

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

Tomaž MIHELČIČ

**PRODUKCIJSKI POTENCIAL DREVESNIH VRST,
PRIMERNIH ZA KRATKE OBHODNJE NA
SLOVENSLEM**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2010

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

Tomaž MIHELČIČ

**PRODUKCIJSKI POTENCIAL DREVESNIH VRST, PRIMERNIH ZA
KRATKE OBHODNJE, NA SLOVENSKEM**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**PRODUCTIVITY POTENTIAL OF TREE SPECIES SUITABLE FOR
SHORT ROTATION FORESTRY IN SLOVENIA**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2010

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

Komisija za dodiplomski študij Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je na seji 18. 6. 2009 sprejela temo in naslov diplomskega »Produktijski potencial drevesnih vrst, primernih za kratke obhodnje na Slovenskem«; za mentorja diplomskega dela je imenovala doc. dr. Aleša Kadunca., za recezenta pa prof. dr. Boštjana Koširja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Tomaž Mihelčič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Vs
DK GDK 331.1:228.0(043.2)=163.6
KG obnovljivi viri/lesna biomasa/gospodarjenje s kratkimi obhodnjami/produkcija biomase/drevesne vrste/Slovenija
KK
AV MIHELČIČ, Tomaž
SA KADUNC, Aleš (mentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI 2010
IN PRODUKCIJSKI POTENCIAL DREVESNIH VRST, PRIMERNIH ZA KRATKE OBHODNJE, NA SLOVENSKEM
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP VII, 55 str., 5 pregl., 18 sl., 33 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Pridobivanje lesne biomase z gospodarjenjem s kratkimi obhodnjami (»short rotation forestry«) je pod določenimi pogoji ekonomsko zanimivo in ekološko sprejemljivo. Fiziološko temelji na hitri kulminaciji povprečnega letnega prirastka sestoja, ekonomsko pa na hitrem obračanju kapitala, komplementarnosti s kmetijsko proizvodnjo in možnost pridobivanja lesne biomase blizu porabnikov. Z meritvami na vzorčnih ploskvah se je skušalo preizkusiti, ali so donosi lesne biomase pri gospodarjenju s kratkimi obhodnjami večji kot pri klasično gospodarjenih gozdovih. Rezultate so bili primerjani z rezultati, ki so objavljeni v tuji literaturi.
Dve izbrani drevesni vrsti (*Robinia pseudoacacia* in *Populus tremula*), ki bi bili primerni za gojenje s hitrimi obhodnjami na Slovenskem, sta potrdili tezo o večjih donosih lesne biomase pri gospodarjenju s kratkimi obhodnjami. Rezultati so bili v okviru donosov, ki so objavljeni v tuji literaturi.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC FDC 331.1:228.0(043.27)=163.6
CX renewable sources/woody biomass/short rotation forestry/biomass production
CC
AU MIHELČIČ, Tomaž
AA KADUNC, Aleš (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources
PY 2010
TI PRODUCTIVITY POTENTIAL OF TREE SPECIES SUITABLE FOR SHORT ROTATION FORESTRY IN SLOVENIA
DT Graduation thesis (Higher professional studies)
NO VII, 55 p., 5 tab., 18 fig., 33 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Woody biomass production with short rotation forestry under certain conditions is economically attractive and environmentally acceptable. Physiologically it is based on rapid culmination of the mean annual increment of the stands; economically it is based on a quick capital return, complementarity with agricultural production and the potency of biomass production near the consumers. With measurements on selected sites it was intended to prove if the yield of woody biomass is higher under conditions of short rotation forestry as by traditional managed forests. The results of measurements were compared with the results in foreign references. Two selected tree species (*Robinia pseudoacacia* and *Populus tremula*) that would be suitable for short rotation forestry in Slovenia proved the thesis of bigger yields of woody biomass, achieved by short rotation forestry. The results were comparable with published foreign references.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VI
Kazalo slik	VII
1 UVOD	9
1.1 OSNOVNI POJMI	10
2 NAMEN IN DELOVNE HIPOTEZE	13
2.1 NAMEN	13
2.2 DELOVNE HIPOTEZE	13
3 PREGLED OBJAV	14
3.1 IZHODIŠČA	14
3.2 ANALIZA LITERATURE PO TEMATSKIH SKLOPIH	15
3.2.1 Vplivi gospodarjenja s kratkimi obhodnjami na okolje	15
3.2.1.1 Vplivi na biološko raznovrstnost	15
3.2.1.2 Vplivi na krajino	16
3.2.1.3 Vplivi na tla in hidrološke razmere	17
3.2.1.4 Bilanca CO ₂	17
3.2.2 Izbira in priprava zemljišča	18
3.2.3 Izbira drevesnih vrst	20
3.2.4 Osnovanje nasada in nega	22
3.2.5 Dolžina ciklusov, žetev	23
3.2.6 Trajnost nasadov	28
3.2.7 Ekonomika gospodarjenja s kratkimi obhodnjami	29
3.2.7.1 Donosi suhe snovi	29
3.2.7.2 Stroški gojenja nasada	30
3.2.7.3 Stroški pridobivanja biomase	30
3.2.7.4 Vrednosti pridelka	32
3.3 SINTEZA UGOTOVITEV	33
3.4 USMERITVE ZA GOSPODARJENJE S KRATKIMI OBHODNJAMI NA SLOVENSKEM	34
4 MERITVE POTENCIALA ROBINIJE IN TREPETLIKE V SLOVENIJI	35
4.1 METODE DE LA	35
4.3 OPIS VZORČNIH PLOSKEV	38
5. REZULTATI MERITEV	43
6 RAZPRAVA	46
7 SKLEPI	48
8 POVZETEK	50
9 VIRI	52

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Donosi tipičnih vrst primernih za SRF po različnih avtorjih	29
Preglednica 2: Gostota, temeljnica, starost, prsni premer in višina na ploskvah s trepetliko	43
Preglednica 3: Gostota, temeljnica, starost, prsni premer in višina na ploskvah z robinijo	44
Preglednica 4: Masa in volumen na ploskvah s trepetliko	45
Preglednica 5: Masa in volumen na ploskvah z robinijo	45

KAZALO SLIK

	str.	
Slika 1;	Žetev biomase v nasadu, kjer se gospodari s kratkimi obhodnjami	2
Slika 2;	Nasad z obhodnjami do 5 let – »mini rotation«	3
Slika 3;	Nasad z obhodnjami 6 – 15 let – »midi rotation«	3
Slika 4;	Princip gospodarjenja s kratkimi obhodnjami	4
Slika 5;	Drobno strukturiranje nasadov SRF v krajini	11
Slika 6;	Zemljišče, pripravljeno za sajenje sadik	15
Slika 7;	Vpliv razmaka med sadikami na priraščanje pri dveh klonih topola	19
Slika 8;	Strojno sajenje	20
Slika 9;	Ročno sajenje, zaščita sadik	20
Slika 10;	Odganjanje poganjkov iz panja	24
Slika 11;	Prilagojeni kmetijski žetveni stroj	24
Slika 12;	Drobnilne čeljusti	25
Slika 13;	Specialna glava na gozdarskem harvesterju	25
Slika 14;	Snopi požete biomase, skladiščene ob nasadu	26
Slika 15;	Širše geografsko območje vzorčnih ploskev	39
Slika 16;	Lokacija vzorčnih ploskev v oddelku 108, GGE Krakovo	40
Slika 17;	Mikrolokacija vzorčnih ploskev robinije	41
Slika 18;	Mikrolokacija vzorčnih ploskev trepetlike	42

1 UVOD

Z naftno krizo v 2. polovici dvajsetega stoletja in klimatskimi spremembami (zahteve po zmanjšanju emisij CO₂ – Kyotski protokol) se je povečalo zanimanje za obnovljive vire energije.

Od teh je posebej zanimiva biomasa, saj omogoča široko paleto možnosti izrabe:

- pridobivanje toplotne energije s kurjenjem na tehnološko različne načine (kot vir ogrevanja ali za pretvorbo v električno energijo)
- pridobivanje »sinteznega plina« (kot vira energije za ogrevanje, za pretvorbo v električno energijo, za sintetiziranje tekočih goriv, kot surovina za pridobivanje kemičnih spojin) s postopki suhe destilacije ali biološke razgradnje (»biogas«).

Lesna biomasa je zaradi široke razprostranjenosti, enostavne dostopnosti in enostavne izrabe pomemben energetski vir že od prazgodovine, z novimi tehnološkimi možnostmi pri pridobivanju in izrabi pa bo to ostala tudi v bodoče.

Za pridobivanje lesne biomase se poleg klasičnih gozdarskih metod (z izrabo manj vrednih sortimentov za energetske potrebe) v Evropi in svetu vedno bolj uveljavlja gospodarjenje s kratkimi obhodnjami (angl. »Short Rotation Forestry« - kratko: SRF, nem. »Kurzumtrieb«).

V Evropi je zanimiva izraba slabših kmetijskih zemljišč, kjer se zaradi viškov s subvencijami stimulira pridelava nekmetijskih pridelkov.



Slika 1 Žetev biomase v nasadu, kjer se gospodari s kratkimi obhodnjami (vir: Centro Interdipartimentale di Ricerche AgroAm bientali Enrico Avanzi)

1.1 OSNOVNI POJMI

Gospodarjenje s kratkimi obhodnjami je plantažni nasad s takšno gostoto dreves, da ta čim prej zapolnijo razpoložljivi rastni prostor (ko se prične izločanje osebkov zaradi konkurence), posek pa se vrši, ko drevesa dosežejo takšne dimenzije, ki omogočajo uporabo enostavnih tehnologij (običajno pri prsnem premeru 10 – 20 cm). Gospodari se panjevsko (zaradi visokih stroškov osnovanja nasada), proizvodni cikli pa so dolgi 2 – 20 let.

Plantaža gozdnih drevesnih vrst je intenzivno gojenje gozdnih nasadov za omejen izbor gozdnih proizvodov (Savill, 1992). Izbor gozdnega proizvoda pogojuje dolžino obhodnje. Nekateri avtorji (Hardcastle, 2006) ločijo med »Short Rotation Coppice« (žetev s kratkimi obhodnjami) – s cikli do 5 let (v praksi večinoma nasadi klonov vrbe – *Salix viminalis*) in »Short Rotation Forestry« (gospodarjenje s kratkimi obhodnjami), kjer so obhodnje daljše – od 8 do 20 let.

Glede na dolžino obhodnje se uporablja tudi sledeča delitev načinov gospodarjenja s kratkimi obhodnjami (Short Rotation Forestry, kratko SRF):

- z obhodnjami do 5 let – »mini-rotation« (slika 2),



Slika 2 Nasad z obhodnjo do 5 let – »mini rotation« (vir: Forest Research. Forestry Commission, Gov.UK)

- z obhodnjami 6 -15 let – »midi-rotation« (slika 3),



Slika 3 Nasad z obhodnjami 6 – 15 let – »midi rotation« (Short rotation forestry. Biomass Energy Center)

- z obhodnjami daljšimi od 16 let – »maxi-rotation«.

Glede na specifično tehniko »poseka«, sorodno kmetijskim tehnikam, zajem pridelane nadzemne biomase ob koncu proizvodnega obdobja večino avtorjev imenuje »žetev« - angl. »harvesting« (Mead, 2004; Schoenhart, 2004; Hardcastle, 2006).

Teoretično izhaja ideja gospodarjenja s kratkimi obhodnjami iz dejstva, da povprečni letni volumenski prirastek sestaja – še posebej pri svetloljubnih in pionirskih vrstah ter nekaterih klonih – kulminira zelo zgodaj. V kombinaciji z odločitvijo za sečno zrelost največje zemljiške rente je moč pričakovati dobre ekonomske rezultate.

Gospodarjenje s kratkimi obhodnjami zgodovinsko izhaja iz panjevskega gospodarjenja (predvsem za energetske potrebe) in plantažnega gojenja hitro rastočih križancev topolov in drugih vrst za potrebe celulozne industrije.



Drevo pred sečnjo sekano blizu poganjki spomladi drevo je zrelo
vratu v iz panja koreninskega močno odganjajo za posek
po 7-20 letih
zimskem času

Slika 4 Princip gospodarjenja s kratkimi obhodnjami (prirejeno po: Treehugger, 2009)

V Evropi se raziskovanje v zvezi z gospodarjenjem s kratkimi obhodnjami vrši na dva načina (Trinkaus, 1998):

- z »neznanstvenimi raziskavami«; nasadi so osnovani v čim bolj realnih razmerah, ekvivalentnih povprečnim potencialnim komercialnim rastiščem; namen teh raziskav je pred vsem pridobiti realne ekonomske okvire gospodarjenja;
- z »znanstvenimi raziskavami«; nasade preučujejo v ekstremnih pogojih (s ciljnim doziranjem vode in mineralov, variiranjem gostote zasaditve, dolžine obhodnje, izbora drevesnih vrst in njihove zmesi,...); namen teh raziskav je poglobiti poznavanje fiziologije rastlin v ravnih pogojih gospodarjenja s kratkimi obhodnjami.

2 NAMEN IN DELOVNE HIPOTEZE

2.1 NAMEN

Osnovni namen naloge je na podlagi dostopne literature ovrednotiti različne vidike gospodarjenja s kratkimi obhodnjami (izbor vrst, produkcija, ekonomika, vplivi na okolje). Z meritvami na izbranih vzorčnih ploskvah skušamo ugotoviti produktijski potencial dveh drevesnih vrst (*Populus tremula*, *Robinia pseudoacacia*), ki bi bili primerni za gospodarjenje s kratkimi obhodnjami v Sloveniji.

2.2 DELOVNE HIPOTEZE

Z diplomskim delom skušamo preveriti hipotezo, da je produktijski potencial drevesnih vrst, ki so primerne za gospodarjenje s kratkimi obhodnjami, pri takšnem načinu gospodarjenja večji, kot je produktijski potencial klasično gospodarjenih gozdov na primerljivih rastiščih.

Merska osnova za ugotavljanje produktijskega potenciala je kilogram suhe snovi biomase, karakteristični parameter pa kulminacija povprečnega letnega volumenskega prirastka nasada.

Na zemljiščih, kjer zaradi različnih omejitev ni mogoče vzgajati kvalitetnih sortimentov (dolžino proizvodne dobe določa kulminacija povprečnega vrednostnega prirastka), je gospodarjenje s kratkimi obhodnjami rentabilno, še posebej, če so v bližini porabniki biomase.

