

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

Tina ČEBUL

**LESNA BIOMASA IZ ZUNAJGOZDNIH NASADOV
HITRORASTOČIH VRST**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2011

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

Tina ČEBUL

**LESNA BIOMASA IZ ZUNAJGOZDNIH NASADOV
HITRORASTOČIH VRST**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**WOOD BIOMASS FROM OUTSIDE THE FOREST PLANTATIONS
OF FAST-GROWING SPECIES**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2011

Diplomska naloga je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva in obnovljivih gozdnih virov na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Raziskava je bila opravljena v sodelovanju z Gozdarskim inštitutom Slovenije.

Komisija za dodiplomski študij oddelka za gozdarstvo je na 2. seji, dne 12. 4. 2011, sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Boštjana Koširja, za somentorico dr. Nike Krajnc in za recenzenta doc. dr. Aleša Kadunca.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo 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, enaka tiskani verziji.

Tina Čebul

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	GDK $238+839.3(0432.2)=163.6$
KG	hitrorastoče drevesne vrste/lesna biomasa/energetski viri/kloni/produkcija biomase/hitrorastoči nasad/lesni sekanci
AV	ČEBUL, Tina
SA	KOŠIR, Boštjan (mentor)/KRAJNC, Nike (somentorica)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2011
IN	LESNA BIOMASA IZ ZUNAJGOZDNIH NASADOV HITRORASTOČIH VRST
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 67 str., 5 pregl., 34 sl., 3 pril., 35 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Zunajgozdni nasadi hitrorastočih drevesnih vrst dajejo velik hektarski donos lesne biomase, ne posegajo v naravne gozdove in hkrati pomenijo razbremenitev naravnih gozdov. Ti nasadi predstavljajo pomemben vir lesne biomase za velike porabnike, kot so daljinski sistemi in večje termoelektrarne. Primerne lokacije za nasade hitrorastočih drevesnih vrst so opuščene kmetijske površine in kmetijske površine z manj ugodnimi razmerami za pridelavo živil in krme, vodovarstvena in kontaminirana območja, površine prizadete zaradi rudniške ali druge industrijske dejavnosti ali strma območja. Sečnjo v teh nasadih izvajamo vsakih nekaj let, odvisno od obhodnje. Ta je po navadi od 2- do 5- letna. Gostota sajenja je različna in je odvisna od obhodnje. Najbolj pogosto za nasade uporabljamo klone vrbe ali topola. Količina proizvedene lesne mase je odvisna od dolžine obhodnje, drevesne vrste, kakovosti tal in od intenzivnosti nege. Skupaj z Gozdarskim inštitutom smo opravili meritve na testnem nasadu v letu 2009 in letu 2010. Na podlagi obdelave pridobljenih podatkov smo prišli do ugotovitve, da skupni donos testnega nasada ne dosega pričakovane vrednosti donosa nasada navedenega v literaturi. To pa zato, ker so bili naši podatki dobljeni na podlagi enoletnega prirastka. Nasad v tem času še ni dosegel kulminacije volumenskega prirastka, zato podatki iz tega nasada še ne potrjujejo gospodarnosti tovrstnega nasada.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd
 DC FDC $238+839.3(0432.2)=163.6$
 CX fast-growing tree species/wood biomass/energy resources/clones/biomass
 production/short rotation coppice/woodchip
 AU ČEBUL, Tina
 AA KOŠIR, Boštjan (supervisor)/KRAJNC, Nike (co-supervisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and
 Renewable Forest Resources
 PY 2011
 TI WOOD BIOMASS FROM OUTSIDE THE FOREST PLANTATIONS OF FAST-
 GROWING SPECIES
 DT Graduation Thesis (University studies)
 NO X, 67 p., 5 tab., 34 fig., 3 ann., 35 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB Short rotation forestry provide a large yield of biomass, does not interfere with the
 natural forests and also offer relief from natural forests. These crops represent an
 important source of biomass for large users, such as remote systems and larger
 power plants. Suitable locations for fast-growing tree species plantations have been
 dropped on abandoned land and agricultural land with less favorable conditions for
 producing food and feed and contaminated water protection areas, areas affected by
 mining or other industrial activities or steep areas. Harvesting in these plantations is
 carried out every few years depending on growing time. This is usually from 2- to
 5- year. Planting density varies and depends on rotation period. The most
 commonly used for plantations are willow or poplar clones. Quantity of wood mass
 depends on rotation period, tree species, soil quality and the intensity of tending.
 Together with the Forestry Institute, we performed measurements on a test crop in
 2009 and 2010. Based on the processing of the data we have come to the
 conclusion, that the total yield of test crops does not reach the expected value of
 plantation yields reported in the literature. This is because our data were obtained
 on the basis of one year wood growth. Volume increment culmination has not been
 reached by this time, so the data from this crop is not yet confirmed as a
 economical investment.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	X
1 UVOD	1
2 OPREDELITEV PROBLEMA, CILJI IN RAZISKOVALNE HIPOTEZE	2
3 DOSEDANJE RAZISKAVE	3
4 OPIS ZUNAJGOZDNIH NASADOV	7
4.1 OBHODNJA IN ŽIVLJENJSKA DOBA	8
4.2 PRIPRAVA TAL	11
4.3 RASTNI DEJAVNIKI	12
4.3.1 Voda	12
4.3.2 Tla	12
4.4 SAJENJE	13
4.4.1 Sadike ali potaknjenci dreves	13
4.4.2 Tehnike sajenja	14
4.4.3 Čas sajenja	15
4.4.4 Gostota sajenja	15
4.5 IZBIRA LOKACIJE IN NAČRTOVANJE NASADA	19
4.6 NEGA ZUNAJGOZDNIH NASADOV	21
4.6.1 Odstranjevanje plevela	22
4.6.2 Gnojenje	23
4.6.3 Škodljivci in bolezni	23
4.6.4 Rekultivacija	27
4.7 SEČNJA IN DONOS NASADOV	27
4.7.1 Ekonomičnost zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst	31
4.8 GOSTOTA VRBOVEGA LESA	33

4.9	VPLIVI GOSPODARJENJA Z NASADI HITRORASTOČIH DREVESNIH VRST NA OKOLJE	34
4.10	PREDNOSTI IN SLABOSTI ZUNAJGOZDNIH NASADOV	35
4.11	ZAKON O GOZDNEM REPRODUKCIJSKEM MATERIALU	37
5	MATERIAL IN METODE	38
5.1	OPIS NASADA	38
5.2	METODA DELA	39
6	REZULTATI	42
6.1	ZNAČILNOSTI POGANJKOV	42
6.1.1	Število poganjkov pri posameznem šopu	42
6.1.2	Povprečne višine poganjkov v posameznem šopu	43
6.1.3	Premer poganjkov v posameznem šopu	44
6.1.4	Razmerje med premerom in višino poganjka, objedenost poganjkov ...	45
6.1.5	Volumen poganjkov v posameznem šopu	47
6.2	REZULTATI ZA PRVI ŠOP POGANJKOV	49
6.2.1	Povezanost med povprečno in maksimalno višino poganjkov v šopu ...	49
6.2.2	Odvisnost volumna šopa od višine poganjka v šopu	50
6.3	GOSTOTA IN VLAŽNOST LESA TER PRODUKCIJA NASADA	53
7	RAZPRAVA IN SKLEPI	56
8	POVZETEK	61
9	VIRI	64
ZAHVALA		
PRILOGE		

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica št. 1: Podatki o proizvodnji vrh in topolov, izraženi v masi suhe snovi na hektar	31
Preglednica št. 2: Stroški osnivanja nasada glede na dolžino obhodnje.....	33
Preglednica št. 3: Število osebkov pri posamezni vrsti klona <i>Tordis</i>	39
Preglednica št. 4: Povprečne višine poganjkov glede na leto meritev.....	44
Preglednica št. 5: Povprečni volumen šopa glede na število poganjkov v šopu	52

KAZALO SLIK

Slika št. 1: Diagram prikazuje razvoj nasada s hitrorastočimi drevesnimi vrstami.....	9
Slika št. 2: Panjevsko rast so včasih izkoriščali za drva, danes pa nam služi tudi za pridobivanje lesnih sekancev v nasadih hitrorastočih drevesnih vrst.....	11
Slika št. 3: Potaknjenci vrbe	13
Slika št. 4: Sadnja potaknjencev s traktorjem John Deere 6820.....	14
Slika št. 5: Za sadnjo potaknjencev na večjih površinah se uporablja traktorsko gnani stroj za sajenje rastlin (Energy planter)	16
Slika št. 6: Vrbe po navadi sadimo v dvojne vrste (levo), topole pa v enojne vrste (desno)	17
Slika št. 7: Ročna sadnja potaknjencev s primerno razdaljo med potaknjenci.....	18
Slika št. 8: Z ozelenitvijo celotnega zemljišča se preprečita spiranje rodovitnih tal in talna erozija	20
Slika št. 9: Na novo osnovan zunajgozdni nasad hitrorastočih drevesnih vrst v Škalah pri Velenju	21
Slika št. 10: Rdeča topolovka (<i>Chrysomela populi</i>)	25
Slika št. 11: Objedeni poganjki zaradi divjadi.....	26
Slika št. 12: Žagalno ustje za lesnate rastline na	28
Slika št. 13: Sečnja in izdelava sekancev s prilagojenim samovoznim silažnim kombajnom z nameščenim žagalnim ustjem	30
Slika št. 14: Zunajgozdni nasad hitrorastočih drevesnih vrst v Škalah pri Velenju	38
Slika št. 15: Prikaz popisovanja osebkov v prvem in drugem letu.....	41
Slika št. 16: Število osebkov glede na število poganjkov v letu 2009.....	42
Slika št. 17: Število osebkov glede na število poganjkov v letu 2010.....	43
Slika št. 18: Povprečni premer izmerjenih poganjkov v prvem letu glede na višino drevesa	45
Slika št. 19: Povprečni premer izmerjenih poganjkov v letu 2010 glede na višino drevesa.....	45
Slika št. 20: Povezanost med višino in premerom poganjka za leto 2009.....	46
Slika št. 21: Povezanost med višino in premerom poganjka za leto 2010	46
Slika št. 22: Odvisnost volumna poganjka od višine poganjka za leto 2009.....	47

Slika št. 23: Odvisnost volumna poganjka od višine poganjka za leto 2010.....	47
Slika št. 24: Odvisnost volumna poganjka od premera poganjka na koreninskem vratu za leto 2009	48
Slika št. 25: Odvisnost volumna poganjka od premera poganjka na koreninskem vratu za leto 2010	48
Slika št. 26: Ponazoritev odnosa med maksimalno in povprečno višino poganjka v šopu za leto 2009	50
Slika št. 27: Ponazoritev odnosa med maksimalno in povprečno višino poganjka v šopu za leto 2010.	50
Slika št. 28: Odvisnost volumna šopa od maksimalne višine poganjka (leto 2009)	51
Slika št. 29: Odvisnost volumna šopa od maksimalne višine poganjka (leto 2010)	51
Slika št. 30: Višina osnovne gostote posameznega vzorca drevesa prikazanega za vsako leto posebej.....	53
Slika št. 31: Gibanje osnovne gostote lesa glede na višino stebela za vsako leto posebej....	54
Slika št. 32: Prikaz porazdelitve mase vode v lesu glede na višino debla.....	55
Slika št. 33: Vlažnost lesa glede na višino debla.....	55
Slika št. 34: Vsebnost vode glede na višino debla.....	55

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: Obrazec za popis premerov poganjkov

PRILOGA B: Obrazec za popis višin in številčnosti poganjkov

PRILOGA C: Ortofoto posnetek nasada hitrorastočih drevesnih vrst v Škalah pri Velenju.

1 UVOD

Ena izmed možnosti za izkoriščanje lesne biomase so poleg gozdov tudi plantaže hitrorastočih vrst, kot so na primer topoli in vrbe. Glede na načrte o znatnem povečanju deleža porabe energije iz obnovljivih virov je iskanje novih virov biomase velikega pomena (Evropska direktiva o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, 2009). Lesna biomasa je pomemben energetski vir že od prazgodovine zaradi svoje dostopnosti, uporabnosti in razširjenosti. Z novimi tehnologijami za pridobivanje in izrabo lesne biomase pa bo njena uporabnost oz. cenovna dostopnost v prihodnje še večja. Gozdov imamo veliko in v njih je še kar nekaj neizkoriščenih potencialov, vendar je njihova razpoložljivost omejena z lastništvom gozdov, s terenskimi razmerami in s tehnologijami pridobivanja lesne biomase. Zunajgozdni nasadi hitrorastočih drevesnih vrst lahko predstavljajo pomemben in cenovno ugoden vir lesne biomase za velike porabnike, kot so daljinski sistemi in večje termoelektrarne.

Gozd je primarni vir lesne biomase. Ko govorimo o lesni biomasi, uporabni v energetske namene, pa je virov več. V gospodinjstvu je praviloma najpomembnejši vir gozd, lahko pa so pomembnejši drugi viri (lesni ostanki, zunajgozdne površine). Pri daljinskih sistemih ogrevanja je najpomembnejši vir lesna industrija, torej lesni ostanki, kot dopolnilni vir upoštevamo gozd in zunajgozdne površine. Pri lesni biomasi iz zunajgozdnih površin je potrebno še posebej poudariti pomen opuščenih kmetijskih površin. V skupino lesne biomase torej uvrščamo: les iz gozdov, les iz površin v zaraščanju, les iz kmetijskih in urbanih površin, lesne ostanke primarne in sekundarne predelave lesa ter odslužen (neonesnažen) les (Pogačnik in Krajnc, 2000).

2 OPREDELITEV PROBLEMA, CILJI IN RAZISKOVALNE HIPOTEZE

Problem energetskih virov in njihov vpliv na okolje je eden izmed problemov, ki se pojavljajo v sodobnem svetu. Pri skrbi za okolje so velikega pomena alternativni viri energije. Za Slovenijo, kot gozdnato državo, je pomemben alternativni vir lesna biomasa. V tej diplomski nalogi smo se osredotočili na pridobivanje lesne biomase iz zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst.

Osnovni namen te diplomske naloge je bil zbrati na enem mestu čim več informacij iz domačih ter tujih virov o nasadih hitrorastočih drevesnih vrst, predstaviti dejavnike, ki vplivajo na produkcijsko sposobnost tovrstnih nasadov, predstaviti tehnike sadnje in sečnje ter ekonomičnost nasadov. Z meritvami na testnem zunajgozdnem nasadu smo skušali ugotoviti produkcijski potencial določene drevesne vrste (*Salix* sp., klon *Tordis*) kot alternativni vir energije v slovenskem prostoru.

Kot glavne cilje diplomske naloge navajamo naslednje:

- predstavitev zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst kot alternativni vir lesa uporabnega v energetske namene;
- pregled stanja testnega zunajgozdnega nasada hitrorastočih drevesnih vrst in popis parametrov na ploskvi v Škalah pri Velenju;
- analiza stanja na testni plantaži glede na popis iz leta 2009;
- analiza stanja na testni plantaži glede na popis iz leta 2010;
- ocenitev perspektivnosti tovrstne lesne biomase.

Izpostavili smo tri glavne hipoteze naše diplomske naloge:

- lesna biomasa iz zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst je primeren alternativni energetski vir;
- proučevani nasad se nahaja na rodovitnih tleh in daje pričakovano vrednost nasada, ki je znotraj razpona, kot ga navaja literatura (Krajnc, 2009a);
- v Sloveniji je uporaba zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst za pridobivanje lesnih sekancev primerna in ekonomsko upravičena.

3 DOSEDANJE RAZISKAVE

Zunajgozdni nasadi hitrorastočih drevesnih ali grmovnih vrst (angl. »Short rotation forestry« ali nem. »Kurzumtrieb Forstwirtschaft«) dajejo velik hektarski donos lesne biomase, ne posegajo v naravne gozdove in hkrati pomenijo razbremenitev naravnih gozdov. V prihodnosti se bodo potrebe po obnovljivih virih energije povečale in s tem se bo tudi povečalo povpraševanje po lesu slabše kakovosti. Les za proizvodnjo energije v večjih energetske sistemih na lesno biomaso lahko zagotavljamo iz lesnih ostankov, sečnih ostankov, manj kakovostnega lesa iz gozdov ter tudi z nasadi hitrorastočih drevesnih vrst, kakovostnejši les iz gozdov pa namenimo le za lesno industrijo (Krajnc in sod., 2009a). Po definiciji iz Slovarja slovenskega knjižnega jezika (SSKJ, 1998) je nasad zemljišče, na katerem rastejo rastline v določeni razvrstitvi. Zunajgozdni nasadi, katere bomo bolj podrobno opisali v tej diplomski nalogi, so ponavadi enakomerno posajeni s hitrorastočimi drevesnimi ali grmovnimi vrstami v enojnih ali dvojnih vrstah.

Raziskave na področju zunajgozdnih nasadov so se začele že v šestdesetih letih 20. stoletja (Steinbeck, 1999). Intenzivni razvoj tehnologij in razvoj klonov, primernih za nasade hitrorastočih drevesnih vrst, je potekal v skandinavskih deželah ter v Italiji in srednji Evropi. V skandinavskih deželah je za najprimernejšo drevesno vrsto veljala vrba, medtem ko je v Italiji in srednji Evropi za to veljal topol, kateremu so se kasneje pridružile tudi druge drevesne vrste, kot npr. robinija, breza, jelša, kostanj. Na začetku je bil glavni namen nasadov hitrorastočih drevesnih vrst zagotoviti les za celuložno industrijo, v zadnjih dvajsetih letih pa postaja pomembnejša raba lesa v energetske namene. Zgodovinsko gospodarjenje s hitrorastočimi drevesnimi vrstami izhaja tudi iz panjevskega gospodarjenja, ki je najpogosteje skušal zagotavljati maksimalno produkcijo lesa v energetske namene.

Pri pregledu literature smo se omejili na vire, ki so večinoma plod raziskav na področju Evrope. Število strokovnih objav o nasadih hitrorastočih drevesnih vrst se je povečalo po konferencah o podnebnih spremembah (Rio de Janeiro 1992, Kyoto 1997), ko je več držav pričelo z izvajanjem programov za pospeševanje pridobivanja energije iz obnovljivih virov

energije. Objave najdemo v strokovnih revijah, publikacijah ob strokovnih posvetovanjih, objavah strokovnih institucij, diplomskih nalogah, knjižnih publikacijah ter kot internetne objave.

Department for Environment, Food and Rural Affairs (v nadaljevanju DEFRA) je leta 2002 izdala priročnik (DEFRA, 2002) z informacijami in nasveti glede gospodarjenja z nasadi hitrorastočih drevesnih vrst, ki vsebuje navodila za izbiro lokacije sadnje, tehnike sadnje, način gospodarjenja ter opis tehnologije, potrebne pri tovrstnem gospodarjenju. V tej publikaciji poudarjajo, da se lesni sekanci vedno bolj uporabljajo kot nadomestilo fosilnim gorivom in imajo s tem potencial za zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida. Najbolj primerni drevesni vrsti za nasade hitrorastočih drevesnih vrst sta vrba in topol.

Isto leto, kot je DEFRA izdala svoj priročnik, sta Tubby in Armstrong izdala priročnik z naslovom »Establishment and management of short rotation coppice« (Tubby in Armstrong, 2002). V njem je obsežen pregled obstoječe literature o nasadih hitrorastočih drevesnih vrst ter splošni napotki za gospodarjenje s tovrstnimi nasadi.

V okviru projekta Bioenergy scheme so decembra 2007 izdali priročnik z naslovom »Best practice manual for SRC willow« (Best practice manual for SRC, 2007), ki vsebuje napotke za gojenje nasadov hitrorastočih dreves vrbe, kateri služijo proizvodnji lesnih sekancev primernih kot vir lesne biomase. Priročnik zajema različna področja, kot npr. gojitvene ukrepe, ukrepe varovanja okolja, maksimiranje donosa nasadov ter doseganje ekonomske upravičenosti. Vodnik temelji na dosedanjih izkušnjah dela na Irskem in v drugih državah. Glede na pridobljene izkušnje in informacije pridelovalcev se priročnik po potrebi dopolnjuje in posodablja. Naslednja izdaja je bila leto kasneje, in sicer decembra 2008 (Best practice manual for SRC, 2008).

Hardcastle in sod. (2006) so v obsežni raziskavi v Veliki Britaniji proučevali vplive zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst na biodiverziteto, hidrologijo, bolezni in škodljivce ter na pokrajino. Za raziskovanje so izbrali deset različnih drevesnih vrst. Ugotovili so, da tovrstno gospodarjenje nima vpliva na prej omenjene elemente.

Spinelli s sodelavci (2008) v svojih člankih podrobno opisuje izsledke svojih raziskav na področju hitrorastočih nasadov topolov v Italiji. V sosednji državi se intenzivno ukvarjajo s hitrorastočimi drevesnimi vrstami. V manj kot petih letih so v Lombardiji osnovali 4.000 ha zunajgozdnih nasadov s hitrorastočimi drevesnimi vrstami, kar predstavlja več kot 75 % vseh površin s tovrstnimi nasadi v Italiji. Večina plantaž se nahaja blizu Brescie, Cremona in Pavie. Plantaže v severni Italiji so osnovane skoraj izključno s kloni topola, saj so to območja z visoko podtalnico, kmetje dobro poznajo to drevesno vrsto ter na razpolago so primerni kloni.

Strokovne objave na tem področju najdemo tudi v strokovnih revijah, kot je Biomass & Bioenergy, v kateri je bil objavljen članek avtorja Mead (2004), ki opisuje možnosti za večjo izkoriščenost produktivnosti nasadov. V tej reviji najdemo tudi prispevek Trinkausa (1998), ki govori o vplivu plantažnih nasadov na okolje na področju Avstrije. Prav tako najdemo tudi dva članka avtorjev Vande Walle in sod. (2007a in 2007b), ki na podlagi raziskav v Flandriji (Belgija) ugotavljajo v prvem prispevku proizvodnjo biomase hitrorastočih nasadov breze, javorja, topola in vrbe, starih 4 leta. V drugem prispevku na podlagi istih nasadov proučujejo proizvodnjo energije in možnost zmanjšanja emisij CO₂ v hitrorastočih nasadih. Po 4 letih rasti so Vande Walle in sodelavci med seboj primerjali nasade z zgoraj naštetimi drevesnimi vrstami. Največjo stopnjo preživetja so izmerili v nasadu vrbe (97,6 %) in nasadu javorja (96,8 %), medtem ko sta imela nasad topola z 86,3 % in nasad breze z 75,8 % nekoliko nižjo stopnjo preživelosti. Tudi v količini proizvedene biomase so bile opazne razlike, saj sta topol in vrba imela skoraj trikrat večjo produkcijo kot javor, breza pa je bila nekje vmes. Kot primerna alternativa topolu in vrbi na zemljiščih, ki so za ti dve vrsti neprimerna, avtor predlaga uporabo breze (*Betula pendula*). Z sekanci iz nasadov hitrorastočih drevesnih vrst v Flandriji proizvedejo 0,16 % celotne električne energije.

