

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Nastja PAJK

**RAST IN BIOMASA HITRORASTOČIH DREVESNIH VRST OB
NAMAKANJU Z IZCEDNO VODO ODLAGALIŠČA ODPADKOV IN
ODPADNO VODO IZ PRIPRAVE KOMPOSTA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**GROWTH AND BIOMASS OF FASTGROWING TREES IRRIGATED
WITH LANDFILL LEACHATE AND COMPOST WASTEWATER**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Raziskovalno delo je potekalo v sodelovanju s podjetjem Limnos d.o.o. in na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Terenski del raziskave s postavitvijo lončnega poskusa je bil izveden na Centru za ravnanje z odpadki Vrhnika, kemične analize pa so bile opravljene na Oddelku za gozdno ekologijo Gozdarskega inštituta Slovenije.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorico diplomskega dela imenovala doc. dr. Tjašo Griessler Bulc, za recenzentko prof. dr. Marjano Regvar in za predsednico komisije prof. dr. Alenko Gaberščik.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Alenka Gaberščik
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: doc. dr. Tjaša Griessler Bulc
Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Oddelek za sanitarno inženirstvo

Član: prof. dr. Marjana Regvar
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 28.1.2010

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Nastja Pajk

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	581.5:582.681.81(043.2)=163.6
KG	Fitoremediacija/izcedna voda/kompostna voda/topoli/vrbe
AV	PAJK, Nastja
SA	GRIESSLER BULC, Tjaša
KZ	Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenija
ZA	Biotehniška fakulteta
LI	2010
IN	RAST IN BIOMASA HITRORASTOČIH DREVESNIH VRST OB NAMAKANJU Z IZCEDNO VODO ODLAGALIŠČA ODPADKOV IN ODPADNO VODO IZ PRIPRAVE KOMPOSTA
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	XI, 60 str., 8 pregl., 17 sl., 12 pril., 79 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	V zadnjem času je vse bolj pomembno pridobivanje obnovljivih virov energije, med katere spada tudi gojenje hitrorastočih lesnih rastlin. Uporaba odpadnih voda z visoko vsebnostjo hranil (npr. izcedna voda odlagališča odpadkov in odpadna voda iz priprave komposta) se kaže kot obetavna možnost nadomestitve umetnih rastlinskih hranil in vira vode, hkrati pa pomeni tudi trajnostno upravljanje z odpadnimi vodami ter posledično predstavlja zmanjšanje njihovega negativnega vpliva na okolje. Namen raziskave je bil testirati razlike v rasti izbranih hitro rastočih drevesnih vrst (<i>Populus deltoides</i> Bartr. cl. »I-69/55« - LUX, <i>Salix viminalis</i> in <i>Salix purpurea</i>) v šestih obravnavanjih, namakanih z različnimi koncentracijami izcedne vode odlagališča komunalnih odpadkov, odpadne vode iz priprave komposta, vodovodne vode in hranilne mešanice z uporabo rastlinskih gnojil. V pokritem plastenjaku smo zastavili lončni poskus s petimi ponovitvami za posamezno vrsto in obravnavanje. Rastline smo dnevno zalivali s pripadajočimi vodnimi raztopinami glede na njihovo potrebo po vodi in tedensko merili njihovo višino. Po končanem 9-tedenskem poskusu smo vseh 90 rastlin porezali in jih razdelili na liste, lesene nadzemne dele in korenine ter izmerili njihovo zračno suho maso. V raziskavi smo ugotovili, da je izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2 (IV 1:2) in 1:4 (IV 1:4) pozitivno vplivala na rast rastlin. IV 1:4 je imela enak vpliv na rast in biomaso kot hranilna mešanica, kar potrjuje velik potencial fitoremediacije za čiščenje izcedne vode. Navadno izcedne in kompostne vode vsebujejo velike količine dušika. Glede na statistično značilno večjo vsebnost dušika v listih vseh vrst v obravnavanjih z izcedno in kompostno vodo kot pri vrstah v obravnavanju z vodovodno vodo lahko zaključimo, da je fitoremediacija primerna metoda za zmanjšanje količine dušika v teh odpadnih vodah. <i>S. purpurea</i> je dosegla najmanjšo maso in višino ter je s stališča fitoremediacije izcedne in kompostne vode najmanj primerna vrsta. Glede na to, da med <i>P. deltoides</i> in <i>S. viminalis</i> ni bilo statistično značilnih razlik v masi lesnega dela rastlin, bi lahko zaključili, da sta obe enako primerni s stališča pridobivanja lesne biomase ob zalivanju s tovrstnimi odpadnimi vodami. Ker je <i>P. deltoides</i> privzel največjo količino izcedne in kompostne vode, lahko zaključimo, da je najbolj primeren za fitoremediacijo obeh vrst voda oziroma za evapotranspiracijo te vode. Glede na to, da so vrste v enakem obdobju privzele skoraj trikrat več nerazredčene izcedne vode kot nerazredčene kompostne vode, so obravnavane rastline bolj primerne za čiščenje izcedne vode kot kompostne vode oziroma, da je kompostno vodo pred uporabo potrebno bolj obdelati kot izcedno vodo.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC 581.5:582.681.81(043.2)=163.6
CX Phytoremediation/landfill leachate/compost wastewater/poplars/willows
AU PAJK, Nastja
AA GRIESSLER BULC, Tjaša
PP Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenija
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
PY 2010
TI GROWTH AND BIOMASS OF FASTGROWING TREES IRRIGATED WITH
LANDFILL LEACHATE AND COMPOST WASTEWATER
DT Graduation Thesis (University studies)
NO XI, 60 p., 8 tab., 17 fig., 12 ann., 79 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The use of renewable energy sources, including the cultivation of fast-growing woody crops, has become increasingly important in the last few years. The use of waste resources with a high content of nutrients (eg, landfill leachate and compost wastewater) has shown to be a promising possibility for substitution of artificial plant nutrients and water. This also implies the sustainable management of waste resources and hence reduce their negative environmental impacts. The purpose of the study was to test the differences in the growth of selected fast growing tree species (*Populus deltoides* Bartr. cl. »I-69/55« - LUX, *Salix viminalis* and *Salix purpurea*) in six treatments, irrigated with various concentrations of municipal solid waste landfill leachate (LL), compost wastewater (CWW), tap water and fertilized tap water (N, P, K). Plants were watered daily with corresponding aqueous solution according to their need for water. Height was measured weekly. After 9-week experiment we cut all of the 90 plants, separated their leaves, wooden above-ground parts and roots. We measured their air dry weight. Our study showed that the landfill leachate, diluted with tap water in the volume ratio 1:2 (LL 1:2) and 1:4 (LL 1:4) had a positive effect on plant growth. LL 1:4 had the same impact on growth and biomass as a fertilized tap water, which confirms the great potential of phytoremediation for LL. Usually, LL and CWW contain large amounts of nitrogen. According to the statistically significant increase in leaf nitrogen content in all treatments with LL and CWW compared to the treatments with tap water, we can conclude that the phytoremediation is an appropriate tool to reduce the amount of nitrogen in these wastewaters. *S. purpurea* was the least effective in biomass accumulation and water use and therefore the least appropriate species for phytoremediation of LL and CWW. Comparing *P. deltoides* and *S. viminalis* in one growing season, there was no statistically significant differences in above-ground woody biomass, so we could conclude that both species are equally appropriate in for irrigation with such wastewaters. However, because *P. deltoides* used the biggest amount of LL and CWW, we can conclude that it is the most suitable for phytoremediation of both types of wastewater, in terms of wastewater evapotranspiration. Since all of the species in the same period used almost three times more undiluted LL than undiluted CWW, we can conclude that they are more appropriate for phytoremediation of LL than CWW or CWW needs to be appropriately pre-processed.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PRILOG	X
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
1 UVOD.....	1
1.1 ODLAGALIŠČA ODPADKOV	1
1.2 IZCEDNA IN KOMPOSTNA VODA.....	2
1.2.1 <i>Pojem izcedne vode</i>	2
1.2.2 <i>Pojem kompostne vode</i>	4
1.3 ČIŠČENJE IZCEDNIH IN KOMPOSTNIH VODA	6
1.3.1 <i>Tehnike čiščenja</i>	6
1.3.2 <i>Princip fitoremediacije</i>	7
1.3.2.1 Pregled procesov, ki so vključeni v fitoremediacijo izcednih voda odlagališč odpadkov	8
1.3.2.2 Zakaj se za fitoremediacijo uporabljajo drevesne vrste?	9
1.3.3 <i>Čiščenje izcedne vode odlagališč odpadkov z uporabo lesnih rastlin</i>	10
1.3.3.1 Uporaba topolov in vrb za čiščenje izcednih voda odlagališč odpadkov.....	11
1.3.3.1.1 Topoli.....	11
1.3.3.1.2 Vrbe	12
1.3.4 <i>Strupenost izcedne vode</i>	13
1.4 NAMEN DELA.....	13
2 MATERIAL IN METODE	14
2.1 RAZISKOVALNI OBJEKT IN OPIS RAZISKAVE	14
2.1.1 <i>Lokacija</i>	14
2.1.2 <i>Rastlinski material</i>	14
2.1.3 <i>Opis poskusa</i>	14
2.1.4 <i>Začetni substrat</i>	16
2.1.5 <i>Hranilne mešanice v različnih obravnavanjih</i>	17
2.2 TERENSKO DELO.....	18
2.2.1 <i>Dodajanje vode</i>	18
2.2.2 <i>Merjenje višine rastlin</i>	19
2.2.3 <i>Merjenje biomase rastlin</i>	19
2.3 LABORATORIJSKO DELO	19
2.3.1 <i>Merjenje dušika v listih rastlin</i>	19
2.4 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	19
2.4.1 <i>Izračun učinkovitosti izrabe vode</i>	20
2.4.2 <i>Ocenitev masnega vnosa hranil in elementov v sledovih</i>	20
3 REZULTATI.....	21
3.1 IZCEDNA VODA ODLAGALIŠČA ODPADKOV VRHNIKA IN ODPADNA VODA IZ PRIPRAVE KOMPOSTA	21
3.2 RASTNI PARAMETRI.....	23
3.2.1 <i>Stopnja preživetja rastlin</i>	23

3.2.2	<i>Višina rastlin</i>	24
3.2.3	<i>Rast rastlin</i>	25
3.2.4	<i>Biomasa rastlin</i>	27
3.2.4.1	Suha masa listov.....	28
3.2.4.2	Suha masa stebel in vej	29
3.2.4.3	Suha masa nadzemnega dela rastlin	30
3.2.4.4	Suha masa korenin	31
3.2.4.5	Suha masa cele rastline	32
3.3	PORABA VODE	33
3.3.1	<i>Učinkovitost izrabe vode</i>	34
3.4	ODVZEM ONESNAŽIL IZ OKOLJA	35
3.4.1	<i>Masni vnos hranil in elementov v sledovih</i>	35
3.4.2	<i>Analize dušika v listih</i>	38
4	RAZPRAVA IN SKLEPI	39
4.1	RAZPRAVA	39
4.1.1	<i>Izcedna in kompostna voda, uporabljena v raziskavi</i>	39
4.1.1.1	Značilnosti.....	39
4.1.2	<i>Rastni parametri</i>	39
4.1.2.1	Rast rastlin in končna višina.....	39
4.1.2.2	Masa rastlin	41
4.1.3	<i>Razlogi za slabo rast rastlin, namakanih s kompostno vodo</i>	44
4.1.4	<i>Privzem vode v različnih obravnavanjih</i>	45
4.1.4.1	Učinkovitost izrabe vode.....	46
4.1.5	<i>Masni vnos hranil</i>	47
4.1.6	<i>Dušik v listih</i>	48
4.2	SKLEPI	51
5	POVZETEK	52
6	VIRI	54

ZAHVALA
PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Sestava izcednih voda iz različnih odlagališč trdnih komunalnih odpadkov (Kjeldsen in sod., 2002).....	3
Preglednica 2: Sestava kompostnih voda. Vrednosti so vzete iz različnih študij, ki so proučevale sestavo kompostne vode iz posameznih organskih odpadkov (hrana, odpadki z vrta, drobci lesa, slama, žaganje, gnoj, odpadki iz klavnic). Povzeto po Composting Yard Trimmings ..., 1994; Epstein, 1997; Déportes in sod., 1995; Kennedy/Jenks Consultants, 2007; Tyrrel in sod., 2008.	5
Preglednica 3: Sestava izcednih voda, ki nastajajo pri odlaganju mehansko sortiranih organskih ostankov na odlagališča odpadkov brez biološke obdelave (Robinson, 2005).	6
Preglednica 4: Fizikalne in kemijske analize substrata, uporabljenega v poskusu, ter uporabljene analitične metode. Vrednosti so preračunane na suho težo substrata.	16
Preglednica 5: Koncentracije hranil in elementov v sledovih v razredčeni izcedni in kompostni vodi (IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8)	18
Preglednica 6: Sestava nerazredčene izcedne vode odlagališča odpadkov (IV), nerazredčene odpadne vode iz priprave komposta (KV), vode iz vodovoda (VV) in mejne vrednosti parametrov izcedne vode iz odlagališč odpadkov.....	21
Preglednica 7: Stopnja preživetja rastlin v posameznem obravnavanju (VV – vodovodna voda, KV – kompostna voda, IV – izcedna voda, H – hranilna mešanica)	23
Preglednica 8: Ocenjen masni vnos hranil in ionov tekom 9-tedenske raziskave z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2 (IV 1:2), izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4 (IV 1:4), kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4 (KV 1.4), kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8 (KV 1:8) ter hranilno mešanico (H).....	36

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Shematski prikaz procesov, ki so vključeni v čiščenje izcedne vode (Jones in sod., 2006).....	9
Slika 2: Zelenenje potaknjencev.....	15
Slika 3: Plastenjak z rastlinami na začetku raziskave.....	15
Slika 4: Fotografija obravnavanja – 5 rastlin vsake vrste v začetku raziskave.....	16
Slika 5: Plastenjak z rastlinami v 6. tednu raziskave.....	16
Slika 6: Višina rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).	24
Slika 7: Višina <i>Populus deltoides</i> v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) tekom raziskave. Vsaka točka prikazuje povprečje 4–5 rastlin.	25
Slika 8: Višina <i>S. viminalis</i> v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) tekom raziskave. Vsaka točka prikazuje povprečje 4–5 rastlin.	26
Slika 9: Višina <i>S. purpurea</i> v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) tekom raziskave. Vsaka točka prikazuje povprečje 4–5 rastlin.	27
Slika 10: Suha masa listov rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).	28
Slika 11: Suha masa stebel in vej rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).	29

- Slika 12: Suha masa nadzemnega dela rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$). 30
- Slika 13: Suha masa korenin rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$). 31
- Slika 14: Suha masa celih rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$). 32
- Slika 15: Količina vode (l), ki so jo rastline (*P. deltoids*, *S. viminalis*, *S. purpurea*) porabile v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) v času raziskave. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$). 33
- Slika 16: Učinkovitost izrabe vode (g suhe mase cele rastline/l porabljene vode) *P. deltoids*, *S. viminalis* in *S. purpurea* v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) v času raziskave. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$). 34
- Slika 17: Vsebnost dušika v listih rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 3 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$). 38

KAZALO PRILOG

Priloga A – Povprečne vrednosti in standardne napake različnih parametrov

Priloga B – ANOVA za različne parametre

Priloga C – Višina rastlin

Priloga D – Rast rastlin

Priloga E – Suha masa listov

Priloga F – Suha masa stebel in vej

Priloga G – Suha masa nadzemnega dela rastlin

Priloga H – Suha masa korenin

Priloga I – Suha masa celih rastlin

Priloga J – Poraba vode

Priloga K – Učinkovitost izrabe vode

Priloga L – Vsebnost dušika v listih

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

CRO	Center za ravnanje z odpadki
KPK	Kemijska potreba po kisiku
BPK5	Biološka potreba po kisiku v petih dneh
TOC	Celotni organski ogljik
DOC	Raztopljeni organski ogljik
EC	Električna prevodnost
SRC	Nasadi hitrorastočih drevesnih vrst s kratko obhodno dobo (short rotation coppice)
IUV	Industrija usnja Vrhnika
UIV	Učinkovitost izrabe vode
<i>P. deltoides</i>	<i>Populus deltoides</i> Bartr. cl. »I-69/55« - LUX
<i>S. viminalis</i>	<i>Salix viminalis</i> L.
<i>S. purpurea</i>	<i>Salix purpurea</i> L.
VV	Vodovodna voda
IV 1:2	Izcedna voda odlagališča odpadkov, rečena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2
IV 1:4	Izcedna voda odlagališča odpadkov, rečena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4
KV 1:4	Odpadna voda iz priprave komposta (kompostna voda), rečena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4
KV 1:8	Odpadna voda iz priprave komposta (kompostna voda), rečena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8
H	Hranilna mešanica z uporabo rastlinskih gnojil
IV 1:3	Izcedna voda odlagališča odpadkov, rečena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:3

1 UVOD

Danes na svetu živi šestinpolkrat toliko ljudi kot leta 1800. V povprečju vsak Zemljan porabi pet do šestkrat več energije kot pred dvesto leti, bruto družbeni proizvod na prebivalca Zemlje je okoli sedemnajstkrat večji, naša mobilnost pa je kar tisočkrat večja (Kajfež, B.L., 2008). Udobnejši način življenja, nenehna rast industrije in trgovine je v mnogih deželah pripomogla k hitremu porastu tako komunalnih kot industrijskih odpadkov (Renou in sod., 2008). Le v Sloveniji se je količina komunalnih odpadkov od leta 2002 do leta 2008 povečala za 25,4 %. Leta 2002 je v Sloveniji nastalo 735714 ton komunalnih odpadkov, leta 2008 pa že 922830 ton (Statistični urad RS, 2009). Posledice človeškega razvoja se kažejo tudi v drugih pritiskih na okolje, in sicer: povečuje se poraba vode in drugih naravnih virov, v okolje pa se sproščajo emisije snovi ter energije, kar se nenazadnje kaže tudi v podnebnih spremembah. Ena najbolj zaskrbljujočih je uporaba neobnovljivih virov energije, zato je Evropska komisija leta 2008 sprejela predlog Direktive o spodbujanju energije iz obnovljivih virov, ki do leta 2020 predvideva 20-odstotni delež obnovljivih virov energije v porabi energije in najmanj 10-odstotni delež biogoriv v prometu v vsaki državi članici (Komisija evropskih skupnosti, 2008). Tudi Strategija razvoja Slovenije teži k uveljavitvi trajnostne rabe naravnih virov, zmanjševanju energetske in snovne intenzivnosti, spodbujanju ponovne uporabe odpadkov in povečevanju ekološke učinkovitosti ter kakovosti življenja (Šušteršič in sod., 2005). Med pomembne obnovljive vire energije štejemo pridobivanje biogoriv, med katere spada tudi raba lesne biomase in gojenje hitrorastočih lesnih rastlin v ta namen. Ker rastline za optimalno rast potrebujejo rastlinska hranila, ki predstavljajo proizvodni strošek, se uporaba odpadnih voda z visoko vsebnostjo hranil (npr. izcedna voda odlagališča odpadkov in odpadna voda iz priprave komposta) kaže kot obetavna možnost nadomestitve umetnih rastlinskih hranil in vira vode. To pa hkrati pomeni tudi trajnostno upravljanje z odpadnimi vodami in posledično zmanjšanje njihovega negativnega vpliva na okolje.

1.1 ODLAGALIŠČA ODPADKOV

Odlaganje odpadkov na komunalna odlagališča odpadkov je najpogostejši način odstranjevanja mešanih komunalnih odpadkov v večini držav sveta (Kjeldsen in sod., 2002; Renou in sod., 2008).

Odlagališče odpadkov je zelo spremenljivo in heterogeno okolje, kar je razvidno že iz različne sestave odpadkov glede na kraj in čas. Odpadki vsebujejo veliko organskih molekul tako naravnega kot ksenobiotskega izvora. V razvitih državah so komunalni odpadki navadno odloženi na dobro načrtovanih odlagališčih odpadkov. V mnogih državah v razvoju pa so odloženi brez posebnega nadzora, torej brez kakršnih koli ukrepov za ravnanje z izcednimi vodami in plinskimi emisijami (Nagendran in sod., 2006).

Glavni problem odlagališč odpadkov je tvorba izcednih vod in potencialno eksplozivnih plinov (Jones in sod., 2006), kot je na primer metan. Na odlagališčih odpadkov nastane od 3 do 19 % vsega metana, ki uhaja v ozračje zaradi človeške dejavnosti. Odlagališča odpadkov tako pomembno prispevajo k globalnemu segrevanju ozračja (Kumar in sod., 2004). Drugačno tveganje za okolje pa predstavljajo izcedne vode, saj ob nepravilnem ravnanju z njimi lahko pride do onesnaženja podtalnice in površinskih voda (Kjeldsen in sod., 2002).

1.2 IZCEDNA IN KOMPOSTNA VODA

1.2.1 Pojem izcedne vode

Izcedne vode nastajajo z razgradnjo odpadkov (Duggan, 2005) in zaradi presežka padavin, ki pronikajo skozi plasti odpadkov na odlagališču (Alker in sod., 2002; Kjeldsen in sod., 2002; Duggan, 2005). V primeru, da gre za najbolj običajen tip odlagališča, ki prejema mešanico komunalnih in nenevarnih industrijskih odpadkov, lahko izcedno vodo opišemo kot vodno raztopino, ki vsebuje štiri glavne skupine onesnažil, in sicer: raztopljeno organsko snov, anorganske makro komponente, težke kovine in ksenobiotične organske spojine. Kombinacija fizikalnih, kemijskih in mikrobioloških procesov omogoča prehod onesnažil iz odloženih odpadkov v vodo, ki skozi nje pronika (Kjeldsen in sod., 2002). Z zaprtjem odlagališča pa nastajanje izcednih voda še ni končano. Nastajajo lahko še več desetletij po prekritju in zaprtju odlagališča, vendar v manjših količinah (Alker in sod., 2002; Kjeldsen in sod., 2002).

Onesnažila, ki se pojavljajo v izcedni vodi odlagališč trdnih komunalnih odpadkov: (Kjeldsen in sod., 2002):

1. Raztopljena organska snov

Ovrednotimo jo lahko kot kemijsko potrebo po kisiku (KPK), biološko potrebo po kisiku (BPK) ali celotni organski ogljik (TOC), hlapne maščobne kisline in težje razgradljive snovi, kot na primer huminske in fulvične kisline.

2. Anorganske makro komponente

V to skupino spadajo kalcij (Ca^{2+}), magnezij (Mg^{2+}), natrij (Na^+), kalij (K^+), amonij (NH_4^+), železo (Fe^{2+}), mangan (Mn^{2+}), klorid (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}) in hidrogen karbonat (HCO_3^-).

3. Težke kovine

V to skupino spadajo kadmij (Cd^{2+}), krom (Cr^{3+}), baker (Cu^{2+}), svinec (Pb^{2+}), nikelj (Ni^{2+}) in cink (Zn^{2+}).

4. Ksenobiotične organske spojine

V to skupino spadajo organske spojine, ki izvirajo iz gospodinjskih ali industrijskih kemikalij. V izcedni vodi so prisotne v relativno nizkih koncentracijah (navadno manj kot 1 mg/l za posamezno spojino). Gre za različne aromatske ogljikovodike, fenole, klorirane alifatske spojine, pesticide in še mnoge druge spojine.

V izcednih vodah odlagališč trdnih komunalnih odpadkov so lahko prisotne še druge spojine: borat, sulfid, arzenat, selenat, barij, litij, živo srebro in kobalt. Navadno so te spojine prisotne v zelo nizkih koncentracijah, tako da nimajo bistvenega pomena (Kjeldsen in sod., 2002). Poleg tega se v njih lahko pojavlja tudi vrsta organizmov, kot so bakterije in virusi (Jones in sod., 2006; Nagendran in sod., 2006). Pogosto vsebujejo tudi zelo visoke koncentracije raztopljenih organskih snovi in anorganskih makro komponent. Te koncentracije so lahko tudi za faktor 1000 do 5000 višje od koncentracij v podtalnici (Kjeldsen in sod., 2002).

Preglednica 1: Sestava izcednih voda iz različnih odlagališč trdnih komunalnih odpadkov (Kjeldsen in sod., 2002).

Parameter	Enota	Razpon
pH		4,5–9
Specifična elektoprevodnost	μS/cm	2500–35000
Neraztopljene snovi	mg/l	2000–60000
Organska snov		
Skupni organski ogljik (TOC)	mg/l	30–29000
BPK5	mg/l	20–57000
KPK	mg/l	140–152000
Razmerje BPK5/ KPK		0,02–0,80
Organski dušik	mg/l	14–2500
Anorganske makro komponente		
Skupni fosfor	mg/l	0,1–23
Klorid	mg/l	150–4500
Sulfat	mg/l	8–7750
Hidrogen bikarbonat	mg/l	610–7320
Natrij	mg/l	70–7700
Kalij	mg/l	50–3700
Amonijev dušik	mg/l	50–2200
Kalcij	mg/l	10–7200
Magnezij	mg/l	30–15000
Železo	mg/l	3–5500
Mangan	mg/l	0,03–1400
Silicij	mg/l	4–70
Težke kovine		
Arzen	mg/l	0,01–1
Kadmij	mg/l	0,0001–0,4
Krom	mg/l	0,02–1,5
Kobalt	mg/l	0,005–1,5
Baker	mg/l	0,005–10
Svinec	mg/l	0,001–5
Živo srebro	mg/l	0,00005–0,16
Nikelj	mg/l	0,015–13
Cink	mg/l	0,03–1000

Izcedne vode različnih odlagališč komunalnih odpadkov so si med seboj podobne. Vzrok je v biorazgradnji organskega dela odpadkov in zbitih plasteh odpadkov, kar ustvari anaerobne razmere. Odlagališča tekom razgradnje odpadkov, kjer poteka serija bioloških in kemijskih reakcij, prehajajo med štirimi glavnimi fazami, in sicer: začetno aerobno fazo, anaerobno acetogeno fazo, začetno metanogeno fazo in stabilno metanogeno fazo (Kjeldsen, 2002). Ker so različni deli odlagališča v različnih fazah, se tudi sestava izcednih vod na različni delih odlagališča razlikuje. Sestava izcednih vod je odvisna tudi od sestave, starosti, stopnje, vpojnosti in zbitosti odpadkov, količine padavin, pH, temperature v plasteh odpadkov, mikrobiološko inhibitornih snovi ter od načina zbiranja odpadkov (Jones, 2006; Negendran in sod., 2006). Poleg tega pa so opazne še sezonske variacije v sestavi izcednih vod (Åkesson in Nilsson, 1997; Kjeldsen in sod., 2002). V deževni dobi so koncentracije onesnažil v izcedni vodi nižje kot v sušni dobi (Kjeldsen, 2002).

1.2.2 Pojem kompostne vode

V nasprotju z izcednimi vodami je raziskav o kompostnih vodah bistveno manj, zato je tudi literatura na to temo skopa, kar v svojih člankih ugotavljajo tudi različni avtorji (Epstein, 1997; Savage in Tyrrel, 2005; Tyrrel in sod., 2008).

