

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE  
GOZDNE VIRE

Sašo TAŠKAR

**PRIMERNOST DREVESNIH VRST ZA ZASADITEV  
DEPONIJE ELEKTROFILTRSKEGA PEPELA V  
TRBOVLJAH**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Sašo TAŠKAR

**PRIMERNOST DREVESNIH VRST ZA ZASADITEV DEPONIJ  
ELEKTROFILTRSKEGA PEPELA V TRBOVLJAH**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

**THE SUITABILITY OF TREE SPECIES FOR TRBOVLJE FLY ASH  
LANDFILL AFFORESTATION**

GRADUATION THESIS  
Higher professional studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za gojenje gozdov na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne 14.11.2007 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Robert Brusa, za recenzenta pa prof. dr. Franca Batiča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Sašo Taškar

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	GDK 114.449.8+233(497.4)=163.6
KG	deponije pepela/elektrofilterski pepel/poskusni nasad/drevesne vrste/pogozdovanje/
KK	
AV	TAŠKAR, Sašo
SA	BRUS, Robert (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2009
IN	PRIMERNOST DREVESNIH VRST ZA ZASADITEV DEPONIJE ELEKTROFILTRSKEGA PEPELA V TRBOVLJAH
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 47 str., 3 pregl., 19 sl., 14 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	

Lokacija raziskovalne ploskve je na deponiji elektrofilterskega pepela Prapretno v Trbovljah, na kateri je bilo zasajenih devet vrst dreves. Namen diplomskega dela je ugotoviti, katera vrsta se bo uspešno prilagodila danim razmeram, ki vladajo na tako degradiranih površinah. Od 2001 do 2008 so bili preučevani parametri, in sicer rast dreves v višino, razvoj koreninskega sistema, debelinska rast dreves in ekološke razmere, ki so v tem času vladale na območju deponije. Razlogi za slabo uspevanje nekaterih drevesnih vrst niso bili odkriti, je pa naloga preučila morebiten vpliv na biodiverzitetu zaradi vključitve novih vrst v siromašen ekosistem. Rezultati so pokazali, da na rast dreves vpliva skupek abiotičnih in biotičnih stresnih dejavnikov. Uspešno so se prilagodile le štiri drevesne vrste (navadni črni gaber, črna jelša, navadna breza, trepetlika), ki bodo uporabljene pri celotni zasaditvi deponije.

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

DN	Vs
DC	FDC 114.449.8+233(497.4)=163.6
CX	landfill ash/ fly ash/experimental plantation/tree species/afforestation
CC	
AU	TAŠKAR, Sašo
AA	BRUS, Robert (supervisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB	University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources
PY	2009
TI	THE SUITABILITY OF TREE SPECIES FOR TRBOVLJE FLY ASH LANDFILL AFFORESTATION
DT	Graduation thesis, (Higher professional studies)
NO	IX, 47 p., 3 tab., 19 fig., 14 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	

The survey was carried out on fly ash landfill Prapretno in Trbovlje, where nine tree species were planted. The purpose of diploma paper is to determine which species will successfully adapt to a given situation which prevails in such degraded areas. From 2001 to 2008 the parameters (such as the growth of trees in height, the development of roots, increment growth of trees) and ecological conditions (which at that time prevailed in the landfill area) were analyzed. The reasons for poor thriving of some tree species were not discovered. However, the impact on biodiversity due to the inclusion of new species in the impoverished eco system was examined in the paper. The results showed that the growth of the trees is affected by the combination of abiotic and biotic stress factors. Only four of nine tree species (black hornbeam, black alder, birch, trembling poplar) have successfully adapted and they will be used for the afforestation of the landfill.

## KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija .....	III
Key words dokumentations .....	IV
Kazalo vsebine.....	V
Kazalo preglednic.....	VIII
Kazalo slik.....	IX
<b>1 Uvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Opredelitev problema in namen naloge.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Cilji raziskovanja in delovne hipoteze .....</b>	<b>6</b>
<b>4 Material in metode dela.....</b>	<b>7</b>
4.1 Objekt raziskave .....	7
<b>4.1.1 Lega objekta .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1.2 Matična podlaga, tla in relief.....</b>	<b>9</b>
<b>4.1.3 Elektrofilterski pepel.....</b>	<b>10</b>
4.1.3.1 Mehanske lastnosti pepela .....	10
4.1.3.2 Vsebnosti prvin v elektrofilterskem pepelu, tleh in rastlinah.....	10
4.1.3.2.1 Rezultate opisane raziskave lahko strnemo v naslednje sklepe.....	12
<b>4.1.4 Podnebne značilnosti .....</b>	<b>13</b>
4.1.4.1 Vremenske postaje .....	13
4.1.4.1.1 Srednja letna vrednost temperature.....	14
4.1.4.1.2 Srednja letna vrednost relativne vlage .....	15
4.1.4.1.3 Srednja letna hitrost vetra .....	16
4.1.4.1.4 Volumen padavin .....	17
<b>4.1.5 Gozd v bližini deponije .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1.6 Prisotnost živali na deponiji.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1.7 Zasaditev poskusne ploskve .....</b>	<b>18</b>
4.2 Meritve na poskusni ploskvi .....	19
<b>4.2.1 Drevesna višina .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.2 Povprečni premer debla .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.3 Koreninski sistem.....</b>	<b>19</b>

<b>5</b>	<b>Drevesne vrste .....</b>	<b>21</b>
5.1	Izbira drevesnih vrst.....	21
5.2	Opis drevesnih vrst .....	21
<b>5.2.1</b>	<b><i>Betula pendula</i> – navadna breza .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2.2</b>	<b><i>Alnus glutinosa</i> – črna jelša.....</b>	<b>22</b>
<b>5.2.3</b>	<b><i>Ostrya carpinifolia</i> – navadni črni gaber .....</b>	<b>22</b>
<b>5.2.4</b>	<b><i>Sorbus aucuparia</i> – jerebika.....</b>	<b>23</b>
<b>5.2.5</b>	<b><i>Acer pseudoplatanus</i> – gorski javor .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2.6</b>	<b><i>Ginkgo biloba</i> – dvokrpi ginko.....</b>	<b>24</b>
<b>5.2.7</b>	<b><i>Pinus sylvestris</i> – rdeči bor .....</b>	<b>24</b>
<b>5.2.8</b>	<b><i>Populus tremula</i> – trepetlika .....</b>	<b>25</b>
<b>5.2.9</b>	<b><i>Fraxinus excelsior</i> – veliki jesen .....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Rezultati.....</b>	<b>26</b>
6.1	Analiza povprečne višinske rasti po drevesnih vrstah .....	26
<b>6.1.1</b>	<b>Povprečna višinska rast navadne breze .....</b>	<b>26</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Povprečna višinska rast navadnega črnega gabra.....</b>	<b>27</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Povprečna višinska rast črne jelše.....</b>	<b>28</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Povprečna višinska rast trepetlike .....</b>	<b>29</b>
<b>6.1.5</b>	<b>Povprečna višinska rast velikega jesena .....</b>	<b>30</b>
<b>6.1.6</b>	<b>Povprečna višinska rast jerebike.....</b>	<b>31</b>
<b>6.1.7</b>	<b>Povprečna višinska rast gorskega javorja .....</b>	<b>32</b>
<b>6.1.8</b>	<b>Povprečna višinska rast ginka .....</b>	<b>33</b>
<b>6.1.9</b>	<b>Povprečna višinska rast rdečega bora .....</b>	<b>34</b>
6.2	Rast koreninskega sistema po drevesnih vrstah.....	35
<b>6.2.1</b>	<b>Koreninski sistem navadne breze (<i>Betula pendula</i>) .....</b>	<b>35</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Koreninski sistem navadnega črnega gabra (<i>Ostrya carpinifolia</i>).....</b>	<b>35</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Koreninski sistem trepetlike (<i>Populus tremula</i>) .....</b>	<b>35</b>
<b>6.2.4</b>	<b>Koreninski sistem črne jelše (<i>Alnus glutinosa</i>).....</b>	<b>35</b>
<b>6.2.5</b>	<b>Koreninski sistem velikega jesena (<i>Fraxinus excelsior</i>) .....</b>	<b>36</b>
<b>6.2.6</b>	<b>Koreninski sistem jerebike (<i>Sorbus aucuparia</i>).....</b>	<b>36</b>
6.3	Splošen pregled osnovnih podatkov o preživetju in hitrosti rasti po drevesnih vrstah.....	37

6.4	Živali kot stresni dejavnik.....	39
<b>7</b>	<b>Razprava in sklepi .....</b>	<b>40</b>
7.1	Razprava .....	40
7.2	Sklepi .....	42
<b>8</b>	<b>Povzetek .....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Viri.....</b>	<b>46</b>
	<b>Zahvala</b>	



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Osnovni podatki o preživetju, oprijemljivosti, višini in premeru po drevesnih vrstah.....	37
Preglednica 2: Povprečna višina po letih.....	37
Preglednica 3: Število preživelih dreves po letih .....	38

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Deponija Prapretno med letoma 1970 – 1980 (foto: M. Vengust) .....	2
Slika 2:	Južni del deponije, kjer so pred 30 leti ozeleneli pobočje (foto: S. Taškar) .....	5
Slika 3:	Severni del, kamor se še danes deponira elektrofilterski pepel (foto: S. Taškar)..	5
Slika 4:	Raziskovalni objekt deponija Prapretno (Vir: Atlas okolja).....	8
Slika 5:	Poskusna ploskev leta 2002 (foto: S. Taškar).....	9
Slika 6:	Pregled srednje letne vrednosti temperature zraka na območju deponije Prapretno .....	14
Slika 7:	Srednja letna vrednost relativne vlažnosti na deponiji Prapretno .....	15
Slika 8:	Pregled srednje letne hitrosti vetra na območju deponije Prapretno.....	16
Slika 9:	Volumen padavin na deponiji Prapretno.....	17
Slika 10:	Rast koreninskega sistema (foto: S. Taškar).....	20
Slika 11:	Povprečna višina breze ( <i>Betula pendula</i> ) na deponiji Prapretno .....	26
Slika 12:	Povprečna višina črnega gabra ( <i>Ostrya carpinifolia</i> ) na deponiji Prapretno.....	27
Slika 12:	Povprečna višina črne jelše ( <i>Alnus glutinosa</i> ) na deponiji Prapretno .....	28
Slika 13:	Povprečna višina trepetlike ( <i>Populus tremula</i> ) na deponiji Prapretno .....	29
Slika 14:	Povprečna višina velikega jesena ( <i>Fraxinus excelsior</i> ) na deponiji Prapretno..	30
Slika 15:	Povprečna višina jerebike ( <i>Sorbus aucuparia</i> ) na deponiji Prapretno.....	31
Slika 16:	Povprečna višina javorja ( <i>Acer pseudoplatanus</i> ) na deponiji Prapretno .....	32
Slika 17:	Povprečna višina ginka ( <i>Ginkgo biloba</i> ) na deponiji Prapretno .....	33
Slika 18:	Povprečna višina rdečega bora ( <i>Pinus sylvestris</i> ) na deponiji Prapretno .....	34
Slika 19:	Raziskovalna ploskev v letu 2008 (foto: S. Taškar) .....	43

## 1 UVOD

Izkoriščanje premoga v trboveljski regiji je povezano z obširno spremembo naravnega in kultiviranega okolja. Pri primarnem vplivu razvoja t.i. težke industrije (rudarjenje, proizvodnja cementa, električne energije, strojna tovarna), kakršna se je razvila na območju, ni bilo omejitev glede izkoriščanja prostora, saj je do danes celotno degradirano območje veliko 200 ha, kar pomeni 4 % skupne površine občine. Odstranjevanje talne odeje in s tem hkrati vegetacije, ter razgaljevanje matične podlage je privedlo do popolne neuporabnosti teh površin. Sekundarni vpliv pa se kaže z nasipavanjem materiala, ki je nastajal kot stranski produkt industrijskih obratov, s katerimi so zasipavali rodovitna zemljišča. Leta 1906 je v ozki dolini reke Save pričela obratovati Termoelektrarna Trbovlje, ki je izkoriščala premog iz zasavskih premogovnikov, tako so pri proizvodnji električne energije pričeli izkoriščati velike količine premoga. Sočasno pa je pri proizvodnji, natančneje pri izgorevanju fosilnih goriv nastajal stranski produkt, tj. elektrofilterski pepel (Lenarčič, 1998).

Zaradi velikih potreb po električni energiji se je termoelektrarna hitro razvijala in povečevala svoj industrijski obrat, hkrati pa so nastajale ogromne količine pepela. Sprva nihče ni pričakoval, da bo potrebno pepel kdaj kam odlagati, saj so predvidevali, da bo le-ta porabljen kot stranski produkt v tovarni zidakov, kjer so pepelu dodajali apno in azbest. Po dvanajstih letih obratovanja pa so tovarno zaprli zaradi nerentabilnosti obratovanja in zastarele tehnologije. Tako so leta 1968 pričeli pepel deponirati v prapreško dolino, na meji med trboveljsko in hrastniško občino. Deponija leži v neposredni bližini termoelektrarne z namenom, da so pepel lahko transportirali po tekočem traku. Količina odpadnega materiala se je hitro povečevala in že v letu 1988 dosegla pet milijonov kubičnih metrov (Lenarčič, 1998). Prapreška dolina je tako hitro spreminjala svojo naravno podobo. Gozdove, ki so prekrivali pobočja, so posekali in velik del doline zapolnili s pepelom. Prostor, kjer je bil še nedolgo nazaj primeren ekosistem za premnoga živa bitja, je danes zapolnjen z sedmimi milijoni kubičnih metrov pepela. Vizualno in ekološko je deponija velik tujek v naravi in za mnoge, ki prvič obišejo območje, pravi kulturni šok. Vendar lahko poskrbimo, da z ustrezno zasaditvijo le-ta ne bo več tako moteč.