Schönnhart (2008) je proučeval razmere na področju hitrorastočih nasadov za območje Avstrije v delu z naslovom »Profitability of short rotation forestry in Austria.« V raziskavi je ocenil donosnost zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst v različnih scenarijih in najbolj optimalen način gospodarjenja za doseganje največje ekonomske koristi. Ugotavlja, da je gospodarjenje s tovrstnimi nasadi na področju Avstrije

dobičkonosno, vendar je odvisno od količine proizvedene lesne biomase v t suhe snovi, dolžine obhodnje, gostote sajenja, stroškov sadnje, sečnje, prevoza in skladiščenja ter možnosti pridobitve državnih subvencij (Schönnhart, 2008). V Evropski uniji znašajo subvencije za biomaso pridobljeno na kmetijskih površinah 45 €/ha (Schönnhart, 2008).

Za področje Slovenije je Gozdarski inštitut Slovenije v letu 2009 izdal publikacijo z naslovom »Zunajgozdni nasadi hitrorastočih drevesnih in grmovnih vrst« (Krajnc in sod., 2009a). V tej publikaciji so zbrane vse osnovne informacije za gospodarjenje z zunajgozdnimi nasadi v Sloveniji. Poleg te publikacije so v letu 2009 izdali tudi priročnik »Lesna goriva: drva in lesni sekanci: proizvodnja, standardi kakovosti in trgovanje« (Krajnc in sod., 2009b). To gradivo je eden izmed rezultatov evropskega projekta BiomassTradeCentres, ki so ga izvajali na Gozdarskem inštitutu Slovenije, v Italiji, Avstriji in na Poljskem. S priročnikom želijo izboljšati učinkovitost oskrbovalnih verig z drvami in lesnimi sekanci na regionalni ravni. Na trgu želijo spodbuditi preglednejše in pravilnejše trgovanje ter tako približati ponudbo povpraševanju po lesnem gorivu ustrezne kakovosti.

V slovenskih časopisih Delo in Večer so bili objavljeni članki na temo poskusnega pridelovanja lesne biomase v energetske namene (Božič, 2009 in Grošelj, 2008). Rudnik Trbovlje - Hrastnik je v letu 2009 zasadil plantažo hitrorastočih dreves vrbe na degradiranih rudniških površinah, kjer se je rast drevesc izkazala za slabo, vendar z visoko stopnjo preživetja (Božič, 2009). Prirastki na pilotnem drevesnem nasadu v drevesnici Zadobrova pri Ljubljani, ki je bil osnovan istočasno kot trboveljski, pa so bili zelo dobri, saj zemlja ni obremenjena s težkimi kovinami (Božič, 2009).

Mihelčič (2010) je ovrednotil različne vidike gospodarjenja s kratkimi obhodnjami ter z meritvami na izbranih vzorčnih ploskvah ugotovil produkcijski potencial trepetlike in robinije za gospodarjenje s kratkimi obhodnjami.

4 OPIS ZUNAJGOZDNIH NASADOV

Osnovanje zunajgozdnega nasada hitrorastočih drevesnih vrst je sestavljeno iz več faz. Najprej je potrebno izvesti pripravo tal, ki vsebuje drenažo zemljišča, odstranjevanje morebitnih panjev ter navoz humusa. Temu sledi oranje ter fino izravnavanje in brananje terena. Pred zasaditvijo izvedemo valjanje terena, po zasaditvi pa posejemo travno mešanico med vrstami dreves, saj s tem preprečimo odnašanje rodovitne prsti ter erozijo. Sadnja poteka s traktorsko gnanim strojem za sajenje rastlin, osebke sadimo v enojne ali dvojne vrste. Pomembno vlogo v hitrorastočih nasadih imata vzdrževanje in nega nasada. Nega je ključnega pomena predvsem v prvem letu po zasaditvi. Nasade je potrebno zavarovati pred zatravljanjem in zapleveljevanjem, kar dosežemo s košnjo trave. Ko drevesa zrastejo dovolj visoko, da jim plevel ne konkurira več, je izvajanje nege manj obsežno. Sečnjo nasada izvajamo vsakih nekaj let, odvisno od obhodnje. V večini primerov v velikih nasadih za sečnjo uporabljamo kmetijski samovozni silažni kombajn s prilagojeno rezalno - sekalnim sklopom in žagalnim ustjem za lesnate rastline. Sveže sekance odpeljemo v za to namenjena skladišča, od koder jih nato dostavimo porabnikom.

Lesni sekanci so nasekana lesna biomasa v obliki koščkov z določeno velikostjo delcev, ki se izdelujejo z mehansko obdelavo z ostrim orodjem, kot so noži. Lesni sekanci so nepravilne pravokotne oblike in značilne dolžine od 5 do 50 mm ter z majhno debelino v primerjavi z drugimi dimenzijami. Poznamo tudi grobe lesne sekance, kateri so po definiciji les, nasekan z ostrimi sekalnimi napravami, pri čemer je dolžina večine delcev bistveno daljša kot pri lesnih sekancih, oblika pa je bolj robata. Značilna dolžina grobih lesnih sekancev znaša od 50 do 150 mm (SIST – TS CEN / TS 14588:2004).

Značilnosti drevesnih vrst, ki so primerne za proizvodnjo biomase v energetske namene v nasadnih oblikah s kratkimi proizvodnimi cikli (3 - 5 let) (Premrl in sod., 2008):

- sposobnost zelo hitre rasti že v rani mladosti,
- sposobnost razmnoževanja s potaknjenci (možnost vzgoje genetsko identičnih osebkov),

- dobra moč odganjanja iz panja (proizvodnja biomase v večletnih zaporednih ciklikih z minimalnimi proizvodnimi stroški),
- sposobnost uspevanja tudi na rastiščih, ki niso primerna za rentabilno gojenje drugih vrst,
- tolerantnost za rast in uspevanje pri velikih gostotah sadnje (od 10.000 do 30.000 potaknjencev/ha),
- doseganje več zaporednih proizvodnih ciklov brez občutnega upada proizvodnje biomase in dodatnih zahtev po umetnem dognojevanju,
- obstoj visoko produktivnih klonov vrst in njihovih križancev primernih za uspevanje v različnih rastiščnih razmerah.

Za namene nasadov s hitrorastočimi vrstami se predvsem uporabljajo naslednje drevesne vrste (Mead, 2004; Hardcastle 2006): navadna breza (*Betula pendula*), črna jelša (*Alnus glutinosa*), siva jelša (*Alnus incana*), gorski javor (*Acer pseudoplatanus*), beka (*Salix viminalis*), bela vrba (*Salix alba*), črni topol (*Populus nigra*), trepetlika (*Populus tremula*), veliki jesen (*Fraxinus excelsior*), robinija (*Robinia pseudoacacia*) in še nekaj drugih tujerodnih vrst.

4.1 OBHODNJA IN ŽIVLJENJSKA DOBA

Dobo od osnivanja nasada do poseka oziroma žetve imenujemo obhodnja, ki ponazarja sečno zrelost sestojev, katera je prilagojena izbranim drevesnim in grmovnim vrstam ter načinu gospodarjenja (Krajnc in sod., 2009a). Podobno definicijo obhodnje najdemo tudi v klasični gozdarski literaturi (e.g. Kotar, 2005). Povprečni letni volumenski prirastek zunajgozdnih nasadov kulminira zelo zgodaj, še posebej pri svetloljubnih in pionirskih vrstah ter nekaterih klonih. Če ob tem upoštevamo še sečno zrelost pri največji zemljiški renti, lahko pričakujemo dobre ekonomske rezultate.



Slika št. 1: Diagram prikazuje razvoj nasada s hitrorastočimi drevesnimi vrstami (Agronomy institute, 2008)

Zunajgozdni nasad hitrorastočih drevesnih vrst je gosto nasajen, visoko donosen sestoj vrbe, topola ali katere druge vrste. Obhodnja teh nasadov je od 2- do 5- letna, mogoče so tudi daljše dobe, vendar se najbolj pogosto kmetovalci odločajo za 3 letno obhodnjo. Odvisna je od izbranih drevesnih vrst in posameznih klonov (DEFRA, 2002). Omejitve pri dolžini obhodnje lahko predstavlja tudi dovoljena maksimalna višina sestoja (npr. pod daljnovodi).

Glede na obhodnjo lahko zunajgozdne nasade hitrorastočih drevesnih vrst razdelimo v dve skupini. Prva so zunajgozdni nasadi z 2- do 3- letno obhodnjo, druga pa zunajgozdni nasadi s petletno obhodnjo. Za prvo skupino je značilna panjevska rast ter večja proizvodnja biomase v krajšem časovnem intervalu. Da dosežemo panjevsko rast moramo

potaknjence v prvem letu po sajenju odrezati, s čimer spodbudimo šopasto razrast. Sečnja in izdelava sekancev sta popolnoma avtomatizirani in potekata v enem koraku – praviloma gre za sečnjo s prilagojenim silažnim kombajnom. Sveže sekance lahko takoj dostavimo končnemu uporabniku, lahko pa jih dodatno sušimo na skladiščih. Zaradi načina sečnje je pomembno, da nasad posekamo po predvidenem načrtu (vsake dve ali tri leta – odvisno od izbranega klonskega materiala). Za drugo skupino nasadov, s petletno obhodnjo, je značilno, da imajo rastline drevesno obliko. Obhodnjo lahko po potrebi (npr. razmere na trgu) podaljšamo na 6 ali 7 let. Sečnja poteka s stroji za sečnjo ali z motorno žago. Sekance lahko izdelamo takoj na samem mestu, ali pa posekana drevesa pustimo, da se sušijo in sekance izdelamo kasneje. Glavna prednost teh nasadov je večja prilagodljivost časa sečnje in izbora cenovno najugodnejše tehnologije (Krajnc in sod., 2009a).

Kot že rečeno, je glavna značilnost nasadov panjevska rast, kar pomeni, da po vsakem poseku iz panja naslednjo pomlad zraste en ali več poganjkov. V prvem letu lahko drevo doseže tudi do 4 m v višino. Načeloma v prvih nekaj letih proizvodnega ciklusa prevladuje višinska rast, debelinska rast pa se poveča, ko se višinska rast zmanjša.

Življenjska doba nasada je doba, ki traja od osnovanja do konca izkoriščanja nasada. Ta doba v nasadih hitrorastočih drevesnih vrst lahko traja tudi do 30 let, preden postane popolna obnova nujna. Vendar je to odvisno od izbrane drevesne vrste in posameznih klonov (DEFRA, 2002).



Slika št. 2: Panjevsko rast so včasih izkoriščali za drva, danes pa nam služi tudi za pridobivanje lesnih sekancev v nasadih hitrorastočih drevesnih vrst (About coppicing, 2010)

4.2 PRIPRAVA TAL

Pri snovanju zunajgozdnega nasada hitrorastočih drevesnih vrst je potrebno veliko pozornosti nameniti pripravi tal, saj nasad načrtujemo za naslednjih 20 do 30 let. Posebna skrbnost pri pripravi načrta sajenja in pri samem sajenju dreves znatno poenostavi poznejše delo (npr. ustrezne vozne poti za stroje). Drevesa vrbe in topola so nezahtevna glede kakovosti tal, vendar pa zahtevajo zadostno količino padavin in vlažnost tal ter dobro oskrbo s talno vodo. Če v obdobju, ko poganjki rastejo in je drevo najbolj občutljivo (do sredine maja) ni padavin (dolžina korenin znaša 5 do 10 cm), je potrebno namakanje. Poleg naštetega je za dobro rast dreves potrebna tudi zadostna zračnost tal. V kolikor ta ni dosežena je potrebno tla še dodatno obdelovati. Če tla nimajo dovolj humusa ali so premalo zračena oziroma imajo nizko stopnjo mineralizacije dušika, jih je potrebno dodatno gnojiti z dušikom (Krajnc in sod., 2009a). Dela se lahko izvajajo le takrat, ko so tla

dovolj suha, da je možna uporaba mehanizacije in da ne pride do poškodbe tal (Tubby in Armstrong, 2002).

4.3 RASTNI DEJAVNIKI

Dejavniki, ki vplivajo na nasade hitrorastočih drevesnih vrst, so razpoložljivost vode, uravnavanje prisotnosti plevela, količina svetlobe ter temperatura.

4.3.1 Voda

Vrbe bodo dosegle dobro rast predvsem tam, kjer je zadostna vlažnost tal vsaj do globine 1 m. Drevesa lahko prenesejo sezonske poplave, vendar stalno poplavljanje vodi k propadu rastline. Na območju z večkratnimi poplavami moramo upoštevati dodatne omejitve, kot npr. izvajanje sečnje izključno pozimi (DEFRA, 2002). DEFRA ugotavlja, da optimalna količina letnih padavin za nasade vrb znaša od 600 do 1.000 mm, medtem ko Krajnc in sod. (2009a) predlagajo več kot 500 mm letno oz. več kot 300 mm v vegetacijskem obdobju.

4.3.2 Tla

Kot je že v opisu priprave tal omenjeno, so vrbe in topoli razmeroma nezahtevni glede kakovosti tal. Uspevajo lahko na talnih tipih vse od težkih ilovnatih do peščenih, prodnatih tal in na tleh prizadetih zaradi rudniške ali druge industrijske rabe. Optimalna tla so vlažna in dobro zračna ilovnata ali peščena tla. Osnovanje nasada na težkih ilovnatih tleh je lahko na začetku počasno, saj so spomladi tla mrzla, vendar se kasneje lahko nasad izkaže za visoko produktivnega. Če zadostna zračnost tal ni zagotovljena že z vrsto tal, je potrebno tla še dodatno obdelovati, priporočljivo do globine 40 cm (DEFRA, 2002). Vrednost pH naj bi bila med 5,5 in 7 za vrbe ter med 5,5 in 7,7 za topole, vendar raziskave kažejo, da določene varietete vrb in topola tolerirajo tudi pH vrednosti izven teh intervalov (Tubby in Armstrong, 2002).

4.4 SAJENJE

4.4.1 Sadike ali potaknjenci dreves

Drevesa so posajena spomladi v obliki potaknjencev ali sadik. Potaknjenci so primerni predvsem za snovanje nasadov s kratko obhodnjo, njihov premer mora biti od 1 do 2 cm ter dolžine najmanj 20 cm z vsaj dvema brstoma (slika št. 3). Obstajajo tudi potaknjenci dolžine 2 m, ki so dražji, a bolj primerni, saj korenine prej dosežejo podtalnico in je zato rast v prvem letu hitrejša, manjša pa je tudi ogroženost zaradi plevela. Sadike so visoke do 2 m in zaradi visoke cene pridejo v poštev le pri odpravljanju pomanjkljivosti obstoječih nasadov (polnjenje praznin zaradi odmrta posameznih potaknjencev), pri nasadih z daljšo obhodnjo (več kot 5 let) ter na površinah, kjer plevel in močno zatavljanje zadušita rast majhnih potaknjencev (Krajnc in sod., 2009a).



Slika št. 3: Potaknjenci vrbe
(Foto: Sinjur I., 24. 4. 2009 (levo), Klun J., 25. 4. 2009 (desno))

DEFRA (2002) priporoča sadike visoke od 1,5 do 3 m ter potaknjence od 18 do 20 cm, v njihovi publikaciji se vsi napotki in opisi nanašajo na vrbo, kot najbolj primerno drevesno vrsto za nasade hitrorastočih drevesnih vrst. Vrbe so lahko posajene kot sadike ali potaknjenci. Slednji so narejeni iz enoletnih vrb, posekanih med decembrom in marcem (ko so drevesa v dormanci). Potaknjenci morajo biti takoj posajeni ali shranjeni pri

temperaturi od - 2 do - 4 °C, pri čemer potaknjenci ostanejo živi po več tednov, sadike pa celo do 3 mesece.

Potaknjenci so 20 – 25 cm dolgi in v premeru merijo 1 cm. Drevesa prvo zimo porežemo, v pomladi bodo tako pogнали le 1- 3 poganjki. Za razliko od vrbe, imajo drevesa topola boljši donos, kadar imajo možnost rasti 4 leta ali več. Topolovi kloni, ki jih večinoma še razmnožujejo in gojijo v drevesnicah pri nas, so: 457, 618 (Lux), 709, M1 (Pannonia), S1-8, S6-7, S1-3 (Premrl in sod., 2008).

4.4.2 Tehnike sajenja

Sajenje potaknjencev lahko poteka s strojem v enojnih ali dvojnih vrstah, lahko pa tudi ročno. Kjer je zemljišče manjše, priporočajo ročno sajenje sadik na račun zmanjšanja stroškov. Pri mehaniziranem sajenju lahko po potrebi za sajenje potaknjencev prilagodimo stroj za sajenje krompirja ali druge zelenjave. Na večjih površinah se uporabljajo traktorsko gnani stroji za sajenje rastlin. Pri tem je potaknjence potrebno vstaviti ročno, stroj pa jih s pomočjo stisnjenega zraka ali hidravlično potisne v zemljo (Krajnc in sod., 2009a).



Slika št. 4: Sadnja potaknjencev s traktorjem John Deere 6820 (Foto: Klun J., 25. 4. 2009)

4.4.3 Čas sajenja

DEFRA (2002) priporoča sajenje v obdobju od zadnje zmrzali, vendar šele od februarja, če talni pogoji to dovoljujejo, do najpozneje junija. Poznemu sajenju se je drugače najbolje izogniti, saj je pomembno, da je prva rastna sezona pred zimsko sečnjo čim daljša. Drevesa topola sadimo zgodaj spomladi, pri tem se izogibamo pozebam. Krajnc in sod. (2009a) v publikaciji Gozdarskega inštituta Slovenije predlagajo sajenje od marca do najpozneje konca maja. Potaknjenci se olistajo po 3 do 4 tednih, odvisno od vremenskih razmer. Nato sledi obdobje razmeroma hitre višinske rasti do višine 10 cm, kar omogoči zaloga hranilnih snovi potaknjenca. Pozneje se začnejo pospešeno razvijati korenine.

4.4.4 Gostota sajenja

Sajenje v vrstah in gostota sajenja določata intervale sečnje, ki so odvisni tudi od zelenega končnega proizvoda, zemljišča, tehnik sečnje, ki so na voljo, ter od vrste klona. Pri tem velja pravilo, da čim krajša je obhodnja, tem gostejše je sajenje dreves in toliko višji so stroški investicije v prvem letu. Razlikujemo med enojnimi in dvojnimi vrstami. Enojne so priporočljive pri nasadih z 2- do 3- letno obhodnjo in tudi pri klonih z izjemno hitro rastjo v prvih treh letih. Trenutno se v dvojne vrste sadijo le vrbe, medtem ko se topoli sadijo v enojne vrste. Prednost slednjih je ta, da lahko sečnja poteka ne glede na tip stroja (Krajnc in sod., 2009a).



Slika št. 5: Za sadnjo potaknjencev na večjih površinah se uporablja traktorsko gnani stroj za sajenje rastlin (Energy planter) (Foto: Klun J., 25. 4. 2009)

Samo osnivanje novega nasada je eden izmed največjih stroškov pri nasadih hitrorastočih drevesnih vrst. Cena priprave zemljišča na saditev je načeloma stalna, odvisna je od stanja zemljišča pred zasaditvijo, na skupno ceno pa najbolj vpliva gostota sajenja. Le ta vpliva tudi na to, kako hitro nasad preraste celotno površino in s tem sam zatre plevel (Mead 2004).



**Slika št. 6: Vrbe ponavadi sadimo v dvojne vrste (levo), topole pa v enojne vrste (desno)
(Foto: Čebul T., 29. 9. 2010)**

Okvirna gostota nasaditve pri vrbi je 15.000 potaknjencev na hektar, vendar manjša gostota lahko vodi do večjih premerov dreves in posledično kakovostnejših sekancev, saj je delež lubja manjši. Gostota 12.000 osebkov/ha je priporočljiva tam, kjer je kvaliteta sekancev bolj pomembna kot količina. Vrbe praviloma sadimo v dvojnih vrstah 0,75 m narazen in z najmanj 1,5 m razmika med vsakim parom dvojnih vrst. Širine voznih poti dovoljujejo mehanizaciji dostop v plantaže. Pri razdalji 0,59 m med osebki dobimo standardno gostoto 15.000 osebkov/ha (DEFRA, 2002). Krajnc in sod. (2009a) predlagajo od 2,8 do 3 m široko razdaljo med vrstami, saj pri kratkih razdaljah med dvojnimi vrstami že pri rahlem zavijanju vozila tvegamo, da poškodujemo drevesa in vozilo. Za nasad vrbe s 3 – 5 letno obhodnjo priporočajo 2,5 do 2,8 m široko vozno pot med vrstami, 0,75 m širine med posameznimi drevesi v dvojni vrsti ter 36 – 44 cm razdalje med potaknjenci.

Večina novih varietet topola je vzgojenih tako, da dosegajo visok donos z enim deblom. Gostota sajenja je bolj redka kot pri vrbi, torej 10.000 – 12.000 osebkov/ha (Premrl in sod., 2008).



**Slika št. 7: Ročna sadnja potaknjencev s primerno razdaljo med potaknjenci
(Foto: Sinjur I., 24. 4. 2009)**

V publikaciji Zunajgozdni nasadi hitrorastočih drevesnih in grmovnih vrst (Krajnc in sod., 2009a) so podatki za gostoto sajenja nekoliko drugačni od zgoraj omenjenih. V gradivu razlikujejo gostoto glede na obhodnjo. Tako za nasade dreves z od 2- do 3- letno obhodnjo predlagajo visoko gostoto, ki je odvisna od vrste dreves in lahko variira od 5.000 do 16.000 potaknjencev na hektar. Od gostote potaknjencev so odvisne tudi razdalje med vrstami in razdalje med drevesi. Pri sečnji s prilagojenimi kmetijskimi stroji je pomembna širina voznih poti, saj morajo biti prilagojena predvidenim strojem. Zemljišče ima lahko največ 15 % naklon in mora biti zaradi gospodarne uporabe strojev veliko najmanj 2 hektarja.

Za nasade s pet ali več letno obhodnjo naj bo gostota manjša, in sicer med 1.000 in 5.000 dreves na hektar. Takšen način sajenja je primeren tudi za bolj strme terene. Sečnja poteka ročno z motorno žago ali s sodobnimi gozdarskimi stroji za sečnjo. Za razliko od kratke obhodnje je pri daljši možno puščanje posekanih dreves v nasadu, da se sušijo in iz njih kasneje zmeljemo zračno suhe sekance.