Kompostne vode nastajajo med razgradnjo organskih odpadkov, ki vsebujejo veliko vode (sadje in zelenjava). Če gre za kompostiranje na prostem, pa kompostne vode nastajajo tudi zaradi padavin ali drugih voda, ki pronikajo skozi kompostni kup (Tyrrel in sod., 2008), zato se spodbuja zaprto kompostiranje (Farrell in Jones, 2009), kjer nastane mnogo manj kompostnih voda kot pri kompostiranju na prostem (Composting Yard Trimmings ..., 1994; Paré in sod. 1998; Farrell in Jones, 2009).

Sestava kompostnih voda je zelo spremenljiva. Odvisna je od organskih snovi, ki se razgrajujejo, od zrelosti komposta, tehnike kompostiranja in vremena (Tyrrel in sod., 2005 cit. po Tyrrel in sod., 2008). Kompostne vode vsebujejo raztopljene in suspendirane snovi iz kompostnega kupa (Composting Yard Trimmings ..., 1994). Navadno je v njih veliko organskih kislin, ki se tvorijo tekom encimatske razgradnje organskih snovi (Wershaw, 1996). Sestava kompostnih voda je v veliki meri odvisna od sestave odpadkov. Voda, ki nastane pri razgradnji listja, vsebuje fenolne spojine in ima visoko biološko potrebo po kisiku (BPK). Pri kompostiranju hranilno bogatih snovi, kot so trava, gnoj in odpadno blato, nastala voda vsebuje veliko dušikovih snovi (nitrati, amonijak) in v nekaterih primerih tudi veliko fosforja (Richard, 1996). V kompostnih vodah so lahko prisotne še potencialno strupene sintetične snovi, kot so poliklorirani bifenoli iz obdelanega lesa, pesticidi in policiklični aromatski ogljikovodiki. Kot je že bilo zgoraj omenjeno, je sestava kompostnih voda odvisna tudi od časa kompostiranja. Tekom zorenja komposta se koncentracija dušika v kompostni vodi zmanjšuje (Composting Yard Trimmings ..., 1994).

Dokazano je, da so v začetnih fazah kompostiranja kompostne vode izrazito strupene, kasneje pa ta strupenost upade (Paré in sod., 1998).

Preglednica 2: Sestava kompostnih voda. Vrednosti so vzete iz različnih študij, ki so proučevale sestavo kompostne vode iz posameznih organskih odpadkov (hrana, odpadki z vrta, drobci lesa, slama, žaganje, gnoj, odpadki iz klavnic). Povzeto po Composting Yard Trimmings ..., 1994; Epstein, 1997; Déportes in sod., 1995; Kennedy/Jenks Consultants, 2007; Tyrrel in sod., 2008.

Parameter	Enota	Razpon
pH		5,8–8,2
Specifična elektroprevodnost	mS/cm	2,86–5,05
Neraztopljene snovi	mg/l	4969–10838
Organska snov		
Skupni organski ogljik (TOC)	mg/l	829–14175
BPK5	mg/l	8–11571
KPK	mg/l	2434–31812
Organski dušik	mg/l	17,5–975,4
Anorganske makro komponente		
Fosfor	mg/l	ND*–2,4
Klorid	mg/l	1514–5254
Kalij	mg/l	2,70 (SD 0,99)
Amonijev dušik	mg/l	80–9595
Železo	mg/l	0,57 (SD 0,78)
Težke kovine		
Kadmij	mg/l	ND*
Krom	mg/l	ND*–0,19*
Baker	mg/l	ND*–0,053
Svinec	mg/l	ND*–0,16*
Nikelj	mg/l	ND*–0,32*
Cink	mg/l	0,11–0,87*

ND – nedoločljivo, vrednosti označene z * so vrednosti težkih kovin v kompostni vodi iz anaerobne razgradnje trave ter mešanice trave in listov (Epstein, 1997).

Kompostne vode lahko na nek način primerjamo tudi z izcednimi vodami, ki nastanejo med mehansko-biološko obdelavo mešanih komunalnih odpadkov. Pri tem postopku se iz komunalnih odpadkov najprej zbere organske snovi, ki jih ni možno reciklirati. V nadaljevanju se te organske odpadke kompostira z namenom zmanjšanja intenzivnosti izcednih voda, produkcije plinov in hitrejše stabilizacije odpadkov na odlagališčih odpadkov. Zaradi organskih snovi, visoke vlage in majhnih delcev teh odpadkov se med kompostiranjem tvorijo intenzivnejše izcedne vode kot na odlagališčih trdnih komunalnih odpadkov (Robinson, 2005). To je posledica acetogene faze, v kateri se tvorijo organske kisline, ki znižajo pH izcedne vode (Sormunen, 2008).

Ker se v literaturi pojavljajo le podatki o sestavi izcedne vode po mehansko-biološki obdelavi mešanih komunalnih odpadkov, v nadaljevanju sledi preglednica s sestavo izcedne vode, ki nastaja, če mehansko sortirani organski ostanki niso biološko obdelani, ampak so odloženi na odlagališče odpadkov.

Preglednica 3: Sestava izcednih voda, ki nastajajo pri odlaganju mehansko sortiranih organskih ostankov na odlagališča odpadkov brez biološke obdelave (Robinson, 2005).

Parameter	Enota	Razpon
Specifična elektoprevodnost	$\mu\text{S/cm}$	39400
Skupni organski ogljik (TOC)	mg/l	4694
KPK	mg/l	15590–172000
BPK5	mg/l	9400–123000
Amonijev dušik	mg/l	3965–4200
Klorid	mg/l	6000–9100
Natrij	mg/l	4080
Kalij	mg/l	1310
Krom	mg/l	0,41–1,3
Kalcij	mg/l	27
Krom	mg/l	13,1
Nikelj	mg/l	0,45–2,1
Baker	mg/l	0,33–1,41
Cink	mg/l	0,56–102

1.3 ČIŠČENJE IZCEDNIH IN KOMPOSTNIH VODA

Izcedne vode so problematične zaradi možnosti onesnaženja podtalnice in površinskih voda (Alker in sod., 2002; Kjeldsen in sod., 2002). Iz istega razloga so problematične tudi kompostne vode (Paré in sod., 1998). Upravljalci odlagališč so zato odgovorni za pravilno ravnanje z izcednimi vodami tako v času obratovanja odlagališč kot tudi po zaprtju, in sicer dokler ni dokazano, da te ne povzročajo več nevarnosti za okolje (Alker in sod., 2002). Prav tako so upravljalci kompostarn odgovorni za pravilno ravnanje s kompostnimi vodami (Ur.l. RS, 2008).

1.3.1 Tehnike čiščenja

V svetu se uporablja mnogo načinov čiščenja izcednih voda. Pogosto uporabljene so naslednje tehnike (Robinson, 1995, cit. po Salem in sod., 2008):

- aerobne biološke metode (aktivno blato, šaržni biološki reaktorji in prezračevalne lagune (Alker in sod., 2002)),
- anaerobne biološke metode,
- namakanje tal,
- trsne grede,
- reverzna osmoza,
- vpihanje zraka za odstranitev amonija,
- uporaba ozona.

Ker se sestava izcednih voda spreminja tako s časom kot tudi od odlagališča do odlagališča, je izbira metode čiščenja odvisna od začetne sestave izcednih voda in normativov, ki jih prepisuje zakonodaja (Renou, 2008). Pred izbiro metode je torej

potrebno preučiti vsako odlagališče posebej in oceniti tveganja, ki nastanejo z izborom posamezne metode (Jones in sod., 2006).

V mnogih primerih izcedne vode odstranijo iz odlagališča odpadkov s cisterno ali jo odvajajo po kanalizaciji na čiščenje v konvencionalni čistilni napravi (Alker in sod., 2002). Konvencionalne tehnike čiščenja so pogosto precej drage in energijsko potratne. Odlagališča so navadno precej oddaljena od čistilnih naprav. Ker so prav stroški prevoza običajno najdražji (Dugann, 2005), so možnosti čiščenja izcednih voda na mestu njenega nastanka še kako dobrodošle (Alker in sod., 2002). Izcedne vode odlagališč odpadkov vsebujejo mnogo snovi, ki jih rastline potrebujejo za rast (Alker in sod., 2002), zato v svetu že precej uveljavljena fitoremediacija to omogoča (Alker in sod., 2002; Licht in Isebrands, 2005; Bulc, 2006; Jones in sod., 2006; Nagendran in sod., 2006; Zalesny in sod., 2007a; Zupančič J.M. in Zupančič M., 2009). Za čiščenje izcedne vode odlagališč odpadkov s pomočjo fitoremediacije se najpogosteje uporabljajo rastlinske čistilne naprave (Kadlec in Knight, 1996, Bulc in sod., 1997, Nivala in sod. 2007, Yalcuk in Ugurlu, 2009) in namakanje nasadov lesnih rastlin (Alker in sod., 2002; Dimitriou in Aronsson, 2005; Licht in Isebrands, 2005; Jones in sod., 2006).

Tudi kompostne vode se v mnogih primerih odpelje na konvencionalno čistilno napravo (Composting Yard Trimmings ..., 1994; Tyrrel, 2008) in tudi v primeru kompostnih voda se išče alternativne možnosti čiščenja na mestu njenega nastanka (Tyrrel, 2008). Eden od načinov ravnanja s kompostnim vodami je ponovna uporaba le-te. Kompostne vode zbirajo in jih nato ponovno uvajajo v kompostne kupe, ki potrebujejo določeno stopnjo vlage. Različne študije opisujejo čiščenje kompostnih voda s filtracijo skozi posebne filtre (waste-derived filter media), pridobljene iz odpadnih materialov, kot so koščki opeke, zemlja, kompost, koščki lesa (Savage in sod., 2005; Tyrrel in sod., 2008). V dostopni literaturi nismo zasledili, da bi se tudi kompostne vode čistile s pomočjo fitoremediacije, vsaj ne v taki meri kot izcedne vode odlagališč odpadkov, zato se v nadaljevanju osredotočamo predvsem na izcedne vode odlagališč odpadkov.

1.3.2 Princip fitoremediacije

Fitoremediacija vključuje niz tehnologij, ki uporabljajo rastline in z njimi povezane mikroorganizme za remediacijo onesnaženih predelov (Chappell, 1997; Phytoremediation Decision ..., 1999 ; Susarla in sod., 2002; Pulford in Watson, 2003). Rastline se uporabljajo za *in situ* ali *ex situ* remediacijo kontaminiranih tal, blata, sedimentov in vode z odstranitvijo, razgradnjo ali stabilizacijo onesnažil. Na tak način se lahko odstrani ali stabilizira različna onesnažila, kot so kovine, pesticidi, topila, razstreliva, naftni derivati, policiklični aromatski ogljikovodiki in izcedne vode (Phytoremediation Decision ..., 1999). Vzrok za uspešnost fitoremediacije je predvsem predvidljiv privzem vode. Rastline privzemajo skoraj vsa potrebna hranila v vodotopni obliki s pomočjo korenin in listov

(Licht in Isebrands, 2005). Lesne rastline imajo poleg visokega evapotranspiracijskega potenciala tudi encime za razgradnjo različnih snovi, globoke korenine in sposobnost akumulacije onesnažil. V mnogih primerih imajo tudi visoko stopnjo rasti in zato veliko produkcijo biomase (Chappell, 1997).

Fitoremediacija je uporabna tako v primeru točkovnih kot tudi razpršenih virov onesnaženja (Phytoremediation Decision ..., 1999), kljub vsemu pa ima tudi omejitve. Uporablja se lahko le tam, kjer imajo rastline pogoje za rast. Koncentracije onesnažil ne smejo biti strupene za rastline, onesnažila morajo biti v biološko dostopni obliki, prav tako pa onesnaženje ne sme biti preveč globoko, kajti korenine rastlin morajo doseči onesnažila. Poleg tega je fitoremediacija v primerjavi z mehanskim čiščenjem fitoremediacija počasnejša, onesnažila pa lahko z zaužitjem fitoremediacijskih rastlin vstopijo v prehrambeno verigo (Chappell, 1997).

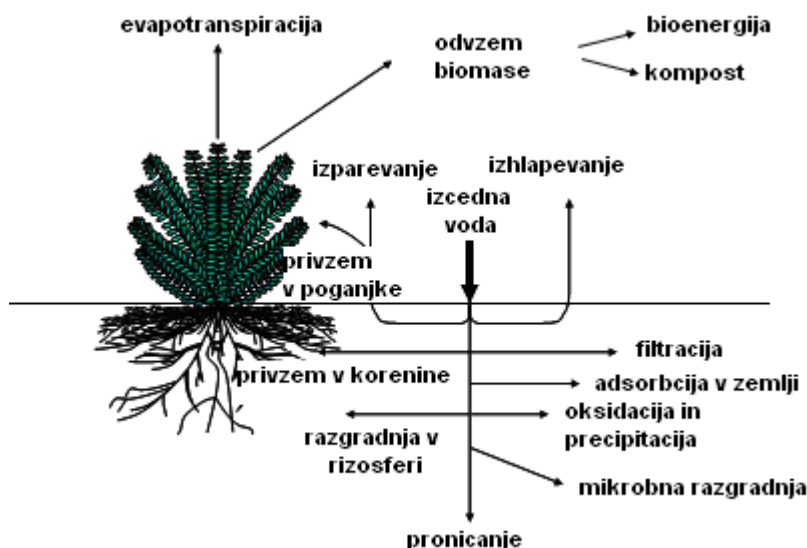
Poznamo pet glavnih mehanizmov fitoremediacije in sicer (Garbisu in Alkorta, 2001):

- fitoekstrakcija: rastline odstranijo onesnažila (kovine, organske snovi) iz tal in jih koncentrirajo v nadzemnih delih;
- fitodegradacija: rastline in z njimi povezani mikroorganizmi razgrajujejo organska onesnažila;
- rizofiltracija: rastline s pomočjo korenin privzemajo onesnažila, predvsem kovine, iz onesnaženih voda;
- fitostabilizacija: rastline s pomočjo imobilizacije zmanjšajo mobilnost in dostopnost onesnažil v okolju;
- fitovolatilizacija: rastline privzamejo hlapna organska onesnažila in jih s transpiracijo sproščajo v atmosfero.

1.3.2.1 Pregled procesov, ki so vključeni v fitoremediacijo izcednih voda odlagališč odpadkov

Fitoremediacija je pravzaprav kombinacija nadzemnih in podzemnih procesov. Nadzemni procesi vključujejo: (1) privzem plinastih hranil, ki izhlapevajo iz izcedne vode v liste in uporabo le-teh za sintezo biomase (npr. NH_3); (2) privzem topnih hranil in kovin iz izcedne vode v liste ter uporabo le-teh za rast (npr. NO_3^- , Zn) ali izključitev in akumulacijo v listih (npr. Pb); (3) privzem hlapnih in topnih organskih snovi v liste (npr. klorirani ogljikovodiki) in njihovo poznejšo detoksifikacijo ali izključitev; (4) povečano transpiracijo vode iz izcedne vode med in po namakanju. Podzemni procesi pa vključujejo: (1) privzem vode iz tal, kar poganja transpiracijo, ki najprej potegne snovi, ki so v izcedni vodi, bliže koreninam, da jih lahko rastline privzamejo; s tem pa se zmanjša tudi volumen izcedne vode ter pronicanje onesnažil v nižje plasti tal; (2) privzem anorganskih snovi (K , NH_4^+) in kovin (Na, težke kovine) v korenine, kjer so lahko porabljene za rast, transportirane v poganjke ali izključene; (3) privzem organskih snovi, ki so nato

razgrajene, porabljene za rast, transportirane v poganjke ali izključene; (4) stimulacijo mikroorganizmov v rizosferi, ki zmanjšajo BPK, razstrupljajo organska onesnažila in pretvorijo nekatere kovine v nestrupeno obliko (npr. Cu); (5) adsorbcijo in fiksacijo kovin v tla (imobilizacija); (6) adsorbcijo in razgradnjo (biotska, abiotska) organskih snovi iz izcedne vode; (7) utrjevanje substrata s koreninami, kar poviša pronicanje izcedne vode ter preprečuje površinski odtok (Jones in sod., 2006).



Slika 1: Shematski prikaz procesov, ki so vključeni v čiščenje izcedne vode (Jones in sod., 2006).

1.3.2.2 Zakaj se za fitoremediacijo uporabljajo drevesne vrste?

Uporaba dreves za fitoremediacijo onesnaženih območij se je izkazala za zelo primerno, kajti drevesa imajo mnogo prikladnih lastnosti. Imajo veliko produkcijo biomase, so genetsko variabilna, utrjujejo tla ter s tem preprečujejo vetrno in vodno erozijo. Poleg tega so estetsko privlačna za čiščenje onesnaženih območij. Na fitoremediacijo pa lahko pogledamo tudi z ekonomskega vidika (Pulford in Dickinson, 2005), ima namreč velik potencial pridobivanja biomase. Primarni in sekundarni proizvodi topolov in vrb vključujejo biomaso za toplotno energijo, papir, stavbni les, opaž, palete, pohištvo, zaboje itd. (Licht in Isebrands, 2005).

Drevesne vrste, ki se pogosto uporabljajo v fitoremediaciji, so naslednje: topoli, vrbe (Perttu in Kowalik, 1997; Phytoremediation Decision ..., 1999; Dickmann, 2001; Pulford in Watson, 2003; Duggan, 2005; Licht in Isebrands, 2005; Adler in sod., 2008; Jones in sod., 2006), trepetlika (Phytoremediation Decision ..., 1999), javor (Duggan, 2005), evkaliptus (Duggan, 2005), navadna breza (Jones in sod., 2006), jelša, jesen, bor in platana (Pulford in Watson, 2003).

1.3.3 Čiščenje izcedne vode odlagališč odpadkov z uporabo lesnih rastlin

V svetu se uporablja več načinov čiščenja izcedne vode s pomočjo lesnih rastlin. To so:

- vegetacijski filtri,
- vegetacijski pokrovi.

Namen vegetacijskih filtrov je prestoreti različna onesnažila iz odpadnih vod in tal, ki bi drugače onesnaževala okolje. Nekatere elemente, na primer nitratni dušik, amonijev dušik, trikloroeten, cink, rastline privzamejo in jih tako odstranijo iz tal. Večina onesnažil pa nikoli ne vstopi v rastline, zadržijo se namreč v koreninski coni, kjer jih razgradijo mikrobi v tleh (Licht in Isebrands, 2005). Študija Hasselgren (1999) je pokazala, da vegetacijski filtri očistijo izcedne vode celo bolje kot konvencionalne tehnike čiščenja (Hasselgren, 1999 cit. po Rosenqvist in Ness, 2004). Nasadi hitrorastočih drevesnih vrst s kratko obhodno dobo (short rotation coppice – SRC) se pogosto uporabljajo kot vegetacijski filtri. To je intenzivna gozdarska tehnika, v kateri se uporabljajo hitrorastoče drevesne vrste kot so vrbe, topoli in evkaliptus (Rockwood in sod., 2001; Alker in sod., 2002). Drevesa so gosto posejana (12.000–25.000 dreves/ha) (Duggan, 2005) in požeta na vsake 3 do 5 let v času svoje življenjske dobe, ki traja 20 do 30 let. Z namakanjem takega nasada zmanjšamo količino izcedne vode in vsebnost hranil v njej. Biomasa, ki jo s tem pridobimo, lahko sežgemo in s tem dobimo toplotno energijo. V Veliki Britaniji na tak način letno pridelajo 15–20 ton/ha lesa, v drugih državah pa je količina še večja (na primer Švedska, letno 20–40 ton/ha) (Jones in sod., 2006). Na ta način pridobljena toplotna energija zmanjša porabo fosilnih goriv, s tem pa se zmanjša tudi emisija CO₂ (Rosenqvist in Ness, 2004). Navadno se z nasadi s hitro obhodno dobo letno iz okolja odstrani 500–1000 m³/ha izcedne vode, pri čemer je potrebno upoštevati, da se izven rastne sezone in po možnosti v prvem letu od ustanovitve nasadov izcednih voda ne dodaja v sistem. Obdobje, ko rastline ne rastejo in zato ne potrebujejo hranil, je tudi glavni problem takih sistemov. Poleg tega nizke temperature v zimskem obdobju zavirajo aktivnost mikrobov v tleh in remediacijo v rizosferi (Jones in sod., 2006). Na Švedskem so taki sistemi že precej v uporabi, saj imajo okoli 30 nasadov s kratko obhodno dobo, ki jih namakajo z izcednimi vodami (Dimitriou in sod., 2006).

Vegetacijski pokrovi se uporabljajo za prekrivanje odlagališč odpadkov. To so dolgoročni in samovzdrževani sistemi, ki zmanjšujejo tveganje, ki ga povzročajo odloženi odpadki (Nagendran in sod., 2006). Odpadki so prekriti s plastjo tal, ki zadržuje vodo, tako da je dostopna rastlinam (Licht in Isebrands, 2005). Namen takih sistemov je povečati evapotranspiracijo iz površine odlagališča in bioremediacijo (Nagendran in sod., 2006). Nasad, ki zraste na tak način, lahko uporabimo na več načinov: lahko ga požanjemo in uporabimo za lesno biomaso, z njim lahko povečamo biodiverziteto (nov habitat za različne živalske vrste) ali pa je namenjen alternativni uporabi (parki, rekreacijske površine) (Licht in Isebrands, 2005). Poleg tega taki sistemi pospešijo stabilizacijo

odpadkov in zmanjšajo produkcijo plina (Nagendran in sod., 2006) na račun metanotrofnih bakterij, ki živijo v coni korenin (Licht in Isebrands, 2005).

Vsi zgoraj opisani alternativni načini čiščenja izcednih voda odlagališč odpadkov so poceni v primerjavi z konvencionalnimi načini čiščenja (Alker in sod., 2002, Bowman in sod., 2002, Rosenqvist in Ness, 2004, Nagendran in sod., 2006). Z vegetacijskimi filtri se kubični meter izcedne vode iz odlagališča odpadkov očisti za 0,34 dolarjev, na konvencionalni čistilni napravi pa za 0,62 dolarjev (Rosenqvist in Ness, 2004). Vegetacijski pokrovi znatno znižajo stroške zapiranja odlagališča; leta 1997 je konvencionalni način zapiranja odlagališča stal 24.000–40.000 dolarjev na hektar, zapiranje z vegetacijskim pokrovom pa le 5.500–12.500 dolarjev na hektar (Nagendran in sod., 2006).

1.3.3.1 Uporaba topolov in vrb za čiščenje izcednih voda odlagališč odpadkov

Topoli in vrbe se najpogosteje uporabljajo v fitoremediacijah, ker hitro rastejo, imajo mnogo korenin, ki so globoke, ter privzemajo velike količine vode zaradi visoke evapotranspiracije. Topoli in vrbe lahko absorbirajo veliko različnih onesnažil, na primer rastlinska hranila (nitrati, amonijak, fosfor), anorganske kovine in nekovine ter petrokemične spojine (goriva, topila, pesticide in njihove intermediate) (Licht in Isebrands, 2005).

1.3.3.1.1 Topoli

Rod *Populus* spada v družino *Salicaceae* in obsega okoli 30 vrst, ki so naravno prisotne na severni hemisferi. Znotraj rodu prihaja do križanja tako v naravi kot tudi umetno, zato obstaja veliko križancev. Topoli večinoma rastejo v obrežnih in mokrotnih habitatih, kjer so prilagojeni na sezonske poplave in višje nivoje vode (Dickmann in sod., 2001). Na dan lahko privzamejo med 50 in 110 l vode (Wullschleger, 1998).

Topoli imajo mnogo značilnosti, zaradi katerih so pogosto uporabljeni v fitoremediacijah. So hitro rastoča drevesa (letno zrastejo od 3 do 5 m), imajo visoko transpiracijo, živijo dolgo v primerjavi z zelnatimi rastlinami (od 25 do 30 let), vegetativno razmnoževanje je enostavno, po sečnji dreves iz panja ponovno poženejo poganjki, drevesno biomaso pa je možno uporabiti za različne proizvode (Chappell, 1997).

Zaradi visoke produkcije biomase se jih uporablja v nasadih s kratko obhodno dobo. Walle in sod. (2007) so povzeli produkcijo topolov v evropskih študijah in ugotovili, da znaša biomasa topolov v nasadih s kratko obhodno dobo letno od 2,2 do 13,6 ton suhe mase na hektar, kar pa je odvisno od vrste topola, gostote nasada, pogostosti žetve, tipa prsti, pH-ja, podnebja in upravljanja z nasadi.

Mnogo raziskovalcev se ukvarja s preučevanjem fitoremediacije izcedne vode odlagališč odpadkov s pomočjo topolov. Zalesny in sod. (2007a) so preučevali rast in biomaso osmih klonov topola ob namakanju z izcedno vodo odlagališča komunalnih odpadkov. V njihovi študiji se produktivnost dreves, ki so bila namakana z izcedno vodo, v primerjavi s kontrolnimi, ki so bila namakana z navadno vodo z dodanimi hranili, ni povečala, vendar tudi ni prišlo do zaviranja rasti. Tako so se izkazali za zelo primerne za odstranjevanje te izcedne vode. Po drugi strani pa so Zalesny in sod. (2009) v drugi študiji ugotovili, da so bili topoli, namakani z izcedno vodo odlagališča trdnih komunalnih odpadkov, višji in so imeli večji premer stebel ter večje število listov v primerjavi s kontrolnimi topoli, ki so bili namakani z vodo iz studenca. Tudi Adler in sod. (2008) ugotavljajo, da so topoli, namakani z izcedno vodo odlagališča odpadkov, bolj produktivni kot tisti, ki so namakani z navadno vodo.

1.3.3.1.2 Vrbe

V družino vrbovk (*Salicaceae*) spada 400 vrst vrb z več kot 200 križanci. Večina vrb raste v nižinskih, močvirnatih habitatih. So zelo primerne za uporabo v fitoremediacijah, kajti s potrebo po velikih količinah vode (lahko privzamejo tudi do 200 l vode na dan (Susarla, 2002)) zmanjšujejo tudi količino onesnažil v okolju. Poleg tega rastejo celo rastno sezono (Duggan, 2005), vse dokler povprečne dnevne temperature ne padejo pod 5 °C (Perttu in Kowalik, 1997), večina vrst pa z lahkoto preživi tudi dolga obdobja suše (Pulford in Watson, 2003).

Grmovnate vrbe, ki hitro rastejo in se dobro zakoreninjajo, so zelo primerne za nasade s kratko obhodno dobo, in sicer zaradi pridobivanja biomase (Perttu in Kowalik, 1997, Pulford in Watson, 2003, Duggan, 2005). Vrsta, ki je široko v uporabi, je *Salix viminalis* (Pulford in Watson, 2003). Poleg visoke produkcije biomase učinkovito privzemajo hranila in s tem tudi onesnažila (Perttu in Kowalik, 1997, Pulford in Watson, 2003) (lahko privzemajo velike količine N, P in K), poleg tega pa pospešujejo denitrifikacijo v coni korenin (Jones in sod, 2006). Selektivno privzemajo težke kovine, še posebej Cd, kar omogoča odstranitev kovin iz izcedne vode in z njo namakanih tal (Britt in sod., 2002, Fischerová, 2006, Jones in sod, 2006). Študija Zalesny-ja (2007b) je pokazala, da vrbe privzemajo večje količine Zn, B, Fe in Al kot topoli, topoli pa imajo večji privzem P, K, S, Cu in Cl v primerjavi z vrbami. Fischernová (2006) navaja, da topoli navadno privzamejo večje količine Pb kot vrbe, po drugi strani pa vrbe privzamejo več Cd in Zn.

