

# Utjecaj primjene pepela na prinos biomase divljeg prosa

---

**Dumančić, Mijo**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:138865>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-18**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**AGRONOMSKI FAKULTET**

**Utjecaj primjene pepela na prinos biomase divljeg  
prosa**

DIPLOMSKI RAD

Mijo Dumančić

Zagreb, rujan, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:  
Obnovljivi izvori energije

**Utjecaj primjene pepela na prinos biomase divljeg  
prosa**

DIPLOMSKI RAD  
Mijo Dumančić

Mentor:  
Prof.dr.sc. Josip Leto

Zagreb, rujan, 2022

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA**  
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Mijo Dumančić**, JMBAG 0178112450, rođen/a 16.07.1996 u Livnu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

**Utjecaj primjene pepela na prinos biomase divljeg prosa**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*Potpis studenta / studentice*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZVJEŠĆE**

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice **Mijo Dumančić**, JMBAG 0178112450, naslova

**Utjecaj primjene pepela na prinos biomase divljeg prosa**

obranjen je i ocijenjen ocjenom \_\_\_\_\_, dana \_\_\_\_\_.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Prof.dr.sc. Josip Leto mentor

\_\_\_\_\_

2. Izv.prof.dr.sc. Nikola Bilandžija član

\_\_\_\_\_

3. Prof. dr.sc. Neven Voća član

\_\_\_\_\_

## Zahvala

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Josipu Leti na strpljenju, ukazanom povjerenju, velikoj pomoći i pruženom znanju tijekom izrade diplomskog rada.

## **Sažetak:**

U ovome radu ukratko je opisana povijest i porijeklo divljeg prosa kao native biljke američkih ravnica i visoravni. Osim toga opisana je povijest divljeg prosa kao kultivirane biljke, te njena kratka povijest kao kulture koja se koristi u energetske svrhe. Ukratko je opisana agrotehnika potrebna za uspješan uzgoj biomase divljeg prosa, kao i zahtjevi za klimatskim prilikama. Cilj rada bio je utvrditi utjecaj primjene različitih doza pepela drvene biomase (0; 1,5; 3,0 i 4,5 t/ha) i roka košnje (jesen, proljeće) na prinos i visinu biljke divljeg prosa. Rok košnje pokazao je bitan utjecaj na prinos biomase (jesen 38,17 vs. proljeće 21,87 t ST/ha), dok primjena pepela nije imala značajan utjecaj na prinos biomase, kao ni visinu biljke (prosječno 2,61 m).

Ključne riječi: divlje proso, drveni pepeo, prinos, visina biljke

## **Summary:**

In this paper, history and origins of switchgrass is briefly described as a native plant to American plains. Furthermore, history of switchgrass as a cultivated crop is also described and its short history as a crop used for energy purposes. Agricultural practises needed for successful cultivation of switchgrass biomass is described, as well as demands for climatic conditions. The goal of this study is to determine the influence of the application of different doses of wooden ash (0; 1,5; 3,0 i 4,5 t/ha) and the date of harvesting (autumn, spring) on the yield and plant height of switchgrass. The choice of mowing date showed a significant impact on the biomass yield (autumn 38,17 vs. spring 21,87 tonnes of dry matter per hectare), while the application of ash did not have a significant impact on the biomass yield, nor the height of the plant (average 2,61 m).