V Italiji imajo različno dolge obhodnje v nasadih hitrorastočih drevesnih vrst. Pri zelo kratki obhodnji se sečnja izvaja vsako leto, gostota sajenja je 10.000 potaknjencev/ha. Topoli so posajeni v dvojne vrste, z razmikom 1,8 m med dvojnimi vrstami ter 0,75 m med vrstama. Pri kraki obhodnji se sečnja izvaja v 2 do 3 letnih intervalih, pri tem je gostota

sajenja od 6.000 do 7.000 osebkov/ha. Topoli so posajeni v enojnih vrstah, s 3 m razmika med vrstami ter 0,5 – 0,6 m med posameznimi osebki. Za srednje dolgo obhodnjo so značilni 5 do 6 letni intervali, drevesa so prav tako posajena v enojne vrste, pri čemer znaša gostota 1.300 – 1.700 dreves/ha. V raziskavi so ugotovili, da lahko na odličnih tleh pri pravilni izbiri klona in ob doslednem izvajanju nege pričakujemo letno 30 – 35 ton svežih sekancev na hektar (Spinelli, 2006).

4.5 IZBIRA LOKACIJE IN NAČRTOVANJE NASADA

Primerne lokacije za nasade hitrorastočih drevesnih vrst so opuščene kmetijske površine in kmetijske površine z manj ugodnimi razmerami za pridelavo živil in krme. Na teh področjih so tovrstni nasadi dobrodošel vir prihodkov za kmetijska gospodarstva. Potencialna zemljišča so tudi vodovarstvena in kontaminirana območja, saj lahko lesna proizvodnja poteka brez gnojil in sredstev za zaščito rastlin. Torej so za nasade primerna prodnata in kamnita kmetijska zemljišča, nekdanji kamnolomi, lokacije v bližini železniških prog in cest, površine prizadete zaradi rudniške ali druge industrijske dejavnosti ter strme površine, kjer lahko zaradi poljedelske obdelave pride do večje erozijske ogroženosti. Na strmih terenih, kjer je možnost erozijske ogroženosti, je potreben drugačen način priprave zemljišča za sajenje. Obstajata dva načina, in sicer: prvi, pri katerem zemljišče pripravimo s prekopalnikom ali gozdarskim mulčerjem ter drugi, kjer priprava zemljišča poteka s plugom in brano ter je na koncu vključena tudi ozelenitev celotnega zemljišča (Krajnc in sod., 2009a), kar je prikazano na sliki št. 8.

Največji potencial so površine, ki jih ljudje opuščajo. Opuščajo pa jih zato, ker kmetijska pridelava ali ni več ekonomična ali pa so površine premajhne in ljudje iščejo nove dohodke. Takšne površine bi lahko uporabili za nasade, ki hitro dajejo lesno biomaso. V končni fazi je ta les lahko uporaben tudi za lesne plošče, ne samo za energetske namene (Hozjan, 2010).



**Slika št. 8: Z ozelenitvijo celotnega zemljišča se preprečita spiranje rodovitnih tal in talna erozija
(Foto: Klun J., 25. 4. 2009)**

Višina dreves pred posekom lahko doseže do 7 ali 8 m v višino, zato je potrebno pri izbiri lokacije predhodno presoditi vpliv nasada na bližnjo okolico, ekologijo in javni dostop, poleg vseh drugih operativnih parametrov. Prav tako je potrebno preučiti možnost erozije tal, saj imajo ti nasadi med ustanavljanjem majhno zastrtost tal. Na lahkih, peščenih tleh lahko pride tudi do vetrne erozije, na nagnjenih območjih pa do erodiranja zaradi močnih padavin. Priporočljiva velikost nasada je vsaj 3 ha, saj za zagotovitev ekonomičnosti investicije velja, da so večje plantaže bolj ekonomične. Pomembna je tudi izbira območja primerne za sečnjo, idealna so ravna območja ali območja z naklonom največ 7 %. Naklon pa v nobenem primeru ne sme presegati 15 % (DEFRA, 2002).

Pri načrtovanju nasada je pomembno, da je na obeh koncih nasada širina 8 m pravokotno na sajene vrste, torej širina voznega pasu, kjer lahko stroji obračajo. Prav tako je potrebno upoštevati širino pasu med dvojimi vrstami za dostop mehanizacije. Vozne poti je potrebno redno vzdrževati, ne smejo biti zaraščene z drevjem, priporočena je tudi košnja trave dvakrat letno. Dvojne vrste dreves morajo biti posajene vzdolž najdaljše stranice polja. Vrste morajo biti dovolj dolge, da se lahko doseže čim višja učinkovitost stroja, kar je

odvisno od tipa stroja ter njegove zmogljivosti (Best practice manual for SRC willow, 2007).



**Slika št. 9: Na novo osnovan zunajgozdni nasad hitrorastočih drevesnih vrst v Škalah pri Velenju
(Foto: Klun J., 25. 4. 2009)**

Ustanavljanje, gojenje in sečnja hitrorastočih nasadov je zelo specializirana dejavnost, ki zahteva od kmetovalca upoštevanje vseh omejujočih dejavnikov. Ti so: zahteva po varovanju okolja, dostopnost do nasada, ustrezna površina nasada, zahteve in omejitve pri načrtovanju nasada, stroški ustanavljanja nasada, stroški sušenja in transporta lesnih sekancev itd. (Best practice manual for SRC willow, 2008).

4.6 NEGA ZUNAJGOZDNIH NASADOV

Nasadi hitrorastočih drevesnih vrst dosegajo visoke količine biomase na enoto površine z majhnim številom pripomočkov in malo vloženega dela. V primerjavi z drugimi kmetijskimi kulturami ne potrebujejo veliko gnojil in fitofarmacevtskih sredstev. Čeprav gre pri nasadih dreves s kratko obhodnjo za ekstenzivno gospodarjenje, pa ne smemo pozabiti, da drevesa na začetku potrebujejo intenzivno nego. Pravočasna in strokovna nega dreves je najbolj pomembna pri gospodarjenju s tovrstnimi nasadi in je pogoj za uspeh.

Z izvajanjem nege nasadov poskrbimo, da potaknjenci v letu, ko so bili nasajeni in še leto za tem ostanejo zdravi. To dosežemo z zavarovanjem sestojev pred zatravljanjem in zapleveljevanjem. Hitrorastoči pleveli so za potaknjence velika konkurenca glede svetlobe, vode in hranilnih snovi. V naslednjem letu so potrebni le redki ukrepi ali pa sploh niso potrebni, saj drevesa praviloma prerastejo ves plevel. Odpadlo listje naredi na tleh zastirko, košate krošnje pa senco in tako preprečijo rast plevelu in travam. Vseeno je potrebno redno pregledovanje nasada, da v primeru pojava škodljivcev ali bolezni to pravočasno opazimo in nadalje ukrepamo (Krajnc in sod., 2009a).

Nasade hitrorastočih drevesnih ali grmovnih vrst ogrožajo tudi razne bolezni, kot sta na primer topolova in vrbova rja, žuželke iz družine lepencev (*Chrysomelidae*) ter rastlinojede živali. Slednje povzročajo škodo predvsem v času osnovanja nasada, zato so potrebni določeni zaščitni ukrepi. Več o naravnih škodljivcih je opisano v podpoglavju 4.6.3 Škodljivci in bolezni.

4.6.1 Odstranjevanje plevela

Za odstranjevanje plevela, kar je odločilnega pomena za razvoj nasada, je najbolje kombinirati mehanske in kemične metode. Mehansko odstranjevanje plevela zahteva več dela, vendar je vpliv na okolje s tem manjši. Prednosti takšne nege sta v večji ekološki sprejemljivosti in spodbujanju rasti korenin zaradi rahljanja zemlje oziroma povečanja zračnosti tal. Odstranjevanje plevela in trav bi se moralo izvajati po vsaki sečnji oziroma v vsakem vegetacijskem obdobju, ki sledi sečnji, oziroma vsakič, ko pleveli postanejo konkurenca potaknjencem.

S primernim herbicidom lahko poškopimo nasad ter s tem uravnavamo prisotnost plevela, ki je bil prisoten prvo leto. To naredimo pred brstenjem, drugače bodo drevesa poškodovana. Iz vsakega posekanega osebka požene 5 do 20 poganjkov, odvisno od varietete vrste. Po treh mesecih se bodo osebki obrasli in z zastorom krošenj ter posledičnim pomanjkanjem svetlobe pri tleh preprečevali rast plevelu (DEFRA, 2002).

Krajnc in sod. (2009a) so prišli do ugotovitve, da zaenkrat kot izvedljiv in optimalen način odstranjevanja plevela velja naslednji postopek:

1. predhodno škropljenje s herbicidi neposredno pred sajenjem;
2. obdelava tal (prekopavanje ali oranje in branje);
3. škropljenje celotne površine s herbicidi;
4. škropljenje podrasti s herbicidi;
5. večkratno mulčenje med drevesi.

Točke od številke 3 naprej niso obvezne, ampak jih upoštevamo le po potrebi (glede na zapleveljevanje in napad škodljivcev).

4.6.2 Gnojenje

Pogostost gnojenja je večinoma odvisna od značilnosti zemljišča in okoljskih dejavnikov, pred gnojenjem je priporočljivo analizirati tla. Večinoma gnojenje ni potrebno, saj se z odpadlim listjem in njihovo razgradnjo ustvari v tleh dovolj velika količina hranilnih snovi. Krajnc in sod. (2009a) priporočajo vsakoletno gnojenje, in sicer 50 kg hranilnih snovi na hektar, razen prvo leto, ko gnojenje ni potrebno, saj korenine še niso dovolj razvite, da bi lahko črpale hranilne snovi iz tal. V priročniku organizacije DEFRA so navedene nekoliko drugačne količine gnojenja, in sicer 40, 60, 100 kg ha⁻¹ leto⁻¹ dušika za 1., 2. in 3. leto. Če je vsebnost dušika dovolj velika še od prejšnjih gnojenj, oziroma je v tleh naravno prisotnega več dušika, je potrebno te količine primerno zmanjšati. Pri kislih tleh je na začetku priporočljivo apnenje, da dosežemo optimalno vrednost pH, tj. 5,5. Nadaljnje apnenje ni potrebno (Krajnc in sod., 2009a).

4.6.3 Škodljivci in bolezni

Poleg naravnih faktorjev, kot so suša, velike količine snega, veter in neurja, sestoje dreves ogrožajo tudi bolezni, kot so listna rja, odmiranje skorje ali odmiranje poganjkov. Od škodljivcev sta najbolj pogosta hrošča *Chrysomela vigintipunctata* in *Chrysomela populi*, ki ju je treba, če se preveč namnožita, tretirati s primernim insekticidom (Krajnc in sod., 2009a). Rja je najbolj pomembna bolezen hitrorastočih drevesnih vrst, povzroča jo gliva *Melampsora*. Rja lahko okuži liste in deblo ter se hitro širi po celem nasadu, če niso izvedeni ustrezni ukrepi, zato si prizadevajo vzgojiti klone odporne na rjo. Uporaba

fungicidov ni priporočljiva zaradi neekonomičnosti, praktičnih ter okoljevarstvenih razlogov (DEFRA, 2002).

Maček (2008) v svoji knjigi Gozdna fitopatologija opisuje topolovo rjo in vrbovo rjo. Topolova rja (*Melampsora populina*) okužuje listje topolov in povzroča okužbe na številnih kultivarjih, ki jih pri nas gojimo v nasadih. Na spodnji strani listov se poleti pojavijo svetlo ali pomarančnorumeni prašnati kupčki – ležišča letnih spor. Obolela drevesa lahko opazimo že od daleč. Neredko so tako okužene tudi sadike v drevesnicah. Blage okužbe s topolovimi rjami ne povzročajo gospodarskih škod. V primeru močnih okužb pa so rje lahko nevarne, ker obsežne prevleke urediniospor povzročajo nekroze tkiva, listje se suši in mnogo prezgodaj, že poleti, odpade. Zaradi zmanjšane asimilacije sadike v drevesnici in mlada drevesa v nasadih slabo rastejo, prvoletni poganjki ne dozoriijo ter pozimi zmrznejo. Topoli, ki so vsako leto močnejše okuženi, nimajo ustreznega prirastka, bolj so tudi podvrženi drugim boleznim, npr. topolovemu raku. Zlasti pri prezgodnjem odpadanju listov se brazgotine ne zacelijo dovolj naglo ter so lahko izvrstno vdorno mesto za spore topolovega raka. Topolove rje poleg neposrednih lahko torej povzroče tudi posredne škode. Posamezni kultivarji so različno odporni na topolove rje. Novejši kultivarji, npr. »I-214«, »I-154«, »Oxford« in drugi pa so domala povsem odporni. Vendar se pri žlahtniteljskem delu ne bi smeli zanesti na doseženo odpornost, saj lahko sčasoma postanejo neodporni. Zato ni priporočljivo zasajati velikih plantaž le z majhnim številom, četudi odpornih kultivarjev. V nasadih zatiranje za zdaj ni mogoče. V pošte v pride saditev odpornih kultivarjev. Malo obetavno je uničevanje haplontskih gostiteljev s herbicidi. Gospodarskih težav zaradi rje na topolih je zdaj sorazmerno malo, ker gojimo bolj ali manj odporne topolove klone.

Podobno kot pri topolovi rji, se tudi pri vrbovi rji (*Melampsora spp.*) na spodnji strani listov pojavijo ležišča letnih trosov. Ob hujši okužbi se listi zvijajo in posušijo. Na različnih vrstah vrb je znanih 17 vrst dvodomnih rj. Zmanjšanje okužbe je mogoče pri lesnatih vmesnih gostiteljih (macesen, jelka, trdoleska) s prostorsko izolacijo. Pri gojenju hitrorastočih vrb za pletenje so se obnesli poljsko odporni kloni. Pršenje s fungicidi pride v pošte v le v izjemnih razmerah, npr. v drevesnici (Maček, 2008).

Hrošči iz družine lepenci (*Chrysomelidae*) so najbolj nevarne žuželke za hitrorastoče drevesne vrste. Njihova številčnost se lahko spomladi hitro poveča. Tako odrasle žuželke kot tudi larve se prehranjujejo z listi, zato lahko povzročijo zaskrbljujočo škodo na gostiteljskih rastlinah, npr. odstranitev 90 % listne površine poleti lahko zmanjša donos nasada tudi za 40 %. Adulti preživijo zimo v razkrajajočem lesu, pod skorjo dreves ali v podobnih habitatnih tipih v bližini nasada. Z otoplitvijo pomladi hrošči odletijo na rob nasada, kjer začnejo z zrelostnim žretjem in razmnoževanjem ter se širijo globlje v nasad. Številčnost prisotnih hroščev ugotavljamo tako, da stresemo drevesa in preštejemo hrošče na površini 1 m² tal. Če je na tej ploskvi prisotnih 100 ali več osebkov, lahko uporabimo lokalne insekticide na območju, kjer je populacija hroščev zgoščena. V kolikor so žuželke bolj razširjene, pa z ustreznimi škropilnimi sredstvi poškopimo robove nasada ter s tem preprečimo širjenje žuželk. Bolj obsežno škropljenje je predrago in neekološko, saj v kolikor insekticidi niso specifični le za določenega škodljivca, lahko prizadenejo tudi neškodljive in koristne žuželke. Za populacije teh hroščev so značilne fluktuacije, saj je njihova številčnost različna skozi leta. S sadnjo mešanih varietet vrbe lahko nekoliko omejimo razvoj in širjenje hroščev (DEFRA, 2002).



Slika št. 10: Rdeča topolovka (*Chrysomela populi*)
(Lieselotte, 2009)

Poleg žuželk lahko prizadenejo nasade tudi rastlinojede živali (zajec, srnjad) predvsem v času osnovanja nasada. Kjer je populacija srnjadi majhna, so škode na drevesih zanemarljive. Tam, kjer pa je prisotnost divjadi velika in s tem tudi povzročena škoda, pa je potrebno premisliti o smislu obstoja nasada na takšni lokaciji. Strošek postavitve zaščitne ograje je namreč občutno previsok v primerjavi s povzročeno škodo (Best practice

manual for SRC willow, 2007). Zaščitne mreže proti zajcem je najbolje zagotoviti za prvi dve leti oziroma kar do prve sečnje. Mreže naj bodo vkopane v tla in obrnjene navzven. DEFRA je izdala zloženko o ravnanju z zajcem v nasadih hitrorastočih drevesnih vrst (Mckillop in Dendy, 2000).



**Slika št. 11: Objedeni poganjki zaradi divjadi
(Foto: Čebul T., 29. 9. 2010)**

Nizke žičnate ograje, ki so namenjene omejitvi dostopa zajcem v nasad, so primerna zaščita, saj jim preprečujejo kopanje rogov pod samo ograjo, vendar so te ograje drage in potrebne rednega pregledovanja in vzdrževanja. Za razliko od teh ograj pa sočasne in prestavljive ograje iz lahke žice ali visoko natezne plastike učinkovitejše in cenejše, saj se z njimi lahko prihrani tudi do 25 % finančnih sredstev. V uporabi so ponekod tudi električne ograje, pri katerih je potrebno redno pregledovanje, saj lahko npr. veja prekine električni tok v ograji. Tovrstne ograje so primerne bolj kot začasen ukrep, kot pa za stalno uporabo (Tubby in Armstrong, 2002). Problem objedanja dreves zaradi divjadi se lahko omili tako, da se ob robu nasada zasadi drevesne vrste, ki jih divjad ne objeda, kot npr. robinija (Schönhart, 2008).

4.6.4 Rekultivacija

Ko želimo odstraniti nasad, moramo po zadnji zimski sečnji panje pustiti v tleh, da pomladi spet poženejo poganjke. Ko so ti poganjki visoki več kot 15 cm, celoten nasad poškropimo s posebnim herbicidom za uničevanje vrb. S tem dosežemo odmrtnje poganjkov in jih tako lahko skupaj s panji zmulčamo v zgornjih 5 – 10 cm zemlje. Območje prvo leto zatravimo, drugo leto pa gojimo kakšno drugo kulturo. Na ta način bo območje ponovno primerno za sajenje vrb po 18 - 24 mesecih (DEFRA, 2002). Topolovi nasadi so težji za odstranitev kot vrbovi nasadi, saj imajo razvejan koreninski sistem z glavno korenino, zato je za odstranjevanje panjev potrebna uporaba rovokopača.

Krajnc in sod. (2009a) ugotavljajo, da je za uspešno odstranitev nasada potrebno po zadnji sečnji odstraniti panje in korenine do globine približno 35 cm. Pri tem se je potrebno tudi odločiti ali moramo s plugom ali mulčerjem obdelati celotno površino ali samo širino med vrstami, kjer so bila posajena drevesa. Pri tej odločitvi moramo upoštevati starost nasada, način sadnje ter širino vozne poti. Sprememba rabe zemljišča iz nasada drevesnih ali grmovnih vrst nazaj v kmetijsko rabo je ob strojih, ki jih je trenutno mogoče dobiti na trgu, mogoča brez težav. Po odstranitvi nasada je ugodneje za zemljišče posejati koruzo ali krmne posevke kot pa žito.

4.7 SEČNJA IN DONOS NASADOV

Sečnja v nasadih hitrorastočih drevesnih vrst poteka odvisno od tipa nasada (izbrane drevesne vrste in posamezni klone). Sečnjo izvajamo pozimi, od sredine oktobra do začetka marca, torej potem ko odpadejo listi in pred ponovnim brstenjem. Če meljemo sekance iz še olistanih dreves, bo kakovost sekancev slabša. Način sečnje je potrebno določiti že pred pripravo zemljišča in začetkom sajenja. Za sečnjo v nasadih s kratko obhodnjo obstajajo trije osnovni načini sečnje (Krajnc in sod., 2009a):

a) Sečnja z motorno žago

Ta je primerna predvsem za nasade z obhodnjo 5 ali več let. Pri tem načinu sečnje potrebujemo dva delavca, en delavec dela z motorno žago, drugi pa z vzvodom usmerja podiranje posameznih osebkov. Posekani les prepeljemo z gozdarsko prikolico ali

traktorjem na začasno skladišče, kjer se drevje nato suši. S tem se vsebnost vode zmanjša za polovico, in sicer s 50 % na skoraj 25 %. Drevesa, ki so bila prek poletja skladiščena, jeseni predelamo v sekance. Tako je mogoče prihraniti stroške skladiščenja in sušenja ter stroške dragih strojev za sečnjo. Vendar je strošek vloženega človeškega dela visok in se zato tovrstna sečnja uporablja le pri nasadih z večletno obhodnjo, pri neprehodnih območjih ter za majhne površine.

b) Strojna sečnja

Pri obhodnji 5 let ali več se uporabljajo gozdarski stroji za sečnjo. Če je les namenjen nadaljnji predelavi, drevesa oklestimo, okrogli les gre v predelavo, vejevina pa v energetske namene. V kolikor pa je les namenjen zgolj v energetske namene, pa posekano drevje pustimo na začasnem skladišču, da se suši in jih kasneje zmeljemo v sekance.

c) Sočasna strojna sečnja in izdelava sekancev

Ta način sečnje je trenutno najpogostejše uporabljan način pri sečnji nasadov hitrorastočih drevesnih vrst. Stroj za sečnjo panjevce poreže in hkrati izdelava sekance. Kot ekonomičen in učinkovit se je izkazal kmetijski samovozni silažni kombajn s prilagojeno rezalno-sekalnim sklopom in žagalnim ustjem za lesnate rastline. Tovrsten način sečnje uporabljamo samo za nasade z drevesi s kratko obhodnjo (2 do 3 leta), saj premer posameznega drevesa ne sme biti večji od 12 do 15 cm. Omeniti pa je potrebno, da čeprav so prednosti te sečnje v hitrosti, visoki produktivnosti, ugodni ceni in majhnemu vložku dela, ta način ni primeren za sečnjo na strmih terenih. Opisano tehniko poseka lahko imenujemo tudi »žetev« oz. angl. »harvesting« (Hardcastle, 2006).



