



Kulture kratkih ophodnji

Priručnik o održivom uzgoju

- Autori:** Ioannis Dimitriou i Dominik Rutz
- Suradnici:** Rita Mergner, Stefan Hinterreiter, Laurie Scrimgeour, Ioannis Eleftheriadis, Ilze Dzene, Željka Fištrek, Tomáš Perutka, Dagnija Lazdina, Gordana Toskovska, Linda Drukmane
- Urednik originala:** Dominik Rutz
- Hrvatsko izdanje**
- Prilagodba:** Željka Fištrek, Energetski institut Hrvoje Požar
- Doprinos:** Biljana Kulišić i Veljko Vorkapić, Energetski institut Hrvoje Požar
- Lektura:** Anita Filipović, Energetski institut Hrvoje Požar
- ISBN:** 978-953-6474-82-0
- Izdavač:** © 2015.; WIP Renewable Energies, München, Njemačka
- Kontakt:** WIP Renewable Energies, Sylvensteinstr. 2, 81369 München, Njemačka; Dominik.Rutz@wip-munich.de, Tel.: +49 89 720 12 739 www.wip-munich.de
- Internetska stranica:** www.srcplus.eu
- Autorska prava:** Sva su prava zadržana. Nijedan dio ovog priručnika ne smije se reproducirati u bilo kojem obliku ili bilo kojim sredstvima kako bi se upotrebljavao u komercijalne svrhe bez pisanog odobrenja izdavača. Autori ne jamče točnost i/ili potpunost informacija i podataka sadržanih ili opisanih u ovom priručniku.
- Izjava o odgovornosti:** Odgovornost za sadržaj ovog priručnika snose isključivo autori. Sadržaj nužno ne odražava mišljenje Europske unije. EASME i Europska komisija nisu odgovorni za eventualnu upotrebu informacija sadržanih u priručniku.

Zahvale

Ovaj priručnik izrađen je u okviru projekta SRCplus (IEE/13/574) uz potporu Europske komisije u okviru programa Inteligentna energija za Europu (IEE) kojim upravlja Izvršna agencija za mala i srednja poduzeća (EASME). Autori zahvaljuju Europskoj komisiji na potpori projektu SRCplus, kao i recenzentima i partnerima projekta SRCplus na njihovom doprinosu u izradi priručnika. Zahvaljujemo grupaciji Anderson Group (Biobaler) i Wald21 kao i svojim kolegama iz WIP-a i SLU-a koji su nam dopustili da se koristimo njihovim slikama.

Konzorcij projekta SRCplus



WIP Renewable Energies, Njemačka (koordinator projekta)
Dominik Rutz [Dominik.Rutz@wip-munich.de]
Rita Mergner [Rita.Mergner@wip-munich.de]



Biomassehof Achenal, Njemačka
Stefan Hinterreiter [s.hinterreiter@biomassehof-achental.de]



Community of Communes of Trièves, Francuska
Laurie Scrimgeour [l.scrimgeour@cdctrieves.fr]



Centre for Renewable Energy Sources and Saving, Grčka
Ioannis Eleftheriadis [joel@cres.gr]



Ekodoma, Latvija
Ilze Dzene [ilze@ekodoma.lv]
Linda Drukmane [linda.drukmane@ekodoma.lv]



Energetski institut Hrvoje Požar, Croatia
Željka Fištrek [zfistrek@eihp.hr]



Energy Agency of the Zlin region, Češka Republika
Tomas Perutka [Tomas.Perutka@eazk.cz]



Latvian State Forest Research Institute Silava, Latvija
Dagnija Lazdina [dagnija.lazdina@silava.lv]



Secondary School Car Samoil – Resen, Makedonija
Gordana Toskovska [gtoskovska@gmail.com]



Swedish University of Agricultural Sciences, Švedska
Ioannis Dimitriou [ioannis.dimitriou@slu.se]

Sadržaj

| | |
|--|-----------|
| Predgovor | 6 |
| 1. Uvod | 7 |
| 2. Izbor lokacije..... | 8 |
| 2.1. Zahtjevi lokacije..... | 8 |
| 2.2. Klima..... | 14 |
| 2.3. Plan/izgled plantaže | 14 |
| 2.4. Zakonodavni okviri | 17 |
| 2.5. Aspekti održivosti kod izbora lokacije | 18 |
| 3. Vrste drveća i klonovi | 21 |
| 3.1. Vrba | 21 |
| 3.2. Topola..... | 23 |
| 3.3. Bagrem | 25 |
| 3.4. Eukaliptus | 26 |
| 3.5. Joha | 27 |
| 3.6. Ostale vrste | 28 |
| 4. Uzgoj kultura kratkih ophodnji | 28 |
| 4.1. Priprema zemljišta..... | 28 |
| 4.2. Sadni materijal | 31 |
| 4.3. Sadnja..... | 33 |
| 4.4. Upravljanje plantažom..... | 37 |
| 5. Sječa kultura kratkih ophodnji | 41 |
| 5.1. Prinosi..... | 41 |
| 5.2. Ophodnje (ciklusi sječe) | 43 |
| 5.3. Svojstva posječenog materijala | 44 |
| 5.4. Metode sječe..... | 45 |
| 5.5. Sušenje i pohrana drvene sječke..... | 50 |
| 6. Logistika i prijevoz | 55 |
| 7. Uklanjanje plantaže KKO-a | 56 |
| 8. Korištenje biomase KKO-a | 57 |
| 8.1. Kvaliteta drvene sječke | 57 |
| 8.2. Mogućnosti korištenja drvene sječke..... | 60 |
| 8.3. Izgaranje drvene sječke i peleta | 62 |
| 9. Učinci kultura kratkih ophodnji na okoliš..... | 67 |
| 9.1. Raznolikost biljnih vrsta..... | 67 |
| 9.2. Raznolikost životinjskih vrsta..... | 70 |
| 9.3. Tlo..... | 75 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 9.4. | Voda | 78 |
| 9.5. | Korištenje pepela i kanalizacijskog mulja kao gnojiva | 78 |
| 9.6. | Agrošumarski sustavi | 80 |
| 10. | Ekonomska isplativost KKO | 80 |
| 10.1. | 1. primjer: KKO vrbe u Grästorpu, Švedska..... | 81 |
| 10.2. | 2. primjer: KKO vrbe u SIA ECOMARKU, Latvija..... | 83 |
| 10.3. | 3. primjer: KKO topole u Göttingenu, Njemačka | 83 |
| 10.4. | 4. primjer: KKO vrbe u Bretanji, Francuska | 85 |
| 10.5. | 5. primjer: KKO vrbe u Enköpingu, Švedska..... | 88 |
| 11. | Kulture kratkih ophodnji u Republici Hrvatskoj..... | 90 |
| | Pojmovnik i kratice..... | 93 |
| | Latinski i hrvatski nazivi biljaka | 96 |
| | Pretvorba mjernih jedinica..... | 98 |
| | Literatura..... | 101 |

Predgovor

Biomasa igra ključnu ulogu među obnovljivim izvorima energije (OIE) čineći gotovo 70 posto europskih obnovljivih izvora energije te bilježeći stalan porast. U budućnosti se očekuje velik porast potražnje za drvom kao energentom za grijanje i za električnu energiju te kao građevinskog materijala ili biomaterijala. To će uglavnom biti potaknuto tržišnim silama i podržano ciljevima nacionalnih i europskih energetske politike. Kruta biomasa iz drvenastih kultura kratkih ophodnji (KKO) može značajno doprinijeti postizanju ciljeva strategije Europa 2020.

Švedska, Ujedinjeno Kraljevstvo i Poljska europske su zemlje koje trenutačno imaju najveće površine KKO-a. U drugim je europskim zemljama proizvodnja KKO-a ograničena i odvija se u vrlo malom opsegu, no postoje planovi i politička volja za povećanjem proizvodnje KKO-a u bliskoj budućnosti. Stoga je potrebno provoditi mjere koje potiču i prate uvođenje lokalnih lanaca opskrbe KKO-om u ostalim europskim zemljama. Upravo je to cilj projekta SRCplus (Plantaže drvenastih kultura kratkih ophodnji za lokalne lance opskrbe i korištenje topline).

Projekt SRCplus promiče održivu proizvodnju KKO-a u sedam različitih ciljanih zemalja Europe. Ciljane regije projekta SRCplus su:

- regija Achental (Njemačka)
- istočna Hrvatska (Osječko-baranjska i Vukovarsko-srijemska županija)
- regija Vidzeme (Latvija)
- Ronsko-alpska regija (Francuska)
- regija Zlin (Češka Republika)
- regija Kentriki Makedonija (Grčka)
- regija Prespa (Makedonija)

Glavni cilj projekta SRCplus je podržati i ubrzati razvoj područnih lanaca opskrbe KKO-om kroz provedbu različitih mjera za izgradnju kapaciteta i mjera regionalne mobilizacije ključnih dionika u područnim lancima opskrbe.

Projekt SRCplus započet je u ožujku 2014. i traje tri godine. Projekt se sufinancira kroz program Europske unije Inteligentna energija za Europu (Ugovor br. IEE/13/574). Konzorcij SRCplus uključuje 10 partnera. Koordinator projekta je WIP Renewable Energies iz Njemačke.

Ovo izdanje priručnika, „Kulture kratkih ophodnji: uzgoj, korištenje i održivost“ pruža informacije o kulturama kratkih ophodnji i namijenjen je ciljanim skupinama projekta: poljoprivrednicima, vlasnicima javnih zemljišta, malim toplinama i kogeneracijskim postrojenjima (CHP), trgovcima drvnom sječkom te svim ostalim zainteresiranim osobama. U priručniku su predstavljene različite poljoprivredne prakse u Europi pri čemu su u obzir uzeti različiti okvirni uvjeti, poput klime. Dodana vrijednost priručnika je usmjerenost na održive lance opskrbe i koristi od KKO-a koje ključnim dionicima često nisu poznate. Priručnik je napisan na engleskom jeziku i preveden je na nacionalne jezike ciljanih zemalja.

1. Uvod

Drvenaste kulture kratkih ophodnji (KKO ili DKKO) drvenaste su brzorastuće vrste drveća koje se uzgajaju radi ostvarenja visokih prinosa biomase u kratkom razdoblju, a koja se može koristiti u energetske svrhe. U literaturi se mogu pronaći slični pojmovi kao: plantaže kratkih ophodnji (PKO), šumarstvo kratkih ophodnji (SKO) ili kulture kratkih ophodnji (KKO). Ovi se pojmovi ponekad upotrebljavaju kao sinonimi, no njihove su definicije ponešto drukčije.

Nakon sječe DKKO se moraju ili ponovno zasaditi (ponekad kod npr. eukaliptusa ili bagrema) ili se uzgajaju kao panjače (obično kod topole i vrbe).

Okvir 1. Što su panjače?

„**Panjače**” (Slika 1) karakterizira sposobnost odabranih vrsta drveća da nakon sječe ponovno izrastu novim izdancima. Ovaj se priručnik uglavnom bavi uzgojem drveća u kulturi panjača. Međutim, referira se i na vrste koje se nakon sječe moraju ponovno zasaditi. Stoga se kratica KKO u cijelom priručniku koristi i za drvenaste kulture kratkih ophodnji u obliku nasada i za kulture kratkih ophodnji u uzgojnom obliku panjača.



Slika 1. „Tradicionalne panjače” koje su bile česta praksa u prošlosti npr. vrbe (naprijed) i „moderne panjače” tj. plantaže topole kratke ophodnje (u pozadini slike). (Izvor: Rutz D.)

Višegodišnje drvenaste vrste KKO-a su: joha, jasen, južna bukva, breza, eukaliptus, topola, vrba, paulovnja, određene vrste dudu, bagrem, australska akacija, javor i dr. Glavne vrste koje se upotrebljavaju u Europi su topola i vrba. Stoga se u ovom priručniku uglavnom bavimo tim vrstama.

KKO su izvrsna alternativa godišnjim energetske usjevima i mogu biti nadopuna postojećem poljoprivrednom sustavu. Općenito, uzgoj KKO-a po definiciji je poljoprivredna praksa s malim

ulaganjima koja općenito podrazumijeva niske emisije stakleničkih plinova zbog ograničene primjene kemikalija, ali i zato jer se usjevi uzgajaju određen broj godina, što dovodi do ograničenih inputa kod upravljanja plantažom. Upotreba pesticida zanemariva je i u većini slučajeva se ne primjenjuje. Razlog tomu nije nedostatak bolesti ili insekata, već uglavnom relativno niska ekonomska vrijednost u usporedbi s konvencionalnim poljoprivrednim usjevima jer se proizvedena biomasa upotrebljava za proizvodnju energije. Potreba za gnojivima mala je u usporedbi s konvencionalnim poljoprivrednim usjevima: gnojidba drveća nije uobičajena praksa, a usjevi su višegodišnji i uzgajaju se nekoliko godina prije sječe s hranjivim tvarima od otpalog lišća i odumrlog korijenja recikliranim u sustavu tlo-biljka. Čak i u slučajevima u kojima se preporučuje gnojidba dušikom, primjerice za KKO vrbe, preporučene su količine značajno niže u usporedbi s ostalim uobičajenim poljoprivrednim usjevima.

Osim proizvodnje energije, uzgoj KKO-a ima brojne prednosti u usporedbi s jednogodišnjim usjevima. Kulture kratkih ophodnji pomažu poboljšati kvalitetu vode, povećati biološku raznolikost područja, pružaju usluge ekosustava (lov, pčelarstvo, opskrba vodom, zaštita od požara), ublažavaju širenje bolesti životinja na farmama, sprječavaju eroziju, smanjuju unos umjetnih materijala (gnojiva, pesticida) i ublažavaju klimatske promjene zbog skladištenja ugljikovog dioksida. Nadalje, KKO najpozitivnije učinke imaju na marginalna tla, posebice kao strukturni elementi krajobraza uz ceste i dalekovode. Te se prednosti trebaju promicati kako bi se proizvela održiva drvena sječka, koja povećava pozitivne učinke KKO-a na okoliš. U projektu SRCplus poseban naglasak je stavljen na održivosti lanaca opskrbe (Dimitriou et al. 2014.a, Dimitriou i Rutz 2014., Dimitriou i Fištrek 2014.).

2. Izbor lokacije

Za uspješno osnivanje nasada KKO-a vrlo je važan izbor lokacije. Ovo poglavlje podijeljeno je na različite čimbenike koje valja razmotriti pri izboru odgovarajuće lokacije, tj. na čimbenike povezane sa zahtjevima lokacije, klimom, rasporedom plantaža i ostalim aspektima za održiv razvoj.

2.1. Zahtjevi lokacije

Da bi se određena površina smatrala povoljnom za osnivanje nasada KKO moraju biti zadovoljeni brojni zahtjevi. Važan čimbenik je lokacija polja, kao i postojeći uvjeti tla i vode koji su izravno povezani s prinosom biomase i stoga s prihodima plantaže KKO. Čimbenici povezani s tlom i vodom mogu biti određeni specifičnom vrstom. Stoga odabir vrste (koji se analizira u 3. poglavlju ovog priručnika) ima važnu ulogu za zahtjeve lokacije koji su specifični za svaki slučaj. U ovom dijelu priručnika navode se općeniti detalji koje treba razmotriti pri uvođenju različitih vrsta KKO-a, s posebnim naglaskom na vrbe i topole, koje su najčešće upotrebljavane vrste u sustavima proizvodnje bioenergije na poljoprivrednom zemljištu.

Tlo: Vrste KKO-a obično nisu vrlo zahtjevne kad je riječ o tlu. Međutim, prinosi su bolji na boljem tlu. KKO će rasti na različitim vrstama tla, a produktivnost će biti određena plodnošću tla, temperaturom i dostupnošću vode i svjetla, kao i kod svih ostalih poljoprivrednih usjeva. Tla čija je pH vrijednost između 5 – 7,5 omogućuju zadovoljavajući rast, iako istraživanja pokazuju da postoji sadni materijal (npr. za vrbu i topolu) koji je tolerantan na pH vrijednosti izvan ovog raspona (Caslin et al., 2010). U sušim područjima lagana pjeskovita tla vjerojatno će imati smanjenu dostupnost vode te ih je stoga potrebno izbjegavati, kao i plitka tla. Nadalje, u obzir valja uzeti važnost početne kontrole korova koja na određenom tlu, kao što su organska ili tresetna, može biti otežana. Srednja do teška glinasta ilovača s dobrom prozračnošću i mogućnosti zadržavanja vlage idealna je za uzgoj KKO-a, posebice ako dozvoljava minimalnu debljinu uzgoja od 200 do 250 mm, kako bi se omogućila mehanička sadnja. Uzgajanje KKO-a na poplavljenim zemljištima ili na osjetljivim močvarnim područjima (Slika 2, Slika 3) treba pažljivo procijeniti jer obrađivanje tla (sadnja i sječa) s teškim strojevima može biti veliki izazov na takvim područjima. Nadalje, zbijanje tla može imati negativan učinak na mokrim zemljištima.

Na takvoj bi zemlji teške strojeve trebalo upotrebljavati ili tijekom vrlo suhih razdoblja ili kad je tlo smrznuto (zimi).



Slika 2. KKO vrbe na poljima za vađenje treseta u Bjelorusiji. Iako se ne preporučuje saditi KKO na visokoorganskom tlu zbog niže proizvodnje biomase, uzgoj KKO-a vrbe na takvom tlu može biti zadovoljavajući te može imati i funkciju obnove tla. (Izvor: Dimitriou I.)



Slika 3. Plantaža KKO-a vrbe na polju s visokom razinom podzemnih voda u Švedskoj. Unatoč visokoj razini vode, koju bi trebalo izbjegavati, KKO vrbe može i dalje zadovoljavajuće rasti jer tolerira anoksične uvjete. (Izvor: Dimitriou I.)

Dostupnost vode: Potrebe KKO-a za vodom obično su veće od konvencionalnih poljoprivrednih usjeva koji se uzgajaju na istom području. Stoga bi, ako je to moguće, prednost trebalo dati područjima s pristupom podzemnoj vodi ili drugim dostupnim oblicima vode (npr. površinske vode, otpadne vode) (Slika 4). Za neke se vrste KKO-a, poput vrbe, zna da toleriraju anoksične uvjete zbog viška vode, no pri izboru lokacije treba uzeti u obzir i činjenicu da višak vode na tlu može dovesti do poteškoća kod sječe.

Potrebe KKO-a za vodom variraju, ovisno o vrsti koja se koristi. Štoviše, zabilježena su velika odstupanja u pogledu različitih učinkovitosti upotrebe vode između različitih vrsti, hibrida te klonova iste vrste. Stoga bi rasadnici ili trgovci sadnim materijalom trebali poljoprivrednika savjetovati o primjerenosti sadnog materijala na određenom zemljištu. Dovoljno vlage u tlu ključno je za uspjeh plantaže, posebice tijekom početne sadnje reznica kada korijenje još nije razvijeno. Stoga se vrijeme sadnje mora dobro planirati jer su plantaže zasađene tijekom vrlo suhih razdoblja pretrpjele ozbiljne gubitke.

Kod KKO-ova zasađenih u suhim područjima, uočen je povećani učinak na podzemne vode. Učinak KKO-a na podzemne vode potrebno je razmotriti posebice u zemljama u kojima je dostupnost vode ograničena i gdje se koriste vrste prilagođene toplijim klimama, poput eukaliptusa. Takvim bi pitanjima trebalo dati visoki prioritet, posebice ako se uzgajanje KKO-a planira u većem područja nekog sliva. Međutim, takvi značajni učinci još nisu dokazani u Europi jer su se do sada KKO-ovi uzgajali samo na manjim dijelovima područja sliva (Dimitriou *et al.*, 2012.a). Uz širok raspon različitih namjena zemljišta u europskoj poljoprivredi, predviđa se da će učinak KKO-a na vode biti mali. S druge strane, KKO-ovi dovode do pozitivnog učinka kada se koriste kao „tampon zona“ u područjima poljoprivrede s visokim unosom gnojiva i pesticida. Dakle, sadnja KKO je učinkovit mehanizam za zadržavanje prekomjernih količina hranjivih tvari u tlu. Smanjeni gubitci hranjivih tvari i povećana evapotranspiracija smanjuju ocjeđivanje opasnih količina hranjivih tvari u obližnje površinske ili podzemne vode.

Korijenje KKO-a može rasti dublje od korijenja jednogodišnjih usjeva kako bi osiguralo biljci pristup vodi. Dublje ukorjenjivanje KKO-a uzrokovalo je zabrinutost zbog potencijalnog oštećenja cijevi za drenažu. U poljima u kojima je prisutan drenažni sustav ne očekuje se duboko ukorjenjivanje jer je blizu površine dostupno dovoljno vode. Na tim područjima korijenje

uglavnom ostaje u gornjih 40 – 50 cm tla. Ako je postojeći drenažni sustav nov, uzgajivač može izabrati drugu lokaciju za KKO kako bi smanjio potencijalne rizike. U obzir treba uzeti starost drenažnog sustava, posebice u usporedbi s očekivanim životnim vijekom plantaže KKO-a. Polja s već oštećenim ili starim drenažnim sustavom mogu se razmatrati za uzgoj KKO-a jer ne treba mijenjati sustav.



Slika 4. KKO topole koji se navodnjavaju općinskim otpadnim vodama u južnoj Španjolskoj. Unatoč suhim uvjetima, KKO može zadovoljavajuće rasti čak i bez navodnjavanja, no bolje će rasti navodnjava li se otpadnim vodama. (Izvor: Dimitriou I.)



Slika 5. Polje KKO-a vrbe zasađeno paralelno sa seoskom cestom, uz jednostavan pristup strojevima i sa širokim rubovima koji omogućavaju lakše upravljanje. (npr. sječa) (Izvor: Nordh N-E.)

Pristup: Plantaže KKO-a trebale bi imati osiguran pristup poljoprivrednim/seoskim cestama (Slika 5) za mehanizaciju potrebnu u upravljanju plantažom KKO-a. Općenito, područja s nagibima strmijima od 10 posto nisu pogodna za veće plantaže s automatiziranom sadnjom i sječom, posebice u vlažnim uvjetima. Manje plantaže, na kojima se primjenjuju ručna i motorna sadnja i sječa, mogu se osnivati i na strmijim padinama. Vozila će češće pristupiti nasadima KKO-a zimi kada se obavlja sječa plantaže. Zbog teškog tereta biomase KKO-a, zemljišta bi trebala biti čim bliže asfaltiranim cestama (ili, alternativno, imati relativno lak pristup cestama čvrste površine).

Veličina: Veličina plantaže ima značajan učinak na upravljanje kao i na logistiku i s njome povezane troškove. Ovisno o zemlji i svrsi plantaže, da bi ona bila ekonomski održiva, veličina plantaže trebala bi biti najmanje 2 do 5 ha. Međutim, plantaže KKO-a mogu se uzgajati i na manjim područjima (Slika 6) ako, primjerice, u blizini postoji nekoliko drugih plantaža koje omogućuju sinergiju (npr. koordinirana sječa u isto vrijeme kako bi se smanjili povezani troškovi). Manje plantaže pogodne su i ako poljoprivrednik želi imati plantažu samo kako bi zadovoljio vlastite potrebe za energijom i ako ručno odrađuje većinu posla.



Slika 6. Malo polje KKO-a vrbe smješteno u sredini poljoprivrednog krajolika; unatoč tome što nije velika (oko dva hektara) plantaža je smještena u blizini ostalih plantaža KKO-a, omogućujući kombinirano upravljanje (Izvor: Nordh N-E.)

Izbor oblika plantaže KKO-a ima važnu ulogu kad je riječ o jednostavnosti i vremenu potrebnom za upravljanje plantažom te će posljedično utjecati i na ekonomsku isplativost plantaže. Duža pravokutna polja jednostavnija su i praktičnija kod sadnje i siječe (posebice kad se primjenjuje direktno sjeckanje/iveranje), ali i kad je potrebno ograđivanje plantaže protiv sisavaca (npr. zečeva, srna itd.). Međutim, u praksi se na tim dobro oblikovanim poljima često sade jednogodišnji usjevi. Manja polja nepravilnog oblika često se biraju za uzgoj KKO-a jer su ulaganja i održavanje mnogo niži nego kod uzgoja jednogodišnjih usjeva (JTI, 2014.).

Položaj KKO-a u krajoliku: Upravljanje plantažom KKO-a ima više sličnosti s uzgojem jednogodišnjih usjeva nego sa šumarstvom. Međutim, nekoliko vizualnih karakteristika KKO-a, poput visine stabala (npr. do 8 m visine nakon tri-četiri godine, ovisno o odabranoj vrsti i okvirnim uvjetima) te činjenice da je riječ o sadnji u redovima u obliku plantaže, dodaju nove značajke poljoprivrednom krajoliku. Za razliku od jednogodišnjih usjeva, koji krajolik ostavljaju otvorenim, KKO stvara trodimenzionalnu i vidljivu značajku krajolika. Stoga KKO može imati negativan učinak na otvoreni krajolik, ali ako je plantaža dobro osmišljena može značajno poboljšati krajolik.

Neovisno o zakonodavnom okviru, prema kojem se može zahtijevati dopuštenje za uzgoj KKO-a od vlasnika susjednog zemljišta, dobra je praksa uvijek poticati dijalog sa susjedima kako bi se izbjegli sukobi te podigla svijest i interes za KKO.

Nadalje, potrebno je uzeti u obzir da se KKO ne bi trebale saditi u neposrednoj blizini mjesta od povijesne ili arheološke važnosti, u slučaju da visina stabala ima negativne učinke na značajke lokacije. Nadalje, posebnu pozornost treba obratiti na zaštitu prirode i krajolika te na očuvanje karakteristika zaštićenih područja. Za ta područja vrijede posebni zakoni. Plantaže KKO-a ispod dalekovoda trebaju uključivati i komunalnu uslugu upravljanja dalekovodom. Čak i najniže plantaže KKO-a (npr. panjače) mogu dosegnuti do 8 m prije sječe te ne bi smjele dodirivati dalekovode.

Ako se KKO-ovi uzgajaju radi dobivanja biomase za veliku elektranu (Slika 9) te je stoga njihov uzgoj koncentriran na malom području oko elektrane, promjena u izgledu krajolika može biti značajna ako su potrebne brojne plantaže. U tom slučaju vrste i gustoća sadnje također utječu na izgled krajolika.

Međutim, takvi se učinci ne očekuju u slučaju proizvodnje manjeg obujma. To se može procijeniti jednostavnim izračunom: ako, primjerice, treba postići kontinuiranu proizvodnju električne energije od 2 MW, bit će potrebno približno 15 – 20 tisuća tona suhe drvene biomase. To se može dobiti s 1 500 – 2 000 ha KKO-a (ako je biomasa 10 t ST/ha/god). Ta količina zemljišta odgovara približno 1,5 posto ukupne površine područja promjera 20 km (što je ekonomski opravdan promjer za hipotetskog krajnjeg korisnika biomase iz KKO-a). Stoga se u takvom slučaju očekivani učinak na krajolik ne može smatrati značajnim.

KKO se mogu jednostavno uklopiti u postojeći krajolik, ako već u istom postoje područja živica ili šuma jer su u tim slučajevima granice vidljivosti vrlo kratke. Ako su granice vidljivosti velike ili ako je KKO osnovan na području ravne topografije, potencijalne plantaže trebale bi tvoriti blokove organskih umjesto geometrijskih oblika, kako bi se bolje uskladile s postojećim krajolikom. Na takvim mjestima bi plantaže KKO-a trebale biti vrlo velike i povezane s postojećim šumama (Slika 7) kako bi omogućile vizualne, ali i okolišne prednosti. Međutim, bjelogorična priroda raznolikosti usjeva, koja proizlazi iz mješavine vrsta i klonova (npr. različitim klonovima koji omogućuju različite oblike i boje) i uzoraka sječe, daje dinamičnu značajku u poljoprivrednom krajoliku (JTI 2014.).



Slika 7. Pravokutno i malo polje KKO-a vrbe na poljoprivrednom području blizu postojeće šume omogućuje blagu promjenu krajolika. (Izvor: Nordh N-E.)

Na sljedećem su popisu navedeni brojni čimbenici koje treba razmotriti prije osnivanja nasada KKO-a kako bi se izbjeglo narušavanje krajolika zbog sadnje KKO-a, ali i uzeli u obzir potencijalni učinci na okoliš. Treba imati na umu da su ovo vrlo općeniti navodi te da uvijek treba detaljno razmotriti situaciju na samoj lokaciji (Dimitriou et al, 2014.a):

- Sadnja KKO-a na poljoprivrednim površinama u blizini šume daje osjećaj prirodnog nastavka krajolika i treba joj dati prednost. Međutim, trebalo bi izbjegavati sadnju samo u šumovitim područjima jer bi to dovelo do vrlo homogenog krajolika u kojem isključivo prevladavaju šume.
- Sječa različitih dijelova plantaže nakon različitih ciklusa rasta stvara raznolikiji krajolik, što pridonosi njegovoj dinamičnosti.
- Sadnja KKO-a u blizini važnih kulturnih znamenitosti može imati negativan vizualni učinak.
- Sadnja različitih klonova različitog izgleda (veličina stabla, oblik listova, boja) povećava vizualnu raznolikost. Široke čistine među nasadima pružaju mogućnosti za rekreaciju na tom području (npr. hodanje).
- KKO su pogodne za uzgoj uz vrlo prometne ceste jer se to zemljište najčešće ne koristi. Međutim, pri tom treba paziti da, ovisno o cesti, ne dođe do smanjenja sigurnosti. Kako bi se vozačima omogućila dobra vidljivost, npr. u zavojima i na križanjima, rubovi plantaže KKO-a u tim slučajevima moraju biti širi (Slika 8, Slika 10, Slika 11).
- Na cestama prometa manjeg intenziteta, npr. u ruralnim područjima, učinak plantaža KKO na vožnju vrlo je mali. No, i dalje je potreban rub polja kako bi omogućio jednostavnije upravljanje plantažom (npr. uključivanje strojeva za sječu).
- Velike elektrane koje koriste sječku KKO-a često su smještene u industrijskim krajolicima u kojima osnivanje nasada KKO-a može biti mjera poboljšanja općeg zelenila takvog područja.
- U otvorenim krajolicima i područjima gdje se uzgajaju jednogodišnji poljoprivredni usjevi, KKO može ponuditi veću raznolikost u krajoliku.
- KKO bi općenito trebalo saditi u područjima u kojima se postiže manji utjecaj KKO-a na krajolik (npr. blizu šume, na brežuljkastima područjima, dalje od važnih kulturnih znamenitosti) te na način koji odgovara okruženju (npr. manji slojevi na šumskim područjima, veća polja na otvorenim poljoprivrednim područjima, prilagođeno različitosti brežuljka na brežuljkastim područjima).

Tablica 1. Pregled čimbenika koji određuju izbor lokacije za plantaže KKO za proizvodnju energije

| Lokalni prirodni uvjeti | Infrastrukturni i tehnički aspekti |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • mikroklima • tlo • podložnost prirodnim katastrofama • podložnost napadima štetočina/bolesti i šteti od divljači • pitanja biološke raznolikosti | <ul style="list-style-type: none"> • udaljenost do kupaca biomase • mogućnost pristupa plantaži KKO-a cestama za sadnju i upravljanje • dalekovodi koji prolaze plantažom • dostupnost odgovarajućih strojeva za sadnju i sječu |



Slika 8. Polja KKO-a u blizini veće ceste. Širi rubovi trebali bi omogućiti vozačima otvoren pogled. (Izvor: Nordh N-E.)



Slika 9. Sječa velike plantaže KKO-a vrbe koja se nalazi u blizini postrojenja za kombiniranu proizvodnju toplinske i električne energije (dimnjak u gornjem lijevom kutu slike) koje prima sječku vrbe. Troškovi prijevoza smanjeni su kad se biomasa za energiju proizvodi u blizini krajnjeg korisnika. (Izvor: Dimitriou I.)



Slika 10. Plantaža KKO-a topole uz cestu u Njemačkoj; nema negativnog učinka na vidljivost ceste (Izvor: Rutz D.)



Slika 11. Plantaža KKO-a vrbe uz cestu u Švedskoj; nema negativnog učinka na vidljivost ceste. (Izvor: Rutz D.)

2.2. Klima

Budući da se za proizvodnju biomase iz KKO-a mogu upotrebljavati brojne vrste različitih karakteristika, moguć je i širok raspon klimatskih uvjeta za osnivanje nasada KKO-a u Europi.

Najčešće vrste koje se koriste u sustavu KKO-a u Europi, vrba i topola, podrijetlom su iz sjevernog umjerenog pojasa. One mogu tolerirati širok raspon klimatskih uvjeta te su otporne na hladnoću. Uzgoj na područjima s niskom vlažnosti tla vjerojatno bi rezultirao nezadovoljavajućim prinosima te bi prednost trebalo dati vrstama i njihovim klonovima koje učinkovito koriste vodu.

U južnoj se Europi mogu upotrebljavati biljke osjetljive na niske temperature, no pri odabiru vrsta i klonova često je važna značajka otpornost na sušu. Posebno se pozornost mora usmjeriti na dostupnost vode tijekom godine sadnje kada reznice još nemaju korijenje.

Nadalje, sadni materijal koji će se upotrijebiti za plantažu KKO-a trebao bi biti ispitan pod lokalnim uvjetima i uspješno uveden na tržište. Postoje brojni primjeri s klonovima iz programa uzgoja koji su se pokazali odličnima u određenim geografskim širinama, dok su u drugim geografskim širinama ostvarili izuzetno niske prinose. Stoga se savjetuje upotreba sadnog materijala koji dobivaju područni rasadnici i koji je ispitan u praksi.

2.3. Plan/izgled plantaže

Kad je riječ o izgledu plantaža KKO-a na određenoj lokaciji, osim maksimiziranja prinosa, valja razmotriti još nekoliko pitanja. Ona su povezana s praktičnim upravljanjem plantažom, ali i povećanjem pozitivnih učinaka KKO-a na okoliš.

S operativnoga gledišta, idealne su ravne površine ili površine s nagibom koji ne prelazi 10 posto. Međutim, plantaže KKO-a često se osnivaju na strmijim padinama jer mogu smanjiti eroziju tla. Plantaže KKO-a treba osmisliti na način koji će omogućiti odgovarajući pristup svim strojevima uključenima u sadnju i sječu.

Važno je planirati dovoljno velika rubna područja kako bi se omogućilo okretanje strojeva tijekom sječe (kombajn i/ili pridruženi traktori za prikupljanje sječke, ako je to primjenjivo). Takva rubna područja koja pripadaju plantaži, ali nisu zasađena samim kulturama, omogućuju povećanje biološke raznolikosti na rubovima plantaža pa se na njima mogu zasaditi autohtone travnate biljke. Ako se upotrebljava automatska oprema za sječu koja je osmišljena posebno za panjače vrbe ili topole, rubna područja moraju biti duga najmanje 6 – 7 metara. Takvo područje trebalo bi biti dovoljno veliko za prijevoz i pohranu posječene sječke (Slika 12) ili drvenih trupaca tijekom duljih razdoblja.