V mnogih primerih vrbe, namakane z izcedno vodo odlagališč odpadkov, dosežejo večjo biomaso kot vrbe, namakane z navadno vodo (Alker in sod., 2002, Duggan, 2005). Tudi Zupančič J.M. in Zupančič M. (2009) sta ugotovili, da ima izcedna voda odlagališč odpadkov pozitiven vpliv na vrbe. Drevesa, ki so tvorila vegetacijski pokrov odlagališča, so začela zeleneti prej in tudi rasla so hitreje v primerjavi z okoliškimi vrbami (Zupančič

J.M. in Zupančič M., 2009). Simulacija evapotranspiracije vrb, ki prekrivajo 3 ha odlagališča odpadkov, je pokazala, da je večina nastale izcedne vode na ta način lahko odstranjena (Duggan, 2005).

Vrb se ne uporablja za hrano in krmo, zato je čiščenje odpadnih voda z vrbami sprejemljivo tudi z etičnega vidika (Perttu in Kowalik, 1997).

1.3.4 Strupenost izcedne vode

Posamezni avtorji so opazili, da imajo izcedne vode odlagališč odpadkov lahko negativen vpliv na drevesa. Kakšen je ta vpliv, je odvisno od njihove sestave (Duggan, 2005). Glavni omejujoč dejavnik je navadno slanost (Hernández in sod., 1999, Bowman in sod., 2002, Britt in sod., 2002). Izcedne vode odlagališč odpadkov z visoko električno prevodnostjo (0,2–0,4 S/m) povzročijo osmotski stres (Duggan, 2005). Zaradi inhibitornih snovi, kot so klorid in različne kovine, ki so prisotne v izcednih vodah, je možna poškodba listov, prezgodnja senescenca listov, zmanjšana biomasa in celo nižja stopnja preživetja rastlin (Stephens in sod., 2000, Dimitriou in sod., 2006). Zato na splošno velja, da se odpadne vode, ki imajo električno prevodnost višjo 2000–4000 mS/cm, ne smejo uporabljati za namakanje dreves (Britt in sod., 2002).

1.4 NAMEN DELA

Namen raziskave je bil testirati razlike v rasti izbranih hitrorastočih drevesnih vrst (*P. deltoides* Bartr. cl. »I-69/55« - LUX, *S. viminalis* in *S. purpurea*) ob namakanju z različnimi koncentracijami izcedne vode odlagališča odpadkov, odpadne vode iz priprave komposta, vodovodne vode in hranilne mešanice z uporabo rastlinskih gnojil. Ugotovljene razlike v rasti rastlin in akumulirani biomasi so nam omogočile oceniti učinkovitost biološkega sistema pri odstranjevanju organskih in anorganskih onesnažil iz odpadne vode in kapaciteto pridobivanja lesne biomase.

Postavili smo si sledeče hipoteze:

1. Uporaba primernih koncentracij s hranilnimi snovmi bogate izcedne vode odlagališča odpadkov in odpadne vode iz priprave komposta bo pospešila rast rastlin v primerjavi s kontrolno skupino, namakano z vodovodno vodo.
2. Z dobro rastjo rastlin bomo dosegli asimilacijo organskih in anorganskih snovi in s tem zmanjšali onesnaženost okolja, do katerega bi prišlo v primeru nenadzorovanega izpusta izcedne vode odlagališča odpadkov in kompostne vode v okolje.
3. Različne drevesne vrste imajo različno fitoremediacijsko sposobnost.

2 MATERIAL IN METODE

2.1 RAZISKOVALNI OBJEKT IN OPIS RAZISKAVE

2.1.1 Lokacija

Raziskava je potekala na območju Centra za ravnanje z odpadki (CRO) Vrhnika d.o.o., ki leži v neposredni bližini zaprtega odlagališča komunalnih odpadkov. Odlagališče se nahaja ob avtocesti, in sicer v bližini izvoza Vrhnika. Na CRO Vrhnika poteka obdelava biološko razgradljivih odpadkov ter obdelava embalaže, elektronske opreme in kosovnih odpadkov. Poleg tega je tu še zbirni center za sprejem ločeno zbranih odpadkov iz gospodinjstev (Center za ravnanje ..., 2009). Odpadkov se od leta 2002 ne odlaga več na odlagališče odpadkov (Javno podjetje ..., 2009).

Vrhnika leži na robu Ljubljanskega barja in ima celinsko podnebje. Pomembna je bližina dinarsko–alpske reliefne pregrade, ki preprečuje dostop toplih morskih zračnih gmot (Perko in Orožen, 1998). Povprečna letna temperatura zraka je 8–10°C, povprečna julijska 18–20 °C in povprečna januarska pa od –2 do 0°C (Atlas okolja, 2009). Od celotnega Ljubljanskega barja pade največ padavin prav na Vrhniki (Perko in Orožen, 1998). Povprečna letna višina padavin znaša 1600–1800mm (Atlas okolja, 2009).

2.1.2 Rastlinski material

V raziskavi so bile uporabljene tri rastlinske vrste: hitrorastoč klon topola *Populus deltoides* Bartr. cl. »I-69/55« - LUX ter vrbi *Salix viminalis* L. in *Salix purpurea* L. Topolovi potaknjenci so bili pridobljeni iz enoletnih poganjkov topolov drevesnice Gozdarskega inštituta Slovenije v Zadobrovi pri Ljubljani. Topolov klon izvira iz italijanskega inštituta za topole (Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura, Casale Monferato). Potaknjenci beke (*S. viminalis*) so bili pridobljeni iz Botaničnega vrta Biotehniške fakultete, potaknjenci rdeče vrbe (*S. purpurea*) pa iz sanacijskega nasada vrb na odlagališču odpadkov Dobrava v Ormožu. Opisani klon topola smo izbrali zaradi visoke produkcije biomase, vrbi pa zaradi naravne prisotnosti v bližini Centra za ravnanje z odpadki Vrhnika in dobre rasti v študiji na Odlagališču odpadkov Dobrava (Zupančič J.M. in Zupančič M., 2009).

2.1.3 Opis poskusa

V začetku rastne sezone (marec 2007) smo pričeli z zasaditvijo 25 cm velikih potaknjencev, ki so bili pridobljeni iz enoletnih poganjkov topola (*P. deltoides*), in dveh vrst vrb (*S. viminalis*, *S. purpurea*). Pred zasaditvijo smo le-te en dan namakali v vodi. Posamezen potaknjenec smo zasadili v 12-litrski lonec, tako da je zgornjih 5 cm ostalo nad substratom. Na dno lonca smo položili plastično mrežo z namenom, da bi preprečili rast korenin izven lonca in izpiranje substrata. Substrat, ki smo ga uporabili v poskusu, je bil sestavljen iz komposta CRO Vrhnika, pomešanega s tlemi v volumskem razmerju 1:2.

V času zakoreninjenja (11 tednov) smo potaknjence zalivali z vodo iz vodovoda. V začetku junija smo 30 dobro razvitih rastlin vsake vrste izbrali za poskus in jih prenesli v pokrit plastenjak (železna konstrukcija, pokrita s prozornim polivinilom, ki je preprečevala dostop padavin). Vsak lonec z rastlino smo postavili v svoj podstavek, tako da so bile rastline v času poskusa neprestano v stiku z vodo. Poleg tega smo s tem preprečili izpiranje hranil iz substrata, kajti v podstavku so bila hranila rastlini še vedno na voljo. Vsaka rastlinska vrsta je bila v obravnavanju zastopana s petimi ponovitvami. Obravnavanja so zajemala naslednje vodne raztopine: vodo iz vodovoda (VV) (kontrola), hranilno mešanico z uporabo rastlinskih gnojil (*H*), izcedno vodo odlagališča odpadkov, rečeno z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2 (*IV* 1:2) in 1:4 (*IV* 1:4) ter odpadno vodo iz priprave komposta (kompostna voda), rečena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4 (*KV* 1:4) in 1:8 (*KV* 1:8). V študijah, ki so bile narejene na odprtem prostoru, se je izcedna voda odlagališča odpadkov razredčila s padavinami (Alker, 2002; Zalesny, 2007a). V naši raziskavi je bil dostop padavinam onemogočen, zato smo izcedno in kompostno vodo predhodno razredčili. Redčitve smo določili glede na predhodno študijo sanacije odlagališča odpadkov, kjer je izcedna voda predstavljala 28% vode dodane v sistem in, kjer so rastline dobro uspevale (Zupančič J.M, 2006). Poleg tega je bila naša nerazredčena izcedna voda odlagališča odpadkov podobna tisti, ki so jo v lončnem poskusu z vrbbami uporabili Dimitriou in sod. (2006) in so jo predhodno razredčili z vodovodno vodo v razmerju 1:2, 1:3 in 1:5. Ker je nerazredčena kompostna voda vsebovala več hranil kot nerazredčena izcedna voda, smo se odločili za večjo redčitev le te (1:4 in 1:8). Lonci z rastlinami so bili po plastenjaku razporejeni naključno. Rastline v vsakem obravnavanju smo dnevno zalivali s pripadajočimi vodnimi raztopinami glede na njihovo potrebo po vodi. Raziskava je potekala do začetka avgusta (9 tednov), ko smo vseh 90 rastlin porezali.



Slika 2: Zelenenje potaknjencev



Slika 3: Plastenjak z rastlinami na začetku raziskave



Slika 4: Fotografija obravnavanja – 5 rastlin vsake vrste v začetku raziskave



Slika 5: Plastenjak z rastlinami v 6. tednu raziskave

2.1.4 Začetni substrat

Substrat, ki smo ga uporabili v poskusu, je bil analiziran v laboratoriju za gozdno ekologijo na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Sestavljen je bil iz komposta CRO Vrhnika, pomešanega s tlemi v volumskem razmerju 1:2. Fizikalne in kemijske lastnosti ter uporabljene analitične metode so prikazane v spodnji preglednici.

Preglednica 4: Fizikalne in kemijske analize substrata, uporabljenega v poskusu, ter uporabljene analitične metode. Vrednosti so preračunane na suho težo substrata.

Komponenta	Metoda	Enota	Količina
pH (0.01M CaCl ₂)	S PH ISO 10390		7,37
Električna prevodnost (EC)	S EC ÖNORM L 1070	mS/cm	1,67
Humus	S ICP-FORESTS	%	16,40
CaCO ₃	S CaCO ₃ ISO 10693 (Scheibler kalcimeter)	%	23,64
Cmin		%	2,84
Corg		%	9,51
C	S CNS ISO 10694-13878-15178 (elementarne analize)	%	12,35
N		%	1,06
S		%	0,07
Vsebnost vode	S MOIST ISO 11465 (IR higrometer)	%	11,21
Tekstura tal			
Pesek (2–0.063 mm)	S TEX ÖNORM L 1061 (sedimentacija)	%	36,40
Grobi melj (0.0630.02 mm)		%	13,90
Fini melj (0.020.002 mm)		%	25,89
Glina (<0.002 mm)		%	23,80
Skupne količine elementov			
P	S AAS ÖNORM L 1085 (SPF)	g/kg	1,91
K	S AAS ÖNORM L 1085 (AAS – plamen/elektrokemično)	g/kg	6,86

Komponenta	Metoda	Enota	Količina
Ca	S AAS ÖNORM L 1085 (AAS – plamen/elektrokemično)	g/kg	67,45
Mg		g/kg	16,92
Na		g/kg	1,34
Fe		g/kg	17,04
Mn		mg/kg	373,46
Cd		mg/kg	0,15
Pb		mg/kg	34,77
Zn		mg/kg	204,41
Cr		mg/kg	162,75
Cu		mg/kg	44,71
Ni		mg/kg	21,21

2.1.5 Hranilne mešanice v različnih obravnavanjih

V obravnavanju s hranilno mešanico (*H*) smo uporabili granulirano gnojilo “Kemira-Greencare” (N:P:K = 20:5:10) z dodatkom mikrohranil Mg, Fe in B, raztopino kalijevega sulfata (52 % K₂S) in amonitrata s 34 % skupnega dušika. Gnojilo “Kemira- Greencare” je bilo dodano na površino substrata vsake testne rastline dvakrat v času eksperimenta, in sicer v skupni količini 24,76 g. K-sulfat in amonitrat sta bila dozirana tedensko v namakalno vodo, skupna količina na rastlino je 3,71 g prvega in 6,13 g drugega gnojila. Tako je bilo v vsak lonec v obravnavanju *h* v času 9-tedenskega poskusa dodanih 5,42 g N, 0,54g P in 3,43 g K (N:P:K = 10:1:6).

Izcedno vodo, uporabljeno v poskusu, smo vzeli iz drenažnega kanala, v katerega se steka izcedna voda iz zaprtega odlagališča odpadkov Vrhnika. V preteklosti so tu odlagali komunalne odpadke in nekatere industrijske odpadke iz bližnje Industrije usnja Vrhnika ter blato iz njihove čistilne naprave (Zapiranje deponije ..., 2001). Kemične analize izcedne vode so bile narejene v laboratoriju za gozdno ekologijo na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Sestava izcedne vode, ki smo jo uporabili v poskusu, in uporabljene analitične metode so prikazane v poglavju 3 (Rezultati, Preglednica 6). Izcedna voda je bila temno rjave barve in je imela rahlo neprijeten vonj.

Kompostno vodo, uporabljeno v poskusu, smo vzeli iz zbirnega rezervoarja, kjer se zbira odpadna voda iz odprte kompostarne in se predelujejo organski gospodinjski odpadki ter različni rastlinski ostanki (Gunstek, 2009). Kemične analize kompostne vode so bile narejene v laboratoriju za gozdno ekologijo na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Sestava kompostne vode, ki smo jo uporabili v poskusu, in uporabljene analitične metode so prikazane v poglavju 3 (Rezultati, Preglednica 6). Kompostna voda je bila rumenkasto rjave barve in je imela izjemno neprijeten vonj.

Izcedno in kompostno vodo smo za namene namakanja razredčili z vodovodno vodo in se tako izognili neposredni strupenosti zaradi prevelike slanosti. S tem smo se približali naravnim pogojem, ki nastanejo, ko odpadno vodo razredčijo padavine (Zupančič J.M., 2006). Obe uporabljeni vodi (izcedna in kompostna) sta bili shranjeni v 1000 litrski cisterni. Želene koncentracije smo dobili tako, da smo potrebno količino izcedne in kompostne vode vsak dan razredčili z vodovodno vodo. Tekom raziskave smo cisterno z izcedno vodo napolnili trikrat, cisterno s kompostno vodo pa enkrat. Pred vsakokratnim polnjenjem smo vzeli vzorec vode za kemijske analize (poglavje 3: Rezultati, Preglednica 6).

V Preglednici 5 je predstavljena koncentracija onesnažil (večina le-teh je tudi rastlinskih hranil) v razredčenih izcednih in kompostnih vodah, s katerimi smo zalivali rastline. Vrednosti so preračunane iz neredčene izcedne in kompostne vode.

Preglednica 5: Koncentracije hranil in elementov v sledovih v razredčeni izcedni in kompostni vodi (IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8)

Parameter	Enota	IV 1:2	IV 1:4	KV 1:4	KV 1:8
skupni N	mg/l	167,5 ^b	100,5 ^b	194,1 ^b	107,8 ^b
P _{tot}	mg/l	3,3–19,2	2,0–11,5	74,4 ^b	41,3 ^b
K	mg/l	19,7–91,1	11,8–54,7	441,1–577,7	245,0–320,9
Cl	mg/l	14,8–143,0	8,9–85,8	195–233,5	108,3–129,7
Na	mg/l	120,9–141,3	72,5–84,8	156,1–209,1	86,7–116,2
Ca	mg/l	12,4 ^b	7,5 ^b	420,7 ^b	233,7 ^b
Mg	mg/l	5,4–24,9	3,3–14,9	97,6 ^b	54,2 ^b
Cd	µg/l	0,14 ^b	0,09 ^b	0,20 ^b	0,11 ^b
Cr	µg/l	204,7–1093,3	122,8–656,0	26,0–184,2	14,4–102,3
Fe	mg/l	0,7–1,5	0,4–0,9	22,9–23,2	12,7–12,9

b – vrednost je pridobljena le iz ene meritve

Vodovodno vodo, ki smo jo uporabljali v kontrolnem obravnavanju in za pripravo vodnih raztopin v ostalih obravnavanjih, smo dobili iz javnega vodovoda občine Vrhnika. Fizikalne in kemijske analize vodovodne vode, prikazane v poglavju 3 (Rezultati, Preglednica 6), so bile narejene v okviru letnega monitoringa pitne vode, ki ga izvršuje Inštitut za varovanje zdravja RS.

2.2 TERENSKO DELO

2.2.1 Dodajanje vode

V poskus je bilo zajetih 6 obravnavanj z naslednjimi vodnimi raztopinami: voda iz vodovoda (VV) (kontrola), hranilna mešanica z uporabo rastlinskih gnojil (H), izcedna

voda odlagališča odpadkov, rečena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2 (*IV 1:2*) in 1:4 (*IV 1:4*) ter odpadna voda iz priprave komposta (kompostna voda), rečena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4 (*KV 1:4*) in 1:8 (*KV 1:8*). Prvi dan poskusa smo rastlinam v vsakem obravnavanju dodali 2 litra pripadajoče vodne raztopine, v nadaljevanju pa smo jih dnevno zalivali glede na njihovo potrebo po vodi (od 0 litrov do 7 litrov). Količino vodne raztopine, ki smo jo dodali posamezni rastlini, smo vsak dan posebej določili glede na preostanek vode v podstavku, izsušenost substrata in pričakovane temperature zraka. Za vsako rastlino posebej smo si sproti beležili količino dodane vodne raztopine.

2.2.2 Merjenje višine rastlin

Višino dreves smo v času trajanja poskusa merili tedensko. Za višino drevesa smo vzeli višino največjega (glavnega) poganjka. Merili smo od začetka poganjka (pri substratu) do terminalnega popka na vrhu poganjka.

2.2.3 Merjenje biomase rastlin

Po končanem poskusu smo vse rastline poželi. Z rastlin smo pobrali liste in jim odrezali korenine, tako da smo pri vsaki rastlini dobili tri frakcije: liste, leseni nadzemni del (stebela, veje) in korenine. Stehtali smo svežo težo listov in lesenega nadzemnega dela rastlin. Zaradi časovno zamudnega postopka čiščenja substrata s površine korenin, sveže teže korenin nismo mogli stehtati. Korenine smo skupaj s substratom posušili na zraku, da smo odstranili večje količine substrata. Nato smo jih namakali v vodi in ob tem odstranjevali še preostali substrat med prepletom drobnih korenin. Vse tri frakcije rastlin smo sušili na zraku in nato stehtali še zračno suho težo listov, lesenega nadzemnega dela in korenin.

2.3 LABORATORIJSKO DELO

2.3.1 Merjenje dušika v listih rastlin

Meritve vsebnosti dušika v listih so bile narejene na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Listi so bili zmleti na krogličnem planetarnem mlinu Fritsch Pulverisette 5, kjer so bile uporabljene nekovinske kroglice (cirkonijev oksid). Prašnat vzorec listov, ki je tehtal med 200 in 300 mg, je bil sežgan pri temperaturi 1350 °C, nato pa je bila narejena analiza sežignih plinov. Vsebnost dušika v listih je bila določena z elementnim analizatorjem CNS Leco 2000 na osnovi termoprevodnostne detekcije.

2.4 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Podatke smo analizirali s standardnimi statističnimi metodami. Pri tem smo uporabljali MS Excel 2007 in statistični program SPSS 16.0. Statistično primerjavo v parametrih, ki smo jih preverjali (privzem vode, višina, masa, vsebnost dušika v listih) med obravnavanji in rastlinami, smo naredili z analizo variance in Tukeyevim HSD testom.

2.4.1 Izračun učinkovitosti izrabe vode

Učinkovitost izrabe vode (UIV) posamezne vrste v določenem obravnavanju smo izračunali po naslednji enačbi:

$$UIV = m/V \quad \dots (1)$$

m – suha masa cele rastline v določenem obravnavanju (v gramih),

V – volumen vode, ki so jo rastline privzele v določenem obravnavanju v času 9-tedenskega poskusa (v litrih).

Enačbo smo povzeli po Greval (2010).

2.4.2 Ocenitev masnega vnosa hranil in elementov v sledovih

Za ocenitev masnega vnosa hranil in elementov v sledovih smo uporabili naslednjo enačbo:

$$a = b \cdot c \quad \dots (2)$$

a – masni vnos posameznih hranil in elementov v sledovih v posameznem obravnavanju,

b – količina posameznih hranil in elementov v sledovih v določeni razredčitvi izcedne in kompostne vode ter v hranilni mešanici (IV 1:2, IV 1:4, KV 1:4, KV 1:8 in H),

c – volumen določene razredčene izcedne in kompostne vode ter hranilne mešanice (IV 1:2, IV 1:4, KV 1:4, KV 1:8 in H), ki so jo rastline privzele v času 9-tedenskega poskusa.

3 REZULTATI

3.1 IZCEDNA VODA ODLAGALIŠČA ODPADKOV VRHNIKA IN ODPADNA VODA IZ PRIPRAVE KOMPOSTA

V Preglednici 6 je prikazana sestava nerazredčene izcedne vode zaprtega odlagališča odpadkov Vrhnika, nerazredčene odpadne vode iz priprave komposta iz odprte kompostarne na CRO Vrhnika in vode iz javnega vodovoda občine Vrhnika, iz katerih smo pripravljali hranilne mešanice za zalivanje rastlin. Prikazane so povprečne vrednosti parametrov, ki smo jih dobili iz štirih analiz izcedne vode in dveh analiz kompostne vode. Podatke za vodo iz vodovoda smo pridobili iz letnega poročila pitne vode za leto 2007 (Poročilo o preskušanju ..., 2007). V tej preglednici so prikazane tudi mejne vrednosti parametrov izcedne vode iz odlagališč za inertne, nenevarne in nevarne odpadke, ki smo jih povzeli po Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov (Ur.l. RS, št. 7/2000, 62/2008).

Preglednica 6: Sestava nerazredčene izcedne vode odlagališča odpadkov (IV), nerazredčene odpadne vode iz priprave komposta (KV), vode iz vodovoda (VV) in mejne vrednosti parametrov izcedne vode iz odlagališč odpadkov

Parameter	Metoda (Tehnika)	Enota	Izcedna voda	Kompostna voda	Voda iz vodovoda	Mejne vrednosti parametrov izcedne vode iz odlagališč*
pH	W PH ISO 10523		7,9–8,4	4,7–5,6	7,5	6,5–9,0
EC (25°C)	W EC ISO 7888	μS/cm	4658–7360	9191–16900	466	nd
skupni N	W TOT N ISP 11905-1(Oksidacija + NO ₃ SPF)	mg/L	502,6 ^b	970,4 ^b	na ^a	nd
NH ₄ -N	W IC-C ISO 14911 (IC kationi)	mg/L	397,6–1081,1	887,3–1260	< 0,02	50
NO ₃	W IC-A ISO 10304 (IC anioni)	mg/L	56,5–854,6	52,4–254,1	8	nd
NO ₂		mg/L	2,0–49,5	7,0–46,0	0,02	nd
SO ₄		mg/L	< 1–36,9	400–402,1	4,0	nd
Cl		mg/L	44,3–429,1	974,9–1167,7	8,2	c
PO ₄		mg/L	< 0,01–15,5	46,2–364,0	< 0,01	nd
skupni P		mg/L	10,0–57,6	372,1 ^b	na ^a	2
DOC	W TOC/DOC ISO 8245 (DOC/TOC analizator)	mg/L	40–396	5600–13202	0,24 ^{**}	nd
alkalnost	W ALK ISO 9963 (tetrimetrično)	μekv/L	39900 ^b	87200 ^b	na ^a	nd
Na	W IC-C ISO 14911 (IC kationi)	mg/L	362,7–423,9	780,7–1045,6	2,0	nd
K		mg/L	59,0–273,3	2205,3–2888,4	na ^a	nd
Ca		mg/L	37,34 ^b	2103,7 ^b	na ^a	nd

Parameter	Metoda (Tehnika)	Enota	Izcedna voda	Kompostna voda	Voda iz vodovoda	Mejne vrednosti parametrov izcedne vode iz odlagališč*
Mg	W IC-C ISO 14911	mg/L	16,3–74,7	488,2	na ^a	nd
Mn	(IC kationi)	mg/L	< 0,01	31,6–198,5	0,007	nd
Cd	W AAS ISO 5961 (ASS – elektrokemično)	µg/L	0,4 ^b	0,98 ^b	<0,0002	100
Cr	W AAS ISO 15586 (ASS – elektrokemično)	µg/L	614–3280	130–921,1	<0,003	500
Zn	W AAS ISO 8288 (ASS – Plamen)	mg/L	< 0,01–0,13	< 0,01–3,37	0,93	2
Cu	W AAS ISO 8288 (ASS – elektrokemično)	mg/L	< 0,01–0,08	< 0,01–0,24	<0,003	0,5
Pb	W AAS ISO 15586 (ASS – elektrokemično)	µg/L	< 1 ^b	4 ^b	<0,003	500
Ni	W AAS ISO 15586 (ASS – elektrokemično)	mg/L	0,05 ^b	0,33 ^b	<0,003	0,5
Fe	W AAS ISO 15586 (ASS – elektrokemično)	mg/L	2,0–4,4	114,6–116,0	0,08	nd

na^a – nedoločeno

n – meja ni določena

b – vrednost je pridobljena le iz ene meritve

c – mejna koncentracija kloridov v izcedni vodi je določena posredno s strupenostjo za vodne bolhe

* Navedene so vrednosti, ki veljajo za neposredno ali posredno odvajanje v vode.

** Izvedena je bila analiza TOC.

Kompostna voda je imela nižji pH (4,7–5,6) in večjo slanost (EC 9191–16900 µS/cm) v primerjavi z izcedno vodo (pH 7,9–8,4; EC 4658–7360 µS/cm). Koncentracije skupnega dušika in ostalih hranil (fosfor, kalij, kalcij, magnezij, klor, železo, mangan, natrij) so bile v kompostni vodi višje kot v izcedni. Največja izmerjena koncentracija amonijevega dušika v kompostni vodi je kar 25,2-krat presegla mejno vrednost, ki velja za neposredno ali posredno odvajanje v vode po Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov (Ur.l. RS, št. 7/2000, 62/2008). Koncentracija težkih kovin je bila nizka tako v izcedni vodi kot tudi v kompostni. Izjema je bila le koncentracija

kroma v izcedni vodi: najvišja izmerjena količina je bila 3280 µg/l, kar 6,6-krat presega mejno vrednost parametra po omenjeni Uredbi.

3.2 RASTNI PARAMETRI

3.2.1 Stopnja preživetja rastlin

Raziskava je zajemala 90 rastlin, in sicer 30 rastlin vsake vrste (*Populus deltoides*, *Salix viminalis* in *Salix purpurea*). Posamezno obravnavanje je bilo zasnovano s petimi rastlinami vsake vrste. V času raziskave so propadle 4 rdeče vrbe (*S. purpurea*) in 1 beka (*S. viminalis*). Vse propadle vrbe so bile zalivane s kompostno vodo, redčeno z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4.