Slika št. 12: Žagalno ustje za lesnate rastline na silažnem kombajnu (FAO)

Kot smo že omenili, je na Švedskem bolj uveljavljena vrba, medtem ko je v Nemčiji in Italiji v ospredju topol. V primerjavi z vrbo je topolov les lažji in bolj krhek, topolovi panji poženejo manj poganjkov, a so ti večji in debelejši. Te lastnosti imajo seveda velik vpliv na način izvajanja sečnje. To so ugotavljali (Spinelli in sod., 2008) v obsežni raziskavi, v kateri so želeli proučiti delo s prilagojenimi silažnimi kombajni za delo s hitrorastočimi drevesnimi vrstami ter ugotoviti njihovo učinkovitost ter morebitne pomanjkljivosti. Velikosti ploskev, zajetih v raziskavo, so variirale od 0,6 do 9 ha, letni donos pa od 7 do 70 ton svežih sekancev na hektar. Na vseh ploskvah je bil uporabljen klon »Pegaso« in »AF2«. Proces sečnje je bil upočasnen zaradi več dejavnikov, kot npr. mehanskih okvar, utrujenosti strojnika, motenj stroja ... Dejanska sečnja predstavlja 71 % celotnega obratovalnega časa stroja, ostalih 29 % časa pa je sestavljenih iz vzdrževanja stroja (13 %), čakanja na odvoz sekancev (12 %), prestavljanja stroja v nasadu (2 %) ter odmorov (2 %). Raziskava kaže potrebo po optimiziranju procesa, saj neproduktivni čas predstavlja več kot eno četrtino celotnega časa. Neproduktivni čas lahko zmanjšamo z boljšim načrtovanjem dela (pravočasni odvoz sekancev s prikolico) ter rednim vzdrževanjem. Najboljši uspeh lahko dosežemo samo, če so pglavilni dejavniki uresničeni. To so dobri terenski pogoji, ustrezna izbira stroja, velika gostota osebkov ter primerna medvrstna širina. Iz izsledkov raziskave so določili model za ugotavljanje produktivnosti sečnje in s tem povezanih stroškov. Ta je funkcija naslednjih dejavnikov: gostota osebkov, dolžina vrst, tip stroja ter pričakovani delež neproduktivnega časa.

Pri nasadih hitrorastočih drevesnih vrst torej lahko uporabimo metodo neposrednega mletja sekancev, kjer drevesa posekamo in jih sproti zmeljemo v sekance. Tovrstna metoda je učinkovita, a je skladiščenje in sušenje svežih sekancev delikatna zadeva. Sekanci se lahko segrejejo do 60 °C v 24 urah in se začnejo razkrajati. V procesu razkrajanja se energetska vrednost sekancev zniža, prav tako pa pride tudi do glivičnih in bakterijskih okužb lesa. Ker so sekanci potrebni skozi celo leto, je skladiščenje, sušenje in s tem preprečevanje razkrajanja lesa velikega pomena. Prisilno sušenje sekancev trenutno velja za neekonomično (DEFRA, 2002).

Za državo, kot je Slovenija, je uvedba specialnih strojev namenjenih izključno gospodarjenju z nasadi hitrorastočih drevesnih vrst nesmotrna. Izkoriščenost strojev je zaradi omejenih površin, razpršenosti nasadov ter žetve samo v zimskem času zelo majhna.



Slika št. 13: Sečnja in izdelava sekancev s prilagojenim samovoznim silažnim kombajnom z nameščenim žagalnim ustjem (Slovenski vremenarski blog, 2009)

Količina proizvedene lesne mase na hektar se razlikuje glede na zemljišče in vrsto dreves (preglednica št. 1). Na ugodnih zemljiščih je s topoli možno doseči večji donos kot z vrbami. Količina proizvedene lesne mase je odvisna od drevesne vrste, dolžine obhodnje, kakovosti tal in od intenzivnosti nege. Ustrezno gospodarjenje z nasadi hitrorastočih drevesnih vrst ima velik vpliv na končno količino proizvedene lesne mase in s tem povezanim donosom dejavnosti. Količina proizvedene lesne mase se ponavadi podaja v tonah suhe snovi (absolutno suh les) na hektar na leto ($t \text{ atro/ha/a}$) (Krajnc in sod., 2009a). Tuji avtorji (Mead, 2004; Hardcastle 2006; Schönhart, 2008) navajajo zelo različne ocene donosov suhe snovi, in sicer od $2 \text{ t atro/ha letno}$ (zelo slabi pogoji) do $50 \text{ t atro/ha letno}$ (optimalni pogoji, ekstremne vrste, tropsko podnebje). V primerjavi s klasičnim gospodarjenjem z gozdom je donos iz zunajgozdnih nasadov približno 1,5 krat večji, izraženo v teži (Mihelčič, 2010).

Mihelčič (2010) je v raziskavi v okviru svoje diplomske naloge ocenjeval lesno biomaso na ploskvah z robinijo in trepetliko. Ugotovil je, da v nasadu trepetlike lahko pričakujemo letno 8 t/ha sveže biomase, suhe snovi pa za polovico manj, torej 4 t/ha letno. Pri robiniji so te vrednosti višje, in sicer 13 t/ha letno sveže biomase ter 6,5 t/ha letno suhe snovi. Kot vidimo, sveža lesna biomasa v grobem vsebuje 50 % vode. Razliko v biomasi med drevesnima vrstama pripisuje poleg vrstni specifikki tudi dejstvu, da je sestoj robinije panjevski, sestoj trepetlike pa je nastal s spontano nasemenitvijo.

Preglednica št. 1: Podatki o proizvodnji vrb in topolov, izraženi v masi suhe snovi na hektar (Zunajgozdni nasadi hitrorastočih drevesnih in grmovnih vrst, 2009: 11)

Rastišče	Manj ugodno	Ugodno	Optimalno
Topol	7 – 9 t atro	10 – 15 t atro	16 – 25 t atro
Vrba	7 – 9 t atro	10 – 14 t atro	15 – 20 t atro

V primerjavi z gozdnimi sekanci imajo sekanci dreves iz zunajgozdnih nasadov navadno večji delež skorje, kar pa pri izgorevanju pomeni večji delež pepela. Kurilnost naravnega lesnega materiala iz nasadov hitrorastočih drevesnih ali grmovnih vrst je v povprečju 18,8 MJ/kg_{daf}. Za primerjavo, kurilnost sečnih ostankov pri iglavcih je med 19,5 MJ/kg_{daf} in 20 MJ/kg_{daf}, pri listavcih pa 18,4 MJ/kg_{daf} do 19,1 MJ/kg_{daf} (SIST –TS CEN/TS 14961:2005).

4.7.1 Ekonomičnost zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst

Na ekonomičnost nasadov vplivajo količina proizvedene lesne mase v t suhe snovi, stroški proizvodnje, velikost nasada, dolžina transportnih poti (oddaljenost od večjih porabnikov sekancev) in tržne razmere (Krajnc in sod., 2009a). Z ekonomskega stališča želimo pri hitrorastočih nasadih doseči optimum med enkratnimi stroški za osnovanje nasada, periodičnimi prihodki od sečnje nasada, stalnimi stroški za vzdrževanje nasada in večanjem obresti na kapital z daljšanjem dolžine ciklusa (Hardcastle, 2006).

Donosnost nasadov in cena lesne biomase na trgu variira med posameznimi avtorji zaradi pomanjkanja praktičnih izkušenj pri gojenju in pridobivanju lesne biomase iz zunajgozdnih nasadov. Glede talnih in klimatskih razmer so naši podatki najlažje primerljivi s sosednjo Avstrijo, vendar pa se od njih precej razlikujemo glede tržnih razmer. Avstrijski trg z lesno

biomaso iz zunajgozdnih nasadov je bolj razvit, raven povpraševanja je večja, prav tako je večji tudi delež raziskav na tem področju. V Sloveniji trenutno obstajajo le tesni nasadi hitrorastočih drevesnih vrst. Zaradi vprašanja upravičenosti tovrstnih nasadov v primerjavi s kmetijskimi površinami, pri nas ni realno pričakovati razvoja trga in s tem tudi možnosti državnih subvencij.

Stroške osnovanja nasada sestavljajo strošek priprave tal, strošek nabave sadik in sajenje, strošek zatiranja plevelov v prvem letu po zasaditvi, strošek gnojenja, strošek postavitve zaščitne ograje pred divjadjo ter strošek zaščite pred boleznimi in škodljivci. Z daljšanjem proizvodne dobe se stroški osnovanja in vzdrževanja nasada porazdelijo na več let in so tako manjši. Krajnc in sod. (2009a) ugotavljajo, da je največ denarja mogoče prihraniti pri transportnih stroških in stroških sečnje. Ti stroški lahko znašajo več kot 80 % skupnih letnih stroškov. Letna proizvodnja nasadov s kratko obhodnjo je bolj donosna, čim bliže uporabnikom (npr. toplarne, kmetije, ki pridobivajo lesno biomaso, gospodinjstva) je nasad. Stroški sečnje in transporta ne smejo presegati meje 20-25 €/t sveže snovi, drugače je gospodarjenje z nasadi hitrorastočih drevesnih vrst neekonomično.

Odkupna cena sekancev se določi glede na težo in vlažnost lesa. V praksi cene variirajo glede na lokacijo in naročnika. Ena tona suhih sekancev stane približno od 75 € do 85 € (Krajnc in sod., 2009a). Cena svežih sekancev se prilagodi glede na vsebnost vode. Naraščajoča poraba in s tem tudi večanje trga lesne biomase bo prav gotovo stabilizirala ceno lesnih sekancev.

V severni Italiji so nasadi hitrorastočih dreves zasajeni izključno s topolom. Razlikujejo med tremi različnimi sistemi gospodarjenja, in sicer: zelo kratke obhodnje (1 leto, 10.000 osebkov/ha), kratke obhodnje (2-3 leta, 6.000-7.000 osebkov/ha) in srednje obhodnje (5-6 let, 1.300-1.700 osebkov/ha) (Spinelli, 2006). Stroški nasada so različni glede na vrsto sistema (preglednica št. 2). Strošek osnovanja nasada variira glede na gostoto sajenja, zato so pri sistemih z 1-letno obhodnjo, kjer je gostota sajenja največja, stroški osnovanja nasada zelo veliki (Spinelli, 2006).

Preglednica št. 2: Stroški osnovanja nasada glede na dolžino obhodnje (Spinelli, 2006)

Vrsta sistema	Enota	Zelo kratka obhodnja	Kratka obhodnja	Srednja obhodnja
Dolžina obhodnje		1-letna	2-letna	5-letna
Oranje	€/ha	250	250	250
Odstranjevanje plevela	€/ha	150	150	150
Gnojenje	€/ha	250	250	250
Sadnja	€/ha	700	500	350
Potaknjenci	€/ha	2640	1540	540
Strošek osnovanja	€/ha	3990	2690	1540
Vzdrževanje	€/leto	400	200	120

4.8 GOSTOTA VRBOVEGA LESA

Gostota lesa je ena izmed pomembnih fizikalnih lastnosti vrbovega lesa. Spodaj opisujemo različne vrste gostot ter njihove vrednosti, ki jih najdemo v literaturi. V poglavju 6.3 so podani izračuni za različne gostote lesa.

Fizikalne lastnosti: gostota $\rho_0 = 270 \dots 330 \dots 380 \text{ kg/m}^3$ (Wagenführ, 1996),

gostota $\rho_{12 \dots 15} = 290 \dots 350 \dots 420 \text{ kg/m}^3$ (Wagenführ, 1996),

gostota $\rho_{\text{sveže stanje}} = 750 \dots 990 \text{ kg/m}^3$ (Wagenführ, 1996),

$R = 0,45 \text{ g/cm}^3$ (Dietz, 1975), kjer

$\rho_{12 \dots 15}$ pomeni gostoto zračno suhega lesa (nem. Bohdichte), tj. pri lesni vlažnosti, ki je v ravnovesju z »zunanjo« klimo celinske Srednje Evrope; $\rho_{\text{sveže stanje}}$ pomeni gostoto svežega lesa (nem. Rochdichte); ρ_0 pomeni gostoto v absolutno suhem stanju (nem. Darrdichte) oz. normalno gostoto. To je gostota »absolutno« (bolje sušilnično) suhega lesa; R je osnovna gostota. Ta se izračuna kot količnik med maso absolutno (sušilnično) suhega lesa in maksimalnim volumnom, kot ga ima svež les (Torelli, 1998).

Na splošno lahko trdimo, da je spodnja meja gostote pogojena mehansko, zgornja pa fiziološko. Les z zelo nizko gostoto ne bi bil dovolj trden, les z zelo visoko gostoto pa ne bi opravljal svoje osnovne vloge, tj. transporta vode in skladiščenja asimilatov (Torelli, 1998).

4.9 VPLIVI GOSPODARJENJA Z NASADI HITRORASTOČIH DREVESNIH VRST NA OKOLJE

Vplive tovrstnega gospodarjenja lahko razdelimo na štiri različne sklope:

- vplivi na biodiverziteto,
- vplivi na krajino ter
- vplivi na talne lastnosti in hidrološke razmere.

Hardcastle (2006) v svojem delu opozarja na osiromašenje biodiverzitete v primeru nasadov hitrorastočih drevesnih vrst v primerjavi s sonaravnim gospodarjenjem z gozdom. Zmanjša se število vrst v drevesni plasti, poleg tega pa je osiromašena tudi pestrost zeliščne plasti. S panjevim gospodarjenjem se zmanjša tudi genetska pestrost med osebki iste vrste. Poleg naštetega je prizadeta tudi vrstna pestrost favne zaradi monokulturnih nasadov ter odsotnosti odmrle dendromase.

Za čim manjši vpliv na krajino Trinkaus (1998) predlaga naj bodo nasadi čim bolj drobno strukturirani, žetve sosednjih nasadov naj ne bi potekale v istem letu, večje površine se naj posekajo v več letih z delitvijo na manjše ploskve ter nasadi naj bodo sestavljeni iz zmesi več različnih drevesnih vrst oz. klonov.

Vpliv proučevanih nasadov na talne lastnosti je podoben vplivu kmetijstva, to pomeni, da je tla potrebno dognojevati, v sušnih predelih namakati, zatirati plevel ipd. V primeru daljših obhodenj je vpliv podoben vplivu gozda na tla. Daljše obhodnje naj bi zagotavljale zadostno količino opada ter bogatenje tal z bujno rastjo in odmiranjem podzemne biomase. Zaradi pomembnosti opada na tla se skoraj izključno uporabljajo listavci namesto iglavcev za nasade hitrorastočih nasadov (Hardcastle, 2006). Žetev nasada je najbolj primerna v času zimske dormance, saj se večina hranil iz nadzemnega dela preseli koreninski sistem in s tem zagotavlja bujno razrast iz panjev v začetku novega proizvodnega cikla. Sečnja v zimskem času je, kot že vemo, primerna zaradi manjših poškodb tal zaradi mehanizacije. Zbitost tal zaradi gospodarjenja s hitrorastočimi nasadi ni kritična, saj je uporaba mehanizacije minimalna, lahko jo v določeni meri omejimo tudi na čas, ko so tla manj

občutljiva (ko so zmrznjena ali osušena). Z daljšimi obhodnjami se možnost zbitosti tal zmanjša.

Poleg pozitivnega vpliva na tla (zmanjševanje nevarnosti plazenja, erozije in izpiranja tal) Hardcastle (2006) opisuje tudi pozitiven vpliv nasadov na hidrološke razmere. Imajo veliko sposobnost intercepcije, zadrževanja velike količine vode v tleh, precejšnje evaporacije (sposobnost izsuševanja zamočvirjenih tal), zmanjševanja površinskega segrevanja tal in posledično izhlapevanja kapilarne vode.

Biomasa je CO₂ nevtralen vir energije, saj so toplogredni plini, ki nastajajo s sežigom ali gnitjem lesne biomase, del naravnega kroženja ogljika v atmosferi in so v ravnovesju s sposobnostmi gozda, da preko fotosinteze ogljikov dioksid razgradi v kisik in ogljik (Klemenc in sod., 2003). Izpusti zaradi osnovanja, vzdrževanja in sečnje nasada hitrorastočih drevesnih vrst so ocenjeni na 0,7 t CO₂/ha letno, medtem ko se v nekaterih drevesnih vrstah, primernih za nasade hitrorastočih drevesnih vrst, skozi 100 – letno obdobje povprečno uskladišči od 200 do 350 t CO₂/ha letno (Vande Walle, 2007b).

4.10 PREDNOSTI IN SLABOSTI ZUNAJGOZDNIH NASADOV

Prednosti zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih ali grmovnih vrst so (Krajnc in sod., 2009a):

- z vidika proizvodnje biomase so nasadi hitrorastočih listavcev najproduktivnejše oblike nasadov dreves;
- po prvi sečnji se nasadi obnavljajo sami z odganjanjem iz panjev;
- pridobivanje biomase v nasadih je enostavnejše od gospodarjenja z gozdovi;
- letni proizvodni stroški so relativno nizki;
- zaradi majhnih omejitev glede lastnosti zemljišč pridejo v poštev in so celo priporočljiva območja, ki za druge kmetijske kulture niso primerna;
- poleg ekonomičnih obstajajo tudi ekološke prednosti. Nasadi dreves s kratko obhodnjo ustvarjajo zaščito pred vetrom, poživijo pokrajino, zmanjšajo nevarnost erozije in dajejo zavetje živalim;

- zagotavljanje zaposlitev na kmetijah v zimskem obdobju (čas sečnje zunajgozdnih nasadov v času, ko ni drugega dela na poljih);
- nasadi vrb so v spomladanskem času primerni tudi za pašo čebel;
- remediacijski nasadi omogočajo čiščenje vode z možnostjo uporabe vode, bogate z mineralnimi hranili (vmesni pas med polji in ob vodotokih), preusmeritev odpadnih voda za namakanje zunajgozdnih nasadov in s tem čiščenja podtalnice.

Slabosti zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih ali grmovnih vrst so (Krajnc in sod., 2009a):

- kmetje so zaradi tako dolgoročnega projekta negotovi;
- prehod na proizvodnjo lesa v zunajgozdnih nasadih zahteva novo znanje in nove tehnologije,
- zaradi visoke vsebnosti vode se lahko les neposredno energetsko uporabi samo v večjih energetskih objektih (toplarnah in elektrarnah), v nasprotnem primeru je potrebno dodatno sušenje;
- visoka začetna investicija, dohodek sledi šele po nekaj letih (odvisno od dolžine obhodnje in življenjske dobe nasadov);
- popolna mehaniziranost del je mogoča samo na zemljiščih, ki imajo naklon manjši od 15 %;
- zaradi majhne gostote lesa in visokih transportnih stroškov je treba sekance uporabiti v neposredni bližini. Povprečna transportna razdalja praviloma ne sme biti večja od 10 km.

4.11 ZAKON O GOZDNEM REPRODUKCIJSKEM MATERIALU

Zakon določa pogoje za pridelovanje, trženje in uporabo gozdnega reprodukcijskega materiala; obveznosti oseb, ki se ukvarjajo s pridelovanjem, trženjem in uvažanjem reprodukcijskega materiala; strokovne naloge in postopke v zvezi z izvorom, kakovostjo in istovetnostjo reprodukcijskega materiala; pridobivanje, uporabo in izmenjavo podatkov in informacij; rezerve semenskega materiala in gozdno gensko banko; stroške; organe, ki izvajajo ta zakon, ter inšpekcijski nadzor (Zakon o gozdnem reprodukcijskem materialu, 2002).

Namen zakona je zagotoviti pridelovanje in trženje kakovostnega in rastišču prilagojenega reprodukcijskega materiala, ki omogoča trajno in optimalno delovanje gozdnih ekosistemov ter njihovo obnavljanje v skladu z načeli varstva gozdnih genskih virov.

Reprodukcijski material po tem zakonu obsega semenski material, dele rastlin in sadilni material tistih drevesnih vrst in umetnih križancev, ki se uporabljajo zlasti za obnovo gozdov s sadnjo in setvijo, pogozdovanje, snovanje in vzdrževanje trajnih zaščitnih ali protierozijskih pasov gozdnega drevja ter snovanje in vzdrževanje plantaž gozdnega drevja. Semenski material so semena, storži, plodovi in soplodja, namenjeni setvi oziroma vzgoji sadik. Deli rastlin so potaknjenci, material za potaknjence, izsečki ali embriji za mikropropagacijo, popki, grebenice, korenine, cepiči in katerikoli deli rastlin, namenjeni za vzgojo sadilnega materiala. Sadilni material so rastline, vzgojene iz semena (sadike), delov rastlin (ukoreninjenci) in puljenk (rastlin iz naravnega pomlajevanja) ter puljenke.

Reprodukcijski material, ki se trži, mora izpolnjevati pogoje, določene z Zakonom o gozdnem reprodukcijskem materialu, in pogoje, določene s predpisi o zdravstvenem varstvu rastlin. Torej, biti mora primerno kategoriziran, zanj mora biti pridobljeno glavno spričevalo o istovetnosti reprodukcijskega materiala, mora biti ustrezne kakovosti, zlasti glede velikosti, zdravstvenega stanja in drugih splošnih značilnosti reprodukcijskega materiala, spremlja ga dobaviteljev dokument ter biti mora označen in pakiran na način, ki omogoča preverjanje njegove istovetnosti.

5 MATERIAL IN METODE

5.1 OPIS NASADA

Proučevani nasad se nahaja v Šaleški Dolini, natančneje v občini Velenje. Lociran je ob Velenjskem in Šaleškem jezeru, blizu Konjeniškega kluba Velenje (slika št. 14). Ob nasadu poteka sprehajalna in tekaška proga, nad nasadom so travniki in obdelovalne površine. Nasad je osnoval Premogovnik Velenje d.d. Celoten nasad meri 4,2 ha in ga sestavljajo drevesa vrbe, klonov *Inger* (*Salix triandra* x *S. viminalis*) in *Tordis* (*(Salix schwerinii* x *S. viminalis)* x *S. vim*) (priloga C). Gozdarski inštitut je testno zasadil topole.

Nasad je bil osnovan aprila 2009 na kmetijskih površinah, kjer se zaradi vpliva rudnika poseda zemlja. Nasad je bil v decembru 2009 porezan, da se je spodbudilo šopasto rast. Nasad leži na nadmorski višini 430 m, naklon terena je 10 %, ekspozicija tal je J, tla so distrična rjava. Drevesa so posajena v dvojne vrste, kjer je širina med posameznimi drevesi v dvojni vrsti 0,75 m. Razdalja med posameznimi potaknjenci je 0,41 m, medtem ko širina vozne poti, oziroma razdalja med dvojnimi vrstami, povprečno znaša 3,12 m. Pri takšni razporeditvi potaknjencev znaša gostota sajenja 10.734 osebkov/ha.



Slika št. 14: Zunajgozdni nasad hitrorastočih drevesnih vrst v Škalah pri Velenju

5.2 METODA DELA

Meritve na nasadu smo izvedli skupaj s sodelavci Gozdarskega inštituta Slovenije (GIS), ki ta nasad spremljajo in proučujejo že od samega osnovanja. GIS se je v spremljanje testnega nasada vključeval delno znotraj evropskih projektov in delno preko nalog javne gozdarske službe. Na terenu smo meritve izvajali skupaj z delavci GIS-a po metodi dela, ki so jo predlagali sami. Odločili smo se za merjenje le enega izmed klonov, in sicer za klon *Tordis*, saj bi bile meritve za oba klona preobsežne. Nasad je bil izmerjen dvakrat, in sicer oktobra 2009 ter septembra 2010. Prvo leto so meritve izvedli delavci GIS-a sami, drugo leto pa smo meritve izvedli skupaj.