Slika 12. Kombajn za KKO koji se koristi širokim rubovima polja za privremenu pohranu drvene sječke. Vlažnost sječke smanjit će se prije isporuke krajnjem korisniku. (Izvor: Dimitriou I.)

Polje bi trebalo izgledati tako da mu se poveća duljina redova kako bi se smanjio broj potrebnih okretaja stroja. Idealne duljine redova omogućile bi da se drvnom sječkom napuni jedna ili dvije prikolice prije nego što se kombajn treba okrenuti (JTI 2014.).

Osnivanje novih plantaža KKO-a ne bi trebalo dovesti do blokiranja postojećeg javnog pristupa zemljištu. To posebice vrijedi za područja s brojnim rekreativnim aktivnostima, npr. u blizini gradova. Pažljivim planiranjem javnog pristupa i konzultiranjem s mjerodavnim skupinama i dionicima mogu se izbjeći mogući sukobi. Široki koridori između različitih blokova plantaža KKO-a povećat će mogućnost javnog pristupa i rekreativnu vrijednost plantaža KKO-a. Takvi koridori i široki rubovi, kao i dugi redovi nude i povećane prednosti u odnosu na raznolikost biljnog i životinjskog svijeta.

Dizajn plantaže trebao bi biti u skladu s okolnim krajolikom što je više moguće (kako je prethodno naznačeno) te bi stoga bilo idealno KKO zasaditi uz, primjerice, postojeću šumsku vegetaciju ili u njezinoj blizini (npr. živice i/ili male šume). Rubovi plantaže su važni kao značajka krajolika, a trebali bi izgledati što prirodnije i što raznolikije u odnosu na krajolik, dok bi živicu trebalo saditi i održavati jedanput godišnje. Kao alternativa za rubove mogu se posaditi jednogodišnji usjevi.

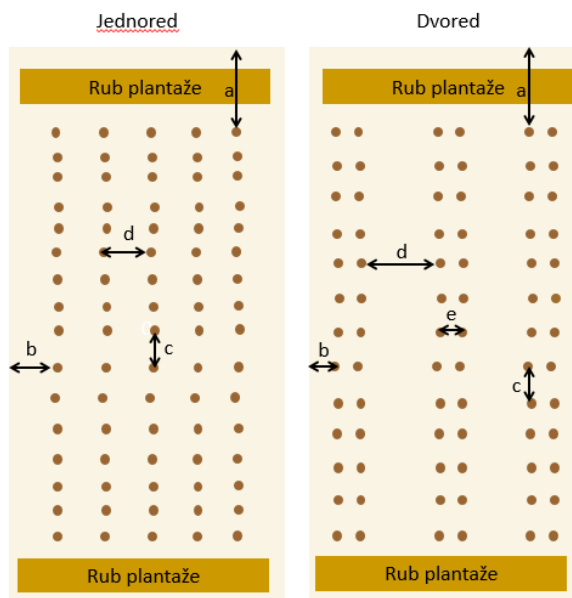
Za temeljni dio plantaže KKO-a mogu se izabrati različiti izgled i plan plantaže, ovisno o vrstama i ciklusu sječke (Tablica 2, Slika 13). Tipične plantaže panjača s vrbom i topolom vrlo su guste, pri čemu se po hektaru sadi od 5 000 do 20 000 reznica. Na takvim se plantažama preporučuje sadnja u jednoredu ili u dvoredima kako bi se omogućilo lakše upravljanje strojevima za sadnju, gnojidbu i sječju.

Tablica 2. Dizajn plantaža za vrbu i topolu u Njemačkoj (u skladu s Waldom 21)

| | Kratka rotacija (3 – 5 godina) | Srednja rotacija (6 – 8 godina) | Duga rotacija (> 10 godina) |
|---------------|--|--|--|
| Vrba | <ul style="list-style-type: none"> • 13 000 reznica/ha • Dvoredi: 2 m * 0,75 m • Gustoća: 55 cm u redu | <ul style="list-style-type: none"> • Nije primjenjivo | <ul style="list-style-type: none"> • Nije primjenjivo |
| Topola | <ul style="list-style-type: none"> • 8 300 – 11 000 reznica/ha • Jednored: 2 m • Gustoća: ~ 45 – 60 cm u redu | <ul style="list-style-type: none"> • 5 000 reznica/ha • Jednored: 2 m • Gustoća: ~ 1 m u redu | <ul style="list-style-type: none"> • 2 500 – 3 333 reznica/ha • Jednored: 2 m • Gustoća: ~ 1,5 – 2 u redu |

Plantaže topole najčešće se sade u jednom redu. Udaljenost između redova treba bi biti 2 m, a udaljenost reznica u redovima od 0,45 m do 2 m, ovisno o ciklusu ophodnje. Ponekad se kod plantaža topole primjenjuje i dvoredni sustav.

Upotreba dvostrukih redova može omogućiti brže, a time i jeftinije upravljanje, posebice na plantažama vrbe s brojnim tankim izdancima i vrlo kratkim ciklusima ophodnje. Tipičan dizajn takvih dvoreda je 1,50 m između i 0,75 m unutar dvoreda, dok je udaljenost reznica u redovima od 0,5 m do 0,8 m (ovisno o položaju, vrstama ili klonovima). Promjena razmaka može utjecati na krajnji proizvod sječe, posebice na duljinu i promjer stabljika. Konzultacije s potencijalnim krajnjim korisnicima biomase nužne su tijekom faze planiranja zbog zadovoljenja njihovih potreba vezanih uz karakteristike drvene sječke.



Slika 13. Primjeri najjednostavnijih planova plantaže s jednoredima i dvoredima (nisu u pravom omjeru) (a = razmak od ruba (8 m); b = razmak od granice plantaže do ruba polja (2 m); c = razmak između reznica u redu (0,45 – 2 m); d = razmak između redova (2 m); e = razmak između dvoredova (0,75 m) (Izvor: Rutz D.)



Slika 14. Nasadi KKO-a vrbe različitih dobi i zasađeni s različitim klonovima mijenjaju krajolik. Jednako tako, različite visine i boje pridonose raznolikosti. Susjedi mogu lako pristupiti poljima širokih rubova. (Izvor: Nordh N-E.)

2.4. Zakonodavni okviri

Kod odabira lokacije plantaže važno je uzeti u obzir i pravne aspekte. Zakonodavni okvir koji se primjenjuje može biti na različitim razinama poput nacionalne, regionalne i lokalne. Obično nova plantaža KKO-a dovodi do prenamjene nekog zemljišta koje može biti poljoprivredno zemljište, pašnjak, šuma, napušteno zemljište itd.

U mnogim zemljama nije preporučeno, čak je i zakonom zabranjeno osnivanje novih plantaža KKO-a na šumskom zemljištu. U samo nekoliko zemalja su KKO-ovi dopušteni na šumskom zemljištu. U nekim je zemljama ili regijama, poput Bavarske (Njemačka), zabranjeno osnivati nasade KKO-a na pašnjacima. KKO se smatraju jednakima jednogodišnjim usjevima na poljoprivrednom zemljištu ako se sijeku unutar određenog vremenskog razdoblja (npr. 20 godina u Njemačkoj).

Osim općenitih pravila za osnivanje plantaža KKO-a, koja se razlikuju među europskim zemljama, u obzir treba uzeti i status zaštićenosti zemljišta. Stoga uzgoj KKO-a nije uvijek trenutačno zabranjen na nekom području koje je pod statusom zaštite. Navedeno ovisi o vrsti zaštite: postoje razlike ovisno o tome radi li se o području unutar zaštićenog krajolika, područja očuvanja prirode ili Natura 2000 područja. U obzir treba uzeti i pravna pitanja povezana s upravljanjem vodama: područja vodnog sliva, riječna područja sklona poplavama ili područja s osjetljivim podzemnim vodama.

Zakonodavstvo može utjecati i na izbor odabranih sorti i klonova jer je ponekad i to propisano. Kad je riječ o osnivanju plantaže, ponekad je regulirana i udaljenost do susjeda te se npr. zahtijeva 2 m praznog prostora do susjednog zemljišta.

2.5. Aspekti održivosti kod izbora lokacije

Uz sve veću potražnju za biomasom za proizvodnju energije i različite biomaterijale, aspekti održivosti postaju sve važniji u raspravi o bioenergiji. Osnivanje nasada KKO-a i upotreba drvne sječke istih može biti mjera povećanja cjelokupne održivosti, ali samo uzmu li se u obzir određeni aspekti. Detaljan opis spomenutih aspekata dostupan je u izvješću projekta SRCplus „Kriteriji održivosti i preporuke za drvenaste kulture kratkih ophodnji“ (Dimitriou i Rutz 2014.). Sljedeći opis samo daje kratak sažetak tog izvješća.

Općenito, uzgoj KKO-a po definiciji je poljoprivredna praksa s malim ulaganjima koja podrazumijeva niske emisije stakleničkih plinova zbog ograničene primjene kemikalija, ali i zato jer se nasadi uzgajaju na istim površinama dugi niz godina, što dovodi do ograničenih unosa prilikom upravljanja plantažom. Upotreba pesticida zanemariva je i u većini slučajeva ne postoji. Razlog tomu nije odsutnost bolesti ili insekata, već uglavnom relativno niska ekonomska vrijednost u usporedbi s konvencionalnim poljoprivrednim usjevima jer se proizvedena biomasa koristi za energiju. Gnojidba je niska u usporedbi s konvencionalnim poljoprivrednim usjevima: gnojidba drveća nije uobičajena praksa, a radi se i o višegodišnjim plantažama koje se uzgajaju i nekoliko godina prije sječe s hranjivim tvarima od otpalog lišća i odumrlog korijenja recikliranim u sustavu tlo-biljka. Čak i u slučajevima u kojima se razmatra gnojidba dušikom, primjerice za KKO vrbe, preporučene su količine (oko 80 kg N po hektaru godišnje) značajno niže od onih kod uobičajenih poljoprivrednih usjeva.

Nadalje, zbog tehničkih ograničenja i ostalih razloga kao (npr. visina drveća, gustoća plantaže nakon prve godine), gnojidba plantaže nije moguća svake godine. Obrada tla se također provodi samo jednom tijekom osnivanja nasada te se do kraja vijeka plantaže, obično nekoliko desetljeća, ne odvija nikakvo drugo upravljanje tlom.

Ako se plantažom upravlja na održiv način, KKO mogu ostvariti značajne sinergije s ostalim poljoprivrednim praksama, uslugama ekosustava i mjerama očuvanja prirode. KKO-ovi obično mogu poboljšati kvalitetu vode, povećati biološku raznolikost, pružiti usluge ekosustava (lov, pčelarstvo, opskrba vodom, zaštita od požara), ublažiti širenje bolesti životinja među farmama, spriječiti eroziju tla, smanjiti unos umjetnih materijala (gnojiva, pesticida) i ublažiti klimatske promjene putem skladištenja ugljika. Te se prednosti trebaju promicati kako bi se iz KKO-a proizvela održiva drvna sječka, i istovremeno povećali pozitivni učinci KKO-a na okoliš. Stoga se moraju razmotriti aspekti održivosti: KKO-ovi najpozitivnije učinke imaju na marginalnom tlu, posebice kao strukturni elementi krajolika.

Zbog važnosti utjecaja KKO-a na okoliš, sljedeći opis ističe učinke prenamjene korištenja zemljišta. Učinci su razvrstani u izravne (dLUC) i neizravne (iLUC). Oni su među ključnim čimbenicima u bilo kojem lancu energije iz biomase koja se temelji na usjevima jer će u budućnosti konkurencija u korištenju zemljišta biti sve veće ograničenje za bilo koji proizvod.

Kako bi se razvile preporuke za održiv uzgoj KKO-a, prethodno korištenje zemljišta ima ključnu ulogu kod ostvarenja pozitivnih ili negativnih učinaka. Razlika postoji ovisno o tome je li planirano da se buduća plantaža KKO zasadi na:

- **Poljoprivrednom zemljištu:** različite vrste poljoprivrednog zemljišta (oranice), ovisno o kvaliteti tla i dostupnosti vode
- **Pašnjaku:** valja razlikovati intenzivno i ekstenzivno upravljane pašnjake
- **Šumskom zemljištu:** u mnogim se zemljama KKO-ovi ne bi trebali uzgajati na zemljištu koje je klasificirano kao šumsko (i s pravnog stajališta, ali i zbog pitanja zaštite okoliša).
- **Marginalnom zemljištu:** Postoje različite definicije „marginalnog zemljišta“. Neka zemljišta koja su gospodarski klasificirana kao „marginalna“ imaju veliku ekološku vrijednost. KKO se može zasadi na strmim padinama (kako bi se spriječila erozija), na područjima sklonim poplavama, na područjima pod dalekovodima itd.

- **Zaštićenom zemljištu:** uzgajanje KKO-a na zaštićenom zemljištu ovisi o statusu zaštićenosti i ciljevima.

Da bi se s KKO-om postigla učinkovita proizvodnja biomase, najpogodnije je poljoprivredno zemljište visoke plodnosti jer ono, uz odgovarajuće upravljanje, omogućuje najveće prinose biomase po jedinici površine (i prihode za poljoprivrednika). Kao što je već navedeno i kao što se u nastavku dodatno analizira, čini se da uvođenje KKO-a u takvim područjima omogućuje pozitivne učinke u pogledu kvalitete vode i tla te biološke raznolikosti u usporedbi s konvencionalnim poljoprivrednim usjevima, koji se obično uzgajaju na plodnom tlu.

Međutim, uz trenutne cijene drvene biomase i energije, KKO je manje konkurentan u mnogim regijama u usporedbi s uzgojem konvencionalnih usjeva na obradivom zemljištu. Stoga su poljoprivrednici najčešće zainteresirani za osnivanje KKO-a uglavnom na napuštenom poljoprivrednom zemljištu ili pašnjaku. Prenamjena korištenja zemljišta iz pašnjaka u KKO može se smatrati proturječnom zbog napora u europskoj poljoprivredi da se sačuvaju i izbjegnu smanjenja ekosustava sa sposobnošću sekvestracije ugljika ili ekosustava s visokom biološkom raznolikošću kao što su pašnjaci. Budući da je KKO višegodišnji usjev s minimalnom upotrebom pesticida, KKO je u tom pogledu srodniji pašnjaku nego ostalim ratarskim kulturama te se ne očekuje značajna razlika u posljedičnim učincima na kvalitetu tla i vode. Potrebno je analizirati odgovarajuće usporedbe jer se transformacija korištenja zemljišta mora provoditi pažljivo kako bi se osigurala zaštita okoliša. Općenito, uzgoj KKO-a na šumskom zemljištu ima negativne učinke. Stoga su mnoge zemlje zakonski onemogućile uzgoj KKO-a na šumskom zemljištu.

Svim trima vrstama korištenja zemljišta (poljoprivredno zemljište, pašnjak, šume) može se upravljati na različite načine. Ovisno o načinu upravljanja, kao i o tlu i klimatskim uvjetima, „marginalno zemljište“ može se primijeniti na sve tri vrste korištenja zemljišta. Postoje, dakle, različite definicije marginalnog zemljišta, ovisno o fokusu ekonomskih pitanja, plodnosti, rizicima itd.

Primjerice, marginalna zemljišta mogu biti umjereno ili visoko onečišćena tla, područja podložna poplavama, zemljišta ispod dalekovoda, zemljišta uz željezničku prugu te zemljišta u područjima rizika od klizišta. Te vrste zemljišta dobra su prilika za uzgoj KKO-a, uglavnom jer KKO može tolerirati i zadovoljavajuće rasti u nepovoljnim uvjetima (npr. tla onečišćena teškim metalima, anaerobni uvjeti, manje plodna tla, potopljena područja). Na takvim područjima, osim KKO-a, mogu se uzgajati i mnogi drugi usjevi. Iako će očekivana proizvodnja biomase i učinkovitost korištenja zemljišta biti vrlo niske na takvom području, ista su interesantna za uzgoj KKO-a jer se time izbjegava konkurentnost s drugim usjevima koji se mogu uzgajati na kvalitetnijem zemljištu, ali i nudi nekoliko ekoloških prednosti. Međutim, na određenim područjima, npr. na marginalnom zemljištu visoke biološke raznolikosti, postoji ekološki rizik od mogućih negativnih učinaka kroz uzgoj KKO-a.

Konačno, sve tri vrste korištenja zemljišta (poljoprivredno zemljište, pašnjak, šume) mogu, prema različitim lokalnim, nacionalnim i EU-ovim klasifikacijama zaštite, imati i status zaštićenih. U slučaju da je taj status povezan s određenim ekosustavima, staništima i zaštićenim vrstama, uzgoj KKO-a na takvim područjima iznimno je negativan. Uzgoj KKO-a može imati pozitivne ili negativne učinke za zaštićena područja povezana sa zaštitom okoliša. Općenito, treba utvrditi ciljeve zaštite određene lokacije i procijeniti učinak uzgoja KKO-a na ispunjenje tih ciljeva.

Pregled različitih učinaka uvođenja KKO-a na trima vrstama korištenja zemljišta prikazan je u Tablica 3.

Tablica 3. Učinci uvođenja KKO-a na poljoprivredno zemljište, pašnjak i šume (adaptirano iz BUND-a 2010., Dimitriou i Rutz 2014.)

| Kriterij | KKO uspoređen s poljoprivrednim zemljištem | KKO uspoređen s pašnjakom | KKO uspoređen sa šumom |
|------------------------------|---|--|--|
| Upotreba pesticida | Tijekom osnivanja i uklanjanja slična konvencionalnom korištenju zemljišta; Nije potrebna tijekom faze kratke ophodnje. | Tijekom osnivanja i uklanjanja slična konvencionalnom pašnjaku; Nije potrebno tijekom faze kratke ophodnje | Viša |
| Upotreba gnojiva | Značajno niža nego u konvencionalnoj poljoprivredi | Značajno niža nego na intenzivno upravljanim pašnjacima | Viša |
| Erozija tla | Značajno niža | Tijekom osnivanja i uklanjanja viša nego na pašnjaku; Tijekom faze kratke ophodnje slična pašnjaku. | Malo viša |
| Biološka raznolikost | Obično mnogo viša nego na intenzivno korištenom poljoprivrednom zemljištu; Na ekstenzivno korištenom poljoprivrednom zemljištu može biti viša ili niža. | Ovisi o intenzitetu korištenja pašnjaka kao i o sastavu vrsta. | Ovisi o vrsti šume i dizajnu KKO-a; u usporedbi s prirodnim šumama bioraznolikost u KKO-u mnogo je niža. |
| Klima i voda | Više isparavanja, viša intercepcija, veća zaštita od vjetra i ujednačavanje temperature, smanjenje prašine i onečišćivača | Više isparavanja, veća zaštita od vjetra i ujednačavanje temperature | Negativni učinci |
| Sekvestracija ugljika | Značajno viša | Viša ili jednaka, ovisi o praksi upravljanja. | Znatno niža pohrana CO ₂ , ali viša godišnja sekvestracija |

Važan čimbenik koji utječe na održivost korištenja zemljišta je njegova energetska vrijednost po hektaru u usporedbi s ostalim usjevima i stoga potencijal doprinosa ublažavanju klimatskih promjena. Iako vrlo specifični za svaku pojedinu lokaciju, prosječni iznosi su predstavljeni u Tablica 4. Energetska bilanca prikazana je u Tablica 5.

Tablica 4. Godišnja proizvodnja energije iz KKO-a, energetskih usjeva i šume u kWh/ha

| KKO | Kukuruz (bioplin) | Uljana repica (biodizel) | Šuma |
|-----------------|-------------------|--------------------------|-----------------|
| 16 000 – 60 000 | 37 000 – 55 000 | 11 000 – 21 000 | 10 000 – 27 000 |

Tablica 5. Energetski balans kao omjer unosa/proizvodnje odabranih usjeva

| KKO (vrba) | KKO (topola) | Kukuruz (cijela biljka) | Uljana repica (cijela biljka) | Pšenica (uključujući slamu) |
|------------|----------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1:24* | 1:16 do 1:26** | 1:11* | 1:9* | 1:11* |

Izvori: *Börjesson & Tufvesson 2011.; **Burger 2011.

Kako je prethodno opisano, prenamjena korištenja zemljišta važan je aspekt koji treba uzeti u obzir pri evaluaciji održivosti. Učinci na biološku raznolikost, tlo, vodu i promjene u krajoliku detaljnije su opisani u izvješću „Kriteriji održivosti i preporuke za drvenaste kulture kratkih ophodnji“ (Dimitriou & Rutz 2014.).

3. Vrste drveća i klonovi

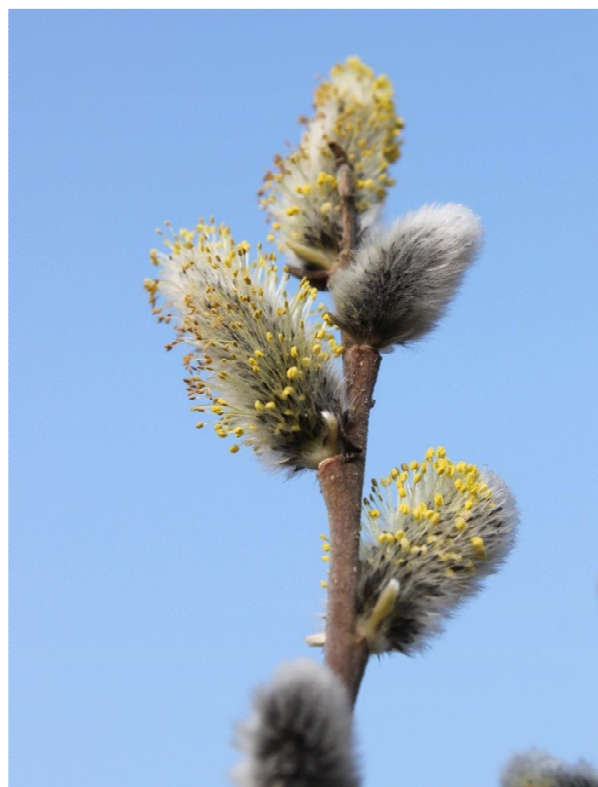
U Europi se nekoliko brzorastućih vrsta drveća koriste se kao sirovine za biomasu u energetske svrhe. U ovom priručniku naglasak je stavljen na KKO vrbe i topole zbog činjenice da se radi o vrstama za koje je u Europi pokazano najviše interesa i za koje postoji najviše rezultata istraživanja. Međutim, u priručnik su uključeni i rezultati istraživanja i informacije o drugim vrstama koje se uzgajaju kao KKO, poput bagrema i eukaliptusa, te jasena, johe i breze. Navedene informacije predstavljene su uzimajući u obzir veliki raspon europskih područja.

3.1. Vrba

Rod *Salix* (Slika 15, Slika 16) uključuje oko 400 vrsta bjelogoričnog drveća (vrbe, vrbe ive...) i grmova te u prirodi dolazi prvenstveno na vlažnom tlu u hladnim i umjerenim regijama sjeverne hemisfere. Vrba je vrsta koja se u Europi najčešće upotrebljava za proizvodnju energije na plantažama KKO-a zbog niza odgovarajućih značajki poput brzog rasta i visokih prinosa, mogućnosti dobrog rasta na različitom tlu (npr. idealno pH vrijednost 5 – 7,5, ali i izvan tog raspona) i u različitim vrstama okoliša (od teških glina do laganijih tla), dobre sposobnosti stvaranja izbojaka nakon sječe (stoga nije potrebna ponovna sadnja nakon sječe), korijenja koje može podnositi anoksične uvjete (stoga se može zasaditi i u uvjetima natopljenog tla), mogućnosti toleriranja povišenih koncentracija hranjivih tvari i teških metala (stoga se može zasaditi u teškim uvjetima, npr. za fitoremedijaciju). Vrba ima još jednu prednost zbog koje je postala najčešća vrsta na plantažama KKO-a za proizvodnju energije: njezina široka genetička varijacija s brojnim različitim vrstama nudi različite fiziološke karakteristike koje se mogu koristiti na polju. Nadalje, vrba je vrsta koja se lako razmnožava. Stoga se križanjem može dobiti nekoliko različitih klonova vrbe, što pruža poboljšani sadni materijal s križanim kombinacijama različitih klonova.



Slika 15. Listovi vrbe (*Salix viminalis*) koja se obično upotrebljava za KKO u sjevernim dijelovima Europe (Izvor: Aronsson P.)



Slika 16. Cvijet vrbe u rano proljeće (Izvor: Rutz D.)

Programi genetskog poboljšanja vrbe u Švedskoj i Ujedinjenom Kraljevstvu doveli su do značajnog napredaka u uzgoju vrbe u kulturi kratke ophodnje koja se koristi za proizvodnju bioenergije. Zbog proširenja proizvodnje proteklih se godina razvijaju sorte prilagođene širem rasponu europskih okoliša i klima. Primarni ciljevi prethodno spomenutih programa uzgoja bili su proizvesti sorte visokih prinosa, otporne na bolest i štetočine, s oblikom rasta koji olakšava mehaničku sječu. Većina križanih vrsta razvijenih u sklopu švedskog programa uzgoja u poduzeću Svalöf-Weibull AB (SW) uključivale su *S. viminalis*, *S. dasyclados* i *S. schwerinii*. Izvorni roditeljski materijal temeljio se na materijalima prikupljenima u Švedskoj i središnjoj Europi, a kasnije je nadopunjen ekspedicijama prikupljanja materijala u središnjoj Rusiji i Sibiru. Program uzgoja u Ujedinjenom Kraljevstvu utemeljen na IAR-Long Ahstonu (kojeg financira Europsko partnerstvo za uzgoj vrbe – EWBP) i koristio je više od 20 različitih vrsta iz Nacionalne zbirke vrba UK-a. To je uključivalo egzotične ekvivalente vrsta *S. viminalis* i *S. caprea* poput *S. rehderiana*, *S. udensis*, *S. schwerinii*, *S. discolor* i *S. aegyptica*.

Rezultat prethodnog rada je da sve nove plantaže KKO-a sada sadrže novouzgojene klonove koji su produktivniji i otporniji na štetočine i bolesti, što omogućuje stabilnije prinose biomase. Izbor klonova ovisi o specifičnim potrebama uzgajivača i o klimatskim uvjetima na lokaciji. Također, ovisi i o dostupnosti reznica od strane proizvođača. Proizvođačima reznica potrebna je najmanje godina dana kako bi mogli isporučiti dovoljan broj reznica svake vrste. Kada saznaju koji su klonovi potrebni, mogu pripremiti svoje plantaže kako bi proizveli jednogodišnje izdanke za proizvodnju reznica sljedeće zime. Trenutačno je dostupno 25 EU potvrđenih sorti, od čega ih je danas oko deset u komercijalnoj upotrebi. Godišnje se razvija približno jedna ili dvije nove sorte ili klona. Popis najčešće korištenih klonova, proizvedenih u sklopu prethodno spomenutih programa, nalazi se u nastavku (Tablica 6). Za više informacija o posebnim značajkama i prikladnosti klonova vrbe potrebno se obratiti nabavljačima reznica vrbe.

Tablica 6. Popis često korištenih klonova vrbe koji su proizvedeni u sklopu Europskog partnerstva za uzgoj vrbe (EWBP) u UK-u i švedskog programa uzgoja u poduzeću Svalöf-Weibull AB (SW) (prilagođeno prema Caslin *et al.*, 2012.)

| Klon | Vrsta | Spol | Posebne značajke | Program uzgoja |
|-------------------|---|--------|--|----------------|
| Beagle | <i>S. viminalis</i> | ženski | Suha tvar pri sječi viša je od prosjeka | EWBP |
| Endeavour | <i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i> | ženski | Nije otporan na uvjete većeg saliniteta | EWBP |
| Gudrun | <i>S. dasyclados</i> | ženski | Podložan bolesti hrđe lista, spori rast tijekom prve godine | SW |
| Inger | <i>S. triandra</i> x <i>S. viminalis</i> | ženski | Dobri rezultati na suhom tlu, visok sadržaj suhe tvari, niska ogrjevna vrijednost | SW |
| Jorr | <i>S. viminalis</i> | muški | Relativno osjetljiv na mraz | SW |
| Olof | <i>S. viminalis</i> x (<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>) | muški | Podložan bolesti hrđe lista, veći udio vode u sječi | SW |
| Resolution | (<i>S. viminalis</i> x (<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>)) x (<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>)) | ženski | Visoki prinosi u prvoj ophodnji, dobar rast u suhim područjima, sječke niske nasipne gustoće i ogrjevne vrijednosti | EWBP |
| Sven | <i>S. viminalis</i> x (<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i>) | muški | Visoki prinosi u prvoj ophodnji, niska opasnost od hrđe listova, sječka niske nasipne gustoće, ali visoke ogrjevne vrijednosti | SW |
| Terra Nova | (<i>S. triandra</i> x <i>S. viminalis</i>) x <i>S. miyabeana</i> | ženski | Relativno niski prinosi, ali dobri rezultati u teškim okruženjima (na visinama, suha tla) | EWBP |
| Tora | <i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i> | ženski | Visoki prinosi, niska hrđa lista, visoki prinos u drugoj ophodnji, pogodno za gotovo sva okruženja | SW |
| Tordis | (<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i>) x <i>S. viminalis</i> | ženski | Visoki prinosi, pogodni na suhom tlu, niska hrđa lista, niska nasipna gustoća, visoka ogrjevna vrijednost, niska suha tvar | SW |
| Torhild | (<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i>) x <i>S. viminalis</i> | ženski | Relativno niski prinosi, niska suha tvar | SW |

3.2. Topola

Topola (Slika 17, Slika 18) pripada rodu *Populus* porodice *Salicaceae* te je, uz vrbu, najčešća vrsta u plantažama KKO za proizvodnju bioenergije u Europi. Prirodna distribucija topole prostire se od tropa pa sve do granične geografske širine i dužine za rast drveća na sjeverne

hemisfere. Vrste roda *Populus* bjelogorične su ili (rijetko) poluzimzelene i podijeljene su u šest sekcija: Abaso (meksička topola), Aigeiros (*cottonwoods* topola i crna topola), Leucoides (močvarne topole), *Populus* (bijeले topole i jasike), Tacamahaca (balzamne topole) i Turanga (suhe i tropske topole).



Slika 17. Plantaža KKO-a topole uzgojena u poljoprivrednom krajoliku (Izvor: Nordh N-E.)



Slika 18. Listovi topole (klon Max 3) u proljeće u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.)

Za plantaže KKO-a obično se koriste klonovi topole nastali križanjem između *Populus trichocarpa*, *Populus maximowiczii*, *Populus deltoides*, *Populus tremula*, *Populus nigra*, *Populus koreana* i *Populus tremuloides*.

Glavni klonovi koji su u prošlosti korišteni za KKO uključuju klonove „Max 1”, „Max 3”, „Max 4”, „Hybride 275”, „Muhle Larsen” i „Androscoggin”, (Tablica 7). U KKO-ovima su se koristili i sljedeći klonovi: „Rochester”, „Weser 6”, „Beaupré”, „Münden”, „Monviso”, „Pegaso” i „AF2”.

Topole su dvodomne vrste (tj. pojedinačna stabla su ili muška ili ženska) i mogu se regenerirati čepovanjem i iz reznica. Različite vrste roda *Populus* posađene su diljem planeta, kako unutar tako i izvan prirodne rasprostranjenosti. U Europi se veća stabla topole komercijalno koriste za rezanu građu, furnir, različite proizvode od drva, ali i za celulozu. Tijekom proteklih godina povećao se interes za uzgoj topola u sustavu KKO-a za proizvodnju bioenergije i kao drvo za ogrjev, a nekoliko zemalja u sjevernoj Europi (npr. Švedska), središnjoj Europi (npr. Njemačka, Francuska, Belgija i ostale) i južnoj Europi (npr. Italija i ostale) razvilo je sadni materijal pogodan za uzgoj u KKO sustavu. Na tržištu je dostupno nekoliko klonova i budući upravitelj plantažom se mora konzultirati s rasadnicima i proizvođačima klonova kako bi dobio daljnje informacije koje će omogućiti odgovarajući izbor sadnog materijala na temelju karakteristika specifičnih za zemljište.

U usporedbi s vrbom, topole koje se uzgajaju za proizvodnju bioenergije u Europi najčešće se smatraju prikladnima za uzgoj na područjima: i) s blažom klimom, stoga su srednja i južna Europa područja u kojima je interes za topolu veći, iako i u sjevernoj Europi postoje plantaže topole koje ostvaruju zadovoljavajuće prinose; ii) s pjeskovitijem i sušom tlu, što je vjerojatno povezano s nižom potrebom topole za vodom, iako one mogu rasti i ostvariti visoke prinose čak i na glinastom tlu; iii) manje gustih plantaža nego od sustava KKO-a vrbe (npr. udaljenosti od 2 do 3 m među stablima i sječa u duljim ophodnjama > 10 – 15 godina), iako postoje topole zasađene u sustavima panjača koje su iste gustoće i kojima se općenito isto upravlja kao i s KKO-om vrbe (opsežni primjeri takvih slučajeva opisani su u sljedećim poglavljima); iv) s manjom površinom vegetacije jer KKO topole može postići jako dobre rezultate u plantažnim shemama koje nisu toliko intenzivne kao KKO vrbe te ne trebaju posebnu opremu za primjerice sadnju i sječu, ako su odabrane duže ophodnje (u takvim će slučajevima za sadnju i sječu biti potrebna šumska oprema ili će se obavljati ručno).

Unatoč ovim potencijalnim razlikama između dviju dominantnih vrsta KKO-a u Europi, postoje primjeri koji pokazuju da vrba i topola mogu jednako dobro rasti i na istim područjima. Razlog tomu je vrlo širok izbor sadnog materijala dostupnog za ove vrste (dostupni su različiti klonovi, pogodni za različite klimatske uvjete) i različite strategije upravljanja za koje se poljoprivrednici odlučuju (kraće ophodnje naspram dužih, intenzivno upravljanje naspram manje intenzivnog itd.). O takvim se pitanjima raspravlja u drugim dijelovima ovog priručnika.