Glavni omejitveni faktor v Sloveniji je konfiguracija terena. Gospodarjenje s kratkimi obhodnjami je intenzivno palntažno gojenje ustreznih drevesnih in grmovnih vrst, ki se zaradi ekonomske učinkovitosti vrši s kmetijskimi tehnikami in kmetijsko mehanizacijo. Za kmetijsko mehanizacijo pa ima veliko potencialnih zemljišč, primernih za gospodarjenje s kratkimi obhodnjami, prevelik naklon.

3 PREGLED OBJAV

3.1 IZHODIŠČA

Pri pregledu literature smo upoštevali publikacije, ki obdelujejo izsledke iz proučevanja razmer v zmernem toplotnem pasu (Srednja, Zahodna in Severna Evropa, Severna Amerika, Nova Zelandija).

Število strokovnih objav na temo gospodarjenja s kratkimi obhodnjami se je povečalo po konferencah o podnebnih spremembah (Rio de Janeiro 1992, Kyoto 1997), ko je več držav pričelo izvajati programe za pospeševanje pridobivanja obnovljivih virov energije.

Strokovno bi lahko gospodarjenje s kratkimi obhodnjami uvrstili med agronomijo in gozdarstvo – z njim se ukvarjajo strokovnjaki z obeh področij – zato je večina objav vezana na specifične raziskave in poizkuse, malo pa je literature, ki bi celostno obravnavala področje.

Strokovne objave bi lahko delili na:

- objave v strokovnih revijah (Biomass & Bioenergy, Forest Ecology and Management, World Resource Review, Journal of Ecology, Bioresource Technology, International Journal of Forest Engineering, Canadian Journal of Forest Research);
- publikacije ob strokovnih posvetovanjih (Kosten der Energieholzbereitstellung, Kurzumtrieb und Durchforstung, Weiselberg (A), 2005, First Conference of the SRF Woody Crops Operations Working Group, Padnach (KY), 1996, Bioenergie von Acker, Bad Hersfeld (D), 2006, Nachwachsende Rohstoffe, Hannover (D), 1991, European Conference on Biomass for Energy, različna evropska mesta od 1994 dalje, Energie aus Holz – Nachwachsend, Zukunftsicher und CO₂-neutral, Olsberg (D), 2009);
- objave strokovnih institucij kot povzetki raziskovalnih nalog: »Energy Technology Support Unit«, Harwell Laboratories, Oxford (VB), »Forschungsgesellschaft Joaneum«, Graz (A), »Research Institute of

Agricultural Economics«, Prague (Č), »Laboratory of Plant Ecology«, Ghent University (B), »Institute for Forest Genetics and Forest Tree Breeding«, Grosshansdorf (D), »Wood Supply Research Group«, University of Aberdeen (VB), »Institute for Agricultural Policy, Market Research«, University of Bonn (D), »Institut fuer Forsttechnik«, Universität fuer Bodenkultur, Wien (A), »Forschungsinstitut fuer schnellwachsende Baumarten«, Mueden (D), »Ultuna Research Station«, Uppsala (S), »Koeping-Malmoen Research Station« (S), »Finnish Forest Research Institute« (F);

- objave diplomskih del, magistrskih in doktorskih disertacij različnih univerz;
- gradiva strokovnih vladnih in nevladnih agentur, ki po posameznih državah zagotavljajo »know-how« s področja gospodarjenja s kratkimi obhodnjami;
- knjižne publikacije: Ledin W., Wildebrand L. 1996. Handbook on How to grow Short Rotation Forest. Swedish University of Agricultural Sciences; Short Rotation Handbook. 1992. University of Aberdeen; Mitchel C.P., Ford-Robertson J.B., Hinckley T., Sennerby-Forsse L. 1992. Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops. Springer; Flaig H., Mohr H., (eds). 1993. Energie aus Biomasse. Springer;
- objave na internetu.

3.2 ANALIZA LITERATURE PO TEMATSKIH SKLOPIH

Pri pregledu literature se je izkazalo, da je relativno malo primarnih virov izsledkov in veliko povzemanja iz njih oziroma sklicevanja nanje. V nalogi smo se oprli predvsem na primarne vire.

Pri analizi smo objavljeno gradivo obravnavali po sledečih tematskih sklopih - podobno delitev obravnavane snovi upošteva tudi večina avtorjev (Hardcastle, 2006; Mitchell, 1992):

- vplivi na okolje: na biološko raznovrstnost, na krajino, na tla in hidrološke razmere, na bilanco CO₂;
- izbira in priprava zemljišča;

- izbira drevesnih vrst;
- osnivanje nasada in nega;
- dolžina ciklusov, žetev;
- trajnost nasadov;
- ekonomika gospodarjenja s kratkimi obhodnjami.

Vse analize kažejo na značilno bipolarnost in skoraj nasprotujoče poglede na SRF glede na to, ali so potencialni nasadi SRF na kmetijskih površinah (in jih primerjajo s kmetijskimi površinami) ali na gozdnih površinah.

3.2.1 Vplivi gospodarjenja s kratkimi obhodnjami na okolje

3.2.1.1 Vplivi na biološko raznovrstnost

Avtorji (Hardcastle, 2006; Trinkaus, 1998; Sage, 1998) so enotnega mnenja, da pomeni gospodarjenje s kratkimi obhodnjami v primerjavi s sonaravnim gospodarjenjem z gozdom osiromašenje biološke raznovrstnosti: ne samo, da se zmanjša število vrst v drevesni plasti (do sedaj so prevladovali monokulturni nasadi), ampak je osiromašena pestrost vrst tudi v zeliščni plasti, prisotne vrste pa so izrazito nitrofilne, kar še dodatno siromaši biološko pestrost (Hardcastle, 2006).

Ker se pri gospodarjenju s kratkimi obhodnjami gospodari panjevsko (z vegetativnim razmnoževanjem), je zmanjšana tudi genetska pestrost med osebki iste vrste (Hardcastle, 2006; Mitchell, 1992; Trinkaus, 1998; Sage, 1998).

Pretežno monokulturni nasadi in odsotnost mrtvega drevja siromašijo tudi vrstno pestrost žuželk, ostalih členonožcev in nižjih živali (Sage, 1998; Hardcastle, 2006).

Nekoliko ugodnejšo pestrost je zaznati le pri pticah (Hardcastle, 2006).

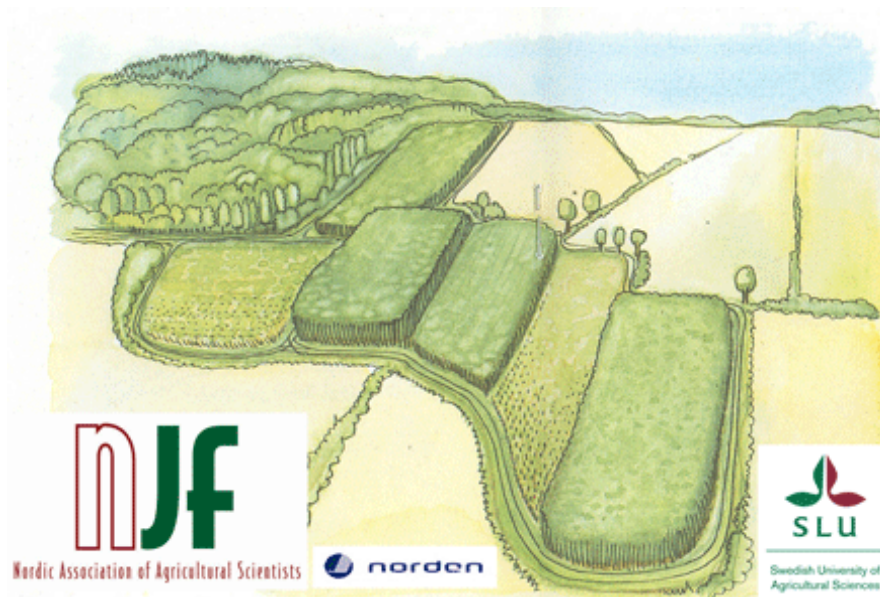
Boljšo raznovrstnost se doseže z nasadi v katerih je mešanica drevesnih vrst, vendar ne dosegajo pestrosti sonaravno gospodarjenega gozda (Mitchell, 1992; Trinkaus, 1998; Hardcastle, 2006).

Drugače je, če primerjamo nasade za gospodarjenje s hitrimi obhodnjami s kmetijskimi površinami: tu je prednost na strani SRF, še posebej v primerjavi z njivskimi površinami. Tako avtorji, ki prihajajo iz držav, kjer so potencialna rastišča za SRF kmetijska zemljišča (Zah. Evropa, ravninske države Srednje Evrope) smatrajo SRF za obogatitev biološke raznovrstnosti (Sage, 1998; Hardcastle, 2006), avtorji, ki prihajajo iz pretežno gozdnatih držav (potencialna zemljišča so gozdne površine, ker zaradi topografije primanjkuje kmetijskih zemljišč – alpske države, Skandinavija), pa smatrajo SRF za osiromašenje biološke pestrosti (Trinkaus, 1998).

3.2.1.2 Vplivi na krajino

Pogledi na to, kako SRF vpliva na krajino, se med avtorji razlikujejo, glede na to od kje prihajajo: v gozdnatih državah, kjer je sorazmerno majhen delež kmetijskih površin (alpske države, Skandinavija), smatrajo, da pomeni SRF osiromašenje krajine (enodobni, pretežno monokulturni nasadi SRF so tujek in moteč element v bogato strukturirani alpski krajini; še posebej nasprotujejo spreminjanju pašnikov v nasade SRF, ker se njihove površine zmanjšujejo), medtem ko pomenijo nasadi SRF v državah, kjer je bila večina gozdov spremenjena v kmetijske površine, obogatitev za vizualno podobo krajine (Trinkaus, 1998; Hardcastle, 2006).

Avtorji (Trinkaus, 1998; Hardcastle, 2006) so si pa enotni, da je s stališča kvalitete krajine, nasade SRF potrebno čim bolj drobno strukturirati (površine naj v celem ne bi bile večje od 5 ha, žetev sosednjih nasadov naj se ne bi vršila v istem letu, večje površine naj bi želi v več letih - delitev na manjše ploskve ali pasove, nasadi naj bi bili osnovani z zmesjo več – pretežno avtohtonih - drevesni vrst, poizkusiti bi bilo potrebno gospodarjenje »srednjega gozda« s hitrimi obhodnjami – tudi s prednostmi pri biološki raznovrstnosti).



Slika 5 Drobno strukturiranje nasadov SRF v krajini (vir: NJF Nordic Association of Agricultural Scientists, 2007)

3.2.1.3 Vplivi na tla in hidrološke razmere

Vpliv nasadov SRF na tla je pri kratkih obhodnjah podoben vplivu kmetijske proizvodnje – tla je potrebno dognojevati, v sušnih predelih namakati, zatirati plevel, pri daljših obhodnjah pa je podoben vplivu gozda na tla (Mitchell, 1992).

Tako je trajnostno gospodarjenje z nasadi SRF (ko se vsebnost mineralov in organske substance v tleh ohranja ali bogati) le pri proizvodnih ciklih, ki so daljši od 12 let in ob ustrezni drevesni zmesi – s komplementarnimi potrebami po hranilih in mineralih ter prisotnostjo vseh potrebnih mineralov v opadu (Mitchell, 1992; Trinkaus, 1998).

Daljše obhodnje zagotavljajo zadostno količino opada, po »zavzetju« rastnega prostora in s tem pričetkom konkurenčnega boja za hranila pa se prične tudi bujna rast in odmiranje podzemne biomase, ki prav tako bogati tla (Mitchell, 1992).

Zaradi pomena opada za tla, se za SRF skoraj izključno uporablja listnate drevesne vrste, žetev pa se vrši v zimskem času, ko so drevesa brez listov (Hummel, 1988, Mitchell, 1992; Hardcastle, 2006).

Ob izjemno kratkih obhodnjah se tla brez dognojevanja hitro izčrpajo, tako da se število generacij nasada (število obhodenj) močno zmanjša (Mitchell, 1992; Hardcastle, 2006).

Žetev v času zimske dormance, ko se večina hranil iz nadzemnega dela preseli v koreninski sistem, zagotavlja bujno razrast iz panjev v začetku novega proizvodnega cikla, poleg tega pa – zaradi zmrznjenih tal v naših klimatskih razmerah – zmanjšuje poškodbe tal (zbijanje tal, poškodbe korenin) zaradi uporabe mehanizacije (Mitchell, 1992; Savill, 1997; Hardcastle, 2006).

Na splošno velja, da zaradi SRF zbijanje tal ni kritično, saj je uporaba mehanizacije v enem proizvodnem ciklu minimalna, možno pa jo tempirati na obdobja, ko so tla manj občutljiva na zbijanje (ko so zmrznjena ali osušena). Na zbijanje tal pozitivno vpliva daljšanje obhodnje (Mitchell, 1992, Hardcastle, 2006).

Nasadi SFR imajo že v nekaj letih po osnovanju podoben varovalni učinek na tla kot gozdovi: zmanjšujejo nevarnost plazenja, erozije in izpiranja mineralov v podtalnico. Absolutno se blagodejni varovalni učinek poveča z daljšanjem proizvodnih dob (obdobje, ko nasad ne prekriva v celoti površine in tako učinkuje varovalno, je krajše, učinek je relativno manjši) in s postopno žetvijo v pasovih - okoliška ohranjena drevesa varovalno posegajo tudi v novo nastalo vrzel (Hardcastle, 2006).

Podoben učinek kot gozd imajo nasadi SRF (posebej starejši od 5 let) tudi na hidrološke razmere: veliko sposobnost intercepcije (in s tem upočasnen tok vode skozi tla ter posledično manjše izpiranje mineralov in ostalih hranil v podtalnico), zadrževanje velike količine vode v tleh, precejšna evaporacija (sposobnot izsuševanja zamočvirjenih tal), zmanjšanje površinskega segrevanja tal in posledično izhlapevanje kapilarne vode, ni onesnaženja podtalnice, ker pri daljših obhodnjah ni potrebno gnojenje in uporaba kemijskih zaščitnih sredstev (Mitchell, 1992; Hardcastle, 2006).