V nasadu smo naključno izbrali začetno stojišče, od katerega smo nato na vsakih 50 m vzdolž nasada določili novo stojišče. Na vsakem stojišču, ta sta bila dva v letu 2009 in štirje v letu 2010, smo s pomočjo azimuta pravokotno na posajene vrste določili transekt, katerega smo označili z vrvjo. Metoda dela se je nekoliko razlikovala med letom 2009 in 2010. Prvo leto smo v izbranem transektu prečno čez sajene vrste v vsaki vrsti (spodnji in zgornji) desno od linije transekta izbrali in popisali 10 primerkov vrb (slika št. 15). Tako obsežen popis je bil možen, saj so bili osebki še nizki in so imeli manjše število potaknjencev. Pri drugem merjenju, v letu 2010, pa smo popisali 5 primerkov vrb v spodnji vrsti desno od linije transekta. Teh vzorčnih enot, ki so zajemale 10 oz. 5 osebkov, je bilo na celi površini, posajeni s klonom *Tordis*, prvo leto 2.380, drugo leto pa 4.760. S sistematičnim vzorčenjem smo vsako leto izbrali 72 vzorčnih enot in na njih izmerili in popisali vse izbrane osebke.

Preglednica št. 3: Število osebkov pri posamezni vrsti klona *Tordis*

Vrsta	Št. potaknjencev	Vrsta	Št. potaknjencev
1	1488	11	1140
2	1860	12	1140
3	1560	13	1116
4	1656	14	1128
5	1860	15	1104
6	1596	16	1092
7	1272	17	1080
8	1212	18	1104
9	1272	Skupaj	23796
10	1116	Na hektar	10734.4

Klon *Tordis* je v proučevanem nasadu hitrorastočih drevesnih vrst zastopan v 18 vrstah, njegova skupna površina meri 2,2 ha. Število osebkov v posamezni vrsti je različno, povprečno je v eni vrsti posajenih 1.322 osebkov vrbe (preglednica št. 2). Skupno je posajenih 23.796 potaknjencev klona *Tordis*, kar znaša 10.734 potaknjencev na hektar.

Prvi primerek v posamezni vzorčni enoti, ki smo ga opisovali, je bil prvi najbližji na desni strani. Pri tem drevesu smo izmerili višino vsakega poganjka v cm ter premer vsakega poganjka v mm na vsake 0.5 m višine (0 m, 0.5 m, 1 m ...). Te meritve smo opravili s trasirko in merilnim trakom ter kljunastim merilom na stoječem drevesu. Vsem nadaljnjim primerkom (4 desno od stojišča) smo izmerili le višino najvišjega poganjka. Določili smo tudi koliko osebkov med ostalimi 4 (2010) oz. 9 (2009) osebki desno od izbranega je še prisotnih, s čimer smo lahko naknadno izračunali stopnjo preživetja osebkov. Prav tako pa smo določili tudi število primerkov z enim, dvema, tremi, itd. poganjki. Poleg naštetega smo prvo leto v nasadu izbrali 6 naključno izbranih osebkov klona *Tordis* ter 6 naključno izbranih osebkov klona *Inger*, naslednje leto pa 7 osebkov posameznega klona za nadaljnjo analizo v laboratoriju. V prilogah sta priložena obrazca, ki smo ju uporabljali na terenu, obrazec za meritve premerov je viden v prilogi A, obrazec za popis višin ter števila poganjkov pa je v prilogi B. Pri popisu ploskev smo potrebovali merilni trak, busolo, razdaljemer, trasirko, kljunasto merilo ter popisne liste.

Terenskemu delu pridobivanja podatkov je sledil vnos podatkov v programsko okolje Microsoft Excel. Obdelava podatkov je bila sestavljena iz izračuna osnovnih parametrov, kot so povprečna višina poganjkov, povprečen premer poganjkov, število osebkov z določenim številom poganjkov v panju, mortalitete osebkov ter volumna posameznih poganjkov. Naredili smo tudi posebej obdelavo podatkov glede na posamezen šop poganjkov, pri čemer smo izračunali povprečni volumen šopa poganjkov, volumen povprečnega poganjka v šopu, povprečno višino poganjka v šopu ter določili maksimalno višino poganjka v šopu. Volumen poganjkov smo izmerili na podlagi meritev prvega šopa v vrsti (slika št. 15), saj smo za ta šop izmerili premere vseh poganjkov na vsake 0,5 m višine. Volumen poganjka smo nato izračunali kot valj ter zadnji del poganjka po formuli stožca.

V laboratoriju smo primerkom, ki smo jih v nasadu porezali za dodatna merjenja, izmerili višino na cm natančno ter jih nato razrezali na 20 cm dolge kose, katerim smo s kljunastim merilom izmerili premer na spodnjem in zgornjem delu. Vsak kos smo stehali na laboratorijski tehtnici. Te primerke smo nato en dan sušili v peči, segreti na 105 °C. Posušene osebke smo nato ponovno stehali. Iz pridobljenih podatkov smo izračunali sveži volumen posameznih vzorcev, osnovno gostoto lesa, gostoto lesa v svežem stanju, vlažnost lesa ter vsebnost vode. Iz povprečne suhe teže osebka smo na koncu izračunali še donos v tonah suhe snovi na hektar ter energetsko vrednost nasada.

Gostota (prostorninska masa) R je definirana kot masa na enoto volumna. Nas je zanimala predvsem osnovna gostota R , ki je količnik med maso absolutno (sušilnično) suhega lesa in maksimalnim volumnom svežega lesa. Osnovna gostota torej pomeni količino absolutno suhe lesne substance v volumnu svežega lesa (Torelli, 1998). Osnovno gostoto lesa smo izračunali po formuli (1).

$$R = \frac{m_0}{V_{vl.}} \quad \dots (1)$$

m_0 ...suha teža (kg)

$V_{vl.}$volumen sveži (m^3)

Vlažnost lesa (u) in vsebnost vode v lesu (w) izražamo v %. Vlažnost lesa izračunamo kot količnik med maso vode v lesu in suho težo lesa, kar prikazuje formula (2), vsebnost vode pa je količnik med maso vode v lesu in svežo težo lesa, kot je vidno v formuli (3).

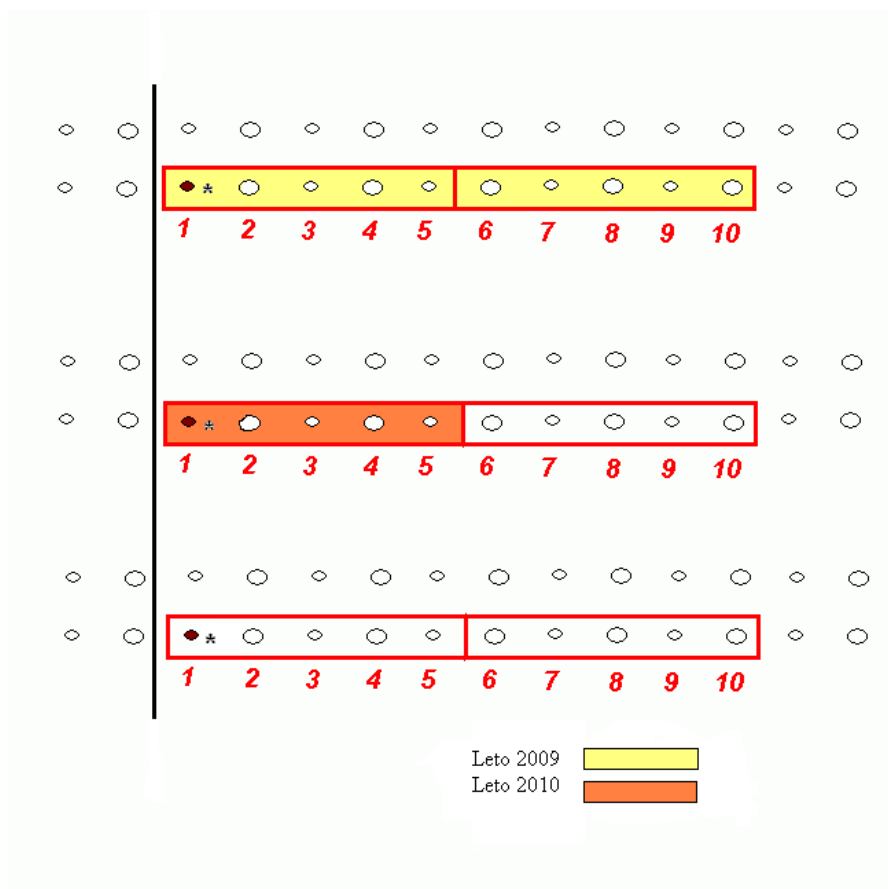
$$u = \frac{m_{vode}}{m_0} \times 100 = \frac{(m_{vl.} - m_0)}{m_0} \times 100 [\%] \quad \dots (2)$$

$$w = \frac{m_{vode}}{m_{vl.}} \times 100 = \frac{(m_{vl.} - m_0)}{m_{vl.}} \times 100 [\%] \quad \dots (3)$$

m_0 ... masa absolutno (sušilnično) suhega lesa

$m_{vl.}$... masa vlažnega lesa

m_{vode} ... masa vode v lesu



*¹: Prvi šop, na katerem so bile opravljene bolj natančne meritve.

*²: Osebek predstavlja šop poganjkov iz istega potaknjenca.

Slika št. 15: Prikaz popisovanja osebkov v prvem in drugem letu

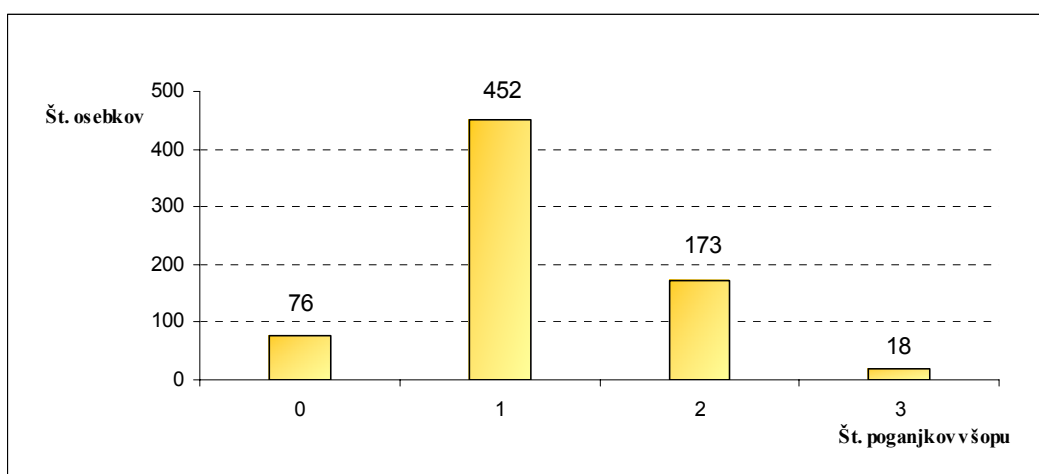
6 REZULTATI

Na raziskovalni ploskvi smo po že prej opisani metodi v vzorec zajeli 122 vzorčnih enot v prvem (leto 2009) ter 97 posameznih vzorčnih enot v drugem letu (leto 2010). Vsaka vzorčna enota je predstavljala linijo desetih (leto 2009) oziroma petih (leto 2010) osebkov. Za potrebe naše raziskave smo uporabili le podatke za klon *Tordis*, ki je tako predstavljal 72 ploskev v prvem in tudi drugem letu. Posamezen osebek predstavlja šop poganjkov, v šopu je lahko eden ali več poganjkov. V nadaljevanju bomo najprej predstavili rezultate za posamezne poganjke in nato tudi za posamezne šope poganjkov.

6.1 ZNAČILNOSTI POGANJKOV

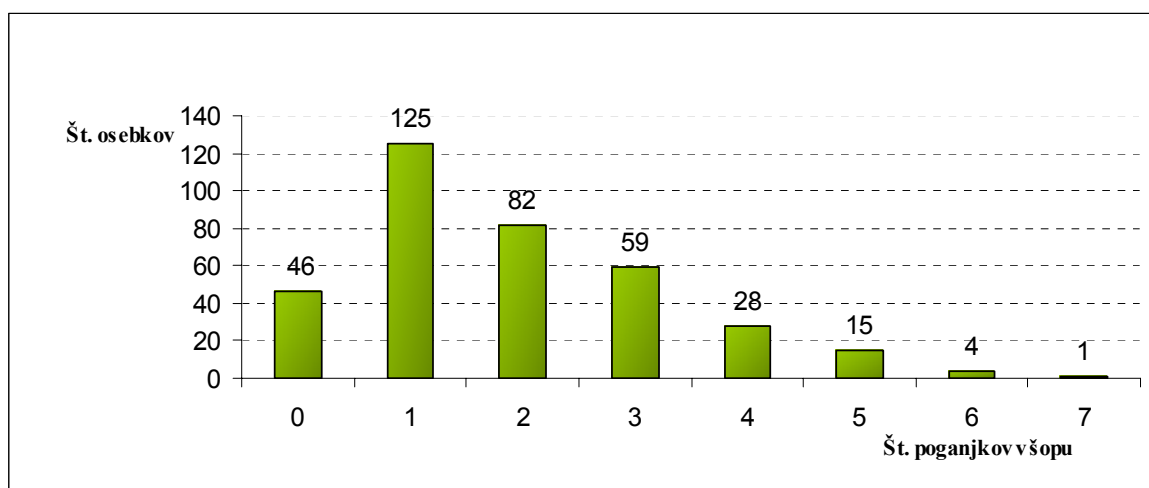
6.1.1 Število poganjkov pri posameznem šopu

Porazdelitev števila poganjkov v posameznem osebku se razlikuje glede na leto meritve. Rezultati kažejo, da je bilo v prvem letu v nasadu največ osebkov s samo enim poganjkom ($N = 452$), kar predstavlja 62,9 % vseh osebkov (slika št. 16). Osebki z dvema poganjkoma zajemajo skoraj četrtino vseh osebkov (24,1 %), s tremi poganjki pa samo 2,5 %. Osebkov z nobenim poganjkom, torej odmrlih osebkov, je 10,6 %. Tako znaša povprečno preživetje osebkov za prvo leto 89,4 %. S 95 % verjetnostjo lahko trdimo, da se verjetnost preživetja osebkov nahaja v intervalu med 86,3 % in 92,6 %. Povprečno število poganjkov v prvem šopu poganjkov znaša 1,4.



Slika št. 16: Število osebkov glede na število poganjkov v letu 2009

Porazdelitev števila poganjkov v posameznem osebku za leto 2010 (slika št. 17) je nekoliko bolj razgibana kot prvo leto. Število poganjkov v posameznem šopu je občutno večje, saj imamo tudi osebke s 6 oz. 7 poganjki. Toliko boljšo šopasto rast si je mogoče razlagati zaradi večje starosti nasada ter predvsem zaradi tega, ker so bili osebki pozimi leta 2009 porezani in se je s tem spodbudilo šopasto razrast. Od 360 osebkov (produkt 72 ploskev in števila osebkov (5) v posamezni ploskvi) jih je v enem letu odmrlo 46, kar predstavlja 12,8 % vseh osebkov. Tako kot prvo leto je tudi v drugem letu največ osebkov s samo enim poganjkom (34,7 %). Število poganjkov se nato eksponentno zmanjšuje, tako da število osebkov z dvema poganjkoma predstavlja 22,8 %, s tremi 16,4 %, s štirimi 7,8 %, s petimi 4,2 %, s šestimi 1,1 % in s sedmimi samo 0,3 %. Preživetje osebkov je nekoliko nižje kot v prvem letu in lahko s 5 % tveganjem trdimo, da se stopnja preživetja osebkov giblje med 83,3 % in 91,1 %. Povprečno število poganjkov v posameznem šopu je za leto 2010 večje, in sicer 2,3.



Slika št. 17: Število osebkov glede na število poganjkov v letu 2010

6.1.2 Povprečne višine poganjkov v posameznem šopu

Za vse poganjke smo izračunali tudi različne povprečne višine poganjkov, ki se med seboj razlikujejo (preglednica št. 4). Največ znaša povprečna višina najvišjih poganjkov, a le ta ni reprezentativna za nadaljnje izračune, saj so upoštevani le najvišji poganjki v posameznem šopu. Zaradi same metodologije smo višine vseh poganjkov v šopih merili le na prvem šopu. Pri ostalih 9 (leto 2009) oziroma 4 (leto 2010) šopih smo izmerili le višino najvišjega poganjka in ne vseh poganjkov. Prav tako tudi povprečna višina vseh poganjkov

ni realna, saj zavzema vse poganjke prvega primerka in najvišje poganjke ostalih štirih primerkov. Tako ostane le še povprečna višina prvega šopa, ki je povprečje vseh poganjkov v prvem šopu. Za nadaljnje izračune je slednja najbolj pravilna. V nadaljnjih izračunih smo kot povprečno višino upoštevali povprečno višino vseh poganjkov v prvem šopu.

Preglednica št. 4: Povprečne višine poganjkov glede na leto meritev

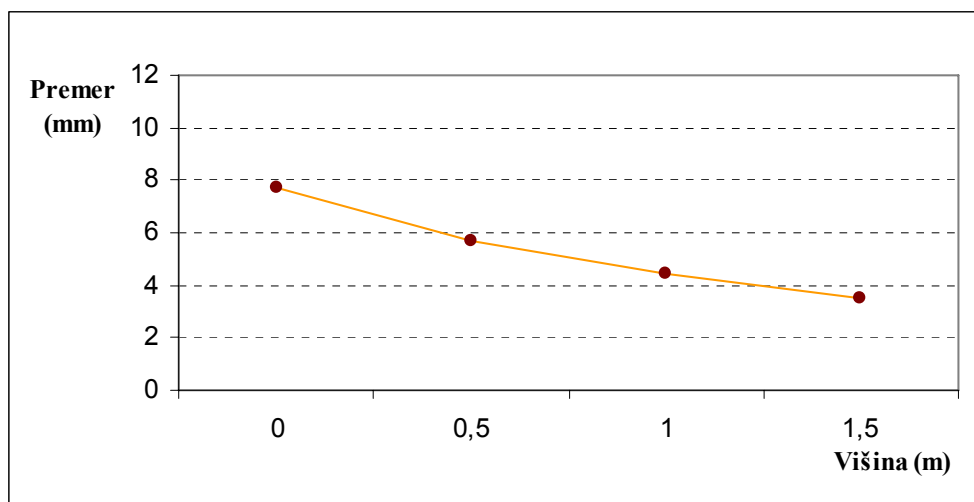
Vrsta višine / Leto meritve	Leto 2009	Leto 2010	Razlika v višini (cm)
Povprečna višina vseh poganjkov (cm)	102.18	159.06	56.88
Povprečna višina najvišjih poganjkov (cm)	105.20	169.39	64.19
Povprečna višina 1. primerka	100.48	146.93	46.45

*1 Opomba: Prvi šop je po metodologiji prvi šop desno od izbrane linije meritev (glej sliko št. 15).

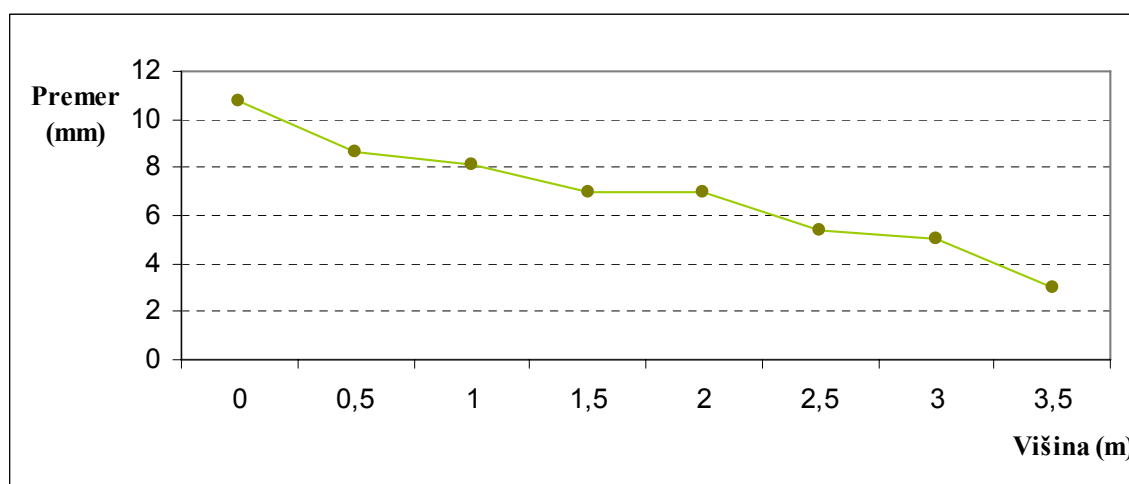
Opazne so razlike med povprečnimi višinami poganjkov med letoma 2009 in 2010 (preglednica št. 4). Povprečna višina vseh poganjkov se je z 102,2 cm (leto 2009) dvignila na 159,1 cm (leto 2010). V povprečni višini najvišjih poganjkov so upoštevani le najvišji poganjki v posameznem šopu, njena vrednost znaša 105,2 cm za leto 2009, leto kasneje pa 169,4 cm. Najbolj realna je povprečna višina prvega šopa, ki znaša 100,5 cm ter 146,9 cm.

6.1.3 Premer poganjkov v posameznem šopu

Razvoj premera poganjkov se spreminja glede na višino na deblu. V obeh letih je moč opaziti linearno zmanjševanje (oziroma odnos zelo podoben linearnemu) vrednosti premera z višino (slika št. 18 in slika št. 19). Premeri so bili izmerjeni na vseh poganjkih prvega osebka in sicer na vsake pol metra višine (0 m, 0.5 m, 1 m...). V prvem letu je povprečni premer na dnišču znašal 7,7 mm, na višini 0,5 m 5,7 mm, na naslednjih dveh sekcijah pa 4,4 mm in 3,5 mm (slika št. 18). V naslednjem letu so bile te vrednosti pričakovano višje, saj so bile tudi višine osebkov večje. Premer na dnu drevesa je znašal 10,7 mm ter se nato z višino enakomerno linearno zmanjševal. Na 1,5 m je znašal 7,0 mm, na 3 m pa 5,0 mm (slika št. 19).