Tablica 7. Popis često korištenih klonova topola za KKO (prilagođeno prema Sailer Baumschulen GmbH)

| Klon | Vrsta | Spol | Posebne značajke |
|----------------------|--|--------|---|
| Max 1 | <i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i> | ženski | |
| Max 3 | <i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i> | ženski | Visoka proizvodnja biomase |
| Max 4 | <i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i> | ženski | |
| Matrix | <i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i> | | Srednja proizvodnja biomase na svim tlima; Hybrid i Matrix s visokim stopama rasta, posebice na hladnijem i vlažnijem tlu |
| Androscoggin | <i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i> | muški | |
| Hibrid 275 | <i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i> | | |
| Muhle Larsen | <i>P. trichocarpa</i> | ženski | |
| Fritzi Pauley | <i>P. trichocarpa</i> | ženski | Srednja proizvodnja biomase na svim tlima |
| Trichobel | <i>P. trichocarpa</i> | | |
| Koreana | <i>P. trichocarpa</i> x <i>P. koreana</i> x <i>P. maximowiczii</i> | | Visoka proizvodnja biomase nakon druge rotacije; u Njemačkoj nije odobrena |

3.3. Bagrem

Bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.) (Slika 19) je strana vrsta drveća podrijetlom s istoka Sjedinjenih Američkih Država, koja je u Europu donesena tijekom 17. stoljeća. Od tada, bagrem se brzo proširio Europom ili prirodnim razmnožavanjem ili sadnjom, prvo kao ukrasno drvo, a kasnije na prostranim plantažama u svrhu proizvodnje drvne građe. Danas se velika područja bagrema mogu pronaći u središnjim i jugoistočnim dijelovima Europe. Bagrem je relativno otporan na sušu te fiksira dušik. Na temelju navedenog, pokazalo se je da je bagrem odgovarajuća vrsta za oporavak tla nekadašnjih rudnika i kamenoloma. Bagrem karakterizira mogućnost rasta na golom tlu u ekstremnim uvjetima, brzi rast te dobra mogućnost rasta izbojaka nakon sječe kao i visoka gustoća drveta. Stoga se pokazao vrlo korisnom vrstom u sustavu KKO za proizvodnju bioenergije. U središnjoj Europi (uglavnom u Mađarskoj, ali i u drugim zemljama poput Italije i Poljske) su velike površine zasađene bagremom, no u posljednje vrijeme raste i interes za uzgoj bagrema kao KKO na poljoprivrednom zemljištu, posebice kada je cilj oporavak tla. Međutim, treba napomenuti da se u nekim slučajevima bagrem smatra invazivnom vrstom te ga je potrebno držati pod kontrolom.

Kada se govori o uzgoju na poljoprivrednom tlu, bagrem raste na širokom rasponu tala u usporedbi s ostalim vrstama KKO-a, ali ne i na vrlo suhom ili teškom tlu. Najbolje uspijeva na

tlu rastresite strukture, posebice praškastoj i pjeskovitoj ilovači te je otporan na stresna stanja u okolišu poput poplava, ekstremnih temperatura te onečišćenja zraka. Najvažnije karakteristike tala za dobar rast bagrema su prozračnost tla i vodni režim.

Razmnožavanje biljke moguće je iz reznice korijena, zelenih neodrvenjelih reznica, sadnica ili mikropropagacijom. Razmnožavanje reznicama korijena i zelenim neodrvenjelim reznicama pruža zajamčenu kvalitetu, ali je skuplje od razmnožavanja sjemenjem. Kad je riječ o sječi, bagrem za razliku od drugih brzorastućih drveća poput vrbe i topole, ima trnje, što otežava ručnu sječu te se provodi iveranje na plantaži. Bagrem može proklijati iz korijena te nakon treće ili četvrte sječe rasti i među redovima, što može značajno otežati sječu korištenjem posebno dizajniranog kombajna za KKO vrbe. Dodatno, drvo bagrema tvrđe je od ostalog brzorastućeg drveća tako da kombajni moraju biti snažniji i izdržljiviji od onih koji se koriste za vrbu.

Prednosti bagrema u usporedbi s topolom i vrbom su sposobnost fiksacije dušika te bolja kvaliteta drveta, veća gustoća i ogrjevna vrijednost, ali je zato plantažom KKO-a bagrema teže je upravljati. Jednogodišnje sadnice bagrema sade se u guste plantaže (oko 10 000 sadnica) KKO-a (u usporedbi s jeftinijim reznicama vrba i topole). Kako je prethodno opisano, sječa može biti otežana, a prinosi mogu biti visoki kao i za vrbu ili topolu, no to uvelike ovisi o načinu upravljanja i položaju plantaže. Mraz i snažan vjetar mogu uzrokovati oštećenja stabala (lom izdanaka i grana) te time ugroziti prinose bagrema, posebice u ranim fazama plantaže



Slika 19. Bagrem uzgojen za energiju u Mađarskoj (Izvor: Simon L.)

3.4. Eukaliptus

Eucalyptus (Slika 20, Slika 21) je rod brzorastućih vrsta drveća podrijetlom iz Australije koje se već mnogo godina koriste u južnoj Europi za celulozu i proizvodnju papira. Tijekom posljednjih godina upotreba drvene mase iz eukaliptusa za proizvodnju energije privlači sve više interesa, ne samo u južnoj Europi, već i na višim zemljopisnim širinama (npr. u Ujedinjenom Kraljevstvu i Irskoj). Rod *Eucalyptus* obuhvaća više od 700 vrsta. Vrste koje se najčešće koriste na velikim plantažama za proizvodnju biomase u južnoj Europi su *E. globulus* i *E. camaldulensis*, dok se u sjevernoj Europi koriste *E. gunnii* i *E. nitens* koji su podnose hladnije klimatske uvjete.

Plantaže KKO-a eukaliptusa tradicionalno se sade kao plantaže u jednostrukom redu s udaljenosti između pojedinačnih biljaka 3 x 3 (ili slično) te se sijeku nakon 7 – 12 godina radi

proizvodnje celuloze. Međutim, ovisno o situaciji na tržištu, drvo je u nekim slučajevima bilo korišteno i u energetske svrhe. Nedavno je zabilježen porast interesa za plantaže panjača eukaliptusa za proizvodnju bioenergije, ispitivanjem i uvođenjem intenzivnijih sustava proizvodnje. Takvi sustavi nalikuju sustavu panjača vrbe s vrlo kratkim rotacijama od 2 do 4 godine te upravljanju koje je bliže poljoprivredi nego šumarstvu, proizvodeći drvo za energetske upotrebu.

U Europi je većina takvih poljoprivrednih KKO sustava još uvijek u fazi ispitivanja, za razliku od ostalih dijelova svijeta (npr. Brazila, Australije) u kojima se KKO eukaliptusa široko primjenjuje. Uobičajeno se sade sadnice s korijenom koje su najčešće rezultat hibridizacije vrsta koje se smatraju odgovarajućima za klimatsko podneblje na koje se uvode. Gnojdba, posebice dušikom, preduvjet je za postizanje visokih prinosa biomase. No, unatoč visokim prinosisima koji se mogu postići u širokom rasponu klimatskih uvjeta u Europi, eukaliptus je s ekološkoga gledišta kontroverzan rod. Ozbiljna zabrinutost obično proizlazi iz negativnog učinaka eukaliptusa na niz aspekata poput kvalitete tla, razine podzemnih voda, bioraznolikosti i šumskih požara. Takvu zabrinutost lokalnih dionika treba uzeti u obzir kada se planira osnivanje KKO-a eukaliptusa. U većini slučajeva rezultati istraživanja pokazali su da je većina percepcija o eukaliptusu pretjerana te da su njegovi učinci na okoliš jednaki onima bilo kojeg intenzivnog proizvodnog sustava u poljoprivredi.



Slika 20. Plantaža KKO-a eukaliptusa za biomasu za proizvodnju energije nakon šest godina rasta na Novom Zelandu (Izvor: Dimitriou I.)



Slika 21. Plantaža eukaliptusa s dužim ciklusom rotacije u Argentini (Izvor Rutz D.)

3.5. Joha

Joha je zajedničko ime za vrste drveća iz roda *Alnus*, koji pripada porodici *Betulaceae*. Rod se sastoji od oko 30 vrsta jednodomnog drveća i grmova. Distribuirani su diljem sjeverne umjerene zone, dok se areal nekoliko vrsta prostire i u središnju Ameriku i sjeverne Ande.

Općenito, iskustvo uzgoja joha u kulturama kratkih ophodnji još uvijek je ograničeno. Određena ispitivanja i prve plantaže tek su osnovani. Joha zahtijeva mnogo svjetla, hranjivih tvari i vode, ali može tolerirati privremenu plavljenost. Siva joha (*Alnus incana*) raste do visine od 1 500 m i najbolje uspijeva na vapnenastom tlu i uz umjereno hladnu klimu. Crna joha (*Alnus glutinosa*) najbolje uspijeva na vlažnom tlu s visokom dostupnošću vode i umjerenom klimom.



Slika 18. Plantaža johe u Njemačkoj sa zaštitnom ogradom protiv divljači (lijevo) i lišće johe (desno) (Izvor: Rutz D.)

3.6. Ostale vrste

Postoji velik broj drugih vrsta koje su kandidati za KKO za proizvodnju energije u Europi, poput *Acacia saligna*, *Ulmus* sp, *Platanus* sp., *Acer* sp., *Corylus avellana*, *Paulownia* sp. i drugih. Međutim, njihovo uvođenje postiglo je slabiji uspjeh od prethodno navedenih vrsta. Neke od navedenih vrsta su egzotične i/ili invazivne vrste koje nisu temeljito ispitane te su se pojavila ekološka pitanja u vezi s njihovom potencijalnom invazivnošću, dok su se druge vrste bolje prilagodile određenim klimatskim uvjetima.

Okvir 2. Zašto bih sadio/la druge vrste?

Općenito, za poljoprivrednike nije preteško i riskantno provoditi vlastite pokuse i stjecati iskustva i s ostalim vrstama, a ne samo s topolom i vrbom. Stoga se preporučuje na manjem dijelu plantaže KKO-a uzgajati druge vrste. To povećava i raznolikost plantaže. Biomasa se može sjeći u isto vrijeme te obično s istom opremom koja se koristi za glavnu plantažu. Međutim, najvjerojatnije je da će prinosi s područja na kojemu su zasađene druge vrste biti niži od glavne plantaže.

4. Uzgoj kultura kratkih ophodnji

U ovom su poglavlju navedene informacije o različitim koracima kod uzgoja KKO-a koji se odnose na stadij osnivanja plantaže (priprema zemljišta, sadnja) te na upravljanje plantažom tijekom njenog produktivnog vijeka. Glavni je fokus na vrbi i topoli.

4.1. Priprema zemljišta

KKO koje se uzgajaju na poljoprivrednom zemljištu zahtijevaju vrlo dobru početnu pripremu tla, baš kao i kod ostalih konvencionalnih poljoprivrednih usjeva. Uspješno suzbijanje korova pokazalo se jednim od najvažnijih čimbenika uspjeha u pogledu prinosa KKO-a tijekom životnog ciklusa plantaže te se stoga prakticira nekoliko metoda suzbijanja korova (Slika 22).



Slika 22. Jedinke vrbe (crveni krug) sustavu KKO okružene korovom na polju gdje suzbijanje korova nije uspjelo. Unatoč tome što će nasadi vrbe tijekom sljedećih godina nadjačati korov, proizvodnja će biti niža od očekivane. Stoga su preporučeni koraci u suzbijanju korova iznimno važni i treba ih se pridržavati. (Izvor: Dimitriou I.)

Pritisak korova ovisi o prethodnom korištenju zemljišta te o sjemenju korova u tlu. Posebno velik rizik od klijanja korova prisutan je na zemljištu koje je duže razdoblje bilo nekorišteno i gdje je korov rasprostranjen (Gustafsson *et al.*, 2007.). Priprema zemljišta u godini prije sadnje vrlo je važna za iskorjenjivanje višegodišnjeg korova.

Općenito, najlakši način kontrole korova je upotreba herbicida, no moguća je i mehanička kontrola, iako ona može biti dosta riskantna i zahtjevna. Kontrola korova obično je potrebna u prvoj godini osnivanja plantaže. Imajući na umu da je produktivni vijek plantaže KKO-a na određenom zemljištu više od 20 godina, inicijalni učinak korištenja herbicida u prvoj godini iznimno je malen.

Okvir 3. Minimiziranje upotrebe kemikalija je važan čimbenik u povećanju pozitivne percepcije javnosti

Potreba za primjenom kemikalija (herbicida, pesticida) ovisi o različitim čimbenicima. Glavni su čimbenici veličina plantaže jer je ručno suzbijanje korova na velikim plantažama vrlo zahtjevno, kao i očekivana dobit.

No, primjenu kemikalija trebalo bi, kad god je to moguće, izbjegavati ili minimizirati.

Zemljište se može ostaviti i na ugaru za jednu godinu tijekom koje se višegodišnji korov ljeti kontrolira herbicidom. Ako je zemljište zasađeno ratarskom kulturom godinu prije sadnje, korov se može kontrolirati nakon sadnje s istim herbicidom i odgovarajućom kultivacijom tla. U slučaju pretjeranog rasta korova treba razmotriti rezanje i uklanjanje vegetacije kako bi se omogućila učinkovita kontrola korova. U tom se slučaju treba osigurati dovoljno vremena za ponovni rast i aktivan unos herbicida. Ako postoje problemi s insektima, u fazi prije oranja

moгуće je primijeniti organofosforne pesticide. Ako je u kasno proljeće i dalje uočena pojavnost višegodišnjeg korova, treba ga dodatno tretirati herbicidom prije sadnje. Višegodišnji korov mora imati 3 do 4 lista kako bi raspršivanje bilo učinkovito. Kod tako kasnog tretiranja, važno je da zemlja ne bude obrađena prije tretiranja (Gustafsson *et al.*, 2007.).

Kod organske poljoprivrede nije dozvoljena primjena herbicida, te se u tom slučaju obično primjenjuju mehaničke metode kontrole, bilo ručno ili određenom mehanizacijom. Stoga veličina plantaže ima važnu ulogu jer mehanička kontrola korova na velikim zemljišnim parcelama može biti teška. Kod mehaničke kontrole korova, provedeni su i pokusi s crnim folijama (folijama za malčiranje) kojima se prekriva tlo kako bi se spriječila klijavost korova.

Ako se očekuje oštra zima ili zbijenost tla, zemlja se tijekom jeseni mora preorati. U slučaju da zbijenost tla nije problem, oranje se može obaviti prije sadnje u rano proljeće. Nakon primijene herbicida potrebno je pričekati približno deset dana prije oranja zemljišta. Kod teških glina preporučuje se plitko oranje, a dubina postignuta nakon drljanja mora biti od 6 do 10 cm. Za ostala će tla biti potrebna minimalna dubina brazde od 20 do 25 cm kako bi se omogućila bolja sadnja, posebice ako će sadni materijal biti u obliku reznica. Veliko kamenje treba se podignuti i ukloniti sa zemljišta jer ono može oštetiti mehaničke strojeve za sadnju i strojeve za sječu.



Slika 23. Novozasađena plantaža KKO-a vrbe očišćena od korova koji je postojao prije pripreme zemljišta (Izvor: Aronsson P.)

Na novim plantažama KKO-a prijavljena je velika šteta (Slika 25) za koju su odgovorni zečevi, srne i druga divljač (ovisno o zemlji). Međutim, postavljanje zaštitne ograde obično se ne preporučuje zbog visokih troškova. Ono se mora uzeti u obzir samo u područjima visokog rizika od takve štete te ukoliko postoje nepovratna sredstva koja će pokriti dio troškova. Postavljanje ograde trebalo bi biti privremeno, odnosno samo tijekom prvih godina jer su KKO u kasnijim godinama manje osjetljive na oštećenja. Za zemljišta na kojima postoji opasnost od oštećenja

od životinja koje mogu prouzročiti ozbiljnu štetu, razvijeni su mirisni repelenti kako bi se životinje držale podalje od plantaža KKO-a (Slika 24). To povećava troškove pripreme lokacije i može se prakticirati samo kod plantaža KKO-a s jednom stabljikom u područjima visokog rizika od takvih napada (Caslin *et al.*, 2012.).



Slika 24. Postavljanje repelenta za rastjerivanje srna u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.)



Slika 25. Šteta na stabljici topole od srne u Njemačkoj: štete su najčešće na rubovima plantaže (Izvor: Rutz D.)

4.2. Sadni materijal

Korištenje sadnog materijala utvrđuje se odlukom o vrstama biljaka i shemama sadnje. Nekoliko čimbenika utječe na odluku o tome koje bi se vrste trebale koristiti. Oni su povezani sa specifičnim uvjetima lokacije i pogodnošću vrsta, ali i s dostupnošću, pristupačnošću i zajamčenom dobrom kvalitetom sadnog materijala, posebice kad su potrebne njegove veće količine. Za KKO koje su zasađene radi biomase za proizvodnju energiju najčešće prevladava način sadnje u gustim plantažama koje nakon sječe stvaraju izbojke (rastu nakon sječe bez ponovne sadnje). Najčešće se primjenjuje sadnja reznica (Slika 26, Slika 27) jer su troškovi značajno manji u odnosu na sadnju sadnica. Rjeđe su plantaže KKO-a uređene kao stabla u jednostrukim redovima s mnogo nižom gustoćom. Kod takvih se slučajeva često koriste sadnice.



Slika 26. Često se koriste reznice duge približno 25 cm: reznice topole klonova Max3 (Izvor: Rutz D.)



Slika 27. Za sadnju plantaža KKO-a vrbe koriste se reznice vrbe od 20 cm (usporedba veličine s običnom kemijskom olovkom (Izvor: Aronsson P.)

U slučaju KKO-a vrbe i topole, sadni se materijal sastoji od jednogodišnjih prutova rezanih u reznice približne dužine od 25 cm. Sadni materijal općenito se sječe zimi kada su pupoljci potpuno neaktivni. Do sadnje se reznice pohranjuju pri temperaturi od $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, prije nego što se nekoliko dana prije sadnje u kutijama ne dostave do polja. Nakon dostave sadnog materijala važno je kutije prije same sadnje ne izlagati svjetlosti te ih držati na niskim temperaturama (Gustafsson *et al.*, 2007.). Kao što je prethodno navedeno, komercijalno dostupan sadni materijal sastoji se od poboljšanih klonova. Mnogi od tih poboljšanih komercijalnih klonova zaštićeni su pravima europskih uzgajivača biljaka. To znači da obično nije legalno bez dopuštenja proizvoditi propagacijski materijal za prodaju. Stoga reznice proizvode specijalni uzgajivači u rasadnicima, s kojima su matična poduzeća sklopila ugovor i ovlastila ih za uzgoj sadnog materijala koji dostavljaju kao jednogodišnje prutove ili reznice za mehaničku sadnju. To se odnosi na sadni materijal vrbe i topole. Poljoprivrednici ili voditelji razvoja KKO projekta trebali bi se obratiti ovlaštenim poduzećima koja proizvode i dostavljaju sadni materijal (Slika 28) na vrijeme kako bi osigurali odgovarajući materijal za plantaže. U većini slučajeva proizvođači sadnog materijala izdaju jamstva o minimalnom uspjehu ukorjenjivanja materijala.

Uspješno ukorjenjivanje ovisi o dobroj kvaliteti reznica. Stoga bi reznice trebalo pripremati od jednogodišnjih izdanaka kojima je nakon rezanja uklonjen vršni dio pruta. Reznice za sadnju trebale bi biti duge najmanje 15 cm i imati promjer od najmanje 0,8 cm kako bi se osigurala odgovarajuća rezerva ugljikohidrata za održavanje reznice prije ukorjenjivanja. Ostale kvalitativne karakteristike koje bi reznice vrbe ili topole trebale imati kako bi se osigurala uspješna sadnja uključuju dovoljnu odrvenjelost stabljike (lignifikacija) kako bi se spriječila deformacija reznica pri umetanju u pripremljenu zemlju, te odsustvo gubitka boje ili nabiranja površine, što ukazuje na dehidraciju i na loše uvjete pohrane. Navedeno često dovodi do neuspjeha u osnivanju plantaže.



Slika 28. Jednogodišnji prutovi koji će se koristiti kao reznice za plantažu KKO-a vrbe. Prutove je dostavilo privatno poduzeće za proizvodnju reznica u Švedskoj. Kvaliteta materijala reznica važna je za razvoj plantaže KKO-a, te bi ista trebala biti zajamčena od strane ovlaštenog poduzeća za proizvodnju reznica. (Izvor: Dimitriou I.)

Sadnice koje se koriste za plantaže s biljkama u jednostrukom redu, moraju se kupiti od ovlaštenih rasadnika ili dobavljača koji bi također trebali moći pružiti sve informacije o specifičnim karakteristikama različitih vrsta ili sorti. To je od ključne važnosti jer će neuspjesi, koji su rezultat neodgovarajućeg materijala, biti skuplji ako je potrebna ponovna sadnja. I za reznice i za sadnice određenih vrsta preporučuje se naručiti materijal različitih sorti koji će omogućiti diversifikaciju u pogledu osjetljivosti na različite štetočine i bolesti. Navedeno općenito smanjuje rizik od neuspjeha plantaže.

4.3. Sadnja

Kod sadnje KKO-a postoje različite strategije i metode koje ovise o odabranim vrstama, dostupnoj opremi za sadnju, troškovima rada, planiranju sječe itd. Svi ti čimbenici bit će analizirani u nastavku ovog poglavlja. Potrebno je napomenuti da se u ovom poglavlju uglavnom razmatra sadnja plantaže KKO-a reznicama u obliku plantaže panjača jer je to uobičajena praksa koja se većinom koristi za KKO. Ako se plantaža KKO-a sadi sadnicama, prakse su vrlo slične standardnim praksama u šumarstvu. Stoga se one ovdje spominju, ali ih se detaljno ne analizira.

Važno je pažljivo planirati proces sadnje kako bi se upravljanje plantažom i sječa mogli provoditi racionalno te kako bi se postiglo učinkovito korištenje polja. Budući da je sadnja u redovima najprikladnija metoda za sadnju plantaže KKO-a, redovi bi trebali biti raspoređeni na način da budu što duži. Idealno bi bilo da je na kraju reda pristupna cesta. Na kraju reda mora postojati i područje za okretanje strojeva za sječu od 8 do 10 metara, koje se naziva i rubnim područjem. Kod dubokih rubnih jaraka područje okretanja trebalo bi iznositi 10 m. U ostalim je slučajevima dovoljno 8 m. Na granicama plantaže KKO-a trebalo bi osigurati graničnu zonu od 2 – 3 m.

Sadnja se obično obavlja **u proljeće**, u travnju i svibnju u sjevernoj Europi, a u južnoj Europi i ranije čim vremenski uvjeti dozvole pripremu tla. Sadnja reznicama moguća je i u kasnijim razdobljima (svibanj ili lipanj) jer se materijal koji se koristi pohranjuje na niskim temperaturama. Rana sadnja ima prednosti jer je sezona rasta dulja. Međutim, reznice počinju stvarati korijenje tek kad im je dostupno dovoljno vode i kada je tlo dovoljno toplo. Ključni čimbenik za uspjeh je dostupnost vode, jer se zbog predugih suhih razdoblja ne dolazi do razvitka korijena te se reznice isušuje. Znači, dostupnost vode važniji je čimbenik od preranog

ili prekasnog vremena sadnje tijekom proljeća. Trenutačni vremenski uvjeti kao i vremenska prognoza važni su za utvrđivanje pravog vremena sadnje.

Ponekad se promiče praksa sječe novih izdanaka tijekom prve godine. Sječa izdanaka jednogodišnjih biljaka (posebice vrbe) primjenjuje se kako bi se potaknuo rigorozniji rast biljke s većim brojem novih izbojaka i boljim korijenjem tijekom druge godine. Iako je navedeno postignuto sječom izdanaka prve godine nakon sadnje, veća proizvodnja biomase tijekom životnog vijeka plantaže nije dokazana te se sječe izdanaka nakon prve godine ne može preporučiti kao obvezni radni postupak. Sječa izdanaka može se obaviti kosilicom, oštricom za košenje ili nekim oblikom kose. O dodanoj vrijednosti sječe izdanaka nakon prve godine i dalje se vode kontroverzne rasprave.

Postoje brojna istraživanja o gustoći i dizajnu plantaža KKO-a. Odluka o navedenom ovisit će o odabranim vrstama i postojećim strojevima dostupnima za sječu. Ako se sječa obavlja posebno dizajniranim strojevima za KKO, preporučuje se sustav dvoreda (vidi poglavlje 2.3). Strojima treba omogućiti ulaz na plantažu KKO-a bez oštećivanja biljaka nakon 3 – 4 godine rasta. Ovakav dizajn plantaže implicira udaljenosti od 1,50 m između i 0,75 m unutar dvoreda, dok je udaljenost reznica u redovima između 0,5 m i 0,8 m (ovisno o tlu, upotrijebljenim klonovima ili vrstama). To bi, ovisno o vrstama, podrazumijevalo 5 000 – 20 000 reznica po hektaru. Vrbe se općenito sade gušće nego topole.

Saditi se može različitim metodama. Jedna mogućnost je korištenje posebno dizajniranih mehaničkih **strojeva za sadnju** koji kao sadni materijal koriste jednogodišnje duge šibe (Slika 29). Istodobno se mogu saditi dva ili tri dvoreda. Ti strojevi u jednom koraku automatski rade reznice od prutova i sade ih u dvorede. Kapacitet tih strojeva iznosi približno 1 sat po hektaru. Ostali strojevi dostupni su samo za sadnju prethodno pripremljenih reznica (Slika 30).



Slika 29. Stroj za sadnju KKO-a vrbe. Stroj sadi tri dvoreda, a za njegovo upravljanje potrebne su četiri osobe i vozač. (Izvor: Nordh N-E.)



Slika 30. Stroj za automatsku sadnju reznica KKO-a topole (Izvor: Wald 21)



Slika 31. Ručno zasađena plantaža topole u pojedinačnim redovima (Izvor: Dimitriou I.)

Ručna sadnja može se primijeniti u slučaju kada oprema za mehaničku sadnju nije dostupna ili kada bi njezino dopremanje na plantažu bilo ekonomski neisplativo (Slika 31, Slika 32, Slika 33). Ručna sadnja moguća je i kada su troškovi rada niži od troškova najma opreme ili ako su zemljišne čestice vrlo male (obično ispod 1 ha). U tom je slučaju važno da redovi budu međusobno usporedni te da udaljenost između biljaka unutar redova bude jednaka kako bi se izbjegla međusobna konkurencija. Sadnja u liniji može osigurati prethodno navedene uvjete. Reznice je potrebno utisnuti rukom ili nogom vertikalno u tlo, pazeći pri tom da pupovi budu usmjereni prema gore. Reznica mora biti u potpunosti utisnuta u tlo, ali ne i prekrivena tlom.



Slika 32. Utiskivanje reznica rukom u tlo: pupoljak uvijek mora biti okrenut prema gore (zelena strelica)! (Izvor: Rutz D.)



Slika 33. Utiskivanje reznica nogom u tlo ako je tlo prekompaktno (Izvor: Rutz D.)

Za KKO vrbe i topole ispitano je nekoliko sustava sadnje ne bi li se zamijenio prevladavajući sustav dvoreda radi veće proizvodnosti. Jedan takav sustav je metoda **horizontalne sadnje** (Slika 34) prutova vrbe s mehanizacijom za horizontalnu sadnju. Umjesto da se reznice sade okomito, cijelo korijenje ili reznice sade se horizontalno u tlo. Navedena metoda sadnje često se koristila pri stabilizaciji nagiba i obnovi zemljišta u projektima na riječnim obalama te je ispitana i za proizvodnju biomase u sustavu KKO-a. Rezultati pokazuju da proizvodnja biomase horizontalnom sadnjom može rezultirati jednako visokim prinosima, kao i u sustavima dvoreda, no upravljanje takvom plantažom (sječa) može biti izazovno. Z nekim slučajevima, horizontalna sadnja može postati skuplja za poljoprivrednika jer je potrebno više sadnog materijala nego u sustavu dvoreda s reznicama.



Slika 34. Horizontalno položen prut vrbe: prut još treba pokriti zemljom (Izvor: Rutz D.)

Nakon sadnje zemljište se može izravnati kako bi se površina učvrstila i kako bi se osigurali najbolji mogući uvjeti za primjenu preostalih herbicida. Međutim, potreba za primjenom herbicida ovisi o svojstvima tla i opasnosti od korova. Koristi li se stroj za sadnju, on često okreće tlo paralelno s pragom sadnje.

4.4. Upravljanje plantažom

U upravljanju plantažom KKO-a nakon sadnje slijedi primjena različitih koraka. Potonji će u ovom dijelu priručnika biti detaljnije opisani „kronološkim“ redom. Naglasak je stavljen na široko korištene vrste vrbe i topole koje se uzgajaju u KKO-u panjača na poljoprivrednom tlu, a ne na plantažama s biljkama u jednostrukim redovima, jer se njima upravlja slično kao i šumama.

Kontrola korova nakon sadnje: Kao što je prethodno navedeno, kontrola korova tijekom stadija osnivanja KKO-a iznimno je važna. Uključuje mjere kontrole korova prije sadnje, ali i tijekom prvog stadija rasta u prvoj godini od osnivanja plantaže. Kontrola korova važna je jer se KKO i korov natječu za svjetlo, vodu i hranjive tvari. Na plantaži s mnogo korova biljke KKO-a bit će slabije i sporije će rasti. Metoda koja se često primjenjuje u kontroli korova je primjena odgovarajućeg herbicida kako bi se spriječio rast korova odmah nakon sadnje i nakon što reznice počnu stvarati izbojke (Gustafsson *et al.*, 2007.). Kao što je objašnjeno u poglavlju 4.1, moguća je i primjena samo mehaničke kontrole korova, posebice na manjim česticama.

Kasnije tijekom sezone, kada učinak herbicida prestane djelovati, potrebno je redovito nadzirati plantažu kako bi se odlučilo je li potrebno daljnje suzbijanje korova. Mehaničko suzbijanje može biti potrebno (Slika 35) kako bi se tijekom tog razdoblja korov držao pod kontrolom. Ako se kontrola korova provodi kultivatorom, preporučuje se provoditi tri kultiviranja tijekom sezone. Međutim, ako se koristi drljača za korov, možda će biti potrebno ponoviti drljanje više puta (npr. 6 – 8, ovisno o lokaciji). Odabir metode suzbijanja ili opreme manje je važan, ali je ključno da se kontrola korova na neki način provodi. Određivanje pravog trenutka za uklanjanje korova nakon sadnje KKO-a od najveće je važnosti za potencijalni uspjeh plantaže. Praktično je pravilo u uzgoju vrbe da treba provesti mehaničku kontrolu korova ako postoje dvije ili tri vrste korova višeg od 8 cm. Ako se kontrola korova obavlja u skladu s preporukama, tijekom idućih godina neće biti potrebna druga kontrola jer će biljke KKO-a nadrastiti korov nakon druge godine rasta.



Slika 35. Jednogodišnja plantaža KKO-a vrbe kojom dominira korov. Polje se može tretirati samo mehaničkim uklanjanjem korova jer su se počeli pojavljivati listovi vrbe (nije vidljivo na slici). (Izvor: Dimitriou I.)

Kontrola insekata: U slučaju problema s insektima na specifičnom zemljištu, uz primjenu herbicida, može se primijeniti i insekticid budući da su insekti tada u stadiju larve i stoga ih je i jednostavnije istrijebiti. Preporučuje se nanošenje velikih količina (umjesto koncentriranih nanošenja malih količina) kako bi se površina dobro prekrila herbicidom te kako bi se omogućilo odgovarajuće prodiranje insekticida. Međutim, potrebu za kemikalijama treba pažljivo procijeniti i, kada je god to moguće, izbjeći. Primjena insekticida obično nije potrebna.

Sječa izdanaka nakon prve godine Kao što je prethodno spomenuto, da bi se postigao snažniji rast uz više izdanaka i jačanje korijena tijekom druge godine, može se prakticirati sječa biljaka nakon prve godine rasta tijekom zime (nakon pada lišća). Tijekom prve sezone rasta zasađene će reznice proizvesti 1 – 3 izdanka, ovisno o klonu, maksimalne visine 2 – 3 m. Sječju izdanaka treba izvršiti čim bliže tlu s naizmjeničnom kosilicom, što bi trebalo rezultirati čistim rezom. Ostale vrste mehanizacije za košnju mogu uzrokovati preveliku štetu.

Unatoč tome što je sječa izdanaka bila uobičajena praksa početkom 80-ih kada su se i počeli razvijati sustavi KKO-a, pitanje sječe izdanaka nakon prve godine od osnivanja plantaže i dalje je kontroverzno. Iako se time dobiva više izdanaka i korijenje je bolje razvijeno, nije dokazana veća proizvodnja biomase tijekom životnog vijeka plantaže u usporedbi s plantažama KKO-a kod kojih nije primijenjena sječa izdanaka. Stoga se sječa izdanaka (čepovanje) ne može preporučiti kao obavezan postupak. Međutim, ako je potrebno primijeniti herbicid nakon sadnje npr. u klimama ili na zemljištima na kojima se očekuje snažan rast korova, sječa izdanaka omogućuje potrebnu drugu priliku za primjenu herbicida.

Neki praktičari preporučuju sječju svih izdanaka na plantažama topole osim onih najvećih (Slika 36). To bi trebalo omogućiti razvoj i rast s jednog stabla bez izdanaka. Međutim, iskustvo je pokazalo da su napori previsoki, a prednosti zanemarive.



Slika 36. Jednogodišnji izdanak topole u Njemačkoj čiji je sekundarni izdanak odrezan kako bi se poboljšao rast primarnog izdanka (Izvor: Rutz D.)

Gnojidba: Kao i kod bilo kojeg usjeva koji se uzgaja na poljoprivrednom tlu i KKO zahtjeva unos hranjivih tvari izgubljenih sječom. U slučaju KKO-a, koji je višegodišnji usjev, uz analizu stanja hranjivih tvari u tlu (koju uvijek treba provesti prije uspostavljanja plantaže) moraju se razmotriti i unutarnji unosi hranjive tvari iz otpalog lišća nakraju vegetacijske sezone te iz odumiranja finog korijena. Iako su provedena sveobuhvatna istraživanja o količini i učestalosti gnojidbe glavnih vrsta KKO-a (vrba i topola) u nekoliko zemalja, nije moguće predložiti konkretne preporuke jer potrebe za gnojidbom u većini slučajeva ovise o specifičnostima samog zemljišta.

Gnojidba se ne preporučuje tijekom prve godine plantaže kako bi se izbjeglo poticanje rasta korova jer korijenje biljaka KKO-a nije potpuno razvijeno i nije moguće osigurati učinkovit unos hranjivih tvari. Nakon što biljke razviju korjenje, gnojidba KKO-a se može razmotriti. Nekoliko pokusa pokazalo je da na umjereno plodnom do plodnom tlu, posebice u ranim ophodnjama, obično nema pozitivnog odgovora KKO-a na primjenu gnojiva. Rana primjena gnojiva možda će biti potrebna na zemljištima koja su prirodno siromašna hranjivim tvarima kako bi se održala proizvodnost. Plantažama KKO-a u prvim ophodnjama obično treba dodati dušika jer su tla često dobro opskrbljena fosfatom i kalijem. U tu se svrhu mogu koristiti anorganska dušikova gnojiva (Aronsson *et al.*, 2014).