Slika 1: Deponija Prapretno med letoma 1970 – 1980 (foto: M. Vengust)

## 2 OPREDELITEV PROBLEMA IN NAMEN NALOGE

V občini Trbovlje velja termoelektrarna za enega izmed treh največjih industrijskih obratov, ki s svojo proizvodnjo električne energije onesnažuje ozračje in spreminja podobo pokrajine z odlagališči elektrofilterskega pepela.

Največje odlagališče pepela, ki ga imenujemo deponija elektrofilterskega pepela Trbovlje, je še vedno v vsakodnevni uporabi, saj dnevno deponirajo nekaj 100 m<sup>3</sup> pepela (Vengust, 2002). Z nasipavanjem materiala so pričeli na južnem delu takratne doline, kjer so material nalagali v velike nasipe. Kasneje so praktična spoznanja pokazala, da je potrebno pepel ves čas tlačiti in vzporedno z odlaganjem tudi načrtno razporejati po dolini. Tako so z nasipavanjem pepela združili oba hriba in ustvarili umetno planoto. Ta se je ves čas širila proti severu, kjer danes poteka zaključna faza zasipavanja prapreške doline. Nasipni material, ki ga nalagajo v severnem delu, sproti močijo z vodo, katero črpajo iz reke Save. S tem preprečijo zapraševanje okolice z delci prahu, katere bi brez močenja veter raznašal po daljni okolici, kar se je dogajalo v preteklosti. Hkrati z močenjem nasipnega materiala poteka komprimiranje z buldožerji, (Petkovšek, 2006) s katerimi oblikujejo terase, na katere bo mogoče nasipavati zemljo. V spodnjem delu severnega dela brežine so že oblikovane terase, katere bodo širili vzporedno s povečanjem količine nasipnega materiala.

Zaradi deponiranega materiala se je najprej spremenila celotna krajinska podoba območja, kar je še posebej vidno iz naselja Prapretno, od koder je neposreden pogled na severno brežino. Novo nastalo degradirano območje pa je povzročilo pravo verigo sprememb mikroklima. Prvi znaki so se že pokazali pri vetru, ki je zaradi zasipanja doline spremenil smer. Predhodno je pihalo iz smeri Save proti deponiji, nato pa od deponije proti Savi. Hladen zrak se je zaradi tega pričel zadrževati tik pod Prapretnim v smeri proti deponiji, posledično je na tem območju več vlage in megle. Spremenil se je vodni režim predvsem zaradi južne in severne brežine, na katerih so močno vidne posledice vodne erozije (Lenarčič, 1998). Vsa voda se steka proti dolini, kar spreminja ekološke razmere za rastje pri vznožju brežin. Ta voda velja za onesnaženo, saj s seboj prinaša večje količine pepela, kar ima za posledico lahko mobilizacijo večjih količin elementov, ki se nahajajo v pepelu. Prav tako je severna brežina zaradi več kot 120 m višinske razlike med vrhom in dnom

doline, zasenčila ožji del pokrajine proti Prapretnem. Spremembe, ki so nastale na degradiranemu območju, lahko označimo kot vidne dejavnike, ki korenito spreminjajo ekosistem, ki se je izoblikoval na območju pred degradacijo.

Zato je termoelektrarna že pred nekaj leti uvedla ukrepe, s katerimi so skušali omiliti negativne dejavnike. Prvi ukrep, s katerim so preprečili raznašanje prašnih delcev in deponijo bolj približali naravni krajini, je bil nanos 30 – 40 cm debele plasti zemlje, katero so zatravili z mešanico različnih vrst trav. Južni del deponije, ki pada pod kotom  $45^{\circ}$  proti Savi so prav tako zaradi erozije prekrili s slamo, utrdili brežine z mrežami ter zasadili z velikim jesenom (*Fraxinus excelsior*). V letu 2006 so pričeli s saniranjem severne brežine. Za razliko od južne, so severno brežino pričeli oblikovati v terase, s tem pa preprečili večje erozijske procese, ki se pojavljajo na južni brežini. Prav tako so zgradili nasipe ob vznožju odlagališča, ter s tem omogočili kontroliranje odvajanja izcednih vod iz odlagališča. Izgradnja tesnilne plasti in hudourniških kanalet pa prepreči odvajanje onesnaženih vod. Skupek ukrepov bodo zaključili s postopno rekultivacijo brežin s protierozijsko mrežo, položeno v pasovih, ter z nanosom 20 – 30 cm debele plasti zemlje in zatravitev le-te.

Zaključna faza saniranja deponije bo tako zasaditev severne in južne brežine, sledi postopna zasaditev platoja z drevesnimi in grmovnimi vrstami. Drevesa in grmovja bo potrebno zasaditi v skupinah na način, ki bo preprečil erozijske procese in omogočil tako rast trav, kot tudi razvoj mezofilnih in drugih rastlin. Pomembna bo pravilna izbira drevesnih vrst, izbor rastlin bo temeljil na teoretičnih podatkih o posamezni vrsti. Ali je posamezna drevesna vrsta primerna za zasaditev na deponiji, kjer bodo vladali dejavniki deponije kot rastišča in klimatski dejavniki okolja (Kotar, 1996). Potrebno je upoštevati odpornost rastlin in zmožnost prilaganja na ekološke dejavnike. Pomembni dejavniki so pH vrednost tal, vsebnost težkih kovin v elektrofitrskem pepelu, voda in temperatura. Hkrati pa bo potrebno izbrati drevesne vrste, ki so estetsko in funkcionalno primerne, ter pri tem upoštevati okoljsko načrtovanje občine Trbovlje. Celotna pokrajina Zasavja je zelo razgibana, redka so območja, kjer lahko najdemo ravne površine. Prav zaradi tega bo deponija, ki bo v zaključni fazi obsegala 20 ha, zanimivo področje krajinskega urejanja. Leta 2005 so jo namreč povezali z asfaltno cesto in mestom Trbovlje. Tako je danes to območje pohodniška točka, saj je od mesta Trbovlje je deponija oddaljena 30 min hoje.

Glede na to, da je na območju že sedaj razvita rekreacijska dejavnost, je predlog ureditve območja predvsem v rekreacijske namene. Predvidena je ureditev jahalne steze kot nadaljevanje dejavnosti, ki je že razvita na območju deponije. Idejni projekti nam ponujajo celo vrsto dejavnosti, ki bi se še lahko razvile (izgradnja hipodroma kot nadaljevanje razvoja konjeniškega kluba, možnost ureditve golf igrišča, trim steze, v okolici ureditev forma vive). Zaradi bližine gozda bodo vse zasaditve prilagodili naravni krajini z namenom, da se deponija v najkrajšem času vizualno približa krajini. Vsekakor bo končna faza rekultivacije tudi najpomembnejša faza, saj bo ozelenitev preprečila erozijske procese in omogočila razvoj novega ekosistema. Tako je namen naše naloge podkrepjen z vrsto že načrtovanih projektov, ki bodo v prihodnosti realizirani. Izbira primernih drevesnih vrst bo pomemben del načrtov tudi v prihodnosti.



Slika 2: Južni del deponije, kjer so pred 30 leti ozelenili pobočje (foto: S. Taškar)



Slika 3: Severni del, kamor se še danes deponira elektrofilterski pepel (foto: S. Taškar)

### 3 CILJI RAZISKOVANJA IN DELOVNE HIPOTEZE

Temeljni cilji naloge so naslednji:

- s poskusno zasaditvijo dreves poiskati primerne drevesne vrste, katere bi uporabili pri ozelenitvi deponije
- odkriti drevesno vrsto, ki bo najhitreje priraščala in ozelenila degradirano površje
- s cikličnimi meritvami ugotoviti uspešnost priraščanja dreves v višino
- preučiti koreninski sistem izbranih drevesnih vrst
- ugotoviti in predstaviti ekološke dejavnike, ki imajo lahko velik vpliv na razvoj dreves

V nalogi želimo preveriti naslednje hipoteze:

- rastna sposobnost in letni višinski prirastek se med vrstami razlikujeta
- korenine so sposobne v relativno kratkem času prerasti zgornjo plast in se vrasti v plast elektrofilterskega pepela, pri tem pa obstajajo razlike med drevesnimi vrstami
- zasaditev lahko pomaga pri ponovni vzpostavitvi biodiverzitete na deponiji elektrofilterskega pepela
- med drevesnimi vrstami obstajajo značilne razlike v sposobnosti preživetja



## **4 MATERIAL IN METODE DE LA**

### **4.1 OBJEKT RAZISKAVE**

#### **4.1.1 Lega objekta**

Odlagališče Prapretno se nahaja severozahodno od elektrarne med hribom Retje in Prapretnim, na meji med občinama Hrastnik in Trbovlje (46°10'B, 15°00'B) na nadmorski višini 350 m. Od kompleksa elektrarne je oddaljeno 600 – 900 m. Deponija Prapretno leži v globoki grapi potoka Prapretniščnica v smeri SJ. Dolina se v spodnjem delu prebije skozi karbonatne kamenine do Save tik ob elektrarni. Njen severni zgornji del, izdelan v mehkejših terciarnih plasteh, se odpre v polkrožno povirje, ki je zaradi ugodnih tal in položnega terena že kultivirano. Srednji del doline, je dolžine 800 m, z naklonom 4 % proti jugu. Dno doline je bilo široko od 10 - 15 m. Pobočje na vzhodni in zahodni strani je bilo zelo strmo in poraslo z redkim drevjem, naklonski kot je presegal 35<sup>0</sup>. Zgornji del doline je razširjen in tvori široko kotlino pod vasjo Prapretno (Lenarčič, 1998).

Iz pepela nastali nasip je deponijo že v celoti prekril. Plato deponije je na višini 120 m, razteza se od S proti J v dolžini 500 m in širine 300 m. Nastali plato danes zajema 10 ha površin (Vengust, 2002)



Slika 4: Raziskovalni objekt deponija Prapretno (Vir: Atlas okolja)

- Meja deponije Prapretno
- Raziskovalna ploskev

Raziskovalno ploskev smo locirali na platoju deponije Prapretno v velikosti 42 x 29 m v smeri sever – jug, (slika 4). Nahaja se v neposredni bližini dovoza, ki razpolavlja celotno deponijo.

Pri postavitvi raziskovalne ploskve smo upoštevali naslednje dejavnike:

- ploskev smo locirali na sončno lego, tako da imajo vsa drevesa optimalno svetlobo
- vsa drevesa so bila posajena na enaki medsebojni oddaljenosti
- višina zemljine, plast nad pepelom mora biti enakomerno porazdeljena ( 30 – 40 cm)



Slika 5: Poskusna ploskev leta 2002 (foto: S. Taškar)

#### **4.1.2 Matična podlaga, tla in relief**

Matična podlaga deponije je sestavljena iz dolomitnega masiva zgodnje do srednje triasne starosti. Dolomit je plastovit in precej tektonsko porušen. Pobočja, ki omejujejo deponijo so prekrita le s skromno rušo, kar je tudi glavni razlog za slabo vegetacijo. Dno je prekrito z deluvialno plastjo dolomita in gruščja, ter zaglinjeno in prekrito s tanjšo plastjo humusa. Debelina deluvialne plasti je ocenjena na 3 – 5 m, vendar z naraščanjem strmine pobočji hitro pada, tako da je pri nagibu terena nad 30<sup>0</sup> dolomitna osnova neposredno na površini (Lenarčič, 1998).

Plast zemlje, ki so jo nanegli na elektrofilterski pepel oziroma na plato deponije, je debeline 30 – 40 cm. Zemljo so dobavljali iz različnih krajev. Pri strojnem nanosu so zemljo premešali, tla so po strukturi heterogena.

### **4.1.3 Elektrofilterski pepel**

#### **4.1.3.1 Mehanske lastnosti pepela**

EF pepeli imajo veliko adsorpcijsko sposobnost za vodo, zato so površine deponije Prapretno stabilne tudi v zelo strmih naklonih brežin, nastalih s samodejnim oblikovanjem nasipnega stožca. Dodatno varnost deponiji zagotavljajo visoke temperature pepela, v deponiji (tudi preko 80 °C), saj se vse infiltrirane površinske vode vežejo v strukturo odloženih mas. Zato se v deponiji ni mogla ustvariti zvezna gladina podzemne vode, prav tako ni bilo izcednih voda iz deponije. (Petkovšek, 2006).

Slovenski EF pepeli izkazujejo po vezanju velike trdnosti in majhne prepustnosti za vodo, če jih obravnavamo kot monolite. Ker pa se zaradi vezanja, sesedanja in drugih procesov krčijo, prihaja v deponijah pepela do ustvarjanja razpok, ki pomenijo prioritete poti za tok in infiltracijo površinske vode v notranjost deponije. V pepelih, ki vežejo, se voda porabi za vezanje, zato tam ni podzemne vode. V primeru, če pepeli ne bi imeli tako velike potrebe po vodi, bi se zaradi klimatskih značilnosti slovenskega ozemlja (Trbovlje ima v povprečju 1200 do 1300 mm padavin/ leto) v deponiji postopoma začela ustvarjati gladina podzemne vode, kar bi vplivalo na stabilnost deponije v statičnih razmerah in v primeru potresa, spremenili pa bi se tudi vplivi na okolje (Petkovšek, 2006).