Slika št. 18: Povprečni premer izmerjenih poganjkov v prvem letu glede na višino drevesa

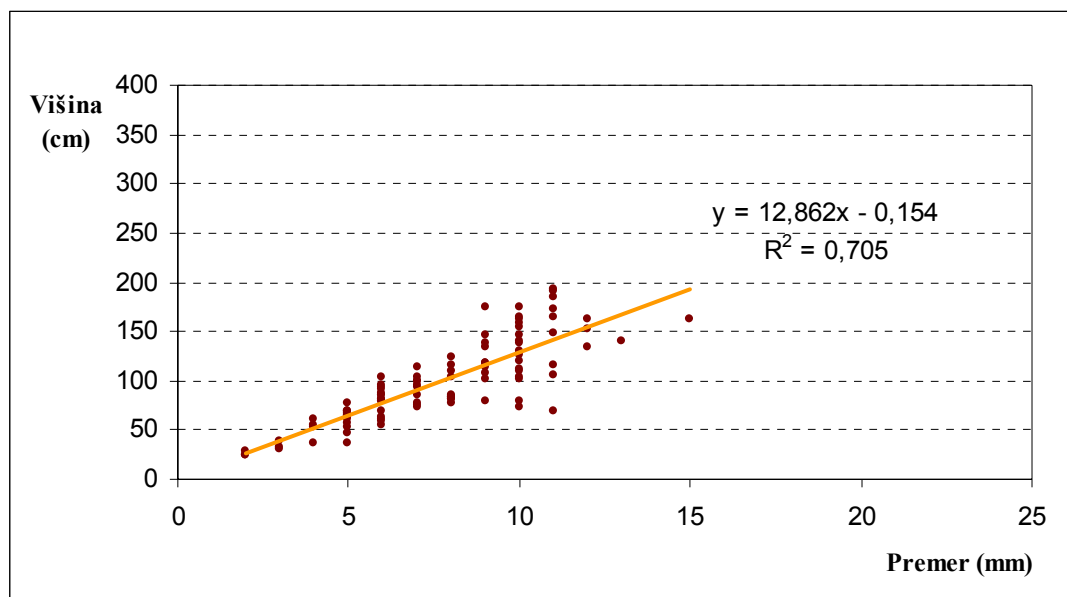


Slika št. 19: Povprečni premer izmerjenih poganjkov v letu 2010 glede na višino drevesa

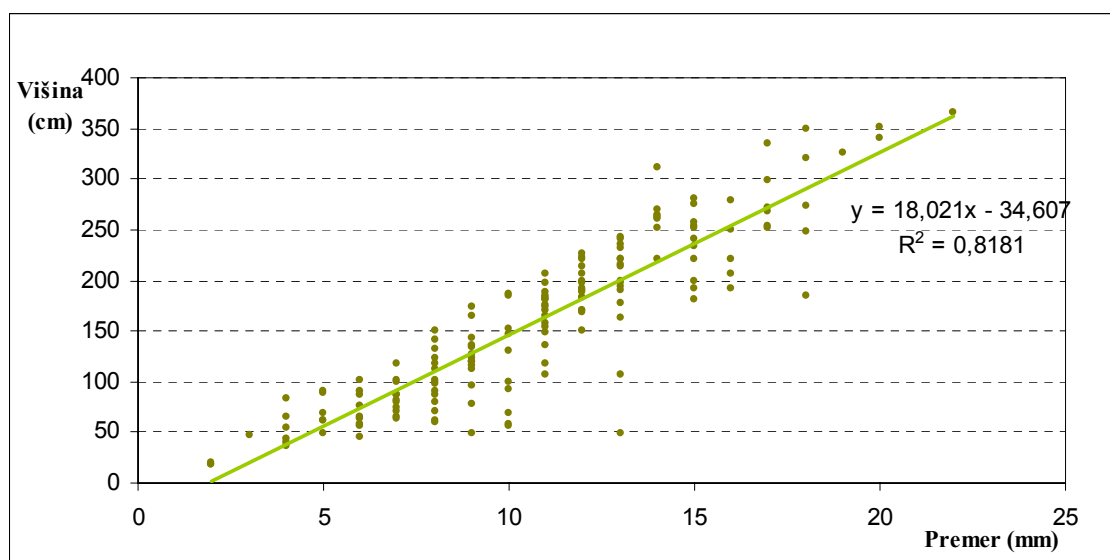
6.1.4 Razmerje med premerom in višino poganjka, objedenost poganjkov

Višina poganjka je odvisna od premera drevesa. Večji kot je premer, višje je posledično drevo, oboje pa je posledica staranja drevesa. V analiziranem nasadu hitrorastočih drevesnih vrst je prisotna poškodba osebkov zaradi objedenosti od divjadi. Na terenu smo te osebkke določili in jih v bazi podatkov posebej označili zaradi pravilnosti nadaljnje obdelave podatkov. V letu 2010 je bilo objedenih 33 % prvih šopov (tj. prvi šop desno od izbrane linije meritev), pri tem je bil objeden en ali več poganjkov v šopu. Za leto 2009 podatkov o objedenosti osebkov nimamo. Pri analizi odvisnosti višine od premera drevesa smo izvzeli objedene osebkke. Izvedli smo samo primerjavo višine poganjka in premera na dnu drevesa, saj nekatera drevesca ne dosegajo višine 0,5 m in bi jih bilo potrebno pri

izračunu izločiti. Za ponazoritev razmerja med višino in premerom smo uporabili linearno funkcijo, ki nam daje visoko stopnjo medsebojne povezanosti premera in višine osebkov (slika št. 20 in slika št. 21).



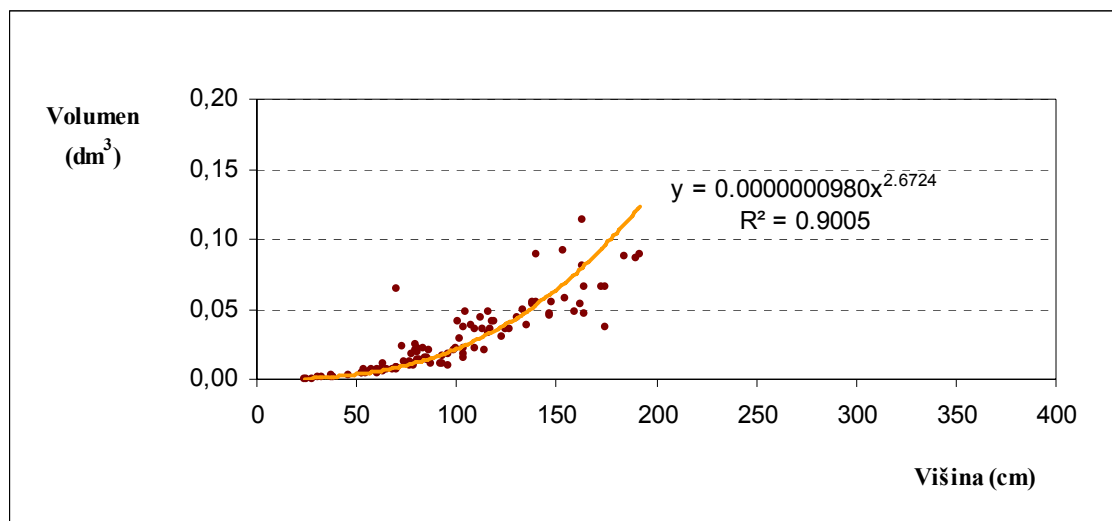
Slika št. 20: Povezanost med višino in premerom poganjka za leto 2009



Slika št. 21: Povezanost med višino in premerom poganjka za leto 2010

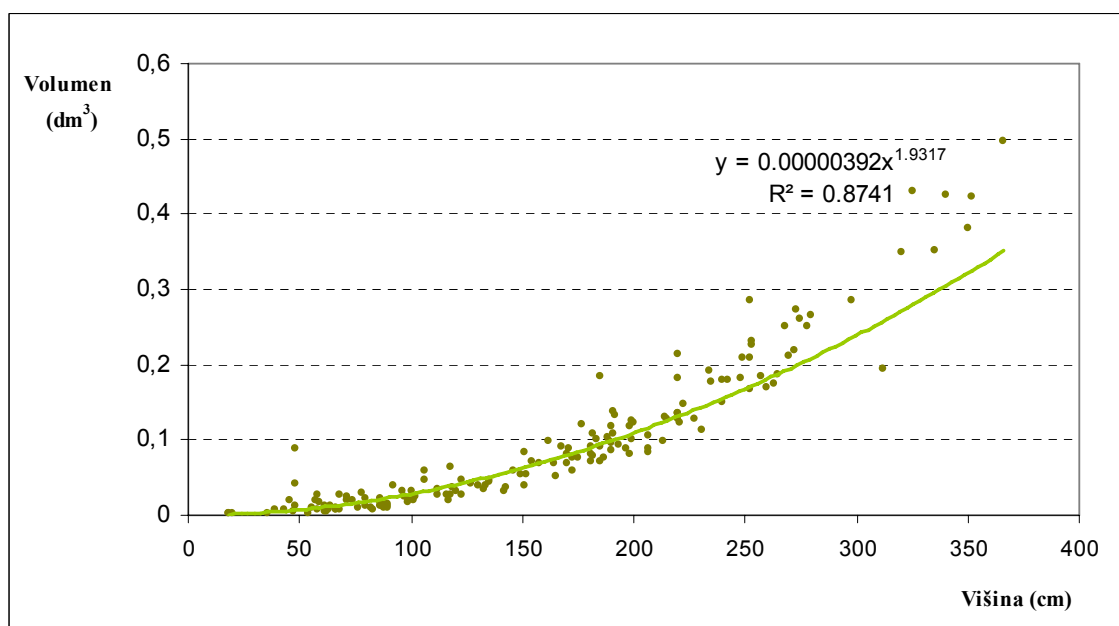
6.1.5 Volumen poganjkov v posameznem šopu

Preverili smo odvisnost volumna poganjka od višine poganjka (slika št. 22 in slika št. 23), ki je za obe leti meritev velika. Objedeni poganjki niso upoštevani v izračunu.



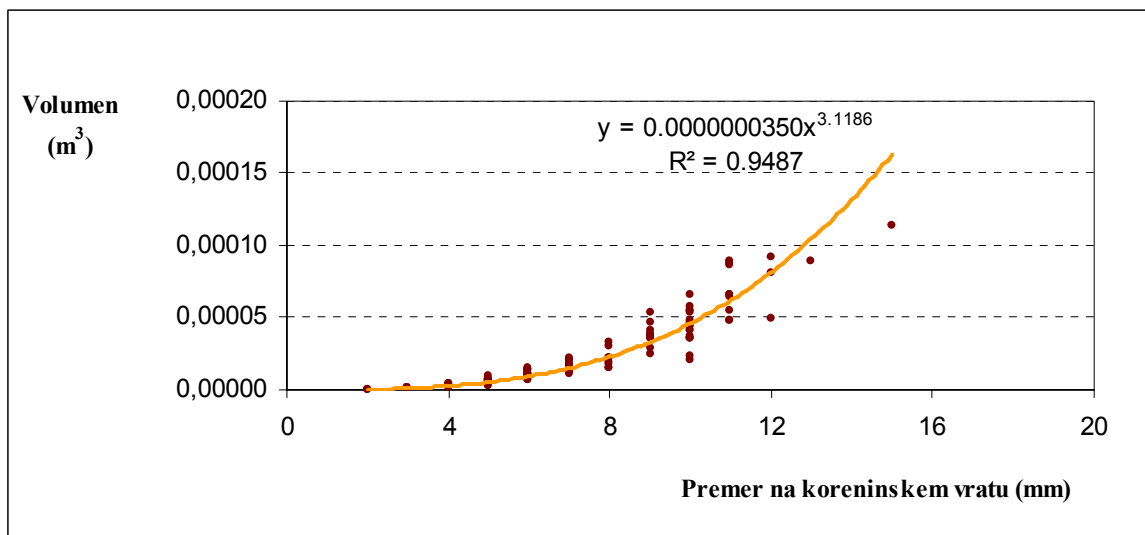
Slika št. 22: Odvisnost volumna poganjka od višine poganjka za leto 2009

Povprečni volumen posameznega poganjka v šopu znaša 0,000028 m³ za prvo in 0,000095 m³ za drugo leto, medtem ko povprečni volumen celotnega šopa znaša 0,000039 m³ (leto 2009) in 0,000217 m³ (leto 2010).

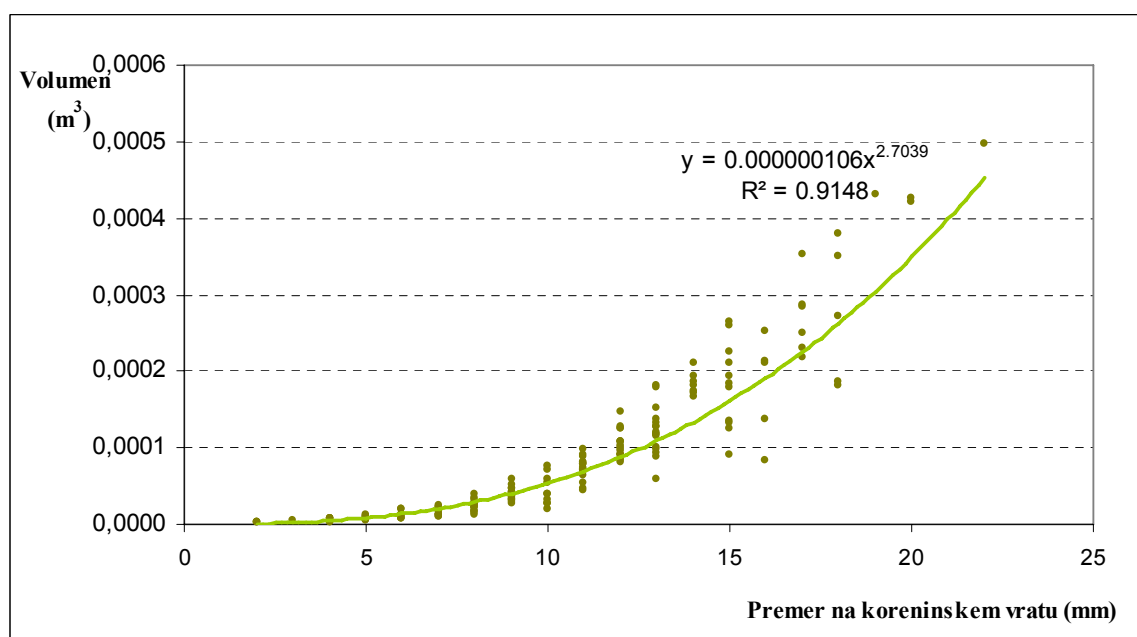


Slika št. 23: Odvisnost volumna poganjka od višine poganjka za leto 2010

Odvisnost volumna poganjkov od premera na koreninskem vratu poganjka smo preverili s potenčno funkcijo, s katero smo dokazali visoko medsebojno povezanost (slika št. 24 in 25).



Slika št. 24: Odvisnost volumna poganjka od premera poganjka na koreninskem vratu za leto 2009



Slika št. 25: Odvisnost volumna poganjka od premera poganjka na koreninskem vratu za leto 2010

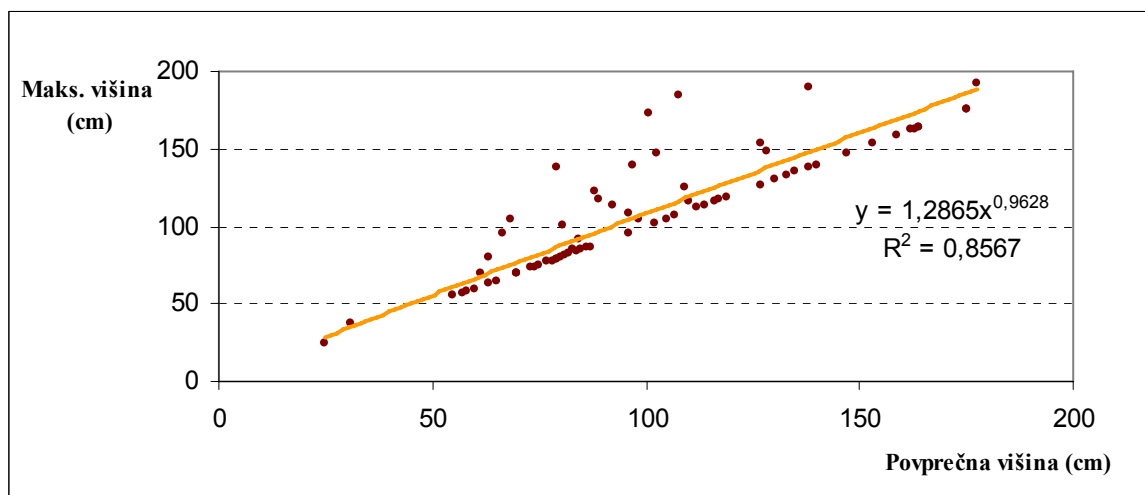
6.2 REZULTATI ZA PRVI ŠOP POGANJKOV

Število posajenih potaknjencev klona *Tordis* je bilo na začetku 10.734/ha. Ta številka se je nato zmanjšala zaradi mortalitete osebkov. Ocenjujemo, da je znašala v času prve meritve (oktober 2009) 9.600 osebkov/ha, v času druge meritve (september 2010) pa 9.362 osebkov/ha. Povprečno število poganjkov v posameznem šopu je bilo prvo leto 1,4 ter drugo leto 2,3. V prvem letu je znašalo število vseh poganjkov 13.345 poganjkov/ha, v drugem letu pa 21.346 poganjkov/ha, pri tem je upoštevana mortaliteta osebkov.

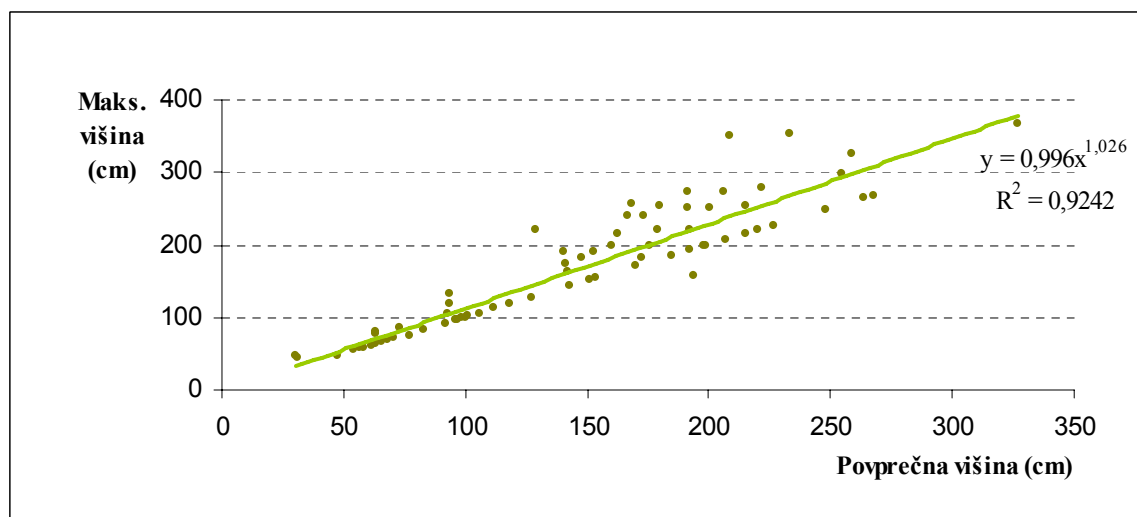
V poglavju 6.1 smo predstavili značilnosti poganjkov, v tem delu pa bomo podali rezultate iz obdelave podatkov za prvi šop. Kot smo že omenili, je število teh prvih šopov v obeh letih znašalo 72. Za prvi šop poganjkov smo izračunali skupni volumen šopa, povprečni volumen posameznega poganjka v šopu, povprečno višino poganjka v šopu ter določili število osebkov v šopu in maksimalno višino poganjka v šopu.

6.2.1 Povezanost med povprečno in maksimalno višino poganjkov v šopu

Kot prvo smo preverili povezanost med povprečno višino poganjka v šopu in maksimalno višino poganjka v šopu. Njun odnos smo ponazorili z uporabo linearne funkcije, ki kaže visoko stopnjo povezanosti (slika št. 26 in slika št. 27). Prvo leto je znašala povprečna višina poganjka v šopu 100,6 cm, drugo leto je bila njena vrednost 147,6 cm. Z 95 % gotovostjo lahko trdimo, da se je prvo leto povprečna višina poganjka v šopu nahajala med 92,5 cm in 108,8 cm. Drugo leto je ta interval segal med 132,1 cm in 163,0 cm. Povprečna maksimalna višina je bila v prvem letu 109,8 cm, v letu 2010 pa kar 170,3 cm, njen interval zaupanja za leto 2009 je segal od 100,8 cm do 118,8 cm ter za leto 2010 od 151,0 cm do 189,6 cm.