Nadalje, za gnojidbu se može koristiti i mulj iz lokalnih postrojenja za obradu otpadnih voda (o tome se detaljnije govori kasnije u ovom priručniku), no uz dodatak dušika. Potreba za dušikom razlikuje se ovisno o starosti plantaže KKO-a i razvoju izdanaka. Dušik će se na starijim plantažama otpuštati iz formiranog sloja otpalog lišća, što znači da je potreba za gnojidbom

manja. U načelu, tijekom sadnje se uklanja određena količina dušika sadržana u izdancima koja se stoga mora nadomjestiti gnojidbom.

Količine uklonjenih hranjivih tvari iz tla za posječeni KKO vrbe razlikuju se, ali se kreću u rasponu 150 – 400 kg N, 180 – 250 kg K i 24 – 40 kg P po hektaru za trogodišnju ophodnju na temelju približno 8 t ST/ha/god prinosa biomase u Švedskoj. Usporedbe radi, travnjak kojim se intenzivno upravlja zahtijevao bi približno 900 kg N/ha tijekom tri godine, što pokazuje niske zahtjeve KKO-a za N u usporedbi s ostalim usjevima. Kako bi se izračunale količine dušika koje bi mogle biti potrebne za gnojidbu KKO-a, u obzir treba uzeti učinkovitost asimilacije dušika jer će značajan udio hranjivih tvari iskoristiti mikroflora tla, biti će izgubljen u atmosferi ili će biti vezan u korijenju i lišću biljaka KKO-a, iako će se potonje reciklirati u otpalom lišću i odumrlom finom korijenju.

KKO obično ne zahtijevaju dodatak fosfora i kalija. Ako bismo željeli povećati količinu fosfora u tlu, potrebno je unositi fosfor kroz niz godina, što nije opravdano niskim zahtjevima KKO-a za fosforom. Kalij u tlu može biti relativno stabilan te je stoga nedostupan za jednostavan unos u biljke. Vraćanje pepela nastalog spaljivanjem drveta na zemljište (više detalja o takvim praksama navodi se kasnije u priručniku) može uravnotežiti većinu kalija uklonjenog s zemljišta putem sječe.

Prema vrlo okvirnoj preporuci za gnojidbu KKO-a vrbe, koja u obzir uzima sve prethodne elemente koje treba razmotriti kao i potencijalnu analizu tla i očekivane prinose, primjena hranjivih tvari u KKO vrbe ne bi trebala premašivati ekvivalent od 120 – 150 kg N, 15 – 40 kg P i 40 kg K po hektaru godišnje (vjerojatno bi se trebalo pridržavati donjih naznačenih vrijednosti) (Gustafsson *et al.*, 2007). Ista načela izračuna trebala bi se koristiti za druge vrste koje se koriste u sustavu KKO-a. Potencijalni uzgajivač KKO-a u obzir treba uzeti da bi tehnička primjena gnojidbe na plantažama KKO-a mogla biti moguća tijekom prve i možda druge godine rasta, ali ne i u trećoj i četvrtoj godini zbog visine izbojaka koja strojevima ne dopušta ulazak na plantažu bez visokog rizika od oštećenja biljaka.

Nedavna istraživanja gnojidbe plantaža KKO-a na kojima se uzgajaju novorazvijeni klonovi, pokazala su da je odgovor na gnojidbu takva materijala vidljiviji od odgovora starijeg kloniranog materijala (Aronsson *et al.*, 2014.). Navedeno nam pomaže odgovoriti na pitanje treba li poljoprivrednik gnojiti ili ne. Plantaže s novim kloniranim materijalom vjerojatno će implicirati obaveznu gnojidbu, čak i s višim količinama dušika od onih koje su prethodno predložene (ako ne dođe do ispiranja dušika, što se također ne čini izglednim). Međutim, odgovor na pitanje treba li poljoprivrednik gnojiti ovisi o trenutnoj cijeni gnojiva (ili 1 kg N) te o očekivanom porastu prinosa biomase.

5. Sječa kultura kratkih ophodnji

Sječa je vrlo važna tema u ciklusu proizvodnje biomase iz KKO-a jer obuhvaća 50 – 80 posto svih troškova proizvodnje (Liebhard 2007), i značajno utječe na ekonomičnost projekta KKO-a.

Sječa KKO-a odvija se zimi, nakon što lišće padne i prije nego što se pojave novi pupoljci, i po mogućnosti kad je tlo zamrznuto. Ovisno o namjeni krajnjeg proizvoda, sječa KKO-a obavlja se u intervalima od 2 do 20 godina. Za sječu su dostupne različite prakse, tehnike i oprema koje ovise o sljedećim čimbenicima:

- vrsta, hibrid, klon kulture: broj i promjer izbojaka
- poželjan krajnji proizvod: drvena sječka, peleti, cjepanice
- kvaliteta krajnjeg proizvoda: oblik drvene sječke, sadržaj vlage
- dostupnost strojeva: vlastiti strojevi ili u suradnji s podugovaračem
- oblik uzgoja: jednored ili dvored, udaljenost između redova
- veličina i oblik zemljišta: velika ili mala polja, padine
- količina posječenog drva: logistički zahtjevi, intervali sječe
- vlažnost tla: mogućnost pristupa i uporaba strojeva

Općenito, stabljike bi prilikom prve sječe trebalo rezati blizu tla, a u svakoj sljedećoj sječi otprilike 1 – 2 cm više. Rez treba biti oštar, bez ruba i vodoravan kako bi se površina reza minimizirala.

5.1. Prinosi

Prinosi KKO-a uvelike ovise o lokaciji plantaže koju većinom karakteriziraju klima (temperatura, padaline) i vrsta tla. Kako bi se maksimizirali prinosi, za svaku lokaciju treba pažljivo odabrati vrste, sorte i klonove. Glavni kriterij izbora u sjevernoj Europi može biti otpornost na hladnoću (mraz), dok u južnoj Europi to može biti otpornost na sušu. Uzimajući u obzir velike razlike unutar Europe, Tablica 8 prikazuje neke ključne značajke i prinose za vrbu, topolu i bagrem.

Osim abiotičkih čimbenika na prinose značajno utječu i ljudski čimbenici: način upravljanja, odabir vrsta i sorti KKO-a, kontrola štetočina i korova te upravljanje hranjivim tvarima.

Ciklus/interval sječe (ophodnja) ovisi o općenitoj svrsi plantaže KKO-a. Ophodnja obično iznosi između 1 i 7 godina, ali se može produljiti i na 20 godina. Nakon 20 – 30 godina plantaža KKO-a se ili ponovno sadi ili zamjenjuje drugim usjevom.

Mogući godišnji prinosi u Europi u rasponu su između 5 i 18 t/ha suhe drvene sječke (ST: 0 % vlage). Ukupna količina biomase za jednu sječu izračunava se po godišnjem prinosu, godinama uzgoja i udio vode koji obično iznosi oko 55 posto za svježe posječeno drvo. Primjerice, ako godišnji prinos iznosi 10 t/ha suhe drvene sječke, ako je ciklus sječe 4 godine i ako je udio vode 50 posto, ukupan iznos posječene mokre biomase iznosi oko 80 t/ha, a iznos suhe drvene sječke 40 t/ha.

Obično su prinosi biomase prve sječe niži od prinosa druge i treće sječe. Nakon toga, ovisno o okvirnim uvjetima, prinosi u nekoliko sječa mogu biti stabilni i potom se smanjiti nakon što plantaža ostari. Općenite preporuke o tome kako maksimizirati prinose navedene su u Okviru 4.

Tablica 8. Pregled glavnih značajki kulture kratkih ophodnji (KKO) (Izvor: prilagođeno prema Dallemand et al. 2007.)

| Vrsta | Vrba | Topola | Bagrem (robinija) |
|---|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Dio Europe | sjeverna, srednja i zapadna Europa | srednja i južna Europa | sredozemna Europa, Mađarska, Poljska |
| Gustoća plantaže/ha | 12 500 – 15 000 | 8 000 – 12 000 | 8 000 – 12 000 |
| Ciklus sječe (godine) | 1 – 4 | 1 – 6 | 2 – 4 |
| Prosječan promjer panja pri sječi (mm) | 15 – 40 | 20 – 80 | 20 – 40 |
| Prosječna visina pri sječi (m) | 3,5 – 5,0 | 2,5 – 7,5 | 2,0 – 5,0 |
| Drvena zaliha pri sječi (svježa t/ha) | 30 – 60 | 20 – 45 | 15 – 40 |
| Sadržaj vode u drvetu (%) | 45 – 62 | 50 – 55 | 40 – 45 |

Okvir 4. Kako se mogu maksimizirati prinosi KKO-a? (prilagođeno prema Lindegaardu 2013.)

Planirajte unaprijed: O sadnji svoje plantaže KKO-a zaista morate razmišljati unaprijed, po mogućnosti bar jednu godinu unaprijed. To će vam omogućiti dovoljno vremena za prijavu za poticaje i pripremite svoje zemljište u skladu s najboljim praksama. Možete početi u kasno ljeto/ranu jesen uklanjanjem korova i oranjem zemlje.

Poznavanje svoje zemlje: Kao i svi usjevi, KKO će najbolje uspijevati na zemlji koja je za njih najpogodnija. Stoga morate znati ključne karakteristike svojeg zemljišta: svojstva tla i dostupnost vode. Ako usjev posadite na najlošiju zemlju, sigurno ćete dobiti razočaravajuće prinose. Primjerice KKO vrbe najbolje uspijeva na plodnim obradivim tlima pH vrijednosti u rasponu 5,5 – 8,0. Dobro uspijeva na teškom smeđem tlu s visokim sadržajem gline, dok bi muljevita i lagana pješčana tla trebalo izbjegavati. KKO-u vrbe potrebne su godišnje oborine količine između 600 i 100 mm. KKO će utjecati na sustav odvodnje i sustav navodnjavanja stoga KKO sadite barem 30 metara od važnih sustava. Kao i kod svih usjeva veća isplativost se postiže uzgojem na velikim, pravilnim poljima. Manja polja neobičnih oblika povećat će trošak sadnje i sječe.

Kontrola korova: KKO rastu vrlo brzo ukoliko ne konkuriraju s korovom za vodu i hranu. Kontrola korova započinje pripremanjem zemljišta u jesen i nastavlja se tijekom prve godine osnivanja plantaže. Kad god je to moguće za kontrolu korova trebalo bi primjenjivati tehnike bez unosa kemikalija, no to ovisi o veličini zemljišta, vrsti korova, vrsti KKO-a itd.

Upotrijebite najbolje sorte : KKO klonove prije primjene treba temeljito ispitati i odobriti. Takvi KKO ostvaruju veće prinose od nepoboljšanih sorti. Ako je to moguće, preferiraju se lokalno uzgojeni klonovi. Potrebna vam je mješavina klonova koja ostvaruje visoke prinose i ima široku genetičku pozadinu kojom se brani od epidemija bolesti i štetočina. Odabir odgovarajućeg klona ključan je za uspjeh, ali je i mjera izbjegavanja ili smanjenja utjecaja štetočina i bolesti.

Surađujte sa svojim izvođačem sadnje: U mnogim slučajevima nećete sami saditi plantaže KKO-a, već ćete tu uslugu zatražiti od nekog izvođača. Svojem se izvođaču obratite dovoljno rano i zatražite preporuke. Raspitajte se među drugim poljoprivrednicima o njihovim iskustvima s izvođačem. Praznine na plantaži na kojima ne niknu reznice često

su povezane s pogreškama tijekom sadnje. Zapamtite: kvaliteta sadnje važnija je od niske cijene, pa je tako bolja i sporija sadnja, ako se istom osigurava bolja klijavost.

Popunite praznine: Neovisno o tome koliko ste vi i vaši izvođači sadnje precizni, uvijek će postojati praznine gdje vam je reznica promakla ili na kojima nije nikla. Tijekom sječe dobit ćete dovoljno materijala za popunjavanje praznina. Nakon prve sječe, u praznine možete umetnuti prutove od jednog metra ili posaditi reznice, ovisno o vrsti koja se koristi na plantaži.

Smanjite štetu koju uzrokuje divljač: Divljač, poput zečeva i jelena, može ozbiljno oštetiti nove plantaže, posebice na malim česticama. Surađujte s lokalnim lovcima i pomozite im u izgradnji visokih skrovišta za kontrolu i plašenje divljači. Korištenje neugodnih mirisa također može otjerati divljač. Još jedna mjera je podizanje ograde protiv zečeva/jelena. Međutim, to je vrlo skupa mjera, ali se dugoročno može isplatiti. Visoki prinosi u razdoblju od 20 godina ovisit će o tih nekoliko prvih mjeseci nakon osnivanja plantaže. Pokušajte od lokalnih dobavljača dobiti najbolju ponudu.

Gnojite organskim otpadom: KKO napreduju ovisno o ishrani. Trebali biste primjenjivati organska gnojiva poput kašastog, probavljivog kanalizacijskog mulja, gnojiva i digestata iz bioplinskih postrojenja. Najbolje je gnojiva nanositi na plantaže nakon sječe. Gnojidba je obično potrebna kod starijih plantaža. Zapamtite da se morate pridržavati propisa, zakona i uvjeta za poticaje koji se mogu odnositi na gnojidbu vaše specifične zemljišne čestice.

Maksimizirajte svoje prinose od sječe: Kada siječete svoj nasad želite biti sigurni da će sav KKO na vašoj plantaži na kraju biti posječen. U većini slučajeva zatražit ćete od izvođača da obavi sječu. Za minimiziranje grešaka upravitelja strojem i prosipanja sječke iz prenatrpanih prikolica ključno je imati iskusnog izvođača za sječu. Također je važno da oštrice kombajna budu ispravno postavljene kako biste bili sigurni da se stabljike režu nisko jer su tu stabljike najdeblje i imaju najveću masu. Nadalje, ponovni rast uspješniji je ako su rezovi vrlo oštri. Konačno, i kvaliteta drvene sječke je bolja ako su oštrice vrlo oštre.

Minimizirajte gubitke pohrane: Pokušajte minimizirati gubitke biomase nakon sječe. Skladištenje drvene sječke / snopova i tretiranje nakon skladištenja (sušenje) ovise o metodi sječe, vremenu kada je drvena sječka potrebna i o potrebnoj kvaliteti sječke. Pronađite metodu smanjenja gubitka skladištenja koja vam najbolje odgovara po minimalnim troškovima.

5.2. Ophodnje (ciklusi sječe)

Uobičajene ophodnje (intervali sječe) iznose između 1 i 7 godina, ali se mogu produljiti i na 20 godina. Plantaža KKO-a se nakon 20 – 30 godina ili ponovno sadi ili zamjenjuje drugim usjevima. Ne postoje stroga pravila za dužinu ciklusa sječe jer bi odluke trebalo donositi na osnovi lokacije plantaže, uzimajući u obzir različite okvirne uvjete (Tubby & Armstrong 2002.). Stoga ophodnju određuje upravitelj plantažom KKO-a u skladu sa sljedećim čimbenicima:

- **vrste KKO-a:** najbolje vrijeme za ponovni rast, maksimizacija prinosa pojedinačnog usjeva
- **razvijenost krošnje:** zatvorene lisnate krošnje hvataju više sunčeve svjetlosti te su stoga na vrhuncu proizvodnje; pravo vrijeme za to ovisi o vrsti koja utječe na idealno vrijeme sječe.
- **poželjan krajnji proizvod:** drvena sječka, cjepanice; kvaliteta materijala
- **dostupnost strojeva za sječu:** na vrhuncu sezone sječe izvođači mogu biti zauzeti; potrebno je planirati unaprijed.
- **stanje tla:** najbolja je sječa na suhom i/ili zaleđenom tlu; kada uvjeti tla nisu dovoljno dobri ponekad je bolje i odgoditi sječu nego naštetiti tlu i biljkama.
- **poželjno vrijeme novčanog tijeka:** ovisi o općenitim ciljevima upravljanja plantažom.
- **cijena drvene sječke:** upravitelji mogu „čekati“ visoke cijene za sječku kako bi ostvarili veći prihod. Međutim, cijene se ne mogu predvidjeti i ovise o špekulacijama.
- **vlastita potražnja za grijanjem:** ako se drvena sječka koristi za vlastite potrebe za grijanjem, trebala bi biti dostupna tijekom cijele godine.
- **ostale prednosti:** izbor ophodnje u svrhu povećanja biološke raznolikosti ili zaštite divljači.

Vrijeme ophodnje uvelike utječe na logistiku sječe. Što je veći razmak između dvije sječe, to je veća količina biomase po sječi, a to je umnožak jednogodišnjeg rasta s brojem godina. Neki upravitelji možda nemaju logistički kapacitet (skladišta, kamione, radnu snagu) za velike količine biomase KKO-a nakon dugih razdoblja. Kako bi se raspodijelili radna opterećenost i rizici, može se razmotriti i opcija rotacije sječe različitih površina KKO-a, na način da se svake godine obavi jedna sječa umjesto da se istodobno moraju sjeći sve površine.

Nadalje, izbor tehnologija za sječu utvrđuje se na temelju ophodnje. Što su biljke starije, to su stabljike deblje i potrebni su snažniji strojevi. Općenito, promjeri stabljika na granicama plantaže veći su jer drveće dobiva više svjetla i vode od biljaka unutar plantaže.

5.3. Svojstva posječenog materijala

Krajnji proizvod KKO-a najčešće je drvena sječka koja se uglavnom koristi za procese izgaranja. Biomasa KKO-a može se koristiti i za pulpu, u industriji papira ili za druge bioproizvode. Primjerice, u Njemačkoj je bila predviđena proizvodnja velikih količina drvene sječke iz KKO-a za proizvodnju BtL (engl. biomass-to-liquids) biogoriva (Rutz et al. 2008.).

Ovisno o metodi sječe, nastaju različiti poluproizvodi koji određuju svojstva drvene sječke, uglavnom veličinu i oblik, kao i sadržaj vlage. Poluproizvodi se mogu svrstati u sljedeće kategorije (DEFEA 2014.):

- Prutovi/šibe: posječene stabljike dužine do 8 m
- Snopovi: prutovi/šibe povezane u snopove
- Cjepanice: odrezani materijal duljine 5 – 15 cm
- Sječka: odrezani materijal veličine do 5 x 5 x 5 cm

Metode sječe za ove poluproizvode nazvane su „sječa cijelih prutova ili izdanaka“ (engl. whole rod or shoot harvesting), „sječa sječke“ (engl. chip harvesting), „metoda rezanja i iveranja“ (engl. cut-and-chip method) i „sječa cjepanica“ (engl. billet harvesting) (Kofman, 2012.).

Sadržaj vode u svježem posječenom drvu uglavnom se kreće od 40 do 60 posto. Mnogi potrošači drvene sječke, posebice oni koji imaju male kotlove, zahtijevaju vlažnost ispod 20 posto (sadržaj vode 17%). Što je niža vlažnost, to je viša kvaliteta drvene sječke i lakše skladištenje.

Nepovezani prutovi (Slika 45) i snopovi mogu se pohraniti na rubnim područjima plantaže ili na farmi te osušiti do približno 30 posto sadržaja vode tijekom 4 – 6 mjeseci. Poluproizvod između prutova i sječke su cjepanice koje pravilno slažu jedna na drugu i do druge. Zbog prostora između cjepanica, tako pohranjene cjepanice prirodno se prozračuju, što olakšava sušenje i sprječava teškoće povezane s pohranom sječke (poglavlje 5.5).

Iako je prednost proizvodnje prutova, snopova i cjepanica u tome što je sušenje relativno jednostavno, sjeckanje/iveranje suhog materijala obično ima negativne učinke na kvalitetu drvene sječke. Razlog tome je činjenica da su rezovi svježeg materijala oštrije od rezova kod suhe biomase. Nadalje, kod sjeckanja suhog drva umjesto svježega, tvori se više čestica te je veličina sječke raznovrsnija.

5.4. Metode sječe

Danas su dostupne različite metode sječe. Plantaže KKO-a mogu se sjeći i iverati kao jedna aktivnost u okviru sječe. Alternativno, nasadi KKO-a mogu se najprije posjeći i ostaviti (kao prutovi/stabljike ili ih se može prethodno isjeći na cjepanice) na polju, dok se iveranje provodi kao **zasebna radnja** u kasnijoj fazi.

Za sječu KKO-a i dobivanje drvene sječke dostupne su različite tehnologije koje se međusobno mogu kombinirati. Mogu se svrstati u skladu s razinom automatizacije i vrstom stroja (Tablica 9).

Strojevi za sječu KKO-a neprestano se razvijaju. U strojnoj sječi mogu se upotrebljavati sljedeći strojevi:

- **Kombajn za drvo:** kombajni namijenjeni radovima u šumarstvu u većini europskih zemalja odmah su dostupni. Režu drveće velikih promjera stabla. Budući da stabla KKO-a obično ne postižu značajnu debljinu, mogu se koristiti manji i lakši kombajni. Kombajni obično ne uključuju opremu za iveranje, stoga su potrebni i dodatni strojevi. Ponekad se na bager montiraju hvataljke (Slika 40).
- **Oprema priključena na traktor:** Oprema priključena na traktor dostupna je u nekoliko varijanti. Oprema je u obliku priključaka na traktor upravitelja KKO-om i može uključivati priključke za kombiniranu sječu i iveranje, samo za sječu drveća ili samo za iveranje. Ako je kombinirana, oprema može obarati stabla i potom ih sjeckati tako da ih horizontalno stavlja u sjekač ili ih može sjeći i izravno sjeckati u uspravnom položaju (kako predlažu Ehlert et al. 2013.).
- **Samohodni strojevi:** samohodni strojevi su namjenski kombajni (Slika 38, Slika 39) ili modificirani krmni kombajni (Slika 37) koji istodobno režu i sjeckaju usjeve slično, primjerice, kombajnu koji žanje cijele stabljike kukuruza za silažu. Ovakve strojeve nudi već nekoliko proizvođača. Ako ne proizvode drvenu sječku nego cjepanice, nazivaju se i kombajnima za cjepanice.

Samohodni strojevi i oprema priključena na traktor koja u isto vrijeme siječe i ivera razvijeni su od krmnih ili kombajna za sječu šećerne trske. Kombajni od nekoliko proizvođača, kao što su Claas (Jaguar) (Slika 37), Austoft (7700) i New Holland (Slika 38, Slika 39) mogu biti opremljeni posebnim glavama za sječu KKO-a. Narednih godina mogu se očekivati dodatna unaprjeđenja i razvoj tehnologije, ukoliko se poveća uzgoj KKO-a.



Slika 37. Claasov samohodni kombajn za KKO „Jaguar” (Izvor: Dimitriou I.)



Slika 38. New Hollandov samohodni kombajn i prikolica za drvenu sječku (Izvor: Rutz D.)



Slika 39. Glava New Hollandova samohodnog kombajna (Izvor: Rutz D.)



Slika 40. Hvataljke montirane na bager za sječu topole u Austriji (Izvor: Mergner R.)

Za vrlo tanke prutove poput vrbinih mogu se koristiti preše za bale koje proizvode okrugle bale nalik onima od slame ili sijena. Tehnologiju poput biopreše/balirke (engl. biobaler) (Slika 41) nude proizvođači kao što je Andersons Canada (Caslin et al. 2010.).

Tehnologije za zasebno iveranje (Slika 43) dostupne su od proizvođača: Jenz, Komptech, Husman, Jensen, Pezzolato, Spapperi, Heizomat, Vogt itd. Takve tehnologije mogu biti mobilne ili stacionarne, priključene na prikolice, izravno na traktor ili samohodne. Često imaju dizalicu koja služi za unos posječenih KKO-a u iverač. Ako nemaju vlastitu dizalicu, može se upotrijebiti namjenska dizalica. Kad je riječ o procesu iveranja dostupne su tri vrste tehnologija:

Bubnjasti sjekač (iverač): bubnjasti sjekači imaju veliki rotirajući čelični bubanj na koji je montirano najviše 20 noževa. Bubanj se okreće prema izlaznoj traci te služi i kao mehanizam unosa povlačeći materijal kako ga siječe. Sjekači ove vrste vrlo su glasni i potrebne su posebne sigurnosne mjere jer mogu uzrokovati ozljede ili smrt zaplete li se netko o materijal koji ulazi u stroj. Proizvedena sječka može biti vrlo velika te, umetne li se vrlo tanak materijal, može biti izrezana u iverje umjesto u sječku. Moderni bubnjasti sjekači obično imaju kapacitet materijala od 15 do 50 cm.

Disk sjekač (iverač): Disk sjekač ima montirani čelični disk s 2 – 4 noža kao mehanizam iveranja. Kod ovakvog sjekača obično reverzibilno hidraulički kotači povlače materijal iz lijevka za punjenje prema disku koji je montiran okomito na dolazeći materijal. Kako se disk kreće noževi sjeckaju materijal u sječku. Prirubnice na bubnju izbacuju sječku kroz izlaznu traku. Ovaj dizajn nije energetski učinkovit kao bubnjasti dizajn, ali je proizvedena sječka jednoličnog oblika i veličine. Potrošački disk sjekači obično imaju kapacitet promjera materijala od 15 do 46 cm. Industrijski disk sjekači dostupni su s diskovima velikim i do 4,1 m u promjeru.

Pužni sjekač (iverač): Unutrašnjost pužnog iverača sastoji se od izdužene konusne oštrice u obliku vijka. Ova spiralno oblikovana duga oštrica ima naoštrene rubove za sječu drva. Rotacija oštrice iverača postavljena je paralelno s otvorima za drvo, dok se drvo unosi spiralnim pokretima oštrice.

Namjenski strojevi za sječu su teška šumarska vozila koja se koriste za dobivanje drva rezanjem na određenu dužinu prije obaranja, uklanjanjem grana i odvajanjem stabala. Šumarski stroj za sječu obično se koristi zajedno s traktorom otpremnikom koji vuče trupce do ukrcajnog mjesta uz cesti. Takvi strojevi su dostupni od brojnih proizvođača kao npr. John Deere, Caterpillar, Hyundai, Valmet, Rottne, Dorfmeister itd.

Poduzeće Anderson razvilo je novi koncept: Takozvana biopreša (Slika 41) pretvara drvenu biomasu promjera od 6,35 cm u premrežene i kompaktne okrugle bale od 120 cm spremne za industrijsku upotrebu.



Slika 41. „Biopreša” poduzeća Andersons Canada (Izvor: Anderson Group)

Tablica 9. Metode sječe, njihov opis i karakteristike (uz podatke iz LWF-a 2011., Kofmana 2012.)

| Opis | Karakteristike |
|---|---|
| Ručna ili motorna i ručna sječa s kosirom, motornom pilom, rezačem grmlja ili sličnim alatom | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Rezanje i obaranje stabala s kosirom, motornom pilom, rezačem grmlja ili sličnim alatom - Ručno prikupljanje prutova ili prikupljanje traktorom - Pohrana prutova za sušenje ili izravno iveranje - Unošenje prutova ručno ili dizalicom u mali sjekač | <ul style="list-style-type: none"> - Moguć osobni doprinos - Zahtjevan i opasan posao - Niska produktivnost - Smanjeni troškovi jer se lako može koristiti postojeća oprema - Primjereno za male čestice površine manje od 5 ha te za vlastite ili komunalne kotlove na drvnu sječku - Posao trebaju obavljati najmanje dva radnika koji se izmjenjuju |
| Mehanička sječa kombajnom | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Sječa većih stabala kombajnom za šumarstvo - Prikupljanje stabala ili snopova traktorom ili traktorom otpremnikom - Pohrana stabala/snopova za sušenje ili izravno iveranje - Unošenje stabala dizalicom u sjekač | <ul style="list-style-type: none"> - Zbog visoke automatizacije manje ergonomske zahtjevnosti za radnike - Moguće je sušenje snopova/stabala na polju - Usluge uglavnom obavlja izvođač – troškovi sječe su skupi - Ekonomično samo za velike čestice - Primjereno za kotlove bilo koje vrste na drvnu sječku |
| - Mehanička sječa s opremom priključenom na traktor samohodnih strojeva | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Bilo kakva oprema priključena na traktor samohodnih strojeva (krmni kombajni s modificiranom glavom za izravno iveranje) - Istodobno se odvijaju sječa i iveranje - Prikolice koje prevoze drvnu sječku izravno s polja moraju biti dostupne u isto vrijeme kad se siječe - Drvna sječka može se koristiti odmah, pohranjena ili osušena | <ul style="list-style-type: none"> - Zbog visoke automatizacije manje ergonomske zahtjevnosti za radnike - Ekonomično za srednje do velike čestice - Uglavnom primjereno za veće toplane i kombinirane (CHP) toplane na drvnu sječku - Sušenje drvne sječke izazovno je i može biti skupo. - Osim sadržaja vlage, kvaliteta drvne sječke je visoka jer rezanjem svježeg drveća nastaje čista i istovrsna drvna sječka. |



Slika 42. Traktor otpremnik koji prikuplja stabla s polja u Austriji (Izvor: Mergner R.)



Slika 43. Sjekač drva montiran na traktor u Austriji (Izvor: Rutz D.)



Slika 44. Posječen KKO vrbe zimi u Švedskoj: vidljivi su dvoredi (Izvor: Rutz D.)



Slika 45. Posječena vrba pohranjena na rubu plantaže KKO-a u Švedskoj (Izvor: Rutz D.)

5.5. Sušenje i pohrana drvne sječke

Nakon što je biomasa KKO-a posječena, obično je treba pohraniti prije nego što se koristi za vlastitu potrošnju ili prodaju. Drvna sječka, cijeli prutovi, stabljike i cjepanice mogu se pohraniti na rubnim područjima plantaža ili dopremiti na mjesto gdje će se kasnije koristiti.

Vrlo važno svojstvo kvalitete sječke je sadržaj vode (Tablica 10) ili vlažnost (za definicije vidi Okvir 5). Sušenje na zraku može smanjiti vlažnost s 50 – 55 na oko 30 posto u roku od nekoliko mjeseci.

Tablica 10. Udio vode u četiri kategorije drva

| Kategorija | w (udio vode) |
|----------------------|---------------|
| Potpuno suho drvo | 0 % |
| Drvo sušeno na zraku | 15 % – 20 % |
| Drvo za pohranu | < 30 – 35 % |
| Svježe drvo | > 50 % |

Vrlo je teško pohraniti svježe posječeno drvo na dulje vrijeme jer su obično prisutni sljedeći rizici (LWF, 2012.):

- **gubitak biomase:** gubitak biomase od 2 – 4 posto mjesečno zbog bioloških procesa i procesa raspadanja.
- **zdravstveni rizik:** nastanak spora gljivica koje imaju negativne učinke na zdravlje.
- **kvaliteta:** povećanje sadržaja vode u nezaštićenim nakupinama zbog taloženja i ponovne akumulacije kondenzirane vode na vrhu nakupine.
- **tehnički rizik:** zaleđena drvena sječka tvori nakupine kojima se teško rukuje, a kamenje može oštetiti opremu.
- **spontano zapaljenje:** mikrobiološka aktivnost povećava temperature u nakupini biomase, što može dovesti do samozapaljenja.
- **učinci na okoliš:** neugodni mirisi mogu smetati susjedima, a filtrat može onečistiti površinske i podzemne vode.

Međutim, drvena sječka od drva sušenog na zraku sa udjelom vode od oko 30 posto može se relativno lako i sigurno pohraniti u otvorenim nakupinama. Pokrivanje nakupina ili njihovo pohranjivanje pod krovom sprječava porast udjela vode nakon kiša. Svježa drvena sječka može se pohraniti i pod krovovima i dalje sušiti do udjela vode od 30 posto, no za izbjegavanje samozapaljenja važni su dobra prozračnost i, s vremenom, miješanje utovarivačem.

Udio vode u drvnj sječci idealno bi trebalo smanjiti na razine ispod 20 posto. Prema europskim standardima, drvena sječka klasificira se u pet kategorija prema udjelu vode (vlažnost na mokroj osnovi) (M20, M30, M40, M55, M65) (Rutz et al. 2012.). Ako je udio vode previsok, drvena je sječka osjetljiva na mikroorganizme zbog čestica male veličine. Povećana aktivnost mikroorganizma dovodi do povećanih temperatura unutar materijala, što može izazvati samozapaljenje u objektima za skladištenje drvene sječke.

Što je udio vode viši (vidjeti Okvir 5), to je izgaranje manje energetski učinkovito (vidi poglavlje 8.3) jer se dio energije „gubi“ na isparavanje vode. Donja ogrjevna vrijednost za drvo mnogo je viša za suho drvo (4,3 kWh/g) nego za svježe ili mokro drvo (1,5 kWh/g) (Liebhard 2007). Slika 46 prikazuje odnos ogrjevne vrijednosti drva prema sadržaju vode. Što je viši sadržaj vode, to je niža ogrjevna vrijednost.



Slika 46. Ogrjevna vrijednost drva tvrdih i mekih listača u odnosu na sadržaj vode (Izvor: FNR 2012.)

Okvir 5. Koja je razlika između vlažnosti i udjela vode?

Važna informacija o kvaliteti goriva je udio vode u gorivu. Kako bi se izračunao i usporedio udio vode koriste se dva parametra fizičkog mjerenja: **udio vode (w)** (koji se naziva i „vlažnost na mokroj osnovi“) i **vlažnost goriva (u)** (koji se naziva i „vlažnost na suhoj osnovi“).

Udio vode (w) odnosi se na vodenu masu m_w vezanu u svježoj biomasi ($m_d + m_w$), dok se vlažnost goriva m_w odnosi na masu vode u suhoj biomasi (m_d).

$$w = m_w / (m_d + m_w)$$

$$u = m_w / m_d$$

Vrijednosti za vlažnost mogu se pretvoriti u vrijednosti za udio vode. Primjerice, udio vode od 50 % odgovara vlažnosti od 100 %. Vrijednosti za vlažnost mogu se povećati iznad 100 %. „Vlažnost“ je pojam koji se uobičajeno koristi u šumarskoj i drvenoj industriji. U energetske sektoru vrlo često koristi „udio vode“ ili „udio vlage na mokroj osnovi“

Postoje različite tehnologije sušenja, od jednostavnih do sofisticiranih (Tablica 11). Drvena sječka često se suši u **šaržnim sušilicama** koje mogu biti kontejnerske prikolice ili objekti za skladištenje kroz koje se upuhuje vrući zrak (Slika 47 do Slika 52).

Kontejneri ili prikolice obično imaju dvostruko dno s rešetkastim podom ili rešetkastu cijev kroz koju se upuhuje vrući zrak. Često su poljoprivredne prikolice samoprilagodljive, što je iznimno jeftino rješenje. Drvena sječka obično se ne premješta ili miješa u tim kontejnerima ili prikolicama, što rezultira neistovrsnim i nekontroliranim sušenjem.

Razrađena metoda su **transportno-zakretne sušilice**. Vrući zrak upuhuje se kroz dvostruko rešetkasto dno, a mehanizam s mobilnim lopaticama miješa i prenosi drvenu sječku tijekom cijelog vremena sušenja. Nosač pomiče kotač s lopaticama nekoliko puta tijekom cijelog procesa sušenja. Smjer se mijenja prekidačima i zasebnim automatskim kontrolnim sustavom. Transportno-zakretnim sušilicama može se upravljati u serijama ili kontinuirano.