#### **4.1.3.2 Vsebnosti prvin v elektrofilterskem pepelu, tleh in rastlinah**

Večino pepela, ki ostane pri gorenju v termoelektrarni, odlagamo kot odpadke. Ker vsebuje premog sledi vseh prvin v naravi, je eden od možnih vplivov na okolje zaradi delovanja termoelektrarn tudi mobilizacija težkih kovin. Poleg zraka in vode so ogrožena tudi tla. Delci pepela so majhni, zato jih veter odnaša z odlagališča in zaprašuje bližnji gozd, njive in travnike. V tleh se lahko povečajo vsebnosti mnogih slednih prvin, kar ima vpliv na rastlinstvo. Pepeli so splošno osiromašeni z makrohranili za rastline, vplivajo pa tudi na strukturo tal. Večje vsebnosti slednih prvin v pepelu lahko vplivajo na motnje v rasti rastlin ali pa se prvine kopičijo v rastlinah. Zato je pri preučevanju možnosti ozelenjevanja

odlagališč pepela potrebno preučiti in predstaviti vsebnost prvin v rastlinah, ki jih lahko uporabimo v prehrani ali v industriji (Kočevar in sod. 1991).

Tako je bila v okviru raziskovalne naloge ugotovljena vsebnost bioesencialnih in toksičnih prvin v pepelu, tleh in rastlinah na deponiji Prapretno. Kalcij (Ca), železo (Fe), kalij (K) in natrij (Na) so prvine, ki nastopajo v tleh v večjih količinah (tudi nekaj odstotkov). Vsebnosti Ca in Na so v naših vzorcih v normalnih razponih. Fe se lahko dodaja tlom brez nevarnosti toksičnosti, v naših vzorcih se njegova vsebnost giblje okoli normalnih (Kočevar in sod. 1991).

Arzen (As) je prvina, ki je toksična za rastline, živali in človeka. Vsebnosti As v vzorcih pepela so manjše kot največje vsebnosti v vzorcih tal.

Kobalt (Co), krom (Cr) in nikelj (Ni) so prvine, ki so potrebne za mikroorganizme, živali in človeka, v večjih količinah pa so za vsa živa bitja strupena. Izmerjene vsebnosti Co in Cr v vzorcih pepela, tal in rastlin so v mejah normale in pod kritičnimi vsebnostmi. Cr se v rastlinah kopiči predvsem v koreninah.

Molibden (Mo) je bistvena prvina tako za rastline kot za živali. Vsebnosti Mo v analiziranih vzorcih tal se gibljejo v razponu normalnih vsebnosti, v pepelu pa so vsebnosti nekoliko večje.

Selen (Se) je prvina, ki je potreben za življenje živali in človeka, vendar je meja med potrebno in strupeno količino izredno ozka. Meja zaznavnosti analitike za vzorce pepela, tal in rastlin v raziskavi je bila večja kot dejanske vsebnosti, vendar lahko vseeno ocenimo, da kritične vsebnosti pri nobenem vzorčnem materialu niso bile presežene.

Uran (U) in torij (Th) sta radioaktivni prvini, ki imata lahko večje vsebnosti v pepelu premogov. Analize vzorcev so pokazale, da je vsebnost Th v vseh vzorcih v mejah normalnih vrednosti, pri U pa so pri vzorcih pepela in tal vrednosti na zgornji meji ali celo malo večje.

Cink (Zn) je pomembna prvina za rastline in živali. Vsebnosti Zn v analiziranih vzorcih pepela in tal se ujemajo z normalnimi razponi vsebnosti v tleh, prav tako je tudi pri vzorcih rastlin.

Baker (Cu) in svinec (Pb) sta v večjih količinah strupena za vsa živa bitja. Vsebnosti obeh so bile izmerjene le v vzorcih pepela in tal. Razponi vsebnosti se ujemajo z normalnimi vsebnostmi v tleh in ne prekoračijo kritičnih.

Vsebnosti zlata (Au), antimona (Sb), volframa (W) in živega srebra (Hg) so v vseh vzorčenih materialih v normalnih razponih vsebnosti za posamezne prvine.

Vsebnosti barija (Ba), rubidij (Rb), skandija (Sc), lantana (La) in cerija (Ce) v vzorcih pepela in tal ležijo v razponu normalnih vsebnosti teh prvih za tla (Kočevar in sod. 1991)

#### **4.1.3.2.1 Rezultate opisane raziskave lahko strnemo v naslednje sklepe:**

V vzorcih pepela so glede na tla večje vsebnosti Ba, Rb, Sc, Th in U nižje pa Au, Pb.

V vzorcih tal so povečane vsebnosti U in Cr glede na razpone normalnih vsebnosti v tleh iz literature, vsebnost As pa preseže kritično vrednost za tla. Vzorci pepela vsebujejo glede na normalne razpone vsebnosti prvin v tleh več As, Mo in U.

Pri vzorcih rastlin pa smo ugotovili, da rastline z odlagališča vsebujejo večje vsebnosti As, Na, Mo, Rb, Fe, Sc in U, kar je zagotovo vpliv pepela. As, U, Fe in Sb so vseeno v vzorcih rastlin z odlagališča v mejah normalnih vsebnosti. Vsebnost K je v rastlinah z odlagališča zelo majhna, kar je verjetno posledica majhne vsebnosti K v pepelu. Prav tako smo ugotovili, da bi morali pri uporabi odlagališča v kmetijske namene torej posledično za prehrano ljudi in živali strogo nadzorovati vsebnosti različnih elementov, kar pa bi potegnilo za seboj precejšnje stroške, vsaj glede na površino deponije (Kočevar in sod., 1991).

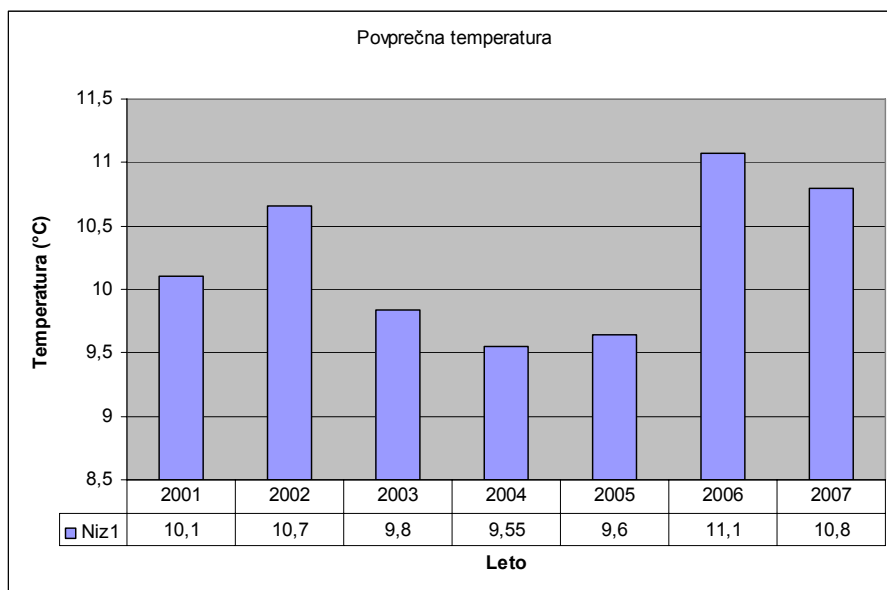
#### **4.1.4 Podnebne značilnosti**

Območje Prapretna spada v območje preddinarskega fitoklimatskega tipa. Padavine so skozi leto ugodno razporejene, saj jih večino pade v času vegetacijskega obdobja. Vegetacijsko obdobje se na južnih legah in nizko ob Savi prične sredi marca, z naraščanjem nadmorske višine pa se vegetacijsko obdobje krajša, tako da na višini 1200 m traja le od srede maja pa do konca septembra. Torej lahko rečemo, da vegetacijsko obdobje traja od 15. marca do 15. oktobra, kar pomeni 6 – 7 mesecev, kar pa je odvisno od zim, ki so bile v zadnjem času skromne, saj je sneg ležal po 1,5 do 2 meseca. Letna srednja temperatura znaša 11 stopinj Celzija. Slana se pojavlja ob vodah v dolini, kjer je sorazmerno malo gozdov. Ker je Zasavje oblikovano specifično kotlinasto, veter nima posebne vloge pri vremenu (Lenarčič, 1998).

##### **4.1.4.1 Vremenske postaje**

Termoelektrarna Trbovlje ima svoj ekološko informacijski sistem (EIS, TET). Postaje so razporejene na naslednjih lokacijah (Prapretno, Lakonca, Kovk, Dobovec, Kum, Ravenska vas). Dobljene podatke mesečno objavljajo v zborniku Imisijske in meteorološke meritve EIS TE Trbovlje. Meritve kakovosti zraka spremljajo z avtomatskimi merilniki, ti so nameščeni v kontejnerjih, opremljenimi s klimatsko napravo in ISDN linijo, preko katere poteka prenos podatkov. Na vseh avtomatskih postajah merijo osnovne meteorološke parametre (temperaturo, količino padavin, relativno vlago, smer in hitrost vetra) in glavna onesnažila zraka (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO).

#### 4.1.4.1.1 Srednja letna vrednost temperature

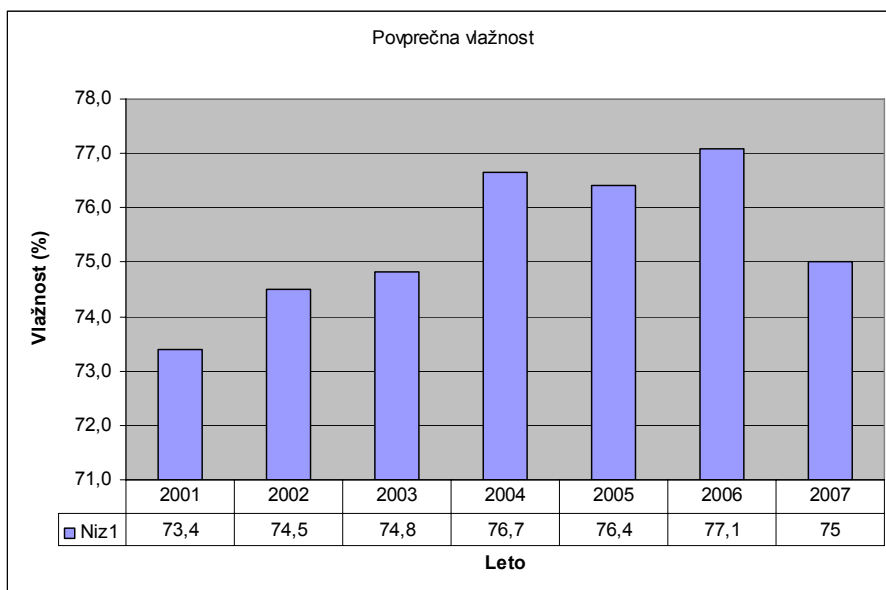


Slika 6: Pregled srednje letne vrednosti temperature zraka na območju deponije Prapretno

Pomemben dejavnik pri razvoju drevesa je temperatura ozračja. Temperatura se giblje od 9,6 do 11,2 °C , povprečna letna temperatura območja znaša 11 °C. Iz tega lahko sklepamo, da je bila temperatura ozračja v času raziskovanja primerna za normalen razvoj dreves.



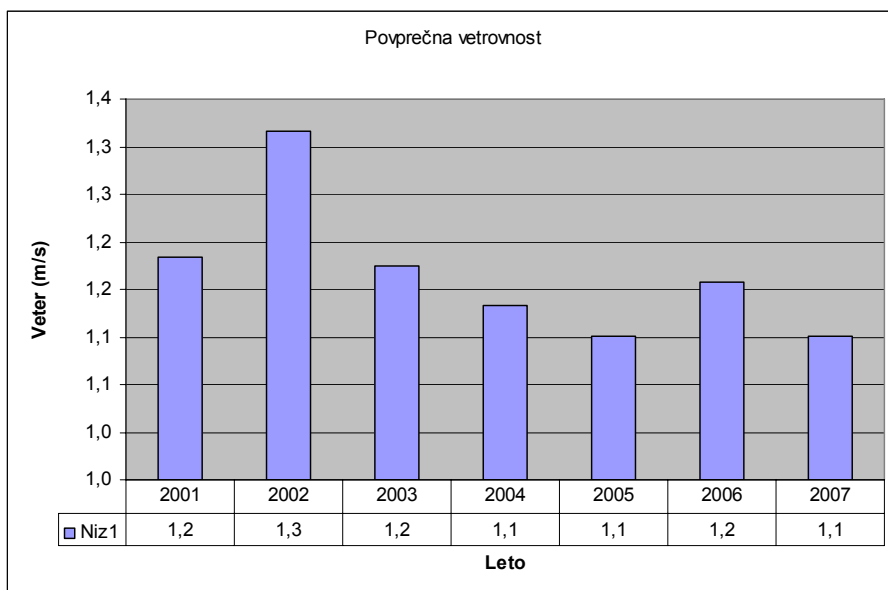
#### 4.1.4.1.2 Srednja letna vrednost relativne vlage



Slika 7: Srednja letna vrednost relativne vlažnosti na deponiji Prapretno

Vlažnost ozračja je dejavnik, ki je pozitivno deloval na rast in razvoj rastlin, saj se povprečna vlažnost ozračja giblje med 73% in 77%.