3.2.1.4 Bilanca CO₂

Biomasa velja kot CO₂ nevtralni energetski vir (Hummel,1988, Mitchell, 1992; Vande Walle, 2007; Hardcastle, 2006): ogljik, ki se sprosti pri pridobivanju in gorenju biomase ponikne s fotosintezo biomase naslednjega ciklusa (dodatni ogljik, ki se sprosti pri pridobivanju in transportu biomase in pri pretvorbi biomase v toplotno/električno energijo se kompenzira z ogljikom, ki ostane v obliki opada in ohranjene podzemne biomase na rastišču).

Po grobih ocenah se skozi 100-letno obdobje v nekaterih drevesnih vrstah, ki so primerne za SRF, povprečno uskladišči od 200 – 350 t CO₂ ha⁻¹ leto⁻¹ (največ jesen – 350 t CO₂ ha⁻¹ leto⁻¹, manj topol, jelša in breza). Izpusti zaradi osnovanja, vzdrževanja in žete nasada SRF pa so ocenjeni na 0,7 t CO₂ ha⁻¹ leto⁻¹, kar znaša manj kot 1 % (Vande Walle, 2007).

CO₂ bilanca SRF je odvisna od rastišča, drevesne vrste, dolžine obhodnje, tehnike žetve, dolžine transporta in tehnike pretvorbe biomase v toplotno in/ali električno energijo.

Na poizkusnih nasadih (z razmerami, ki ustrezajo potencialnim komercialnim nasadom) monokulturno gojenih različnih drevesnih vrst (breza, gorski javor, klon topola, vrba) v Belgiji so po žetvi prvega 4-letnega proizvodnega cikla ugotovili sledeče ključne parametre, preračunane na ha nasada (Vande Walle,2007):

- količina proizvedene dostopne biomase: 2–6 t (suhe snovi)/ ha⁻¹ leto⁻¹; količina najbolj variira zaradi drevesne vrste;
- količina pridobljene energije: 20kJ/g (suhe snovi) (malo variira glede na drevesno vrsto) ali 25–70 GJ ha⁻¹ leto⁻¹ (močno variira glede na drevesno vrsto);
- vložek energije za osnovanje in vzdrževanje nasada, žetev, transport, pretvorbo biomase v toplotno in/ali električno energijo: 3-7 GJ ha⁻¹ leto⁻¹ (odvisen od dolžine transporta in tehnologije pretvorbe biomase v energijo: kurjenje, uplinjanje, kot dodatek pri kurjenju trdnih fosilnih goriv);
- pridobljena energija: 18 – 56 GJ ha⁻¹ leto⁻¹ (variira glede na drevesno vrsto in tehnologijo pretvorbe energije: s kogeneracijo se pridobi dvakrat več energije kot s pridobivanjem samo električne ali toplotne energije);
- količina izpusta CO₂ pri termoelektrarnah na fosilna goriva znaša 264 kg CO₂/GJ (premog) in 136 kg CO₂/GJ (plin)

- zmanjšanje izpustov CO₂ z upoštevanjem CO₂, ki je uskladiščen v izrabljivi biomasi, je glede na elektrarne/toplarne na fosilna goriva: 4,8 – 14,8 t ha⁻¹ leto⁻¹ (elektrarne na premog) oz 2,4 – 7,6 t ha⁻¹ leto⁻¹ (plinske elektrarne); z upoštevanjem celotnega uskladiščenega CO₂ v ha nasada (200 -350 t) pa je bilanca še bolj ugodna.

Ker sestoj v nasadu SRF pri 4 letih še ni dosegel maksimalnega povprečnega volumenskega prirastka, bi z daljšo obhodnjo (kot 4 leta) še izboljšali CO₂ bilanco, saj bi z starostjo naraščal povprečni letni volumenski prirastek in pridobljena energija v suhi snovi biomase (večji delež energetsko bogatih ligninov glede na celotno maso v starejših tkivih).

3.2.2 Izbira in priprava zemljišča

Razpoložljiva zemljišča za SRF so kmetijska ali gozdna zemljišča, kjer se prvotna namembnost zaradi različnih vzrokov spreminja. Vrednostno pridelok iz SRF ne more konkurirati kmetijskemu pridelku ali dohodku iz tradicionalnega gozdarstva na istem normalno rodovitnem zemljišču (Hummel, 1988, Tiefenbacher, 1989, Mead, 2004; Hardcastle, 2006; Schoenhart, 2008). SRF je lahko alternativa kmetijstvu in tradicionalnemu gozdarstvu, kjer so za takšno gospodarjenje omejitve (prepovedana uporaba kemijskih zaščitnih sredstev in gnojil na kmetijskih površinah, nezainteresiranost za kmetijsko dejavnost zaradi pomanjkanja delovne sile ali manjše rodovitnosti zemljišč, slaba produkcijska sposobnost gozdnega rastišča, ki onemogoča pridelavo kvalitetnih sortimentov, omejena višina sestojev, omejitve uporabe težke gozdarske mehanizacije,...). V primerjavi s tradicionalnim gozdarstvom ima SRF sicer večje volumenske donose biomase, vendar pa so vrednostni donosi tradicionalnega gozdarstva večji (Hummel, 1988, Mitchell, 1992; Mead, 2004; Schoenhart, 2008)).

Nasadi SRF so lahko tudi varovalni nasadi - proti plazenju, eroziji rek, protivetrni pasovi,...(Hummel, 1988, Hardcastle, 2006).

Zaradi intenzivnosti proizvodnje in večje možnosti izbire drevesnih vrst so za SRF zaželena bolj rodovitna zemljišča (Hummel, 1988, Mitchell, 1992; Savill, 1997; Mead, 2004). Slabša zemljišča znižajo donosnost in omejijo število razpoložljivih vrst, ki jih je

smiselno saditi (največkrat ostanejo samo izrazito pionirske vrste: trepetlika, breza, leska, vrbe).

Zamočvirjenost zemljišča ni ovira za osnivanje nasadov SRF, saj je večino del, kjer je potrebna mehanizacija možno opraviti v zimskem času, ko so tla zmrznjena, velika transpiracija pa pripomore k izsuševanju tal (Mitchell, 1992; Hardcastle, 2006).

Naklon je omejujoč faktor (Hardcastle, 2006; Schoenhart, 2008), kadar se uporablja pretežno kmetijska mehanizacija (pred vsem ob izredno kratkih obhodnjah, ko se sestožanje v razvojni fazi gošče, s kmetijskimi žetvenimi stroji).

Za normalno SRF, z obhodnjo dobo 10 – 15 let – sestoj se žanje v razvojni fazi letvenjaka ali tanjšega drogovnjaka – pa je smiselno uporabljati gozdarsko mehanizacijo (pred vsem harvesterje s prilagoditvami), zato je ustrezen naklon terena enak delovnemu območju delovnega stroja (Schoenhart, 2008).

Če se osnuje nasad SRF na zelo osiromašenem zemljišču, je potrebno tla pred saditvijo rigolati in pognojiti; nasad zaradi kratke obhodnje ne more nadoknaditi izostanka prirastka, ki bi bil posledica slabih ravnstnih razmer ob osnovanju nasada (Mitchell, 1992; Savill, 1997; Mead, 2004; Hardcastle, 2006).



Slika 6 Zemljišče, pripravljeno za sajenje sadik (vir: Capax environmental services, 2008)

Zahtevni agrotehnični posegi (gnojenje – razen ob osnovanju nasada, namakanje, zatiranje plevelov s herbicidi, škropljenje proti boleznim in škodljivcem, postavljanje ograj) in nega sestoj (obžetev, redčenje) se uporabljajo le v poizkusnih nasadih. V praksi niso smiselni,

saj večinoma vrednostno ne nadomestijo povečanega pridelka. Nadomeščajo se z izbiro drevesnih vrst, gostoto sajenja, dolžino proizvodnih ciklusov, sejanjem rastlin, ki vežejo dušik (detelje in druge metuljnice) ob osnovanju nasada – te preprečijo tudi razbohotenje neželenih rastlin (Mitchell, 1992; Savill, 1997; Mead, 2004; Hardcastle, 2006).

3.2.2 Izbira drevesnih vrst

Izbor drevesnih vrst je pogojen z glavnimi zahtevami za SRF:

- hitra začetna rast (zgodnja kulminacija tekočega volumenskega prirastka sestoja)
- dobro vegetativno razmnoževanje (zaradi panjevskega gospodarjenja)
- velika energijska vrednost biomase
- kvaliteten listni opad
- majhna občutljivost na sušo in zmrzovanje v mlajših razvojnih obdobjih
- dobra odpornost proti boleznim in škodljivcem
- robustnost v konkurenci zavzemanja ravnega prostora s pleveli
- ustrezna provenienca
- po možnosti avtohtone drevesne vrste;

Za doseganje optimalnih lastnosti se v praksi veliko uporablja križanje in gensko spreminjanje drevesnih vrst. Ne samo zaradi hitrega začetnega priraščanja, ampak tudi zaradi manjše občutljivosti na boleznim, škodljivcem, sušo in pozebo. Uspešne raziskave in rezultati so bili doseženi pri vrstah iz rodu topolov, vrb in evkaliptusov – zaradi potreb, ki jih je narekovalo pridobivanje celuloznega lesa. Podobne napore bi bilo potrebno vložiti v raziskave vrst, ki so primerne za pridobivanje lesne biomase (Hummel, 1988, Tiefenbacher, 1989, Mitchell, 1992; Trinkaus, 1998; Mead, 2004; Hardcastle, 2006).

V poizkusnih in komercialnih nasadih SRF se v srednjeevropskem in zahodnoevropskem prostoru sadijo pred vsem sledeče vrste (Hummel, 1988, Tiefenbacher, 1989, Mitchell, 1992; Trinkaus, 1998; Mead, 2004; Hardcastle, 2006):

Avtotone vrste:

- iz rodu brez - navadna breza (*Betula pendula*)
- iz rodu jelš - črna jelša (*Alnus glutinosa*)
- siva jelša (*Alnus incana*)
- iz rodu javorjev - gorski javor (*Acer pseudoplatanus*)
- iz rodu vrb: - beka (*Salix viminalis*)
- bela vrba (*Salix alba*)
- iz rodu topolov : - črni topol (*Populus nigra*)
- trepetlika (*Populus tremula*)
- iz rodu jesenov - veliki jesen (*Fraxinus excelsior*)

Tujerodne vrste:

- iz rodu južne bukve - (*Nothofagus nitens*)
- (*Nothofagus nervosa*)
- iz rodu robinije - robinija (*Robinia pseudoacacia*)
- iz rodu evkaliptov - modri evkalipt (*Eucalyptus globulus*)
- gunnov evkalipt (*Eucalyptus gunnii*)
- (*Eucalyptus nitens*)
- iz rodu topolov - ameriška trepetlika (*Populus tremuloides*)
- ameriški črni topol (*Populus deltoides*)
- iz rodu pavlovnij - pavlovnija (*Paulownia tomentosa*)

Križanci topolov z najbolj ustreznimi lastnostmi za SRF izhajajo pred vsem iz sledečih starševskih kombinacij:

- *deltoides x nigra*
- *deltoides x trichocarpa*
- *deltoides x balsamifera*
- *trichocarpa x maximowiczii*

V novejšem času na poizkusnih nasadih preizkušajo zmesi svetloljubnih in pionirskih vrst, s katerimi želijo izboljšati hranilno sestavo listnega opada, zagotoviti bolj uravnoteženo črpanje mineralov iz tal in izboljšati biološko pestrost. Optimalno kompatibilna zmes je odvisna od talnih in klimatskih pogojev ter dolžine obhodnje.

V poizkusnih nasadih se uporabljajo zmesi sledečih drevesnih vrst v različnih kombinacijah:

- evropski pravi kostanj (*Castanea sativa*)
- črna jelša (*Alnus glutinosa*)
- siva jelša (*Alnus incana*)
- navadna leska (*Corylus avellana*)
- gorski brest (*Ulmus glabra*)
- vez (*Ulmus laevis*)
- navadni oreh (*Juglans regia*)
- divja češnja (*Prunus avium*)
- mokovec (*Sorbus aria*)
- robinija (*Robinia pseudoacacia*)
- gorski javor (*Acer pseudoplatanus*)
- iva (*Salix caprea*)
- trepetlika (*Populus tremula*)
- črni topol (*Populus nigra*)
- lipa (*Tilia platyphyllos*)
- veliki jesen (*Fraxinus excelsior*)

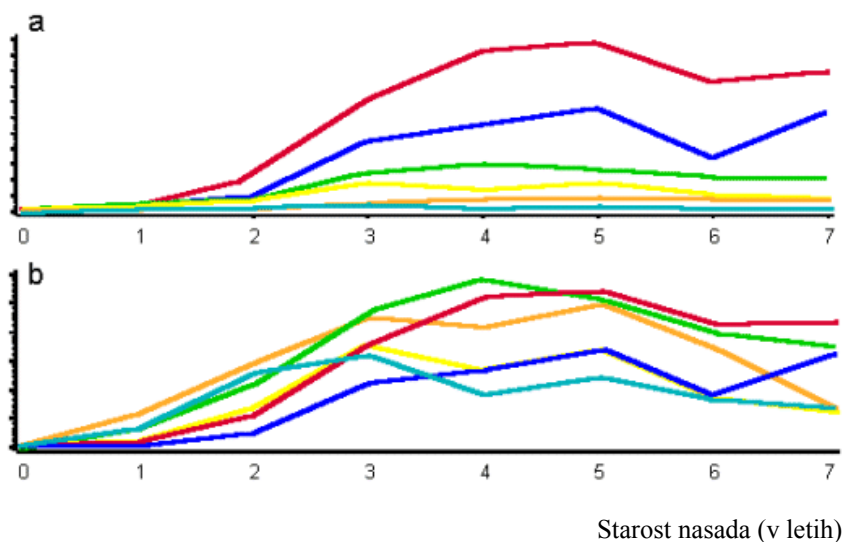
3.2.4 Osnovanje nasada in nega

Zasaditev novega nasada predstavlja enega največjih stroškov pri SRF. Poleg priprave zemljišča za saditev, ki je v danih razmerah fiksna (odvisna od »stanja« pred zasaditvijo), na ceno najbolj vpliva gostota zasaditve. Na drugi strani pa gostota zasaditve vpliva na to, kako hitro nasad preraste celotno površino (in tako odpravi potrebo po zatiranju »plevelov«) in hitrost priraščanja posameznih osebkov (če je manj konkurence, posamezni osebki hitreje priraščajo, odmiranje zaradi konkurenčnega boja v tleh je kasnejše in manj

intenzivno). Na izpostavljenih terenih gostejši nasad s koreninskim sistemom hitreje zaščiti tla proti eroziji in plazanju (Mitchell, 1992; Savill, 1997; Mead, 2004; Hardcastle, 2006).