U **sušilici na transportnu traku** drvena sječka neprestano se i jednoliko unosi kroz ulaznu komoru na perforiranu traku. Traka, većinom u horizontalnom položaju, prenosi proizvod kroz

područje sušenja koje se može podijeliti u nekoliko ćelija. U tim ćelijama plin za sušenje protječe kroz mokar proizvod ili iznad njega i suši ga. Svaka ćelija može biti opremljena ventilatorom i izmjenjivačem topline te tako prilagodljiva različitim uvjetima.

Idealan i povoljan izvor topline za sušenje je ostatna toplina iz industrijskih postupaka ili bioplinskih postrojenja (Rutz et al. 2012.).

Tablica 11. Tehnologije sušenja i njihove osnovne značajke (Izvor: Rutz et al. 2012.)

| Vrsta sušilice | Karakteristike |
|--------------------------------------|--|
| Šaržna sušilica | Vrući zrak prolazi kroz materijal u vodoravnim ili okomitim spremištima bilo u fiksnim silosima, kamionima ili kontejnerima. Ovo je jedna od najjednostavnijih sušilica jer se materijal ne pomiče. Također je vrlo jednostavna i primjerena za male kapacitete. |
| Transportno-zakretna sušilica | Vrući zrak upuhuje se kroz proizvod kroz dvostruko dno (rešetkasto dno). Uređaji za okretanje poput vesla miješaju se i prenose proizvod. |
| Sušilica na transportnu traku | Vrući zrak suši materijal koji se polagano pomiče na traci. Troškovi ulaganja relativno su visoki. |



Slika 47. Kontejner i cijevi za grijanje zrakom za drvenu sječku koja se suši u bioplinskom postrojenju u Münchenu, Njemačka (Izvor: Rutz D.).



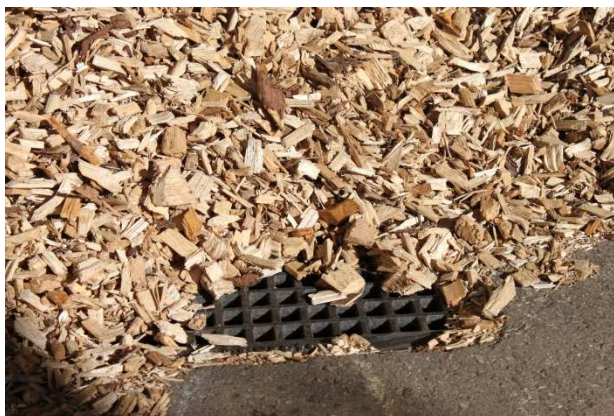
Slika 48. Kontejner za drvenu sječku koja se suši u Münchenu, Njemačka (Izvor: Rutz D.).



Slika 49. Šaržna sušilica na prikolici koja se koristi ostatnom topline iz bioplinskog postrojenja u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.).



Slika 50. Transportno-zakretna sušilica za drvenu sječku postavljena na bioplinskom postrojenju u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.).

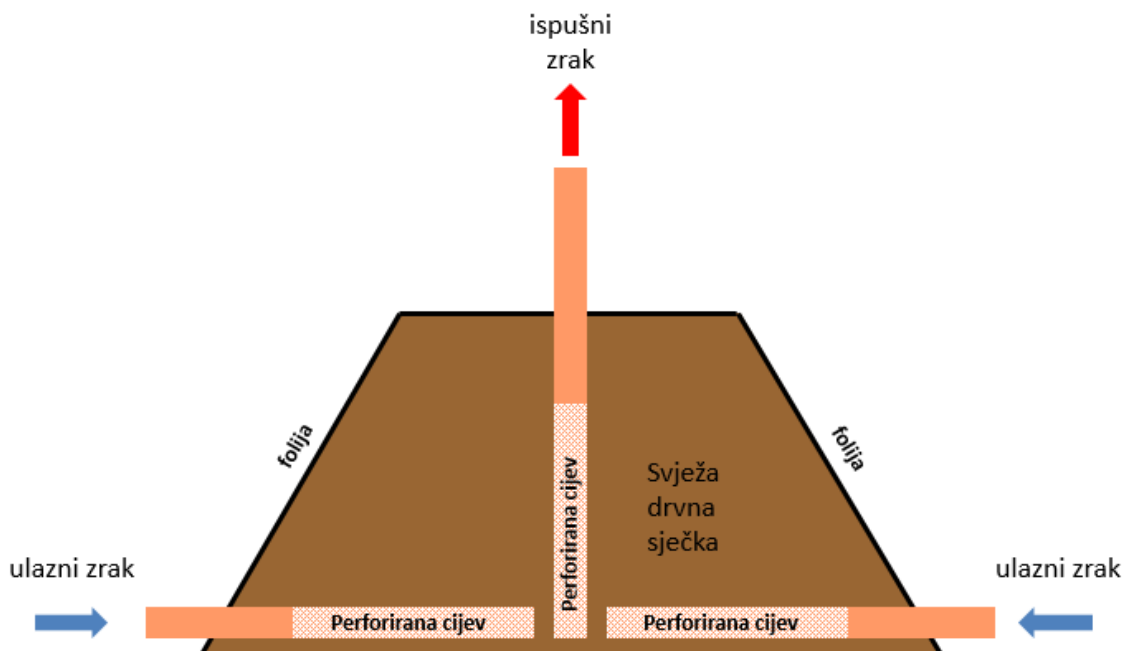


Slika 51. Ventilacijski otvor integriran u pod objekta za skladištenje sječke u centru za trgovanje biomasom Biomass Trade Centre Achental u Njemačkoj (vidi Slika 52) (Izvor: Rutz D.).



Slika 52. Idealni objekt za skladištenje drvene sječke u centru za trgovanje biomasom Biomass Trade Centre Achental u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.).

Tehničko sveučilište u Dresdenu (Njemačka) razvilo je namjensku metodu sušenja drvene sječke iz KKO-a koju je i patentiralo (PCT/EP2005/009241). Sustav se temelji na načelu da se svježa i vlažna drvena sječka sama zagrijava ukoliko je pohranjena u nakupini. Perforirane cijevi olakšavaju zraku da uđe u nakupinu, dok izlazna cijev ima ulogu dimnjaka i otpušta topli zrak koji je bio zagrijan drvnom sječkom. Takav proces prozračivanja zrakom učinkovita je metoda za sušenje drva bez unosa energije izvana. Ovom je metodom moguće smanjiti udio vode na 30 posto u roku od tri mjeseca (Grosse et al. 2008.). Nakupina sječke se može postaviti odmah na rubnom području plantaže ili na mjestu potrošnje drvene sječke



Slika 53. Shema nakupine drvene sječke koja se suši zrakom (Izvor: Rutz D.)

6. Logistika i prijevoz

Prije početka projekta KKO-a treba pažljivo razmotriti troškove prijevoza i udaljenost od plantaže do potencijalnih kupaca biomase. Prijevoz drvene sječke trebalo bi ograničiti na kraće udaljenosti budući da preduge udaljenosti imaju negativne učinke na emisije stakleničkih plinova i na ekonomsku isplativost lanca. Maksimalno preporučene udaljenosti i odgovarajuća vrsta prijevoza za drvenu sječku ovise o lokalnim uvjetima, ali se mogu sažeti kako je opisano u nastavku:

- 0 – 40 km: vlastiti traktori
- 30 – 90 km: teški kamioni kapaciteta 70 – 95 m²
- > 70 km: vlakovi

Nadalje, važno je razmotriti mogućnost pristupa plantažama postojećim cestama već u fazi planiranja plantaže, jer će se istima kretati teški strojevi i prevoziti teški tereti. Treba poštivati maksimalno dozvoljena opterećenja za ceste, a posebice za mostove.

Težina drvene sječke po volumenu ovisi o udjelu vode, vrsti, veličini i obliku drvene sječke, kao i o omjeru kore i drveta. Jedna tona potpuno suhe drvene sječke ima obujam od 6,5 do 7 kubnih metara. U nastavku je prikazana težina nekoliko vrsta KKO-a i drugih vrsta po kubnom metru u odnosu na sadržaj vode (Tablica 12).

Tablica 12. Težina drvene sječke po nasipnom m³ vrsta KKO-a i drugih vrsta (prosječne/tipične vrijednosti; prave vrijednosti ovise o nekoliko čimbenika!)

| Udio vode [%] | 0 | 15 | 20 | 30 | 50 |
|--|------------------|--------------|-------|-----------------------|-------|
| | Masa [kg] | | | | |
| Topola (KKO) (gustoća 353 kg suhi materijal/puni m ³) | 164 | 145 – 174*** | 181** | 203** 167 – 200*** | 284** |
| Vrba (KKO) (gustoća 420 kg suhi materijal/puni m ³) | 168* | 181 – 217*** | 181** | 208 – 250*** | np |
| Joha (KKO) (gustoća 530 kg suhi materijal/puni m³) | np | 177 – 212*** | np | 204 – 245*** | np |
| Bagrem (KKO) (gustoća 750 kg suhi materijal/puni m ³) | np | 264 – 317*** | np | 304 – 365*** | np |
| Smreka (nije KKO) (gustoća 379 kg suhi materijal/puni m ³) | 151 | 178 | 189 | 216 | 302 |
| Bukva (nije KKO) (gustoća 558 kg suhi materijal/puni m ³) | 222 | 261 | 278 | 317 | 444 |

(Izvor: CARMEN 2014., * SLL n.d., ** Biomasseverband OÖ n.d., *** ETA Heiztechnik GmbH n.d. (prva vrijednost za G50, druga vrijednost za G30 i ostali izvori))

Na početku i na kraju svake plantaže trebala bi postojati područja na kojima nisu zasađene KKO, već, primjerice, travnjak s cvjetnicama, što povećava ekološku vrijednost plantaže. Ta se područja nazivaju i **rubnim područjima plantaže**. Služe kao prostor za manevriranje strojeva za sječu i održavanje plantaže. Posječeni materijal može se pohraniti na tim rubnim dijelovima plantaže. Međutim, posječeni materijal ponekad se izravno odvozi na mjesto na kojem će kasnije biti upotrijebljen.

7. Uklanjanje plantaže KKO-a

Iza odluke o prekidu uzgoja i uklanjanju plantaže KKO-a s zemljišta nakon nekoliko godina mogu biti različiti razlozi. Poljoprivrednik može odlučiti prenamijeniti zemljište u pašnjak ili oranicu ili ponovno zasađiti KKO, ali tako da staru plantažu KKO-a zamijeni novim biljkama, vrstama ili klonovima. Mnogi poljoprivrednici koji prethodno nisu uzgajali KKO smatraju uklanjanje plantaže KKO-a najvećom preprekom za uzgoj KKO-a, budući da žele mogućnost brzog vraćanja zemljišta u izvorno stanje u slučaju potrebe. Potencijalni poljoprivrednici uzgajivači KKO-a rezervirani su prema ovom pitanju, ali podizanje svijesti i razmjena znanja pomažu u prevladavanju ovog izazova. Uklanjanje plantaže KKO-a tehnički nije komplicirano jer je korijenje u plantaži relativno plitko unatoč tome što je plantaža bila zasađena mnogo godina.

Postoji nekoliko metoda i koraka koje treba uzeti u obzir pri uklanjanju plantaže KKO-a. Metodu treba izabrati u skladu sa željenom svrhom korištenja zemljišta nakon uklanjanja KKO-a. Za prenamjenu u pašnjak dovoljna je jednostavna obrada i sadnja trave. U nekim slučajevima to može biti dovoljno i za rekultivaciju zemljišta u oranicu. Mogućnost kultivatora (Slika 54, Slika 55) da usitni drvo na manje komade utjecati će na odluku treba li primijeniti daljnji tretman.

Rigoroznija metoda je kombinacija mehaničkih i kemijskih metoda. Nakon posljednje sječe panjevi trebaju ostati u zemlji te tijekom proljeća razviti nove izdanke. Kada izdanci narastu 30 – 40 cm na cijelu se plantažu primjenjuje herbicid. Zbog osjetljivosti vrba i topola na herbicide aktivni dijelovi u rastu će uvenuti. Usjev treba ostaviti najmanje dva tjedna nakon primjene herbicida kako bi se omogućilo potpuno upijanje i translokacija herbicida. Kada izdanci odumru panjevi se mogu malčirati primjenom snažnog kultivatora u gornjih 5 – 10 cm tla. Nakon što panjevi budu potpuno uništeni, tlo se može obraditi teškom drljačom s diskovima velikog promjera koji će sasjeci panjeve i zaostalo korijenje.

Nakon obrade panjeva na zemljištu se ponovno može zasađiti novi KKO vrbe ili ga se može staviti u funkciju ostale poljoprivredne proizvodnje, a da se pritom ne moraju ukloniti panjevi koji ne utječu na sljedeće kulture.



Slika 54. Kultivator za obradu preostalih panjeva KKO-a u Austriji (Izvor: Mergner R.)



Slika 55. Rekultivirano tlo u Austriji (Izvor: Mergner R.)

8. Korištenje biomase KKO-a

Ciklus sječe tj. ophodnja definira se već u fazi planiranja i tijekom osnivanja plantaže KKO-a jer različite ophodnje zahtijevaju različite razmake između stabala. U slučajevima kada je plantaža gusta, tj. razmak između stabala mali, a ophodnja je između 2 i 8 godina, posječeni materijal obično će uvijek biti sjeckan u drvenu sječku koja se može koristiti za različite svrhe. Ako su ophodnje dulje, može se razmotriti sječa stabala kao trupaca (industrijsko drvo) umjesto iveranja, što donosi veće prihode. Trupci se mogu koristiti za različite svrhe, ovisno o njihovoj kvaliteti. Posljednje se uglavnom odnosi na topolu ili eukaliptus jer KKO vrbe u tipičnom ciklusu KKO-a ne proizvodi stabljike koje su dovoljno debele za trupce. U ovom priručniku ne razmatramo uzgoj KKO-a za dobivanje trupaca jer je naglasak na energetske upotrebi drvene sječke.

8.1. Kvaliteta drvene sječke

Različite primjene drvene sječke zahtijevaju njezinu različitu kvalitetu (Slika 56, Slika 57). Ključni kriteriji kvalitete za drvenu sječku su:

- **Vlažnost/udio vode:** što je niži udio vode, to je viša ogrjevna vrijednost.
- **Istovrsnost i veličina drvene sječke:** dimenzije sječke trebale bi odgovarati zahtjevima i tehničkim specifikacijama korisničkog sustava (kotla/peći)...
- **Sadržaj sitnih čestica:** sitne čestice (prašina) predstavljaju zdravstveni rizik.
- **Oblik drvene sječke:** rezovi bi trebali biti oštri, a rubovi minimizirani kako bi se povećala nasipna gustoća i osigurao neometan unos u sustav.
- **Podrijetlo:** održivost uzgoja i sustava upravljanja KKO-om; što je proizvodnja drvene sječke bliže krajnjem korisniku, to su manje udaljenosti prijevoza i niže emisije CO₂ iz prijevoza.
- **Sadržaj pepela:** što je niži sadržaj pepela, to je viša proizvodnja energije, a niža je količina pepela koju treba zbrinuti.
- **Onečišćenje:** drvena sječka ne bi trebala sadržavati nikakve nečistoće (tlo, kamenje).
- **Sastav:** što je veći sadržaj drva i manji sadržaj kore, lišća i grančica, to je viša kvaliteta goriva.

Glavni kriterij za kvalitetu drvene sječke je udio vode, o čemu je već bilo riječi u poglavljima 5.3. i 5.5. Kad je riječ o drvenoj sječki KKO-a, na udio vode uglavnom utječu metode sječe, logistika i postupci sušenja.

Istovrsnost i veličina drvene sječke, sadržaj sitnih čestica te oblik drvene sječke uglavnom su određeni opremom za sječju i tehnologijama sječe. Tehnologije sječe utječu i na pojavu onečišćenja, kao i način pohrane sječke. Ako se drvena sječka pohranjuju na polju, veći je rizik od povećanog onečišćenja. Sastav i sadržaj pepela uglavnom su određeni metodom uzgoja i vrstom KKO-a. Općenito, drvena sječka iz KKO-a ima veći udio pepela jer je udio kore i grančica u odnosu na deblo drveta mnogo viši jer stabljika i korijenje imaju relativno male promjere.



Slika 56. Visokokvalitetna (lijevo) i niskokvalitetna (sredina, desno) (ne iz KKO) drvena sječka u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.)



Slika 57. Svježa drvena sječka iz KKO-a vrbe u Švedskoj (Izvor: Rutz D.)

Za utvrđivanje kvalitete drvene sječke primjenjuju se europski standardi. Europski odbor za normizaciju (CEN) razvio je standarde za svojstva drvene sječke, briketa, ogrjevnog drva i peleta, ali i za metode ispitivanja, pravila pretvorbe i osiguranje kvalitete. Ti su standardi izmijenjeni i dopunjeni 2014. godine te su dodatno razvijeni kao međunarodni ISO

(Međunarodna organizacija za normizaciju) standardi. Na drvena biogoriva primjenjuju se sljedeće norme:

- ISO 17225-1:2014-09 (prijašnja EN 14961-1:2010) Specifikacije i razredi goriva – 1. dio: Opći zahtjevi
- ISO 17225-2:2014-09 (prijašnja EN 14961-2:2011) Specifikacije i razredi goriva – 2. dio: Klasifikacija drvnih peleta
- ISO 17225-3:2014-09 (prijašnja EN 14961-3:2011) Specifikacije i razredi goriva – 3. dio: Klasifikacija drvnih briketa
- ISO 17225-4:2014-09 (prijašnja EN 14961-4:2011) Specifikacije i razredi goriva – 4. dio: Klasifikacija drvene sječke
- ISO 17225-5:2014-09 (prijašnja EN 14961-5:2011) Specifikacije i razredi goriva – 5. dio: Klasifikacija drva za ogrjev

Cilj serije normi ISO 17225 je pružiti nedvojbena i jasna načela klasifikacije za kruta biogoriva, služiti kao alat za omogućavanje učinkovitog trgovanja biogorivima, omogućiti dobro razumijevanje između prodavača i kupca, kao za komunikaciju s proizvođačima opreme. Norme, također, olakšavaju postupke izdavanja dozvola i izvješćivanje (ISO 2014.)

Primjer deklaracije proizvoda drvene sječke dao je Alakangas (2009) (Tablica 13), navodeći, u skladu s normom EN 14961-1, normativne kriterije dimenzija (P), vlažnost na mokroj osnovi (M), pepeo (A) kao i informativne kriterije nasipne gustoće (BD), kalorijsku (ogrjevnu) vrijednost (Q), sumpor (S), dušik (N) i klor (Cl).

Tablica 13. Primjer deklaracije proizvoda za drvenu sječku (Izvor: Alakangas 2009., izmijenjeno)

| EN 14961-1 | | |
|---------------------|---|-----------------------------------|
| Opći detalji | Proizvođač | EAA Biofuels |
| | Mjesto | Jyväskylä, Finska |
| | Podrijetlo | 1.1.1.1. i 1.1.1.2. (Cijelo drvo) |
| | Oblik kojim se trguje | Drvene sječke |
| | Količina (t) | 4,00 |
| Normativ | Dimenzije | P45A |
| | Vlažnost, w-% | M 35 |
| | Pepeo, w-% suh | A 1,5 |
| Informativno | Nasipna gustoća, kg/m ³ | BD 250 |
| | Neto kalorijska vrijednost kako je primljena, MJ/kg | Q11,5 |
| | Sumpor, w-% suha osnova | 0,05 |
| | Dušik, w-% suha osnova | N 0,3 |
| | Klor, w-% suha osnova | Cl 0,03 |

Kao što je navedeno, norma ISO potrebna je ako se trguje drvnom sječkom kako bi se kupca informiralo o kvaliteti. Kvaliteta će utjecati i na cijenu narudžbe.

Međutim, detalji ove norme mogu biti zanimljivi i vlasniku plantaže koji i sam izravno koristi drvenu sječku, budući da savjetuje kako poboljšati kvalitetu sječke.

8.2. Mogućnosti korištenja drvne sječke

Sljedeći popis ukazuje na mogućnosti iskorištavanja drvne sječke:

- mali sustavi izgaranja i grijanja (na razini farme ili nekoliko kućanstava)
- veći sustavi izgaranja i grijanja (mikromreže centraliziranoga grijanja za nekoliko povezanih kućanstava)
- namjenske kombinirane toplane i elektrane (kogeneracija toplinske i električne energije- CHP) na drvenu sječku (ORC ciklus, parne turbine)
- uplinjavanje drvne sječke za proizvodnju energije
- supaljenje drvne sječke u velikim elektranama (koje se baziraju na fosilnom gorivu)
- sirovinski materijal za biorafinerijske procese (npr. pirolizu, uplinjavanje, torefakciju, biokemijsku pretvorbu etanola, bioplastiku)
- daljnja obrada u pelete za različite svrhe
- primjene u niši: kao malč u vrtlarstvu i u održavanju krajolika, kao stelja za životinje u stajama, kao supstrat za proizvodnju gljiva, kao strukturni materijal za biofiltre ili kao materijal za pokrivanje površine igrališta

Danas se u Europi drvena sječka većinom koristi za grijanje, u kogeneracijskim postrojenjima za proizvodnju toplinske i električne energije te za supaljivanje. Stoga se u poglavlju 8.3 navode detalji o izgaranju drvne sječke i peleta.

U budućnosti se zahtjevi za drvnom sječkom za biorafinerijske procese mogu povećati. Već su osnovane plantaže KKO-a za proizvodnju takozvanih tekućih biogoriva druge generacije. Razvijaju se BtL (biomasa u tekućinu; engl. biomass-to-liquids) goriva. Ova goriva nastaju termokemijskom pretvorbom lignocelulozne biomase, poput drvne sječke od KKO-a, u sintetička biogoriva. Nešto naprednija je tehnologija biokemijske pretvorbe u kojoj se lignocelulozni materijal biološki pretvara u šećere, a potom fermentira u etanol (Slika 58), koji je zamjena za benzin. Do sada je u proizvodnji etanola fokus uglavnom bio na upotrebi travnatih biljaka (poput slame, trava itd.). Međutim, nekoliko europskih i međunarodnih demonstracijskih postrojenja sve više ulaže u korištenje drvne sječke u tom procesu, što stvara novo tržište za drvenu sječku KKO. U konceptima integrirane biorafinerije mogu se proizvesti i drugi proizvodi poput lignina, energije, topline, bioplastike, biokemikalija.

U manjim se razmjerima drvena sječka termokemijskom pretvorbom može pretvoriti i u pirolizno ulje koje može zamijeniti npr. loživo ulje ili se može dalje obrađivati. Uplinjavanje drvne sječke i posljedično upotreba proizvedenog plina u motoru za proizvodnju energije (Slika 59) danas se već često primjenjuje, a ova metoda prikladna je i za pojedinačne poljoprivrednike.

U svojim početnim stadijima razvoja peleti su bili proizvedeni isključivo od piljevine iz pilana koja se smatrala nusproizvodom (Slika 60). Danas se peleti proizvode od namjenskog drva (drvena sječka), primjerice s plantaža KKO-a. Kako bi se zadržala kvaliteta i zato jer drvena sječka KKO-a ima više kore u usporedbi s drvnom sječkom iz šumarstva, može se preporučiti upotreba drvne sječke s plantaža KKO-a dužih ciklusa sječe jer to smanjuje omjer kore/drva

Osim upotrebe drvne sječke u energetske svrhe, ista se može koristiti i za primjene u nišama, što ovisi o lokalnoj potražnji. Drvena sječka može se koristiti kao malč u vrtlarstvu te održavanju krajolika, kao stelja za životinje (npr. za konje), kao supstrat za proizvodnju gljiva, kao strukturni materijal za biofiltre (npr. u otpadno-bioplinskom postrojenju) ili kao materijal za pokrivanje površine igrališta.



Slika 58. Postrojenje za proizvodnju etanola druge generacije ABENGOA u Španjolskoj (Izvor: Rutz D.)



Slika 59. Mali rasplinjači u kontejneru (lijevo) i tijekom proizvodnih procesa (desno) u poduzeću „SpannerRE” (Izvor: Rutz D.)



Slika 60. Preša za pelete (lijevo) i visokokvalitetni peleti (desno) (Izvor: Rutz D.)

8.3. Izgaranje drvene sječke i peleta

Glavna primjena drvene sječke i peleta je izgaranje radi stvaranja topline, što se uglavnom smatra održivom energetsom praksom (vidi Okvir 6). Stoga ovo poglavlje pruža osnovne informacije o procesu izgaranja. Detaljnije informacije dostupne su u Hieglu et al. (2011.) ili Rutz et al. (2006.).

Biomasa, kao biljni materijal, uglavnom se sastoji od ugljika (C), vodika (H) i kisika (O). Udio ugljika označava energiju koja se otpušta tijekom izgaranja (oksidacija). Vodik sadržan u krutoj biomasi tijekom izgaranja stvara energiju te zajedno s ugljikom određuje ogrjevnu vrijednost suhoga goriva. Kisik samo podržava proces izgaranja, ali nema utjecaja na energijski sadržaj goriva.

Goriva od drvene biomase imaju visok sadržaj ugljika, od 47 do 50 posto. Sadržaj kisika u gorivima od drvene biomase iznosi između 40 i 45 posto, dok sadržaj vodika iznosi između 5 i 7 posto. Osim ova tri elementa takva goriva sadrže i druge elemente. Unatoč malom udjelu drugi elementi mogu imati snažne učinke na emisije ispušnih plinova. Sumpor, klor i dušik nalaze se među elementima koji imaju najveći učinak na onečišćenje iz emisija ispušnih plinova. Goriva se djelomično mogu razlikovati ovisno o sadržaju značajnih komponenti relevantnih za emisije.

Energetski sadržaj po masi izražen je nižim i višim ogrjevnim vrijednostima (Okvir 7, Tablica 14). Kada govorimo o drvanoj sječki često se primjenjuje energetski sadržaj po volumenu – po kubnom metru (Tablica 15). Ovisno o vrsti drveta, veličini drvene sječke i vlažnosti, kubni metar drvene sječke teži oko 200 – 300 kg.

U sustavima grijanje uobičajeno se koriste kotlovi na drvenu sječku (Slika 61, Slika 62) od oko 20 kW naviše, dok se u malim sustavima grijanja koriste i kotlovi na pelete. Grijanje drvnom sječkom obično se isplati samo za veća kućanstva, farme ili za nekoliko kućanstava ili čak manja sela. Grijanje na pelete obično se primjenjuje na razini jednog kućanstva ili nekoliko kućanstava.

Tehnologija za grijanje na drvenu sječku i pelete dobro je razvijena i dostupna je od brojnih proizvođača. Sastoji se od spremišta za energent (sječka ili pelet), mehanizma unosa energenta, kotla na biomasu, ispušnog sustava i sustava za distribuciju topline (često uključuje i spremište topline).

Ulaganje u kotao na drvenu sječku ili pelete često je veće od ulaganja u kotao na fosilna goriva, ali su troškovi goriva obično mnogo jeftiniji pa su, dugoročno gledano, kotlovi na drvenu sječku ili pelete ekonomičniji.

Okvir 6. Zašto je biomasa obnovljiv izvor energije?

Glavni staklenički plin koji nastaje u procesima izgaranja je **ugljičkov dioksid** (CO_2) koji je uglavnom odgovoran za porast globalne temperature. Ugljičkov dioksid emitira se tijekom izgaranja fosilnih goriva (npr. lignita, antracita, nafte, prirodnog plina), ali i biomase. Međutim, postoji razlika: biomasa tijekom svojeg rasta uzima **CO_2** iz atmosfere procesom fotosinteze. Jednako tako, na plantaži kratke ophodnje drveće uklanja CO_2 iz atmosfere na razdoblje od 4 – 6 godina rasta nakon čega biomasa izgori u kotlu na drvenu sječku. Zbog svojega kratkog i zatvorenog ciklusa, biomasa iz KKO-a obnovljiva je i doprinosi zaštiti okoliša

No, energetske izvori biomase nisu u potpunosti „**neutralni glede CO_2** ” jer se fosilni energetske izvori još uvijek koriste za pripremu i iskorištavanje biomase (npr. za sječku i prijevoz). Nadalje, za nove plantaže KKO-a treba razmotriti učinak promjene korištenja zemljišta koje mogu imati pozitivne ili negativne učinke na otpuštanje ili akumulaciju ugljika u tlu. U usporedbi s jednogodišnjim usjevima, akumulacija ugljika u tlu u plantažama KKO-a obično je viša te stoga ima pozitivan učinak na ublažavanje klimatskih promjena.

Okvir 7. Koja je razlika između niske i visoke ogrjevne vrijednosti?

Ogrjevna vrijednost pruža važne informacije o svojstvima goriva.

Donja ogrjevna vrijednost (lower heating value- LHV) (neto kalorijska vrijednost (NCV)), donja kalorijska vrijednost (LCV) označuje količinu topline koja se otpušta potpunim izgaranjem (oksidacijom) biomase. Ta vrijednost ne uzima u obzir kondenzacijsku toplinu (toplinu isparavanja) vodene pare sadržane u ispušnom plinu. Stoga se donja ogrjevna vrijednost biomase smanjuje povećanjem sadržaja vode.

Gornja ogrjevna vrijednost (higher heating value- HHV) (kalorijska vrijednost, bruto ogrjevna vrijednost iz energije, gornja ogrjevna vrijednost (H_o), bruto kalorijska vrijednost (GCV), gornja kalorijska vrijednost (HCV) određuje se vraćanjem svih proizvoda izgaranja natrag na izvornu temperaturu prije izgaranja, a posebice kondenziranjem bilo kakve nastale pare. Prosjek HHV-a za biomase iznosi otprilike 6 % (kora), 7 % (drvo) ili 7,5 % (poljoprivredna proizvodnja) iznad LHV (Tablica 14). Međutim, to vrijedi samo za kruta goriva u apsolutno suhim uvjetima bez vode (wf). Za vlažnu se biomasu taj nesklad povećava. Tablica 15 prikazuje vrijednosti za tipični nasad KKO-a vrbe i topole u usporedbi s ostalim gorivima.

Tablica 14. Karakteristike izgaranja krutih goriva (Hiegl et al. 2011.) (prosječne/tipične vrijednosti; prave vrijednosti ovise o nekoliko čimbenika!)

| Vrsta goriva | LHV [MJ/kg] | HHV [MJ/kg] | Sadržaj pepela [%] | Točka omeškavanja pepela [°C] |
|------------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------------------|
| Drvo topole | 18,5 | 19,8 | 1,8 | 1 335 |
| Drvo vrbe | 18,4 | 19,7 | 2,0 | 1 283 |
| Drvo bukve | 18,4 | 19,7 | 0,5 | Nema unosa |
| Drvo smreke | 18,8 | 20,2 | 0,6 | 1 426 |
| Kora (četinjače) | 19,2 | 20,4 | 3,8 | 1 440 |
| Pšenična slama | 17,2 | 18,5 | 5,7 | 998 |
| Zrno pšenice | 17,0 | 18,4 | 2,7 | 687 |
| Antracit | 29,7 | Nema unosa | 8,3 | 1 250 |
| Lignit | 20,6 | Nema unosa | 5,1 | 1 050 |



Slika 61. Mali sustav grijanja na drvenu sječku (kapacitet grijanja 24 – 50 kW) s kotlom (lijevo), sustavom unosa sječke (sredina) i spremnikom za drvenu sječku (desno) u poduzeću Fröling (Izvor: Rutz D.)

Tablica 15. Pregled energetskog sadržaja sječke KKO-a i ostale drvene sječke u odnosu na udio vode (prosječne/tipične vrijednosti; prave vrijednosti ovise o nekoliko čimbenika!)

| Sadržaj vode [%] | | 0 | 15 | 20 | 30 | 50 |
|--|-----------------------|----------------------------------|---------------|------|--------------|------|
| | Jedinica | Ogrjevna vrijednost [kWh] | | | | |
| | kg | 5,00 | 4,15 | 3,86 | 3,30 | 2,16 |
| Topola (gustoća 353 kg suhi materijal/puni m³) | Puni m ³ | 1765 | 1723 | 1705 | 1662 | 1525 |
| | Rasuti m ³ | 706 | 689 | 681 | 666 | 610 |
| | kg | 4,54* | 3,76** | np | 2,97** | np |
| Vrba (gustoća 420 kg suhi materijal/puni m³) | Puni m ³ | np | np | np | np | np |
| | Rasuti m ³ | np | 680 – 810** | np | 620 – 740** | np |
| | kg | np | 4,06** | np | 3,23** | np |
| Joha (gustoća 530 kg suhi materijal/puni m³) | Puni m ³ | np | np | np | np | np |
| | Rasuti m ³ | np | 720 – 860** | np | 660 – 790** | np |
| | kg | np | 4,11** | np | 3,27** | np |
| Bagrem (gustoća 750 kg suhi materijal/puni m³) | Puni m ³ | np | np | np | np | np |
| | Rasuti m ³ | np | 1090 – 1300** | np | 990 – 1190** | np |
| | kg | 5,20 | 4,32 | 4,02 | 3,44 | 2,26 |
| Vrba (gustoća 379 kg suhi materijal/puni m³) | Puni m ³ | 1970 | 1930 | 1900 | 1860 | 1710 |
| | Rasuti m ³ | 788 | 770 | 762 | 745 | 685 |
| | kg | 5,00 | 4,15 | 3,86 | 3,30 | 2,16 |
| Bukva (gustoća 558 kg suhi materijal/puni m³) | Puni m ³ | 2790 | 2720 | 2700 | 2630 | 2410 |
| | Rasuti m ³ | 1116 | 1090 | 1077 | 1052 | 964 |

Izvor: CARMEN 2014, *Verscheure 1998, ** ETA Heiztechnik GmbH n.d. (prva vrijednost rasutog m³ povezana je s G50, druga s G30, ostalim izvorima)



Slika 62. Sustav grijanja na drvnu sječku srednje veličine (kapacitet grijanja od 3 000 kW) s kotlom (desno) i spremištem topline (lijevo) od društva Biomassehof Achental u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.)

U većim postrojenjima za izgaranje moguće je koristiti organski Rankineov ciklus (ORC) za proizvodnju električne energije. ORC je termodinamički proces kojim se napaja generator za proizvodnju električne energije. U usporedbi s ostalim kogeneracijskim sustavima, poput uplinjavanja, (Slika 63), proces ORC obično se primjenjuje u puno većem rasponu.

U još većem rasponu se drvena sječka ili industrijski peleti koriste za suspaljivanje u velikim elektranama uglavnom na ugljen ili lignit, koje proizvode električnu energiju obično putem parne turbine. Te elektrane toplinu isporučuju mrežama centraliziranog grijanja. U Europi, Nizozemskoj, Velikoj Britaniji i Belgiji je suspaljivanje drvene sječke dominantna metoda za proizvodnju energije.



Slika 63. ORC sustav (1,520 kWel) poduzeća Grünfüttertrocknungsgenossenschaft Kirchdorf a.H. eG u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.)