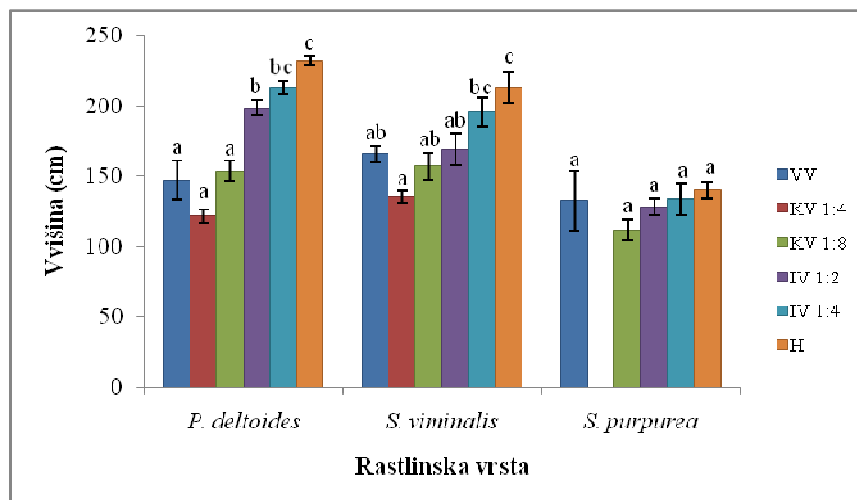
Preglednica 7: Stopnja preživetja rastlin v posameznem obravnavanju (VV – vodovodna voda, KV – kompostna voda, IV – izcedna voda, H – hranilna mešanica)

obravnavanje	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
VV	1	1	1
KV 1:4	1	0,8	0,2
KV 1:8	1	1	1
IV 1:2	1	1	1
IV 1:4	1	1	1
H	1	1	1

V raziskavi se je kot najbolj uspešna vrsta izkazal topol *P. deltoides* s stopnjo preživetja 1 v vseh obravnavanjih, nekoliko maj uspešna je bila vrba *S. viminalis* s stopnjo preživetja 0,8 (4/5) v obravnavanju KV 1:4. Najmanj uspešna vrsta pa je bila *S. purpurea* s stopnjo preživetja 0,2 (1/5) v obravnavanju KV 1:4. Zaradi nizke stopnje preživetja *S. purpurea* v obravnavanju KV 1:4 in posledično pomanjkanja podatkov, tega obravnavanja pri omenjeni vrsti v nadaljnjih analizah nismo upoštevali.

3.2.2 Višina rastlin

V času raziskave smo merili višino rastline v tedenskih intervalih. Za višino rastline smo vzeli višino največjega poganjka. Na Sliki 7 je prikazana višina rastlin po končani raziskavi.



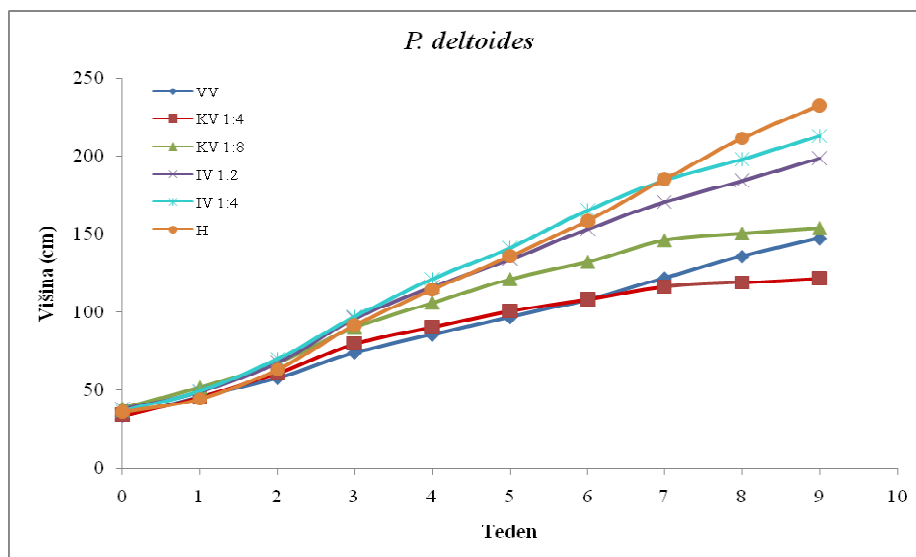
Slika 6: Višina rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).

Višina rastlin med različnimi obravnavanji je bila statistično značilno različna pri *P. deltoides* in *S. viminalis*, pri *S. purpurea* pa ne (Priloga B). Le *P. deltoides* je v obravnavanju z izcedno vodo obeh koncentracij dosegel statistično značilno večjo višino kot v obravnavanju z vodovodno vodo, pri ostalih dveh vrstah pa razlike niso bile statistično značilne. Razlika v višini rastlin med obravnavanji s kompostno vodo in vodovodno vodo ni bila statistično značilna. Pri *S. purpurea* ni bilo statistično značilnih razlik v višini rastlin v različnih obravnavanjih (Slika 6; Priloga C, Preglednice 1–3).

Testirali smo tudi razlike med rastlinami za posamezno obravnavanje. Višina med vrstami je bila statistično značilno različna v vseh obravnavanjih, razen v obravnavanju VV (Priloga B). V vseh obravnavanjih sta *P. deltoides* in *S. viminalis* dosegla statistično značilno večjo višino kot *S. purpurea*, razen v VV, kjer razlike niso bile statistično značilne, in KV 1:4, kjer so *S. purpurea* propadle. Med *P. deltoides* in *S. viminalis* v višini v nobenem obravnavanju ni bilo statistično značilnih razlik (Priloga C; Preglednice 4–6).

3.2.3 Rast rastlin

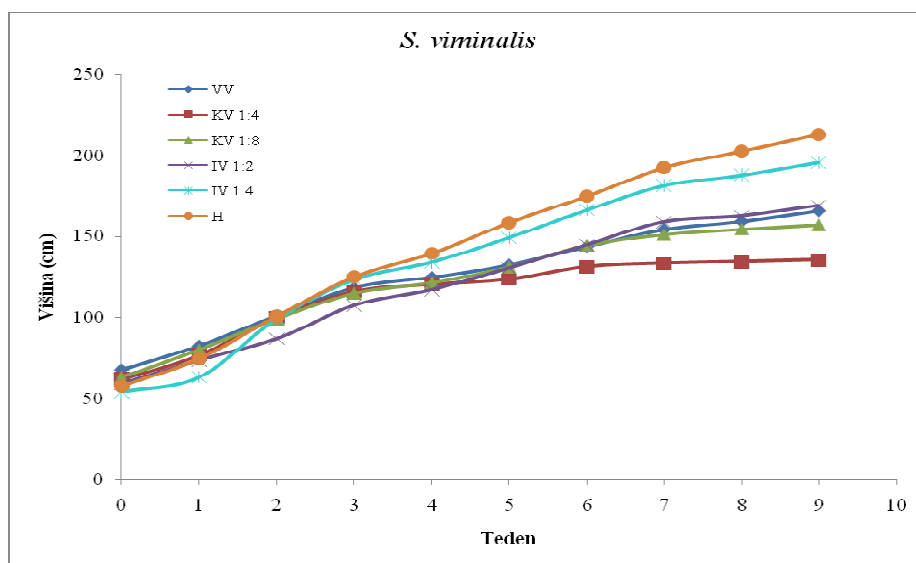
Primerjali smo tudi rast rastlin v različnih obravnavanjih tekom raziskave. Na Slikah 8, 9 in 10 so tedensko prikazane višine rastlin v različnih obravnavanjih.



Slika 7: Višina *Populus deltoides* v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) tekom raziskave. Vsaka točka prikazuje povprečje 4–5 rastlin.

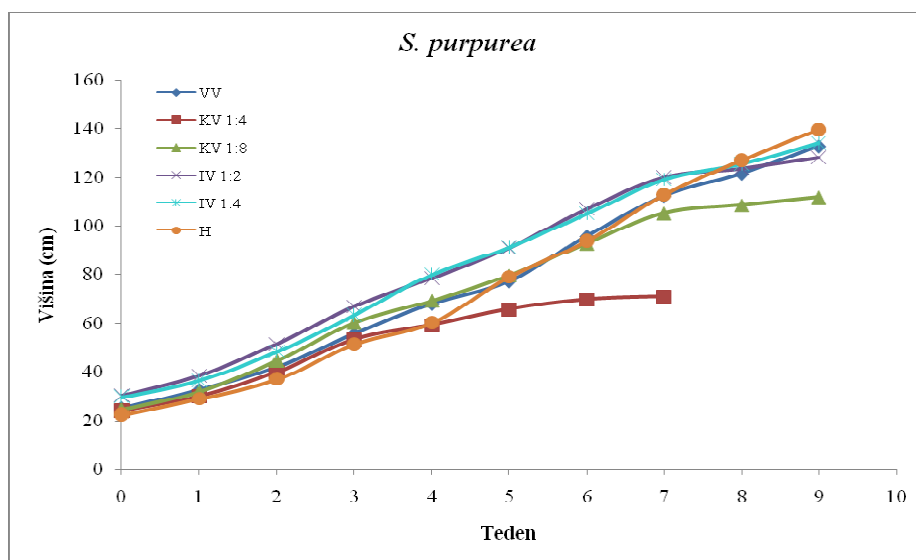
P. deltoides

V prvih dveh tednih raziskave je bila višina rastlin v vseh obravnavanjih skoraj enaka. Prve statistično značilne razlike so se pokazale v tretjem tednu raziskave. Od tedaj so bile rastline v IV obeh koncentracij statistično značilno višje od rastlin v VV, rastline v H pa od četrtega tedna dalje. Od četrtega do sedmega tedna so bile rastline v KV 1:8 statistično značilno višje od rastlin v VV, razlike v višini med rastlinami v KV 1:4 in VV pa tekom raziskave niso bile statistično značilne. Od osmega tedna dalje so bile rastline v H statistično značilno višje tudi od rastlin v IV 1:2 (Priloga D, Preglednice 1–4).



Slika 8: Višina *S. viminalis* v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) tekom raziskave. Vsaka točka prikazuje povprečje 4–5 rastlin.

Pri *S. viminalis* so se razlike v rasti rastlin pokazale že pred začetkom poskusa, kar se vidi tudi iz Slike 9 (teden 0), vendar te razlike niso bile statistično značilne. Prve statistično značilne razlike so se pokazale v šestem tednu raziskave. Od tedaj so rastline v H statistično značilno višje kot rastline v KV 1:4, od sedmega tedna dalje so statistično značilno višje tudi od rastlin v KV 1:8, od osmega tedna dalje pa so statistično značilno višje tudi od rastlin v IV 1:2 in VV. Od sedmega tedna dalje so tudi rastline v IV 1:4 statistično značilno višje od rastlin v KV 1:4 (Priloga D, Preglednici 5–6).



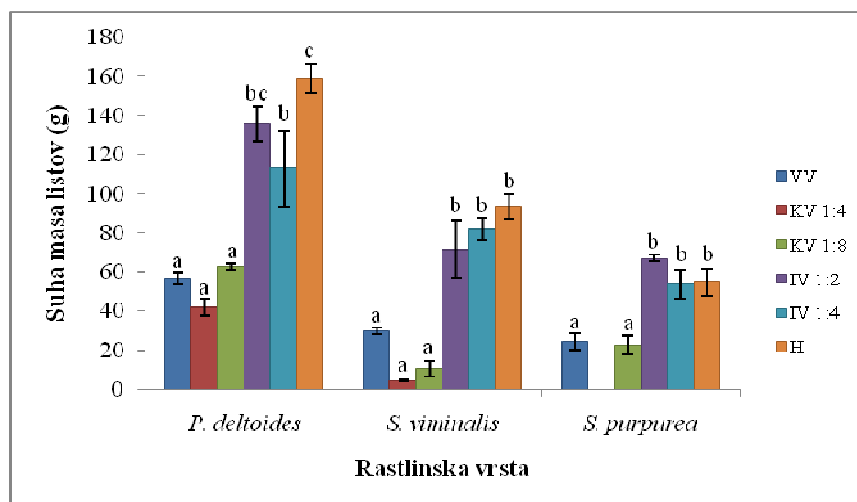
Slika 9: Višina *S. purpurea* v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) tekom raziskave. Vsaka točka prikazuje povprečje 4–5 rastlin.

Tudi pri *S. purpurea* so se razlike v rasti rastlin pokazale že pred začetkom poskusa, kar se vidi iz Slike 10 (teden 0), vendar te razlike niso bile statistično značilne. Prve statistično značilne razlike so se pokazale v sedmem tednu raziskave. Rastline v IV 1:2, IV 1:4 in H so v tem tednu dosegle statistično značilno večjo višino kot rastline v KV 1:4. Po sedmem tednu je 80 % rastlin v KV 1:4 propadlo, zato obravnavanja v nadaljnjih analizah nismo upoštevali. Drugih statistično značilnih razlik ni bilo niti v osmem in devetem tednu (Priloga D, Preglednica 7).

3.2.4 Biomasa rastlin

Zanimala nas je tudi masa, ki so jo rastline dosegle v času raziskave. Na Slikah 10, 11 in 13 so prikazane suhe mase posameznih delov rastlin (listov, stebel in vej ter korenin), na Sliki 12 je prikazana suha masa nadzemnega dela rastlin, na Sliki 14 pa suha masa celih rastlin v različnih obravnavanjih.

3.2.4.1 Suha masa listov

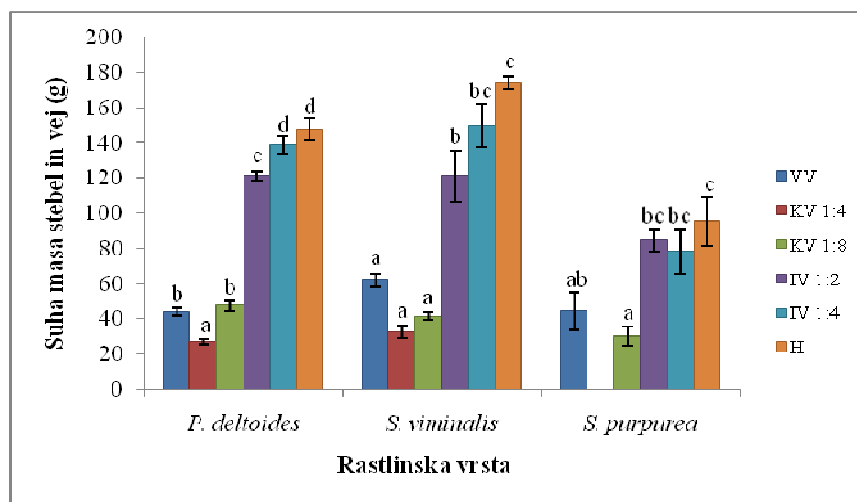


Slika 10: Suha masa listov rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).

Suha masa listov rastlin med različnimi obravnavanji je bila statistično značilno različna pri vseh treh rastlinskih vrstah (Priloga B). Vse tri vrste so v obravnavanjih H, IV 1:2 in IV 1:4 dosegle statistično značilno večjo suho maso listov kot v obravnavanjih KV 1:4, KV 1:8 in VV. Razlike v suhi masi listov med rastlinami v obravnavanjih s kompostno vodo in vodovodno vodo pri nobeni vrsti niso bile statistično značilne (Slika 10; Priloga E, Preglednice 1–3).

Testirali smo tudi razlike med rastlinami za posamezno obravnavanje. Suha masa listov med vrstami je bila statistično značilno različna v vseh obravnavanjih (Priloga B). Suha masa listov *P. deltoides* je bila statistično značilno večja kot pri *S. viminalis* in *S. purpurea* v vseh obravnavanjih, razen od *S. viminalis* v obravnavanju IV 1:4. Statistično značilnih razlik v masi listov med *S. purpurea* in *S. viminalis* skorajda ni bilo. Le v obravnavanju s hranilno mešanico je *S. viminalis* dosegla statistično značilno večjo maso listov kot *S. purpurea* (Priloga E; Preglednice 4–6).

3.2.4.2 Suha masa stebel in vej

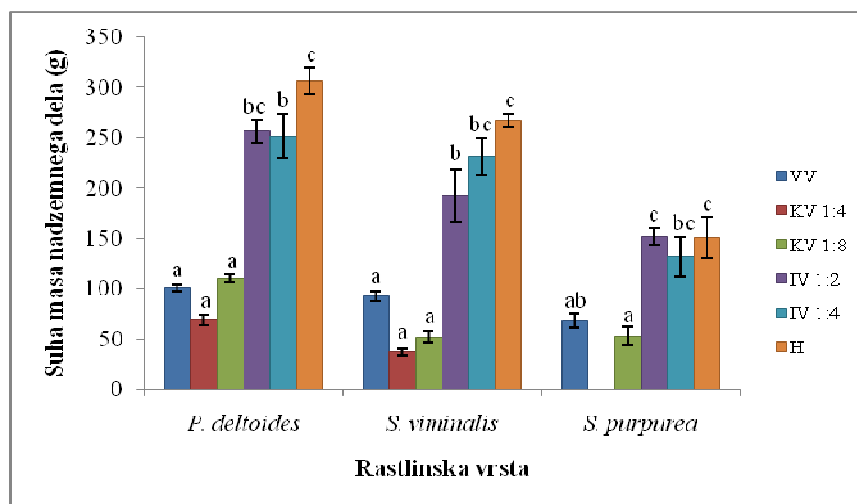


Slika 11: Suha masa stebel in vej rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).

Suha masa stebel in vej med različnimi obravnavanji je bila statistično značilno različna pri vseh treh rastlinskih vrstah (Priloga B). *P. deltoides* in *S. viminalis* sta v obravnavanjih H, IV 1:2 in IV 1:4 dosegla statistično značilno večjo suho maso stebel in vej kot v obravnavanjih KV 1:4, KV 1:8 in VV, *S. purpurea* pa je statistično značilno večjo maso kot v VV dosegla le v obravnavanju H. *S. purpurea* je v obravnavanjih z izcedno vodo in s hranilno mešanico dosegla statistično značilno večjo maso stebel in vej kot v obravnavanju s kompostno vodo. *P. deltoides* in *S. viminalis* sta v obravnavanju IV 1:2 dosegla statistično značilno maso stebel in vej kot rastline v obravnavanju H. Statistično značilnih razlik v masi stebel in vej med obravnavanji s kompostno in z vodovodno vodo skorajda ni bilo. Le *P. deltoides* je v obravnavanju KV 1:4 dosegel statistično značilno manjšo maso stebel in vej (Slika 11; Priloga F, Preglednice 1–3).

Testirali smo tudi razlike med rastlinami za posamezno obravnavanje. Suha masa stebel in vej med vrstami je bila statistično značilno različna v vseh obravnavanjih (Priloga B). *S. purpurea* je v obravnavanjih z izcedno vodo in hranilno mešanico dosegla statistično značilno manjšo suho maso stebel in vej kot ostali dve vrsti, v KV 1:8 statistično značilno manjšo suho maso kot *P. deltoides* in v VV statistično značilno manjšo kot *S. viminalis*. Med *P. deltoides* in *S. viminalis* v različnih obravnavanjih ni bilo statistično značilnih razlik v masi stebel in vej, razen v obravnavanju z vodovodno vodo (Priloga F; Preglednice 4–6).

3.2.4.3 Suha masa nadzemnega dela rastlin

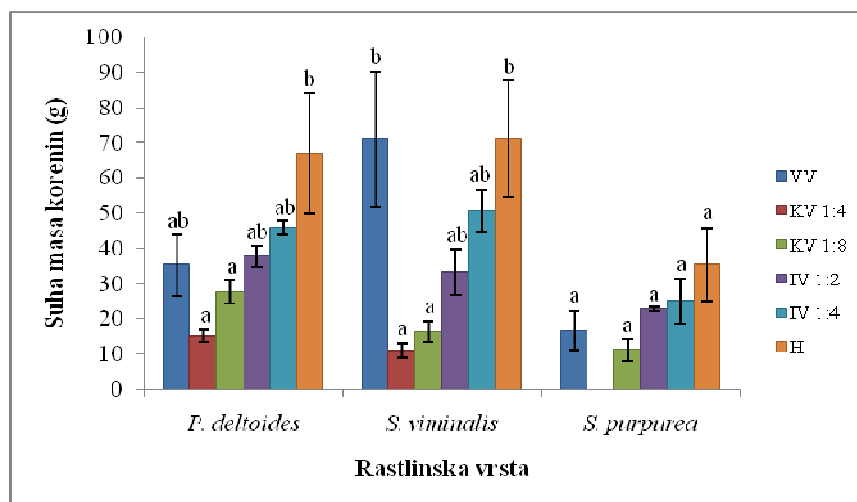


Slika 12: Suha masa nadzemnega dela rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).

Suha masa nadzemnega dela rastlin med različnimi obravnavanji je bila statistično značilno različna pri vseh rastlinskih vrstah (Priloga B). *P. deltoides* in *S. viminalis* sta v obravnavanjih H, IV 1:2 in IV 1:4 dosegla statistično značilno večjo suho maso nadzemnega dela rastlin kot v obravnavanjih KV 1:4, KV 1:8 in VV. *S. purpurea* je statistično značilno večjo maso nadzemnega dela kot v VV dosegla v obravnavanjih IV 1:2 in H. Masa nadzemnega dela *S. purpurea* v KV 1:4 je bila statistično značilno manjša kot masa v obravnavanjih IV 1:2, IV 1:4 in H. *P. deltoides* je v obravnavanju IV 1:4 dosegel statistično značilno manjšo maso nadzemnega dela kot v obravnavanju H, *S. viminalis* pa v obravnavanju IV 1:2. Statistično značilnih razlik v masi nadzemnega dela rastlin med obravnavanji s kompostno in z vodovodno vodo ni bilo (Slika 12; Priloga G, Preglednice 1–3).

Poleg tega smo testirali tudi razlike med rastlinami za posamezno obravnavanje. Suha masa stebel in vej med vrstami je bila statistično značilno različna v vseh obravnavanjih (Priloga B). V vseh obravnavanjih je *P. deltoides* dosegel statistično značilno večjo suho maso nadzemnega dela rastlin kot *S. purpurea*. *S. viminalis* je dosegla statistično značilno večjo maso nadzemnega dela rastlin kot *S. purpurea* v obravnavanjih IV 1:4, H in VV. Med *P. deltoides* in *S. viminalis* ni bilo statistično značilnih razlik v masi nadzemnega dela, razen v obravnavanju KV 1:8, kjer je *S. viminalis* dosegla manjšo maso (Priloga G; Preglednice 4–6).

3.2.4.4 Suha masa korenin

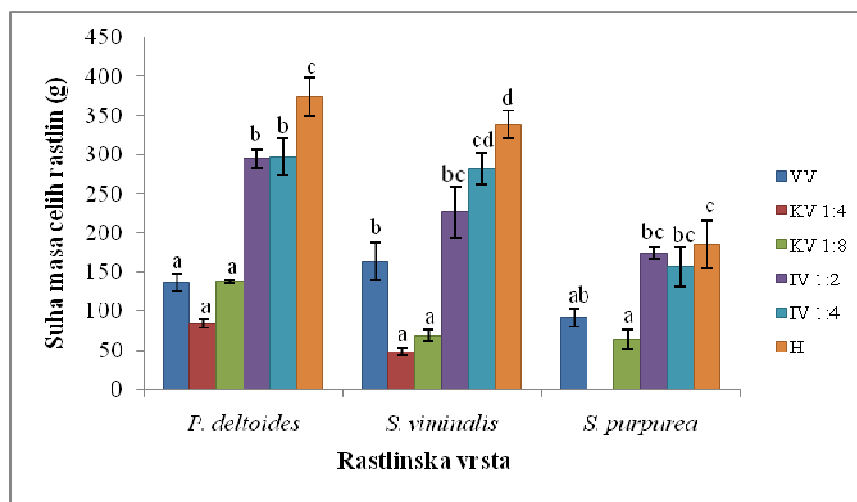


Slika 13: Suha masa korenin rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).

Suha masa korenin med različnimi obravnavanji je bila statistično značilno različna pri *P. deltoides* in *S. viminalis*, pri *S. purpurea* pa ne (Priloga B). Razlik je bilo manj kot pri suhi masi drugih delov rastlin. V obravnavanju KV obeh koncentracij je le *S. viminalis* razvila statistično značilno manj korenin kot v obravnavanju VV. Razlika v masi korenin med obravnavanji z izcedno vodo in vodovodno vodo pri nobeni vrsti ni bila statistično značilno različna (Slika 13; Priloga H, Preglednice 1–3).

Testirali smo tudi razlike med rastlinami za posamezno obravnavanje. Suha masa korenin med vrstami je bila statistično značilno različna le v obravnavanjih KV 1:8 in IV 1:4, v ostalih pa ne (Priloga B). V obravnavanju KV 1:8 je *S. purpurea* razvila statistično značilno manj korenin kot *P. deltoides*, v obravnavanju IV 1:4 pa statistično značilno manj od obeh vrst. Med *P. deltoides* in *S. viminalis* ni bilo statistično značilnih razlik v masi korenin (Priloga H; Preglednice 4–6).

3.2.4.5 Suha masa cele rastline



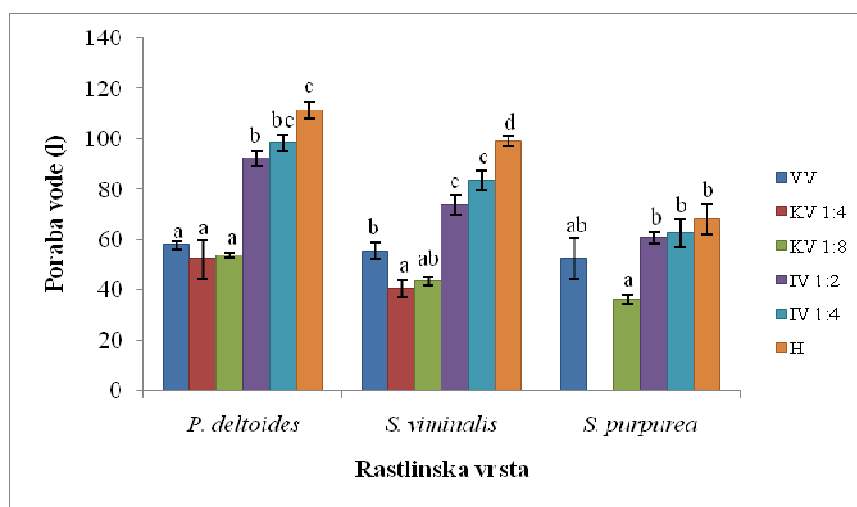
Slika 14: Suha masa celih rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).

Suha masa celih rastlin med različnimi obravnavanji je bila statistično značilno različna pri vseh treh rastlinskih vrstah (Priloga B). Največjo suho maso cele rastline je dosegel *P. deltoides* v obravnavanju H. Pri tem obravnavanju je bila masa topola statistično značilno večja od mase topola pri vseh drugih obravnavanjih. Prav tako je *P. deltoides* v obravnavanjih IV 1:2 in IV 1:4 dosegel statistično značilno večjo maso kot v obravnavanjih VV, KV 1:4 in KV 1:8. Tudi *S. viminalis* je dosegla največjo maso v obravnavanju H, kjer je bila masa statistično značilno večja od vseh drugih, razen od IV 1:4. *S. purpurea* je, prav tako kot ostali vrsti, dosegla največjo maso v obravnavanju H. Vrsta je v obravnavanjih H in IV obeh koncentracij dosegla statistično značilno večjo maso kot v obravnavanju KV 1:8. Med obravnavanji s kompostno vodo in z vodovodno vodo ni bilo statistično značilnih razlik, razen pri *S. viminalis*, kjer so bile rastline v obravnavanju s KV obeh koncentracij manjše od mase v VV (Slika 14; Priloga I, Preglednice 1–3).