Na poizkusnih nasadih so z variiranjem števila sadik pri različnih drevesnih vrstah na enoto površine ugotovili sledeče zakonitosti (Hummel, 1988; Mitchell, 1992; Savill, 1997; Liesebach, 1999; Redei, 2002; Mead, 2004; Hardcastle, 2006; Vande Walle, 2007):

- krajše obhodnje zahtevajo gostejšo začetno zasaditev;
- pri priporočenih dolžinah obhodnje (10 – 15 let) je za večino drevesnih vrst optimalno število 2500 sadik / ha (razmak med sadikami je 2,0 m);
- večje število sadik sicer poveča začetni prirastek biomase (slika 7), vendar vrednostno ne nadomesti povečanja stroškov zaradi gostejše zasaditve;
- na prirastek najbolj vpliva izbor optimalne drevesne vrste (ustrezno glede na tla, mikroklimo, izpostavljenost terena, s pravo provenienco, najbolj produktivne križance,..)



Klon D-01

- svetlo modro: razmak med sadikami 0,5 m
- rumeno: razmak med sadikami 1,0 m
- temno modro: razmak med sadikami 2,0 m

Klon 11-11

- oranžno: razmak med sadikami 0,5 m
- zeleno: razmak med sadikami 1,0 m
- rdeče: razmak med sadikami 2,0 m

Grafikon »a«: prirastek biomase na posamezno drevo (kg/drevo)

Grafikon »b«: prirastek biomase na enoto površine nasada (t/ha)

Slika 7 Vpliv razmaka med sadikami na priraščanje pri dveh klonih topola (prirejeno po: Biomass and Bioenergy, 1996)

Saditev se na manj zahtevnih terenih v monokulturnih nasadih lahko vrši strojno, na zahtevnejših terenih, ob sajenju zmesi drevesnih vrst, oblikovanju razgibanega roba nasada in v podobnih zahtevah je edino smiselno ročno sajenje (Scoenhart, 2008).



Slika 8 Strojno sajenje (vir: AgriculturaOnWeb, 2010)



Slika 9 Ročno sajenje, zaščita sadik (vir: The Peeble Pad Portfolio. University of Cumbria, 2009)

Z variiranjem različnih ukrepov nege na preizkusnih nasadih – od skrajno intenzivnih (kot pri intenzivnem kmetijstvu), do opustitve skoraj vseh ukrepov (podobno sonaravnemu gozdarstvu: sestoj se čim bolj uravnava sam), so se izoblikovala priporočila glede nege nasadov SRF (Mitchell, 1992; Trinkaus, 1998; Hardcastle, 2006; Schoenart, 2008).

Nega nasada, gnojenje in tretiranje s kemičnimi zaščitnimi sredstvi naj bi se opravljala samo v primeru, ko je v nevarnosti obstoj nasada. Za povečanje prirastka takšni ukrepi niso upravičeni (premalo učinka pri prirastku glede na vložek denarja, negativni vplivi na podtalnico in zbitost tal).

Gnojenje je smotrno samo na slabih tleh ob zasaditvi nasada, za obnovo po žetvi pa naj bi v tleh bilo dovolj hranil zaradi ustreznega listnega opada in odmrle podzemne biomase.

Problem plevela pri mladih nasadih in po obnovitvah, ko drevesca še ne prekrijejo celotne površine, se zmanjša z izborom ustreznega terena (če je možnost izbire) in z izborom ustreznih sadik (dovolj močne in odporne – »robustne«, da zmorejo konkurenčni boj). Če je potrebno, se zatiranje izvaja s sejanjem ustreznih dodatnih kultur med sadike (detelje, ustrezne druge metuljnice) ali s PVC zastirkami (prekritje površine s PVC folijo, ki se jo jeseni odstrani).

Če imajo sadike ob zasaditvi ustrezen razmak, redčenja niso potrebna (strošek redčenja ne pokrije koristi zaradi povečanega prirastka). Optimalni razmaki so odvisni od drevesne vrste in produktivnosti tal (Hummel, 1988; Mitchell, 1992; Trinkaus, 1998; Redei, 2002; Hardcastle, 2006; Schoenart, 2008).

Ker so nasadi precejšen del proizvodnega cikla v mlajših razvojnih fazah, ko so posebej podvrženi objedanju divjadi, se pojavlja problem zaščite pred divjadjo (Hardcastle, 2006; Schoenart, 2008). Posledice objedanja so posebej usodne ob osnovanju nasada – po kasnejših obnovah drevesa iz panjev hitro nadomestijo objedeni poganjek z novim. Možnost zaščite z ograjo je predraga, še posebej, če se upošteva ekološke zahteve po drobni strukturiranosti nasadov. Problem se omili, če so ob robu nasada zasajene drevesne vrste, ki jih divjad ne objeda (robinija).

3.2.5 Dolžina ciklusov, žetev

Dolžina ciklusa je odvisna od drevesne vrste, produktivnosti rastišča, omejitev okolja, pričakovane dobe vračanja vloženega kapitala (Hummel, 1988; Tiefenbacher, 1989; Mitchell, 1992; Mead, 2004; Schoenhart, 2008).

Z ekonomskega stališča se išče optimum med enkratnimi stroški za osnovanje nasada, periodičnimi prihodki od »žetve« biomase, stalnimi stroški za vzdrževanje nasada in večanjem obresti na kapital z daljšanjem dolžine ciklusa (Hummel, 1988; Hardcastle, 2006; Schoenhart, 2008).

Daljšanje ciklusov:

- izboljšuje energetska vrednost požete biomase (starejša drevesa imajo večji delež ligninskih tkiv, manjši delež lubja, manjšo vsebnost vode na enoto volumna);
- ima blagodejni vpliv na tla (več listnega opada in odmrle podzemne biomase, manj obremenitev tal in manj koreninskih poškodb zaradi redkeje uporabljene mehanizacije);
- zmanjša vpliv neugodnih razmer v začetnem obdobju nasada, ko so sadike občutljivejše na pomanjkanje vode, mraz, napade škodljivcev in bolezni;
- podaljšuje življenjsko dobo nasada – ker se manjkrat obnavljajo, se drevesa (panji, koreninski sistem) v nasadu kasneje »iztrošijo«;
- povečuje povprečno višino dreves v sestoji, ki tako bolje opravlja ekološke in varovalne funkcije.

Na dolžino ciklusov in s tem posredno dimenzije dreves ob žetvi vpliva razpoložljiva (izbrana) mehanizacija (Schoenhart, 2008): prilagojeni kmetijski žetveni stroji zahtevajo manjše dimenzije drevesc (v fazi mladja ali gošče – koreninski vrat do 7 cm), med tem ko gozdarski stroji (harvesterji) omogočajo tudi večje dimenzije dreves ob žetvi.

Omejitve pri dolžini ciklusov predstavlja lahko tudi dovoljena maksimalna višina sestoja (npr. pod daljnovodi).

V splošnem je bilo na osnovi znanstvenih poizkusov sprejeto načelo, da so primernejši daljši ciklusi (Trinkaus, 1998; Mead, 2004; Hardcastle, 2006; Schoenhart, 2008). Trajali naj bi od 5 let (za izredno hitro rastoče vrste kot npr. beka (*Salix viminalis*)) do 15 let, izjemoma do 20 let. Konkretna dolžina se določi z optimiranjem zgoraj naštetih dejstev.

Splošno sprejeto dejstvo je, da je optimalni čas za žetev zimski čas (Mitchell, 1992; Sage 1998; Hardcastle, 2006):

- v zimskem času je drevje brez listja; odpadlo listje bogati tla;
- delež vode v biomasi je manjši;
- hranila se v zimskem času iz nadzemnega dela preselijo v korenine, kjer so nato na razpolago za hitro in bujno odganjanje novih poganjkov iz panjev;
- zmrznjena in izsušena tla so manj občutljiva na zbijanje zaradi uporabe mehanizacije.

Na dobro odganjanje iz panjev vpliva starost dreves (premer debla), ki pa je vrstno nekoliko različno (Mitchell, 1992): do določenega premera debla (starosti drevesa) sposobnost odganjanja iz panja narašča, potem pa prične upadati. V povprečju je to pri premeru panja (koreninskega vratu) 10 cm (v splošnem je pri vrbah in brezah nekoliko manjši).

Za dobro odganjanje drevesa po žetvi je pomembna tudi višina panja (Mitchell, 1992), posebej pri kasnejših žetvah (ob prvi ni tako pomembna):

- če drevo odganja višje od tal, so poganjki manj izpostavljeni okužbam gliv;
- poganjki, ki odganjajo bližje koreninam, se bolj tesno povežejo z eno korenino in si s tem zagotovijo boljšo oskrbo z vodo in hranili (pomembno tam, kjer je voda omejujoči faktor);
- ker je bilo s študijami ugotovljeno, da kar 80 % poganjkov izhaja iz baze debla prejšnjih žetev, je pomembno, da se ne žanje pod nivojem vrha panja predhodne žetve;
- za višino panja pri žetvi je odločilno, kje se nahaja speči oz. adventivni meristem in koliko poganjkov iz panja želimo: če želimo veliko poganjkov pri žetvi pazimo, da ohranimo čim več adventivnega meristema.



Slika 10 Odganjanje poganjkov iz panja (vir: Forestencyclopedia)

Pri žetvi se uporabljata dve tehnologiji (Schoenhart, 2008):

- izdelava sekancev v nasadu; za to tehnologijo se uporablja kmetijske žetvene stroje (npr. Claas Jaguar) s posebno glavo za izdelavo sekancev; možno je, da se sekanci zbirajo na prikolici, ki jo vleče spremljajoči traktor, ali pa je ta pripeta kar na žetveni stroj (pomeni izgubo delovne moči za žetev in drobljenje); drobilna glava ima omejitev debeline debla (7 cm);



Slika 11 Prilagojeni kmetijski žetveni stroj (vir: biodiesel-expo.co.uk)



Slika 12 Drobilne čeljusti (vir: commons wikimedia)

- izdelava sekancev na skladišču; drevesa se poseka in razkosa s posebno glavo, ki je vgrajena na gozdarskem harvesterju; snope debel in vej zbere forwarder in odloži na skladišču ob nasadu; sekance se izdelata tik pred transportom h končnemu uporabniku; tehnologija je ekonomičnejša pri večjih dimenzijah dreves.



Slika 13 Specialna glava na gozdarskem harvesterju za žetev SRF (vir: biomatnet)



Slika 14 Snopi požete biomase, skladiščeni ob nasadu (vir: Constelation New Energy)

3.2.6 Trajnost nasadov

Trajnost nasadov in produktivnost skozi življenjsko dobo nasada je zelo odvisna od drevesne vrste, produkcijske sposobnosti rastišča in dolžine produkcijskih ciklov.

Različne drevesne vrste imajo zelo različno dinamiko priraščanja znotraj posameznega produkcijskega cikla, pa tudi v primerjavi med različnimi proizvodnimi cikli v življenjski dobi nasada (Hummel, 1988; Mitchell, 1992; Savill, 1997; Redei, 2002; Hardcastle, 2006).

V splošnem v prvih nekaj letih proizvodnega ciklusa prevladuje višinska rast, debelinska pa se poveča, ko višinska rast opeša. Pri vrbah je to 3 – 5 let po žetvi, je pa odvisno od vrste.

Različne vrste tudi različno priraščajo skozi ponavljajoče se proizvodne cikle: pri nekaterih vrstah se proizvodna sposobnost z vsakim naslednjim proizvodnim ciklom manjša (robinija, evkalipt), pri drugih pa z vsakim naslednjim narašča (najbolj izrazito vrba in leska). Nasadi vrbe (*Salix viminalis*) na Švedskem s kratkimi obhodnjami (3-5 let) povečujejo svojo produkcijsko sposobnost 20 – 25 let, produktivnost pa narašča do 5. cikla (Mitchell, 1992)

Na dolgoživost nasada vsekakor vpliva dolžina proizvodnega cikla: manj ciklov v določenem časovnem obdobju, boljša tla, manjša občutljivost na stres zaradi suše mraza, bolezni ali škodljivcev (Mitchell, 1992).

Doseganje trajnostnega gospodarjenja je pri kratkih obhodnjah zahtevna naloga. Idealu se da približati z daljšanjem obhodnje, ustreznim izborom drevesnih vrst, zadostno vrstno in gensko pestrostjo znotraj nasada in v njegovi bližnji okolici (Hummel, 1988; Mitchell, 1992; Trinkaus, 1998; Hardcastle, 2006).

Za učinkovito upravljanje z nasadom v smeri trajnostnega gospodarjenja pa bi bilo potrebno boljše poznavanje fiziologije sestoja (razmerja med rastnimi regulatorji, vodo, hranili, shranjevanjem in premeščanjem metabolitov) v pogojih kratkih proizvodnih dob, za kar bi bile potrebne ustrezne raziskave (Mitchell, 1992; Trinkaus, 1998; Mead, 2004).

3.2.7 Ekonomika gospodarjenja s kratkimi obhodnjami

Pomanjkanje praktičnih izkušenj pri gojenju in pridobivanju lesne biomase s SRF ter spreminjajoče razmere na trgu lesne biomase so vzrok, da so ključni parametri (donosi suhe snovi na hektar in leto, stroški gojenja in pridobivanja, vrednost pridelka) za določitev ekonomičnosti zelo variabilni.

Pri ocenah ekonomske upravičenosti se računski modeli in vstopni podatki pri različnih avtorjih zelo razlikujejo (Hummel, 1988; Mead, 2004; Hardcastle, 2006; Schoenhardt, 2008), avtorji pa tudi sami predpostavljajo veliko variabilnost posameznega podatka, tako da je primerjava nemogoča (Hummel, 1988; Hardcastle, 2006; Schoenhardt, 2008).

Pri sedanjem nivoju donosnosti nasadov in ceni lesne biomase na trgu večina avtorjev predvideva mejno vrednost rentabilnosti $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$.

Za Slovenijo so najlažje primerljivi avstrijski podatki, saj imamo podobne pedološke in klimatske razmere (= podobne donose), enake cene materialnih stroškov, nekoliko nižje stroške dela in (zaradi bližine) enake prodajne cene lesne biomase.