9. Učinci kultura kratkih ophodnji na okoliš

Općenito gledajući, KKO zbog svojih niskih ulaznih zahtjeva (npr. za mineralnim gnojivima, sredstvima za zaštitu bilja) u usporedbi s jednogodišnjim usjevima ostvaruju brojne pozitivne učinke na okoliš te pokazuju nizak rizik od negativnih učinaka. Neki su učinci na okoliš već opisani u poglavlju 2.5 i u poglavljima nakon njega. U sljedećim poglavljima detaljnije su opisani učinci opisani u izvješću projekta SRCplus „Kriteriji održivosti i preporuke za drvenaste kulture kratkih ophodnji“ (Dimitriou i Rutz 2014.).

9.1. Raznolikost biljnih vrsta

Raznolikost biljnih vrsta (fitoraznolikost) je raznolikost biljaka i njihovih biljnih zajednica. Kako bi se procijenili utjecaji na raznolikost biljnih vrsta na plantažama KKO-a, proveden je niz eksperimentalnih istraživanja, uglavnom u Švedskoj i Njemačkoj, ali također i u ostalim zemljama, čiji je cilj bila identifikacija, kvantifikacija i vrednovanje razlika između sastava flore KKO-a u odnosu na ostale oblike korištenja zemljišta poput uzgoja žitarica i travnjačkih kultura na poljoprivrednom zemljištu, ali i razlike između KKO plantaža i šuma (Dimitriou et al., 2012.a). U nastavku je prikazan pregled glavnih zaključaka tih istraživanja:

- Plantaže KKO-a mogu povećati raznolikost biljnih vrsta poljoprivrednih područja kao dodatni strukturni element u krajoliku.
- KKO-ovi pružaju stanište vrstama koje preferiraju zasjenjena, grmovita staništa te stoga povećavaju raznolikost biljnih vrsta u područjima u kojima dominiraju poljoprivredna zemljišta i šume četinjača.

- Sastav vrsta koje dolaze u plantažama KKO-a mješavina je vrsta pašnjaka, ruderalnih vrsta (vrsta koje prve koloniziraju naseljena zemljišta) i šumskih vrsta, dok na poljoprivrednom zemljištu prevladavaju ruderalne vrste i vrste tipične za poljoprivredne površine.
- Utvrđeno je da su plantaže KKO-a do tri puta bogatije biljnim vrstama u usporedbi s poljoprivrednim zemljištem, a u nekim je slučajevima dokazano da su bogatije i od šuma četinjača i miješanih šuma.



Slika 64. Vegetacija na plantaži trogodišnje vrbe u proljeće u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.)

Slika 65. Vegetacija i lišće u KKO-u topole u jesen u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.)



Slika 66. Vegetacija na plantaži vrbe u proljeće u Švedskoj (Izvor: Rutz D.)

Slika 67. Sadnjom dva različita klona, kao u ovom primjeru, može se povećati broj ostalih biljnih vrsta na plantaži (Izvor: Weih M.)

- Raznolikost vrsta plantaže KKO-a na poljoprivrednom zemljištu mijenja se tijekom vremena. Rastom plantaže dolazi do smanjenjem sunčeva ozračenja za vegetaciju pri tlu, te se povećava postotak šumskih vrsta. Na kompoziciju vrsta plantaže utječu gustoća plataže, vrsta sadnog materijala, dob plantaže i vrijeme ophodnje.

- Plantaže KKO-a vrbe pogodnije su za razvitak šumskih vrsta od plantaža topola zbog većeg sunčeva ozračenja i varijacija kod plantaža topola.

Učinak nove plantaže KKO-a uvijek ovisi o različitim čimbenicima koje vlasnik plantaže mora uzeti u obzir. Jednostavne i isplative mjere povećanja brojnosti biljnih vrsta mogu se jednostavno provesti, a uključuju sadnju različitih klonova i vrsta unutar plantaže, sadnju cvjetnica i autohtonih grmova uz rub plantaže i između plantaža, ostavljanje nekoliko otvorenih praznina na plantaži gdje se mogu prirodno uspostaviti različite biljne zajednice itd.

Za sprječavanje negativnih učinaka i povećanje pozitivnih učinaka plantaže na raznolikost biljnih vrsta mogu se navesti sljedeće preporuke (Dimitriou et al., 2012.a):

- Treba izbjegavati osnivanje KKO-ova u područjima visoke biološke raznolikosti (npr. zaštićena područja, područja s rijetkim vrstama i staništima, močvarama).
- Visoka strukturna raznolikost pruža staništa biljkama različitih zahtjeva te stoga povećava raznolikost vrsta. Visoka strukturna raznolikost na jednoj plantaži KKO-a može se postići: (1) sadnjom različitih vrsta i klonova drveća i (2) sječom plantaža unutar istog područja u različito vrijeme (različita vremena ophodnje).
- Rubovi plantaža KKO bogati su različitim vrstama te se savjetuje sadnja nekoliko manjih plantaža umjesto jedne velike kako bi se povećao udio rubnih staništa. Ukoliko to nije moguće, sadnja dugačkih pravokutnih plantaža doprinosi raznolikosti biljnog svijeta.
- Povećanje broja prizemnih vrsta karakterističnih za šume može se postići smanjenjem sunčeva ozračenja koje pristiže na tlo. To se postiže dužim periodima ophodnje, velikom gustoćom biljaka, te sadnjom vrbe umjesto topole. Još jedna od mogućnosti je sadnja redova orijentiranih u smjeru istok - zapad kako bi se što više postiglo zasjenjenje plantaže.
- Rubovi plantaže, potrebni da bi omogućili jednostavniju sječú, trebali bi biti što širi kako bi se na njima mogle razviti cvjetnice koje privlače kukce. Ciklus kosidbe rubnih područja trebalo bi prilagoditi kako bi se maksimizirale koristi za okoliš.
- Sastav ostalih biljnih vrsta na plantaži KKO uvjetovan je sunčevim ozračenjem i karakteristikama tla. Visoka količina humusa i dostupnost hranjivih tvari biljkama uvjetuje veliki broj vrsta koje su indikatori prisutnosti dušika. Povećana kiselost tla je pogodna za određene vrste koje su indikatori kiselosti tla.
- Kod plantaža KKO zamjećen je veći broj vrsta nego kod oranica.
- Što je raznolikiji krajobraz (okoliš), manji je udio vrsta plantaže KKO u odnosu na broj vrsta u čitavom krajobrazu (gama raznolikost tj, ukupna raznolikost vrsta u krajobrazu (okolišu)).
- Što je viši broj stanišnih tipova, veća je i gama raznolikost te je manji udio vrsta KKO plantaže u gama raznolikosti.
- Prisustvo dormantnog sjemenja u tlu na kojem je uspostavljena plantaža imalo je nizak utjecaj na KKO vegetaciju te je navedeni utjecaj dodatno smanjen KKO plantažom.



Slika 68. Rub polja KKO-a vrbe koje graniči s poljem ozime pšenice; očigledna je povećana raznolikost biljnih vrsta na rubu plantaže (Izvor: Nordh N-E.)

9.2. Raznolikost životinjskih vrsta

Raznolikost životinjskih vrsta (zooraznolikost) podrazumjeva raznolikost životinjskih vrsta i njihovih zajednica. Za istu prikupljeni su i analizirani slični podaci kao i za raznolikost biljnih vrsta.

Poznato je da KKO vrbe privlače **divljač** poput srna te su mnoge plantaže u Švedskoj namijenjene i za lov. Jelen, zec i kunić mogu uzrokovati štete na plantažama KKO-a, te značajan porast njihove brojnosti može dovesti do značajnih oštećenja plantaže i gubitka prihoda od iste. Međutim, zečevi preferiraju miješano poljoprivredno zemljište tako da vjerojatno neće nastaniti plantaže velikih površina i gustoće.



Slika 69. Zec na plantaži KKO-a vrbe. U nekim područjima različiti sisavci mogu uvelike oštetiti KKO. Gradnja ograde nije nužna jer predstavlja visok trošak. (Izvor: Dimitriou I.)



Slika 70. Srna na plantaži KKO-a vrbe. Plantaže KKO-a dobro su poznate po tome što privlače sisavce iz okoline jer im nude sklonište i hranu. (Izvor: Nordh N-E.)

Postoji nekoliko rasprava o povećanju broja **ptica** u krajolicima gdje su osnovane plantaže KKO-a. Detaljan prikaz najvažnijih nalaza vezano uz ovu tematiku naveden je u nastavku (Dimitriou et al., 2012.a).

- Plantaže KKO-a u pravilu karakterizira veća raznolikost i brojnost vrsta ptica u usporedbi s oraničnim površinama, međutim nema vrsta koje su specijalizirane na gnijezđenje u plantažama KKO.
- Ptice gnjezdarice na plantažama KKO uglavnom su česte te stoga nisu ugrožene.
- Ugrožene gnjezdarice pojavljuju se u malom rasponu i one su uglavnom ograničene na mlade KKO-ove ili na rubove plantaža KKO-a.
- Pogodnost staništa KKO-ova za gnjezdarice općenito uvelike ovisi o starosti i strukturi vrba/topola te se različite vrste ptica povezuju s različitim dobnim razredima KKO-a.
- Kako se povećava starost plantaže i visina stabala mijenja se i sastav gnjezdarica od vrsta otvorenih staništa prema vrstama koje se gnijezde u grmlju te potom vrsta koje izvorno nastanjuju šumska staništa.
- Panjače starosti 2 – 5 godina su najbogatije vrstama.
- Raznolikost faune ptica i brojnost jedinki također je povezana s gustoćom plantaže te povećanom prisutnošću korova.
- Različiti broj gnjezdarica rezultat je brojnih čimbenika poput različite površine areala, intenzitet upravljanja, izgled krajolika i fond regionalnih vrsta.
- Ukupni utjecaj KKO-a na raznolikost faune ovisiti će uvelike o tome koje stanište plantaža zamjenjuje na određenoj parceli, odnosno o tome što je bilo na parceli prije podizanja plantaže te o karakteristikama krajolika u kojem se plantaža osniva.

Ako se KKO osniva na površini prethodno homogenog i intenzivno obrađivanog krajolika (npr. na oko 20% takve površine) možemo očekivati povećanje (Dimitriou et al., 2012.a):

- vrsta ptica jer plantaže KKO pružaju novu vrstu staništa
- ptica gnjezdarica povezanih sa šumama ukoliko područja KKO-ova dosegnu stadij nalik šumi (visina topola/vrba > oko 8 m)
- vrsta koje se gnijezde u grmlju, ukoliko su određena područja plantaže dosegla grmoviti stadij s značajnim povećanjem vegetacije i visine stabla > 1 m.
- brojnosti vrsta ptica koje vole rubna područja (drveće ili grmlje prema otvorenim staništima, oranicama, livadama), povećava se kod manjih i izduženih plantaža.
- vrsta koje preferiraju neodržavane travnjake s visomim travama i drugim biljkama kakvi su prisutni na rubnim djelovima plantaže.
- blago povećanje broja ugroženih vrsta uzrokovano pristupnošću određenih struktura KKO (npr. vegetacija visokog bilja, ekotoni)

Brojnost ptica koje zahtjevaju otvorena staništa za gnježenje i prehranjivanje jednak je kao i kod usjeva.

Još jedan pozitivan učinak KKO-a je raznolikost **beskralješnjaka** poput gujavica, pauka, kornjaša i leptira koji su zabilježeni na KKO-ovima u biomasi iznad tla i u tlu. Zabilježen je povećani broj gujavica na plantažama KKO-a tijekom više godina (u usporedbi s poljoprivrednim poljima). Međutim, unatoč povećanom broju jedinki, KKO-ovi kojima se intenzivno upravlja vjerojatno neće pružiti botanički vrijedne lokacije pa neće biti od velike vrijednosti kao staništa za ugrožene beskralješnjake koji žive u tlu. U prilog pojavi beskralješnjaka ide općenito niski unos (pesticida) kod uzgoja KKO-a.



Slika 71. Promatrački toranj (za ptice i divljač) smješten na rubu plantaže vrbe i otvorena polja. Nekoliko ptičjih vrsta uglavnom privlače rubovi plantaže KKO-a. (Izvor: Dimitriou I.)



Slika 72. Cvijet vrbe privlači oprašivače i ostvaruje važnu ekološku uslugu (Izvor: Nordh N-E., (lijevo) Rutz D. (desno))

Jedna od posebnih koristi određenih plantaža KKO je i pružanje ispaše za pčele (pčele medarice, ali i ostale vrste pčela i njima sličnih kukaca):

- Pčelama odgovara minimalni unos pesticida, a plantaže KKO karakterizira nizak unos agro-kemikalija u usporedbi s jednogodišnjim usjevima.
- Vrbe u rano proljeće stvaraju velike količine polena (ukoliko se radi o muškim jedinkama) važnog za pčele nakon zimskog mirovanja.

- Smole pupoljaka topole i joha važan su izvor propolisa. Propolis je mješavina smola i meda koju pčele prikupljaju s pupoljaka, mjesta istjecanja biljnih sokova i dr. Pčele koriste propolis za higijenu košnice, ali i za zatvaranje određenih otvorenih prostora u košnici.
- Prateća vegetacija pri tlu plantaže važan je izvor nektara.
- Cvjetovi bagrema (*Robinia pseudoacacia*) proizvode velike količine nektara, te su važan izvor hrane za pčele.
- Većina plantaža KKO zahtjeva određena slobodna područja za prolaz opreme za žetvu. Na navedenom području treba zasaditi autohtono livadno cvijeće kako bi se osigurala ispaša za pčele.



Slika 73. Široki rubovi između plantaža KKO-a omogućuju rast drugim vrstama biljaka, ali osiguravaju koridore za divlje životinje (Izvor: Nordh N-E.)

U nastavku su dane preporuke čiji je cilj sprečavanje negativnih posljedica i povećanje pozitivnih utjecaja KKO na raznolikost životinjskih vrsta (Dimitriou et al., 2012.a):

- Gdje god je to moguće, plantaže je potrebno oblikovati tako da je omjer vanjskog ruba naspram unutrašnjosti plantaže značajan.
- Potrebno je u oblikovanju plantaže koristiti različite sorte i klonove.
- Potrebno je dati prednost sječi u blokovima različite starosne strukture (različite ophodnje).
- Velike pojedinačne plantaže/površine KKO trebalo bi razdvojiti živicama ili stazama.

- Ukoliko je moguće, te u slučaju uzgoja kulture vrbe, preporuča se na jednoj plantaži zasaditi klonove s različitim vremenima cvatnje.
- Uporaba pesticida trebala bi se izbjegavati. Preporučaju se biološke mjere suzbijanja korova i nametnika.
- Određeni postotak plantaže trebao bi se namijeniti za mala staništa poput linijskih površina travnjaka ili prijelaznih površina s plantaže u druga staništa na granicama plantaže.
- Potrebno je izbjeći osnivanje novih plantaža KKO na staništima visoke ekološke vrijednosti poput močvara, vlažnih livada, suhih ugara, polu-prirodnih travnjaka.

9.3. Tlo

Kao jedna od velikih prednosti uzgoja KKO-a za na poljoprivrednim površinama navode se pozitivni učinci na kvalitetu tla kada se umjesto poljoprivrednih usjeva uzgaja KKO. Detaljna lista svih prednosti KKO-a navedena je u nastavku, a odnosi se na plantaže KKO koje su osnovane prije više godina (npr. preko 15 god.) (Dimitriou et al., 2012.b).

- Pohrana ugljika (C) u organskoj tvari tla viša je kod KKO nego kod konvencionalnih poljoprivrednih usjeva poput žitarica ili intenzivno upravljano pašnjaka.
- Stabilnost organske tvari tla viša je kod KKO-a nego kod konvencionalnih poljoprivrednih usjeva i podržava skladištenje ugljika u tlu.
- Erozijska tla je manja kod KKO nego kod konvencionalnih usjeva.
- Razina ukupnog dušika u tlu je veća kod KKO, dok je raspoloživost dušika za rast biljaka manja što je uzrokovano povećanim omjerom ugljika i dušika (C/N) u organskoj tvari u tlu kod KKO nego kod konvencionalnih poljoprivrednih usjeva.
- Raspoloživost fosfora biljkama je niža kod plantaža KKO nego kod konvencionalnih usjeva.
- Masa i gustoća tvari su nešto veće na KKO plantažama nego na površinama na kojima se uzgajaju konvencionalni poljoprivredni usjevi.
- pH tla nešto je niži kod KKO nego kod konvencionalnih usjeva
- Mikrobiološka aktivnost je nešto niža kod KKO te doprinosi akumulaciji organske tvari u usporedbi s tlom pod konvencionalnom poljoprivredom.
- Koncentracije kadmija (Cd) u tlu kod KKO su niže nego u tlu pod konvencionalnom poljoprivredom.



Slika 74. Stabljika trogodišnjeg klona topole Max3 u ožujku u Njemačkoj: lišće iz prethodne sezone još prekriva tlo (Izvor: Rutz D.)

Općenito, zbijenost tla može biti niža kod KKO nego kod ostalih usjeva jer je u potonjem slučaju sjetva mnogo češća. Nadalje, zbijenost tla može se izbjeći ako se sječa odvija zimi kada je tlo zaleđeno i kada je potražnja za energetskim drvom najviša. Također, u plantažama topola, vrba, breze i eukaliptusa uočena je povećana mikoriza (između gljiva i korjenja biljaka - ektomikoriza) u odnosu na susjedna obradiva tla, što je dobro za kruženje hranjivih tvari. Konačno, KKO se mogu koristiti za fitoremedijaciju onečišćenog zemljišta. Fitoremedijacija je tretiranje onečišćenog zemljišta (npr. teškim metalima, pesticidima, otapalima) korištenjem biljaka bez potrebe za iskapanjem onečišćenog materijala i njegovim odlaganjem. Neke vrste vrbe imaju posebnu sposobnost upijanja teških metala.



Slika 75. Polja KKO-a vrbe (u pozadini) uz uzorana poljoprivredna polja (jesen). Kada se sadi KKO, tlo se ne remeti za ostale poljoprivredne usjeve, a ugljik u tlu viši je u KKO-u nego kod drugih konvencionalnih poljoprivrednih usjeva. (Izvor: Nordh N-E.)

Kada se planira i projektira plantaža KKO-a kako bi se spriječili negativni učinci i povećali pozitivni učinci na tlo preporučuje se sljedeće:

- KKO bi trebalo uzgajati na poljima s niskim početnim sadržajem organske tvari kako bi se taj sadržaj povećao, a time i plodnost tla te pohrana ugljika u tlu.
- KKO bi trebalo uzgajati posebice u područjima s visokim rizikom od erozije tla, kako bi se smanjio gubitak plodnog površinskog sloja i hranjivih tvari putem vode i vjetra.
- Primjena kanalizacijskog mulja se preporuča u svrhu recikliranja hranjivih tvari jer ih KKO mogu iskoristiti te izlučiti teške metale iz tla (prvenstveno kadmij).

KKO bi trebalo primjenjivati za remedijaciju tla s povećanom koncentracijom kadmija (Cd), koja je rezultat npr. dugotrajne upotrebe fosfornih gnojiva koja sadrže kadmij, ili druge izvore onečišćenja okoliša.

- Plantaže KKO-a trebalo bi osnivati na istoj lokaciji najmanje tijekom tri ciklusa ophodnje kako bi se postigla poboljšanja u kvaliteti tla u pogledu pohrane ugljika i izvlačenja kadmija.
- KKO bi trebalo sjeći zimi, kada je tlo smrznuto, kako bi se izbjeglo zbijanje tla

9.4. *Voda*

Pri ispitivanju učinka KKO-a na vodu istraživanja su usmjerena na pitanja kvalitete, poput ispiranja hranjivih tvari u podzemne vode. Stoga je očekivani učinak obično pozitivan. Međutim, treba razmotriti i učinak na ocjedne vode u podzemnu vodu, na razinu same podzemne vode i na obližnje površinske vode. U tim je slučajevima očekivani učinak obično negativan, posebice u područjima gdje ljeti dolazi do oskudice vodom. U nastavku su navedeni detaljni zaključci istraživanja provedenih na plantažama KKO-a u kojima se KKO uspoređivao s ostalim vrstama poljoprivrednog zemljišta u pogledu kvalitete i količine vode (Dimitriou et al. (2012.c):

- Ocjeđivanje $\text{NO}_3\text{-N}$ u podzemne vode znatno je niže kod KKO-a nego kod konvencionalnih poljoprivrednih usjeva.
- Ocjeđivanje $\text{PO}_4\text{-P}$ u podzemne vode gotovo je jednako ili je u nekim slučajevima neznatno više kod KKO-a nego kod poljoprivrednih usjeva.
- Neznatno povećano ocjeđivanje $\text{PO}_4\text{-P}$ u podzemne vode nije bilo u korelaciji s primjenama kanalizacijskog mulja na KKO-u.
- Pokazalo se da KKO-ovi djeluju kao zaštitni pojasevi smanjujući difuzno zagađenje pesticidima.
- Znatno manje vode se ocjeđuje s polja zasađenog vrbom u usporedbi s travnjakom, tako da promatrajući područje sliva neke rijeke gdje su KKO zastupljene s >20 %, negativni utjecaj na stupac vode je umjeren.
- Sječa KKO-a vrbe rezultira porastom razine podzemnih voda u prvoj godini nakon sječe jer se manje vode gubi transpiracijom i intercepcijom.

Pri izboru lokacije i planiranju izgleda plantaža KKO-a kako bi se spriječili negativni i povećali pozitivni učinci na vodu preporučuje se sljedeće:

- KKO se može uzgajati na plantažama koje se nalaze blizu izvora dušika (npr. životinjske farme, zone osjetljive na nitrate, postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda itd.) kako bi se smanjio izljev dušika u obližnje vode.
- KKO bi se trebao uzgajati u područjima na kojima se očekuje niska razina podzemne vode (potencijalno poplavljena područja i područja u blizini vodotoka koji potencijalno mogu plaviti).
- Primjena kanalizacijskog mulja za recikliranje hranjivih tvari ne utječe na kvalitetu vode te bi je stoga trebalo poticati.
- Češća sječa dovodi do višeg prosječnog punjenja stupca podzemne vode, te se shodno tome i preporučuje kako bi se spriječili mogući negativni utjecaji na redukcije u punjenju podzemnih voda.

9.5. *Korištenje pepela i kanalizacijskog mulja kao gnojiva*

KKO je usjev koji se uzgaja na poljoprivrednom tlu koje ne služi za prehranu ljudi ili životinja te bi stoga mogao biti prihvatljivo rješenje za prihvatanje kanalizacijskog mulja iz postrojenja za obradu otpadnih voda budući da je rizik od izravnog zagađenja hranidbenog lanca minimalan. Ova metoda u skladu je s političkim odlukama u Europi kojima se u poljoprivredi potiče recikliranje fosfora (koji je resurs ograničenih zaliha) i dušika, te osim toga doprinosi i povećanju ugljika u poljoprivrednom tlu. Međutim, osim hranjivih tvari, kanalizacijski mulj može sadržavati i teške metale. Stoga se razina teških metala u tlu nakon primjene mulja mora kontrolirati. Nadalje, tokove teških metala u sustavu tlo-biljka treba regulirati kako bi se izbjeglo njihovo prekomjerno nakupljanje, a time i negativni utjecaj na buduće usjeve (nakon plantaže)

namijenjene ishrani životinja ili ljudi. U svim europskim zemljama postoje propisi o ukupnoj količini primijenjenog mulja i o dopuštenim koncentracijama teških metala u tlu nakon primjene mulja. Ti se propisi razlikuju od zemlje do zemlje pa se je kod takvih primjena potrebno savjetovati s lokalnim agencijama za zaštitu okoliša.

Kanalizacijski mulj nije uravnoteženo gnojivo u pogledu biljnih hranjivih tvari jer sadržava nešto dušika (uglavnom organski vezanog) i visoke količine fosfora, a vrlo malo kalija. Stoga se na plantaže KKO-a može primijeniti mješavina mulja i drvnog pepela, ukoliko je drveni pepeo dostupan (Dimitriou et al., 2006.). Drveni pepeo sadrži visoke količine kalija i vrlo malo fosfora te ne sadrži dušik. Ovo uravnoteženo gnojivo zamjenjuje konvencionalnu gnojidbu KKO-a mineralnim gnojivima, iako se u nekim slučajevima može koristiti dodatni dušik kako bi se ispunili zahtjevi za gnojidbom. Biljke preuzimaju štetne tvari i fosfor iz tla čime minimiziraju njihovu akumulaciju u tlu. Pri sječi se dijelovi izdanaka koji sadrže teške metale uklanjaju iz sustava i spaljuju. Pepeo nastao izgaranjem uključuje pepeo s dna peći s niskim koncentracijama teških metala i leteći pepeo visokih koncentracija teških metala. Na plantaži KKO-a primjenjuje se samo pepeo s dna peći. Leteći pepeo s visokim koncentracijama teških metala sigurno se odlaže na odlagališta, odnosno, uklanjanja iz ciklusa.

Mješavine mulja i pepela primjenjuju se na KKO tijekom stadija osnivanja i nakon svake sječe – drugim riječima, svakih tri do pet godina – kako bi se nadoknadilo uklanjanje hranjivih tvari sječom. U praksi, količine primijenjenih mješavina prilagođavaju se maksimalnim dopuštenim količinama fosfora (obično su restriktivne, primjerice, za Švedsku iznose oko 22 do 35 kg fosfora po hektaru godišnje).



Slika 76. Nanošenje kanalizacijskog mulja (ovdje u smjesi s drvnim pepelom) česta je praksa u Švedskoj. (Izvor: Dimitriou I.)

Kadmij se smatra jednim od najštetnijih metala za ljudsko zdravlje. Vrba ima sposobnost unosa visokih količina kadmija u svoje izdanke. Kada se biomasa spali, kadmij i ostali teški metali ostanu u različitim frakcijama pepela. To omogućuje njihovo razdvajanje od pepela koji se

koristi za gnojidbu. Budući da se ova usluga obično ne plaća, često se na odlagališta odlaže cjelokupni pepeo sa svim njegovim hranjivim tvarima.

9.6. Agrošumarski sustavi

Agrošumarstvo je sustav upravljanja zemljištima u kojemu se drveće, u ovom slučaju vrste KKO-a, uzgaja oko usjeva ili pašnjaka ili između njih. Takav sustav kombinira poljoprivredne i šumarske tehnologije kako bi stvorio sustave iskorištavanja zemljišta koji su raznolikiji, produktivniji, isplativiji, zdraviji i održiviji.

Prilike za agrošumarske sustave s KKO-om postoje, posebice na vrlo velikim poljima kojima prijete velik rizik od erozije tla. Studije su pokazale da plantaža KKO-a ima pozitivan učinak i na mikroklimu. Čak i povećano područje sjene ljeti ima pozitivan učinak na prinose pšenice i proizvodnju uljane repice uz polje KKO-a (Slika 72).

Nadalje, postoje primjeri u kojima agrošumarstvo s KKO-om uključuje i uzgoj životinja poput pilića. Pokazalo se da agrošumarstvo, posebice u tropima, poboljšava kvalitetu tla pa time i sigurnost prehrane za male poljoprivrednike (Kaufmann et al. n.d.).



Slika 77. Agrošumarski sustav na polju od 40 ha u Dornburgu, Njemačka: Linije KKO-a topole imaju funkciju zaštite od vjetrova i pozitivno utječu na mikroklimu ovog velikog polja. Nekada su na ovih 40 ha bile zasađene samo monokulture jednogodišnjih usjeva. (Izvor: Rutz D.)

10. Ekonomska isplativost KKO

Izračuni koji se odnose na isplativost KKO-a značajno se razlikuju i bilo je mnogo slučajeva u kojima su se KKO pokazale dobrim poslovnim odabirom za poljoprivrednika, ali i slučajeva u kojima se KKO nisu pokazale isplativima kao što je prethodno bilo izračunato. Razlog tome je činjenica da isplativost ovisi o nekoliko čimbenika koji opet ovise o lokaciji plantaže. Takvi čimbenici odnose se i na troškove upravljanja plantažom KKO koji se razlikuju od zemlje do zemlje, unutar iste zemlje ili čak među poljoprivrednim gospodarstvima iste zemlje (ako, npr.

već postoje strojevi koji se mogu koristiti za rad sa KKO), ali i na dobit jer se cijene prodaje drvene biomase mogu razlikovati od mjesta do mjesta i, naravno, od zemlje do zemlje.

Prodajna cijena drvene biomase posebice ovisi o cijenama drugih izvora energije u jednoj zemlji ili području i može se mijenjati tijekom godina ili unutar godine ovisno o razdoblju. Svi ti čimbenici otežavaju generalizaciju kada se govori o isplativosti uzgoja KKO i čine ga rizičnim. Stoga se u ovom dijelu Priručnika umjesto općenitih izračuna navoe ekonomski detalji nekoliko konkretnih primjera uzgoja KKO u nekoliko dijelova Europe s različitim upravljanjem (Dimitriou *et al.*, 2014.b). Usporedba će zato biti lakša, a koristit će se realni brojevi i činjenice. Kako bi se omogućio holistički pristup, prije ekonomskih izračuna s navedenim troškovima i dobiti, navode se informacije o metodi uzgoja KKO, upravljanju te drugi povezani podaci.

10.1. 1. primjer: KKO vrbe u Grästorpu, Švedska

Ovaj primjer predstavlja uzgoj KKO vrbe na poljoprivrednom zemljištu. Drvna sječka vrbe, ali i ostala drvna biomasa, koristi se za proizvodnju bioenergije u toplani lokalnog centraliziranog toplinskog sustava. Na poljoprivrednom gospodarstvu Puckgården (ukupno 50 ha) na 21 ha se uzgaja KKO vrbe za biomasu za proizvodnju energije. Na ostatku poljoprivrednog gospodarstva uzgajaju se zob, pšenica, grašak i uljana repica. Puckgården je član mjesnog udruženja poljoprivrednika uzgajivača vrbe, koje čini ukupno 12 poljoprivrednika koji uzgajaju vrbu na približno 100 ha. Članovi udruženja surađuju u svim aspektima upravljanja vrbom: udruženje od poduzetnika naručuje sječu (svaki član zasebno plaća poduzetnicima na osnovi cijene rada), prevozi sječku i prodaje istu toplani lokalnog centralnog toplinskog sustava (CTS). Poljoprivrednik u Puckgårdenu, također, sječka/ivera biomasu i prodaje CTS-u. CTS poljoprivrednicima daje naknadu u €/m³ drvene sječke, što je poljoprivrednicima povoljno jer se ne uzimaju u obzir razlike u kvaliteti goriva.

Različita polja vrbe u Puckgårdenu osnovana su 1991., 1992. i 1993. kada su nepovratna poticajna sredstva za sadnju iznosila 10 000 SEK (oko 1 110 eura, 1 € = 9 SEK) te su tada obuhvaćala sve troškove plantaže. Poljoprivrednik je nanosio oko 100 kg N po hektaru svaki put u drugoj godini nakon sječe. Plantaža, također, prima i nešto otpadne vode s okolnih farmi, ali su količine hranjivih tvari po hektaru niske pa se otpadne vode više koriste za kompenzaciju vode tijekom ljeta.

KKO vrbe se sijeku svake četvrte godine u rano proljeće (ožujak) kada je tlo još uvijek zaleđeno. Sječa se provodi strojem za direktno iveranje Claas Jaguar, a provodi je lokalni poduzetnik. Proizvodnja biomase varirala je između 8 i 10,7 t ST/ha god. Drvna sječka vrbe pohranjuje se u hrpama približno jedan mjesec izvan polja, a potom se prevozi i prodaje CTS-u u Grästorpu. CTS ima kapacitet od 3,5 MW i u 40%-tnom je vlasništvu općine i 60%-tnom vlasništvu zadruge Lantmännen (poljoprivredna zadruga u vlasništvu velike većine aktivnih poljoprivrednika u Švedskoj). CTS toplinskom energijom opskrbljuje općinske zgrade u općini Grästorp (broj stanovnika oko 5 641) i privatne stanove. Tijekom razdoblja od šest mjeseci CTS-ov kotao kao gorivo koristi samo drvenu sječku vrbe (ostatak godine ostale šumsku sječku), no sječku treba pohraniti na razdoblje od jednog mjeseca uz polje u Puckgårdenu kako bi se posušilo, tj. da bi je CTS postrojenje primilo.

U nastavku su dani izračuni o proizvodnim troškovima i prihodu u €/ha/god. za cjenovne razine u 2011. Nisu uključena plaćanja pojedinačnih farmi. Troškovi povezani sa sadnjom (npr. oprema za sadnju, reznice i troškovi rada) iznosili su približno 1 110 €/ha te su uključeni u Tablicu 16.

Tablica 16. Troškovi proizvodnje, prihod i dobit u €/ha/god za polje vrbe u Puckgårdenu.

| Troškovi (€/ha/god) | |
|---------------------|------------|
| Gnojidba | 38 |
| Održavanje | 22 |
| Sječa | 139 |
| Prijevoz | 105 |
| Opći troškovi | 55 |
| Kamata | 11 |
| Ukupno | 370 |

| Prihod (€/ha/god) | |
|-------------------|------------|
| Sječka | 864 |
| Ukupno | 864 |

| | |
|-------------------------|------------|
| Dobit (€/ha/god) | 494 |
|-------------------------|------------|

* Izračuni su temeljeni na valutnom tečaju 1 € = 9 SEK te za polje vrbe četverogodišnje ophodnje koja se uzgaja u ciklusu od pet ophodnji

** Uključeni su svi troškovi, osim troškova vlasništva zemlje

*** Administrativni troškovi, telefon i putni troškovi obuhvaćeni su pod "Općim troškovima"

Ako uključimo nižu proizvodnju i više troškove zbog početnog ciklusa rezanja, izračuni za plantažu vrbe prikazani su u Tablici 17.

Tablica 17. Izračuni dobiti plantaže vrbe u Puckgårdenu tijekom petog ciklusa ophodnje, a koji traje četiri godine, ali i kada se u obzir uzmu sve ophodnje (uključujući manje produktivnu prvu ophodnju)

| | Proizvodnja biomase (t/ha/god) | Cijena sječke (€/t ST) | Troškovi proizvodnje (€/t ST) | Nepovratna naknada za sadnju (€/ha/god.) | Dobit (€/ha/god) |
|---------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------|--|------------------|
| 5. ophodnja | 9,5 | 91 | 38,5 | | 494 |
| Sve ophodnje | 8,8 | 91 | 52 | 50,5 | 392 |

* Izračuni su temeljeni na valutnom tečaju 1 € = 9 SEK te za polje vrbe četverogodišnje ophodnje koja se uzgaja u ciklusu od pet ophodnji

** Uključeni su svi troškovi, osim troškova vlasništva zemlje

10.2. 2. primjer: KKO vrbe u SIA ECOMARKU, Latvija

U ovom primjeru opisuje se proizvodnja drvene sječke od KKO vrbe na napuštenom zemljištu i proizvodnja iz drugih dostupnih izvora drvene biomase u Latviji. U Latviji su sve važniji zahtjevi za kvalitetnom drvnom sječkom ili briketima i peletima za proizvodnju toplinske i/ili električne energije, ali i za drvnim građevnim materijalom. Spomenuta potražnja glavna je motivacija pokretanja start-up društava koja se bave uzgojom vrbe na poljoprivrednim površinama. Glavni cilj takvih društava je proizvodnja i prodaja obnovljive sirovine od brzorastućih vrsta koje se uzgajaju na napuštenom poljoprivrednom zemljištu za proizvodnju toplinske i električne energije. Društvo Sia Ecomarc sklopilo je ugovor sa švedskom tvrtkom Salixenergy AB o proizvodnji i prodaji sadnog materijala u Latviji. Jednogodišnji izdanci koriste se za proizvodnju reznica kao sadnog materijala za nove plantaže. Kako bi bila što neovisnija u uzgoju KKO, Sia Ecomarc je 2012. godine kupila dva stroja za sadnju KKO-a u formi dvoreda.