Testirali smo tudi razlike med rastlinami za posamezno obravnavanje. Suha masa med vrstami je bila statistično značilno različna v vseh obravnavanjih, razen v obravnavanju VV (Priloga B). *P. deltoides* je dosegel statistično značilno večjo maso celih rastlin od *S. viminalis* le v obravnavanju KV 1:8, od *S. purpurea* pa v vseh obravnavanjih, razen VV. *S. viminalis* je v obravnavanjih H in IV 1:4 dosegla statistično značilno večjo maso od *S. purpurea* (Priloga I; Preglednice 4–6).

3.3 PORABA VODE

Tekom raziskave smo poskušali ugotoviti, pri katerem obravnavanju porabijo rastline večjo količino vode. Količino vode, ki smo jo dnevno dodali posameznim rastlinam v obravnavanjih, smo zabeležili. Vse rastline so bile posajene v enako količino substrata, zato smo predpostavili, da so rastline privzele vso dodano količino vode, razen vode, ki je ostala v podstavkih po končani raziskavi in smo jo odšteli od dodane količine. Izhlapljanje iz podstavkov smo zanemarili. Poraba vode po obravnavanjih je prikazana na Sliki 15.



Slika 15: Količina vode (l), ki so jo rastline (*P. deltoides*, *S. viminalis*, *S. purpurea*) porabile v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) v času raziskave. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).

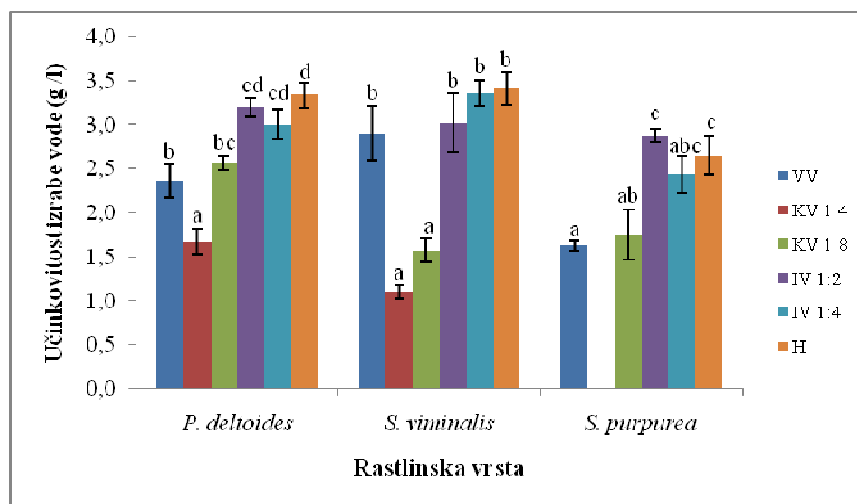
Povprečna poraba vode med različnimi obravnavanji se je statistično značilno razlikovala pri vseh rastlinskih vrstah (Priloga B). *P. deltoides* in *S. viminalis* sta privzeli statistično značilno več IV obeh koncentracij in H kot VV ter KV obeh koncentracij. Količina privzete IV 1:2 je bila pri obeh vrstah statistično značilno manjša od količine privzete hranilne mešanice. Pri *S. purpurea* ni bilo statistično značilnih razlik med privzemom vodovodne vode, izcedne vode in hranilne mešanice. Med privzemom kompostne vode in vodovodne vode pri nobeni vrsti ni bilo statistično značilnih razlik, razen pri *S. viminalis* v KV 1:4 (Slika 15; Priloga J, Preglednice 1–3).

Testirali smo tudi razlike med vrstami za posamezno obravnavanje. Povprečna poraba vode med vrstami je bila statistično značilno različna v vseh obravnavanjih, razen v obravnavanju z vodovodno vodo (Priloga B). *P. deltoides* je privzel statistično značilno več IV obeh koncentracij in KV 1:8 kot *S. viminalis* ter *S. purpurea*. *S. purpurea* je privzela statistično značilno manj IV obeh koncentracij in KV 1:8 kot *S. viminalis*. *S.*

purpurea je privzela tudi statistično značilno manj H kot ostali dve vrsti (Priloga J; Preglednice 4–6).

3.3.1 Učinkovitost izrabe vode

Na sliki 16 je prikazana učinkovitost izrabe vode posamezne vrste v različnih obravnavanjih. Izračun je podan v poglavju 2 (Materiali in metode (1)).



Slika 16: Učinkovitost izrabe vode (g suhe mase cele rastline/l porabljene vode) *P. deltoides*, *S. viminalis* in *S. purpurea* v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) v času raziskave. Vsak stolpec prikazuje povprečje 4–5 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).

Učinkovitost izrabe vode med različnimi obravnavanji je bila statistično značilno različna pri vseh rastlinskih vrstah (Priloga B). V primerjavi z izrabo vodovodne vode je *P. deltoides* imel statistično značilno boljšo izrabo obeh izcednih voda in hranilne mešanice, *S. purpurea* izcedne vode 1:2 in hranilne mešanice, pri *S. viminalis* pa ni bilo statistično značilnih razlik v izrabi teh voda. Vrste so bile manj učinkovite v izrabi kompostne vode kot vodovodne vode, razen *P. deltoides* in *S. purpurea* v primeru KV 1:8, kjer ni bilo statistično značilnih razlik med izrabo KV 1:8 in VV (Slika 15; Priloga K, Preglednice 1–3).

Testirali smo tudi razlike med vrstami za posamezno obravnavanje. Učinkovitost izrabe vode med vrstami je bila statistično značilno različna v vseh obravnavanjih, razen v obravnavanju z izcedno vodo 1:2 (Priloga B). Učinkovitost izrabe vode je bila v obravnavnanju KV 1:8 statistično značilno večja pri *P. deltoides* kot pri ostalih dveh vrstah. *S. viminalis* je bila statistično značilno bolj učinkovita od *S. purpurea* v izrabi vodovodne vode, hranilne mešanice in izcedne vode 1:2 (Priloga K, Preglednice 4–6).

3.4 ODVZEM ONESNAŽIL IZ OKOLJA

3.4.1 Masni vnos hranil in elementov v sledovih

V Preglednici 8 je prikazana ocenjena količina hranil in ionov, ki so jih rastline privzele iz dodane izcedne in kompostne vode ter hranilne mešanice. Izračun je podan v poglavju 2 (Materiali in metode (2)).

Pajk, N. Rast in biomasa hitrorastočih drevesnih vrst ob namakanju z izcedno vodo odlagališča odpadkov in odpadno vodo iz priprave komposta.
Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za biologijo, 2010

Preglednica 8: Ocenjen masni vnos hranil in ionov tekom 9-tedenske raziskave z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2 (IV 1:2), izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4 (IV 1:4), kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4 (KV 1.4), kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8 (KV 1:8) ter hranilno mešanico (H)

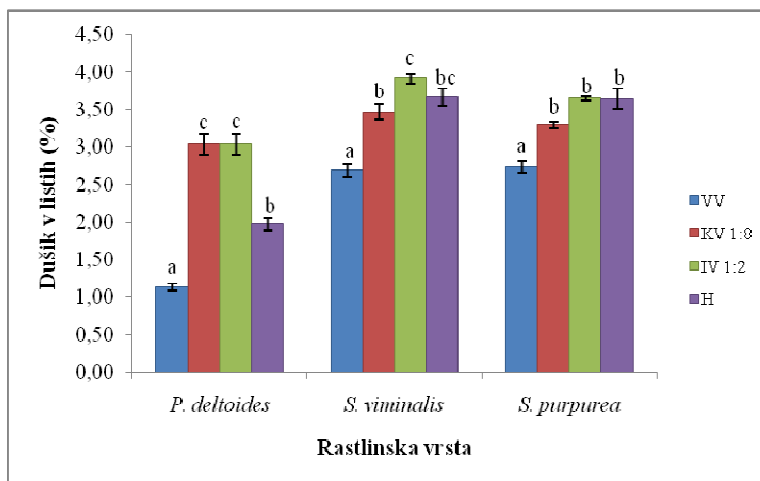
		<i>P. deltoides</i>				<i>S. viminalis</i>				<i>S. purpurea</i>			vse 3 vrste
Parameter	enota	IV 1:2	IV 1:4	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	KV 1:8	H
skupni N	g	16,5	9,9	10,1	5,8	14	8,4	7,9	4,7	10,5	6,3	3,9	5,4
skupni P	g	0,3–1,9	0,2–1,1	3,9	2,2	0,3–1,6	0,2–1,0	3	1,8	0,2–1,2	0,1–0,7	1,5	0,5
K	g	1,9–9,0	1,2–5,4	23,0–30,2	13,2–17,3	1,6–7,6	1,0–4,6	17,9–23,4	10,7–14,0	1,2–5,7	0,7–3,4	8,8–11,6	3,4
Cl	g	1,5–14,1	0,9–8,4	10,2–12,2	5,8–7,0	1,2–12,0	0,7–7,2	7,9–9,5	4,7–5,6	0,9–9,0	0,6–5,4	3,9–4,7	
Na	g	11,9–13,9	7,1–8,3	8,2–10,9	4,7–6,3	10,1–11,8	6,1–7,1	6,3–8,5	3,8–5,1	7,6–8,9	4,5–5,3	3,1–4,2	
Ca	g	1,2	0,7	22	12,6	1	0,6	17,1	10,2	0,8	0,5	8,4	
Mg	g	0,5–2,5	0,3–1,5	5,1	2,9	0,5–2,1	0,3–1,2	4	2,4	0,3–1,6	0,2–0,9	2,0	0,32
Cd	mg	0,014	0,01	0,01	0,01	0,011	0,01	0,008	0,005	0,009	0,01	0,004	
Cr	mg	20,1–107,6	12,1–64,6	1,4–9,6	0,8–5,5	17,1–91,4	10,3–54,8	1,1–7,5	0,6–4,5	12,8–68,5	7,7–41,1	0,5–3,7	
Fe	g	0,07–0,14	0,04–0,09	1,20–1,21	0,69	0,06–0,12	0,03–0,07	0,93–0,94	0,55–0,56	0,04–0,09	0,03–0,06	0,46–0,47	0,02

Ker so *S. purpurea* v KV 1:4 propadle, masni vnos hranil za to obravnavanje ni prikazan. V 9-tedenski raziskavi je bilo v vsak lonec z rastlino pri obravnavanju H dodano 5,42 g N, 0,54g P, 3,43 g K ($N:P:K = 10:1:6$), 0,32 g Mg in 0,02 g Fe. Dodana količina dušika je bila v primerjavi s H pri vseh vrstah večja v obravnavanjih IV obeh koncentracij in KV 1:4, pri *P. deltoides* in *S. viminalis* pa tudi v obravnavanju KV 1:8. Količina dodanega fosforja (P) in kalija (K) je bila v obravnavanjih s KV obeh koncentracij višja od obravnavanja s H pri vseh vrstah, pri obravnavanjih z IV obeh koncentracij je bila minimalna dodana količina manjša, maksimalna pa večja od vnosa v obravnavanju s H. Zgornja meja dodanega P in K v obravnavanjih z IV obeh koncentracij ni bila veliko višja od dodanega P in K v H, prav tako spodnja meja ni bila veliko nižja. V obravnavanjih s KV pa je bila količina dodanega P in K precej višja v primerjavi s P in K v obravnavanju s H. Rastline v obravnavanjih s KV so prejele precej več kalcija (Ca) in magnezija (Mg) kot rastline v obravnavanjih z IV. Prav tako so rastline v obravnavanju s KV prejele več klorida (Cl) kot rastline v IV, kajti spodnja meja tega iona v KV je bila precej višja kot spodnja meja v IV. Tudi količina raztopljenih organskih spojin, merjena v obliki raztopljenega organskega ogljika (DOC), je bila v obravnavanjih s kompostno vodo precej večja (IV: 40-396 mg/l, KV: 5.600-13.202 mg/l). Rastline v obravnavanju z IV so prejele mnogo več kroma (Cr) kot rastline v obravnavanju s KV. Manjše razlike med obravnavanji KV in IV so bile v prejemu natrija (Na).

Zaradi največjega privzema vode tako IV obeh koncentracij kot tudi KV obeh koncentracij je *P. deltoides* prejel tudi največ hranil in elementov v sledovih, najmanj pa *S. purpurea*.

3.4.2 Analize dušika v listih

Na Sliki 17 je prikazana vsebnost dušika v listih rastlin v različnih obravnavanjih po končani raziskavi.



Slika 17: Vsebnost dušika v listih rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v volumskem razmerju 1:4, H: hranilna mešanica) po končani raziskavi. Vsak stolpec prikazuje povprečje 3 rastlin s standardno napako, različne črke nad stolpci kažejo na statistično značilne razlike (Tukey-jev HSD test; $p < 0,05$).

Vsebnost dušika v listih rastlin med različnimi obravnavanji je bila statistično značilno različna pri vseh treh rastlinskih vrstah (Priloga B). Vse vrste so vsebovale statistično značilno manj dušika v listih v obravnavanju VV kot v obravnavanjih KV 1:8, IV 1:2 in H. Pri *P. deltooides* so listi vsebovali statistično značilno večjo količino dušika v obravnavanjih KV 1:8 in IV 1:2 kot v obravnavanju H. *S. viminalis* je v KV 1:8 vsebovala statistično značilno manj dušika v listih kot v IV 1:2. Vsebnost dušika v listih *S. purpurea* med obravnavanji IV 1:2, KV 1:8 in H ni bila statistično značilna (Slika 17, Priloga L, Preglednice 1–3).

Testirali smo tudi razlike med rastlinami za posamezno obravnavanje. Vsebnost dušika v listih med vrstami je bila statistično značilno različna v vseh obravnavanjih, razen v obravnavanju KV 1:8 (Priloga B). V obravnavanjih IV 1:2, H in VV sta *S. viminalis* in *S. purpurea* vsebovali statistično značilno več dušika v listih kot *P. deltooides*. V obravnavanju KV 1:8 je le *S. viminalis* vsebovala statistično značilno več dušika v listih kot *P. deltooides*. Statistično značilnih razlik med *S. viminalis* in *S. purpurea* ni bilo v nobenem obravnavanju. (Priloga L; Preglednici 4–5).

4 RAZPRAVA IN SKLEPI

4.1 RAZPRAVA

Raziskovalci ugotavljajo tako pozitivne (Alker, 2002; Zalesny in sod., 2007b; Zalesny in sod., 2009) kot tudi negativne (Dimitriou in sod., 2006; Zalesny in sod., 2007a) vplive namakanja lesnih rastlin z izcednimi vodami odlagališč odpadkov. Pozitivni vplivi namakanja rastlin z izcednimi vodami odlagališč odpadkov se ponavadi pokažejo, če jih primerjamo z vodovodnimi vodami ali vodami brez dodanih hranil, negativni vplivi pa, če jih primerjamo s hranilnimi mešanici. Vsekakor je potrebno poudariti, da so v dostopni literaturi vse lesnate rastline, namakane z izcedno vodo odlagališča odpadkov, dobro rasle in nikjer niso propadle vse. Izcedne vode odlagališč odpadkov vsebujejo veliko rastlinskih hranil, vendar njihovo razmerje ni vedno idealno za rast le-teh (Jones in sod., 2006). Največji problem v izcednih vodah navadno predstavlja visoka koncentracija dušika (Licht in Isebrands, 2005; Dimitriou in sod., 2006; Zupančič J.M. in Zupančič M., 2009) in kloridov (Dimitriou in Aronsson, 2005; Dimitriou in sod., 2006; Zalesny in sod., 2007a).

4.1.1 Izcedna in kompostna voda, uporabljena v raziskavi

4.1.1.1 Značilnosti

Koncentracije večine hranil v izcedni vodi, uporabljeni v raziskavi, so bile v razponu koncentracij v izcednih vodah odlagališč odpadkov, ki so objavljene v dostopni literaturi (Preglednica 1, Preglednica 6). Voda v naši raziskavi je imela le višjo koncentracijo kroma (najvišja izmerjena koncentracija je bila 3,28 mg/l), kar pa lahko pripišemo strojarskim odpadkom, ki jih je IUUV Vrhnika v preteklosti odlagala na odlagališče.

Ker se kompostne vode s pomočjo fitoremediacije navadno ne čistijo, posledično pa tudi ni literature, kjer bi našli podatke o rasti lesnatih rastlin, namakanih s tovrstnimi vodami, smo jo raje primerjali z izcednimi vodami odlagališč odpadkov iz literature. Ugotovili smo, da so bile v kompostni vodi koncentracije večine hranil v razponu koncentracij v izcednih vodah odlagališč odpadkov, objavljenih v literaturi (Preglednica 1, Preglednica 6). Višje so bile le koncentracije fosforja in kalija. Meritve DOC so pokazale, da je kompostna voda vsebovala veliko organskih spojin, poleg tega pa je imela nizek pH, kar kaže na prisotnost organskih kislin. Kompostna voda je bila tako podobna izcedni vodi odlagališč odpadkov, ki so v acetogeni fazi (Kjeldsen in sod., 2002).

4.1.2 Rastni parametri

4.1.2.1 Rast rastlin in končna višina

Pred začetkom poskusa smo vse rastline vzgojili iz potaknjencev, ki so bili zasajeni v istem dnevu in v enako količino substrata, tako da so imeli kolikor je le mogoče enake možnosti za rast. V času zakoreninjenja smo jih zalivali le z vodovodno vodo in po približno sedmih

tednih (še pred začetkom poskusa) so se že začele kazati razlike v višini med posameznimi rastlinami. Pri *P. deltoides* je bila povprečna višina rastlin v vseh obravnavanjih praktično enaka (od 30 do 32 cm), pri *S. viminalis* in *S. purpurea* pa so bile razlike nekoliko večje (*S. viminalis*: od 46 do 52 cm, *S. purpurea*: od 22 do 28 cm), kar je razvidno tudi iz Slik 7–9. Rastline smo v obravnavanja razporedili približno dva tedna pred začetkom raziskave in takrat je bila pri posamezni vrsti povprečna višina rastlin v vseh obravnavanjih približno enaka. Glede na to, da so bili vsi potaknjenci pri posamezni vrsti pridobljeni iz iste rastline, sklepamo, da so na rast vplivali zgolj okoljski dejavniki (količina svetlobe, temperatura), razlike v višini med vrstami pa lahko pripišemo tudi genetiki.

V vseh obravnavanjih sta tekom raziskave *P. deltoides* in *S. viminalis* dosegla statistično značilno večjo višino kot *S. purpurea*, razen v VV, kjer razlike niso bile statistično značilne, in KV 1:4, kjer so *S. purpurea* propadle. Obe vrbi sta grmovnati vrsti, tako da sta imeli vseskozi več poganjkov kot ameriški črni topol (*P. deltoides*), kjer so rastline imele večinoma po en poganjek. Kljub večjemu številu poganjkov razlika v višini med *S. viminalis* in *P. deltoides* v nobenem obravnavanju ni bila statistično značilna. Glede na končno višino ne moremo zaključiti, da je ena od obeh omenjenih vrst bolj primerna za pridobivanje lesne biomase ob zalivanju s tovrstnimi odpadnimi vodami, lahko pa zaključimo, da sta tako *P. deltoides* kot *S. viminalis* bolj primerni za ta namen kot *S. purpurea*, ki je v obeh obravnavanjih z izcedno vodo in v KV 1:8 (za KV 1:4 nimamo analiz, ker so *S. purpurea* v tem obravnavanju propadle) dosegla statistično značilno manjšo končno višino od ostalih dveh vrst. Kontrolna skupina (obravnavanje z vodovodno vodo) namreč ni pokazala statistično značilnih razlik med vrstami.

Pri *P. deltoides* so bile od tretjega tedna dalje rastline v obeh obravnavanjih z izcedno vodo statistično značilno višje kot rastline v obravnavanju z vodovodno vodo, pri *S. viminalis* in *S. purpurea* pa razlike med temi obravnavanji niso bile statistično značilne. Glede na višino je izcedna voda pozitivno vplivala le na rast *P. deltoides*. Ker pri nobeni vrsti razlike v višini med obravnavanjema z izcedno vodo niso bile statistično značilne, zaključujemo, da sta glede na višino rastlin obe redčitvi enako primerni za uporabo.

Podobne rezultate so dobili Zalesny in sod. (2009), ki so proučevali rast topolov, namakanih z izcedno vodo. Topoli so proti koncu raziskave dosegli večjo višino kot topoli, namakani le z vodo. V drugi študiji so Zalesny in sod. (2007a) pokazali, da statistično značilnih razlik v višini različnih klonov topolov, ki so bile namakani z izcedno vodo, in tistimi, ki so bile namakani s kontrolno vodo (voda in dodana hranila), ni bilo. V naši raziskavi smo ugotovili, da razlik med rastjo rastlin v IV 1:4 in H skorajda ni bilo, pokazale pa so se statistično značilne razlike pri *P. deltoides* in *S. viminalis* med IV 1:2 in H (rastline v IV 1:2 so bile nižje). Tudi v študiji Cureton-a in sod. (1991) sta tako topol (*Populus sp. Nigra x maximowichzii*) kot vrba (*Salix babylonica*) dosegla statistično značilno večjo višino v obravnavanju z izcedno vodo kot v obravnavanju z vodovodno

vodo. Zalesny in Bauer (2007c) sta proučevala rast različnih klonov topolov in vrb, namakanih z izcedno vodo. Nekateri so dosegli večjo višino, nekateri pa manjšo od klonov, ki so bili namakani z vodovodno vodo. V njuni raziskavi so kloni vrbe dosegali večjo višino kot kloni topola.

Razlike v končni višini med obravnavanji s kompostno vodo in vodovodno vodo pri nobeni vrsti niso bile statistično značilne, zato lahko zaključimo, da je kompostna voda na višino rastlin imela podoben vpliv kot vodovodna voda.

Pri *P. deltoides* so rastline v obravnavanjih z izcedno vodo rasle statistično značilno bolje kot rastline v obravnavanju KV 1:4 že v tretjem tednu, pri *S. viminalis* pa v obravnavanju IV 1:4 od šestega tedna dalje. Štiri *S. purpurea* od petih so v sedmem tednu raziskave v obravnavanju KV 1:4 propadle. Glede na rast in končno višino lahko zaključimo, da je za pridobivanje lesne biomase bolj primerna izcedna kot kompostna voda.

V naši raziskavi se je pokazalo, da višina rastlin ni najbolj primeren parameter za ugotavljanje vplivov različnih voda na rast rastlin. Veliko primernejši parameter je biomasa. Res je, da se je podoben trend pokazal tako v višini kot v biomasi nadzemnega dela rastlin, vendar se je v primeru biomase pokazalo več statistično značilnih razlik, katere nam pokažejo, da do razlik ni prišlo naključno. Menimo, da se višina rastlin za oceno vpliva določene snovi ali voda lahko uporablja v raziskavah, ki ne predvidevajo sečnje rastlin, oziroma za vrednotenje delnih rezultatov več let trajajoče raziskave, pri čemer pa je potrebno dodati, da je biomasa parameter, na osnovi katerega bi se morali podajati zaključki raziskav.

4.1.2.2 Masa rastlin

P. deltoides in *S. viminalis* sta dosegla statistično značilno večjo maso listov ter stebel in vej v obeh obravnavanjih z izcedno vodo kot v obravnavanju z vodovodno vodo. *P. deltoides* je imel v obravnavanjih z IV obeh koncentracij tudi statistično značilno večjo maso celih rastlin kot v VV, *S. viminalis* pa le v bolj razredčeni izcedni vodi (IV 1:4). *S. purpurea* je v obravnavanjih z izcedno vodo dosegla le statistično značilno večjo maso listov kot v obravnavanju z vodovodno vodo, razlike v masi ostalih delov in celotne mase rastlin pa v teh obravnavanjih niso bile statistično značilne. Tudi v primeru biomase se je pokazalo, da je izcedna voda pozitivno vplivala na rast rastlin. Zalesny in sod. (2009) so prišli do podobnih rezultatov. Pri nekaterih topolovih klonih je prišlo do statistično značilno večje mase listov pri rastlinah, ki so bile namakane z izcedno vodo, v primerjavi z rastlinami, ki so bile namakane z vodovodno vodo. V njihovi študiji se razlike v masi stebel in korenin med poskusnimi ter kontrolnimi rastlinami niso izkazale za statistično značilne (Zalesny in sod., 2009).

Razlike v masi listov med obema obravnavanjema s kompostno vodo in z vodovodno vodo pri nobeni vrsti niso bile statistično značilne. Masa stebel in vej je bila v primerjavi z VV statistično značilno manjša le pri *P. deltoides* v obravnavanju KV 1:4, masa korenin in celih rastlin pa le pri *S. viminalis* v obeh obravnavanjih s kompostno vodo. Masa celih rastlin *S. viminalis* je bila statistično značilno večja v VV na račun velike mase korenin. Glede na te rezultate lahko zaključimo, da ima KV 1:8 podoben vpliv na rast rastlin kot vodovodna voda, KV 1:4 pa je manj primerna za tako uporabo.

V raziskavi se je pokazalo, da izcedna in kompostna voda na razvoj korenin ne vplivata tako močno kot na razvoj drugih delov rastlin. Statistično značilne razlike so se pri *P. deltoides* in *S. viminalis* pokazale v masi korenin med obravnavanji s KV in H, pri *S. viminalis* pa še med KV in VV. Drugih statistično značilnih razlik ni bilo, zato bi težko rekli, da namakanje z različnimi odpadnimi vodami, vodovodno vodo in s hranilno mešanico vpliva na razvoj samih korenin. Korenine rastlin v naši raziskavi so bile omejene na lonec s premerom 28 cm. Ko smo rastline razdirali, so bili lonci prepredeni s koreninami, med njimi pa je bil razporejen substrat. Eden od razlogov za podobno rast korenin v različnih obravnavanjih je lahko omejen prostor, kjer so se korenine razvijale. Enaka raziskava z rastlinami, posajenimi na polje, bi morda pokazala vpliv izcedne in kompostne vode tudi na korenine. Res pa je, da tudi v študiji Zalesny-ja in sod. (2009), kjer so rastline posadili na majhen kos zemljišča, ni bilo razlik v rasti korenin med rastlinami, zalivanimi z izcedno vodo in vodo brez hranil.

S stališča fitoremediacije nas je zanimala predvsem masa nadzemnih delov rastlin (listov, stebel in vej), kajti s sečnjo teh delov lahko iz okolja odstranjujemo onesnažila, medtem ko jih s koreninami zgolj fiksiramo in omejimo na določeno mesto. Zaradi tega razloga se v nadaljnji diskusiji osredotočamo predvsem na maso nadzemnih delov rastlin.