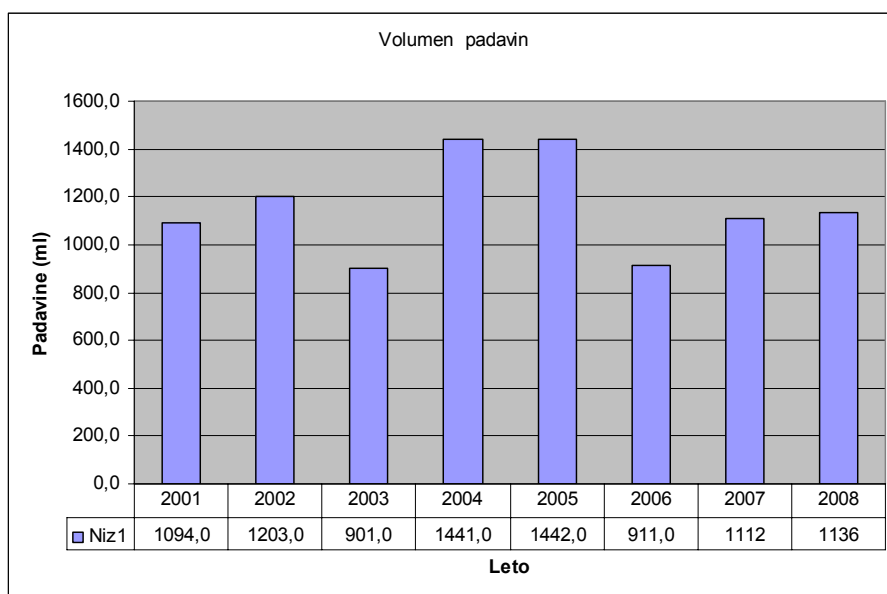
#### 4.1.4.1.3 Srednja letna hitrost vetra



Slika 8: Pregled srednje letne hitrosti vetra na območju deponije Prapretno

Povprečna hitrost vetra (slika 8) se giblje od 1,1 m/s do 1,3 m/s. Sklepamo lahko, da je veter dejavnik, ki pozitivno vpliva na rast in razvoj rastlin, saj je vetrovnost manjša od 4 m/s. Večja vetrovnost ima lahko negativne posledice na razvoj rastlin.

#### 4.1.4.1.4 Volumen padavin



Slika 9: Volumen padavin na deponiji Prapretno

Povprečna količina padavin je bila v letih 2001 – 2008 v normalnih razponih. Povprečje padavin celotnega območja se giblje med 1200 – 1300 mm.

#### 4.1.5 Gozd v bližini deponije

Na širšem področju prevladujejo bukove združbe. Razširjeni gozdni združbi sta predvsem bukov gozd s tevjem (*Hacquetio – Fagetum* Košir 1968) in bukov gozd s kresničevjem (*Arunco – Fagetum* Košir 1971). Za obe združbi je značilno, da se razvijata na strmih pobočjih, kjer so razmere za rast največkrat zelo neugodne. Omeniti velja še gozdno združbo gradna in belega gabra (*Quercu – Carpinetum* Ht. 1938), ki je razširjena predvsem na pobočjih od obravnavanega območja v smeri proti Hrastniku (Novak in sod., 1998)

#### 4.1.6 Prisotnost živali na deponiji

Deponija pepela iz vseh strani meji na gozdni rob. Zato je prisotnost velike divjadi na deponiji reden pojav, saj jo privablja travna površina. Od velike divjadi velja omeniti muflone in srnjad.

Glodavci (miši, voluharice, rovke) so vseskozi prisotne na deponiji, saj jim travnata površina in razmere, ki vladajo na deponiji omogočajo preživetje.

Od žuželk pa je potrebno omeniti ogrce – ličinke majskega hrošča (*Melolontha melolontha*), najdemo jih v velikem številu.

#### 4.1.7 Zasaditev poskusne ploskve

Za zasaditev raziskovalne ploskve smo izbrali devet drevesnih vrst, od tega je osem vrst avtohtonih; **veliki jesen - *Fraxinus excelsior* L., trepetlika - *Populus tremula* L., črna jelša - *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn, rdeči bor - *Pinus sylvestris* L., navadni črni gaber - *Ostrya carpinifolia* Scop., gorski javor - *Acer pseudoplatanus* L., jerebika - *Sorbus aucuparia* L., navadna breza - *Betula pendula* Roth.** in tujerodna vrsta **dvokrpi ginko - *Ginkgo biloba* L.** Izbor rastlin je temeljil na splošnih podatkih o rastlinah. Pri tem nismo želeli izbrati samo rastlin, ki imajo široko amplitudo prilagojenosti na rastišča in razmere, ki vladajo, temveč smo želeli preveriti tudi vrste, ki so glede tal bolj zahtevne, kot je npr. gorski javor. Izbor rastlin je bil omejen na devet vrst, saj smo imeli omejeno območje zasaditve, zaradi še delujoče deponije pepela. Vse sadike dreves so bile višine 30 cm z dobro razvitim koreninskim sistemom. Rastline smo kupili v gozdni drevesnici Semesadike Mengeš spomladi 2001, še isti dan smo zasadili raziskovalno ploskev.

Pozornost je veljala predvsem pri pravilni zasaditvi. Najprej smo odstranili travnato plast, naredili v zemljo primerno veliko luknjo, koreninski sistem smo tako enakomerno razporedili v sadilno jamo. Sadilno luknjo smo zasuli z izkopano zemljo, posajeno rastlino pa privezali k leseni opori. Korenine se niso dotikale plasti pepela. Sadike so bile med seboj oddaljene 2 m, razdalja med sektorji z različnimi drevesnimi vrstami pa je znašala 4

m. V začetku je namreč povečana možnost medsebojnega zasenčevanja. Prvi dve leti smo ploskev obdali z žičnato ograjo, da bi preprečili dostop velike divjadi še posebej v zimskih mesecih in s tem omogočili pridobitev realnih podatkov o rasti v višino. Vendar so nam zaščito po dveh letih odtujili.

## **4.2 MERITVE NA POSKUSNI PLOSKVI**

### **4.2.1 Drevesna višina**

Razvoj drevesnih višin po posameznih drevesnih vrstah smo merili enkrat letno v mesecu novembru. Merjenja so potekala od leta 2001 do leta 2008. Merili smo z merilnim trakom do višine 200 cm. Nato smo uporabljali daljšo palico, označeno z mersko skalo na 5 cm natančno, meritve smo opravljali za vsako posamezno drevo. Po končanem terenskem delu smo izmerjene višine vnesli v računalnik in jih s programom MS – Excel uredili v preglednicah. Iz preglednic smo izračunali povprečne višine, po posamezni drevesnih vrstah, ki so predstavljene v rezultatih.

### **4.2.2 Povprečni premer debla**

Merjenje premerov debla posameznih dreves smo opravili v letu 2008, da prikažemo doseženo povprečno debelino za posamezno drevesno vrsto. Merjenja smo opravljali s kljunastim merilom na 1 cm natančno. Vse izmere smo prikazali v poglavju rezultati.

### **4.2.3 Koreninski sistem**

Pri raziskovalnih nalogah na terenu, lahko naletimo na opažanja, ki jih je težko kvantitativno opredeliti. Tako smo razrast koreninskega sistema po drevesnih vrstah ocenili vizualno. Da bi ugotovili razrast korenin po posamezni drevesni vrsti, smo v vsakem polju izbrali po štiri primerke vrst, ki so se do leta 2008 uspešno prilagodile danemu rastišču, ter z ročnim odkopom dela koreninskega sistema preverili, ali je naša hipoteza o koreninah pravilna. Pri odkopu smo na globini 30 cm do 40 cm jasno videli mejo med zgornjo plastjo zemlje in elektrofilterskim pepelom, ki je različna že po barvi,

vlačnosti in strukturi. Prav zaradi tega je bilo enostavno preučiti razrast koreninskega sistema v plast elektrofilterskega pepela po posamezni drevesni vrsti.



Slika 10: Rast koreninskega sistema (foto: S. Taškar)

## 5 DREVESNE VRSTE

### 5.1 IZBIRA DREVESNIH VRST

Izbira dreves je temeljila tako na pregledu avtohtone flore v okolici, na katerih bo temeljil nadaljnji razvoj deponije. Tako smo izbrali drevesa, ki naj bi bila dovolj odporna na hitro spreminjajoče se dejavnike. Prav tako smo bili pozorni na to, da so to drevesne vrste, ki imajo široko amplitudo prilagoditve na rastišča, dobro prenašajo sončno lego oz., katere vrste lahko vključimo v pokrajino ali pa z njimi zasadimo primestni park, saj točna funkcionalnost zemljišča še ni znana. Vrsto ginko smo vključili v nalogo zaradi želje s strani termoelektrarne, natančneje lastnika zemljišča.

### 5.2 OPIS DREVESNIH VRST

#### 5.2.1 *Betula pendula* Roth. – navadna breza

Navadna breza je skromna drevesna vrsta z majhnimi rastiščnimi potrebami, saj prenaša vse vrste tal na različnih matičnih podlagah. Raste tudi na zelo revnih rastiščih, saj jo mnogokrat opazimo kot pionirsko vrsto v zapuščenih kamnolomih, deponijah, kjer pripravi ugodne razmere za rast drugim drevesnim vrstam. Koreninski sistem je pri brezi srčasto oblikovan. Večji del koreninskega sistema je v spodnjih plasteh in ne površinsko, kot so v preteklosti zmotno predvidevali. Tako je delež vertikalnih korenin mladega drevesa ocenjen na 40 – 50 %, pri visoki starosti pa je ta delež 20 – 30 % (Kutschera in Lichtenegger, 2002). Pri starejših drevesih se številčno pojavijo v spodnjih plasteh navpično in poševno raščene srčne korenine. Predvsem je zanimivo da se pri starejših primerkih pričnejo korenine pri določeni globini obračati nazaj. (Kutschera in Lichtenegger, 2002) Seveda je oblika in razrast zelo odvisen od vrste tal, zato je pomembno poudariti, da je pri težkih tleh, kjer so tla manj zračna koreninski sistem veliko bolj plitev, kot pri globokih rjavih tleh. V nalogo smo jo vključili predvsem zaradi zgoraj naštetih lastnosti, hitre rasti v mladosti in estetske vrednosti.

### 5.2.2 *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. – črna jelša

Črna jelša je drevesna vrsta, katera ima široko amplitudo prilagodljivosti na rastišča. Raste tako na poplavnih, kot tudi na suhih rastiščih. Njena prednost je močan koreninski sistem, ki ga oblikuje že v mladosti. Korenine se že na začetku razraščajo predvsem vertikalno. Horizontalno so glavne korenine razvite zelo slabo. Prav tako je težko določiti glavno korenino, saj se že pri mladem drevesu oblikuje stranski koreninski sistem. Rast stranskih korenin je tako močan, da lahko že pri 20 – 30 letih doseže globino 120 do 150 cm. Vendar rast korenin ne pojenja, saj so pri drevesih v starosti 60 – 70 let našli korenine tudi do 220 cm globoko. Največjo globino korenin so do sedaj izmerili pri drevesu, starem 75 let, tj. 380 cm (Kutschera in Lichtenegger, 2002). Potrebno je poudariti, da je razrast korenin predvsem odvisen od rastišča, oziroma od vrste tal, v katera se korenine vraščajo. Zelo primerna je za utrjevanje brežin, saj z gostimi koreninami učinkovito preprečuje erozijo, dragocena je povsod tam, kjer je problematična zadostna preskrba tal z dušikom. Na koreninah ima namreč gomoljčke bakterij *Actinomyces alni*, ki vežejo dušik iz zraka in tako bogatijo tla. Vse zgoraj naštet lastnosti so pripomogle k temu, da smo jo vključili v naš raziskovalni projekt. Predvsem sta nas zanimali dve stvari; ali bo koreninski sistem prav tako rasel predvsem vertikalno, čeprav je zemlje le 40 cm ter prilagoditev na kopico abiotičnih in biotičnih stresnih dejavnikov, ki bi lahko preprečili optimalno rast te drevesne vrste.

### 5.2.3 *Ostrya carpinifolia* Scop – navadni črni gaber

Črni gaber je drevesna vrsta, ki uspeva na rastiščih, kjer se ostale drevesne vrste niso uspele uveljaviti. Ker je njegova največja prednost, da prenaša daljša obdobja brez vode, smo ga na poskusno ploskev uvrstili ravno z namenom, če bi ostalim drevesnim vrstam primanjkovalo vode. Zaradi neobičajne rasti črnega gabra, je zelo težko prepoznati glavno korenino. Koreninski sistem oblikuje površinsko z množico drobnih korenin, nekje do globine 80 cm (Kutschera in Lichtenegger, 2002).