Bolj stabilne so cene celuloznega lesa, ki tudi predstavlja potencialni tržni produkt iz nasadov SRF. Biomasa za celulozno industrijo mora izpolnjevati določene standarde (ustreznejše vrste lesa z malo smole in taninov, vsebnost skorje je moteča,..), vendar so denarni donosi višji kot pri biomasi za energetske namene. Tako poročajo viri (Hummel, 1988) da imajo nasadi evkaliptov že pri letnem donosu $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ suhe snovi enak ekonomski učinek kot kmetijska pridelava na istih zemljiščih.

Z ločitvijo biomase ob žetvi (s procesorsko glavo obvejena in olupljena debbla se namenijo za celulozni les, skorja, veje in vrhači pa se zdrobijo za energetska biomasa) bi lahko izboljšali ekonomsko učinkovitost pridelave.

Vsekakor pa diverzifikacija odjemalcev biomase omogoča boljše tržno okolje za pridelovalce biomase.

3.2.7.1 Donosi suhe snovi

Ocene donosov suhe snovi (v tonah na ha in leto) pri poizkusnih nasadih variirajo od $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (slabi pogoji, ekstremno kratka obhodnja) do $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (optimalna obhodnja, optimalni pogoji, ekstremne vrste, tropsko podnebje). V praksi večina avtorjev predvideva donos $5 - 10 \text{ t ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (Savill, 1997; Liesebach, 1999; Mead, 2004; Hardcastle, 2006; Schoenart, 2008). V primerjavi s klasično gospodarjenimi gozdovi (obhodnja 60 – 150 let) je donos suhe snovi približno 1,5 krat večji (izraženo v teži).

Kalorična vrednost kg suhe snovi je za vse vrste, ki so primerne za SRF, približno enaka in znaša med 18 in 19 MJ/kg suhe snovi (Rosillo-Calle, 2007; Schoenart, 2008). Kalorične vrednosti bolj nihajo, če jih primerjamo glede na volumen (zaradi različnih gostot lesa, ki so obratno sorazmerne s hitrostjo priraščanja) ali glede na težo sveže biomase, zaradi različne vsebnosti vode – ta variira glede na drevesno vrsto, rastne pogoje in letni čas (Mitchell, 1992; Hardcastle, 2006; Rosillo-Calle, 2007; Vande Walle, 2007; Schoenart, 2008).

Preglednica 1. Donosi tipičnih vrst, primernih za SRF, po različnih avtorjih

Drevesna vrsta	Dolžina obhodnje (leta)	Donos $t\ ha^{-1}\ leto^{-1}$ (suhe snovi)	Vir
Topol	5	11	Cannel, 1982, cit. po Hummel 1988
	1	3-4	Auclair, 1986, cit. po Hummel, 1988
	2	4,5	Tiefenbacher, 1989
	4	18	Dimitri , 1993, cit. po Součkova, 2004
	3	8	Hardcastle, 2005
	14	6	Hardcastle, 2005
	4	2-14	Vande Walle, 2007
Vrba	3-4	18	Neeman, 1985, cit. po Hummel, 1988
	3	17	Flaig , 1993, cit. po Součkova, 2004
	3	8	Hardcastle, 2005
	4	3,5	Vande Walle, 2007
Evkalipt	4	3,5	Pearce, 1985, cit. po Hummel, 1988
	10-16	30	San Miguel, 1986, cit. po Hummel, 1988
	12	9	Hardcastle, 2005
	15	8	Hardcastle, 2005
Robinja	10	4-8	Pages, 1986, cit. po Hummel, 1988
	10	8-10	Redei, 1989
Breza	20	5	Hardcastle, 2005
	4	3,3	Vande Walle, 2007
Jelša	20	5	Hardcastle, 2005
Javor	4	1,2	Vande Walle, 2007
Jesen	20	7,4	Hardcastle, 2005

3.2.7.2 Stroški gojenja nasada

Tudi ocenjeno stroški nasada pri različnih avtorjih zelo variirajo - ne samo pri vhodnih podatkih (nekateri avtorji npr. zanemarijo vrednost zemljišča, ker naj bi se za SRF uporabljala zemljišča, kjer ne obstaja druga donosna alternativa izrabe), ampak tudi pri vrednostih posameznih ukrepov in posledično medsebojnih razmerij med njimi (Hummel, 1988; Mead, 2004; Hardcastle, 2006; Schoenhart, 2008).

Ne glede na razlike avtorji ugotavljajo naslednje ključne postavke, ki vplivajo na stroške nasada: nabava sadik in sajenje, zatiranje plevelov v prvem letu po zasaditvi in po obnovi in izvedba ograje za zaščito pred objedanjem divjadi. Ostali stroški (priprava zemljišča, začetno gnojenje, zaščita pred boleznimi in škodljivci) so večinoma ocenjeni dosti nižje. Z daljšanjem proizvodne dobe se letni stroški za navedena opravila manjšajo.

Avtorji navajajo sorazmerno majhen učinek gnojenja na povečanje donosov in pomemben vpliv izbora ustreznih sadik ter zatiranja plevela v prvem letu proizvodnega ciklusa (Mitchell, 1992; Hardcastle, 2006).

Večja gostota drevesc poveča stroške nabave in sajenja, a zmanjša stroške zatiranja plevela (drevesca preje prekrijejo celotno površino).

Stroški osnovanja in nege nasada so pri posameznih avtorjih ocenjeni na 1.300,00 EUR/ha do 12.000,00 EUR/ha. Stroški so odvisni od cene dela (zelo variira po državah EU), drevesne vrste v nasadu (število sadik, zahtevnost nege,..), zemljišča (stroški priprave za sajenje, potrebe po gnojenju in zatiranju plevelov, možnost strojne obdelave) in dolžine ciklusov (Dimitri, 1985, cit. po Hummel, 1988; Mitchell, 1985, cit. po Hummel, 1988; San Miguel, 1987, cit. po Hummel, 1988).

3.2.7.3 Stroški pridobivanja biomase

Večina avtorjev ne analizira stroškov pridobivanja biomase (»žetve«), manipulacije in transporta. Vendar pa avtorji, ki te stroške upoštevajo, ugotavljajo, da so zelo pomembni (v

celoti večji kot ostali stroški) in ključni za ekonomičnost tako pridobljene biomase – ocenjeno na 70 % proizvodne cene (Hummel, 1988; Schoenhart, 2008).

Tako so npr. stroški žetve zelo odvisni od izbrane tehnologije. V Evropi sta široko rabljeni predvsem dve:

- žetev in izdelava sekancev direktno na sečišču s prilagojenimi kmetijskimi žetvenimi stroji (npr. Claas Jaguar, s specialno glavo za izdelavo sekancev);
- žetev in obvejevanje s specialno glavo na gozdarskem »harvesterju«, transport s »forwarderjem« do skladišča ob nasadu in izdelava sekancev neposredno pred transportom h končnemu ponudniku.

Stroški harvesterja so še enkrat večji kot stroški prilagojenega kmetijskega žetvenega stroja, ti pa znašajo 40 % vrednosti biomase. Vendar ima prilagojen kmetijski stroj omejitvev, saj je največji premer debla, ki ga še lahko obdelava, 7 cm. Ta tehnologija zahteva skladiščenje lesne biomase v obliki sekancev, kar pa povzroča mesečno izgubo do 3% suhe snovi zaradi učinkovanja gliv in mikroorganizmov (dekompozicija). Prednost uporabe kmetijskega stroja je tudi ta, da se SRF žanje v zimskem času, ko stroj ni v uporabi za potrebe kmetijstva in se mu tako izboljša izkoriščenost.

Uvedba specialnih strojev, namenjenih samo za SRF, ni smotrna, saj bi bila izkoriščenost zaradi omejenih površin, razpršenosti nasadov in žetve samo v zimskem času zelo slaba.

Pri transportu je za ekonomičnost pomembna vsebnost vode v sekancih (omejitveni faktor pri transportu je teža, ne volumen).

Uporaba kamiona v primerjavi s traktorjem je smotrna pri razdalji večji od 13 km.

V splošnem pa tudi transport predstavlja velik strošek (pri 10 km razdalje cca 20% cene suhe snovi), zato je smotrno porabiti biomaso čim bliže izvoru (Hummel, 1988; Schoenhart, 2008).

3.2.7.4 Vrednost pridelka

Vrednost lesne biomase je zaradi nihanja cen energentov, nerazvitosti trga in sistema subvencij (ki se precej spreminjajo) dolgoročno težko predvideti.

Konec leta 2008 je bila cena lesne biomase (sekanci) na razmeroma razvitem avstrijskem trgu od 70 -85 €/t suhe snovi – franco kupec (Schoenhart, 2008). Za biomaso, ki je bila pridobljena na kmetijskih površinah, znašajo subvencije v Evropski skupnosti 45 €/ha (cca 5 €/t).

V Sloveniji, kjer je trg slabše razvit, ponudniki pa nimajo natančnega podatka o vlažnosti biomase, cena variira še bolj. Prodajne cene slovenskih ponudnikov, preračunane na t suhe snovi, bi znašale od 50 do 100 € franko kupec (odvisno od količine dostavljene biomase in oddaljenosti kupca).

Na primeru Avstrije (z razmerami podobnimi kot v Sloveniji) so bili s teoretičnimi modeli, v katerih so upoštevali normalno obrestovan tok stroškov in tok donosov analizirani različni scenariji SRF (z variiranjem dolžine obhodnje, tehnologije, cen biomase na trgu). V pesimističnem scenariju prihodki niso pokrili stroškov, optimistični scenarij pa je zagotavljal zmerno donosnost (Schoenhart, 2008).

Naraščajoča poraba in s tem večanje trga lesne biomase bo prav gotovo stabilizirala ceno. Velike razlike med ključnimi parametri za izračun donosnosti pa onemogočajo odločitev za SRF na osnovi (samo) ekonomskih kriterijev.

3.3 SINTEZA UGOTOVITEV

Avtorji uporabljene literature so si enotni, da je SRF pod določenimi pogoji okoljsko sprejemljiv način izrabe zemljišč. Bolj je sprejemljiv v krajinah, kjer so bili gozdovi (kot naravna vegetacija) skoraj v celoti spremenjeni v kmetijske površine, zaradi tržnih presežkov pa se s subvencijami vzpodbuja nepridelovanje.

S stališča vplivov na okolje je ustrežnejše, če so nasadi SRF drobno strukturirani (v enem kosu naj ne bi bili večji od 5 ha, rob naj bi bil razgiban), v nasadu naj bi bila zmes ustreznih pretežno avtohtonih drevesnih vrst, obhodnje naj bi znašale od 10 – 15 let, žetev pa bi se izvajala v obliki vrzeli ali pasov, katerih širina ne bi presegala sestojne višine nasada.

Nasade SRF je smiselno urediti na zemljiščih, kjer zaradi različnih omejitev ni možna kmetijska dejavnost (prepoved uporabe kemičnih sredstev, zamočvirjenost, nezainteresiranost lastnika za intenzivnejšo izrabo,..) ali klasično gozdarstvo (omejitev višine sestoja in velikosti dreves, slaba produktivna sposobnost rastišča onemogoča pridelavo kvalitetnih lesnih sortimentov).

Drevesne vrste, ki so primerne za SRF so svetloljubne (in) pionirske vrste, z dobro izraženo sposobnostjo vegetativnega razmnoževanja.

Optimalna zasaditev je z zmesjo talnim razmeram prilagojenih drevesnih vrst v razmaku 2 x 2 m (2.500 drevesc/ha).

Poleg začetnega gnojenja in zatiranja plevelov v prvem letu nasada (s »plastičnimi zastirali«) ni smotno izvajati drugih agrotehničnih ukrepov.

Namesto ograje za zaščito pred objedanjem divjadi, ki predstavlja znaten strošek, se na rob nasada razporedi vrste, ki jih divjad ne objeda.

S stališča trajnostnih načel so priporočljivi daljši proizvodni cikli (10 -15 let). Daljši proizvodni cikli in s tem povezane večje dimenzije debel določajo tehnologijo pridobivanja: skladiščenje obvejanih debel in vej ob nasadu, izdelava sekancev tik pred

transportom h kupcu (manjše izgube pri skladiščenju celih nezdobljenih dreves zaradi dekompozicije kot pri sekancih, manjši stroški transporta, ker sekanci vsebujejo manj vode).

Z ekonomskega stališča SRF v normalnih pogojih ne more konkurirati kmetijski proizvodnji ali klasičnemu gozdarstvu (z obhodnjami 60-150 let). Proizvodnja lesne biomase v nasadih SRF je v današnjih ekonomskih pogojih na meji rentabilnosti. Z razvojem trga lesne biomase (stabilizacijo cen), dvigom cen fosilnih goriv in zaostrenostjo ekoloških zahtev energentov, pa bi bila tako pridobljena lesna biomasa ekonomsko zanimiva.

Za boljše dosežke v pridelavi bi bilo potrebno izboljšati (s križanjem, gensko manipulacijo) drevesne vrste, ki se uporabljajo za SRF (dober izbor je le pri topolih) in opraviti temeljitejše raziskave fiziologije dreves za doseganje trajnosti gospodarjenja v širšem območju pogojev.

Glede na strukturo proizvodnih stroškov so velike možnosti znižanja le-teh z izboljšavami pri žetvi (razvoj optimalnih žetvenih strojev) in transportu (čim več porabnikov, s čimer se zmanjša transportna razdalja).

3.4 USMERITVE ZA GOSPODARJENJE S KRATKIMI OBHODNJAMI NA SLOVENSKEM

Ker v Sloveniji še ni bilo opravljenih izčrpnih študij, se pri izhodiščih za gospodarjenje s kratkimi obhodnjami lahko najbolj opiram na študije in zaključke, ki so bile opravljene v Avstriji, ki ima podobne klimatske, topografske in krajinske značilnosti kot Slovenija (Tiefenbacher, 1989; Schoenhart, 2008).

V normalnih pogojih se nasadi SRF uredijo samo na zemljiščih, kjer kmetijska ali klasična gozdarska dejavnost nista možni. V takšnih pogojih (ko zemljišče nima ustrezne rabe) pomeni nasad SRF izboljšanje okolja.