Ovaj posao proizašao je s male plantaže vrbe posađene radi demonstracije i učenja kroz uzgoj vrbe na poljoprivrednom tlu. U inicijalnoj sadnji korišteni su tada najbolji dostupni klonovi vrbe, odnosno švedski klonovi Tora i Torhild, ali također i materijal iz Litve i Mađarske. Mađarski klonovi *Salix alba* mogli bi preživjeti u latvijskim uvjetima, no njihovi izdanci od 2008. godine pate od oštećenja uzrokovanih mrazom. Inicijalna ideja o sadnji drveća kao poljoprivrednog usjeva u obliku panjača za proizvodnju energije iz drva inspirirana je primjerima iz Švedske. U tim inicijalnim razdobljima poljoprivredno je zemljište bilo vrlo jeftino i ekonomski isplativo (500 – 700 €/ha). Tijekom posljednjih godina zemljište je postalo preskupo, pa su tako čak i napuštena područja dostigla cijene do 1 100 €. Društvo se bavi i poboljšanjem poljoprivrednog zemljišta uklanjanjem prirodno nastalih populacija mješovitih listopadnih šuma, čija se biomasa koristi za proizvodnju sječke.

Tijekom posljednjeg tromjesečja 2012. godine društvo SIA Ecomarkt počelo je proizvoditi drvenu sječku. SIA Ecomarc planira koristiti industrijski sjekač i mjesečno proizvoditi oko 7 000 m³ sječke. Drvena sječka proizvodi se od različitih tržišno dostupnih materijala: od poljoprivrednih i šumskih ostataka, ostataka iz pilana, ogrjevnog drveta, grmova i malog drveća s napuštenih poljoprivrednih površina. Usluge iveranja mogu se kupiti od specijaliziranih poduzeća. Plantaže vrbe osnovane su u proljeće 2012., a posječene su u zimu 2014. – 2015.

U nastavku su prikazani stvarni troškovi (za 2013.) različitih koraka upravljanja ovom plantažom. Imajte na umu da poduzeće tada još nije posjeklo plantaže vrbe pa stoga nema podataka (troškova) o toj aktivnosti.

- cijena za odobreni sadni materijal: 0,065 €/reznica ili 0,325 €/m (troškovi po ha jednaki su 780 – 975 €);
- priprema tla: 230 – 360 €/ha (uključujući tretiranje kemikalijama, oranje, uklanjanje korijenja drveća i kamenja, tanjuranje i drljanje prije sadnje);
- sadnja: 215 €/ha
- mehanička kontrola korova (uklanjanje korova drljačom između dva reda): 55 €/ha (jednom provedeni)
- kontrola korova herbicidima (Stomp CS) 80 €/ha

10.3. 3. primjer: KKO topole u Göttingenu, Njemačka

Njemački proizvođač kotlova i sustava za grijanje Viessmann prije nekoliko je godina pokrenuo vlastiti energetska program „Učinkovitost plus“. Glavni cilj programa je opskrba vlastitih industrijskih postrojenja toplinskom energijom proizvedenom iz drvene biomase, uglavnom iz KKO-a topole. U kotlu na biomasu koristi se drvena sječka iz KKO-a koja se uzgaja na 180 ha poljoprivrednog zemljišta.

Kako bi se osigurala drvena sječka za kotao, poduzeće Viessmann osnovalo je posebno društvo za najam ili kupnju lokalnog poljoprivrednog zemljišta u svrhu osnivanja plantaža KKO za

potrebe postrojenja. Njihova vlastita plantaža registriranog podrijetla posječena je 2007., a sirovinski materijal je u svibnju 2008. godine iskorišten za sadnju prvih 130 hektara KKO-a topole. Nadalje, na ostalim malim područjima zasađene su druge vrste KKO-a poput paulovnije, vrbe i ostalih.

Plantaže KKO-a prvi su put posječene 2009.-2010. i proizvedena je drvna sječka koja je iskorištena za grijanje tvornice Viessmann.

KKO plantaža poduzeća Viessmann jedan je od primjera najbolje prakse u Njemačkoj zbog sljedećega:

- Od samog začetka, u projekt su uključeni svi navedeni partneri: uprava za očuvanje prirode, ured za upravljanje vodama, lokalna tijela i općine, poljoprivredna uprava, sindikat lokalnih poljoprivrednika i lokalna lovačka zadruga.
- U Allendorfu, tj. na plantaži KKO-a provedeno je nekoliko istraživačkih projekata, a neki su od njih još traju poput projekata „ELKE”, „ProLoc II” i „Naturschutzfachliche Anforderungen an KUP”. Njima se postižu aspekti održivosti za KKO u Njemačkoj.
- Projekt je osvojio nekoliko nagrada, poput Njemačke nagrade za održivost (2009., 2011.), Nagrade za energetska učinkovitost 2010. i Globalne energetske nagrade, 2012.

Prve sadnice zasađene su 2008. godine, no nema dostupnih podataka o gustoći plantaže (npr. broj sadnica po ha) i količini sadnica. Razlog tomu leži u činjenici da je za svaku plantažu razvijen pojedinačan plan sadnica. U nastavku su navedeni neki klimatski podatci o Allendorfu.

- visina: 250 – 708 m nadmorske visine
- tlo: pješčenjak u gornjem sloju
- srednja godišnja temperatura: 6,5 – 8,5 °C

Uzimajući u obzir činjenicu da poduzeće Viessmann proizvodi sustave za grijanje, poput kotlova na drvo, plantaža KKO-a savršeno se uklapa u bioenergetski lanac Allendorfa. Nadalje, upotreba biomase iz KKO-a čini se idealnom i iz razloga što smanjuje pritisak na povećanje korištenja drvene biomase iz šuma na tom području. Međutim, u budućnosti je potrebno poboljšati neke tehnike, uglavnom one koje se odnose na sječu i kvalitetu proizvedene drvene sječke.

Na temelju prakse sječe u Allendorfu napravljen je izračun koji je prikazani su u tablici 17. zajedno s nekim pretpostavkama koje su naznačene.

Tablica 18. Pregled izračunatih troškova i prihoda (u €) plantaže KKO-a u Alendorfu (Izvor: von Harling and Viessmann ; 2009)

| Kategorije troškova/prihoda | Troškovi | Prihodi* | Komentari |
|---|----------------|--------------|---|
| Reznice | 1 650 | | 11 000 reznica po ha |
| Reznice (vlastita proizvodnja) | 0 | | |
| Herbicid ujesen (kemijska zaštita) | 20 | | Cijena / reznica 0,08 – 0,23 €/komadu (0,15 €/komad) |
| Primjena kemijske zaštite | 22 | | |
| Okopavanje, jesen | 94 | | Primjena kemijske zaštite (jesen) 5 l/ha |
| Herbicid, proljeće (kemijska zaštita) | 12 | | Primjena kemijske zaštite (proljeće) 3 l/ha |
| Primjena kemijske zaštite | 22 | | |
| Drljanje, proljeće | 47 | | |
| Troškovi sadnje i osnivanja | 1 100 | | |
| Malčiranje svako ljeto | 33 | | |
| Troškovi sječe | 7 500 | | Sjekač 15 €/t Logistika prijehoza 10 €/t |
| Financijske izjave i porezi | 2 071 | | |
| Socijalni doprinosi za zaposlenike: | 1 036 | | |
| Konzultacije | 31 | | |
| Trošak zaposlenika (Viessmann) | 3 000 | | |
| Rekonverzacija (1 000 €/ha) | 1 000 | | |
| Prodaja drvene sječke (Viessmann) | | 19 500 | Prodajna cijena (drvene sječke): 65 €/t potpuno suha tvar |
| Nepovratna sredstva | | 571 | |
| Potvrde o zakupu (zajam livada i pašnjaka) | | 166 | |
| Bonus (energetski usjevi) | | 300 | |
| Računi za slanje reznica iz vlastite proizvodnje | | 0 | |
| Bilanca | - 4 000 | 6 899 | 2 899 |

*Pretpostavka: Korištenje plantaže 30 godina (oranje nakon svake 2 – 3 godine).

10.4. 4. primjer: KKO vrbe u Bretanji, Francuska

U Bretanji je od 2004. do 2007. godine zasađeno 100 ha vrbe za lokalnu proizvodnju toplinske energije u sklopu istraživačkog projekta „EU Life Environment“. Cilj projekta bio je zasaditi KKO u regiji i pokazati korisnosti KKO u pročišćavanju otpadnih voda. Poseban naglasak stavljen je na ekonomsku održivost projekta, na pronalazak najboljih praksi i kultura za navedeno područje te na načine razvoja područnog lanca proizvodnje. Provedene su različite studije kako bi se utvrdili kriteriji i analizirali rezultati te omogućila primjena koncepta i na druga

zainteresirana područja. Rezultati projekta Wilwater predstavljeni su u skladu s trima različitim modelima te prema glavnim ciljevima projekta.

- 1. cilj: proizvesti drvenu sječku za proizvodnju toplinske energije.
- 2. cilj: zaštita prirodnog okoliša, navodnjavanje pročišćenom otpadnom vodom ili zaštita slivnih voda
- 3. cilj: primjena mulja iz postrojenja za pročišćavanje vode

Projekt Wilwater pokrenut je kako bi se utvrdio višekriterijski pristup KKO-u te kako bi se nadišli ekonomski problemi povezani uz proizvodnju KKO-a u Francuskoj. Uistinu, u zemlji ima malo plantaža KKO-a za proizvodnju toplinske energije, politička potpora je marginalna te je bilo važno pronaći nove načine uvođenja KKO-a. Svi dionici uključeni u projekt tvrde da njihovi motivi nisu bili samo ekonomske prirode nego:

- da postanu autonomniji (proizvodnjom vlastite energije, osiguranjem trajnosti sustava zbrinjavanja mulja, kreiranjem područnih lanaca opskrbe)
- stvaranje novih regionalnih i lokalnih partnerstava (jačanje kapaciteta među dionicima)
- imidž (komunikacija inovativnih aktivnosti)

Sklopljena su partnerstva između lokalnih općina koje rukovode jedinicama za proizvodnju toplinske energije, lokalnih postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, poljoprivrednika i lokalnih energetskih poduzeća. Tijekom trajanja projekta obrađeno je nekoliko pilot lokacija s posebnim poslovnim strategijama. U nastavku je opisana poslovna strategija jedne od lokacija osnovane tijekom projekta u selu Pleyber-Christ.

Pleyber-Christ je selo s 2 800 stanovnika. Otpadna voda raspršuje se po KKO-u vrbe (100 m³/ha tijekom razdoblja od 3 godine) koja se potom koristi kao drvena sječka za proizvodnju toplinske energije za grijanje općinskih zgrada (150 kW). Procjenjuje se da godišnja potrošnja energije iznosi 217 MWh, što je ekvivalent 110 tona drvene sječke pri vlažnosti od 25 posto. KKO je na javno zemljište posadilo poljoprivredno poduzeće sa strojem STEP (trošak od 2 800 €/ha, uključujući pripremu zemljišta). Mulj u prvoj i drugoj godini nanose na plantažu seoski poljoprivrednici organizirani u zadrugu (CUMA de Pleyber-Christ). Treće godine vrba je previsoka za takvu vrstu stroja. Prva sječa KKO-a odvija se u trećoj godini te se ponavlja svake treće godine. Sječu obavlja regionalna zadruga (CUMA Breizh Energie) strojem STEMSTER, koji je u vlasništvu zadruge. Zadruga seoskih poljoprivrednika zadužena je za prijevoz drvene sječke do postrojenja za sušenje kojim upravlja mjesna zadruga (Société Cooperative d'Intérêt Collectif) koja je osnovana u tu svrhu. Projekt je ostvario bespovratna sredstva na različitim razinama (primjerice, 50 % za sustav proizvodnje topline s regionalne razine). Procjenjuje se da će općina uštedjeti 20 000 € godišnje zamjenom fosilne energije s energijom iz KKO-a.

U Bretanji je od 1998. do 2001. posađeno 13 ha KKO-a u 10 različitim zona kako bi se ispitala ekonomska i tehnička održivost takvih plantaža. Od 2002. do 2005. u selu je zasađeno 5 ha kako bi se ispitalo nanošenje mulja na KKO, što je povezano s izgradnjom toplane. Association d'Initiatives Locales pour l'Energie et l'Environnement (AILE) bio je partner na ovim projektima te je pokrenuo projekt Wilwater kako bi omogućio praćenje tih pokusa.

Usmjerenost na pročišćavanje/primjenu otpadne vode na plantaži stavljena je tek nakon promjene novog zakona prema kojem poljoprivrednici više nisu mogli primjenjivati mulj na svojim poljima (za proizvodnju hrane) te su morali pronaći druga rješenja. Općine su pokrenule partnerstva s lokalnim poljoprivrednicima i industrijama kako bi pronašle inovativne načine za prevladavanje ove promjene.

KKO plantaže su zasađene s posebnim strojem za sadnju i s četiri različite sorte vrbe, koje su odabrane zbog svoje produktivnosti i otpornosti na hrđu lista (Björn, Tora, Torhild i Olof). Gustoća sadnje iznosi 16 000 reznica po hektaru. U svrhu suzbijanja korova primijenjeni su proizvodi koji sprječavaju nicanje korova kao i biorazgradiv plastični pokrov. Razvijeni su poljoprivredni strojevi za mehaničko plijevljenje između redova te posebni strojevi za aplikaciju mulja po vrbama starima dvije i tri godine.

Kako bi se sve prilagodilo klimatskim uvjetima u Bretanji, odlučeno je sjeći plantažu u dvije faze: sječa i potom dobivanje drvene sječe kada je drvo suho i kada je otpalo sve lišće. Stroj za sječu STEMSTER u vlasništvu službe za strojeve regionalne zadruge (CUMA Breizh Energie) može posjeći do 250 ha KKO-a tijekom jedne zime te stoga može obuhvatiti sve plantaže u području.

Upotreba drvene sječke od KKO-a u lokalnom sustavu proizvodnje toplinske energije ključna je da bi projekt postigao ekonomsku ujednačenost. Čini se da je preduvjet za uspjeh ovog projekta da se drvena sječka proizvedena na plantažama KKO-a upotrebljava u lokalnim zajedničkim sustavima grijanja na vrlo maloj udaljenosti od plantaže ili da se sječka upotrebljava izravno na poljoprivrednom zemljištu za osobne potrebe poljoprivrednika. Općine u Bretanji već su imale lokalne sustave za proizvodnju toplinske energije ili su bile u procesu ulaganja u razvoj novih instalacija. Plantaže KKO-a stoga su bile dio lokalne inicijative za razvoj bioenergetskog lanca. Primjeri lokalne upotrebe drvene sječke:

- poljoprivrednik za proizvodnju toplinske energije za tri kuće
- proizvodnja toplinske energije za seosku školu
- proizvodnja toplinske energije za zgrade uprave u selu

U nastavku su prikazani izračuni proizvodnih troškova i prihoda u €/ha/god po cjenovnim razinama iz 2007. godine (Tablica 19 do Tablica 21).

Tablica 19. Troškovi proizvodnje, godina plantaže €/ha/god

| <i>Troškovi (€/ha/god)</i> | |
|---|----------------------|
| Priprema tla | 250 |
| Gnojidba | 100 |
| Tretman protiv parazita | 90 |
| Tretman protiv korova | 305 |
| Sadnja | 1 800 |
| Održavanje (mehaničko uklanjanje korova) | 85 |
| Uklanjanje korova (ostalo) | 210 |
| Uklanjanje izbojaka | 60 |
| | <i>Ukupno</i> |
| | 2 900 |

*Nisu uključeni troškovi vlasništva zemljišta

Tablica 20. Troškovi proizvodnje, sječa €/ha/god

| Troškovi (€) | donja procjena | gornja procjena |
|---|----------------|-----------------|
| Sadnja (detalje vidi u prethodnoj tablici) | 2 300 €/ha | 2 800 €/ha |
| Gnojidba (aplikacija mulja) – 1 ili 2 puta po trogodišnjem ciklusu | 180 € | 480 € |
| Uključujući sječu svake 3 godine strojem STEMSTER, iveranje i prijevoz | 850 €/ha | 1 800 €/ha |
| Godišnji trošak tijekom 20-godišnjeg razdoblja | | |
| - Sa aplikacijom mulja | 424 €/ha/god | 824 €/ha/god |
| - Bez aplikacije mulja | 370 €/ha/god | 680 €/ha/god |
| Pohrana drvene sječke (vlažnost 25 %) | 6 €/t | 36 €/t |
| Prinos (procjena) (vlažnost 25 %) | 10,7 t/ha/god | 13,3 t/ha/god |

Ulaganje u stroj za sječu STEMSTER može se optimizirati godišnjom sječom od 200 ha.

Tablica 21. Dobit plantaža KKO (troškovi plantaže i sječe smanjuju se jer nisu podugovoreni i poduzetnik ih sam obavlja).

| Dobit (€/ha/god) | maksimizirana sječa (200 ha) | danas |
|--|------------------------------|-------|
| Bez aplikacije mulja, prodano bez sušenja | 38 | -250 |
| Bez aplikacije mulja, koristi se na farmi | 406 | 118 |
| Uz aplikaciju mulja, prodano bez sušenja | -43 | -331 |
| Uz aplikaciju mulja, koristi se na farmi | 325 | 37 |

10.5. 5. primjer: KKO vrbe u Enköpingu, Švedska

Projekt obuhvaća 76 ha plantaže KKO-a vrbe koja se navodnjava otpadnom vodom iz lokalnog postrojenja za pročišćavanje otpadne vode. Biomasa se koristi za dobivanje energije u lokalnom kogeneracijskom postrojenju.

Farma Nynäs Gård surađuje s poduzećem ENA-Energi, kogeneracijskim postrojenjem, te s lokalnim općinskim postrojenjem za obradu otpadnih voda. Plantaža vrbe navodnjava se s oko 200 000 m³ vodene mješavine pročišćene i nepročišćene otpadne vode (20 000 m³ nepročišćene otpadne vode bogate hranjivim tvarima). Između poljoprivrednika i postrojenja za obradu otpadnih voda postoji 15-godišnji ugovor koji poljoprivrednika obvezuje na preuzimanje otpadne vode na svoju plantažu vrbe. Nadalje, u ugovoru se navodi da će društvo ENA-Energi primati sječku s plantaže Nynäs Gård po tržišnoj cijeni. U početku je bilo dogovoreno da sječu obavlja ENA-Energi, no poljoprivrednik je kasnije podgovorio poduzetnika koji obavlja sječu na tom području.

Plantaže KKO-a vrbe površine 76 ha zasađene su 1998. i 2000. godine. Područje je podijeljeno u različita polja: najveće ima oko 30 ha, dok su površine ostalih između 6 i 15 ha. Nepovratna sredstva za sadnju, koja su postojala u godinama sadnje, iznosila su 5 000 SEK (oko 550 eura) po hektaru i obuhvaćala su približno polovicu procijenjenih troškova osnivanja plantaže. Tlo je prije sadnje tretirano herbicidom za iskorjenjivanje korova te je bilo preorano i mehanički obrađeno drljačama prije sadnje. Mehanička obrada u svrhu suzbijanja korova obavljena je i godinu nakon sadnje. Na površini od 76 ha zasađeni su brojni klonovi vrbe u linijama (0,75 i 1,25 m unutar i među redovima vrbe te udaljenost od oko 0,5 m među biljkama vrbe u redu). Biljke se navodnjavaju otpadnim vodama tijekom vegetacijskog razdoblja koje traje oko 100 dana.

Plantaža KKO-a vrbe siječe se svake tri godine posebno dizajniranim sjekačem koji proizvodi sječku vrbe. Sječku ne treba sušiti kako bi se smanjio sadržaj vode, već se može izravno dopremiti do kogeneracijskog postrojenja koje se nalazi na oko 2 km od plantaže. Kotao ima toplinski kapacitet od 55 MW i električni kapacitet od 24 MW. Sječka vrbe upotrebljava se u mješavini s drugim izvorima drvne biomase kao gorivo za proizvodnju toplinske i električne energije.

U nastavku (Tablica 22) su dani izračuni proizvodnih troškova i prihoda u €/ha/god po cjenovnim razinama iz 2011. godine. Nisu uključena plaćanja pojedinačnim poljoprivrednim gospodarstvima. Troškovi povezani sa sadnjom (npr. oprema za sadnju, reznice i troškovi rada) iznosili su približno 1 222 €/ha te su uključeni. Nepovratna sredstva za sadnju iznosila su 555 €/ha.

Tablica 22. Troškovi proizvodnje i prihod od prodaje sječke u €/ha/god za plantažu vrbe Nynäs Gård

| | |
|--------------------------------|--------------|
| <i>Troškovi (€/ha/god)</i> | |
| Nadgledanje/Održavanje | 22 |
| Sječa | 238 |
| Prijevoz | 148 |
| Opći troškovi | 55 |
| Kamata | 15 |
| <i>Ukupno</i> | 478 |
| <i>Prihod (€/ha/god)</i> | |
| Sječke | 896 |
| Naknada za otpadne vode | 219 |
| <i>Ukupno</i> | 1 115 |
| Dobit (€/ha/god) | 637 |

* Izračuni na temelju valutnog tečaja 1 € = 9 SEK za plantažu vrbe nakon treće ophodnje u četverogodišnjim ciklusima ophodnje ** Uključeni su svi troškovi, osim troškova vlasništva zemljišta

***Administrativni troškovi, telefon i putni troškovi obuhvaćeni su pod "Općim troškovima"

Tablica 23. prikazuje izračune za plantažu vrbe u Nynäs Gårdu, ako su uključeni niža proizvodnja i viši troškovi zbog početnih ciklusa rezanja.

Tablica 23. Izračuni dobiti plantaže vrbe navodnjavane otpadnim vodama u Nynäs Gårdu tijekom treće ophodnje svake četiri godine, ali i kada se u obzir uzmu sve ophodnje (uključujući i manje produktivnu prvu ophodnju)

| | Proizvodnja biomase (t/ha/god) | Cijena sječke (€/t ST) | Troškovi proizvodnje (€/t ST) | Prihod (€/ha/god) | Naknada za otpadne vode | Dobit (€/ha/god) |
|---------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------|
| 3. ophodnja | 9 | 99,5 | 53 | | 219 | 637 |
| Sve ophodnje | 8,3 | 99,5 | 65 | 227 | 219 | 529 |

* Izračuni na temelju valutnog tečaja 1 € = 9 SEK za plantažu vrbe nakon treće ophodnje u četverogodišnjim ciklusima ophodnje.

** Uključeni su svi troškovi, osim troškova vlasništva zemljišta

11. Kulture kratkih ophodnji u Republici Hrvatskoj

Prva hrvatska iskustva u plantažnoj proizvodnji brzorastućeg drveća zabilježena su još sredinom 20. stoljeća kada se u okviru zadatka petogodišnjeg plana (1961.-1965.) predviđalo podizanje oko 75 000 ha brzorastućeg drveća, prvenstveno nasada topole (oko 50 000 ha). Plan je određivao dva smjera proizvodnje drveća na plantažama: plantaže topola i vrba u nizinama te plantaže crnogorica (sudetski i tatranski ariš) brzog rasta u prigorju (Bura, 1962.). Uzgoj tadašnjih plantaža brzorastućeg drveća bio je u dužoj ophodnji (20-30 godina) i širem razmaku u sadnji, a proizvedena drvena masa prvenstveno je služila kao sirovinaska osnova industriji celuloze i papira, proizvodnji iverica i ambalaže. Planove razvijanja nasada brzorastućeg drveća radi proizvodnje sadnog materijala (euroameričkih topola i vrba) za godišnja pošumljavanja (1000 ha), pratilo je osnivanje „Centralnog reprodukcijuskog rasadnika za čiste klonove topola“ 1960. godine u Šumskom gospodarstvu Osijek (Perić i sur., 2015). Rasadnici su osnovani i raspoređeni po cijelom području tog Gospodarstva kako bi sadni materijal bio što bliže površinama za pošumljavanje, a zbog lakše i brže manipulacije pri sadnji.

Interes za uzgajanjem brzorastućih vrsta u sustavu kratkih ophodnji javlja se tijekom devedesetih kada istraživački tim Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom prof. Kajbe razmatra razvoj plantažnog uzgoja KKO za proizvodnju biomase u energetske svrhe, a uz potporu Hrvatskih šuma d.o.o. Svrha istraživanja je razvoj i određivanje najpovoljnijih klonova vrbe i topole za naše podneblje, budući da su to vrste koje prirodno dolaze u područjima na kojima su provođeni pokusi te se koriste u pošumljavanju. Uzgoj različitih klonova vrbe na pokusnim plohama na području Šumarije Valpovo (Kajba i Andrić, 2014), ostvario je prosječne prinose suhe tvari (ST·ha⁻¹·god⁻¹) od 19,1 – 20,6 t, ovisno o starosti plantaže, tj. ophodnji. Navedeno istraživanje analizira određene parametre na pokusnim plohama autohtone bijele vrbe (*Salix alba*), hibrida bijele vrbe i kineske vrbe (*S. matsudana* × *S. alba*) te drugih varijeteta (*S. alba* var. *calva*) na marginalnim tlima (napušteno poljoprivredno tlo te tlo neprikladno za razvoj vrjednijih šumarskih kultura). Na pokusnim plohama nije primjenjivana gnojidba niti suzbijanje štetnika. Uklanjanje korova promijenjeno je samo u ranoj fazi uspostavljanja plantaže. Realno je pretpostaviti da bi se proizvodnja na marginalnim ili sličnim tlima mogla znatno povećati primjenom intenzivnijih uzgojnih i zaštitnih mjera. Usprkos niskoj razini upravljanja plantažom, rezultati istraživanih klonova pokazali su visoku produkciju

biomase. Najbolji rezultati su postignuti kod klonova hibrida *S. matsudana* × (*S. matsudana* × *S. alba*) te jednog klona *S. alba* te su za njih pokrenuti procesi registracije.

Na pokusnim nasadima topole, zasađena je američka crna topola (*Populus deltoides*), hibridi američke crne topole i europske crne topole (*P. x euramericana*), hibridi američke crne topole i balzamovca (*P. x interamericana*), te klonovi *P. trichocarpa* i *P. simonii*. (FAO, 2012). Provedeno je istraživanje (Kajba i Andrić, 2012) genetskih parametara, produktivnosti i fenotipske stabilnosti za 14 klonova topola (*P. deltoides* i *P. x canadensis*) u plantažnoj dobi od 2+5 godina u pet klonskih testova na području istočne Hrvatske, kod kojih je uočena velika međuklonska varijabilnost u produkciji i preživljavanju. Za razliku od vrba, topole su osjetljive na štetnike i bolesti. Kako bi se smanjio rizik uzgoja jednog klona (monoklonski uzgoj) i povećala stabilnost ekosustava prednost se daje uzgoju smjese od pet klonova divergentne genetske konstitucije.

Osim pokusnih nasada vrba i topola, nedavno su uspostavljeni i pokusni nasadi bagrema u kratkoj ophodnji (oko 68 ha) na području istočne Hrvatske i Like. Bagrem karakterizira brz rast i mogućnost vegetativnog razmnožavanja što omogućuje zasnivanje plantaža bagrema na širem rasponu tala (laganom i kiselijem tlu te na suhom tlu) od vrbe i topole. Međutim, takve plantaže je potrebno kontrolirati kako se bagrem ne bi nekontrolirano proširio na okolna područja.

Prof. Kajba i suradnici (2011.), procijenili su teoretski i tehnički potencijal KKO-a u Hrvatskoj. Tehnički potencijal brzorastućih nasada u Hrvatskoj procijenjen je na 3,26 milijuna t suhe tvari godišnje, odnosno 60 PJ, a temelji se na aktivaciji 46 850 ha šumskog zemljišta i 235 650 ha poljoprivrednog zemljišta na srednje prikladnim i neprikladnim tlima. Do 2015. godine taj identificirani potencijal u potpunosti ostaje neiskorišten te je razvoj KKO-a i dalje vezan uz eksperimentalne nasade i istraživačke aktivnosti vezane uglavnom uz produktivnost klonova i mjere kod uzgoja. Glavni razlozi nedovoljnog razvoja KKO-a u Hrvatskoj prepoznati su još 2010. godine u okviru projekta Biomass Energy Europe (BEE, 2010). To su: nedovoljno podataka o prikladnosti i dostupnosti zemljišta za proizvodnju, nedostatak suradnje između dionika i prijenosa znanja, povezanosti između poljoprivrednika i istraživačkih institucija, programa za informiranje javnosti te nedovoljna znanja o reprodukcijском materijalu i tehnologijama proizvodnje. Navedene prepreke su potvrđene i prilikom implementacije aktivnosti na projektu SRCplus. Koncept projekta je usmjeren na otklanjanje ustanovljenih prepreka te doprinos razvoju uzgoja i korištenja KKO-a za lokalnu proizvodnju energije.

Jedan od osnovnih problema na putu razvoja KKO-a je nepostojanje cjelovitog zakonodavnog okvira koji regulira pitanja oko KKO-a. U 2015. godini su uočeni pomaci prema regulaciji KKO uzgoja zbog ulaska Republike Hrvatske u sustav Zajedničke poljoprivredne politike te usuglašavanja ciljeva i mjera definiranih Programom ruralnog razvoja. Usvojen je **Pravilnik o provedbi izravne potpore poljoprivredi IAKS mjera ruralnog razvoja** („Narodne novine“ br. 35/2015 i 53/2015) koji utvrđuje vrste koje se mogu uzgajati u sustavu kultura kratkih ophodnji i koje se smatraju prihvatljivim za ostvarenje izravne potpore, a to su crna joha (*Alnus glutinosa*), breza (*Betula sp.*), grab (*Carpinus sp.*), kesten (*Castanea sp.*), jasen (*Fraxinus sp.*), topola (*Populus sp.*), bagrem (*Robinia pseudoacacia*) i vrba (*Salix sp.*). Započeo je i rad Radne skupine na pripremi nacrtu prijedloga **Zakona o kulturama kratkih ophodnji šumskih svojti** koji bi trebao definirati način uzgoja i korištenja KKO, popis šumskih svojti za potrebe njihova osnivanja, vrste zemljišta na kojima se mogu uzgajati, te urediti upisnik KKO-a.

Od 2015. godine Zajedničkom poljoprivrednom politikom EU-a, uvedena su nova pravila za provedbu i odobravanje izravnih plaćanja, a jedna od novosti je „zeleno plaćanje“ za provođenje poljoprivrednih praksi prihvatljivih za klimu i okoliš. Tako su korisnici koji imaju više od 15 hektara obradivog zemljišta dužni na najmanje 5 posto obradivog zemljišta (oranica) prijaviti i održavati i „Ekološki značajne površine (EZP)“. Za potrebe provedbe zelene prakse, ekološki značajnim površinama smatraju se i površine pod kulturama kratkih ophodnji na kojima se ne koriste mineralna gnojiva i sredstva za zaštitu bilja. Popis kultura za ekološki značajne površine naveden je u Prilogu navedenog Pravilnika. Nadalje **Pravilnik o evidenciji uporabe poljoprivrednog zemljišta** („Narodne novine“, broj 35/2015) u prilogu 1 definira

KKO pod šifrom uporabe zemljišta 430 kao „područja zasađena s autohtonim drvenastim vrstama (crna joha, breza, grab, kesten, jasen, topola, bagrem i vrba), a koje se na parceli nalaze u obliku drvenastih biljaka, podanaka ili panjeva koji su ostali u zemlji nakon sječe, s novim mladima koje se pojavljuju u sljedećoj sezoni i s maksimalnim ciklusom žetve od 2 godine“. U rujnu 2015. godine u ARKOD-u pod šifrom 430 bilo je zavedeno ukupno 120,12 ha na području Hrvatske, od čega najviše u Istarskoj (65,5 ha) i Virovitičko-podravskoj županiji (27,89 ha). Međutim, nije nam poznato o kojim se vrstama radi niti o kojim stadijima.

Jedno od ključnih i još uvijek otvorenih pitanja je ekonomska isplativost uzgoja KKO-a i to ne samo u Hrvatskoj. Postoje brojni primjeri i kalkulacije iz različitih europskih zemlja, no u Hrvatskoj zbog nedovoljno praktičnog iskustva nema provjerenih podataka. Kajba i suradnici (2011.) procijenili su troškove uzgoja KKO-a za klonove vrbe kroz 12 godina. Ukupni troškovi osnivanja i održavanja plantaže bi bili oko 50 000 kn/ha (preračunato na vrijednost novca u 2015. godini). Na temelju šest ophodnji (svake 2. godine) te prinosa od 12 t ST ha⁻¹·god⁻¹ došli su do ukupne proizvodnje od 144 t/ST/ha u 12 godina. Sekvestracija CO₂ u 12 godina procijenjena je na 144 t/ha. Izračun ne uključuje prijevoz sječke s polja do potrošača, kao ni eventualne poticaje za uzgoj od strane države, a temelji se na uzgoju na tlima koja nisu namijenjena za proizvodnju hrane. Materijal izložen na radionicama SRCplus projekta (Kulišić, 2015.) ističe da uzgoj KKO nije konkurentan s konvencionalnim poljoprivrednim usjevima, ali je bolja opcija od prodaje ili najma poljoprivrednog zemljišta. Istaknuto je kako u postojećim nestabilnim prilikama najbolja je ona opcija koja ostavlja dovoljno prostora za formiranje različitih lanaca dobave i više oblika korištenja energije iz KKO-a: od lokalnih lanaca proizvodnje u svrhu područnog grijanja do vlastite opskrbe drvom za loženje.