#### **5.2.4 *Sorbus aucuparia* L. – jerebika**

Jerebika je splošno razširjena drevesna vrsta, ki je glede tal nezahtevna. Enako dobro raste na apnencih in silikatih, najraje ima sveža in s hrano bogata rastišča (Brus, 2004). Dobro prenaša nizke temperature in sneg, saj jo lahko najdemo tudi na gozdni meji. Večje so njene potrebe po svetlobi, saj je polsvetloljubna drevesna vrsta. Je ena naših najbolj izrazitih pionirskih drevesnih vrst, na zanjo primernih rastiščih množično poseli gole površine. V mladosti raste hitro. Posebej so pri jerebiki zeleni njeni plodovi, saj so bogat dodatek pri prehrani gozdnih živali in ptic (Kotar in Brus, 1999). Koreninski sistem pri jerebiki je dobro razvit, a se plitvo razrašča.

#### **5.2.5 *Acer pseudoplatanus* L. – gorski javor**

Gorski javor najraje raste na globokih, humoznih tleh z apnenčasto matično podlago (Brus, 2004). Pogosto ga najdemo v vrtačah, kjer se tvori vlažna mikroklima. Mlada rastlina dobro prenaša senco, vendar velja za drevesno vrsto, ki optimalno uspeva v polsenci. V mladosti raste zelo hitro in ga pogosto najdemo kot pionirsko rastlino (Kotar in Brus, 1999).

Mlada rastlina razvije močno glavno korenino, katere rast se kmalu ustavi in razvijejo se močne razvejane stranske korenine (Kutschera in Lichtenegger, 2002).

Čeprav velja za drevesno vrsto, ki raste na specifičnih rastiščih smo jo vseeno uvrstili med poskusno vrsto, saj nas je zanimalo, kako se bo ta vrsta obnašala na rastišču, ki ni primeren za to drevesno vrsto. Pomembna lastnost gorskega javorja je tudi zmožnost izboljšanja tal s svojim hitro razpadajočim listjem. Prav tako pa je ta vrsta priljubljena pri ljudeh zaradi estetke vloge v gozdu.

### 5.2.6 *Ginkgo biloba* L. – dvokrpi ginko

Ginko je izredno odporna drevesna vrsta tako na bolezni kot na različne škodljivce. Odporen je proti onesnaženemu zraku, kislemu dežju, izpušnim plinom. Obenem ga ne motijo niti nizke temperature (do  $-30^{\circ}\text{C}$ ) niti močan veter. Pogosto ga sadijo v mestih, tako zaradi njegove estetske parkovne vrednosti kot tudi zaradi odpornosti na različne negativne dejavnike. Koreninski sistem ima že pri osmih letih starosti izredno močno razvejan, na začetku se oblikuje glavna korenina, v naslednjih letih pa se močno razrastejo stranke korenine, zato ga lahko marsikje najdemo tudi na rastiščih, kjer tla niso globoka in rodovitna. Izredno hitro se prilagodi danim razmeram in preplete koreninski sistem, tudi v tla, ki imajo večjo količino kamenin. Čeprav je ginko tujerodna drevesna vrsta, smo ga v nalogo vključili prav zaradi odpornosti na vse biotske in abiotske dejavnike. Ker pa je bilo potrebno pri zasaditvi upoštevati tudi estetsko vrednost, je bila ta vrsta več kot primerna za nalogo.

### 5.2.7 *Pinus sylvestris* L. – rdeči bor

Rdeči bor je prilagodljiva drevesna vrsta, ki je svojo ekološko nišo našel na rastiščih, ki so s hranili najrevnejša. Svoj ekološki optimum dosega na vlažnih in kislih, na suhih in kislih ter na suhih in bazičnih tleh. Raste na vseh vrstah matičnih kamenin, najraje na apnencu, dolomitu ali serpentinu (Kotar in Brus, 1999). Mraz ga ne prizadene hitro, vendar za rast potrebuje precej toplote, prav tako je izrazito svetloljubna drevesna vrsta. Prenaša sušo in pogosto ga najdemo kot pionirsko rastlino v opuščenih kamnolomih. Izogiba se močvirnih tal in senčnih rastišč. Občutljiv je na dim in prah.

Na globokih tleh razvije močno glavno korenino in močne stranske korenine, s katerimi se trdno zakorenini. In pogosto se zgodi, da ga veter prej odlomi, kot pa izruje. V peščenih tleh razvije dolg in plitev koreninski sistem (Kutschera in Lichtenegger, 2002).

Uporabnost rdečega bora na degradiranih površinah je več kot primerna, saj ima široko amplitudo prilagodljivosti. Vse te lastnosti so nas prepričale, da smo ga uporabili v zasaditvi.

### 5.2.8 *Populus tremula* L. – trepetlika

Trepetlika je drevesna vrsta, ki je primerna za zasaditev tako v nižinah kot na višjih legah. Je odporna drevesna vrsta, ki tolerira mrzle zime in kratka poletja. Njene potrebe po toploti so skromne in zelo dobro prenaša mraz. Uspeva na različnih vrstah tal od peščenih do težkih ilovnatih. Prenaša tudi občasne krajše poplave (Kotar in Brus, 1999).

Koreninski sistem trepetlik je izredno razvejan in plitev. Najprej tvori korenine, ki so usmerjene v globino, pozneje pa samo v širino (Kutschera in Lichtenegger, 2002). Starejša drevesa imajo korenine, ki segajo več kot 20 m stran od debla. Pomembna lastnost trepetlik so koreninski izrastki, kateri so še posebej pogosti, če matično drevo posekamo. V tem primeru lahko koreninski izrastki pokrijejo površino do 1000 m<sup>2</sup> (Kotar in Brus, 1999)

Koreninski poganjki, hitra rast in prilagodljivost na različne vrste tal so lastnosti, ki so bile odločilne pri izbiri te vrste. Velja za pionirja na razgozdenih in opuščenih kmetijskih površinah.

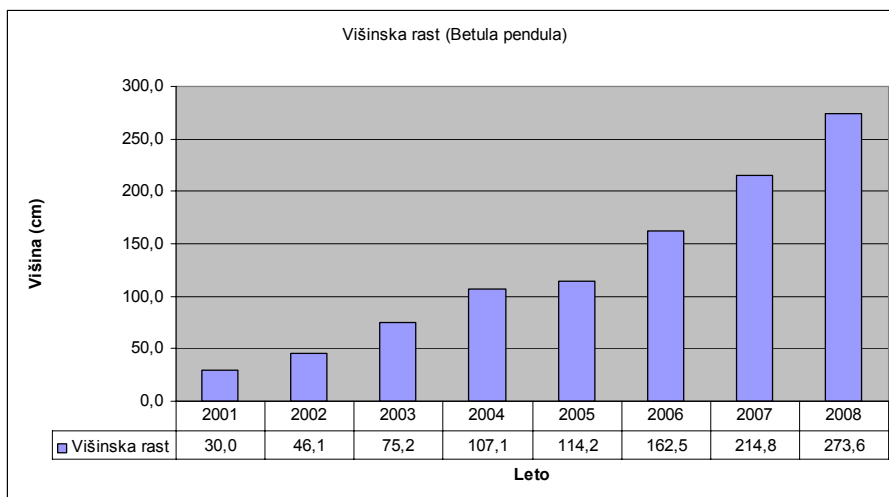
### 5.2.9 *Fraxinus excelsior* L. – veliki jesen

Veliki jesen je drevesna vrsta, ki razmeroma hitro doseže svojo končno višino. Čeprav velja za drevesno vrsto, kateri bolj ustrezajo vlažna tla, enako dobro uspeva tudi na apnenčasti podlagi (Kotar in Brus, 1999). Jesen oblikuje široko razširjen koreninski sistem, z razmeroma globokimi in močno razvejani koreninami. Razrast korenin je predvsem odvisna od vrste tal, zato so korenine jesena v močvirnatih tleh površinsko razraščene. Globlji koreninski sistem naredi v peščenih tleh. V literaturi navajajo še izmere doseženih globin in deleže korenin. Ocenjujejo, da ima jesen pri starosti 90 let in pri debelini debla 40 cm, delež vertikalnih korenin 40 %. Prav tako so izmerili globine korenin na svežih tleh do 150 cm, na kamniti podlagi 110 cm in na peščenih tleh 200 cm (Kutschera in Lichtenegger, 2002). Potrebno je poudariti, da vsi avtorji navajajo veliko stransko razvejanost korenin, zato velja za drevesno vrsto, ki ima največji obseg razvejanosti izmed vseh avtohtonih drevesnih vrst.

## 6 REZULTATI

### 6.1 ANALIZA POVPREČNE VIŠINSKE RASTI PO DREVESNIH VRSTAH

#### 6.1.1 Povprečna višinska rast navadne breze

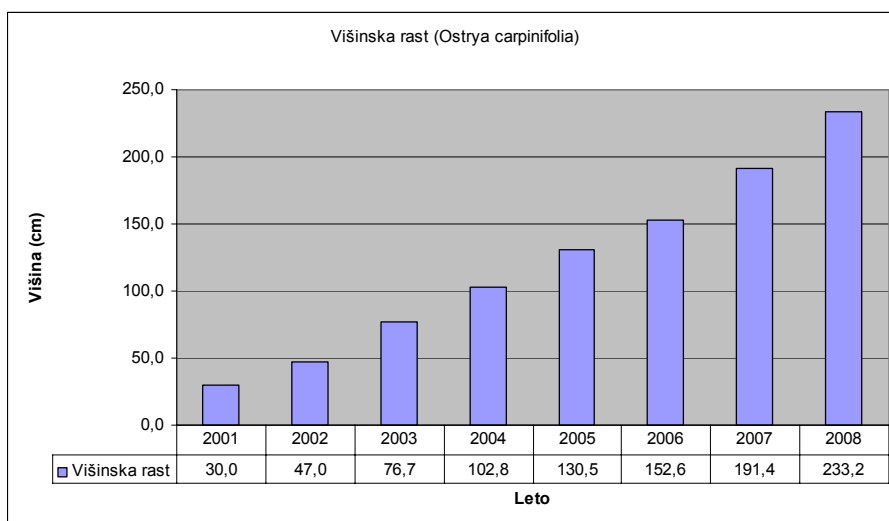


Slika 11: Povprečna višina navadne breze (*Betula pendula*) na deponiji Prapretno

Breza kot pionirska rastlina se je uspešno prilagodila danim razmeram, ki vladajo na območju deponije Prapretno. V prvem letu po sajenju je propadlo pet rastlin. Po pregledu propadlih rastlin nismo našli mehanskih poškodb, zaradi katerih bi se rastline posušile. Do leta 2007 so propadli še štirje osebki, dve rastlini sta imeli slabo razvit koreninski sistem. Razlog lahko iščemo v velikem številu ogrcev, ki se nahajajo v zemlji. Pri ostalih dveh ni bilo vidnih poškodb. Kot je razvidno iz grafa, je višinska rast breze potekala zelo dobro, le v letu 2005 je bilo priraščanje v višino manjše od prejšnjih let. V letu 2006 je pokazala odlično prilagoditev, saj se je višinska rast v naslednjih letih zopet popravila.

Ostala drevesa imajo lepo oblikovano ozko stožčasto krošnjo. Letni prirastki pri nekaterih rastlinah so presegli en meter. Največja drevesa so že presegla 4 m.

### 6.1.2 Povprečna višinska rast navadnega črnega gabra

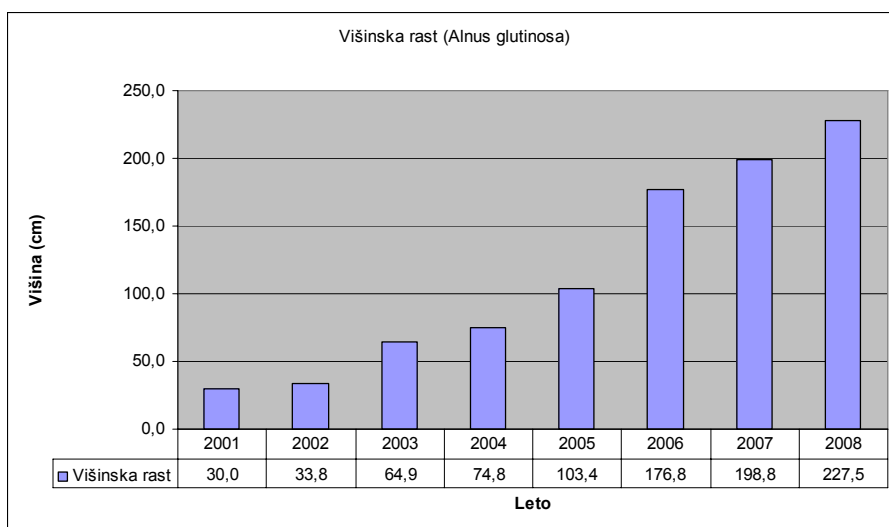


Slika 12: Povprečna višina navadnega črnega gabra (*Ostrya carpinifolia*) na deponiji Prapretno

Tudi črni gaber spada med pionirske drevesne vrste. Na deponiji je pokazal odlične rezultate, saj so drevesa že v prvem letu močno napredovala v višinski rasti. Propad rastlin je bil največji v drugem letu po zasaditvi. Tako kot pri brezi, smo tudi pri črnemu gabru opazili poškodovan koreninski sistem, razloge lahko zopet iščemo v velikem številu ogrcev in pojavu večjega števila voluharic. Skupaj je propadlo 8 rastlin, od tega 5 rastlin zaradi poškodb koreninskega sistema, ostale rastline pa so propadle v kasnejših letih, vendar razloga za propad 3 osebkov nismo odkrili.