Key words: switchgrass, wooden ash, yield, plant height

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>2. POVIJEST DIVLJEG PROSA</b> .....	<b>4</b>
2.1 POVIJEST DIVLJEG PROSA KAO ENERGETSKE KULTURE .....	5
<b>3. FIZIOLOGIJA DIVLJEG PROSA</b> .....	<b>7</b>
3.1 DORMANTNOST .....	7
3.2 KLIJANJE .....	7
3.3 FENOLOŠKE FAZE .....	8
3.4 RAST, RAZVOJ I FUNKCIJE KORIJENA .....	10
<b>4. ZASNIVANJE NASADA DIVLJEG PROSA</b> .....	<b>13</b>
4.1 ODABIR LOKACIJE I PRIPREMA .....	13
4.2 ODABIR KULTIVARA .....	14
4.3 SJEME .....	14
4.4 PRIPREMA TLA ZA SJETVU .....	15
4.5 SJETVA .....	16
<b>5. GNOJIDBA, KOROVI I ŠTETOČINE</b> .....	<b>18</b>
5.1 GNOJIDBA PRI ZASNIVANJU .....	18
5.2 GNOJIDBA U ZASNOVANOM NASADU .....	18
5.3 KOROVI I ŠTETOČINE KOD ZASNIVANJA .....	19
5.4 BOLESTI OSNOVANOG NASADA .....	20
5.5 KOROVI U ZASNOVANOM NASADU .....	20
<b>6. ŽETVA I SKLADIŠTENJE</b> .....	<b>22</b>
6.1 ŽETVA .....	22
6.2 TEMPIRANJE I UČESTALOST KOŠNJE .....	22
6.3 SKLADIŠENJE .....	23
<b>7. PEPEO</b> .....	<b>25</b>
7.1 KARAKTERISTIKE DRVENOG PEPELA .....	25
7.2 EFEKTI PRIMJENE PEPELA NA SVOJSTVA TLA .....	26
<b>8. MATERIJALI I METODE</b> .....	<b>28</b>
<b>9. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	<b>34</b>
9.1 REZULTATI JESENSKOG ROKA ŽETVE .....	34
9.2 REZULTATI PROLIETNOG ROKA ŽETVE .....	34
<b>10. ZAKLJUČCI</b> .....	<b>38</b>
<b>11. POPIS LITERATURE</b> .....	<b>39</b>
<b>ŽIVOTOPIS:</b> .....	<b>45</b>



## 1. Uvod

Divlje proso (*Panicum virgatum* L.) je toplosezonska (C4) biljka koja se internacionalno uzgaja kao energetska kultura, a originalno dolazi sa prerija i stepa Sjeverne Amerike (Monti, 2012). Interes za divljim prosom kao energetskom kulturom započeo je istraživanjima energetskih potencijala raznih kultura 80-tih godina prošlog stoljeća, financirano od strane ministarstva energetike SAD-a (Monti, 2012). U većini tih istraživanja divlje proso je bilo među top 3 vrste po prinosu biomase. Početkom 21. stoljeća, komercijalne kompanije pokazuju interes za istraživanjima na divljem prosu i njegovom energetskom potencijalu. Rastuća potreba čovjeka za energijom, poglavito energijom iz obnovljivih izvora, uzrok je sve češćim istraživanjima ovakvih poljoprivrednih kultura kao potencijalno bogatom sirovinom za energetske svrhe.

Uspješan uzgoj nasada divljeg prosa čine nekoliko faktora kao što su: u prvom redu izbor lokacije i dobra priprema tla, zatim izbor samog sjemena i kultivara divljeg prosa, briga o nasadu u prvoj godini odnosno u godini zasnivanja te naravno klimatske prilike. Najviše ulaganja, bilo da se radi o ljudskom radu ili o financijskim ulaganjima, potrebno je uložiti u godini zasnivanja nasada, a jednom kad je nasad divljeg prosa uspješno zasnovan, potreba za ljudskim radom je svedena na minimum. U radu će ukratko biti opisane i potrebe divljeg prosa za gnojidbom, kao i efekti koje gnojidba ima na sam nasad, opisano kroz primjere raznih studija i poljskih pokusa provedenih na raznim lokacijama i u raznim agroekološkim uvjetima.