Uzimajući u obzir prosječnu starosnu dob naših poljoprivrednika, prosječnu veličinu obiteljskog poljoprivrednog gospodarstva u Hrvatskoj i prosječnu veličinu parcela u vlasništvu poljoprivrednika, osim dobivanja biomase u svrhu proizvodnje energije, KKO se također mogu imati i određenu socijalnu komponentu, te mogu predstavljati pozitivnu praksu za očuvanje kvalitete okoliša. Kao što je prikazano u poglavlju 9. ovog priručnika, uzgojem KKO-a mogu se ostvariti brojne opće korisne funkcije (usluge ekosustava), koje nikako ne bi trebale ostati zanemarene. KKO pomažu poboljšati kvalitetu vode, povećati biološku raznolikost područja, pružaju usluge ekosustava (lov, pčelarstvo, opskrba vodom, zaštita od požara), ublažavaju širenje bolesti životinja na farmama, sprječavaju eroziju, smanjuju unos umjetnih materijala (gnojiva, pesticida) i ublažavaju klimatske promjene zbog skladištenja ugljikovog dioksida. Značajan potencijal za razvoj plantaža KKO-a prepoznat je na marginalnom zemljištu koje nije prikladno za poljoprivrednu proizvodnju.

U nekim zemljama EU ekonomska isplativost uzgoja KKO-a se najčešće postiže kroz subvencije i poticaje za sadnju koje mogu biti s više područja: od ruralnog razvoja, poboljšanja stanja i zaštite okoliša do proizvodnje obnovljive energije. Međutim, u našim prilikama se čini da je prvi korak k ostvarenju ekonomske opravdanosti sadnje KKO-a osiguranje plasmana proizvedene biomase. U gospodarstvu gdje se očekuje sve manji utjecaji države na proizvodnju obnovljive energije, na poduzetniku ostaje da oformi lokalni lanac proizvodnje, prepozna lokaciju s povoljnim okolnostima (npr. postojeća toplinska mreža s toplinskom jedinicom na skupi energent, blizina pročistača voda gdje bi se voda mogla koristiti za navodnjavanje ili mulj za gnojidbu KKO plantaže...), iskoristi moguće subvencije na opremu (kreditni s povoljnijom kamatnom stopom ili nepovratna sredstva) i informira političare i lokalnu zajednicu o mogućim koristima uzgoja i korištenja KKO.

EU postaje svjesna da postojeći izvori biomase (šumarstvo, poljoprivreda i otpad) neće biti dovoljni za ispunjenje zadanih ciljeva o udjelu obnovljivih izvora za 2030. godinu, ali i za postizanje globalnog cilja zadržanja temperaturnog porasta na 2°C (Pariški ugovor, 2015.) za čije će se ostvarenje energija iz biomase trebati utrošiti (IEA, 2015.). Za očekivati je da će se interes za KKO povećati u budućnosti, a u međuvremenu je potrebno raditi na izgradnji sustava: stvaranje regulatornog okvira, povećanje znanja i kapaciteta, istraživanje i razvijanje suradnje između sektora poljoprivrede, šumarstva, zaštite okoliša i energetike na području KKO-a.

Pojmovnik i kratice

Napomena: *Pojmovnik i popis kratica opisuju i definiraju različite specifične ili opće izraze, pojmove i riječi koje se koriste u ovom priručniku. Popis je izrađen kako bi se olakšao prijevod priručnika na nacionalne jezike. Nekoliko izraza preuzeto je s Wikipedije.*

Barel ekvivalenta nafte (boe): količina energije sadržana u barelu sirove nafte, tj. približno 6,1 GJ, ekvivalentno 1 700 kWh. „Naftni barel“ mjera je za tekućine koja iznosi 159 litara; oko 7,2 barela je ekvivalentno jednoj (metričkoj) toni nafte.

Beskralješnjaci: životinje koje nemaju razvijenu kralješnicu, a razvile su se od notokorda. Uključuju sve životinje osim podkoljena Vertebrata. Poznati primjeri beskralješnjaka su insekti, rakovi, jastozi i njihovi srodnici, puževi, školjke, hobotnice i njihovi srodnici, morska zvijezda, morski ježevi i njihovi srodnici te crvi.

Centralizirano grijanje: centralizirano grijanje je sustav za distribuciju topline (toplom vodom ili parom) koja nastaje na centraliziranom mjestu za potrebe stambenog i komercijalnog grijanja, kao što su grijanje prostora i vode.

Centralizirano hlađenje: centralizirano hlađenje je sustav za distribuciju hladne vode ili mješavine vode i leda s centraliziranog mjesta za stambeno i komercijalno hlađenje, poput klimatizacijskog uređaja.

CHP: kombinirana toplana i elektrana (sin. kogeneracija): Sekvencijska proizvodnja električne energije i korisne toplinske energije iz zajedničkog energenta. Ostatna toplina iz proizvodnih procesa može se koristiti za pogon električnog generatora. Suprotno tome, višak topline iz postrojenja za proizvodnju električne energije može se koristiti u proizvodnim procesima ili u svrhu grijanja prostora ili potrošne vode.

CO₂: vidi ugljikov dioksid

Čepovanje: postupak uklanjanja mladih izdanaka kod nekih drvenastih vrsta kako bi nakon uklanjanja izrasli novi izdanci.

DKKO: drvenaste kulture kratkih ophodnji

Džul (J): metrička jedinica za energiju, ekvivalentna radu koji izvrši sila od jednog Newtona primijenjena na udaljenosti od jednog metra. 1 džul (J) = 0,239 kalorija; 1 kalorija (cal) = 4,187 J.

Ekvivalent nafte: tona ekvivalenta nafte (toe) jedinica je za energiju: količina energije koja se otpušta izgaranjem jedne tone sirove nafte iznosi približno 42 GJ.

Fosilno gorivo: fosilna goriva oblikuju se milijunima godina u prirodnim procesima kao što je npr. anaerobna razgradnja mrtvih organizama.

Gama raznolikost: Pojam gama raznolikost (γ -raznolikost) uveo je R. H. Whittaker zajedno s pojmovima alfa raznolikost (α -raznolikost) i beta raznolikost (β -raznolikost). Whittakerova ideja bila je da je ukupna raznolikost vrsta u krajoliku (γ) određena dvjema različitim stvarima: srednjom raznolikošću vrsta na pojedinim lokacijama ili staništima (α) i diferencijacijom između tih staništa (β). Prema tome, alfa raznolikost i beta raznolikost čine neovisne sastavnice gama raznolikosti: $\gamma = \alpha * \beta$.

GWP: vidi potencijal globalnog zagrijavanja

Instalirani kapacitet: instalirani kapacitet je ukupni električni i toplinski kapacitet uređaja za proizvodnju energije.

Izdanak: u botanici, izdanak označava mladicu koja se sastoji od stabljike s dodacima: listovi i lisni bočni pupoljci, peteljke s cvjetovima i cvjetni pupoljci. Novi rast iz sjemena ili korjena koji raste prema gore je izdanak na kojem će se razviti listovi. U proljeće, izdanci višegodišnjih biljaka rastu iz tla u nove stabljike.

Kapacitet: maksimalna snaga koju stroj ili sustav mogu proizvesti ili sigurno prenositi (maksimalna trenutačna proizvodnja resursa u specifičnim uvjetima). Kapacitet opreme za proizvodnju energije općenito se iskazuje u kilovatima i megavatima.

Kilovat (kW): mjera električne snage ili kapacitet grijanja jednaka 1 000 vata.

Kilovatsat (kWh): najčešće korištena mjerna jedinica za energiju. Znači jedan kilovat električne energije ili toplinu isporučene tijekom jednog sata.

KKO: kulture kratkih ophodnji, drvenaste kulture kratkih ophodnji

Kogeneracija: vidi kombinirano stvaranje topline i energije (CHP)

Kondenzacijski kotao: kondenzacijski kotlovi su grijači vode visoke učinkovitosti (obično veće od 90%) koja se postiže upotrebom viška topline u dimnim plinovima kako bi se prethodno zagrijala hladna voda koja ulazi u kotao. Mogu ih pokretati plin ili nafta, a nazivaju se kondenzirajućim kotlovima jer se vodena para koja nastane tijekom sagorijevanja kondenzira u vodu koja odvodom izlazi iz sustava.

kW_{el}: električna snaga (kapacitet)

kWh: vidi kilovatsat

kW_{th}: termalni (toplinski) kapacitet

m³: metar kubni je volumen 1 x 1 x 1 m. Jedan metar kubni iznosi oko 1 t vode.

ORC: vidi Organski Rankinov ciklus

Organski Rankinov ciklus: ORC proces naziv je dobio po svojoj upotrebi organske tekućine visoke molekularne mase s fazom promjene tekućine u paru ili točkom vrenja do koje dolazi na nižoj temperaturi od faze promjene vode u paru. Tekućina Rankinovu ciklusu omogućuje temperaturni oporavak iz nižih temperaturnih izvora kao što su postrojenja na bioplin.

Panjače: niski uzgojni oblik šume kod kojeg je većina stabala nastala ponovnim rastom izdanaka iz posječenih panjeva.

pH: vrijednost koja ukazuje na kiselost ili alkalnost otopine (ili tla). Tla s pH-vrijednosti manjom od 7 kisela su, dok su otopine s pH-vrijednosti većom od 7 bazične ili alkalne. Čista voda ima pH-vrijednost 7.

PKO: plantaže kratkih ophodnji

Potencijal globalnog zagrijavanja: GWP (global warming potential) je relativna mjera koliko topline u atmosferi može uhvatiti staklenički plin. Potencijal uspoređuje količinu topline zarobljene u određenoj masi plina s količinom topline zarobljenom u sličnoj masi ugljikova dioksida. GWP se izračunava tijekom određenog vremenskog intervala, najčešće 20, 100 ili 500 godina. GWP se iskazuje kao čimbenik ugljikova dioksida čiji je GWP standardiziran na 1. Primjerice dvadesetogodišnji GWP metana iznosi 72, što znači sljedeće: ako u atmosferu uđe ista masa metana i ugljikovog dioksida, metan će tijekom sljedećih 20 godina zarobiti 72 puta više topline od ugljikova dioksida.

Prutovi: posječene stabljike KKO-a dužine do 8 m

Reznice: komadi jednogodišnjeg pruta KKO dužine do 25 cm, a koriste se za sadnju.

Rubno područje: područje na kraju i na početku plantaže koje se koristi za okretanje strojeva, pohranjivanje sječke itd. Tijekom razdoblja u kojemu nema upravljanja na rubnim se područjima mogu zasaditi jednogodišnji usjevi, trava ili druge autohtone biljke.

SI: međunarodni sustav mjernih jedinica (kratica SI od francuskog: *Système international d'unités*) moderni je oblik metričkog sustava i općenito sustav mjernih jedinica razvijen oko sedam osnovnih jedinica i pogodnosti broja deset.

Sirovina: bilo kakav materijal koji se unosi u proces te se preoblikuje u drugi oblik ili proizvod.

Sječka: drvo rezano na komadiće veličine 5 x 5 x 5 cm

Staklenički plinovi (GHG): plinovi koji apsorbiraju toplinu sunca u Zemljinoj atmosferi, stvarajući tako efekt staklenika. Dva glavna staklenička plina su vodena para i ugljikov dioksid. Ostali staklenički plinovi su metan, ozon, klorofluorougljici i dušikov oksid.

ST: suha tvar (suha biomasa)

ŠKO: šumarstvo kratkih ophodnji

Toplina: toplina je energija koja se toplinskom interakcijom prenosi s jednog sustava na drugi. Za razliku od rada, toplina je uvijek praćena prijenosom entropije. Prijenos topline s tijela visoke temperature na tijelo niske temperature događa se spontano. Taj se tok energije može iskoristiti i djelomično preoblikovati u koristan rad pomoću toplinskog motora. Drugi zakon termodinamike zabranjuje prijenos topline s tijela niske na tijela visoke temperature, no s toplinskom pumpom vanjski se rad može koristiti za prijenos energije s niske na visoku temperaturu. U fizici „toplina“ se definira kao prijenos energije i uvijek je povezana s nekim procesom. Pojam „toplina“ može se zamijeniti pojmovima „tijek topline“ i „prijenos topline“. Do prijenosa topline može doći na različite načine: provođenjem, radijacijom, konvekcijom, masovnim neto prijenosom, trenjem ili viskozitetom te kemijskim rasipanjem.

Udio vode: omjer mase vode u nekom materijalu (biomasi) i mase samog vlažnog materijala.

Ugljikov dioksid: CO₂ je kemijski spoj, prirodnog ili antropogenog podrijetla koji se sastoji od dva atoma kisika koji su kovalentno povezani s jednim atomom ugljika. Pri standardnoj temperaturi i tlaku CO₂ je u plinovitom stanju u kojem je prisutan i u Zemljinoj atmosferi, kao plin u tragovima u koncentraciji od 0,039 posto volumena.

Vlažnost: omjer mase vode u nekom materijalu (biomasi) i mase samog suhog materijala (suhe tvari).

Vrijednost zagrijavanja: količina topline koja se otpušta tijekom izgaranja određene količine goriva (bioplin, biometan).

Vat (W): standardna jedinica mjere (SI sustav) za količinu u kojoj energiju troši neka oprema ili za količinu kojom se energija pokreće s jednog mjesta na drugo. Vat je također i standardna mjerna jedinica za električnu energiju. Pojam „kW“ znači kilovat ili 1 000 vati. Pojam „MW“ znači megavat ili 1 000 000 vati.

Latinski i hrvatski nazivi biljaka

Napomena: Općenito, navedene vrste korištene su izravno kao kulture u kratkim ophodnjama ili za uzgoj klonova ili su navedene jer su pogodne uzgoj u kratkim ophodnjama. Iskustva s prikladnošću nekih vrsta su ograničena. Uobičajeni su nazivi u širokoj primjeni, ali ponekad nisu precizni. Nazivi klonova opisani su u poglavlju 3.

| <u>Latinski naziv</u> | <u>Hrvatski naziv</u> |
|---------------------------------|--|
| <i>Alnus spp.</i> | Joha |
| <i>Alnus glutinosa</i> | Crna joha |
| <i>Alnus incana</i> | Bijela joha |
| <i>Amorpha fruticosa</i> | Čivitnjača, amorfa |
| <i>Acacia melanoxylon</i> | Australska crna akacija |
| <i>Acacia saligna</i> | Akacija |
| <i>Acer pseudoplatanus</i> | Gorski javor (gorski javor je naziv koji se koristi za mnogobrojne različite vrste roda <i>Ficus</i> , <i>Acer</i> , <i>Pseudoplatanus</i>) |
| <i>Betula spp.</i> | Breza |
| <i>Broussonetia papyrifera</i> | Papirnati dud (sin. <i>Morus papyrifera</i>) |
| <i>Corylus avellana</i> | Obična lijeska |
| <i>Eucalyptus spp.</i> | Eukaliptus |
| <i>Eucalyptus globulus</i> | Eucalyptus globulus |
| <i>Eucalyptus camaldulensis</i> | Riječni crveni eukaliptus |
| <i>Eucalyptus gunnii</i> | Eukaliptus gunnii |
| <i>Eucalyptus nitens</i> | Eukaliptus nitens |
| <i>Fraxinus excelsior</i> | Bijeli jasen |
| <i>Morus papyrifera</i> | Papirnati dud (sin. <i>Broussonetia papyrifera</i>) |
| <i>Nothofagus</i> | Južna bukva |
| <i>Paulownia</i> | Paulovnja |
| <i>Platanus occidentalis</i> | Američka platana |
| <i>Populus spp.</i> | Topola |
| <i>Populus deltoides</i> | Kanadska topola |
| <i>Populus koreana</i> | Korejska topola |
| <i>Populus maximowiczii</i> | Japanska topola |
| <i>Populus nigra</i> | Crna topola |
| <i>Populus tremula</i> | Jasika, trepetljika (ne treba miješati s <i>Populus tremuloides</i> - drhtavom jasikom) |
| <i>Populus tremuloides</i> | Drhtava jasika (ne treba miješati s <i>Populus tremula</i> - europskom jasikom) |

| | |
|------------------------------|---|
| <i>Populus trichocarpa</i> | Kalifornijska topola |
| <i>Robinia pseudoaccacia</i> | Bagrem |
| <i>Salix spp.</i> | Vrba (Većina vrsta poznata je kao vrba, ali neke grmolike vrste uskog lišća nazivaju se ivama , dok se neke vrste širokog lišća nazivaju vrbama ivama) |
| <i>Salix alba</i> | Bijela vrba |
| <i>Salix aegyptiaca</i> | Egipatska vrba |
| <i>Salix caprea</i> | Kozja vrba |
| <i>Salix dasyclados</i> | n.p. |
| <i>Salix discolor</i> | n.p. |
| <i>Salix rehderiana</i> | n.p. |
| <i>Salix schwerinii</i> | n.p. |
| <i>Salix triandra</i> | Bademasta vrba |
| <i>Salix udensis</i> | n.p. |
| <i>Salix viminalis</i> | Košaračka vrba |
| <i>Ulmus spp.</i> | Brijest |

Pretvorba mjernih jedinica

Tablica 24. Prefiksi za mjerne jedinice energije

| Prefiks | Kratica | Faktor | Količina |
|----------------|----------------|------------------|-----------------|
| Deko | Da | 10 | Deset |
| Hekto | H | 10 ² | Sto |
| Kilo | K | 10 ³ | Tisuću |
| Mega | M | 10 ⁶ | Milijun |
| Giga | G | 10 ⁹ | Milijarda |
| Tera | T | 10 ¹² | Trilijun |
| Peta | P | 10 ¹⁵ | Kvadrilijun |
| Exa | E | 10 ¹⁸ | Kvintilijun |

Tablica 25. Terminologija vezana uz volumen različitih vrsta drvene biomase na različitim jezicima

| Jezik | Terminologija | | |
|-------------------|--|---|---|
| Engleski | Solid cubic meter Solid m³ | Bulk cubic meter Bulk m³ | Stacked cubic meter Stacked m³ |
| Hrvatski | Puni kubni metar m³ | Nasipni metar Nasipni m³ | Prostorni metar Prostorni m³ |
| Češki | Plnometr-pevný metr (plm) [m3] | Sypný metr (prms) [m3] | Prostorový metr-rovnaný (prm) [m3] |
| Francuski | Mètre cube de bois plein m³ | Mètre cube apparent plaquette MAP | Stère stère |
| Njemački | Festmeter Fm | Schüttraummeter Srm | Schichtraum. (ster) rm |
| Grčki | Συμπαγές κυβικό μέτρο κ.μ. ή m³ | Χωρικό κυβικό μέτρο χύδην χ.κ.μ. χύδην | Χωρικό κυβικό μέτρο στοιβαχτού χ.κ.μ. στοιβαχτού |
| Talijanski | Metro cubo m³ | Metro stero riversato msr | Metro stero accastato msa |
| Latvijski | Kubikmetrs (cieškubikmetrs) m³ | Berkubikmetrs m³_{ber} | Kraujmetrs vai sters m³_{kr} |
| Makedonski | poln kuben metar | nasipen kuben metar | prostoren kuben meatr |
| Poljski | metr sześcienny m³ | metr nasypowy mn | metr przestrzenny mp |
| Slovenski | Kubični meter m³ | Prostrni meter prm | Nasut kubični meter Nm³ |

Tablica 26. Pretvorba mjernih jedinica za energiju (kilodžul, kilokalorija, kilovatsat, tona ekvivalenta ugljena, kubni metar prirodnog plina, tona ekvivalenta nafte, barel, britanska termalna jedinica)

| | kJ | kcal | kWh | TCE | m³ CH₄ | toe | bare |
|---------------------------------------|------------|-------------|------------|----------------------|---|---------------------|----------------------|
| 1 kJ | 1 | 0,2388 | 0,000278 | $3,4 \cdot 10^{-8}$ | 0,000032 | $2,4 \cdot 10^{-8}$ | $1,76 \cdot 10^{-7}$ |
| 1 kcal | 4,1868 | 1 | 0,001163 | $14,3 \cdot 10^{-8}$ | 0,00013 | $1 \cdot 10^{-7}$ | $7,35 \cdot 10^{-7}$ |
| 1 kWh | 3,600 | 860 | 1 | 0,000123 | 0,113 | 0,000086 | 0,000063 |
| 1 TCE | 29 308 000 | 7 000 000 | 8 140 | 1 | 924 | 0,70 | 52 |
| 1 m³ CH₄ | 31 736 | 7 580 | 8 816 | 0,001082 | 1 | 0,000758 | 0,0056 |
| 1 toe | 41 868 000 | 10 000 000 | 11 630 | 1,428 | 1 319 | 1 | 7,4 |
| 1 barel | 5 694 048 | 1 360 000 | 1 582 | 0,19421 | 179,42 | 0,136 | 1 |
| 1 BTU | 1,055 | | | | | | |

Tablica 27. Pretvorba mjernih jedinica za snagu (kilokalorije po sekundi, kilovat, konjska snaga)

| | kcal/s | kW | hp | PS |
|-----------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 kcal/s | 1 | 4,1868 | 5,614 | 5,692 |
| 1 kW | 0,238846 | 1 | 1,34102 | 1,35962 |
| 1 hp | 0,17811 | 0,745700 | 1 | 1,01387 |
| 1 PS | 0,1757 | 0,735499 | 0,98632 | 1 |

Tablica 28. Pretvorba mjernih jedinica za temperaturu

| | Jedinica | Celzijus | Kelvin | Farenhajt |
|------------------|-----------------|---|---|---|
| Celzijus | °C | - | $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$ | $^{\circ}\text{C} = (\text{F} - 32) \times 1,8$ |
| Kelvin | K | $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$ | - | $\text{K} = (\text{F} + 459,67) \times 1,8$ |
| Farenhajt | °F | $\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1,8 + 32$ | $\text{F} = \text{K} \times 1,8 - 459,67$ | - |

Literatura

- Alakangas (2009.) Fuel specification and classes, multipart standard. - http://p29596.typo3server.info/fileadmin/Files/Documents/05_Workshops_Training_Event_s/Taining_materials/english/D19_2_EN_Fuel_specification.pdf [stranica posjećena: 29. 8. 2014.]
- Anderson Group (www.grpanderson.com/de/resources/photos) [stranica posjećena: 9. 9. 2014.]
- Aronsson, P., Rosenqvist, H., Dimitriou, I., 2014. Impact of nitrogen fertilization to short-rotation willow coppice plantations grown in Sweden on yield and economy. *Bioenergy Research*, 7: 993. – 1001.
- Bärwolff M., Hansen H., Hofmann M., Setzer F. (2012.) *Energieholz aus der landwirtschaft.* – FNR, Gülzow-Prüzen, Njemačka
- BEE project (2010). Illustration case for Croatia. August 27 2010 <http://www.eu-bee.eu/ACC/components/ATLANTIS-DigiStore/BEE%20WP6%20IC%20AnnexII%20Croatia5bf5.pdf?item=digistorefile:249823:837¶ms=open:gallery> [stranica posjećena: 12. 6. 2014.]
- Biomasseverband OÖ (nema datuma) >Masse und Energiegehalt von Hackgut in Abhängigkeit vom Wassergehalt. - Biomasseverband OÖ, Austria, http://www.biomasseverband-ooe.at/uploads/media/Downloads/Publikationen/Umrechnungstabellen_Brennstoff_Holz-BMV-OOe.pdf [stranica posjećena: 9. 9. 2014.]
- Bura, D. (1962.). Plantaže topola sa poljoprivrednim kulturama. *Šumarski list*, 9-10, Godište 86; , 297-316.
- Burger F. (2011.) Energiebilanz klar positive: Kurzumtriebsplantagen. - 13/2011 AFZ-DerWald; http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/afz_der_wald_nr_13.pdf [stranica posjećena: 18. 5. 2015.]
- CARMEN (2014.) Heizwert , Wassergehalt und Gewicht. <http://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/brennstoffe/hackschnitzel/579-heizwert-wassergehalt-und-gewicht> [stranica posjećena: 9. 9. 2014.]
- Caslin, B., Finnan, J., Mc Cracken, A. (ur.) (2012.) *Willow Varietal Identification Guide*. ISBN: 10 1-84170-590-X.
- Caslin, B., J. Finnan, Mc Cracken, A. (ur.) (2010.) *Short Rotation Coppice; Willow Best Practice Guidelines.* - http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Willow_Best_Practice_Guide_2010.pdf [stranica posjećena: 21. 7.2014.]
- Dallemand, J. F., Petersen, J. E., Karp, A. (ur.) (2007.) *Short Rotation Forestry, Short Rotation Coppice and perennial grasses in the European Union: Agro-environmental aspects, present use and perspectives.* -JRC; Zbornik sa stručnih konzultacija; 17. i 18. listopada 2007., Harpenden, Ujedinjeno Kraljevstvo
- DEFRA (2004.) *Growing Short Rotation Coppice; Best Practice Guidelines For Applicants to Defra's Energy Crops Scheme.* - http://www.naturalengland.org.uk/Images/short-rotation-coppice_tcm6-4262.pdf [stranica posjećena: 21. 7.2014.]
- Dimitriou, I., Rutz, D. (2014.) *Sustainability criteria and recommendations for short rotation woody crops.* – WIP Renewable Energies, Munchen, Germany; Report elaborated in the framework of the IEE project SRCplus (Ugovor br.IEE/13/574)

- Dimitriou, I., Fištrek, Z., Mergner, R., Rutz, D., Scrimgeour, L., Eleftheriadis, I., Dzebne, I., Perutka, T., Lazdina, D., Toskovska, G., Hinterreiter, S. (2014.a) Optimising the Environmental Sustainability of Short Rotation Coppice Biomass Production for Energy. – Zbornik: Natural Resources, Green Technology & Sustainable Development; 26. – 28. studenoga 2014., Zagreb, Zagreb; Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska; ISBN 978 953 6893 04 1; str. 117. – 123.
- Dimitriou, I., Fištrek, Z. (2014.) Optimising the Environmental Sustainability of Short Rotation Coppice Biomass Production for Energy. South-east Eur for 5 (2): 81. – 91. DOI: <http://dx.doi.org/10.15177/seefor.14-15>
- Dimitriou, I., Mergner, R., Rutz, D. (2014.b). Best practice examples on sustainable local supply chains of SRC. WIP Renewable Energies, Munchen, Njemačka; Report elaborated in the framework of the IEE project SRCplus (Ugovor br.. IEE/13/574)
- Dimitriou, I., Baum, C., Baum, S., Busch, G., Schulz, U., Köhn, J., Lamersdorf, N., Walter-Schmidt, P., Leinweber, P., Aronsson, P., Weih, M., Berndes, G., Englund, O., Bolte, A. 2012.a. RATING-SRC Final Report. ERA-NET Bioenergy Internal Report.
- Dimitriou, I., Mola-Yudego, B., Aronsson, P., Eriksson, J., 2012.b. Changes in organic carbon and trace elements in the soil of willow short-rotation coppice plantations. Bioenergy Research 5(3) 563. – 572.
- Dimitriou, I., Mola-Yudego, B., Aronsson, P., 2012.c. Impact of willow Short Rotation Coppice on water quality. Bioenergy Research 5(3) 537. – 545.
- Dimitriou, I., Eriksson, J., Adler, A., Aronsson, P., Verwijst, T., 2006. Fate of heavy metals after application of sewage sludge and wood-ash mixtures to short-rotation willow coppice. Environmental Pollution 142 (1), 160. – 169.
- Dimitriou, I., Aronsson, P., 2005. Willows for energy and phytoremediation in Sweden. Unasylva 221 (56); 46. – 50.
- Ehlert, D.; Pecenka, R.; Wiehe, J.(2012.): Harvesters for Short Rotation Coppices: Current Status and New Solutions. U: Zbornik: International Conference of Agricultural Engineering CIGR-Ageng 2012. Valencija, str. 1. – 6. Internet: http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla_137_C0365.pdf
- ETA Heiztechnik GmbH n.d.Brennstoffdaten – Scheitholz, Hackgut, Pellets. - http://www.bad-klein.de/pdf/Broschuere_Brennstoffdaten_dt_01.pdf [stranica posjećena: 9. 9. 2014.]
- FAO (2012.) Synthesis of Country Progress Reports Activities Related to Poplar and Willow Cultivation and Utilization 2008 through 201. International Poplar Commission October 2012. https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/eip-raw-materials/en/system/files/ged/56%20Annex%20-%20Poplar%20Report_FAO.pdf [stranica posjećena: 08. 7.2014.]
- FNR (2012.) Bioenergy in Germany: Facts and Figures. – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR); Gülzow, Njemačka; http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_484-basisdaten_engl_web_neu.pdf [10 7. 2012.]
- Grosse, W., Landgraf, D., Scholz, V., Brummack, J. (2008.) Ernte und Aufbereitung von Plantagenholz. - Schweiz Z Forstwes 159 (2008.) 6: 114. – 119.
- Gustafsson, J., Larsson, S. & Nordh, N. (2007.). Manual för salixodlare. Dostupno na: <http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/406.pdf>
- von Harling, H. M., Viessmann, F. (2009.) Die Holzfelder der Fa. Viessmann – 3 Jahre KUP-Praxis. Proceeding of „The Institute for Applied Material Flow Management (IfaS)“, http://www.stoffstrom.org/fileadmin/userdaten/bilder/Veranstaltungen/Biomasse/Harling_KUP_Praxis_Biom-Tag_Birkenfeld_5-11-09-1.pdf.

- Hiegl, W., Rutz, D., Janssen, R. (2011.) Information Material Module Biomass. - Training material of the Install+RES Project, Updated Version 2011.; WIP Renewable Energies; <http://www.resinstaller.eu/en/training-material>
- IEA Bioenergy (2015): Conclusions from the Triennium Conference 2015 "Realising the world's sustainable energy potential", Berlin, 27-29 October 2015
https://ieabioenergy2015.org/fileadmin/veranstaltungen/2015/IEA_Bioenergy_Conference/IEA_Bioenergy_Conference_2015_Conclusions.pdf
- ISO (2014): ISO 17225-4:2014(en) Solid biofuels — Fuel specifications and classes – 4. dio: Graded woodchips <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17225:-4:ed-1:v1:en> [accessed: 29. 8. 2014.]
- JTI (2014) Inför plantering av energiskog Lokalisering, samråd och investeringsstöd JTI:s skriftserie 2014:1 (na švedskom).
- Kajba, D., Domac, J., Šegon, V. (2011) Procjena potencijala brzorastućih nasada u Republici Hrvatskoj: Primjer rezultata u sklopu FP7 projekta Biomass Energy Europe. Šumarski list, br. 7-8, CXXXV , pp. 361-370.
- Kajba, D. i Andrić, I. (2012.). Procjena genetske dobiti, produktivnosti i fenotipske stabilnosti klonova topola na području istočne Hrvatske. Šumarski list, Vol. 136, No.5-6 lipanj, pp. 236-243.
- Kajba, D. i Andrić, I. (2014.). Selection of Willows (Salix sp.) for Biomass Production. SEEFOR South-East European Forestry 5 (2), pp. 145-151.
- Kaufmann, F., Lamond, G., Lange, M., Schaub, J., Siebert, C., Sprenger, T. (nema datuma) Benwood – Short Rotation Forestry in CDM Countries and Europe. -
- Kofman, P. D. (2012.) Harvesting short rotation coppice willow. – CONFORD; Harvesting / Transport No. 2; Dublin, Irska; http://www.woodenergy.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/HAR29_LR.PDF [stranica posjećena: 21. 7.2014.]
- Kulišić, B. (2015.). Ekonomska analiza proizvodnje KKO na primjeru iz OBŽ . IEE SRCplus: KKO za lokalne lance opskrbe i proizvodnju topline; radionica za vlasnike zemljišta
- Landgraf, D., Setzer, F. (2012.) Kurzumtriebsplantagen: Holz vom Acker - So geht's. – DLG Verlag, Frankfurt am Main, Njemačka
- Liebhard, P. (2007.) Energieholz im Kurzumtrieb: Rohstoff der Zukunft. - Leopold Stocker Verlag, Graz, Austrija
- Lindegaard, K. (2013.) 10 ways to maximise yield from your short rotation coppice (SRC) crop
- LWF (2012) Bereitstellung von Waldhackschnitzeln. – Merkblatt 10 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Freising, Njemačka
- LWF (2011a) Anbau von Energiewäldern. – Merkblatt 19 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Freising, Njemačka
- LWF (2011b) Der Energieinhalt von Holz. – Merkblatt 12 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Freising, Njemačka
- Perić, S., Antunović, S., Pfeifer, D. (2015.). Osnivanje šumskih kultura na području UŠP Osijek s posebnim osvrtom na šumski reprodukcijски materijal za kulture kratkih ophodnji. IEE SRCplus: Uzgoj KKO za lokalne lance dobave i grijanje; www.SRCplus.eu.
- Rutz, D., Janssen, R., Letsch, H. (2006.) Installateurs-Handbuch Biomasseheizanlagen. - EU-IEE EARTH Project; 241p; WIP Renewable Energies, Munchen, Njemačka; http://www.wip-munich.de/images/stories/6_publications/books/installateurs_handbuch.pdf

- Rutz, D., Mergner, R., Janssen, R. (2012.) Sustainable Heat Use of Biogas Plants – A Handbook. WIP Renewable Energies, Munchen, Njemačka; Handbook elaborated in the framework of the BiogasHeat Project; ISBN 978-3-936338-29-4; prevedeno na devet jezika; www.biogasheat.org
- Rutz, D., Janssen, R., Hofer, A., Helm, P., Rogat, J., Hodes, G., Borch, K., Mittelbach, M., Schober, S., Vos, J., Frederiks, B., Ballesteros, M., Manzanares, P., St James, C., Coelho, S.T., Guardabassi, P., Aroca, G., Riegelhaupt, E., Masera, O., Junquera, M., Nadal, G., Bouille, D. (2008.) Biofuels Assessment on Technical Opportunities and Research Needs for Latin America. - Proceedings of the 16th European Biomass Conference and Exhibition; str. 2661. – 2669.; ISBN 978-88-89407-58-1
- Sailer Baumschulen GmbH (no date) Ratgeber Energiewald. - <http://www.sailer-baumschulen.de/RatgeberEnergiewald.pdf> [stranica posjećena: 13. 5. 2015.]
- SLL (no date) Anbauempfehlungen für schnellwachsende Baumarten. – Fachmaterial Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft; http://www.schnepf-pro-lignum.de/uploads/pdf/Anbauempfehlungen_f%C3%BCr_schnellwachsende_Baumarten.pdf [stranica posjećena: 9. 9. 2014.]
- Wald21 (2015) <http://www.wald21.com/energiewald/anbaupraxis.html> [stranica posjećena: 30. 3. 2015.]
- Wickham, J., Rice, B., Finnan, J., McConnon, R. (2010.) A review of past and current research on short rotation coppice in Ireland and abroad. - COFORD, National Council for Forest Research and Development; <http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/SRC.pdf> [stranica posjećena: 21. 7. 2014.]
- Verscheure (1998.) Energiegehalt von Hackschnitzeln – Überblick und Anleitung zur Bestimmung. - FVA, <http://192.168.0.121:9091/servlet/com.trend.iwss.user.servlet.sendfile?downloadfile=IRES-648385774-E63F29C8-4677-4647-7> [stranica posjećena: 9. 9. 2014.]

CIP zapis je dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu
pod brojem 000922329.

ISBN 978-953-6474-82-0