Habitus rastlin se je oblikoval v grmovnato obliko. Le nekateri primerki imajo močno izrazit glavni poganjek. V vegetacijski dobi je prišlo tudi do sušenja nekaterih poganjkov, vendar vzrokov nismo našli. Te rastline so se kljub propadu enim ali več vej ponovno obrasle. Ostala drevesa so po rasti zdrava z močnim deblom, nekatera drevesa so presegla višino 3 m.

### 6.1.3 Povprečna višinska rast črne jelše

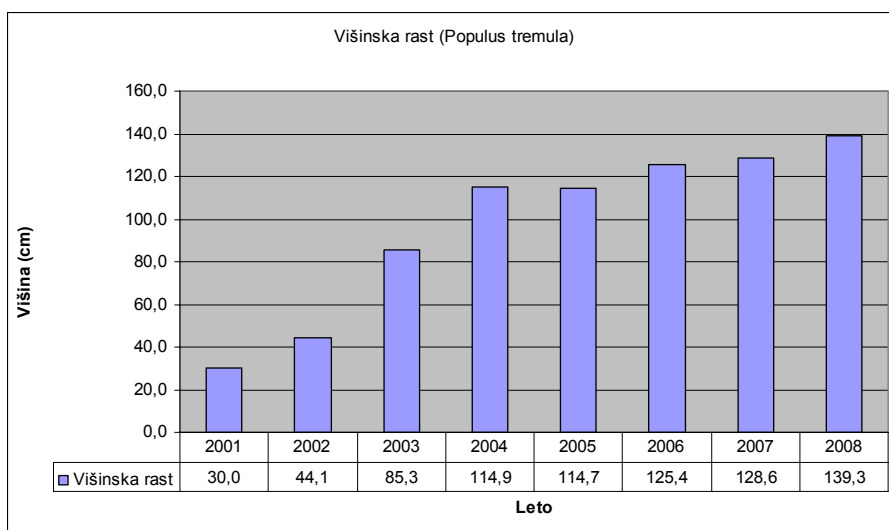


Slika 12: Povprečna višina črne jelše (*Alnus glutinosa*) na deponiji Prapretno

V prvih letih po sajenju se je pojavil velik propad rastlin. Razloge iščemo v bioloških dejavnikih. Mehanske poškodbe so se pojavile zaradi velikega števila glodavcev. Rastline, ki so preživele, so se odlično prilagodile na abiotske in biotske dejavnike ter pokazale močno rast. Od 27 rastlin, kolikor smo jih posadili, jih je do leta 2007 preživel le 12.

Drevesa, ki so preživela, so lepo oblikovana z značilnim habitusom. Krasi jih močno deblo in velik višinski prirastek, nekatera so tako že presegla mejo 4 m.

#### 6.1.4 Povprečna višinska rast trepetlike

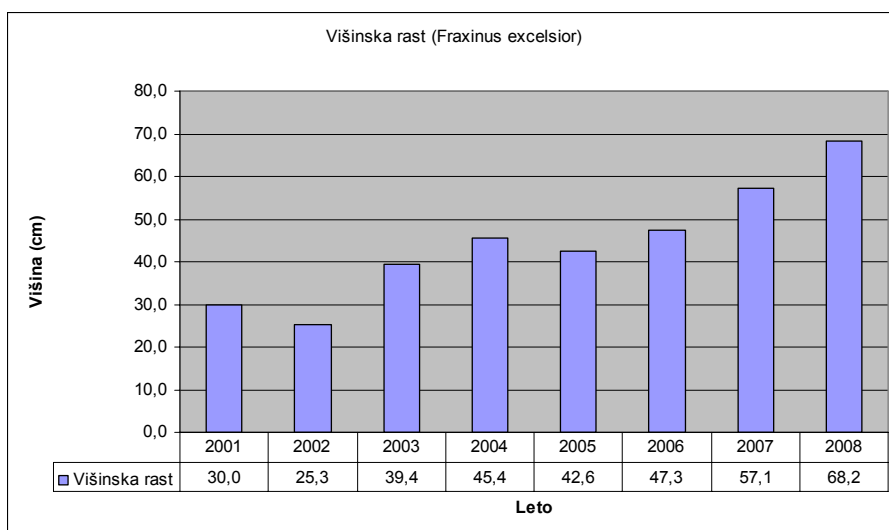


Slika 13: Povprečna višina trepetlike (*Populus tremula*) na deponiji Prapretno

Trepetlika je glede na grafikon uspešno napredovala v rasti v višino. Največji problem, ki se je pojavil, je bilo objedanje oz. mehanske poškodbe. Sprva glodavcev, v naslednjih letih velika divjad. Rastline so hitro napredovale v rasti, čeprav se je v prvem letu posušilo 7 rastlin. 6 dreves je bilo poškodovanih mehanično, 1 drevo se je posušilo. Točen razlog ni znan. V naslednjih letih se je posušilo še devet dreves. Ta drevesa so bila poškodovana zaradi objedanja divjadi, ki se je pojavila na ploskvi po letu 2003, ko so na poskusni ploskvi odstranili ograjo.

Zaradi obilice svetlobe so ostala drevesa močne rasti, lepo razvejana in z močnim deblom.

### 6.1.5 Povprečna višinska rast velikega jesena



Slika 14: Povprečna višina velikega jesena (*Fraxinus excelsior*) na deponiji Prapretno

Rast velikega jesena (slika 14) lepo prikaže, kako se drevesna vrsta ni prilagodila na dane razmere ter prikazala slabo višinsko rast.

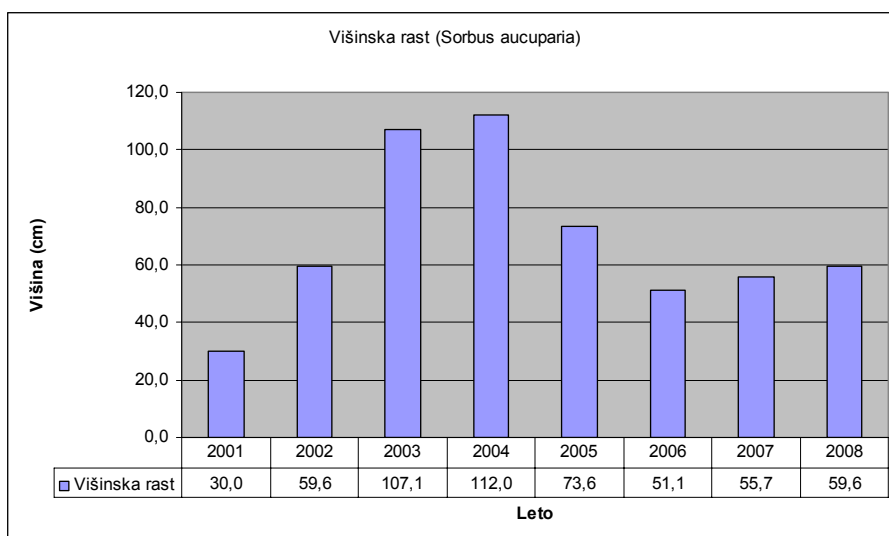
Veliki jesen je že v prvih letih slabo napredoval v rasti. Veliko število rastlin je bilo močno poškodovanih zaradi objedanja koreninskega sistema in debla. Glavni razlog smo našli zopet zaradi velikega števila glodavcev v zemlji. Pri izkopu posušenih rastlin smo našli tudi veliko število (več kot 20 ogrcev m<sup>2</sup>) ogrcev. Rastline, ki so preživele so bile v letih poškodovane zaradi velike divjadi. Predvsem je bila poškodovana skorja, te rastline so postopoma propadale. Objedanje je bilo prisotno predvsem v času vegetacije.

Na drevesih, ki so ostala, so dobro vidne mehanske poškodbe objedanja, ki se bo glede na stanje dreves nadaljevalo v naslednjih letih.

Ocenimo lahko, da drevesna vrsta ni primerna za dano rastišče, saj se prepočasi prilagaja na razmere.



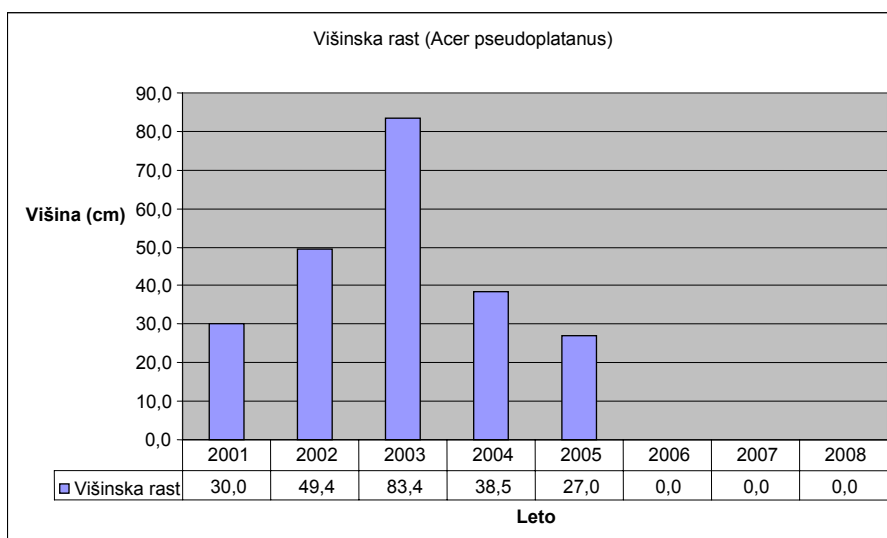
### 6.1.6 Povprečna višinska rast jerebike



Slika 15: Povprečna višina jerebike (*Sorbus aucuparia*) na deponiji Prapretno

Jerebika je v prvih letih pokazala pozitivne rezultate, drevesa so normalno priraščala v višino. Do leta 2004 je vse kazalo, da bo jerebika ena izmed rastlin, katero bomo lahko uporabili v nadaljnji zasaditvi, a se je pozneje pokazalo, da temu ne bo tako. Že leta 2005 večino dreves spomladi ni pognalo, nekateri primerki pa so se posušili v vegetacijski dobi, tako je do leta 2007 ostalo samo še sedem dreves. Ta drevesa kažejo očitne znake propadanja. Rastline so slabega zdravstvenega stanja, višinska rast zaostaja, celotni habitus rastlin je skromen. Tudi pri jerebiki razloga za propad rastlin nismo našli.

### 6.1.7 Povprečna višinska rast gorskega javorja

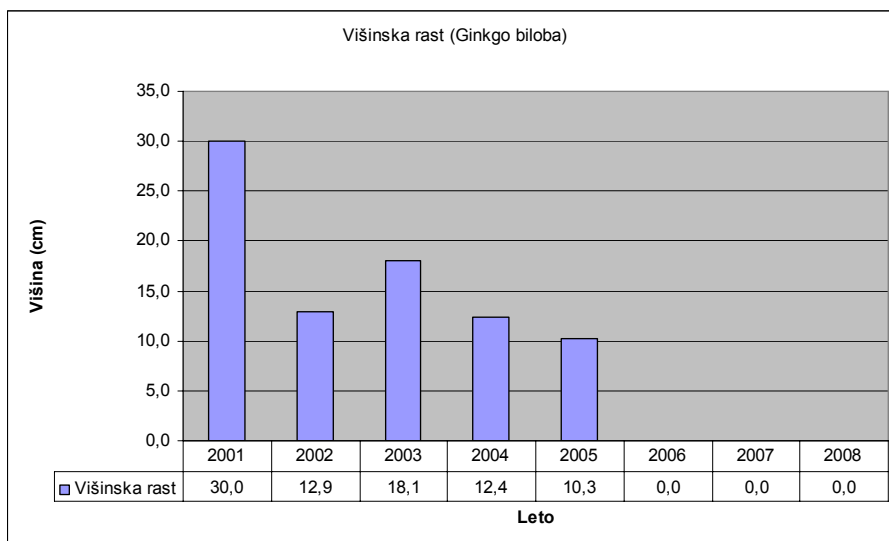


Slika 16: Povprečna višina javorja (*Acer pseudoplatanus*) na deponiji Prapretno

Gorski javor je prav tako kot jerebika pokazal v prvih dveh letih normalno rast, glede na ostale drevesne vrste. Le ena rastlina je v prvem letu po sajenju propadla. Po letu 2003 oziroma spomladi 2004 pa se je pokazalo, da gorski javor ni primerna drevesna vrsta za deponijo. Večino dreves spomladi 2004 ni odgnalo. Nekaj dreves, ki so se še borila za preživetje, so v vegetacijski dobi poškodovali mufloni oziroma velika divjad. Tako so se do leta 2006 posušila vsa drevesa gorskega javorja. Razloga za tako nagel propad nismo našli, saj pri večini dreves nismo opazili poškodb.

Koreninski sistem je bil pri posušenih drevesih glede na višino rastlin, normalno razvit. Pri nekaterih drevesih je bilo opaziti poškodbe koreninskega sistema. Vendar te poškodbe niso bile tako izrazite, da bi prišlo do tako velikega propada rastlin. Sklepamo lahko, da drevesu ni odgovarjalo rastišče, saj je znano da gorski javor raste predvsem na rastiščih bogatih s humusom in vlago.