P. deltoides in *S. viminalis* sta v obeh obravnavanjih z izcedno vodo in s hranilno mešanico dosegla statistično značilno večjo maso nadzemnega dela rastlin kot v obravnavanjih z vodovodno vodo in s kompostno vodo. Pri *S. purpurea* se je pokazal enak trend, z izjemo razlike med IV 1:4 in VV, ki ni bila statistično značilna. Razlike v masi nadzemnega dela rastlin med eno in drugo koncentracijo izcedne vode pri nobeni vrsti niso bile statistično značilne, kar pomeni, da sta obe koncentraciji izcedne vode na enak način pospešili rast rastlin. Pri *S. purpurea* sta obe koncentraciji izcedne vode enako vplivali na biomaso nadzemnega dela rastlin kot hranilna mešanica, saj med njimi ni bilo statistično značilnih razlik. Ti rezultati kažejo na to, da IV 1:2 za to vrsto ni bila strupena, IV 1:4 pa je kljub visoki razredčitvi imela dovolj hranil za dobro rast vrste. Pri *P. deltoides* je bila rast v obravnavanju IV 1:2 podobna kot v H, v obravnavanju IV 1:4 pa je bila masa nadzemnega dela rastlin statistično značilno manjša od rastlin v H. Eden od vzrokov za manjšo biomaso v IV 1:4 bi lahko bil v pomanjkanju hranil, kajti te rastline so prejele manj izcedne vode in s tem manj hranil. Problematična bi lahko bila predvsem fosfor in kalij, kajti spodnja meja

vnesenih omenjenih elementov je bila v IV 1:4 nižja kot v H. Drugi vzrok za to pa bi lahko bil zaradi napake pri raziskavi. V času raziskave je bil Center za ravnanje z odpadki, kjer smo izvajali raziskavo, zaradi praznikov zaprt tudi več kot en dan. Proti koncu raziskave smo (enkrat) zaradi visokih temperatur v času zaprtega CRO podcenili količino vode, ki so jo topoli v tem obravnavanju potrebovali. Nekateri so zato odvrgli večje število listov, kar je upočasnilo njihovo rast. V prid temu kaže tudi dejstvo, da je bila manjša masa nadzemnega dela dosežena predvsem na račun manjše mase listov, ki je bila statistično značilno manjša od mase v H. V masi stebel in vej se statistično značilne razlike namreč niso pokazale. Pri *S. viminalis* je imela zelo podoben pozitiven vpliv kot H večja razredčitev izcedne vode (IV 1:4). Statistično značilna manjša masa nadzemnega dela *S. viminalis* v IV 1:2 kot v H kaže na previsoko vsebnost soli in drugih elementov v tej izcedni vodi.

V primerjavi z rezultati naše raziskave, so Dimitriou in sod. (2006) pokazali bolj očitne razlike med vrbami, namakanimi z izcedno vodo in kontrolnimi vrbami, ki so jih zalivali s hranilno mešanico. Rastline v vseh obravnavanjih z izcedno vodo (IV 1:2, IV 1:3 in IV 1:4) so namreč statistično značilno slabše rastle kot kontrolne rastline (Dimitriou in sod., 2006). Adler in sod. (2008) pa so ugotovili, da je bila masa topolov in vrb, zalivanih z izcedno vodo, za faktor 4 manjša v primerjavi s tistimi, ki so bili zalivani s hranilno mešanico in trikrat večja kot masa rastlin, ki so bile zalivane z vodovodno vodo (v naši raziskavi so imele rastline, zalivane z izcedno vodo od 1,7 do 2,2-krat večjo maso, kot tiste, zalivane z vodovodno vodo). Tudi Alker in sod. (2002) so ugotovili, da imajo vrbe, zalivane z izcedno vodo večjo biomaso v primerjavi z vrbami, zalivanimi z vodovodno vodo in kontrolnimi vrbami, ki niso bile zalivane z nobeno vodo.

V obravnavanju z IV 1:2 je *P. deltoides* dosegel statistično večjo maso nadzemnega dela rastlin kot *S. purpurea*, v IV 1:4 pa sta tako *P. deltoides* kot *S. viminalis* dosegla statistično značilno večjo maso nadzemnega dela rastlin kot *S. purpurea*. Razlike med *P. deltoides* in *S. viminalis* pa v nobenem obravnavanju z izcedno vodo niso bile statistično značilne. Zalesny in sod. (2007c) so v študiji združili rezultate mas topolov in vrb, ki so bili namakani z izcedno in vodovodno vodo. Ugotovili so, da so topoli dosegli večjo suho maso listov kot vrbe, vrbe pa so dosegle večjo suho maso debel in korenin kot topoli. Tudi v naši raziskavi je *P. deltoides* tako v obravnavanju z vodovodno vodo kot v IV 1:2 in IV 1:4 dosegel statistično značilno večjo suho maso listov kot obe vrbi. Suha masa stebel in vej je bila pri *S. viminalis*, zalivanih z vodovodno vodo, statistično značilno večja od *P. deltoides* v enakem obravnavanju, v obravnavanju z izcedno vodo pa ni bilo statistično značilnih razlik med *S. viminalis* in *P. deltoides*. Glede na rezultate lahko zaključimo, da je *S. purpurea* manj primerna vrsta za pridobivanje lesne biomase ob namakanju z izcedno vodo kot *P. deltoides* in *S. viminalis*.

Razlike med maso nadzemnega dela rastlin v obravnavanjih s kompostno vodo in z vodovodno vodo pri nobeni vrsti niso bile statistično značilne. Masa v obravnavanjih s kompostno vodo je bila statistično značilno manjša od mase v obravnavanjih z izcedno vodo in s hranilno mešanico, kar pomeni, da so te vrste primernejše za čiščenje izcedne vode kot kompostne vode. Vse vrste so v obravnavanjih s kompostno vodo kazale znake vodnega stresa, kot je ovenelost listov in postopno propadanje spodnjih listov, 80 % rastlin vrste *S. purpurea* pa je v manj razredčeni kompostni vodi celo propadlo. Stres je lahko povzročila kombinacija visoke vsebnosti hranil in organskih kislin, neuravnovešenost med hranili, visoka slanost in nizek pH kompostne vode.

Masa nadzemnega dela rastlin v obravnavanju KV 1:8 je bila največja pri *P. deltoides*, ki je bila tudi statistično značilno večja od mase ostalih dveh vrst, kar gre pripisati visoki listni masi *P. deltoides*. Masa stebel in vej v obravnavanju s kompostno vodo se med *P. deltoides* in *S. viminalis* namreč ni statistično značilno razlikovala. Med vrbama (*S. viminalis* in *S. purpurea*) statistično značilnih razlik v masi nadzemnega dela rastlin ni bilo (niti v masi stebel in vej niti v masi listov). Zaradi propadlih *S. purpurea* statističnih analiz med vrstami v obravnavanju KV 1:4 nismo mogli izvesti, je pa *P. deltoides* imel za 45,9 % večjo maso nadzemnega dela rastlin kot *S. viminalis* (v KV 1:8 je bila razlika 52,6 %). Glede na rezultate raziskave sta za pridobivanje lesne biomase ob namakanju s kompostno vodo enako primerna *P. deltoides* in *S. viminalis*, *S. purpurea* pa je za ta namen manj primerna.

4.1.3 Razlogi za slabo rast rastlin, namakanih s kompostno vodo

Vse vrste so v obravnavanjih s kompostno vodo rasle slabše kot v obravnavanjih z izcedno vodo in s hranilno mešanico (masa celih rastlin je bila pri vseh vrstah statistično značilno manjša v obravnavanjih s kompostno vodo). Razlogi za zmanjšano rast oz. biomaso v obravnavanjih s kompostno vodo so različni. Kot smo že omenili, je lahko k temu prispevala visoka vsebnost hranil, neuravnovešenost med hranili, visoka slanost in nizek pH v kompostni vodi.

Stephens in sod. (2000) so v študiji pokazali linearni negativni vpliv različnih koncentracij klorida na produkcijo biomase *S. viminalis*. Prišli so do zaključka, da je rast vrbe zmanjšana pri koncentracijah klorida, ki so večje od 2,5 g/l. V naši raziskavi koncentracija klorida v obeh kompostnih vodah te vrednosti sicer ni presegla (Preglednica 6), vendar pa zaradi kombinacije stresnih dejavnikov menimo, da je že precej manjša koncentracija klorida povzročila slabšo rast rastlin. Tudi drugi avtorji so potrdili, da je prevelika koncentracija klorida v izcedni vodi lahko glavni razlog za zmanjšano rast rastlin (Hernández in sod., 1999; Alker in sod., 2002; Britt in sod., 2002; Duggan, 2005). Koncentracije klorida v razredčenih kompostnih vodah so bile od 38,8 % do 91,8 % večje

kot koncentracije v razredčenih izcednih vodah, kjer koncentracije klorida očitno niso predstavljale stresa pri rastlinah.

Poleg strupenosti ionov lahko tudi neuravnovešenost med njimi in njihove interakcije (npr. Ca^{2+} - Na^+ in Na^+ - K^+) vplivajo na rast in preživetje rastlin. Znano je, da visoka raven soli (1 % NaCl) hitro zmanjša rast topolov in ima takojšen vpliv na fotosintezo ter stomatalno odpornost (Fung in sod., 1998). Topoli so navadno občutljivi na sol in optimalno rastejo pri elektroprevodnosti od 1 do 5 mS/cm (Zalesny in sod., 2007a), kljub temu pa v njihovi študiji biomasa topolov, namakanih z izcedno vodo, ni bila statistično značilno manjša od kontrolnih topolov, čeprav je izcedna voda vsebovala povišano koncentracijo klorida (1100 mg/l) in imela električno prevodnost 8,3 mS/cm. Prav tako so Zalesny in sod. (2008) dokazali, da lahko nekateri kloni topola kopičijo tako Cl^- kot Na^+ v listih, lesenih nadzemnih delih in koreninah ter kljub temu dobro rastejo. Mogoče je prav to vzrok za uspešnejšo rast *P. deltoides* v primerjavi z vrbama v obravnavanjih s kompostno in z izcedno vodo. V prid temu govori tudi študija Zalesny-ja in sod. (2007b), kjer je bilo ugotovljeno, da imajo kloni topola večjo sposobnost fitoremediacije Cl, P, K, S in Cu kot kloni vrbe ter da topoli večje količine Na kopičijo v listih in deblih, vrbe pa v koreninah.

Eden od razlogov za slabšo rast rastlin v obravnavanjih s kompostno vodo je lahko tudi morebitni nižji pH substrata v teh obravnavanjih. Po končani raziskavi sicer nismo merili pH substrata v različnih obravnavanjih, vendar lahko zaradi precej nižjega pH kompostne vode od izcedne in vodovodne vode sklepamo, da je bil tudi pH substrata v obravnavanjih s kompostno vodo nižji. Znano je, da nizek pH substrata omejuje rast topolov in vrb, kajti od pH substrata je odvisna dostopnost hranil. Za številne topole je pH med 4,5 in 5,0 omejujoč dejavnik za rast (Heilman in Norby, 1997).

Količina raztopljenih organskih spojin, merjena v obliki raztopljenega organskega ogljika (DOC), je bila v kompostni vodi mnogo višja kot v izcedni (Preglednica 6), kar je verjetno tudi vplivalo na slabšo rast rastlin v obravnavanjih s kompostno vodo. Organske snovi namreč povzročajo vodoodbojnost tal, ki vpliva na zmožnost zadrževanja vode v tleh (Doerr in sod., 2000; DeBano, 2000), s tem pa posredno tudi na privzem hranil.

4.1.4 Privzem vode v različnih obravnavanjih

P. deltoides in *S. viminalis* sta privzela statistično značilno več izcedne vode obeh koncentracij kot vodovodne vode, pri *S. purpurea* pa razlike niso bile statistično značilne. Med privzemom IV 1:2 in IV 1:4 pri nobeni vrsti ni bilo statistično značilnih razlik, kar pomeni, da je s stališča privzema vode vseeno, katero redčitev bi uporabljali. Topol lahko na dan privzame med 50 in 110 litrov vode (Wullschleger, 1998), vrba pa tudi do 200 litrov (Susarla, 2002), pri čemer je privzem odvisen od velikosti drevesa (višine, premera debla, listne površine) (Licht in Isebrands, 2005), pa tudi od vrste in starosti drevesa, letnega časa, sončne radiacije ter drugih klimatskih in geografskih dejavnikov (Chappell,

1997). V naši raziskavi smo z enim enoletnim ameriškim črnim topolom (*P. deltoides*) v devetih tednih odstranili 92,3 litra IV 1:2, kar ustreza 30,8 litrom nerazredčene izcedne vode odlagališča odpadkov, z beko (*S. viminalis*) 73,8 litrov IV 1:2 oz. 24,6 litrov nerazredčene izcedne vode, z rdečo vrbo (*S. purpurea*) pa 60,6 litrov IV 1:2 oz. 20,2 litra nerazredčene izcedne vode. Če bi nasad s kratko obhodno dobo vseboval 12.000 dreves na hektar (kar je v takih nasadih spodnja meja (Duggan, 2005)), bi v našem primeru in v enakem časovnem obdobju (9 tednov) s *P. deltoides* odstranili 369.600 litrov nerazredčene izcedne vode na hektar, s *S. viminalis* 295.200 litrov in s *S. purpurea* 242.400 litrov. Privzem vode pri rastlinah v loncu je manjši kot pri rastlinah v naravi, saj je njihov življenjski prostor omejen. V naravnem rastišču, kjer korenine niso omejene na tako majhen prostor, lahko tako pričakujemo še večji privzem vode in s tem tudi prisotnih onesnažil. V nasad dreves na polju lahko zaradi puferske kapacitete tal dodajamo tudi nerazredčeno izcedno vodo (Duggan, 2005). Poleg tega pa se količina vode, ki jo rastlina privzame, povečuje tudi z njeno rastjo. Nekajletni topoli in vrbe bi tako privzeli več vode kot so jo enoletni v naši raziskavi. Za primerjavo smo po Chappell-u (1997) povzeli privzem vode različno starih topolov, ki so rasli v nasadu z gostoto 5362 dreves na hektar. Enoletni topoli so privzeli 437.545 litrov vode na hektar, triletni topoli 8.329.440 litrov vode na hektar, petletni topoli pa že 21.845.073 litrov vode na hektar (Chappell, 1997).

Med privzemom kompostne vode in vodovodne vode pri nobeni vrsti ni bilo statistično značilnih razlik, razen pri *S. viminalis* v KV 1:4, kjer so rastline privzele statistično značilno manj kompostne vode kot vodovodne vode. Pri vrsti *S. purpurea* so v obravnavanju KV 1:4 propadle štiri rastline od petih (80 %), kar nakazuje, da je bila ta voda preveč strupena za omenjeno vrsto. V času raziskave smo z enim ameriškim črnim topolom (*P. deltoides*) odstranili 52,2 litra KV 1:4 oz. 10,4 litre nerazredčene kompostne vode, z beko (*S. viminalis*) pa 43,5 litrov KV 1:4 oz. 8,7 litrov nerazredčene kompostne vode.

Največ vode, tako izcedne kot kompostne, je privzel *P. deltoides*, sledi mu *S. viminalis* in nato *S. purpurea*. Glede na to, da so vrste v enakem obdobju privzele skoraj trikrat več nerazredčene izcedne vode kot nerazredčene kompostne, ocenjujemo, da za čiščenje kompostne vode s tolikšno koncentracijo hranil fitoremediacija (vsaj z našimi raziskovalnimi rastlinami) ni najprimernejša. Verjetno bi raziskava pokazala drugačne rezultate, če bi kompostno vodo pred uporabo še bolj obdelali (bolj razredčili, dodali bazo za zvišanje pH).

4.1.4.1 Učinkovitost izrabe vode

Učinkovitost izrabe vode (UIV) lahko z enim stavkom opišemo kot razmerje med porabljenno vodo in doseženo biomaso. UIV lahko na primer opredelimo kot maso pridelka na enoto padavin, celotno biomaso na enoto namakalne vode ali maso uskladiščenih

ogljikovih hidratov na enoto transpirirane vode (Van Duivenbooden in sod., 2000). V naši raziskavi smo za ocenitev UIV doseženo maso posamezne vrste v določenem obravnavanju delili z volumnom vode, ki ga je vrsta v določenem obravnavanju privzela.

V primerjavi z izrabo vodovodne vode je *P. deltoides* imel statistično značilno boljšo izrabo obeh izcednih voda in hranilne mešanice, *S. purpurea* pa izcedne vode 1:2 in hranilne mešanice. Menimo, da je vodovodna voda za ti dve vrsti vsebovala premalo hranil, da bi dosegli takšno maso kot v obravnavanjih z izcedno vodo in s hranilno mešanico. Očitno pa to ne velja za *S. viminalis*, kjer ni bilo statistično značilnih razlik v med izrabo obeh izcednih voda, izrabo hranilne mešanice in vodovodne vode.

P. deltoides in *S. viminalis* sta bila statistično značilno manj učinkovita v izrabi KV 1:4 kot v izrabi obeh izcednih voda in hranilne mešanice (za *S. purpurea* nimamo podatkov, ker so v IV 1:4 propadle). *P. deltoides* je bil v izrabi KV 1:8 enako učinkovit kot v izrabi obeh izcednih vod, *S. purpurea* enako kot v izrabi IV 1:4, *S. viminalis* pa je bila v izrabi IV 1:8 statistično značilno manj učinkovita kot v izrabi izcednih voda in hranilne mešanice. To pa pomeni, da so bile vrste v KV 1:4, *S. viminalis* pa tudi v KV 1:8, pod stresom. Grewal (2010) je proučeval vpliv različnih koncentracij NaCl v substratu na rast kmetijskih rastlin in ugotovil, da koncentracije 1500–2000 g NaCl/kg substrata zmanjšujejo učinkovitost izrabe vode.

V obravnavnanju KV 1:8 je bila učinkovitost izrabe vode statistično značilno večja pri *P. deltoides* kot pri ostalih dveh vrstah, kar ob statistično značilni večji doseženi masi v tem obravnavanju kaže na večjo uporabnost *P. deltoides* za namene namakanja s kompostno vodo. *S. viminalis* je bila statistično značilno bolj učinkovita od *S. purpurea* v izrabi vodovodne vode, hranilne mešanice in izcedne vode 1:2. Ta rezultat nas lahko zavede v smislu, da je *S. purpurea* porabila na enoto mase več vodovodne vode in izcedne vode 1:2, kar bi pomenilo, da je za fitoremediacijo te vode bolj primerna kot *S. viminalis*. Vendar je za oceno učinkovitosti določene rastline potreben celosten pogled. *S. purpurea* je namreč v času raziskave privzela statistično značilno najmanj izcedne vode in tudi masa v obravnavanju z vsaj ene koncentracijo izcedne vode je bila statistično značilno najmanjša. Zatorej *S. purpurea*, kljub veliki porabi vode na enoto mase, ni najprimernejša vrsta za fitoremediacijo izcedne vode.

4.1.5 Masni vnos hranil

Količina dušika, ki je bila vnešena v obravnavanja s hranilno mešanico, je bila velika (97,8 kg N/ha/teden oz. 5086 kg N/ha/leto) in smo jo pripravili po Ögren-u (1998), ki je za pospešitev rasti vrh v lončnem poskusu uporabljal hranilno mešanico v koncentraciji 40–159 kg N/ha/teden. V obravnavanju s hranilno mešanico je količina dušika močno presegala priporočene vrednosti za topole, ki se po podatkih iz različnih študij gibljejo med

105 in 276 kg N/ha/leto (Zalesny in sod., 2009). Če bi topoli dobivali hranilno mešanico z ustrezno količino dušika, bi se morebiti pokazala večja razlika v rasti med rastlinami v obravnavanjih z izcedno vodo in hranilno mešanico. Prevelika količina dušika namreč ovira rast rastlin, do česar je lahko prišlo tudi v naši raziskavi vsaj pri *P. deltoides*. Glede na vrednosti vnešenega dušika za vrbe, ki jih priporočata Heilman in Norby (1997), smo tudi vrbe preveč gnojili z dušikom. Vnesli smo ga namreč kar 42-krat več kot ga priporočata omenjena avtorja.

Količina dodanega dušika je bila v obravnavanjih z izcedno vodo še višja kot količina, ki je bila dodana s hranilno mešanico (*P. deltoides*: 9.281–15.472 kg N/ha/leto; *S. viminalis*: 7.885–13.142 kg N/ha/leto in *S. purpurea*: 5.904–9.847 kg N/ha/leto). Količina dodanega dušika je bila v obeh obravnavanjih s kompostno vodo pri *P. deltoides* večja kot v obravnavanjih s hranilno mešanico, pri *S. viminalis* pa le v obravnavanju KV 1:4. V mnogih primerih je dušik v izcedni vodi problematičen in omejuje rast rastlin (Licht in Isebrands, 2005; Dimitriou in sod., 2006; Zupančič J.M. in Zupančič M., 2009), vendar kot kaže v naši raziskavi, le-ta ni bil omejujoč dejavnik, saj so vse vrste v obravnavanjih z izcedno vodo, kjer je bilo vnešenega več dušika kot v obravnavanjih s kompostno vodo, rastle bolje.

Fosfor v fitoremediacijskih substratih je navadno omejujoč dejavnik za rast (Duggan, 2005, Adler in sod., 2008). Rastline v obravnavanjih s hranilno mešanico so prejele 507 kg P/ha/leto, v obravnavanjih z izcedno vodo od 118 do 1.773 kg P/ha/leto, v obravnavanjih s kompostno vodo pa od 1.401 do 3.648 kg N/ha/leto. Tudi količina fosforja, ki smo ga vnesli v substrat z različnimi odpadnimi vodami in hranilno mešanico, je bila mnogo višja od količine, ki jo priporočata Heilman in Norby, (1997) in znaša 30 kg P/ha/leto. Pomanjkanja fosforja torej rastline v naši raziskavi niso občutile, kvečjemu bi zaradi prevelike količine lahko zaviral njihovo rast. Vendar glede na dobro rast rastlin v obravnavanjih s hranilno mešanico in obema izcednima vodama, menimo da količina fosforja ni zaviralno vplivala na rast rastlin.

Vse vrste so v obravnavanjih s kompostno vodo prejele več fosforja, kalija, klorida in kalcija kot rastline v obravnavanjih z izcedno vodo. Sklepamo, da so prevelike količine teh elementov in predvsem neuravnovešenost ter interakcije med njimi povzročile stres pri rastlinah v obravnavanjih s kompostno vodo in posledično zmanjšale njihovo rast.

4.1.6 Dušik v listih

Koncentracija dušika in razmerje med makronutrienti v listih je pokazatelj stanja prehranjenosti rastlin (Fillion in sod., 2009). Analize dušika v listih smo zaradi finančnega okvira poskusa naredili le v enem obravnavanju z izcedno (IV 1:2) in kompostno vodo (KV 1:8), ter v obravnavanju H in VV. Pri vseh vrstah je bila v obravnavanjih z izcedno

vodo, kompostno vodo in hranilno mešanico vsebnost dušika v listih statistično značilno večja od vrst v obravnavanju z vodovodno vodo. Glede na ta rezultat lahko zaključimo, da je fitoremediacija primerna metoda za zmanjšanje količine dušika v teh odpadnih vodah.

Tudi v študiji Alkerja in sod. (2002) so vrbe, namakane z izcedno vodo, vsebovale več dušika (za približno 27 %) kot vrbe, namakane z vodovodno vodo, in kontrolne vrbe, ki niso bile namakene. V naši raziskavi so rastline, namakane z izcedno vodo v listih vsebovale od 34 % do kar 166 % več N kot rastline, namakane z vodovodno vodo. V študiji Alkerja in sod. (2002) so rastline, namakne z izcedno vodo, vsebovale 2,8 % dušika v listih, v naši raziskavi pa od 3 do 3,9 %. Rezultati naše študije so bili bolj podobni rezultatom, ki so jih dobili Dimitriou in sod. (2006). Vrbe, ki so jih namakali z izcedno vodo v redčitvi 1:2, so v listih vsebovale 3,5 % dušika. Razlika v vsebnosti dušika v listih med različnimi študijami je lahko posledica različnih koncentracij dušika v izcednih vodah (Dimitriou in sod., 2006). Znano je, da 2–2,5 % vsebnosti dušika v listih kaže na pomanjkanje dušika za mnoga drevesa (Alker in sod., 2002, Dickmann in Stuart, 1983 cit. po Coleman in sod., 2006). V našem primeru je glede na to vrednost, pomanjkanje dušika občutil le *P. deltoides* v obravnavanju z vodovodno vodo.

P. deltoides je v listih vseboval statistično značilno večjo količino dušika v obravnavanjih KV 1:8 in IV 1:2 kot v obravnavanju H, saj so rastline v teh dveh obravnavanjih imele na voljo več dušika kot v obravnavanju H. Mogoče bi se take razlike pokazale tudi v primeru *S. viminalis* in *S. purpurea*, če bi raziskavo podaljšali in bi rastline lahko privzele več vode in s tem tudi več dušika. *S. viminalis* je v listih vsebovala statistično značilno več dušika v obravnavanju IV 1:2 kot v KV 1:8, saj je v obravnavanju IV 1:2 z večjim privzemom vode imela na razpolago tudi precej več dušika kot v obravnavanju KV 1:8. Zanimivo je, da pri *P. deltoides* ni prišlo do statistično značilnih razlik med tema obravnavanjema, čeprav je bila razlika v količini dušika, ki so ga imele rastline na razpolago, še večja kot pri *S. viminalis*. Možno je, da je *P. deltoides* bolje izkoriščal dušik, ki ga je imel na razpolago v obravnavanju KV 1:8 kot *S. viminalis*, vzrok za tak rezultat pa je lahko tudi v neoptimalni količini dušika, ki ga je imel *P. deltoides* na razpolago v obeh obravnavanjih. *S. purpurea* je vsebovala največ dušika v listih v obravnavanju IV 1:2, sledilo je obravnavanje H in nato KV 1:8, vendar razlike niso bile statistično značilne, zato lahko zaključimo, da na vsebnost dušika v listih *S. purpurea* ta obravnavanja niso vplivala.

Podobno kot pri nas je tudi v študiji Weih in Nordh (2002) prišlo do večje vsebnosti dušika v listih pri rastlinah, ki so bile zalivane z močno hranilno mešanico. Vendar so ta drevesa z abscizijo listov v okolje tudi vrnila največ dušika, zato avtorja opozarjata, da pri fitoremediaciji odpadne vode rastline veliko količino elementov, ki jo privzamejo v rastni sezoni, v jeseni vrnejo v okolje (Weih in Nordh, 2002). To moramo pri fitoremediaciji imeti v mislih, kajti Swamy in sod. (2006) ugotavljajo, da različni kloni topola *P. deltoides*

v gozdnem nasadu največ dušika privzemajo v liste, nato v veje, korenine in nazadnje v debla. V članku tudi izpostavijo, da se taki rezultati najdejo tudi v drugi literaturi.

V obravnavanjih IV 1:2, H in VV sta *S. viminalis* in *S. purpurea* vsebovali statistično značilno več dušika v listih kot *P. deltoides*. Tudi v obravnavanju KV 1:8 sta vrbi vsebovali več dušika v listih kot *P. deltoides*, vendar je bila razlika statistično značilna le med *S. viminalis* in *P. deltoides*. Znano je, da imajo vrbe večjo zmogljivost privzema dušika kot topoli (Adler in sod., 2008), zato vsebujejo tudi več dušika v listih.