Poljski pokusi provedeni na pokušalištu Agronomskog fakulteta u Zagrebu, na lokaciji Šašinovec, razmatrali su utjecaje drvnog pepela, kao poboljšivača tla, na prinose i kvalitetu biomase divljeg prosa. Mnoge civilizacije koristile su drveni pepeo u svojoj poljoprivrednoj praksi, kao poboljšivač tla. U današnjem modernom svijetu, na pepeo se gleda većinom kao otpad koji predstavlja ekološki problem pri zbrinjavanju istog. Najčešći način zbrinjavanja pepela jest odlaganje u prirodu, što je izrazit ekološki problem. Moguće alternativne metode zbrinjavanja pepela uključuju i korištenje pepela u poljoprivredne svrhe, te je mnogo agronomskih i šumarskih studija usmjereno upravo prema istraživanju svojstava pepela kao poboljšivača tla.

## 2. Povijest divljeg prosa

Na temelju peludi koja je pronađena u fosilnim ostatcima, zaključeno je da su trave nastale prije 55 do 70 milijuna godina. Od tada trave dominiraju velikim dijelom planeta (Kellog, 2001). Vrsta divlje proso se vjerojatno prvi put pojavljuje otprilike prije 2 milijuna godina i otad se kontinuirano razvija proizvodeći dva različita ekotipa (Monti, 2012). Ljudska upotreba trava i selekcija preoblikovale su neke njene forme i funkcije ali su trave imale još veći značaj za ljudski razvoj.

Krajem 90-tih godina prošlog stoljeća, konzorcij sistematičara iz nekoliko institucija formirao je radnu skupinu za istraživanje filogenije trava (Grass Phylogeny Working Group). Oni su istraživali 62 vrste iz porodice trava (među kojima je i divlje proso), a zaključak tog istraživanja je bio da se porodica trava može podijeliti na 12 podporodica. Najbliži srodnici divljem prosu su kukuruz i miskantus (Monti, 2012).

Za agronome i agronomsku upotrebu trava, njihova najbitnija značajka je da dobro podnose suše i otežane uvjete rasta (Kellog, 2001). Svi kultivari divljeg prosa se u principu mogu svrstati u jednu od dva ekotipa, a to su brdski i nizinski tip (Zhang i sur. 2011). Ekotipovi se ponekad nazivaju i podvrste, tipično se razlikuju u morfologiji ili fiziologiji na načine koji im bolje omogućuju preživljavanje u određenim uvjetima ali ih je moguće križati i dobivati plodno potomstvo (Vogel, 2004).

Brdski tipovi divljeg prosa su nešto kraće biljke, nego one nizinskog tipa. Općenito su i bolje prilagođene suhim i hladnijim klimama, dok nizinski tipovi divljeg prosa preferiraju nešto vlažnije i toplije klimatske uvjete. To postane jasno čim se pogleda porijeklo pojedinih ekotipova, nizinski tipovi divljeg prosa vuku svoje porijeklo sa juga SAD-a, dok se brdski tipovi povezuju sa sjevernim visoravnima SAD-a (Zalapa i sur. 2011).

Agronomska povijest divljeg prosa kraća je od drugih trava, kao što su primjerice kukuruz ili pšenica i slično. Kao kultura se proučava i uzgaja tek nekoliko desetljeća (Chapman, 1992). Potencijal za nešto više od „obične prerijske trave“ pojavljuje se 40-tih godina prošlog stoljeća kad se istražuju podložnosti različitih varijanti divljeg prosa na hrđu i to je drugo istraživanje u povijesti čiji je glavni objekt istraživanja upravo divlje proso (Cornelius i sur. 1941). Tijekom 40-tih godina prošlog stoljeća neki radovi istražuju potencijal divljeg prosa za kontrolu i sprječavanje erozije u vodenim tokovima, dok neki radovi gledaju na divlji proso kao kulturu za remedijaciju loših i zagađenih tala. Ipak većina studija stavlja divlje proso kao krmni usjev tj. kao izvor nutrijenata za životinje (Monti, 2012). Tijekom 80-tih godina dvadesetog stoljeća dolazi do pojačanih istraživanja vezanih za divlje proso, no i dalje je glavna tema istraživanja kрма vrijednost divljeg prosa, uz pokoje istraživanje vezano za eroziju, remedijaciju tala i slično. No krajem tog desetljeća pojavljuje se prva studija, koja istražuje divlje proso kao energetska kulturu (Lowenberg-DeBoer i sur. 1989).