Da bi lažje ocenili potencialni obseg proizvodnje in upravičenost morebitnih vlaganj v razvoj, je smotrno predhodno izdelati kataster potencialnih rastišč (infrastrukturni koridorji, površine v zaraščanju s slabo možnostjo za ureditev visoko produktivnega gozda, degradirane površine ob urbanih okoljih, območja varovanja podtalnice, protivetrni pasovi ob kmetijskih površinah).

Po grobih ocenah je kmetijskih površin v zaraščanju 10.000 ha (v zadnjih 50 letih se je gozdna površina na leto povečevala za 500 ha (vir: Statistični letopisi 2005-2009); v 20 letih – to je z zakonom določeno obdobje, ko zaraščajoče površine prerastejo v gozd - znese 10.000 ha), razpoložljivih površin ob avtocestah je 5.600 ha (vir: MOP), površin koridorjev daljnovodov pa 3.500 ha (vir: ELES).

V katastru bi bilo potrebno poleg določitve zemljišč navesti tudi topografske, mikroklimatske in talne razmere in morebitne omejitve gospodarjenja. Kataster bi moral biti izdelan v okviru občinskih prostorskih aktov (PUP), z upoštevanjem kmetijskih, gozdnih, urbanih in infrastrukturnih površin.

Nasadi morajo biti ustrezno drobno strukturirani (omejitev največje strnjene površine, razgiban rob, postopne žetve). V nasadih naj bo zmes ustreznih avtohtonih drevesnih vrst (s hitrim začetnim priraščanjem, z dobrim listnim opadom, primernih za konkretne

pedološke in mikroklimatske razmere); v zmesi je lahko nekaj primernih tujerodnih vrst (robinja, oreh, pavlovnija). Za ugotavljanje optimalne zmesi glede na talne in mikroklimatske razmere, bi bilo potrebno opraviti ustrezne raziskave. Nasad naj se vzdržuje s čim manj agrotehničnimi in negovalnimi ukrepi. Obhodnja naj bo v normalnih pogojih dolga 10 – 15 let.

Ker pridobivanje lesne biomase ni edini učinek SRF, ampak so pomembni tudi okoljski učinki (ponor CO₂, vpliv na hidrologijo, zrak), je upravičeno pričakovati institucionalno vzpodbujanje dejavnosti (financiranje raziskav, svetovanje, sistem subvencij).

4 MERITVE POTENCIALA TREPETLIKE IN ROBINIJE V SLOVENIJI

4.1 METODE DELA

Za primerjavo z rezultati, objavljenimi v tuji strokovni literaturi, smo opravili rastne analize dveh potencialno zanimivih drevesnih vrst na 10 vzorčnih ploskvah v realnih rastnih razmerah, podobnih kot bi bile na komercialnih nasadih (slike 15 – 18).

Odločili smo se za eno avtohtono vrsto - trepetliko (*Populus tremula*) in eno tujerodno vrsto, a precej razširjeno v Sloveniji - robinijo (*Robinia pseudoaccacia*).

Obe vrsti sta pionirski in na zaraščajočih kmetijskih površinah pogosto tvorita čiste sestoje, kar je olajšalo izbor vzorčnih ploskev.

Obe drevesni vrsti sta pogosto upoštevani v tuji strokovni literaturi, tako da je možna dobra primerjava domačih rezultatov s tujimi.

Ploskve smo odmerili v letvenjakih in drogovnjakih v starosti, ki je enaka ciljni starosti nasadov SRF ob žetvi – 5 – 15 let.

Velikost vzorčne ploskve smo prilagodili višini dominantnega drevja (do višine 10 m je merila 100 m², nad višino 10 m pa 225 m²).

Vse meritve so bile opravljene v času zimske dormance /drevesa so bila brez listja).

Pri šestih dominantnih drevesih smo določili socialni razred po Kraftu (cit. po Assmann, 1961), utesnjenost krošnje (Assmann, 1961), velikost krošnje (Assmann, 1961) in večvrhatost, izmerili pa prsni premer, višino nadzemnega dela drevesa, težo nadzemnega dela drevesa, debelino skorje po 2 metrskih odsekih in na dvometrskih odsekih določili starost.

Pri ostalih drevesih smo določili drevesno vrsto za vsa drevesa, ki so presegla merski prag (prsni premer 3 cm) in ugotovili število dreves, ki presegajo merski prag (prsni premer 3 cm).

4.2 OPIS VZORČNIH PLOSKEV

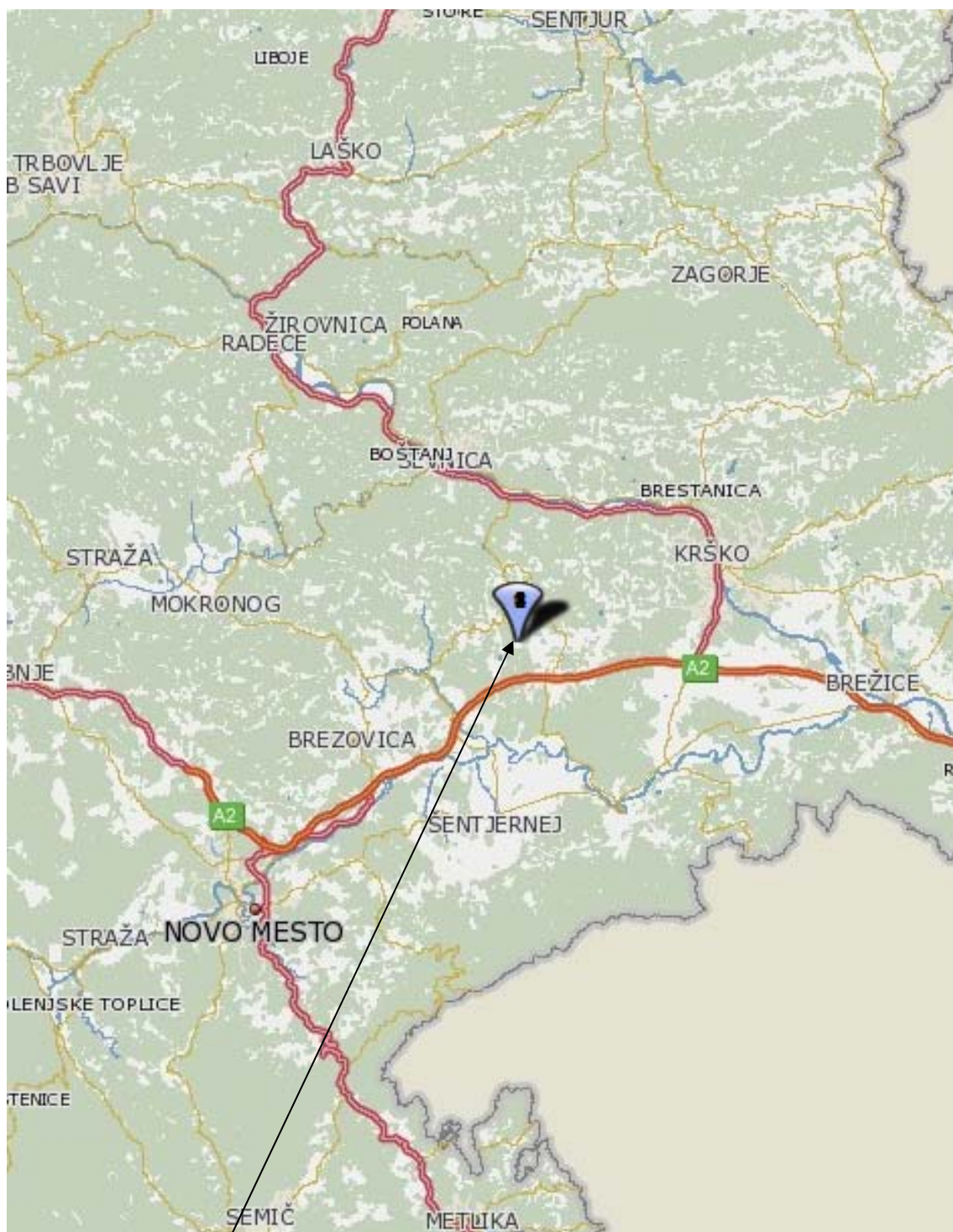
Vse vzorčne ploskve so na zaraščajočih kmetijskih površinah. Sestoj trepetlike in robinije sta izbrana tako, da v njih merjeni drevesni vrsti – kljub spontanosti nastanka - močno prevladujeta (več kot 90 %).

Vzorčne ploskve so locirane na gričevju panonskega obrobja, na pobočjih z zmernim naklonom (pod 20 %) z jugovzhodno ekspozicijo.

Tla so ilovnata, globoka, matična kamenina pa silikatni peščenci in meljevci. Površinske skalovitosti ni.

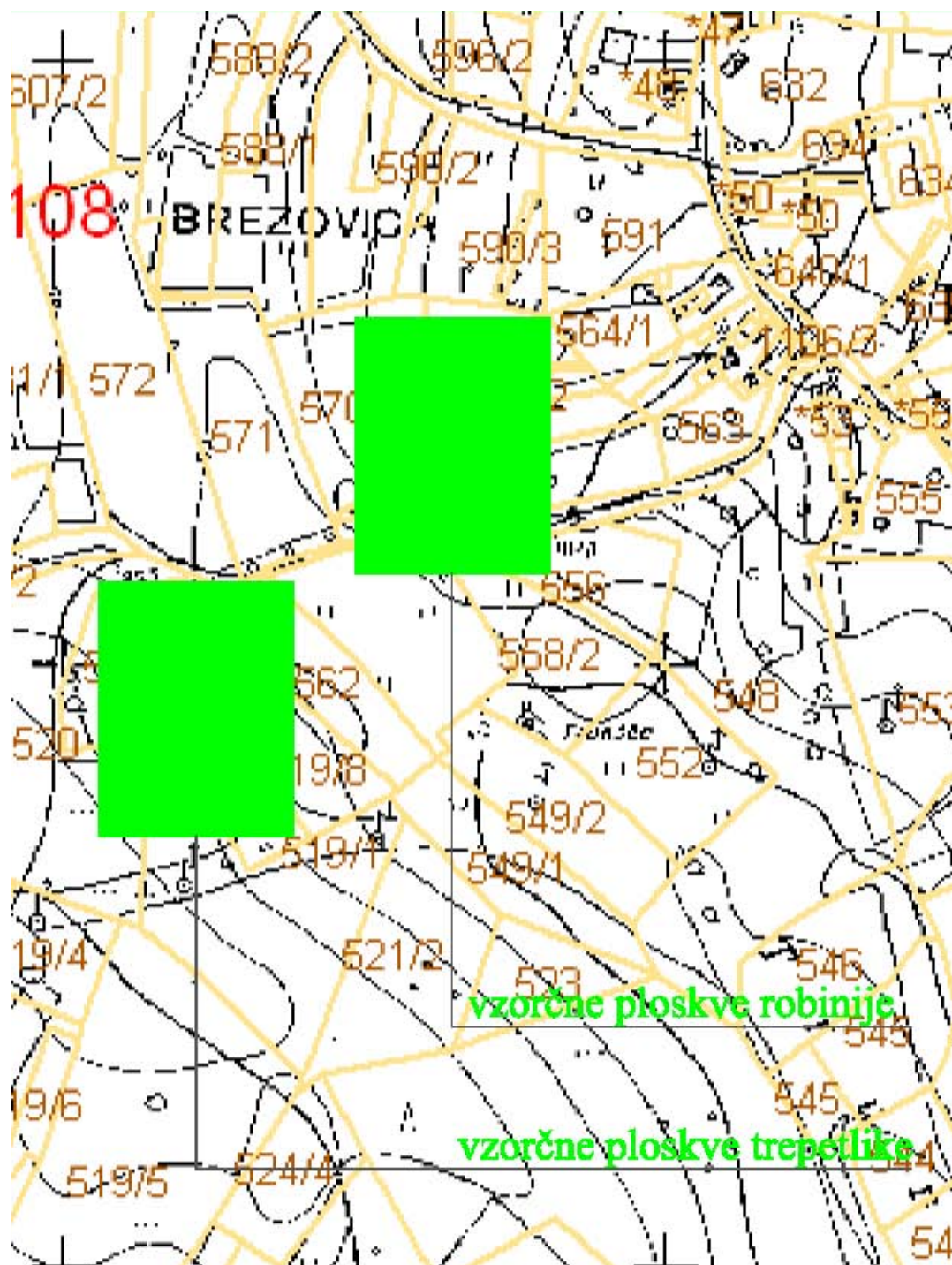
Okoliške gozdne površine na enakih tleh sestavljajo združbe *Melampyro vulgati* – *Quercetum petraeae*, ki je sekundarna združba in se nahaja na rastišču *Castaneo-Fagetum*.

Sestoj trepetlike s površino 0,5 ha je nastal z nasemenitvijo na opuščeni kmetijski površini (travnik), sestoj robinije s površino 0,4 ha pa je panjevski (po pripovedovanju prič je bil posekan pred 8 leti), nastal je na opuščnem sadovnjaku.