4.2 SKLEPI

- Izcedna voda odlagališča odpadkov, uporabljena v raziskavi, je pospešila rast vseh treh vrst v primerjavi s kontrolno skupino, namakano z vodovodno vodo.
- Kompostna voda, uporabljena v raziskavi, ni pospešila rasti rastlin. Vse vrste v obravnavanjih s kompostno vodo so bile pod stresom in so tekom raziskave dosegle najmanjšo maso, ki pa ni bila statistično značilno manjša od mase kontrolne skupine. 80 % *S. purpurea* je v obravnavanju z manj razredčeno kompostno vodo (KV 1:4) propadlo.
- Z rastjo rastlin v poskusu smo zmanjšali onesnaženost izcedne in kompostne vode ter tako prispevali k zmanjšanju tveganja, ki ga te vode predstavljajo za okolje. Na to kaže tudi vsebnost dušika v listih, ki je bila v obravnavanjih s kompostno vodo in izcedno vodo statistično značilno večja od vsebnosti v kontrolni skupini.
- Največ vode, tako izcedne kot kompostne, in posledično tudi hranil oziroma onesnažil je privzel *P. deltoides*, sledi mu *S. viminalis* in nato *S. purpurea*.
- *S. purpurea* je za fitoremediacijo izcedne in kompostne vode ter za pridobivanje lesne biomase ob uporabi teh odpadnih voda najmanj primerna. *P. deltoides* in *S. viminalis* pa sta enako primerni vrsti za pridobivanje lesne biomase ob uporabi tovrstnih odpadnih voda. Ker je *P. deltoides* v času raziskave privzel največjo količino izcedne in kompostne vode, lahko zaključimo, da je najbolj primeren za fitoremediacijo obeh odpadnih voda oziroma za evapotranspiracijo te vode.
- Ugotovili smo, da so vrste, uporabljene v poskusu, bolj primerne za čiščenje izcedne kot kompostne vode ter da je za pridobivanje lesne biomase bolj primerna uporaba izcedne vode kot kompostne. Vzrok za to je predvsem velika koncentracija dušika, klorida in raztopljenega organskega ogljika v kompostni vodi, zato jo je pred uporabo potrebno bolje obdelati kot izcedno vodo.
- Pri interpretaciji rezultatov je potrebno dodati še, da smo zaključke o rasti in fitoremediaciji posameznih vrst podali glede na rezultate enoletnih rastlin v eni rastni sezoni. Ob drugačnih raziskovalnih pogojih (večletna raziskava, zasaditev na kos zemljišča, gostota nasada ...) bi lahko prišli do drugačnih zaključkov.

5 POVZETEK

Posledice nenehnega človeškega razvoja se kažejo v mnogih pritiskih na okolje, zato je v zadnjem času vse bolj pomembno pridobivanje obnovljivih virov energije, med katere spada tudi gojenje hitro rastočih lesnih rastlin. Ker rastline za optimalno rast potrebujejo rastlinska hranila, ki predstavljajo proizvodni strošek, se uporaba odpadnih virov z visoko vsebnostjo hranil (npr. izcedna voda odlagališča odpadkov in odpadna voda iz priprave komposta) kaže kot obetavna možnost nadomestitve umetnih rastlinskih hranil in vira vode. To pa hkrati pomeni tudi trajnostno upravljanje z odpadnim virom in posledično zmanjšanje njegovega negativnega vpliva na okolje.

Namen raziskave je bil testirati razlike v rasti izbranih hitro rastočih drevesnih vrst (*Populus deltoides* Bartr. cl. »I-69/55« – LUX, *Salix viminalis* in *Salix purpurea*) ob namakanju z različnimi koncentracijami izcedne vode odlagališča odpadkov, odpadne vode iz priprave komposta, vodovodne vode in hranilno mešanico z uporabo rastlinskih gnojil. V pokritem plastenjaku smo zastavili lončni poskus s po eno rastlino na lonec. Vsaka rastlinska vrsta je bila v obravnavanju zastopana s petimi ponovitvami. Rastline smo dnevno zalivali s pripadajočimi vodnimi raztopinami glede na njihovo potrebo po vodi in tedensko merili njihovo višino. Po končanem 9-tedenskem poskusu smo vseh 90 rastlin porezali in jih razdelili na liste, lesene nadzemne dele in korenine ter izmerili njihovo zračno suho maso.

P. deltoides je v obeh obravnavanjih z izcedno vodo dosegel statistično značilno večjo višino kot v obravnavanju z vodovodno vodo, pri *S. viminalis* in *S. purpurea* pa razlike med temi obravnavanji niso bile statistično značilne. V obravnavanjih s kompostno vodo so vse vrste rasle slabše kot v obravnavanjih z izcedno vodo in s hranilno mešanico. V obravnavanju KV 1:4 je 80 % *S. purpurea* tudi propadlo. *P. deltoides* in *S. viminalis* sta v obeh obravnavanjih z izcedno vodo in s hranilno mešanico dosegla statistično značilno večjo maso nadzemnega dela rastlin kot v obravnavanjih z vodovodno vodo in s kompostno vodo. Pri *S. purpurea* se je pokazal enak trend, z izjemo razlike med IV 1:4 in VV, ki ni bila statistično značilna. Razlike v masi nadzemnega dela rastlin med obravnavanji s kompostno vodo in vodovodno vodo pri nobeni vrsti niso bile statistično značilne. Ugotovili smo, da izcedna in kompostna voda na razvoj korenin ne vplivata tako močno kot na razvoj drugih delov rastlin. Statistično značilne razlike so se pri vseh vrstah pojavile v masi korenin le med obravnavanji s KV in H ter pri *S. viminalis* še med KV in VV. V času raziskave sta *P. deltoides* in *S. viminalis* privzela statistično značilno več izcedne vode obeh koncentracij kot vodovodne vode, pri *S. purpurea* pa ta razlika ni bila statistično značilna. Ko smo primerjali privzem kompostne in vodovodne vode, nismo ugotovili toliko statistično značilnih razlik, kajti le *S. viminalis* je privzela statistično značilno manj kompostne vode KV 1:4 kot vodovodne vode. Vsebnost dušika v listih je bila pri vseh vrstah v obravnavanjih z izcedno vodo, s kompostno vodo in hranilno

mešanico statistično značilno večja od vrst v obravnavanju z vodovodno vodo. V obravnavanjih IV 1:2, H in VV sta *S. viminalis* in *S. purpurea* vsebovali statistično značilno več dušika v listih kot *P. deltoides*, v obravnavanju KV 1:8 pa je le *S. viminalis* vsebovala statistično značilno več dušika v listih kot *P. deltoides*.

Ugotovili smo, da je izcedna voda, razredčena z vodovodno v volumskem razmerju 1:4, imela enak vpliv na rast in biomaso rastlin kot hranilna mešanica, kar potrjuje velik potencial fitoremediacije za čiščenje izcedne vode. Navadno izcedne in kompostne vode vsebujejo velike količine dušika. Glede na statistično značilno večjo vsebnost dušika v listih vseh vrst v obravnavanjih z izcedno in s kompostno vodo kot pri vrstah v obravnavanju z vodovodno vodo lahko zaključimo, da je fitoremediacija primerna metoda za zmanjšanje količine dušika v teh odpadnih vodah. *S. purpurea* je dosegla najmanjšo maso in višino ter privzela najmanj izcedne in kompostne vode, zato je s stališča fitoremediacije teh odpadnih voda najmanj primerna vrsta. Glede na to, da med *P. deltoides* in *S. viminalis* ni bilo statistično značilnih razlik v masi lesnega dela rastlin, bi lahko rekli, da sta obe enako primerni s stališča pridobivanja biomase ob zalivanju s tovrstnimi odpadnimi vodami. Ker pa je *P. deltoides* privzel največjo količino izcedne in kompostne vode, lahko zaključimo, da je najbolj primeren za fitoremediacijo obeh vrst voda. Glede na to, da so vrste v enakem obdobju privzele skoraj trikrat več nerazredčene izcedne vode kot nerazredčene kompostne, so obravnavane rastline bolj primerne za čiščenje izcedne kot kompostne vode oziroma je potrebno kompostno vodo pred uporabo bolje obdelati kot izcedno vodo. Pri interpretaciji rezultatov je potrebno dodati še, da smo zaključke o rasti in fitoremediaciji posameznih vrst podali glede na rezultate enoletnih rastlin v eni rastni sezoni. Ob drugačnih raziskovalnih pogojih (večletna raziskava, zasaditev na kos zemljišča, gostota nasada ...) bi lahko prišli do drugačnih zaključkov.

6 VIRI

- Adler, A., Karacic, A., Weih, M., 2008. Biomass allocation and nutrient use in fast-growing woody and herbaceous perennials used for phytoremediation. *Plant Soil*, 305: 189–206
- Alker, G.R., Godley, A.R., Hallett, J.E., 2002. Landfill leachate management using short rotation coppice: Final Technical Report. WRC Ref: CO5126, Swindon, Velika Britanija: 187 str.
- Åkesson, M., Nilsson, P., 1997. Seasonal changes of leachate production and quality from test cells. *Environmental. Management.*, 18 (1): 105–117.
- Atlas okolja, 2009. Agencija RS za okolje,
http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_okolja_AXL@Arso
(17.10.2009)
- Britt, C., Bullard, M., Hickman, G., Johnson, P., King, J., Nicholson, F., Nixon, P., Smith, N., Garstang, J., 2002. Bioenergy crops and bioremediation – a review. Final Report, A Contract Report by ADAS for the Department for Food, Environment and Rural Affairs: 120 str.
- Bowman, M.S., Clune, T.S., Sutton, B.G., 2002. Sustainable management of landfill leachate by irrigation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 134: 81–96.
- Bulc, T., Vrhovšek D., Kukanja V., 1997. The use of constructed wetland for landfill leachate treatment, *Water Science and technology*, 35 (5): 301–306
- Bulc, G.T., 2006. Long term performance of a constructed wetland for landfill leachate treatment, *Ecological Engineering*, 26: 365–374.
- Center za ravnanje z odpadki Vrhnika, 2009. Spletni portal CRO Vrhnika,
<http://www.crovrhnika.si> (17.10.2009)
- Chappell, J., 1997. Phytoremediation of TCE using *Populus*. Status Report prepared for the U.S. EPA Technology Innovation Office under a National Network of Environmental Management Studies Fellowship: 38 str.
- Colemann, M., Tolsted, D., Nichols, T., Johnson, D.W., Wene, G.E., Houghtaling, T., 2006. Post-establishment of Minnesota hybrid poplar plantations. *Biomass and Bioenergy* 30: 740–749.

Composting Yard Trimmings and Municipal Solid Waste, 1994. United States Environmental Protection Agency: 141 str.

Cureton, P.M., Groenevelt, P. H., McBride, R. A., 1991. Landfill Leachate Recirculation: Effects on Vegetation Vigor and Clay Surface Cover Infiltration. Journal of Environmental Quality, 20:17–24

DeBano, L.F., 2000. Water repellency in soils: a historical overview. Journal of Hydrology 231232: 4–32.

Déportes, I., Benoit-Guyond, J.L., Zmirou, D., 1995. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review. The Science of the Total Environment, 172: 197–222.

Dickmann, D.I., Isebrands, J.G., Eckenwalder, J.E., Richardson, J., 2001. Poplar Culture in North America. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, 375 str.

Dimitriou, I., Aronsson, P., 2005. Willows for energy and phytoremediation in Sweden. Unasylva 221, 56: 47–50

Dimitriou, I., Aronsson, P., Weih, M. 2006b. Stress tolerance of five willows clones after irrigation with different amounts of landfill leachate. Bioresource Technology, 97: 150–157.

Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Walsh, R.P.D., 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. Earth-Science Reviews 51: 33–65.

Duggan, J., 2005. The potential for landfill leachate treatment using willows in the UK- a critical review. Res. Conserv. Recycl. 45: 97–113.

Farrell, M., Jones, D.L., 2009. Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. Bioresource Technology 100: 4301–4310

Fillion, M., Brisson, J., Teodorescu, I.T., Sauvé, S., Labrecque, M., 2009. Performance of *Salix viminalis* and *Populus nigra* x *Populus maximowiczii* in short rotation intensive culture under high irrigation, Biomass and Bioenergy 33: 1271–1277.

- Fischernová, Z., Tlustoš, P., Száková, J., Šichorová, K., 2006. A comparison of phytoremediation capability of selected plant species for given trace elements. *Environmental pollution* 144: 93–100.
- Fung L.E., Wang S.S., Altman A., Hutterman A., 1998. Effect of NaCl on growth, photosynthesis, ion and water relations of four poplar genotypes. *Forest Ecology and Management*, 107, 135–146.
- Epstein, E., 1997. The science of composting. Pennsylvania, Technomic Publishing Company: 487 str.
- Garbisu, C., Alkorta, I., 2001. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, 77: 229–236.
- Greval, S.H., 2010. Water uptake, water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barley, canola and chickpea plants on a sodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity. *Agricultural Water Management* 97: 148–156.
- Gunstek, M., 2009. Kompostarna v Centru za ravnanje z odpadki Vrhnika, Vrhnika, CRO Vrhnika (osebni vir, julij, 2009).
- Heilman, P., Norby, J.R., 1997. Nutrient cycling and fertility management in temperate short rotation forest systems. *Biomass and Bioenergy*, 14: 361–370.
- Hernández, A.J., Adarve, M.J., Gil, A. and Pastor, J., 1999. Soil salination from landfill leachates: effects on the macronutrients content and plant growth of four grassland species. *Chemosphere*, 38 (7), 1693–1711.
- Javno podjetje Komunalno podjetje Vrhnika d.o.o., 2009. Spletni portal, <http://www.kpv.si/> (17.10.2009)
- Jones, D.L., Williamson, K.L., Owen A.G., 2006. Phytoremediation of landfill leachate. *Waste Management*, 26: 825–937.
- Kadlec, R.H., Knight R.L., 1996. Treatment wetlands. Lewis publisher: 837 str.
- Kajfež, B.L., 2008. Kaj nam prinašajo podnebne spremembe? Pedagoški inštitut, Ljubljana, 2008: 134 str.

- Kennedy/Jenks Consultants, 2007. Compost Leachate Research. K/J Project No. 0791022.00, Prepared for Oregon Department of Environmental Quality, Portland, Oregon: 20 str.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M.A., Rooker, A.P., Baun, A., Ledin, A., Christensen, T.H., 2002. Present and Long-term Composition of MSW Landfill Leachate. A Review: Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 32 (4): 297–336.
- Komisija evropskih skupnosti, 2008. Predlog Direktive o spodbujanju energije iz obnovljivih virov. COD/2008/0016, Bruselj, 2008.
- Kumar, S., Gaikwad, S.A., Shekdar, A.V., Kshirsagar, P.S., Singh, R.N., 2004. Estimation method for national methane emission from solid waste landfills. Atmospheric Environment 38: 3481–3487.
- Licht, L.A., Isebrands, J.G., 2005. Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities. Biomass Bioenergy, 28: 203–218.
- Nagendran R., Selvam A., Joseph K., Chiemchaisri, C., 2006. Phytoremediation and rehabilitation of municipal solid waste landfills and dumpsites: A brief review. Waste Management, 26: 1357–1369.
- Nivala J., Hoos, M.B., Cross, C., Wallace, S., Parkin G., 2007. Treatment of landfill leachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland. Science of the Total Environment, 380: 19–27.
- Ögren E., 1999. Fall frost resistance in willows used for biomass production. I. Characterization of seasonal and genetic variation. Tree Physiology, 19, 749–754.
- Paré, M., Paulitz, T.C., Stewart, K.S., 1998. Covering Composting Windrows: Effects on the Process and the Compost. V: Composting in the Southeast. Proceedings of the 1998 Conference, Georgia, 9–11 sept. 1998.
- Perko, D., Orožen, A.M., 1998. Slovenija – pokrajine in ljudje. Atlas Slovenije v sliki in besedi. Ljubljana, Mladinska knjiga: 735 str.
- Perttu, K. L., Kowalik, P. J., 1997. Salix vegetation filters for purification of waters and soils. Biomass and Bioenergy, 12 (1): 9–19.

Phytoremediation Decision Tree, 1999. Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group, Phytoremediation work team, <http://www.cluin.org/download/partner/phytotree.pdf> (15.9.2009)

Poročilo o preskušanju vode – pitne vode, 2007. Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije, Ljubljana, Trubarjeva 2.

Pulford, I.D., Dickinson, N.M., 2005. Phytoremediation Technologies Using Trees. In: Prasad, M.N.V., Naidu, R. (Eds.), Trace Elements in the Environment, USA: CRC Press, New York: 375–395.

Pulford, I.D. and Watson, C., 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review. Environmental International, 29: 529–540.

Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P., 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. Journal of Hazardous Materials, 150: 468–493.

Richard, T., 1996. Water Quality Protection. Cornell Waste Management Institute. <http://compost.css.cornell.edu/waterqual.html> (8.10.2009)

Robinson, H.D., Knox, K., Bone, B.D., Picken, A., 2005. Leachate quality from landfilled MBT waste. Waste Management 25: 383–391.

Rockwood, D. L., Ma, L. Q., Alker G. R., Tu, C., Cardellino, R. W., 2001. Phytoremediation of contaminated sites using woody biomass. Final Report, The School of Forest Resources and Conservation (SFRC) and The Soil and Water Sciences (SWS) Department, University of Florida: 96 str.

Rosenqvist, H., Ness, B., 2004. An economic analysis of leachate purification through willow-coppice vegetation filters. Bioresource technology, 94, 321–329.

Salem, Z., Hamouri, K., Djemaa, R., Allia, K., 2008. Evaluation od landfill leachate pollution and treatment. Desalination, 220: 108–114.

Savage, A.J., Tyrrel, S.F., 2005. Compost liquor bioremediation using waste materials as biofiltration media. Bioresource Technology 96: 557–564.

Sormunen, K., Einola, J., Ettala, M., Rintala, J., 2008. Leachate and gaseous emissions from initial phases of landfilling mechanically and mechanically–biologically treated municipal solid waste residuals. Bioresource Technology 99: 2399–2409

Statistični urad RS, 2009. <http://www.stat.si/> (17.10.2009)

Stephens, W., Tyrrel, S.F., Tiberghien, J.-E., 2000. Irrigating short rotation coppice with landfill leachate : constraints to productivity due to chloride. *Bioresource Technology* 75: 227–229

Susarla, S., Medina, V.F, McCutcheon, S.C., 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, 18: 647–658.

Swamy, S.L., Mishra, A., Puri, S., 2006. Comparison of growth, biomass and nutrient distribution in five promisin clones of *Populus deltoides* under an agrisilviculture system. *Bioresource Technology* 97: 57–68.

Šušteršič, J., Rojec, M., Korenika, K., 2005. Strategija razvoja Slovenije. Urad Republike Slovenije za makroekonomske analize in razvoj, Ljubljana, 2005: 53 str.

Tyrrel, S.F., Seymour, J.A., Harris, J.A., 2008. Bioremediation of leachate from a green waste composting facility using waste-derived filter media. *Bioresource Technology* 99: 7657–7664.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov, Ur.l. RS, št. 7/2000, 62/2008

Ur.l. RS, 2008. Pravilnik o predelavi biološko razgradljivih odpadkov v kompost. Ur.l. RS, št. 42/2004, 62/2008.

Van Duivenbooden, N., Pala, M., Studer, C., Biielders, C.L., Beukes, D.J., 2000. Cropping systems and crop complementarity in dryland agriculture to increase water use efficieny: a review. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 48: 213–236.

Walle, I.V., Van Camp, N., Van de Castele, L., Verheyen, K., Lemeur, R., 2007. Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) I –Biomass production after 4 years of tree growth. *BiomassandBioenergy*, 31: 267–275.

Weih, M., Nordh, N.E., 2002. Characterising willows for biomass and phytoremediation: growth, nitrogen and water use of 14 willow clones under different irrigation and fertilisation regimes. *Biomass and Bioenergy* 23: 397–413.

Wershaw, R.L., Llaguno, E.C., Leenheer, J.A., 1996. Mechanism of formation of humus coatings on mineral surfaces 3. Composition of adsorbed organic acids from compost leachate on alumina by solid-state ¹³C NMR. *A: Physicochemical and Engineering Aspects* 108: 213223.

Wullschleger, D.S., Meinzer, F.C., Vertessy, R.S., 1998. A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology*, 18: 499–512.

Yalcuk, A., Ugurlu, A., 2009. Comparison of horizontal and vertical constructed wetland systems for landfill leachate treatment. *Bioresource Technology*, 100: 2521–2526.

Zalesny, J.A., Zalesny Jr, R.S., Coyle, D.R., Hall, R.B., 2007a. Growth and biomass of *Populus* irrigated with landfill leachate. *Forest Ecology and Management*, 248 (2): 143–52.

Zalesny Jr, R.S., Bauer, O.E., 2007b. Evaluation of *Populus* and *Salix* continuously irrigated with landfill leachate I. Genotype-specific elemental phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*, 9: 281–306.

Zalesny Jr, R.S., Bauer, O.E., 2007c. Evaluation of *Populus* and *Salix* continuously irrigated with landfill leachate II. Soils and early tree development. *International Journal of Phytoremediation*, 9: 307–323.

Zalesny, J.A., Zalesny Jr, R.S., Wiese, H.A., Sexton, B., Hall, R.B., 2008. Sodium in chloride accumulation in leaf, woody and root tissue of *Populus* after irrigation with landfill leachate. *Environmental Pollution*, 155: 72–80.

Zalesny Jr, R.S., Weise, H.A., Bauer, O.E., Riemenschneider, E.D., 2009. Ex situ growth and biomass of *Populus* bioenergy crops irrigated and fertilized with landfill leachate. *Biomass and Bioenergy*, 33: 62–69.

Zapiranje deponije komunalnih odpadkov Tojnice, 2001. Tehnično poročilo, št. Projekta: ic 497/01, IRGO consulting d.o.o.: 29 str.

Zupančič, J.M., 2006. Sledenje onesnaževal v sistemu predčiščenja in vračanja izcedne vode pri sanaciji odlagališča komunalnih odpadkov. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Podiplomski študij varstva okolja: 230 str.

Zupančič, J.M., Zupančič, M., 2009. Combined purification and reuse of landfill leachate by constructed wetland and irrigation of grass and willows. *Desalination*, 246: 157–168.

ZAHVALA

Mentorici doc. dr. Tjaši Griessler Bulc se najlepše zahvaljujem za hiter pregled naloge ter koristne popravke in dobrodošle nasvete.

Hvala recenzentki prof. dr. Marjani Regvar za hiter in temeljit pregled naloge ter za tehtne popravke. Hvala predsednici komisije prof. dr. Alenki Gaberšček za pregled naloge in prijaznost.

Za ves trud in pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem moji delovni mentorici, dr. Maji Zupančič Justin. Hvala za uvod v svet znanosti, potpežljivost, za nasvete in takojšne odgovore ter temeljit pregled napisane naloge. Hvala za priložnost.

Vsem članicam komisije in dr. Maji Zupančič Justin bi se rada zahvalila tudi za to, da je od oddaje naloge v prvo branje do zagovora pretekel le slab mesec.

Hvala dr. Vesni Zupanc za razjasnjena vprašanja, ki sem jih postavila tik pred zdajci, in za prijazno komunikacijo.

Za lektoriranje diplomske naloge se zahvaljujem Maruški Jančič.

Anamariji, Renati, Mojci V., Martinu V. in dr. Maji Zupančič Justin hvala za pomoč pri sečnji rastlin in obiranju listja. Brez vas bi se verjetno lahko za nekaj časa preselila na vrhniško odlagališče odpadkov.

Mami in Janezu se zahvaljujem za pomoč pri čiščenju korenin in sušenju rastlin, ki jih ni bilo malo.

Hvala vsem, ki sem vas zasipala z vprašanji, za pojasnjene nerazumljivosti v zvezi z diplomsko nalogo, še posebno hvala Tini, Anamariji, Janezu, Vesni, Marijanu in Bini.

Iz srca se zahvaljujem tudi prof. Sonji Zalar Bizjak, ki me je v osnovni šoli navdušila nad biologijo in prof. Miki Terkov, ki je poskrbela, da je v srednji šoli moje navdušenje le rastlo.

In tu je prostor za zahvalo prijateljem. Veliko vas je stopilo v moje življenje, ki mi od takrat dalje lepšate dneve ... Najprej iskrena hvala Tini in Anamariji za vse pogovore, razumevanje, potovanja, smeh, vragolije, gostoljubna prenočišča, toplino, spontanost ... Vem, da bomo skupaj vse življenje. Hvala Bini in Katji K. za mnoge lepe skupne trenutke, obširne debate in pozitivno energijo. Hvala Tini S., Barbari D., Vesni, Ani B., Kristini, Renati, Barbari B., Črtu, Danieli, Klari, Mojci V., Petri S., Romani, Špeli, Katji K., Katji

L., Urošu K., Karmen, Tini M., Sari, Janji, Maji J. in Marku ki ste mi vsak na svoj način polepšali čas študija. Vesela sem, da se videvamo tudi sedaj, ko smo vsak na svojem koncu s svojimi obveznostmi. Hvala tudi vsem organizatorjem RTŠB-jev, zaradi katerih lahko skoraj z vsakim na biologiji greš na kavo.

Posebna zahvala gre mojim staršem in Simoni za vzpodbudo, razumevanje, zaupanje in podporo skozi celoten študij ter za dobro prenašanje moje slabe volje v času izpitov in pisanja diplomske naloge.

In na koncu se najtopleje zahvaljujem tebi, Janez. Hvala, ker me sprejemaš tako, kot sem. Pri vseh mojih vzponih in padcih si verjel vame, me spodbujal in mi nesebično pomagal. In hvala za potpežljivost ter razumevanje v času pisanja naloge.

PRILOGE

Priloga A – Povprečne vrednosti in standardne napake različnih parametrov

Preglednica 1: Višina rastlin (cm), vsebnost dušika v listih (%), suha masa listov (g), stebel in vej (g), korenin (g) in celih rastlin (g), poraba vode (l), učinkovitost izrabe vode (g/l) pri *P. deltoides*, *S. viminalis*, *S. purpurea* v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV: kompostna voda, IV: izcedna voda, H: uravnotežena hranilna mešanica). Prikazane so povprečne vrednosti in standardne napake.