## 2.1 Povijest divljeg prosa kao energetske kulture

Objavljeno je nekoliko studija koje proučavaju kratku povijest divljeg prosa kao energetske kulture. Prve takve studije obavljene su u Sjevernoj Americi, zemlji odakle divlje proso i potječe. Ministarstvo energetike u SAD-u, financiralo je tijekom 90-tih godina 20-og stoljeća prve studije čiji je jedini fokus bio divlje proso, sve ranije studije promatrale su više biljnih vrsta. Poljski pokusi na selekciji kultivara, zasnivanju i održavanju nasada divljeg prosa (poglavito kad je cilj nasada proizvodnja biomase) održani su na nekoliko lokacija u SAD-u krajem 20-og stoljeća i početkom 21-og stoljeća (McLaughlin i Kszos, 2005). S obzirom da se divlje proso prirodno pojavljuje i u južnim dijelovima Kanade, istraživanja su i u toj zemlji počela dosta rano. Na sveučilištu McGill, 1993. godine, divlje proso je bila jedna od 5 toploljubivih trava koje su bile predmetom istraživanja i to čak 12 kultivara divljeg prosa (Madakadze i sur. 1998). Nakon što se u tim početnim istraživanjima divlje proso pokazalo jako produktivnim, uslijedile su studije koje su se fokusirale isključivo na divlje proso, proučavajući njegovu fiziologiju, energetske potencijal i kemijski sastav (Monti, 2012). Na kampusu McGill je organizacija REAP (Resource Efficient Agricultural Production) prva koja je usvojila divlje proso čisto kao energetske kulturu, u Kanadi, a i šire. Organizacija je REAP poglavito bila zainteresirana za proizvodnju divljeg prosa za konverziju u koncentrirane jedinice (pelete), koje mogu biti upotrijebljene za grijanje (Samson i sur., 2005). Njihova web-stranica i danas ima opsežnu listu njihovih istraživanja i preporuka, koje uključuju vodiče za uzgoj divljeg prosa te informacije oko peletiranja i sagorijevanja divljeg prosa.

U Europi je povijest istraživanja energetske potencijala divljeg prosa nešto oskudnija nego ona u Americi, ali prva istraživanja su isto tako provedena krajem 20-og stoljeća, 1993. na institutu u Rothamstedu (Christian i Riche, 2001; Christian i sur., 2002). Prvo istraživanje u mediteranskim uvjetima rasta, proveo je privatni talijanski istraživački institut u Cervii, južna Italija. Ova istraživanja, provedena u Engleskoj i Italiji, pokazala su prilagodljivost divljeg prosa kako na uvjete kako sjeverne, tako i južne Europe. No, ipak je u početku divlje proso proglašeno manje prikladnom biljkom za energetske potrebe u usporedbi sa nekim drugim vrstama. U južnoj je Europi, divlje proso proizvelo znatno manje prinose biomase od divovske trske (*Arundo donax* L.) i sirka (*Sorghum bicolor* L.). Obećavajući rezultati, koji su dolazili iz Sjeverne Amerike, ipak su utrli put za europski projekt isključivo fokusiran na divlje proso pod nazivom „Divlje proso kao alternativna energetska kultura u Europi“, koji se održavao između 1998. i 2001. (Elbersen i sur., 2001). Nakon toga provedeno je još niz istraživanja u raznim uvjetima, kako staklenicima tako i u realnim poljskim uvjetima. Općeniti zaključak je bio da je divlje proso dobro prilagođeno većini europskih zemalja. Još nije jasno utvrđeno, u uvjetima sjevernijih europskih zemalja da li je bolje uzgajati nizinske ili brdske eko-tipove divljeg prosa. Za energetske kulturu, prinos biomase je najbitniji faktor, stoga divlje proso još uvijek nije prvi izbor za energetske kulturu u Europi jer i sirak i divovska trska daju veće prinose u južnoj