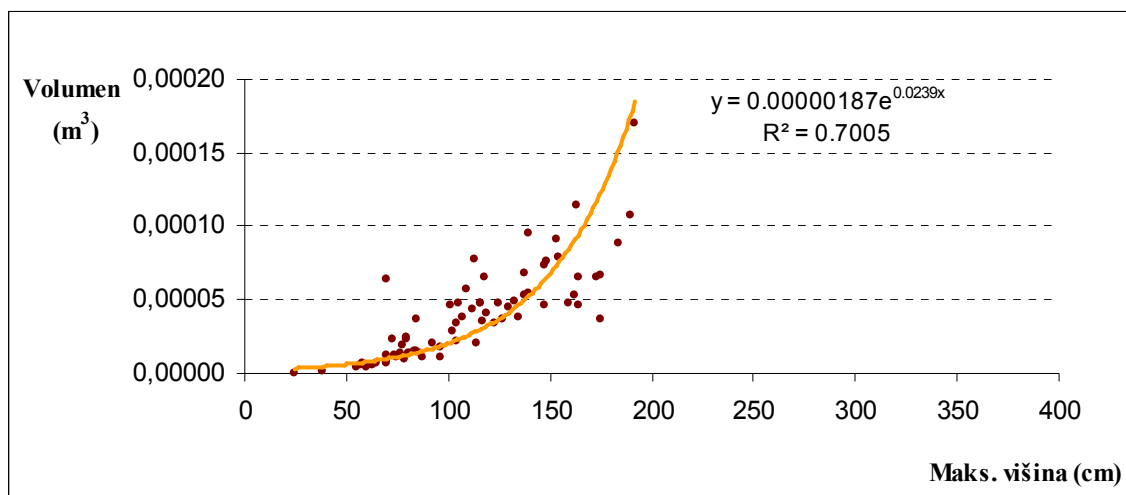
Slika št. 26: Ponazoritev odnosa med maksimalno in povprečno višino poganjka v šopu za leto 2009



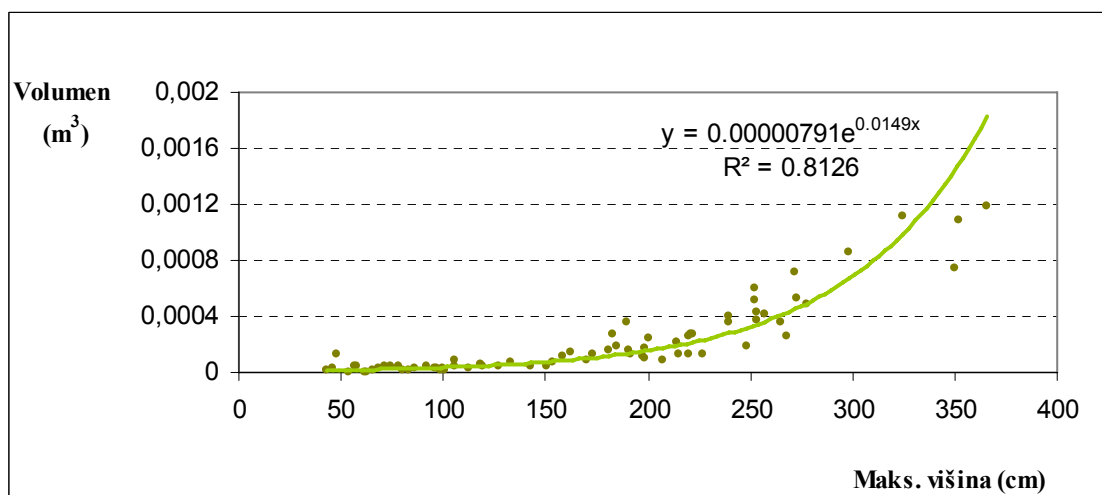
Slika št. 27: Ponazoritev odnosa med maksimalno in povprečno višino poganjka v šopu za leto 2010.

6.2.2 Odvisnost volumna šopa od višine poganjka v šopu

Z eksponentno funkcijo smo preverili odvisnost volumna šopa od maksimalne višine poganjka v šopu. Na podlagi dovolj visoke stopnje odvisnosti (za leto 2009 znaša 0,7005, za leto 2010 pa 0,8126) lahko rečemo, da obstaja odvisnost volumna šopa od višine poganjka. Torej, višja kot je maksimalna višina poganjka v šopu, višji je potem volumen tega šopa poganjkov (slika št. 28 in slika št. 29).



Slika št. 28: Odvisnost volumna šopa od maksimalne višine poganjka (leto 2009)



Slika št. 29: Odvisnost volumna šopa od maksimalne višine poganjka (leto 2010)

Poleg odvisnosti volumna šopa od maksimalne višine poganjka v šopu smo preverili tudi odvisnost volumna šopa od povprečne višine poganjka v šopu. Le ta se eksponentno povečuje, vendar nam eksponentna funkcija daje manjšo odvisnost kot pri odvisnosti od maksimalne višine. Tako R^2 vrednost za leto 2009 znaša 0,5515, za leto 2010 pa nekoliko več, in sicer 0,6527.

Preverili smo tudi odvisnost volumna šopa od števila poganjkov v posameznem šopu, a smo ugotovili izredno nizko stopnjo odvisnosti (linearni tip regresije, $R^2 = 0,1644$), kar nam pravi, da ta dva parametra nista v medsebojni odvisnosti. Prav tako smo želeli ugotoviti ali obstaja kakšna povezava med maksimalno višino poganjka v šopu in številom

poganjkov v šopu. Tudi v tem primeru smo dobili neznačilno stopnjo povezanosti, da bi lahko to domnevo potrdili.

Povprečni volumen šopa v prvem letu znaša $0,0000395 \text{ m}^3$. S 5 % tveganjem lahko trdimo, da je povprečni volumen šopa za to leto med $0,0000321 \text{ m}^3$ in $0,0000467 \text{ m}^3$. Za leto 2010 znaša povprečni volumen šopa $0,000217 \text{ m}^3$, intervalni razmak sega od $0,000154 \text{ m}^3$ do $0,00288 \text{ m}^3$. Lesna zaloga v testnem nasadu je znašala $0,27 \text{ m}^3/\text{ha}$ v prvem letu in $2,09 \text{ m}^3/\text{ha}$ v drugem letu, prirastek pa je znašal $1,82 \text{ m}^3/\text{ha}$.

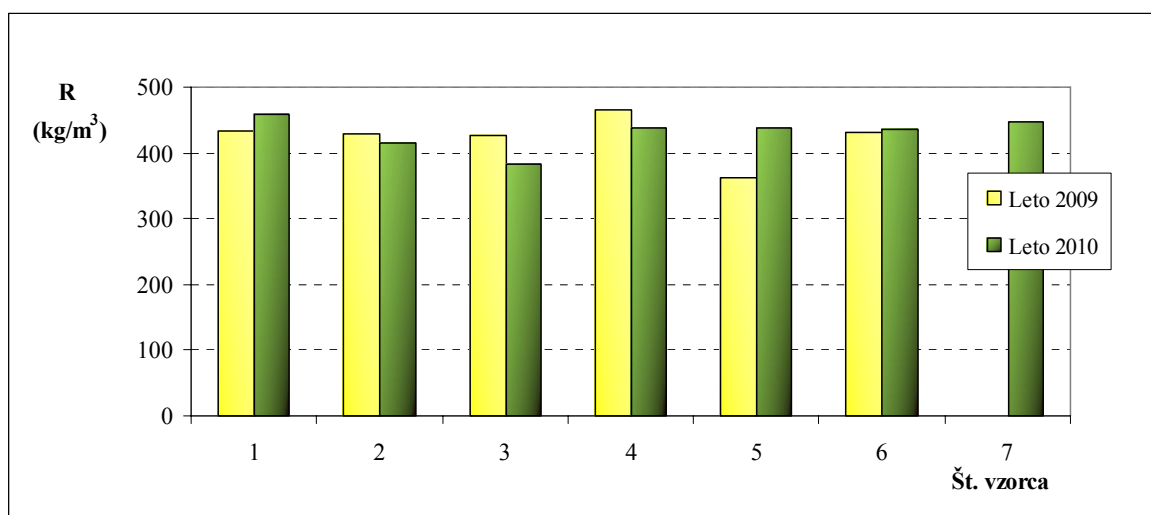
Povprečni volumen šopa se sorazmerno povečuje glede na število poganjkov v šopu (preglednica št. 5). Ker ima neodvisna spremenljivka premalo različnih vrednosti (za leto 2009 le 3, za leto 2010 pa 6), lahko le predvidevamo, da je ta odvisnost eksponentna, saj nam ob razpoložljivih podatkih nazorno prikazuje ujemanje z eksponentno funkcijo ter daje zelo visoko stopnjo medsebojne odvisnosti, v obeh letih približno 0.96.

Preglednica št. 5: Povprečni volumen šopa glede na število poganjkov v šopu

Št. poganjkov v šopu	2009		2010	
	Št. osebkov	Povprečni volumen šopa	Št. osebkov	Povprečni volumen šopa
1	48	0.0000308	30	0.0000694
2	20	0.0000538	15	0.0001001
3	4	0.0000713	13	0.0003124
4			6	0.0004274
5			7	0.0006198
6			1	0.0010906

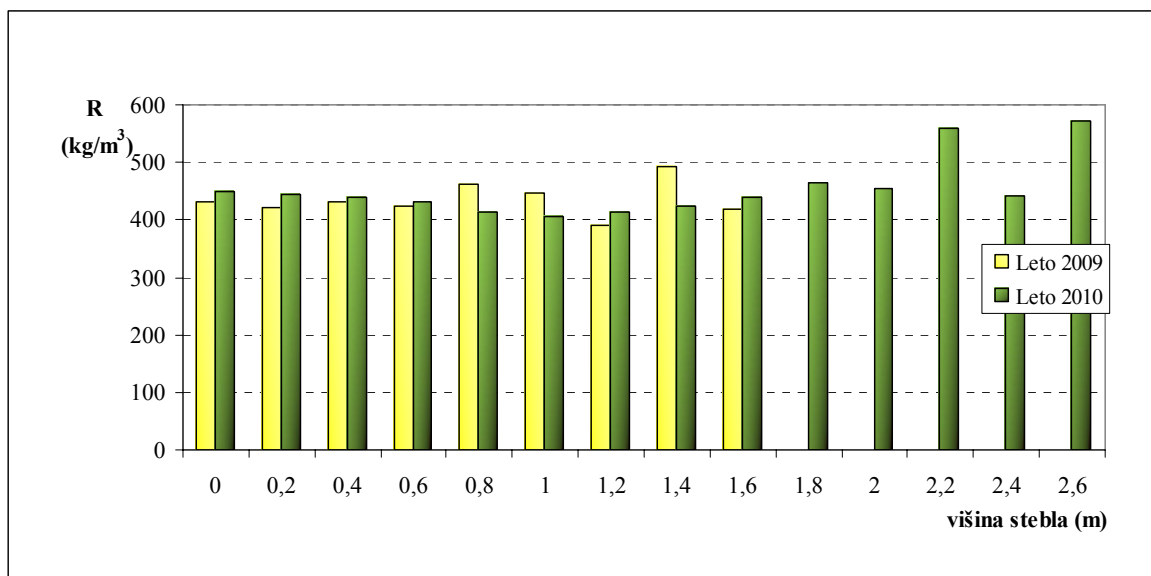
6.3 GOSTOTA IN VLAŽNOST LESA TER PRODUKCIJA NASADA

Povprečno osnovno gostoto lesa smo izračunali na podlagi 6 vzorcev za leto 2009 in 7 vzorcev za leto 2010 (slika št. 30). Ti vzorci so bili vsako leto na novo odvzeti, tako da na sliki št. 30 razumljivo ne gre za primerjavo gostote enega osebka med obema letoma, vendar le za prikaz gostote vzorcev za posamezno leto. Za prvo leto je R znašala 425 kg/m^3 , za drugo leto pa 431 kg/m^3 , razlike so statistično značilne pri 5 % tveganju. Posebej smo še izračunali interval zaupanja za osnovno gostoto in ta je v prvem letu znašal od $397,6 \text{ kg/m}^3$ do $451,9 \text{ kg/m}^3$, v drugem pa od $412,5 \text{ kg/m}^3$ do $450,2 \text{ kg/m}^3$ (pri 5 % tveganju).



Slika št. 30: Višina osnovne gostote posameznega vzorca drevesa prikazanega za vsako leto posebej

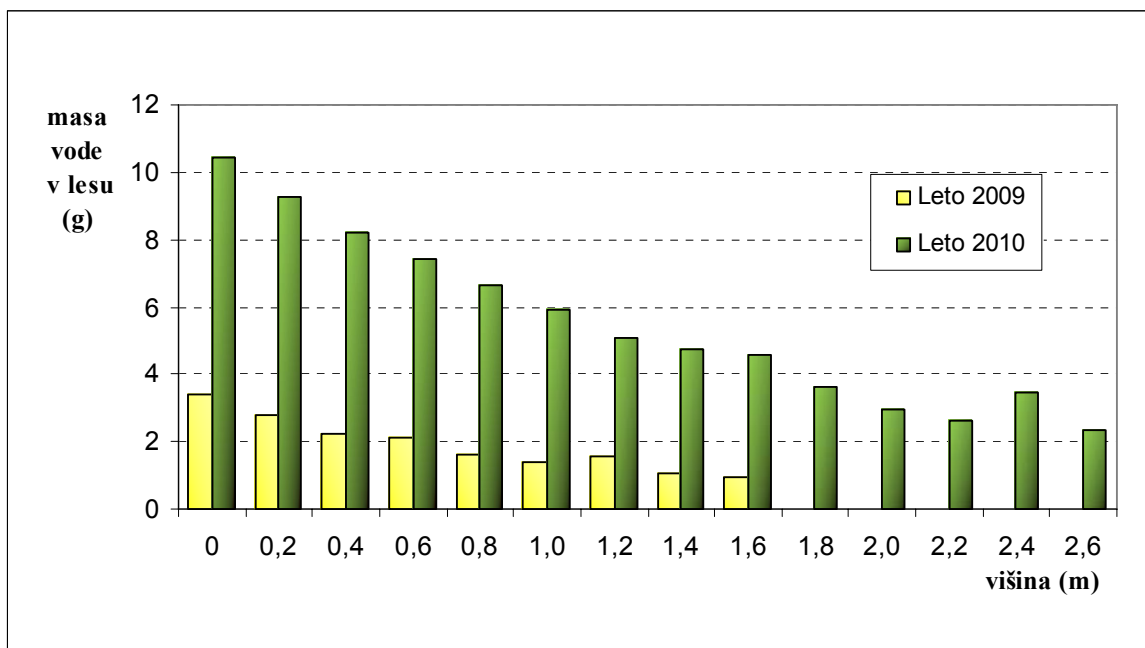
Gibanje osnovne gostote lesa glede na višino na stebelu je dokaj konstantno (slika št. 31). Prvo leto se maksimum osnovne gostote nahaja pri višini 1,4 m (492 kg/m^3), drugo leto pa pri višini 2,6 m (571 kg/m^3). V obeh primerih torej bolj v vrhu posameznega poganjka.



Slika št. 31: Gibanje osnovne gostote lesa glede na višino stebela za vsako leto posebej

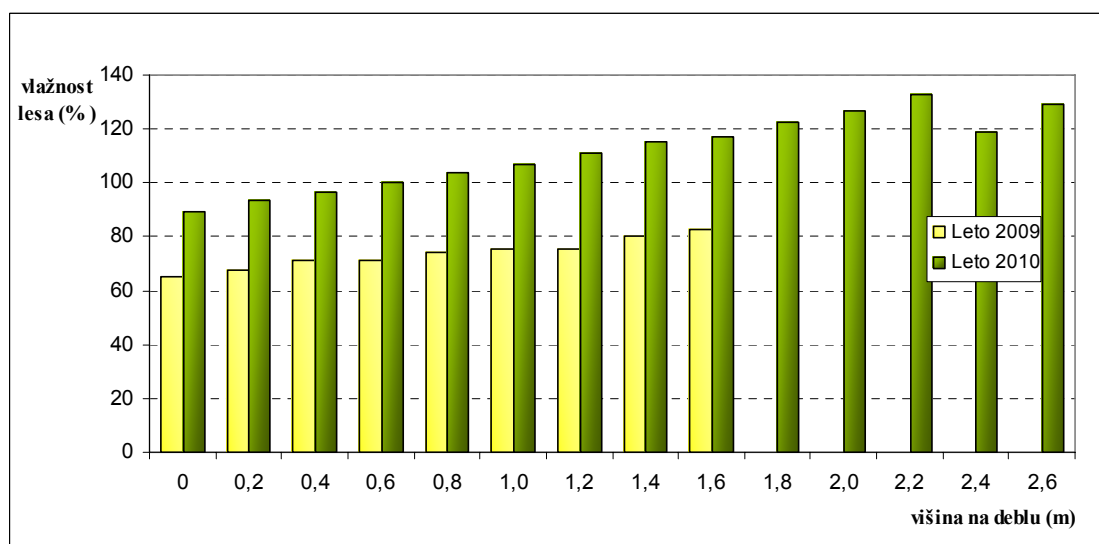
Izračunali smo tudi gostoto lesa v svežem stanju, ki je količnik med težo svežega lesa in volumnom svežega lesa in jo izražamo v t/m^3 . Ta znaša povprečno $0,722 \text{ t/m}^3$ za leto 2009 in lahko s 5 % tveganjem trdimo, da se nahaja med $0,669 \text{ t/m}^3$ in $0,775 \text{ t/m}^3$. Gostota v svežem stanju za leto 2010 leži v intervalu $(0,832, 0,902)$, pri enaki stopnji tveganja kot v prejšnjem letu. Povprečna gostota za to leto je višja in znaša $0,867 \text{ t/m}^3$.

Izmerili smo tudi maso vode in vsebnost vode (w) v lesu ter izračunali vlažnost lesa (u). Maso vode v lesu smo izračunali kot razliko med vlažno težo in suho težo stehtanega vzorca. Višji kot je bil primerek drevesa, večja je bila masa vode v lesu. Ta se je zniževala od dna drevesa proti vrhu drevesa v obeh letih (slika št. 32).

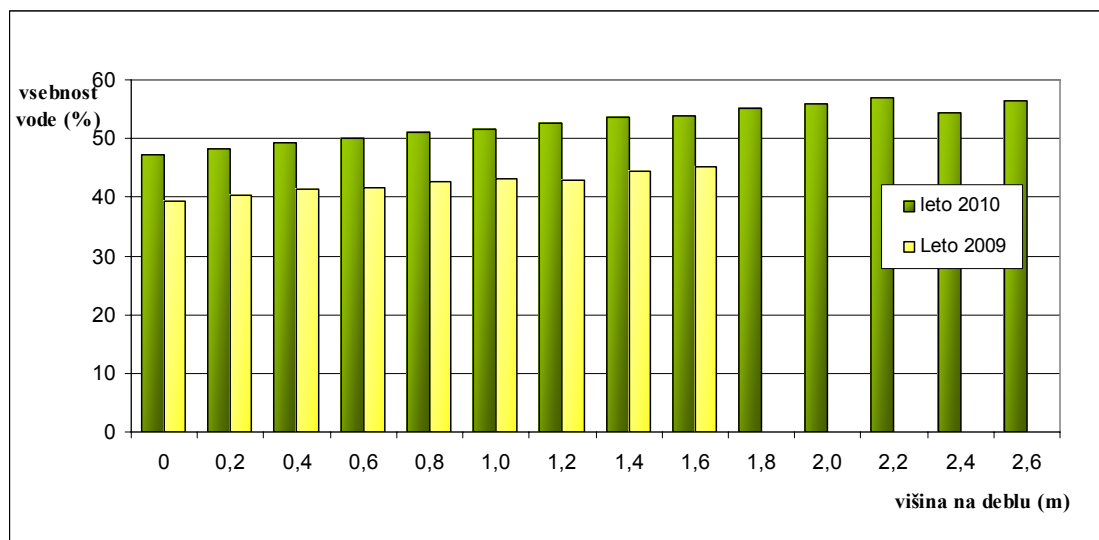


Slika št. 32: Prikaz porazdelitve mase vode v lesu glede na višino debla

Za vlažnost lesa je značilno, da se povečuje od dna drevesa proti vrhu (slika št. 33). Povprečna vlažnost lesa za leto 2009 znaša 72,9 %, leto kasneje pa 110,5 %. Tako kot vlažnost lesa se tudi vsebnost vode povečuje od dna proti vrhu drevesa (slika št. 34) in znaša 42,0 % za leto 2009 ter 52,2 % za leto 2010.



Slika št. 33: Vlažnost lesa glede na višino debla



Slika št. 34: Vsebnost vode glede na višino debla

Na koncu smo izračunali še količino proizvedene lesne mase, ki jo ponavadi izražamo v tonah suhe snovi na hektar in na leto. To smo izračunali tako, da smo pomnožili povprečno suho maso poganjka s povprečnim številom poganjkov v šopu ter s številom osebkov na hektar zmanjšanih za mortaliteto osebkov v določenem letu. Povprečna suha masa poganjka znaša za prvo leto 20,23 g ter 66,06 g za drugo leto. V prvem letu je bilo v povprečju 1,4 poganjkov v šopu, v drugem letu pa 2,3. Gostota sajenje potaknjencev je bila 10.734 osebkov/ha, to vrednost smo nato zmanjšali za mortaliteto potaknjencev. Za leto 2009 smo tako izračunali, da nasad proizvede 0,27 t atro/ha. Za leto 2010 je ta količina nekajkrat večja, in sicer 1,41 t atro/ha.

7 RAZPRAVA IN SKLEPI

Z rezultati, ki smo jih dobili iz lastne raziskave, smo analizirali stanje zunajgozdnega nasada hitrorastočih drevesnih vrst v Škalah pri Velenju in ugotovili, da so razmere za rast potaknjencev ugodne. Testni nasad predstavlja rast in značilnosti hitrorastočih drevesnih vrst, vendar bi bilo potrebno za bolj reprezentativne rezultate v raziskavo vzeti več linij transektov, saj se rast dreves tekom nasada spreminja (vpliv mikroklimatskih razmer).

Z dobljenimi rezultati iz testnega nasada težko predvidevamo, kakšen bo končni donos. Primerjava s tujimi viri bo tako možna šele po končanem celotnem ciklu, do takrat pa bi bila realnost primerjanja z njimi vprašljiva. Meritve na testnem nasadu naj se nadaljujejo tudi v prihodnje, saj bomo tako dobili vse podatke o produktivnosti tega nasada. Celovit pregled metode bo tako možen šele po končani obhodnji. Takrat bomo lahko presodili vrednosti parametrov rasti, ekonomsko presojo nasada, uporabljeno tehnologijo ... Na osnovi vseh teh analiz se bo lahko naredil upravljavski načrt. V nadaljevanju povzemamo dobljene rezultate iz obdelave podatkov iz testnega nasada.

Gostota sajenja v proučevanem nasadu (10.734 osebkov/ha) je v intervalu, ki ga navajajo v publikaciji Gozdarskega inštituta (Krajnc in sod., 2009a). Tam navajajo gostoto med 5.000 in 16.000 osebki na hektar, ki je odvisna od obhodnje in izbire drevesne vrste. Meritve smo izvedli v dveh zaporednih letih. Vsako leto smo glede na metodologijo v vzorec zajeli 72 vzorčnih enot, z zbranimi podatki na teh ploskvah smo med drugim izračunali tudi dejansko število osebkov ter število poganjkov na hektar. Pri tem smo upoštevali delež preživetja osebkov. Tako znaša število potaknjencev v prvem letu 9.600 na hektar ter število poganjkov 13.345 na hektar. V letu 2010 je število poganjkov pričakovano višje, in sicer 21.346 poganjkov na hektar, medtem ko je število potaknjencev manjše zaradi večje mortalitete poganjkov in znaša 9.362 osebkov/ha.

Ena izmed najpomembnejših značilnosti hitrorastočih drevesnih vrst je šopasta rast. S tem ko porežemo poganjke prvo zimo po nasaditvi, spodbudimo šopasto razrast poganjkov.

Tako se število poganjkov v šopu poveča, v našem primeru se je povečalo za več kot polovico. Prvo leto je šop zajemal povprečno 1,4 poganjka, drugo leto 2,3.