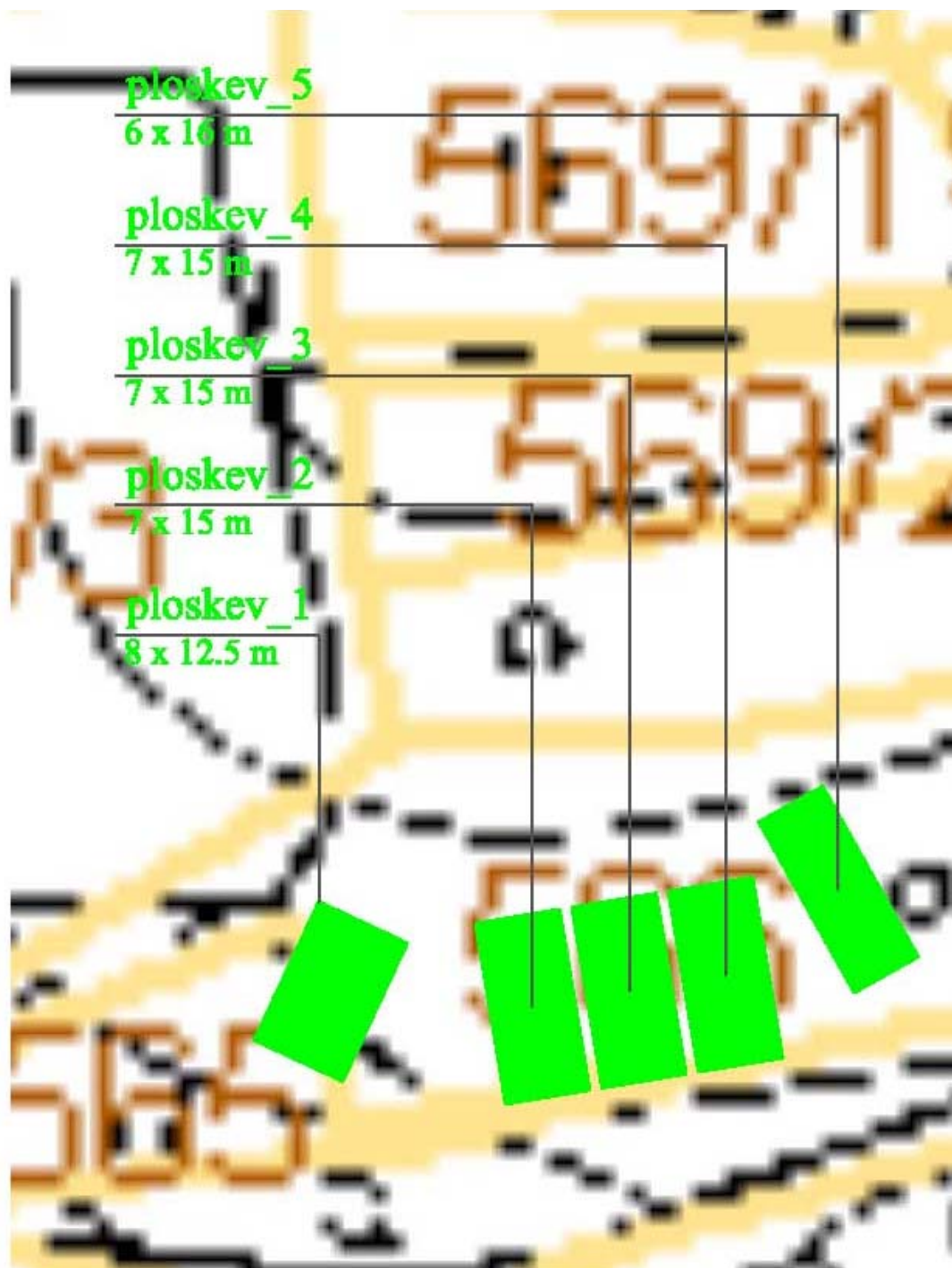


Brezje pri Raki

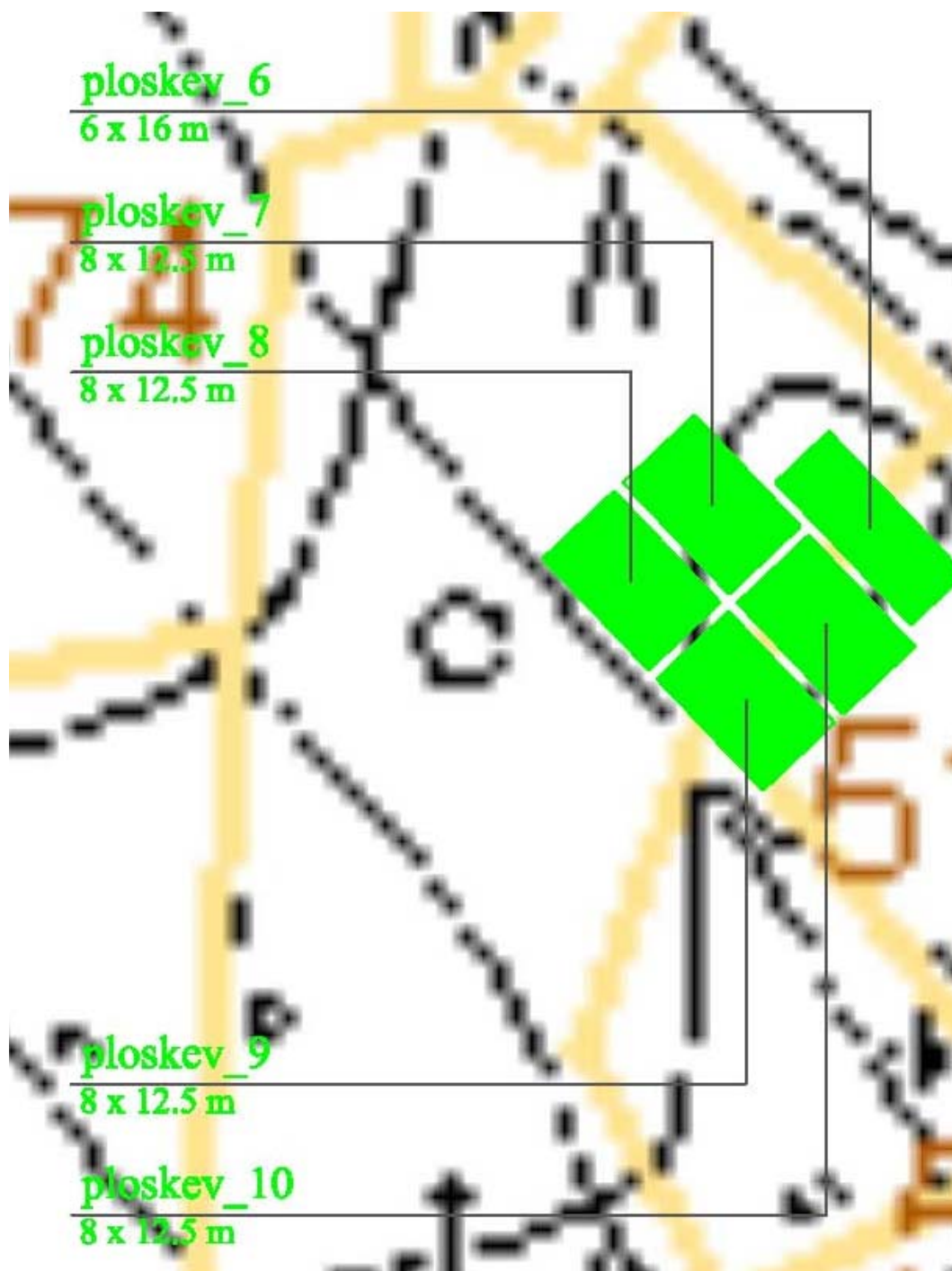
Sl.15 Širše geografsko območje vzorčnih ploskev



Sl.16 Lokacija vzornih ploskev v oddelku 108, GGE Krakovo



Sl.17 Mikrolacija vzorčnih ploskev robinije



Sl.18 Mikrolokacija vzorčnih ploskev trepetlike

5. REZULTATI MERITEV

Rezultati meritev z vseh desetih ploskev so prikazani s ključnimi parametri za ugotavljanje donosnosti lesne biomase v dve preglednici za vsako drevesno vrsto (preglednice 2 – 5).

Število dreves na ha je bilo pri trepetliki od 1700 do približno 2100 (preglednica 2) in je bilo znatno nižje kot pri robiniji, kjer je bilo od 2700 do 4100 (preglednica 3).

Temeljnica je bila pri trepetliki od 6,2 m²/ha do 8,80 m²/ha (preglednica 2), kar je dosti nižja vrednost kot pri trepetliki, kjer je znašala od 9,1 m²/ha do 12,5 m²/ha (preglednica 3).

Drevesa v sestoji trepetlike so bila stara 8 let (preglednica 2), v sestoji robinije pa 7 let (preglednica 3).

Srednji prsni premer trepetlike je znašal od 6,6 cm do 7,5 cm (preglednica 2) in je le nekoliko večji od srednjega prsnega premera robinije, ki je znašal od 6,0 cm do 6,5 cm (preglednica 3).

Približno enaka je tudi razlika med srednjimi prsnim premeri dominantnih dreves v sestoji: pri trepetliki je znašal od 7,5 cm do 8,5 cm (preglednica 2), pri robiniji pa od 7,0 cm do 7,3 cm (preglednica 3).

Srednja višina dominantnih dreves se med vrstama skoraj ni razlikovala: od 11,0 m do 11,6 m pri trepetliki (preglednica 2), od 11,0 m do 11,6 m pri robiniji (preglednica 3).

Preglednica 2: Gostota, temeljnica, starost, prsni premer in višina na ploskvah s trepetliko

Ploskev	Št. dreves/ha	G/ha	G _{dom} /ha	Srednja starost	Srednji prsni pr.	Srednji dom.p.pr.	Srednja višina _{dom}	KV _{starost} %	KV _{viš.} %
1	1.700	6,15m ² /ha	2,95m ² /ha	7,33 let	6,65 cm	7,83 cm	11,20 m	5	9
2	1.810	6,30m ² /ha	2,53m ² /ha	7,67 let	6,58 cm	7,50 cm	11,60 m	7	8
3	1.619	7,23m ² /ha	3,04m ² /ha	8,00 let	7,47 cm	8,17 cm	11,50 m	0	6
4	2.000	7,66m ² /ha	2,80m ² /ha	8,00 let	6,86 cm	7,83 cm	11,00 m	0	9
5	2.083	8,82m ² /ha	3,60m ² /ha	8,00 let	7,20 cm	8,50 cm	11,00 m	0	9

Preglednica 3: Gostota, temeljnica, starost, prsni premer in višina na ploskvah z robinijo

Ploskev	Št. _{dreves} /ha	G/ha	G _{dom} /ha	Srednja starost	Srednji prsni pr.	Srednji dom.p.pr.	Srednja višina _{dom}	KV _{starost} %	KV _{viš.} %
6	3.229	11,01m ² /ha	2,71m ² /ha	6,83 let	6,52 cm	7,33 cm	11,60m	5	9
7	2.700	9,14m ² /ha	2,46m ² /ha	6,83 let	6,52 cm	7,17 cm	11,20 m	5	10
8	4.100	12,51m ² /ha	2,32m ² /ha	6,83 let	6,02 cm	7,00 cm	11,20 m	5	10
9	3.700	11,81m ² /ha	2,32m ² /ha	7,00 let	6,32 cm	7,00 cm	11,15 m	0	12
10	3.600	12,39m ² /ha	2,53m ² /ha	7,00 let	6,41 cm	7,17 cm	10,98 m	0	9

Povprečna masa dominantnih dreves je znašala pri trepetliki od približno 22.500 kg/ha do približno 30.500 kg/ha (preglednica 4) in je bila nekoliko višja kot pri robiniji, kjer je znašala od približno 16.500 kg/ha do približno 23.500 kg/ha (preglednica 5).

Koeficient variacije je bil pri trepetliki od 25% do 66% (preglednica 4) in je višji kot pri robiniji, kjer je znašal od 36% do 52% (preglednica 5).

Povprečna masa skorje je pri trepetliki znašala od 5.400 kg/ha do 7.100 kg/ha (preglednica 4) in je bila znatno višja kot pri robiniji, kjer je znašala izmerjena povprečna masa skorje od 3.500 kg/ha do 4.400 kg /ha (preglednica 5).

Tudi koeficient variacije izmerjenih mas skorje je bil večji pri trepetliki, kjer je znašal od 10% do 15% (preglednica 4), kot pa pri robiniji, kjer je znašal od 9% do 11% (pregl. 5).

Ocenjena masa vseh dreves v sestoji je pri trepetliki znašala od 54.000 kg/ha do 74.000 kg/ha (preglednica 4) in je bila precej nižja kot pri robiniji, kjer je znašala od 72.000 kg/ha do 98.000 kg/ha (preglednica 5).

V približno enakem razmerju kot ocenjene mase dreves so tudi ocenjeni volumni vseh dreves: pri trepetliki so znašali od 48 m³/ha do 64 m³/ha (preglednica 4), pri robiniji pa od 62 m³/ha do 87 m³/ha.

Preglednica 4: Masa in volumen na ploskvah s trepetliko

Ploskev	Povprečna masa _{dom.}	KV% _{masa dom.}	Povpr. masa skorje _{dom.}	KV% _{skorja dom.}	Ocena mase vseh dreves	Ocena volum. vseh dreves
1	29.800 kg/ha	66	7.120 kg/ha	10	62.170 kg/ha	47,90 m ³ /ha
2	22.860 kg/ha	25	5.620 kg/ha	15	56.920 kg/ha	49,10 m ³ /ha
3	22.760 kg/ha	39	5.440 kg/ha	14	54.130 kg/ha	47,60 m ³ /ha
4	22.950 kg/ha	46	5.530 kg/ha	13	62.790 kg/ha	54,60 m ³ /ha
5	30.310 kg/ha	37	6.960 kg/ha	11	74.260 kg/ha	63,50 m ³ /ha

Preglednica 5: Masa in volumen na ploskvah z robinijo

Ploskev	Povprečna masa _{dom.}	KV% _{masa dom.}	Povpr. masa skorje _{dom.}	KV% _{skorja dom.}	Ocena mase vseh dreves	Ocena volum. vseh dreves
6	23.300 kg/ha	52	4.400 kg/ha	9	94.800 kg/ha	80,10 m ³ /ha
7	19.400 kg/ha	50	3.780 kg/ha	10	72.080 kg/ha	62,10 m ³ /ha
8	16.500 kg/ha	32	3.450 kg/ha	11	88.970 kg/ha	87,30 m ³ /ha
9	18.800 kg/ha	38	3.950 kg/ha	10	95.700 kg/ha	85,50 m ³ /ha
10	20.100 kg/ha	36	4.440 kg/ha	9	98.430 kg/ha	83,90 m ³ /ha

6 RAZPRAVA

Izbrane vzorčne ploskve verjetno dobro predstavljajo potencialna rastišča za nasade SRF v Sloveniji (površine, kjer se zaradi slabših pogojev opušča kmetijstvo), vendar pa omejeno število ploskev omogoča le grobo oceno dejanskih produktivnih potencialov.

Na vzorčnih ploskvah ni bila izmerjena celotna biomasa, ki je ključni podatek za oceno produktivne sposobnosti obeh vrst.

Celotno biomaso lahko ocenimo iz razmerja med temeljnico dominantnih dreves in temeljnico vseh dreves na vzorčni ploskvi – višina dreves je pri večini prsnih premerov podobna, odstopa le boljše razvitost krošnje pri večjih prsnih premerih.

Ob teh predpostavkah je relacija med temeljnico in maso linearna.