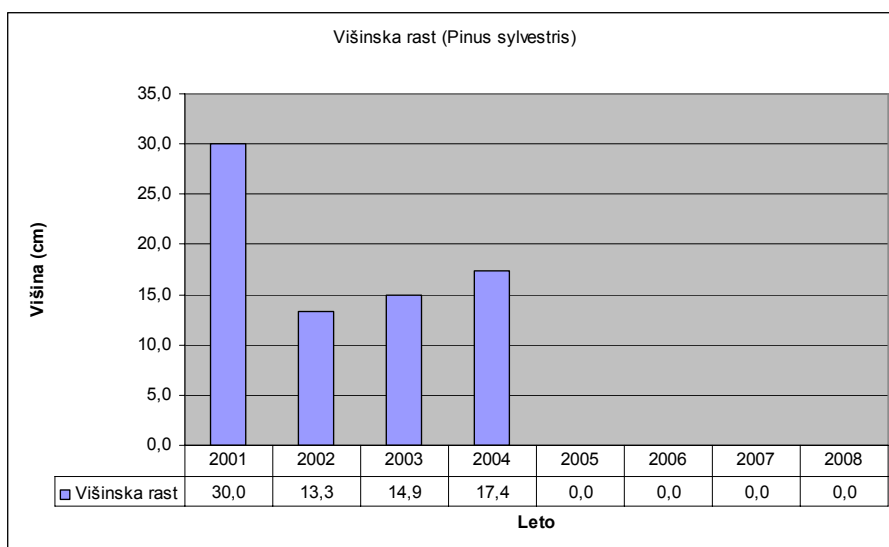
### 6.1.8 Povprečna višinska rast ginka



Slika 17: Povprečna višina ginka (*Ginkgo biloba*) na deponiji Prapretno

Ginko velja za izredno odporno drevesno vrsto. Vendar je na poskusni ploskvi pokazal zelo slabe rezultate, saj se je že v prvih letih pokazalo, da vrsta ni primerna za to rastišče. Večji del dreves je propadlo že v prvem letu. V spomladanskih mesecih so rastline še normalno ozelenele. Vendar terminalni poganjek pri večini dreves ni pričel rasti v višino. V vegetacijskem obdobju so listi postali rumeni in se posušili na drevesu, kar je značilno za rastline, ki imajo probleme s koreninskim sistemom. Po izkopu smo našli večje število ogrcev in rovov glodavcev. Koreninski sistem je sicer pri večini rastlin kazal znake poškodb, vendar ne pri vseh. Sklepamo lahko, da so na to drevesno vrsto vplivali tudi drugi dejavniki (rastišče, okolje). Do leta 2006 je propadlo vseh 27 rastlin. Tako sklepamo, da drevesna vrsta ni primerna za nadaljnjo uporabo.

### 6.1.9 Povprečna višinska rast rdečega bora



Slika 18: Povprečna višina rdečega bora (*Pinus sylvestris*) na deponiji Prapretno

Rdeči bor kot zadnji predstavnik poskusne ploskve velja za drevesno vrsto, ki ima široko amplitudo prilagodljivosti na različna rastišča. Vendar se je pokazalo, da tudi rdeči bor ni primeren za zasaditev deponije. Že v prvih letih je večino primerkov propadlo. Drevesa, ki so preživela, so v naslednjih letih pokazala slabo rast. Prav zaradi tega so se do leta 2005 posušili še zadnji primerki rdečega bora, v kasnejših letih ga je ovirala visoka trava in predvsem mehanske poškodbe glodavcev in velike divjadi. Rastline, ki so se posušile v prvih letih, so imele poškodovan koreninski sistem, čemur lahko pripišemo že omenjene podzemne škodljivce. Ocena koreninskega sistema glede prilagodljivosti na bazično podlago pepela ni mogoča.

## **6.2 Rast koreninskega sistema po drevesnih vrstah**

Pregled korenin po posameznih drevesnih vrstah je pokazal, da se vrste med seboj razlikujejo. Tako je očitno, da bodo posamezne drevesne vrste že v prvih letih močno razrasle podzemni del, ter se vrasle tudi v elektrofilterski pepel.

### **6.2.1 Koreninski sistem navadne breze (*Betula pendula*)**

Koreninski sistem brez je bogato razvit z močnim prepletom tako horizontalnih kot tudi vertikalnih korenin. Predvsem horizontalne korenine so blizu površja zemlje. Vertikalne korenine so se ustavile pred plastjo elektrofilterskega pepela. Rast korenin v pepel je omejena na manjše število kratkih korenin.

### **6.2.2 Koreninski sistem navadnega črnega gabra (*Ostrya carpinifolia*)**

Črni gaber je razvil močan koreninski sistem prav tako z močnim prepletom tako horizontalnih in vertikalnih korenin. Korenine se razraščajo blizu površja tal kot tudi v globino. Skeletne in kratke korenine so se razrasle v plast pepela.

### **6.2.3 Koreninski sistem trepetlike (*Populus tremula*)**

Trepetlika je razvila predvsem površinske korenine, ki so se močno razrasle predvsem s kratkimi koreninami. Koreninski sistem ni tako izrazit kot pri ostalih drevesnih vrstah. Korenin ni bilo moč zaznati v plasti elektrofilterskega pepela.

### **6.2.4 Koreninski sistem črne jelše (*Alnus glutinosa*)**

Pri črni jelši so korenine ravno na prehodu med zgornjo plastjo zemlje in plastjo pepela. Kot mlado drevo je najprej razvila vertikalne korenine, ki so se ustavile pred plastjo pepela, ter večji del korenin razvila na plasti pepela. Z nadaljnjim odkopom smo potrdili, da se je del skeletnih korenin že razrasel v pepel.

### **6.2.5 Koreninski sistem velikega jesena (*Fraxinus excelsior*)**

Jesen ni oblikoval močnega koreninskega sistema. Razlog iščemo tudi v slabi rasti dreves, vendar lahko potrdimo, da so se vertikalno raščene korenine že usidrale v plast pepela, saj smo pri odkopu naleteli na korenine, ki rastejo v pepel.

### **6.2.6 Koreninski sistem jerebike (*Sorbus aucuparia*)**

Tudi jerebika ni oblikovala močnega koreninskega sistema. Koreninski sistem se nahaja v plasti zemlje in v pepelu. Kot pri jesenu lahko potrdimo uspešno rast korenin v pepel. Pri jerebiki in jesenu bo potrebno počakati še nekaj let, da bomo lahko bolj natančni pri raziskavi koreninskega sistema.

### 6.3 SPLOŠEN PREGLED OSNOVNIH PODATKOV O PREŽIVETJU IN HITROSTI RASTI PO DREVESNIH VRSTAH

Preglednica 1: Osnovni podatki o preživetju, višini in premeru po drevesnih vrstah

Drevesna vrsta	% preživetja do leta 2008	% preživetja v prvem letu	Dosežena najvišja višina v cm	Dosežena povprečna višina do leta 2008	Povprečni premer v mm do leta 2008
<i>Betula pendula</i>	66,6	81,48	580	273,6	80,2
<i>Fraxinus excelsior</i>	29,6	62,96	320	68,2	30,3
<i>Populus tremula</i>	29,6	74,07	540	139,3	87
<i>Ginkgo biloba</i>	0	33,33	0	0	0
<i>Alnus glutinosa</i>	40,74	55,55	690	227,5	136,8
<i>Pinus sylvestris</i>	0	37,03	0	0	0
<i>Ostrya carpinifolia</i>	70,37	81,48	390	233,2	56,4
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0	96,29	0	0	0
<i>Sorbus aucuparia</i>	25,92	92,95	320	59,6	35

Preglednica 2: Povprečna višina po letih

Drevesna vrsta	Povprečna višina v posameznih letih v cm							
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Betula pendula</i>	30,0	46,1	75,2	107,1	114,2	162,5	214,8	273,6
<i>Fraxinus excelsior</i>	30,0	25,3	39,4	45,4	42,6	47,3	57,1	68,2
<i>Populus tremula</i>	30,0	44,1	85,3	114,9	114,7	125,4	128,6	139,3
<i>Ginkgo biloba</i>	30,0	12,9	18,1	12,4	10,3	0	0	0
<i>Alnus glutinosa</i>	30,0	33,8	64,9	74,8	103,4	176,8	198,8	227,5
<i>Pinus sylvestris</i>	30,0	13,3	14,9	17,4	0	0	0	0
<i>Ostrya carpinifolia</i>	30,0	47	76,7	102,8	130,5	152,6	191,4	233,2
<i>Acer pseudoplatanus</i>	30,0	49,4	83,4	38,5	27	0	0	0
<i>Sorbus aucuparia</i>	30,0	59,6	107,1	112	73,6	51,1	55,7	59,6

Preglednica 3: Število preživelih dreves po letih

Drevesna vrsta	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Betula pendula</i>	27	22	21	21	18	18	18	18
<i>Ostrya carpinifolia</i>	27	22	21	21	20	19	19	19
<i>Alnus glutinosa</i>	27	15	14	11	11	11	11	11
<i>Populus tremula</i>	27	20	18	15	12	11	9	8
<i>Fraxinus excelsior</i>	27	17	16	13	9	9	9	9
<i>Sorbus aucuparia</i>	27	25	25	19	11	7	7	7
<i>Acer pseudoplatanus</i>	27	26	26	9	5	0	0	0
<i>Ginkgo biloba</i>	27	10	10	5	4	0	0	0
<i>Pinus sylvestris</i>	27	11	11	11	0	0	0	0



## 6.4 ŽIVALI KOT STRESNI DEJAVNIK

Velika divjad se je pojavila v poletnih mesecih in ne v zimskih, kot smo zmotno pričakovali. Pred zasaditvijo poskusne ploskve so se živali zadrževale v okoliških gozdovih in le poredko so jih opazili na travnati površini, saj je bilo preveč motečih dejavnikov (konjereja in industrija). Velika divjad si je kmalu našla zavetišče na poskusni ploskvi, posledično se je povečalo objedanje rastlin. Prav zaradi velike divjadi je propadlo nekaj primerkov dreves.

Glodavci, ki so se naselili v visoki travi po zasaditvi, so že v prvem letu pričeli z objedanjem rastlin. Število le-teh je bilo neverjetno, saj smo jih opazili pri vsakem obisku raziskovalne ploskve. Razlogi, ki so pripomogli k izbruhu večje populacije, sta bila visoka trava kot dobro skrivališče, ter zemlja, ki je bila umetno nanesena umetno ter posledično brez trših delcev, kar je odlično okolje za izkopavanje rogov. Med glodavci so se naselile voluharice in miši. Zaradi objedanja koreninskega sistema in posledično sušenja dreves, sklepamo, da lahko glodavci močno vplivajo na rast.

Večje število ogrcev (*Melolontha melolontha*) smo zasledili že pri sajenju rastlin. Poljski majski hrošč je pogost škodljivec na naših travnikih, a največjo škodo napravijo ličinke ogrcev, ki živijo v zemlji. Z objedanjem koreninic naredijo precejšno škodo tako na travniških rastlinah, kot tudi na mladih drevesih, čeprav le redko lahko poškodujejo drevesa, ki že imajo razvit koreninski sistem. Predvsem je odvisno od količine ogrcev na m<sup>2</sup>. Razlog tolikšnega števila ogrcev bi lahko iskali v temperaturi pepela, ki je na 10 – 90 m lahko med 40 in 80 °C. Morda je ravno temperatura pepela, ki segreva zgornjo plast dovolj velika, da omogoča ogrcem množičen in uspešen razvoj. Saj je znano, da lahko najdemo večje število ogrcev v kompostnih kupih, kjer je zaradi humifikacije višja temperatura.

## 7 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 7.1 RAZPRAVA

Izbrane drevesne vrste so pokazale drugačne rezultate od pričakovanih. Rastne analize so že v prvih letih pokazale, da bodo imele prednost vrste, ki že v prvih letih močno napredujejo v rasti. Saj se je izkazalo, da nekatere vrste (rdeči bor in ginko) prepočasi napredujejo v višinski rasti in so zato veliko bolj dovzetne za objedanje kot ostali primerki. Med uspešne vrste lahko štejemo navadni črni gaber, navadno brezo, trepetliko in črno jelšo, ki so se hitro in uspešno prilagodile danim razmeram. Prav črna jelša je pokazala neverjetno hitro rast v primerjavi z ostalimi osebki, čeprav je glede na preživetje komaj 40 % (preglednica 1) Vendar se je potrebno zavedati, da so bili pri črni jelši glavni krivci biološki dejavniki, torej lahko z zaščito rastlin pri sajenju procent preživetja močno dvignemo. Prav tako lahko podobno predvidevamo pri trepetliki, ki je imela prav tako majhen odstotek preživetja zaradi poškodb in objedanja zaradi živali, da lahko s pravilno zaščito bistveno povečamo odstotek preživetja. Kakršnakoli dodatna zaščita rastlin močno poveča stroške zasaditve in se rajši nagibamo k možnostim zasaditve dreves, ki imajo velik odstotek preživetja kljub nezaščiti. V našem primeru sta bila to navadna breza in navadni črni gaber.

