy and Resources – Innovative Options and Sustainable Solutions” during IFAT (pp. 5-9). Dostopno na: Google Scholar.
- Sonneveld, C. (1991). Rockwool as a substrate for greenhouse crops. In High-Tech and Micropropagation I (pp. 285-312). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Dostopno na: Google Scholar.
- VanZile, J., & Sears, C. 2024. Prayer Plant: Care & Growing Guide. The Spruce. Dostopno na: The Spruce.
- Weinmaster, M. (2009). Are Green walls as ‘green’ as they look? an introduction to the various technologies and ecological benefits of green walls. J Green Build 4 (4): 3–18. Dostopno na: Google Scholar.
- Zamljen, T., Slatnar, A., & Zupanc, V. (2020). Evaluation of soil physical properties of peat substrate. Acta agriculturae Slovenica, 116(2), 357-367. Dostopno na: Google Scholar.

8. VIRI SLIK

- Slika 1: <https://greensutra.in/wp-content/uploads/2019/06/Greywater-All-you-need-to-know-Incontent-1024x348.png>
- Slika 2: <https://anytimeplumbing.net/wp-content/uploads/2024/04/GreywaterRecycling-01.jpg>
- Slika 3: <https://www.drielandenpark.info/drielandenparkwAssets/img/projekte/weblication/wThumbnails/HypoWave-Pilotanlage-Hattorf40485561-924f645a@742II.JPG>
- Slika 4: <https://www.renovablesverdes.com/wp-content/uploads/2020/09/tratamientode-aguas.jpg>
- Slika 5: https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTaDGuEI9nbYE1jxE9Pr_6w5VacZAK-2pdImdd2aO2IOPqNOP_Tf9DyEW4ftYdQ_WdL0eM&usqp=CAU
- Slika 7: https://www.google.si/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fplantagreenhouses.com%2Fproducts%2Fwally-32&psig=AOvVaw1r1u5TCf4-WIKG1dMxvc0f&ust=1743502989991000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCiCi_PiMtIwDFQAAAAAdAAAAABAV
- Slika 8: https://www.google.si/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fneogardenmursvegetaux.com%2Fhotels-mur-vegetal%2F&psig=AOvVaw1TVx957ux16xz26s4us_ly&ust=1743503297169000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCOCcz4OtIwDFQAAAAAdAAAAABAQ

- Slika 11: https://plantsandwhatknot.com/cdn/shop/files/ACS_2919_492eb87a-783b4959-9a9d-bc22460a738b_1400x.jpg?v=1725305790