Tako ocenjena biomasa znaša za:

- trepetliko: 8,0 t ha⁻¹ leto⁻¹ (sveža biomasa)
 4,0 t ha⁻¹ leto⁻¹ (suha snov)

- robinijo: 13,0 t ha⁻¹ leto⁻¹ (sveža biomasa)
 6,5 t ha⁻¹ leto⁻¹ (suha snov)

Sveža lesna biomasa v grobem vsebuje 50 % vode - razmerje teža sveže biomase : teža suhe snovi je enako 2 : 1 (Mitchell, 1992; Rosillo-Calle, 2007).

Večji prirastek biomase robinije v primerjavi s trepetliko je verjetno poleg vrstne specifikacije tudi posledica dejstva, da je sestoj robinije panjevski (posledica tega je tudi večje število dreves, saj je iz dobro razvitih korenin po poseku zraslo veliko močnih pogankov), sestoj trepetlike pa je nastal s spontano nasemenitvijo, z močnim konkurenčnim bojem v začetnem ravnem obdobju – ne samo znotraj vrste, ampak tudi z zelnatimi rastlinami in grmovnicami po opustitvi kmetijske obdelave.

Izmerjeni donosi so nižji kot primerljivi donosi, objavljeni v tuji literaturi:

trepetlika:

- 2,6 – 12,4 $t_{\text{suhe snovi}} \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (Liesebach, 1999)
- 7,2 – 8,5 $t_{\text{suhe snovi}} \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (Schoenhart, 2008)
- 5,6 $t_{\text{suhe snovi}} \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (Hardcastle, 2006)

Robinija:

- 4,0 – 8,0 $t_{\text{suhe snovi}} \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (Pages, 1986, cit. po Hummel, 1988)
- 8,0 – 10,0 $t_{\text{suhe snovi}} \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (Redei, 1989)

Slabše donose lahko razložimo s spontanostjo nastanka obravnavanih sestojev. V načrtno gojenem nasadu, z izvedenimi vsemi priporočljivimi ukrepi, bi nedvomno dosegli prirastke, ki bi bili primerljivi s tujimi.

Rezultati bi bili ugodnejši pri višji starosti sestojev, saj pri tej starosti sestoji še niso dosegli kulminacije volumenskega prirastka.

7 SKLEPI

Z rezultati, ki smo jih pridobili z lastnimi meritvami na karakterističnih rastiščih, je trditev, da je produktijska sposobnost nekaterih vrst, ki so primerne za gospodarjenje s kratkimi obhodnjami, pri takšnem načinu gospodarjenja večja, kot pri klasično gospodarjenih gozdovih, možno potrditi le posredno:

Če primerjamo vrednosti volumnov iz tablic prirastkov pri enaki starosti (7 let robinija, 8 let trepetlika) z vrednostmi volumnov, izmerjenih na poizkusni ploskvi, dobimo sledeče primerjave:

- 52 m³/ha trepetlika (lastna meritev na poizkusni ploskvi);
- 55 m³/ha klon topola (Petraš, 2005);
- 78 m³/ha klon topola (Halaj et al, 1987);
- 80 m³/ha robinija (lastna meritev na poizkusni ploskvi);
- 63 m³/ha (Čermelj, 1974);
- 65 m³/ha (Halaj et al, 1987).

Ker lastni izmerjeni rezultati ne odstopajo dosti od vrednosti v preglednicah (ob upoštevanju spontanosti nastanka sestojev, večje donosnosti topolovih klonov v primerjavi s trepetliko), lahko iz preostalih tabličnih vrednosti ugotovimo, da bi nastopila kulminacija povprečnega volumenskega prirastka (kar predstavlja največjo produkcijo volumna lesne biomase) mnogo preje, kot je pa starost sečne zrelosti pri klasičnem gozdarstvu.

Rezultati bi bili še ugodnejši, če bi meritve opravili v namensko urejenem nasadu, ne pa v spontano nastalih sestojih na opuščeni kmetijskih zemljiščih.

Razlike produktijskih potencialov med klasično gospodarjenimi gozdovi in nasadi, kjer se gospodari s kratkimi obhodnjami, v korist slednjih so ugotovili tudi tuji avtorji (Hummel, 1988; Mitchell, 1992; Savill, 1997).

Rezultati donosov potrjujejo ekonomsko upravičenost takšnega načina gospodarjenja, če se opiramo na izračune rentabilnosti ob primerljivih donosih v primerljivem ekološkem in gospodarskem okolju (Avstrija).

Pomemben faktor rentabilnosti je bližina porabnikov biomase, saj predstavlja transport biomase po objavljenih kalkulacijah znaten del stroškov.

Konfiguracija terena ni tako pomemben omejitveni faktor, saj se ob osnovanju nasadov zaradi ekoloških omejitev (drobna struktura površin nasadov, mešanica drevesnih vrst v nasadu s smiselno razporeditvijo) večina dela opravi ročno, ob sečni zrelosti pa se biomasa pridobiva z gozdarsko mehanizacijo (prilagojeni »harvesterji«).

8 POVZETEK

S pojavom podnebnih sprememb in naftno krizo ob koncu 20. stoletja se je povečalo zanimanje za obnovljive vire energije.

Lesna biomasa je kot obnovljiv energetska vir enostavno dostopna in ima veliko možnosti uporabe (direktno kurjenje, pridobivanje sinteznega plina s suho destilacijo ali biološko razgradnjo za energetske namene ali kot surovina za kemično industrijo).

Eden možnih načinov pridobivanja lesne biomase je gospodarjenje gozdnih nasadov s kratkimi obhodnjami (angl. »Short Rotation Forestry«, kratko SRF).

Večina evropskih držav, ZDA, Kanada, Nova Zelandija in mnoge druge države so že konec 80. let prejšnjega stoletja sprejele posebne programe za raziskavo in uvajanje nasadov SRF.

Rezultati raziskav in s poizkusnih nasadov so bili predstavljeni v številnih mednarodnih posvetovanjih in objavah v strokovnih revijah in knjigah.

Naraščajoče izkušnje in njihova medsebojna izmenjava so vodili do oblikovanja glavnih principov pri gospodarjenju gozdnih nasadov s kratkimi obhodnjami:

- nasadi SRF so okoljsko sprejemljivi ob upoštevanju biološke diverzitete (nasadi so osnovani kot zmes več primernih vrst) in naravnemu okolju primerne strukturiranosti površin nasadov; za okolje več ugodnih učinkov se doseže z daljšanjem obhodnje (večja višina dreves);
- izbor rastišča določa izbor drevesnih vrst, dolžino obhodnje, tehnologijo osnovanja in žetve nasadov;
- z daljšanjem obhodnje se zmanjšujejo neugodni vplivi na tla, povečuje pa se trajnost nasadov in rentabilnost;
- pri osnovanju nasadov je pomembna gostota zasaditve (optimum za večino vrst je blizu 2.500 sadik na hektar pri dolžini obhodnje 15 let);
- namesto zahtevnih agrotehničnih ukrepov (večkratno gnojenje, škropljenje proti škodljivcem, boleznim in plevelom,...) je smotrnejše izbrati optimalno zmes drevesnih vrst, pravilno gostoto zasaditve, ustrezno dolžino obhodnje;

- trajnost nasadov je odvisna od izbora drevesnih vrst in dolžine obhodnje;
- na ekonomiko gospodarjenja najbolj vpliva nestabilen trg lesne biomase in stroški žetve ter transporta; trg se lahko stabilizira z večanjem obsega pridelave in potrošnje lesne biomase; velike rezerve so pri razvoju ustrezne tehnologije pridobivanja lesne biomase – »žetve«, ki predstavlja večinski strošek proizvodne cene lesne biomase; z večanjem števila porabnikov lesne biomase se bo zmanjšala transportna razdalja, ki je drugi pomemben strošek proizvodne cene;
- ob ustreznem osnovanju in negi nasadov SRF ti lahko poleg ekonomskih učinkov zagotavljajo tudi pozitivne ekološke učinke (podobne učinkom klasično gospodarjenega gozda), zato je lahko tudi to eden od kriterijev pri vrednotenju.

Z lastnimi meritvami na vzorčnih ploskvah v sestojih robinije in trepetlike smo potrdili, da so donosi teh dveh potencialno primernih vrst za gospodarjenje s kratkimi obhodnjami na Slovenskem primerljivi z donosi, ki jih navajajo avtorji v tuji literaturi. Ob vseh prej naštetih predpostavkah so nasadi SRF ekonomsko opravičljivi tudi z vrstami, ki uspevajo v Sloveniji.

Gospodarjenje s kratkimi obhodnjami je možna alternativa klasičnemu gozdarstvu, kjer so omejitve gospodarjenja ali kjer zaradi rastiščnih in drugih razmer ni možno pridobivati kvalitetnih lesnih sortimentov (več vrednih od prostorninskega lesa), saj dosega višje volumenske prirastke (prirastki tradicionalno gospodarjenega gozda na primerljivih rastiščih so 3–5 t ha⁻¹ leto⁻¹).

Potencialna rastišča nasadov SRF so tudi (zaradi različnih vzrokov) opuščena kmetijska zemljišča, ker jih je enostavno ponovno obdelati za kmetijsko pridelavo.

Ker so okvirno ugotovljeni donosi ustrezni (tuje izkušnje kažejo, da tudi ekonomsko upravičeni), bi bilo vso raziskovalno dejavnost za povečanje donosov smiselno usmeriti v iskanje ustreznih drevesnih zmesi na konkretnih rastiščih, v izboljšanje kvalitete sadik in ugotavljanje optimalne dolžine proizvodnih ciklov.

9 VIRI

AgriculturOnWeb. Biopoplar, brevettate nuove machine per il settore biomassa.

<http://agriculturaonweb.imagelinenetwork.com> (17. junija 2010)

Assmann E. 1961. Waldetragskunde. BLV Verlagsgesellschaft. Muenchen, Bonn, Wien: 492 str.

Biodiesel-expo.co.U.K. <http://www.biodiesel-expo.co.uk> (17. junij 2010)

Biomass and Bioenergy. 11, 4: 253-269.

<http://www.bioenergy.ornl.gov/reports/debell/chapter3.html> (17. junija 2010)

Biomatnet. <http://www.biomatnet.org> (17. junij 2010)

Capax Enviromental Services, 2008. <http://shortrotationwood.eu> (17. junija 2010)

Centro Interdipartimentale di Richerche AgroAm bientali Enrico Avanzi. Universita di Pisa. <http://www.avanzi.unipi.it> (17. junija 2010)

Commons Wikimedia. Category: Short Rotation forestry.

<http://www.commons.wikimwdia.org/category:short.rotation.forestry> (17. junija 2010)

Constelation New Energy. <http://www.newenergy.com> (17. junija 2010)

Čermelj J. 1974. Robinijevi sestoji na Goriškem in njihova donosnost. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Gozdarsko lesarski oddelek. Ljubljana: 48 str.

Forestry Encyclopedia. <http://www.forestryencyclopedia.com> (17. junija 2010)

Forest Research. Forestry Commission. Gov.UK.

<http://www.forestresearch.forestry.com.gov.uk> (17. junij 2010)

Halaj J., Grek J., Panek F., Petraš R., Rehak J. 1987. Rastovne tabulky hlavních dřevin ČSSR. Příroda. Bratislava: 361 str.

Hardcastle P.D., Calder I., Dingwall Ch., Garrett W., McChesny I., Mathews J., Savill P. 2006. A Review of Potential Impacts of Short Rotation Forestry. LTS International. Edinburgh: 152 str.

Hummel F.C., Palz W., Grassi G. 1988. Biomass Forestry in Europe: A Strategy for the Future. Elsevier Applied Science. London, New York. Str: 40 – 141

Kranjc N., Piškur M., Klun J., Premrl T., Piškur B., Robek R., Mihelič M., Sinjur I. 2007. Lesna goriva ; drva in sekanci; proizvodnja, standardi kakovosti in trgovanje. Založba Silva Slovenica. Ljubljana: 81 str.

Liesebach M., von Wuehlisch G., Muhs H.-J. 1999. Aspen for Short Rotation Forestry coppice Plantations on Agricultural Sites in Germany: Effects of Spacing and Rotation Time on Growth and Biomass Production of Aspen Progenies. Forest Ecology and Management: 25 – 39

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

Mitchell C.P., Ford-Robertson J.B., Senerby-Forsse L. 1992. Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops. Elsevier Applied Science. London, New York 308 str.

NJF Nordic Association of Agricultural Scientists: Environmental and Landscape Aspects in Short Rotation Forestry an Agricultural Land; Nordic Perspective, 2007.
<http://www.njf.nu> (17. junij 2010)

The Peeble Pade Portfolio. University of Cumbria.

<http://www.portfolio.peeblepad.co.uk/cumbria> (17. junija 2010)

Petraš R., Mecko J. 2005. Rastove tabulky topolovych klonov. Lesnický výskumný ústav Zvolen. Bratislava: 135 str.

Redei K. 2002. Management of black Locust (*Robinia pseudoacacia L.*) stands in Hungary. Journal of Forestry Research, 13, 4: 260 – 264

Rosillo-Calle F., de Groot P., Hemstock S.L., Woods J. 2007. The Biomass Assessment Handbook. Earthscan. London. Sterling: 269 str.

Sage R.B. 1998. Short Rotation Coppice for Energy: Towards Ecological Guidelines. Biomass & Bioenergy, 15, 1: 39 – 47

Savill P., Evans J., Auclair D., Falck J. 1997. Plantation Silviculture in Europe. Oxford University Press: 297 str.

Schoenhart M. 2008. Profitability of Short Rotation Forestry in Austria. Laxenburg. International Institute for Applied Studies: 37 str.

Short Rotation Forestry. Biomass Energy Center.

<http://www.biomassenergycentre.org.uk> (17. junija 2010)

Součková H. 2004. Supporting Programmes of the Growing of Short Rotation Coppices in the Czech Republic. <http://66.102.1.104/scholar?hl=sl&lr=&q=cache:EX-GOI6Pyw0J:www.cazv.cz> (7.7.2009)

Tiefenbacher H. 1991. Short Rotation Forestry in Austria. Bioresource Technology, 35: 33-40

Treehugger, 2009. <http://www.treehugger.com> (17. junija 2009)

Trinkaus 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

Vande Walle I., Van Camp N., Van de Castele L., Verheyen K., Lemeur R. 2007. Short Rotation Forestry of Birch, Maple, Poplar and Willow in Flandres (Belgium) – Biomass Production after 4 Years of Tree Growth. *Biomass & Bioenergy*, 31: 267 – 283