Korenine so se nemoteno razrasle v plasti nad pepelom, opazne pa so tudi razlike med posameznimi drevesnimi vrstami. V plast pepela so se razrasle posamezne vrste, vendar je potrebno poudariti da korenine le s težavo prodirajo v trdo plast pepela. Ravno na tem področju pa so bile opravljene raziskave, ki so jih opravili na Švedskem (Neuschütz in sod., 2006). Preučevali pa so razrast korenin v elektrofilterski pepel in v mešanico pepela in blata iz čistilnih naprav. Dokazali so, da je rast korenin v elektrofilterski pepel resnično utežena zaradi velike trdnosti, kar je značilno tudi za pepel na deponiji Prapretno. Tako so dokazali, da ima mešanica blata in pepela manjšo trdnost kot čisti pepel, da korenine v tem primeru zlahka prodirajo v plast pepela. Vendar se je potrebno pri tem zavedati, da se lastnosti materiala zelo razlikujejo med posameznimi uporabniki, saj je kemijska in fizikalna sestava pepela odvisna od vrste premoga, ki ga uporabljajo, od snovi, ki jih dodajajo pri kurjenju premoga in od načina deponiranja materiala (Petkovšek, 2006). Zato

so raziskave omejene na posamezno deponijo in na lastnosti pepela. Glede na tuje raziskave lahko tako povzamemo samo namen in način raziskav, ne moremo pa primerjati podatkov, ravno zaradi različnosti pepela. Tako lahko sicer predvidevamo, da bi z mešanjem pepela in blata omogočili lažjo razrast korenin, ni pa nujno, da bi to veljalo za naš primer. Zato lahko z gotovostjo trdimo le, da so se korenine pri posameznih drevesnih vrstah vrasle v plast pepela. Kar je pomembno, saj gre tukaj za prvo takšno raziskavo, ki se je opravljala na deponiji Prapretno in bo v prihodnosti služila kot izhodišče za preučevanje različnih možnosti ozelenjevanja deponij in morda tudi uporabe pepela.

Tako bo obnova deponije in izbira dreves v začetni fazi temeljila predvsem na statističnih podatkih, ki so jasno razvidne v zbranih rezultatih o posamezni drevesni vrsti (preglednice 1,2 in 3), saj drugih praktičnih analiz, ki bi dejansko lahko pokazale uporabnost tega prostora, do sedaj pri nas še ni bilo narejenih. Tu imamo v mislih uporabo elektrofilterskega pepela v kmetijstvu, kar že s pridom izkoriščajo v tujini. Zelo napredni pri raziskavah so v Indiji, kjer so raziskave pripeljali tako daleč da pepel mešajo z organskimi gnojili (kompost, hlevski gnoj) ter s tem dokazano izboljšajo fizikalno kemijske lastnosti pepela. Pri tem se spremeni pH vrednost, poveča se količina kalcija, magnezija in kalija, zmanjša se gostota pepela, poveča zračnost, s pojavom mikorize se imobilizirajo težke kovine, kar omogoča ponovno vzpostavitev pogojno zdravega ekosistema na kontaminiranih površinah. (Juwarkar in Jambhulkar, 2008). Z dodajanjem organskih snovi v pepel pa se občutno poveča mikrobiološka aktivnost tal, kar pripomore k razvoju sintez različnih rastlinskih hranil. Takšne analize so narejene za specifično vrsto pepela in bi bilo potrebno te analize ponoviti tudi v Sloveniji, zato je pomembno, da smo naredili prvi korak pri raziskavi o primernosti dreves za zasaditev teh področji. Sedaj lahko izhajamo iz praktičnih izkušenj.

## 7.2 SKLEPI

Hipoteze, ki smo jih želeli preveriti v naši nalogi;

Rastna sposobnost in letni višinski prirastek se med vrstami razlikuje. Čeprav vladajo na raziskovalni ploskvi enake razmere za vse drevesne vrste, lahko z gotovostjo trdimo, da so nekatere vrste veliko bolj prilagodljive na degradirano rastišče, glede rastnih sposobnosti.

Velike razlike v letnem višinskem priraščanju nam podajo zanesljive sklepe, katero drevesno vrsto naj uporabimo v nadaljnjih zasaditvah.

Korenine so sposobne v relativno kratkem času prerasti zgornjo plast in se vrasti v plast elektrofilterskega pepela, pri tem pa obstajajo razlike med drevesnimi vrstami. Naša naloga je plod sedemletnega preučevanja, kar pomeni, da koreninski sistem še ni popolnoma razvit. Lahko trdimo, da je hipoteza pravilna pri vseh vrstah, razen pri trepetliki. Drevesa, ki so preživela, so v plasti 30 – 40 cm nemoteno razvile koreninski sistem, kateri se postopno vrašča v plast pepela. Sklepamo, da bodo drevesa v nadaljnjem razvoju povečala količino korenin v pepelu, vendar bo potrebno za zanesljivejše podatke počakati še nekaj let, saj bo le sčasoma možno dokazati, kako globoko so se sposobne vrasti korenine. Pomembni so tudi dejavniki, ki bodo šele pričeli delovati na korenine in na celotno rastlino; težke kovine, katere bo drevo absorbiralo s pomočjo korenin, pri rasti v globino.

Zasaditev lahko pomaga pri ponovni vzpostavitvi biodiverzitete na deponiji. Poskusna ploskev je z leti privabila številne živalske vrste, ki so si poiskale bivališče ali skrivališče med visoko travo in drevesi. Tako smo že v prvem letu opazili veliko število talnih živali, od miši, voluharic in raznih žuželk. Velika divjad si je našla tu predvsem zavetišče pri prečkanju deponije. Prav tako smo opazili sledi ujed, katere prisotnost so izdajali iztrebki. Tudi divji zajec je postal redni gost. Na drevesih pa smo že drugo leto zapovrstjo odkrili ptičja gnezda. Tako lahko potrdimo uspešnost takšnih zelenih otokov, kot pomoč pri nadaljnjem oživljanju degradirane pokrajine.

Preživetvena sposobnost rastlin se je na poskusni ploskvi pokazala, kot oprijemljiv podatek pri izbiri primerne drevesne vrste. Vendar se je pri tem potrebno odločiti, katera lastnost odgovarja danim potrebam. Kot primer naj navedem črno jelšo, ki ima najmočnejšo rast v višino, a zelo majhen odstotek preživetja po številu rastlin. Namen naloge in preučevanja pa ni poiskati drevesno vrsto, ki bo najhitreje priraščala v višino. Namen naše naloge je bilo poiskati rastlinske vrste, katere bomo lahko uporabili pri ozelenitvi deponije, torej smo se že na začetku odločili, da potrebujemo vrste kot sta navadna breza in navadni črni gaber.



Slika 19: Raziskovalna ploskev v letu 2008 (foto: S. Taškar)

## 8 POVZETEK

Diplomsko delo je nastalo z namenom preučevanja o primernosti izbora drevesnih vrst na deponiji elektrofilterskega pepela na deponiji Prapretno v Trbovljah, kjer je bila v ta namen postavljena raziskovalna ploskev na nadmorski višini 350 m. V prvem delu naloge je podrobno predstavljena deponija kot celota. Zaradi potrebe po boljšem razumevanju nastalega problema, smo podrobno opisali vse spremembe, katere so z leti ustvarili pri nanašanju novih odpadnih produktov. Spremembe so se tako izražale na področju mikroklima, vodnega režima, vetra, sestave tal, onesnaženosti, itd.

V nadaljevanju je podrobno predstavljena poskusna ploskev, na katero smo zasadili devet drevesnih vrst (*Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Ginkgo biloba*, *Alnus glutinosa*, *Pinus sylvestris*, *Ostrya carpinifolia*, *Acer pseudoplatanus*, *Sorbus Aucuparia*, *Betula pendula*), in sicer 27 primerkov iz vsake vrste, z namenom, da od leta 2001 do leta 2008 podrobno spremljamo razvoj izbranih dreves. Osredotočili smo se predvsem na rast v višino, za katero smo meritve opravljali vsako leto z merskim trakom. Razvoj koreninskega sistema, ki smo ga preučili v letu 2008 z ročnim odkopom dela koreninskega sistema. Odstotek preživetja po posamezni drevesni vrsti je predstavljen v tabelarni obliki (preglednice 1,2 in 3), ter preučevali pozitivni in negativni vpliv abiotskih in biotskih dejavnikov.

Predstavitev objekta raziskave smo dopolnili z preučevanjem elektrofilterskega pepela, ki bo v prihodnosti verjetno poglaviten dejavnik pri izbiri rastlin. V ta namen smo podali kemijsko analizo, da lahko lažje predvidevamo, katere škodljive snovi v pepelu je potrebno količinsko zmanjšati in katere pozitivne snovi je potrebno dodati.

Rezultati naloge so pokazali, da vse drevesne vrste niso primerne za uporabo na degradiranih površinah. Odstotek preživetja je pri vrstah (*Populus tremula*, *Fraxinus excelsior*, *Sorbus aucuparia*) komaj 30 %, zato teh vrst ne bomo zasajali na deponiji. Za uporabo v zasaditvi tako priporočamo drevesne vrste, ki so v poteku raziskave pokazale največji odstotek preživetja. Sem lahko pogojno uvrstimo tudi črno jelšo, čeprav ima komaj 40 % uspešnost pri preživetju, ta odstotek dvignemo s primerno zaščito rastlin. Navadni črni gaber in navadna breza sta v poteku raziskave pokazala največ pozitivnih

lastnosti. Odstotek preživetja je 70,3 % oziroma 66,6 % do leta 2008. Zato bosta ti dve vrsti primerni za zasaditev, vendar bodo pri črni jelši potrebne dodatne investicije. Dvokrpi ginko, rdeči bor in gorski javor so drevesne vrste, ki so se do leta 2008 v celoti posušile na raziskovalni ploskvi.

Bistven poudarek v rezultatih naloge pa smo podali tudi za povprečno višinsko rast, ki je pri nekaterih drevesnih vrstah močno napredovala, kljub slabemu odstotku preživetja. Meritve so bile opravljene v enoletnih intervalih s grafičnim prikazom po drevesnih vrstah in letih. Višinska rast je eden izmed pomembnih indikatorjev uspešnosti rasti, vendar le v kombinaciji z ostalimi rezultati.

Prav tako pomemben podatek je razrast koreninskega sistema, ki v nalogi ni kvantitativno opredeljen, vendar smo z vizualnim ocenjevanjem ugotovili, da korenine prodrejo v plast pepela, kar je bistveno za nadaljnje raziskave, ki bodo vključevale tudi analizo snovi v rastlinah.

Z raziskovalno ploskvijo pa smo spodbudili tudi prihod živali (ptice, velika divjad, žuželke, glodavci), ki smo jih že v prvih letih opazili na deponiji. Nekatere pa so se celo naselile na raziskovalni ploskvi (gnezdenje ptic in stalna prisotnost miši in voluharic), ter s tem potrdili, da se bo s zasaditvijo deponije bistveno povečala biodiverziteteta.

## 9 VIRI

Atlas okolja

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Ars](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Ars) (16.12. 2008)

Brus R. 2004. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana, Mladinska knjiga: 399 str.

Kočevar H. 1991. Ugotavljanje vsebnosti bioesencialnih in toksičnih prvin v pepelu in tleh v okolici deponije elektrofilterskega pepela, ter ocena vpliva na rastline: poročilo. Univerza v Ljubljani, Oddelek za montanistiko: 35 str.

Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije in Zavod za gozdove Slovenije: 500 str.

Kotar M., Brus R. 1999. Naše drevesne vrste. Ljubljana, Slovenska matica: 320 str.

Kutschera L., Lichtenegger E. 2002. Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher, Stocker: 604 str.

Lenarčič T. 1998. Termoelektrarna Trbovlje. Trbovlje, Termoelektrarna Trbovlje.

Novak M. 1998. Idejna rešitev krajinske ureditve odlagališč odpadnih produktov TE III – Trbovlje: projektna dokumentacija. Trbovlje IBT: 45 str.

Petkovšek A. 2006. Odlaganje odpadnih produktov iz termoelektrarne TE 2 Trbovlje. Trbovlje TET: 44 str.

Rezultati meritev imisijskega obratovalnega monitoringa TE Trbovlje: strokovno poročilo: leto 2001 – 2008. 2008 Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.



Neuschütz C., Stoltz E., Greger M. 2006. Root Penetration of Sealing Layers Made of Fly Ash and Sewage Sludge. *Journal of environmental Quality*, 35:1260-1268

<http://jeq.scijournals.org/cgi/content/full/35/4/1260#BIB21> (21.2.2009)

Juwarkar A.A., Jambhulkar H. P. 2008. Restoration of fly ash dump through biological interventions. *Environmental monitoring and assessment*, 139:355-365

<http://www.springerlink.com/content/c881u3628810751t/> (16.2.2009)

Vengust M. 2002. Termoelektrarna Trbovlje. Termoelektrarna Trbovlje d.o.o. (osebni vir 2002)

Wikipedia. The free encyclopedia, Ginkgo biloba

[http://en.wikipedia.org/wiki/ginkgo\\_biloba](http://en.wikipedia.org/wiki/ginkgo_biloba) (12.2.2007)

## **ZAHVALA**

Ob koncu diplomskega dela bi se rad zahvalil Termoelektrarni Trbovlje ter vsem, ki so mi pri nalogi na kakršenkoli način pomagali.

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Robertu Brusu za strokovno svetovanje in pomoč ter recezentu prof. dr. Francu Batiču.

Zahvaljujem se lektorici Maši Dornik, prevajalki Beatriki Jernejc in Mariu Brumnu za oblikovanje naloge.

Posebna zahvala gre vsem tistim, ki so ponudili pomoč pri zasaditvi in merjenju poskusne ploskve.

Posebej pa se zahvaljujem prijateljici Emi in svojim staršem Leonu in Mileni Taškar, za potrpežljivo podporo v času študija.