Europi, a miskantus je pokazao bolje rezultate u sjevernoj Europi. Ipak, prednost divljeg prosa u odnosu na druge višegodišnje trave, leži u operativnim, ekonomskim i okolišnim aspektima. Prednost divljeg prosa je što se zasniva sjemenom i zahtjeva veoma malo investicija u opremu i mehanizaciju, a i ostale agrotehničke zahvate.

## 3. Fiziologija divljeg prosa

### 3.1 Dormantnost

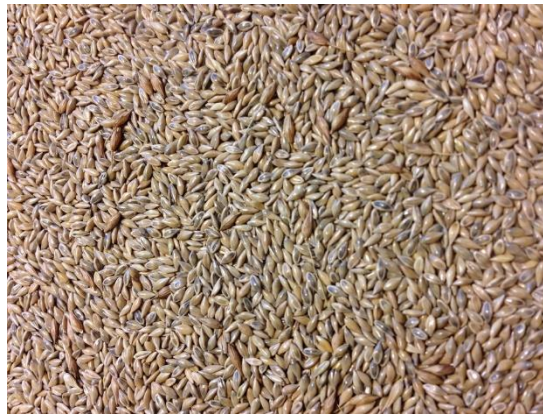
Sjeme divljeg prosa, čak kad je i iz iste grupe sjemena, ima jako različite razine dormantnosti. To je optimalna strategija za preživljavanje u divljini i u otežanim uvjetima tj. pri povećanom okolišnom stresu, no isto je tako velika prepreka u uzgoju za krmne ili energetske svrhe (Shen i sur., 2001; Zarnstorff, 1994). Iako dormantnost prirodno opada tijekom vremena, mehanizmi dormantnosti kod divljeg prosa još nisu u potpunosti shvaćeni. Nekoliko autora navodi kako je moguće da je uključena kombinacija fizičkih i fizioloških faktora, a u manjoj mjeri i morfoloških (Monti, 2012). Sjemeni omotač je do određene mjere odgovoran za dormantnost sjemena kod divljeg prosa. Slojevi vanjskog omotača mogu se ponašati kao barijera za vodu i kisik, a ponašaju se i kao fizička barijera koja inhibira klijanje (Jensen i sur., 1991). Nepropusne membrane za kisik, ali propusne za vodu, su još jedan od faktora bitnih za dormantnost sjemena divljeg prosa. Kad je sjeme izloženo temperaturama koje nisu optimalne, ove membrane sprječavaju respiraciju spremljene energije unutar sjemena i tako odgađaju ili inhibiraju klijanje. Ipak, izlaganjem sjemena hladnim temperaturama i vlazi (stratifikacija), sjemenke mogu apsorbirati kisik i tako se dormantnost razbija ili umanjuje (Monti, 2012). Shen i sur. (2001) su došli do zaključka kako ovako tretirane sjemenke mogu opet vratiti svoju dormantnost (sekundarna dormantnost), kod sušenja i pripreme za mehaničku sadnju. Ova tendencija za sekundarnom dormantnošću se naziva reverzibilnost. Ista skupina autora predlaže rješenje za taj problem tako što se period stratifikacije sjemenki odvija tijekom 42 dana.