Rastlinska vrsta	Obravnavanje	Višina rastlin (cm)	Suha masa listov (g)	Suha masa stebel in vej (g)	Suha masa nadzemnega dela (g)	Suha masa korenin (g)	Suha masa celih rastlin (g)	Poraba vode (l)	Učinkovitost izrabe vode (g/l)	Vsebnost dušika v listih (%)
		Povprečna vrednost ± SE	Povprečna vrednost ± SE	Povprečna vrednost ± SE	Povprečna vrednost ± SE	Povprečna vrednost ± SE	Povprečna vrednost ± SE	Povprečna vrednost ± SE	Povprečna vrednost ± SE	Povprečna vrednost ± SE
<i>P. deltoides</i>	VV	147,2 ± 14,1	56,8 ± 3,0	44,2 ± 2,3	101,0 ± 3,3	35,4 ± 8,7	136,4 ± 11,4	57,9 ± 1,6	2,4 ± 0,2	1,14 ± 0,05
	KV 1:4	121,8 ± 4,7	41,8 ± 4,2	27,2 ± 1,8	69,0 ± 5,7	15,2 ± 1,7	84,2 ± 6,1	52,2 ± 7,7	1,7 ± 0,1	/
	KV 1:8	153,6 ± 7,1	62,6 ± 1,8	47,6 ± 3,3	110,2 ± 4,2	27,6 ± 3,3	137,8 ± 1,9	53,8 ± 1,2	2,6 ± 0,1	3,04 ± 0,14
	IV 1:2	198,4 ± 5,5	136,0 ± 9,1	121,2 ± 2,5	257,2 ± 11,5	37,8 ± 2,9	295,0 ± 11,8	92,3 ± 3,2	3,2 ± 0,1	3,04 ± 0,14
	IV 1:4	213,0 ± 4,9	113,0 ± 19,5	138,8 ± 4,9	251,8 ± 22,2	46,0 ± 1,9	297,8 ± 23,5	98,4 ± 3,0	3,0 ± 0,2	/
	H	232,2 ± 3,4	159,0 ± 7,6	147,6 ± 6,2	306,6 ± 13,2	67,0 ± 17,2	373,6 ± 24,6	111,5	3,3 ± 0,1	1,97 ± 0,08
<i>S. viminalis</i>	VV	165,8 ± 5,4	30,0 ± 1,7	62,2 ± 3,6	92,2 ± 5,0	71,0 ± 19,3	163,2 ± 24,1	55,6 ± 3,4	2,9 ± 0,3	2,68 ± 0,09
	KV 1:4	135,5 ± 5,6	4,5 ± 0,3	32,8 ± 3,4	37,3 ± 3,1	11,0 ± 2,0	48,3 ± 5,0	43,5 ± 2,1	1,1 ± 0,1	/
	KV 1:8	157,2 ± 9,3	10,6 ± 3,9	41,6 ± 2,4	52,2 ± 5,3	16,4 ± 3,0	68,6 ± 6,8	43,5 ± 1,8	1,6 ± 0,1	3,47 ± 0,10
	IV 1:2	169,0 ± 11,5	71,6 ± 14,6	121,2 ± 14,5	192,8 ± 26,2	33,4 ± 6,5	226,2 ± 32,1	73,8 ± 4,1	3,0 ± 0,3	3,91 ± 0,06
	IV 1:4	195,4 ± 10,4	81,8 ± 5,7	149,8 ± 12,4	231,6 ± 18,0	50,6 ± 6,0	282,2 ± 20,5	83,6 ± 3,9	3,4 ± 0,1	/
	H	212,8 ± 10,8	93,4 ± 6,5	174,2 ± 3,8	267,6 ± 6,6	71,2 ± 16,7	338,8 ± 18,1	99,2 ± 1,8	3,4 ± 0,2	3,66 ± 0,11
<i>S. purpurea</i>	VV	132,8 ± 21,4	24,3 ± 4,1	44,5 ± 10,8	68,8 ± 7,1	16,7 ± 5,5	91,3 ± 11,7	52,5 ± 8,2	1,6 ± 0,1	2,73 ± 0,08
	KV 1:4	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	KV 1:8	111,8 ± 7,4	22,6 ± 4,9	30,2 ± 5,1	52,8 ± 9,6	11,2 ± 3,1	64,0 ± 12,3	36,1 ± 2,1	1,8 ± 0,3	3,30 ± 0,04
	IV 1:2	128,0 ± 5,9	67,0 ± 1,7	84,8 ± 6,5	151,8 ± 8,0	22,8 ± 0,6	174,6 ± 8,2	60,6 ± 2,3	2,9 ± 0,1	3,65 ± 0,03
	IV 1:4	134,0 ± 11,6	53,6 ± 7,3	78,4 ± 12,7	132,0 ± 19,9	25,0 ± 6,4	157,0 ± 25,5	62,6 ± 5,4	2,4 ± 0,1	/
	H	139,6 ± 5,9	54,8 ± 6,8	95,8 ± 13,9	150,6 ± 20,5	35,4 ± 10,4	186,0 ± 30,3	68,1 ± 6,3	2,7 ± 0,2	3,64 ± 0,13

Priloga B – ANOVA za različne parametre

Preglednica 1: ANOVA za višino, suho maso listov, suho maso stebel in vej, suho maso nadzemnega dela, suho maso korenin, suho maso cele rastline, porabo vode, učinkovitost izrabe vode in vsebnost dušika med različnimi obravnavanji pri vrstah: *P. deltoides*, *S. viminalis* in *S. purpurea*. Vrednosti, ki predstavljajo statistične značilne razlike ($p < 0,05$), so poudarjene.

Rastlinska vrsta	Višina	Suha masa listov	Suha masa stebel in vej	Suha masa nadzemnega dela	Suha masa korenin	Suha masa cele rastline	Poraba vode	Učinkovitost izrabe vode	Vsebnost dušika
<i>P. deltoides</i>	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,004	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
<i>S. viminalis</i>	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,003	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
<i>S. purpurea</i>	p = 0,213	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,105	p = 0,002	p < 0,001	p = 0,002	p < 0,001

Preglednica 2: ANOVA za višino, suho maso listov, suho maso stebel in vej, suho maso nadzemnega dela, suho maso korenin, suho maso cele rastline, porabo vode, učinkovitost izrabe vode in vsebnost dušika med vrstami *P. deltoides*, *S. viminalis* in *S. purpurea* pri posameznih obravnavanjih. Vrednosti, ki predstavljajo statistične značilne razlike ($p < 0,05$), so poudarjene.

Obravnavanje	Višina	Suha masa listov	Suha masa stebel in vej	Suha masa nadzemnega dela	Suha masa korenin	Suha masa cele rastline	Poraba vode	Učinkovitost izrabe vode	Vsebnost dušika
VV	p = 0,148	p < 0,001	p = 0,008	p < 0,001	p = 0,072	p = 0,077	p = 0,505	p = 0,021	p < 0,001
KV 1:8	p = 0,003	p < 0,001	p = 0,021	p < 0,001	p = 0,009	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,006	p = 0,055
IV 1:2	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,025	p = 0,003	p = 0,061	p = 0,004	p < 0,001	p = 0,567	p = 0,001
IV 1:4	p < 0,001	p = 0,018	p = 0,001	p = 0,003	p = 0,01	p = 0,002	p < 0,001	p = 0,011	/
H	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,003	0,227	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,024	p < 0,001

Priloga C –Višina rastlin

Preglednica 1: Povprečne razlike v višini rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri *P. deltoides* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		25,4	-6,4	-51,2*	-65,8*	-85,0*
KV 1:4			-32	-77*	-91*	-110*
KV 1:8				-45*	-59*	-79*
IV 1:2					-15	-34*
IV 1:4						-19
H						

Preglednica 2: Povprečne razlike v višini rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri *S. viminialis* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		30	9	-3	-30	-47*
KV 1:4			-22	-33	-60*	-77*
KV 1:8				-12	-38	-56*
IV 1:2					-26	-44*
IV 1:4						-17
H						

Preglednica 3: Povprečne razlike v višini rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri *S. purpurea* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		21	5	-1	-7
KV 1:8			-16	-22	-28
IV 1:2				-6	-12
IV 1:4					-6
H					

Preglednica 4: Povprečne razlike v višini rastlin pri različnih vrstah v obravnavanju z vodovodno vodo – VV (levo spodaj) in obravnavanju z uravnoteženo hranilno mešanico – H (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminialis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		19	93*
<i>S. viminialis</i>	19		73*
<i>S. purpurea</i>	-15	-33	

Preglednica 5: Povprečne razlike v višini rastlin pri različnih vrstah v obravnavanju s **kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:8 – KV 1:8**, (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		−4	42*
<i>S. viminalis</i>			45*
<i>S. purpurea</i>			

Preglednica 6: Povprečne razlike v višini rastlin pri različnih vrstah v obravnavanju z **izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:2 – IV 1:2** (levo spodaj) in obravnavanju z **izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:4 – IV 1:4** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		18	79*
<i>S. viminalis</i>	−29		61*
<i>S. purpurea</i>	−70*	−41*	

Priloga D – Rast rastlin

Preglednica 1: Tukey HSD test razlik med povprečno višino *P. deltooides* v različnih obravnavanjih v **tretjem tednu** (levo spodaj) in **četrtem tednu** (desno zgoraj) raziskave (* označuje statistično značilne razlike ($p < 0,05$)).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV			*	*	*	*
KV 1:4				*	*	*
KV 1:8						
IV 1:2	*					
IV 1:4	*					
H						

Preglednica 2: Tukey HSD test razlik med povprečno višino *P. deltooides* v različnih obravnavanjih v **petem tednu** (levo spodaj) in **šestem tednu** (desno zgoraj) raziskave (* označuje statistično značilne razlike ($p < 0,05$)).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV			*	*	*	*
KV 1:4			*	*	*	*
KV 1:8	*				*	*
IV 1:2	*	*				
IV 1:4	*	*				
H	*	*				

Preglednica 3: Tukey HSD test razlik med povprečno višino *P. deltooides* v različnih obravnavanjih v **sedmem tednu** (levo spodaj) in **osmem tednu** (desno zgoraj) raziskave (* označuje statistično značilne razlike ($p < 0,05$)).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV				*	*	*
KV 1:4			*	*	*	*
KV 1:8	*	*		*	*	*
IV 1:2	*	*	*			*
IV 1:4	*	*	*			
H	*	*	*			

Preglednica 4: Tukey HSD test razlik med povprečno višino *P. deltooides* v različnih obravnavanjih v **devetem tednu** raziskave (* označuje statistično značilne razlike ($p < 0,05$)).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV				*	*	*
KV 1:4				*	*	*
KV 1:8				*	*	*
IV 1:2						*
IV 1:4						
H						

Preglednica 5: Tukey HSD test razlik med povprečno višino *S. viminalis* v različnih obravnavanjih v **šestem tednu** (levo spodaj) in **sedmem tednu** (desno zgoraj) raziskave (* označuje statistično značilne razlike ($p < 0,05$)).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV						
KV 1:4					*	*
KV 1:8						*
IV 1:2						
IV 1:4						
H		*				

Preglednica 6: Tukey HSD test razlik med povprečno višino *S. viminalis* v različnih obravnavanjih v **osmem tednu** (levo spodaj) in **devetem tednu** (desno zgoraj) raziskave (* označuje statistično značilne razlike ($p < 0,05$)).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV						*
KV 1:4					*	*
KV 1:8						*
IV 1:2						*
IV 1:4		*				
H	*	*	*	*		

Preglednica 7: Tukey HSD test razlik med povprečno višino *S. purpurea* v različnih obravnavanjih v **sedmem tednu** raziskave (* označuje statistično značilne razlike ($p < 0,05$)).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV						
KV 1:4				*	*	*
KV 1:8						
IV 1:2						
IV 1:4						
H						

Priloga E – Suha masa listov

Preglednica 1: Povprečne razlike v suhi masi listov v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri ***P. deltoides*** po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		15,0	-5,8	-79,2*	-56,2*	-102,2*
KV 1:4			-20,8	-94,2*	-71,2*	-117,2*
KV 1:8				-73,4*	-50,4*	-96,4*
IV 1:2					23,0	-23,0
IV 1:4						-46,0*
H						

Preglednica 2: Povprečne razlike v suhi masi listov v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri ***S. viminalis*** po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		25,5	19,4	-41,6*	-51,8*	-63,4*
KV 1:4			-6,1	-67,2*	-77,3*	-88,9*
KV 1:8				-61,0*	-71,2*	-82,8*
IV 1:2					-10,2	-21,8
IV 1:4						-11,6
H						

Preglednica 3: Povprečne razlike v suhi masi listov v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri ***S. purpurea*** po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		-1,7	-42,8*	-29,4*	-30,6*
KV 1:8			-44,4*	-31,0*	-32,2*
IV 1:2				13,4	12,2
IV 1:4					-1,2
H					

Preglednica 4: Povprečne razlike v suhi masi listov pri različnih vrstah v obravnavanju **z vodovodno vodo** – VV (levo spodaj) in obravnavanju **z uravnoteženo hranilno mešanico** – H (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		65,6*	104,2*
<i>S. viminalis</i>	-26,8*		38,6*
<i>S. purpurea</i>	-32,6*	-5,8	

Preglednica 5: Povprečne razlike v suhi masi listov pri različnih vrstah v obravnavanju **s kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:8 – KV 1:8**, (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		52,0*	40,0*
<i>S. viminalis</i>			-12,0
<i>S. purpurea</i>			

Preglednica 6: Povprečne razlike v suhi masi listov pri različnih vrstah v obravnavanju **z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:2 – IV 1:2** (levo spodaj) in obravnavanju **z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:4 – IV 1:4** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		31,2	59,4*
<i>S. viminalis</i>	-64,4*		28,2
<i>S. purpurea</i>	-69,0*	-4,6	

Priloga F – Suha masa stebel in vej

Preglednica 1: Povprečne razlike v suhi masi stebel in vej v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *P. deltoides* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		17,0*	-3,4	-77,0*	-94,6*	-103,4*
KV 1:4			-20,4*	-94,0*	-111,6*	-120,4*
KV 1:8				-73,6*	-91,2*	-100,0*
IV 1:2					-17,6*	-26,4*
IV 1:4						-8,8
H						

Preglednica 2: Povprečne razlike v suhi masi stebel in vej v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *S. viminialis* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		29,4	20,6	-59,0*	-87,6*	-112,0*
KV 1:4			-8,9	-88,5*	-117,1*	-141,5*
KV 1:8				-79,6*	-108,2*	-132,6*
IV 1:2					-28,6	-53,0*
IV 1:4						-24,4
H						

Preglednica 3: Povprečne razlike v suhi masi stebel in vej v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *S. purpurea* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		14,3	-40,3	-33,9	-51,3*
KV 1:8			-54,6*	-48,2*	-65,6*
IV 1:2				6,4	-11,0
IV 1:4					-17,4
H					

Preglednica 4: Povprečne razlike v suhi masi stebel in vej pri različnih vrstah v obravnavanju z vodovodno vodo – VV (levo spodaj) in obravnavanju z uravnoveženo hranilno mešanico – H (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminialis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		-26,6	51,8*
<i>S. viminialis</i>	18,0*		78,4*
<i>S. purpurea</i>	-0,3	-17,7*	

Preglednica 5: Povprečne razlike v suhi masi stebel in vej pri različnih vrstah v obravnavanju **s kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:8 – KV 1:8**, (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		6,0	17,4*
<i>S. viminalis</i>			11,4
<i>S. purpurea</i>			

Preglednica 6: Povprečne razlike v suhi masi stebel in vej pri različnih vrstah v obravnavanju **z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:2 – IV 1:2** (levo spodaj) in obravnavanju **z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:4 – IV 1:4** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$) so označene z zvezdico; Tukey HSD test)

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		-11,0	60,4*
<i>S. viminalis</i>	0,0		71,4*
<i>S. purpurea</i>	-36,4*	-36,4*	

Priloga G – Suha masa nadzemnega dela rastlin

Preglednica 1: Povprečne razlike v suhi masi nadzemnega dela rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri *P. deltoides* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		32,0	-9,2	-156,2*	-150,8*	-205,6*
KV 1:4			-41,2	-188,2*	-182,8*	-237,6*
KV 1:8				-147,0*	-141,6*	-196,4*
IV 1:2					5,4	-49,4
IV 1:4						-54,8*
H						

Preglednica 2: Povprečne razlike v suhi masi nadzemnega dela rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri *S. viminialis* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		55,0	40,0	-100,6*	-139,4*	-175,4*
KV 1:4			-15,0	-155,6*	-194,4*	-230,4*
KV 1:8				-140,6*	-179,4*	-215,4*
IV 1:2					-38,8	-74,8*
IV 1:4						-36,0
H						

Preglednica 3: Povprečne razlike v suhi masi nadzemnega dela rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri *S. purpurea* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		16,0	-83,1*	-63,3	-81,9*
KV 1:8			-99,0*	-79,2*	-97,8*
IV 1:2				-19,8	1,2
IV 1:4					-18,6
H					

Preglednica 4: Povprečne razlike v suhi masi nadzemnega dela rastlin pri različnih vrstah v obravnavanju z **vodovodno vodo** – VV (levo spodaj) in obravnavanju z **uravnovešeno hranilno mešanico** – H (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminialis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		39,0	156,0*
<i>S. viminialis</i>	-8,8		117,0*
<i>S. purpurea</i>	-32,3*	-23,5*	

Preglednica 5: Povprečne razlike v suhi masi nadzemnega dela rastlin pri različnih vrstah v obravnavanju s **kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:8 – KV 1:8**, (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		58,0*	57,4*
<i>S. viminalis</i>			-0,6
<i>S. purpurea</i>			

Preglednica 6: Povprečne razlike v suhi masi nadzemnega dela rastlin pri različnih vrstah v obravnavanju z **izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:2 – IV 1:2** (levo spodaj) in obravnavanju z **izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:4 – IV 1:4** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		20,2	119,8*
<i>S. viminalis</i>	-64,4		99,6*
<i>S. purpurea</i>	-105,4*	-41,0	

Priloga H – Suha masa korenin

Preglednica 1: Povprečne razlike v suhi masi korenin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri **P. deltoides** po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		20,2	7,8	-2,4	-10,6	-31,6
KV 1:4			-12,4	-22,6	-30,8	-51,8*
KV 1:8				-10,2	-18,4	-39,4*
IV 1:2					-8,2	-29,2
IV 1:4						-21,0
H						

Preglednica 2: Povprečne razlike v suhi masi korenin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri **S. viminalis** po končani preiskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		60,2*	54,6*	37,6	20,4	-0,2
KV 1:4			-5,4	-22,4	-39,6	-60,2*
KV 1:8				-17,0	-34,2	-54,8*
IV 1:2					-17,2	-37,8
IV 1:4						-20,6
H						

Preglednica 3: Povprečne razlike v suhi masi korenin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri **S. purpurea** po končani preiskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		5,5	-6,1	-8,3	-18,7
KV 1:8			-11,6	-13,8	-24,2
IV 1:2				-2,2	-12,6
IV 1:4					-10,4
H					

Preglednica 4: Povprečne razlike v suhi masi korenin pri različnih rastlinskih vrstah v obravnavanju **z vodovodno vodo** – VV (levo spodaj) in obravnavanju **z uravnoveženo hranilno mešanico** – H (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		-4,2	31,6
<i>S. viminalis</i>	35,6		35,8
<i>S. purpurea</i>	-18,7	-54,3	

Preglednica 5: Povprečne razlike v suhi masi korenin pri različnih vrstah v obravnavanju s **kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:8 – KV 1:8**, (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$) so označene z zvezdico; Tukey HSD test)

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		11,2	16,4*
<i>S. viminalis</i>			5,2
<i>S. purpurea</i>			

Preglednica 6: Povprečne razlike v suhi masi korenin pri različnih vrstah v **obravnavanju z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:2 – IV 1:2** (levo spodaj) in obravnavanju **z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:4 – IV 1:4** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$) so označene z zvezdico; Tukey HSD test)

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		-4,6	21,0*
<i>S. viminalis</i>	-4,4		25,6*
<i>S. purpurea</i>	-15,0	-10,6	

Priloga I – Suha masa celih rastlin

Preglednica 1: Povprečne razlike v suhi masi celih rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *P. deltoides* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		52,2	-1,4	-158,6*	-161,4*	-237,2*
KV 1:4			-53,6	-210,8*	-213,6*	-289,4*
KV 1:8				-157,2*	-160,0*	-235,8*
IV 1:2					-2,8	-78,6*
IV 1:4						-75,8*
H						

Preglednica 2: Povprečne razlike v suhi masi celih rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *S. viminalis* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		115,2*	94,6*	-63,0	-119,0*	-175,6*
KV 1:4			-20,4	-178,0*	-234,0*	-290,6*
KV 1:8				-157,6*	-213,6*	-270,2*
IV 1:2					-56,0	-112,6*
IV 1:4						-56,6
H						

Preglednica 3: Povprečne razlike v suhi masi celih rastlin v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *S. purpurea* po končani raziskavi (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		27,3	-83,3	-65,7	-94,7
KV 1:8			-110,6*	-93,0*	-122,0*
IV 1:2				17,6	-11,4
IV 1:4					-29,0
H					

Preglednica 4: Povprečne razlike v suhi masi celih rastlin pri različnih rastlinskih vrstah v obravnavanju z **vodovodno vodo** – VV (levo spodaj) in obravnavanju z **uravnoveženo hranilno mešanico** – H (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		34,8	187,6*
<i>S. viminalis</i>	26,8		152,8*
<i>S. purpurea</i>	-45,1	-71,9	

Preglednica 5: Povprečne razlike v suhi masi celih rastlin pri različnih vrstah v obravnavanju **s kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:8 – KV 1:8**, (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		69,2*	73,8*
<i>S. viminalis</i>			4,6
<i>S. purpurea</i>			

Preglednica 6: Povprečne razlike v suhi masi celih rastlin pri različnih vrstah v obravnavanju **z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:2 – IV 1:2** (levo spodaj) in obravnavanju **z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:4 – IV 1:4** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		(15,6)	(140,8*)
<i>S. viminalis</i>	-68,8		(125,2*)
<i>S. purpurea</i>	-120,4*	-51,6	

Priloga J – Poraba vode

Preglednica 1: Povprečne razlike v porabi vode v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *P. deltooides* (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		5,6	4,1	-34,4*	-40,6*	-53,6*
KV 1:4			-1,5	-40,0*	-46,2*	-59,2*
KV 1:8				-38,5*	-44,6*	-57,7*
IV 1:2					-6,1	-19,2*
IV 1:4						-13,0
H						

Preglednica 2: Povprečne razlike v porabi vode v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *S. viminialis* (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		15,1*	12,1	-18,2*	-28,0*	-43,6*
KV 1:4			-0,1	-30,4*	-40,1*	-55,8*
KV 1:8				-30,3*	-40,1*	-55,7*
IV 1:2					-9,8	-25,4*
IV 1:4						-15,6*
H						

Preglednica 3: Povprečne razlike v porabi vode v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *S. purpurea* (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		16,4	-8,1	-10,1	-15,6
KV 1:8			-24,5*	-26,6*	-32,0*
IV 1:2				-2,0	-7,5
IV 1:4					-5,4
H					

Preglednica 4: Povprečne razlike v porabi vode pri različnih rastlinskih vrstah v **obravnavanju z vodovodno vodo** – VV (levo spodaj) in **obravnavanju z uravnoveženo hranilno mešanico** – H (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltooides</i>	<i>S. viminialis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltooides</i>		12,2	43,4*
<i>S. viminialis</i>	-2,2		31,2*
<i>S. purpurea</i>	-5,4	-3,1	

Preglednica 5: Povprečne razlike v porabi vode pri različnih rastlinskih vrstah v obravnavanju **s kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:8 – KV 1:8**, (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		10,2*	17,7*
<i>S. viminalis</i>			7,5*
<i>S. purpurea</i>			

Preglednica 6: Povprečne razlike v porabi vode pri različnih rastlinskih vrstah v obravnavanju **z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:2 – IV 1:2** (levo spodaj) in obravnavanju **z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:4 – IV 1:4** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		14,8*	35,8*
<i>S. viminalis</i>	-18,5*		21,0*
<i>S. purpurea</i>	-31,7*	-13,2*	

Priloga K – Učinkovitost izrabe vode

Preglednica 1: Povprečne razlike v učinkovitosti izrabe vode v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *P. deltoides* (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		0,7*	-0,2	-0,8*	-0,7*	-1,0*
KV 1:4			-0,9*	-1,5*	-1,3*	-1,7*
KV 1:8				-0,6	-0,4	-0,8*
IV 1:2					0,2	-0,1
IV 1:4						-0,3
H						

Preglednica 2: Povprečne razlike v učinkovitosti izrabe vode v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *S. viminialis* (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:4	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		1,8*	1,3*	-0,1	-0,4	-0,5
KV 1:4			-0,5	-1,9*	-2,3*	-2,3*
KV 1:8				-1,4*	-1,8*	-1,8*
IV 1:2					-0,3	-0,4
IV 1:4						-0,1
H						

Preglednica 3: Povprečne razlike v učinkovitosti izrabe vode v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:4 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, IV 1:4 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:4, H: uravnovežena hranilna mešanica) pri *S. purpurea* (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	IV 1:4	H
VV		-0,1	-1,3*	-0,8	-1,0*
KV 1:8			-1,1*	-0,7	-0,9*
IV 1:2				0,4	0,2
IV 1:4					-0,2
H					

Preglednica 4: Povprečne razlike v učinkovitosti izrabe vode pri različnih rastlinskih vrstah v **obravnavanju z vodovodno vodo – VV** (levo spodaj) in **obravnavanju z uravnoveženo hranilno mešanico – H** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminialis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		-0,1	0,7
<i>S. viminialis</i>	0,5		0,8*
<i>S. purpurea</i>	-0,7	-1,3*	

Preglednica 5: Povprečne razlike v učinkovitosti izrabe vode pri različnih rastlinskih vrstah v obravnavanju s **kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:8 – KV 1:8**, (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		1,0*	0,8*
<i>S. viminalis</i>			–0,2
<i>S. purpurea</i>			

Preglednica 6: Povprečne razlike v učinkovitosti izrabe vode pri različnih rastlinskih vrstah v obravnavanju z **izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:2 – IV 1:2** (levo spodaj) in obravnavanju z **izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:4 – IV 1:4** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltoides</i>	<i>S. viminalis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltoides</i>		–0,4	0,6
<i>S. viminalis</i>	–0,2		0,9*
<i>S. purpurea</i>	–0,3	–0,1	

Priloga L – Vsebnost dušika v listih

Preglednica 1: Povprečne razlike vsebnosti dušika v listih v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri *P. deltooides* (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	H
VV		-1,90*	-1,91*	-0,84*
KV 1:8			-0,01	1,06*
IV 1:2				1,07*
H				

Preglednica 2: Povprečne razlike v vsebnosti dušika v listih v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri *S. viminialis* (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	H
VV		-0,79*	-1,23*	-0,98*
KV 1:8			-0,44*	-0,19
IV 1:2				0,25
H				

Preglednica 3: Povprečne razlike v vsebnosti dušika v listih v različnih obravnavanjih (VV: vodovodna voda, KV 1:8 – kompostna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:8, IV 1:2 – izcedna voda, razredčena z vodovodno vodo v razmerju 1:2, H: uravnotežena hranilna mešanica) pri *S. purpurea* (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	VV	KV 1:8	IV 1:2	H
VV		-0,57*	-0,92*	-0,91*
KV 1:8			-0,35	-0,34
IV 1:2				0,01
H				

Preglednica 4: Povprečne razlike v vsebnosti dušika v listih pri različnih vrstah v obravnavanju **z vodovodno vodo – VV** (levo spodaj) in obravnavanju **z uravnoteženo hranilno mešanico – H** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltooides</i>	<i>S. viminialis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltooides</i>		-1,69*	-1,67*
<i>S. viminialis</i>	1,55*		0,03
<i>S. purpurea</i>	1,59*	0,05	

Preglednica 5: Povprečne razlike v vsebnosti dušika v listih pri različnih vrstah v obravnavanju **s kompostno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:8 – KV 1:8** (levo spodaj) in obravnavanju **z izcedno vodo, razredčeno z vodovodno vodo v razmerju 1:2 – IV 1:2** (desno zgoraj), (vrednosti, ki predstavljajo statistično značilne razlike ($p < 0,05$), so označene z zvezdico; Tukey HSD test).

	<i>P. deltooides</i>	<i>S. viminialis</i>	<i>S. purpurea</i>
<i>P. deltooides</i>		-0,87*	-0,61*
<i>S. viminialis</i>	0,44*		0,26
<i>S. purpurea</i>	0,26	-0,17	

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Nastja PAJK

**RAST IN BIOMASA HITRORASTOČIH DREVESNIH
VRST OB NAMAKANJU Z IZCEDNO VODO
ODLAGALIŠČA ODPADKOV IN ODPADNO VODO
IZ PRIPRAVE KOMPOSTA**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