Potrebno je omeniti še stopnjo preživetja poganjkov, ki je bila v obeh primerih visoka, prvo leto je znašala 89,4 %, drugo leto pa nekoliko manj, in sicer 87,2 %, kar je zadovoljiv rezultat. Poganjki lahko odmrejo zaradi več dejavnikov, kot so npr. kvaliteta potaknjencev, mikroklimatske razmere v tleh, nepravočasno ali nestrokovno izvajanje nege nasada, poškodbe zaradi divjadi ali drugih škodljivcev ter bolezni dreves.

Sorazmerno s povečanjem števila poganjkov v šopu se je povečala tudi povprečna višina ter povprečni premer poganjka v šopu. Višina se je povečala za polovico, premer pa za nekoliko manj kot polovico, tako je povprečna višina poganjka v šopu znašala prvo leto 100,6 cm ter drugo leto 147,6 cm. Premer na koreninskem vratu je leta 2009 znašal 7,7 mm, leto kasneje povprečno 10,7 mm.

V obdelavi podatkov za posamezne šope poganjkov smo ugotovili, da se sorazmerno s povprečno višino poganjka v šopu povečuje tudi maksimalna višina poganjka v šopu. Ta se je v času enega leta povečala za 65 %. Prvo leto je znašala 109,8 cm, drugo leto 170,3 cm. EkspONENTNO z maksimalno višino se povečuje tudi volumen šopa. Povprečni volumen šopa se je v času ene rastne dobe povečal za več kot petkrat, kar kaže na visoko produktivnost tovrstnih nasadov.

V okviru analize vzorcev izbranega klona smo izračunali različne vrste gostote lesa, vlažnost lesa in vsebnost vode v lesu. Za prvo leto je osnovna gostota znašala 424,8 kg/m³ ter 431,4 kg/m³ za drugo leto. Ta vrednost ustreza vrednosti za osnovno gostoto 0,45 g/cm³, ki jo navaja Dietz (1975). Izračunali smo tudi gostoto lesa v svežem stanju, ki za leto 2009 znaša 0,722 t/m³, za leto 2010 pa 0,867 t/m³. V prvem letu je bila ta vrednost nekoliko nižja, kot jo navaja literatura, medtem ko je v drugem letu ustrezala v Holzatlas objavljeni vrednosti. Le ta je v intervalu med 750 in 990 kg/m³.

Masa vode v lesu se je enakomerno zniževala skupaj z višino na deblu, medtem ko sta se tako vlažnost lesa, kot tudi vsebnost vode v lesu, povečevale od dna drevesa proti vrhu

drevesa. Povprečna vlažnost lesa je znašala prvo leto 72,9 %, drugo leto pa kar 110,5 %, to visoko vrednost si lahko razlagamo s tem, da vlažnost in vsebnost vode v lesu enakomerno naraščata z naraščanjem višine poganjka. V manjši meri si to razliko lahko razlagamo tudi s časom odvzema vzorcev (leta 2009 je bil od vzem izveden v mesecu oktobru, leta 2010 en mesec kasneje). Minimalno vlažnost smo izmerili na dnu drevesa, medtem ko je bila maksimalna vlažnost izmerjena v »krošnji« oz. vrhnem delu drevesa. Vsebnost vode je znašala 42,0 % (leto 2009) in 52,2 % (leto 2010). V literaturi Krajnc in sod. (2009a) navajajo, da je povprečna vsebnost vode v lesu po sečnji 55 %.

Energetska vrednost naravnega lesnega materiala iz nasadov hitrorastočih drevesnih ali grmovnih vrst je v povprečju 18,8 MJ/kg_{daf}. (Krajnc in sod., 2009a), kar kaže na dobro kurilnost tega lesa. Tako znaša energetska vrednost sekancev iz testnega nasada na 1 ha 8,77 MWh, na celotni površini klona *Tordis* pa 19,43 MWh. Rezultati kažejo na visoko energetsko vrednost nasada. Če se bo donosnost nasada povečevala, bo energetska vrednost nasada še višja. Na podlagi tega sklepamo, da je ta nasad primeren energetski vir, s čimer lahko delno potrdimo hipotezo št. 1, ki pravi, da je lesna biomasa iz zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst primeren alternativni energetski vir.

Na koncu je najbolj pomemben podatek proizvodnja nasada, ki jo izražamo v tonah suhe snovi. V naših izračunih smo za leto 2009 ugotovili, da je nasad v času od zasaditve (april 2009) do izvajanja prvih meritev (oktober 2009) proizvedel 0,27 t atro/ha, od decembra 2009 (sečnja poganjkov) do septembra 2010 pa je proizvedel nekajkrat več, in sicer 1,41 ton suhe snovi na hektar. Če govorimo o sveži snovi, znaša ta za leto 2009 0,45 t/ha, za leto 2010 pa 2,84 t/ha, kar nam daje razmerje med maso sveže snovi in maso suhe snovi 2:1.

Skupni donos nasada od maja 2009 do septembra 2010 znaša 1,68 t suhe snovi na hektar oziroma 3,29 t sveže snovi na hektar. Če te vrednosti preračunamo na celotno površino klona *Tordis* (2,2 ha) v nasadu vrbe v Škalah pri Velenju, znaša skupni donos nasada 3,72 t suhe snovi in 7,29 t sveže snovi.

V splošnem opisu zunajgozdnih nasadov smo kot pričakovano vrednost donosa nasada navedli interval v razmaku od 7 do 20 t atro/ha. Vendar so te vrednosti navedene za celotno obhodnjo nasada, torej približno po treh do petih letih. Naši podatki pa so dobljeni na podlagi enoletnega prirastka. Če predpostavljamo, da bo nasad priraščal eksponentno, lahko rečemo, da bo ob koncu obhodnje dosegal vrednosti proizvodnje, ki jih navaja literatura. V Italiji znaša produkcija hitrorastočega nasada po 1-2 letni obhodnji od 2,9 – 5,4 t atro/ha (Spinelli, 2006), naš testni nasad pa je v enem slabem letu proizvedel 1,68 t atro/ha, kar kaže na zadovoljiv donos nasada. S tem se le delno potrди hipoteza št. 2, ki pravi, da se proučevani nasad nahaja na rodovitnih tleh in daje pričakovano vrednost nasada v takšnem intervalnem razmaku, kot ga navaja literatura.

Donosi iz proučevanega nasada so, kot smo že omenili, tako nizki zaradi opravljenih meritev šele po enem letu rasti. V mesecu decembru (2009) je bil nasad porezan, v septembru 2010 pa je bil ponovno izmerjen. Nasad v tem času še ni dosegel kulminacije volumenskega prirastka, ki nastopi šele v kasnejšem obdobju rasti.

Za nasade hitrorastočih drevesnih vrst velja, da so ti z vidika proizvodnje biomase najproduktivnejša oblika nasadov dreves. Njihovo uporabnost opravičujejo tudi relativno nizki proizvodni stroški ter dejstvo, da je pridobivanje biomase v nasadih enostavnejše od gospodarjenja z gozdovi. Kljub temu, da obstajajo določene omejitve glede neposredne energetske uporabe zaradi visoke vsebnosti vode, zaradi česar lahko takšne sekance uporabljamo le v večjih energetskih objektih (toplarnah ali elektrarnah), jih z dodatnim sušenjem lahko uporabljamo tudi v drugih primerih. Zadnjo hipotezo, ki pravi, da je v Sloveniji uporaba zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst za pridobivanje lesnih sekancev primerna in ekonomsko upravičena, lahko le delno potrdimo, saj bi za potrditev celotne hipoteze potrebovali še dodatno ekonomsko analizo ter rezultate meritev iz celotne obhodnje, ki pa še ni končana. Prav tako je pomembno omeniti tudi, da so stroški v teh dveh letih največji (strošek osnovanja, strošek prve sečnje ...), zato bi izvedba ekonomske presoje po tem času dala nerealno sliko.

Vseeno se porajajo določeni pomisleki glede pomembnosti in upravičenosti tovrstnih nasadov v Sloveniji. Kot že rečeno, se za primerno lokacijo nasada smatrajo tudi nekatere

kmetijske površine z določenimi omejitvami. Vendar je tu potrebno poudariti, da je v Sloveniji delež kmetijskih površin že tako majhen, da je vprašljiva raba teh površin za energetske namene. V kolikor pa te površine niso primerne za kmetijsko rabo, oziroma so kako drugače neprimerne (premogovništvo, erodibilnost, itd.), pa je uporaba zemljišča za nasad hitrorastočih drevesnih vrst dobrodošla. Zaradi prej navedenega ti nasadi niso subvencionirani s strani države, prav tako je vprašljiva tudi možnost subvencij v prihodnosti.

Eden izmed pomislekov je tudi ta, da je v naši državi velik delež gozdov, v katerih ostaja veliko neizkoriščenega lesa, ki bi ga lahko namenili v energetske namene. Vendar je to socialno-ekonomski problem (lastništvo gozdov, terenske razmere, tehnologije pridobivanja lesne biomase ...), na katerega hitrorastoči nasadi ne vplivajo.

Menimo, da zunajgozdni nasadi v naši državi niso zelo velikega pomena zaradi zgoraj omenjenih pomislekov. Zato trdimo, da je potreben predhoden resen razmislek kdaj, kje in zakaj tovrstne nasade potrebujemo in katere drevesne vrste so dejansko primerne za njihovo zasaditev. Podatki iz testnega nasada v Škalah pri Velenju po dveh letih po osnovanju še ne potrjujejo gospodarnosti takšnega nasada. Za podajanje bolj natančnih in preverjenih sklepov bi bilo potrebno nasad proučevati tekom celega cikla, torej od osnovanja nasada do prve sečnje in izdelave lesnih sekancev.

8 POVZETEK

V današnjem času vedno bolj stremimo k uporabi obnovljivih virov energije, zato so zunajgozdni nasadi hitrorastočih drevesnih vrst primeren alternativni vir energije, ko govorimo o nadomestilih fosilnih goriv. Lesna biomasa je pomemben energetski vir že od prazgodovine zaradi svoje dostopnosti, uporabnosti in razširjenosti. Z novimi tehnologijami za pridobivanje in izrabo lesne biomase pa bo njena uporabnost večja tudi v prihodnje. Zunajgozdni nasadi hitrorastočih drevesnih ali grmovnih vrst dajejo velik hektarski donos lesne biomase, ne posegajo v naravne gozdove in hkrati pomenijo razbremenitev naravnih gozdov.

Raziskave na področju zunajgozdnih nasadov so se začele že v šestdesetih letih 20. stoletja predvsem v skandinavskih deželah ter v Italiji in srednji Evropi. Na začetku je bil glavni namen nasadov hitrorastočih drevesnih vrst zagotoviti les za celuložno industrijo, v zadnjih dvajsetih letih pa postaja pomembnejša raba lesa v energetske namene. Zgodovinsko gospodarjenje s hitrorastočimi drevesnimi vrstami izhaja tudi iz panjevskega gospodarjenja, pri katerem so pogosto kot glavni cilj zasledovali maksimalno produkcijo lesa za energetske namene.

Obhodnja hitrorastočih nasadov je od 2- do 5- letna, mogoči so tudi daljši intervali, sama obhodnja pa je odvisna od izbranih drevesnih vrst in posameznih klonov. Najpogosteje so v uporabi kloni topola in vrbe, prve sadimo v enojne, druge pa v dvojne vrste. Gostota sajenja za 2- do 3- letno obhodnjo je odvisna od drevesne vrste in lahko variira od 5.000 do 16000 potaknjencev/ha, medtem ko je za nasade s pet ali več letno obhodnjo priporočljiva manjša gostota in sicer med 1.000 in 5.000 dreves na hektar. Da dosežemo panjevsko rast, moramo potaknjence v prvem letu po sadnji odrezati, s čimer spodbudimo šopasto razrast. Sečnjo nato izvajamo vsakih nekaj let, odvisno od tega, kako dolga je obhodnja. Količina proizvedene lesne mase je odvisna od drevesne vrste, kakovosti tal in od intenzivnosti nege. Količina proizvedene lesne mase se ponavadi podaja v tonah suhe snovi na hektar na leto. Za topole velja razpon donosa nasada med 7 in 25 t atro, za vrbe pa od 7 do 20 t atro, vendar se podatki razlikujejo tudi glede na različne avtorje.

Osnovni namen te diplomske naloge je bil zbrati na enem mestu čim več informacij iz domačih ter tujih virov o nasadih hitrorastočih drevesnih vrst, predstaviti dejavnike, ki vplivajo na produkcijsko sposobnost tovrstnih nasadov, predstaviti tehnike sadnje in sečnje ter ekonomičnost nasadov. Z meritvami na testnem zunajgozdnem nasadu smo skušali ugotoviti produkcijski potencial določene drevesne vrste (*Salix* sp., klon *Tordis*), kot alternativni vir energije v slovenskem prostoru. S pregledom domače in tuje literature smo ugotovili, da je vsako leto več literature na temo zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih vrst, kar kaže na to, da je ta alternativni vir energije vedno bolj raziskan in s tem tudi uporabljen v praksi. V Sloveniji zaenkrat obstajajo le testni nasadi vrbe v Trbovljah in Velenju, medtem ko se v sosednji Italiji vedno bolj poslužujejo topolovih nasadov.

Prednosti zunajgozdnih nasadov hitrorastočih drevesnih ali grmovnih vrst je več, kot na primer: so najproduktivnejše oblike nasadov dreves z vidika proizvodnje biomase, nasadi se obnavljajo sami z odganjanjem iz panjev, pridobivanje biomase v nasadih je enostavnejše od gospodarjenja z gozdovi, letni proizvodni stroški so relativno nizki, omejitve glede lastnosti zemljišč so majhne, ekološke prednosti (zaščita pred vetrom, erozijo, zavetje živalim ...) in še druge prednosti.

Skupaj z Gozdarskim inštitutom smo opravili meritve na testnem nasadu v Škalah pri Velenju v letih 2009 in letu 2010. Na podlagi obdelave pridobljenih podatkov in primerjave podatkov iz objavljene literature, smo prišli do ugotovitve, da znaša skupni donos testnega nasada od maja 2009 do septembra 2010 1,68 t suhe snovi na hektar oziroma 3,29 t sveže snovi na hektar. Če te vrednosti preračunamo na celotno površino klona *Tordis* (2,2 ha), znaša skupni donos nasada 3,72 t suhe snovi in 7,29 t sveže snovi. Pričakovana vrednost donosa nasada sega med 7 in 20 t atro/ha, saj so te vrednosti navedene za celotno obhodnjo nasada, naši podatki pa bili dobljeni na podlagi enoletnega prirastka. Nasad v tem času še ni dosegel kulminacije volumenskega prirastka, ki nastopi šele v kasnejšem obdobju rasti.

Če se nasadi nahajajo na za kmetijsko rabo neprimernih površinah (zaradi premogovništva, erodibilnosti, itd.), je njihova uporaba za zunajgozne nasade upravičena. To pa zato, ker je

v naši državi delež kmetijskih površin že tako majhen, da ni dopustno, da bi te površine namenjali v energetske namene. Ker pa je tudi delež gozdnatosti v Sloveniji velik in s tem tudi velik delež neizkoriščenega lesa, ki bi bil primeren za v energetske namene, je potreben resen predhoden razmislek kdaj, kje in zakaj tovrstne nasade potrebujemo in katere drevesne vrste so dejansko primerne za njihovo zasaditev. Podatki iz testnega nasada v Škalah pri Velenju po dveh letih po osnovanju še ne potrjujejo gospodarnosti takšnega nasada. Za podajanje bolj natančnih in preverjenih sklepov bi bilo potrebno nasad proučevati tekom celega cikla, torej od osnovanja nasada do prve sečnje in izdelave lesnih sekancev.

9 VIRI

About coppicing. 2010. Rebecca Oaks.

<http://www.rebeccaosaks.co.uk/aboutcoppicing.php> (15. okt. 2010)

Agronomy Institute. 2008. Willow biomass research.

<http://www.agronomy.uhi.ac.uk/> (15. okt. 2010)

Best practice manual for SRC willow, december 2007: bioenergy scheme. 2007. Portlaoise, Co. Laois, Biofuels Policy, Department of Agriculture, Fisheries & Food: 9 str.

Best practice manual for SRC willow. Bioenergy scheme 2009. 2008. Portlaoise, Co. Laois, Biofuels Policy, Department of Agriculture, Fisheries & Food: 10 str.

Božič G. 2009. Na jamski jalovini vrbe slabše uspevajo: obnovljivi viri energije. Delo, 51, 274: 13

Department for environment, food and rural affairs (DEFRA). 2002. Growing short rotation coppice: best practice guidelines for applicants to DEFRA's energy crops scheme. London, Department for Environment, Food & Rural Affairs: 32 str.

Dietz P. 1975. Dichte und Rindengehalt von Industrieholz. Holz Roh – Werkstoff, 33: 135-141

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

<http://www.fao.org/docrep/008/a0026e/a0026e11.htm> (15. 10. 2010)

Grošelj M. 2008. Namesto premoga biomasa, sonce in voda. Večer, 5. 12. 2008: 11

Hardcastle P., Calder I., Dingwall C., Garrett W., McChesney I., Mathews J., Savill P. 2006. A review of potential impacts of short rotation forestry. Edinburgh, LTS International: 168 str.

Hozjan V. 2010. Intervju z dr. Nike Krajnc: v strateških dokumentih Slovenije les in gozd ne obstajata. Energetika.net, časnik o energetiki (1. sep. 2010).

<http://www.energetika.net/si/novice/emisije-co2/dr-nike-krajnc-v-strateskih-dokumentih-slovenije-les-in-gozd> (16. feb. 2011)

Klemenc A., Kvac B., Živčič L. 2003. Lesna biomasa – staro gorivo v sodobni in prijazni preobleki. Ljubljana, Društvo za energetske ekonomiko in ekologijo ter Fokus društvo za sonaraven razvoj: 16 str.

Krajnc N., Piškur M., Dolenšek M., Božič G., Klun J. 2009a. Zunajgozdni nasadi hitrorastočih drevesnih in grmovnih vrst. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 15 str.

Krajnc N., Piškur M., Klun J., Premrl T., Piškur B., Robek R., Mihelič M., Sinjur I. 2009b. Lesna goriva: dreva in lesni sekanci: proizvodnja, standardi kakovosti in trgovanje. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 81 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.

Lieselotte D. 2009. Pappelblattkäfer, *Chrysomela populi*

<http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/17838350> (15. okt. 2010)

Maček J. 2008. Gozdna fitopatologija. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije in Zveza gozdarskih društev Slovenije – Gozdarska založba: 448 str.

Mckillop I., Dendy J. 2000. Advice on rabbit management for growers of short rotation willow coppice. York, DTI/DEFRA, Central Science Laboratory

Mead D. J. 2004. Opportunities for improving plantation productivity: How much? How quickly? How realistic? Biomass & Bioenergy, 28, 4: 249 - 266

Mihelčič T. 2010. Produktijski potencial drevesnih vrst, primernih za kratke obhodnje, na slovenskem. Ljubljana, samozaložba: 55 str.

Pogačnik N. Krajnc R. 2000. Potenciali lesne biomase uporabne v energetske namene. Gozdarski vestnik, 58, 7/8: 330-332

Premrl T., Božič G., Krajnc N. 2008. Alternativni viri energije: tehnologije pridobivanja in rabe lesne biomase. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije.

Schönhart M. 2008. Profitability of short rotation forestry in Austria. Laxenburg. International institute for applied studies: 37 str.

SIST – TS CEN / TS 14588:2004

SIST –TS CEN / TS 14961:2005

Slovenski vremenarski blog. 2009. Ogrevanje na biomaso varna in zanesljiva izbira.

<http://weather.blog.siol.net/2009/10/20/> (15. okt. 2010)

SSKJ - Slovar slovenskega knjižnega jezika. 1998. Ljubljana, DZS: 1714 str.

Spinelli R. 2006. Short rotation coppice (SRC) production in Italy. CNR – Ivalsa Florentino: 9 str.

Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. 2008. Harvesting short – rotation poplar plantations for biomass production. Croatian journal for forest engineering, 29, 2: 129–139

Torelli N. 1998. Gostota in relativna gostota lesa. Les, 50, 3: 52 – 54

Trinka P. 1998. Short-rotation forestry: discussion of 10 Austrian principles from the viewpoint of preservation of environment and nature. Biomass & Bioenergy, 15, 1: 109 - 114

Tubby I., Armstrong A. 2002. Establishment and management of short rotation coppice: practice note. Edinburg. Forestry commission..
www.forestry.gov.uk (15. 10. 2010)

Vande Walle I., Van Camp N., Van de Castele L., Verheyen K., Lemeur R. 2007a. Short rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) I. Biomass production after 4 years of tree growth. Biomass & Bioenergy, 31, 5: 267–275

Vande Walle I., Van Camp N., Van de Castele L., Verheyen K., Lemeur R. 2007b. Short rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) II. Energy production and CO₂ emission reduction potential. Biomass & Bioenergy, 31, 5: 276–283

Wagenführ R. 1996. Holzatlas. 4. Aufl. Leipzig, Fachbuchverlag: 688 str.

Zakon o gozdnem reprodukcijskem materialu. 2002. Ur. l. RS št. 58/02

ZAHVALA

Za izdelavo mojega diplomskega dela so najbolj zaslužni moji starši, saj so mi omogočili študij gozdarstva, ter me pri tem tekom celega študija tudi podpirali.

Hvala mentorju, prof. dr. Boštjanu Koširju, za vso pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela. Somentorici dr. Nike Krajnc se zahvaljujem za njeno pomoč in strokovno vodenje pri pisanju mojega diplomskega dela. Dr. Alešu Kaduncu se zahvaljujem za strokovni pregled moje diplome. Hvala tudi vodji Gozdarske knjižnice, mag. Maji Božič, za pregled ujemanja naloge s predpisanimi standardi.

Rada bi se zahvalila tudi mag. Mitju Piškurju z Gozdarskega inštituta Slovenije za njegovo pomoč pri obdelavi podatkov. Hvala tudi Iztoku Sinjurju in Jaki Klunu za dovoljenje za objavo njunih fotografij v moji diplomski nalogi.

Na koncu bi se rada prav posebej zahvalila še mojemu fantu Urbanu za njegove nasvete in spodbudne besede v času izdelave moje naloge.

PRILOGE

PRILOGA A: Obrazec za popis premerov poganjkov

PRILOGA B: Obrazec za popis višin in številčnosti poganjkov

PRILOGA C: Ortofoto posnetek nasada hitrorastočih drevesnih vrst v Škalah pri Velenju.

PRILOGA A

Obrazec za popis premerov poganjkov

DREVESNA VRSTA: _____

MERIL: _____

LOKACIJA, DATUM: _____

[illegible]

Obrazec za popis višin in številčnosti poganjkov

Meril: _____

[illegible]

PRILOGA C

Ortofoto posnetek nasada hitrorastočih drevesnih vrst v Škalah pri Velenju.