### 3.2 Klijanje

Sjeme se smatra proklijalim kad korijenčić probije sjemeni omotač i kad koleoptila postane vidljiva. Pojava korijenčića se odvija prije nego što koleoptila izađe na vidjelo (Sarath i sur., 2006. i 2008). Jak početni razvoj i napredak korijena omogućuje sjemenkama uspješno usvajanje vode i nutrijenata za dobar razvoj. Kad se koleoptila pojavi iznad površine tla, produljenje subkoleoptilnog internodija prestane, koleoptila se otvara i započinje sinteza klorofila (Elberson i sur., 1998). Brzina klijanja i nicanja ovisni o okolišnim čimbenicima kao što su voda, temperatura i svjetlost. Najniža temperatura pri kojoj se nicanje može odviti je između 8,1 i 10,3 °C, optimalna temperatura je između 25 i 30 °C, dok je maksimalna

temperatura pri kojoj je nicanje moguće 45 °C, ali sve su te vrijednosti jako ovisne u samom kultivaru (Monti, 2012).

Budući da su sjemenke divljeg prosa vrlo malene (slika 1), količina vode potrebne za klijanje je isto tako malena. Zahtjevi za vodom postaju veći kako zrno klija i mladi korijenov sustav kreće se rastom i funkcioniranjem (Newman i sur., 1988). Optimalna vlažnost pripremljenog tla je izrazito bitna za klijanje, iako su informacije o zahtjevima divljeg prosa za vodom u fazi nicanja i klijanja veoma oskudne. Nekoliko dostupnih informacija ukazuje na to da pod uvjetima suše samo 2,5% posijanih sjemenki proklija, što daje postotak preživljavanja od samo 5% uopće klijavih sjemenki (Barney i sur., 2009). Prikladna vlažnost tla u površinskom, tj. sjetvenom sloju je isto tako ključna za dobro formiranje adventivnog korijenja. Uspješnost klijanja i dugoročno preživljavanje najviše ovisi o razvitku jakog i robusnog adventivnog korijenja, jer to je glavni korijenov sustav kod malih izniklih sjemenki (Parish i sur., 2005; Newman i sur., 1988). U nešto dubljim zonama tla, temperatura i vlaga su optimalniji za uspješan razvoj adventivnog korijenja, koje onda osigurava uspješan razvitak i preživljavanje cijele biljke.



Slika 1: Sjeme divljeg prosa

(Izvor: <https://www.deercreekseed.com/tools-n-guides/post/how-to-establish-and-maintain-a-switchgrass-stand.html>)

### 3.3 Fenološke faze

Pet je glavnih fenoloških faza divljeg prosa (Moore i sur., 1991): nicanje, vegetativni razvoj, izduživanje stabljike, razvoj reproduktivnih organa (metlica) i razvoj sjemenki. Isti autori su svaku od tih faza podijelili na daljnje podfaze razvoja i označili pojedine faze brojčano kodovima u rasponu od 0,5 do 35. U normalnim, prerijskim uvjetima, odakle divlje proso i potječe, razbijanje sjemena i kompletna dormantnost sjemena bi se mogla smatrati dodatnog fazom u životnom ciklusu divljeg prosa (Olson, 1984). Kod divljeg prosa, kao i kod drugih

višegodišnjih trava, vegetativne faze razvoja su diskretne, pa se razvoj cvjetova nastavlja čak i kad je faza produljenja stabljike počela (Sanderson i sur., 1995). Isto tako, razvoj listova započinje iako listovi nisu vidljivi (Van Esbroeck i sur., 1997).

Fiziološki razvoj divljeg prosa, sličan je svim drugim višegodišnjim travama. Trajanje svake pojedine faze ovisi o svakom kultivaru pojedinačno ali ono što im je svima zajedničko je to da na vegetativni razvoj svih njih (uključujući razvoj lista i produljenje internodija) jak utjecaj ima temperatura (Madakadze i sur., 1998), dok je reproduktivna faza razvoja najviše pod utjecajem duljine dana, bez obzira na vlažnost i temperature (Van Esbroeck i sur., 2003).



Slika 2: Metlica divljeg prosa

(Izvor: <https://www.minnesotawildflowers.info/grass-sedge-rush/switchgrass>)

Cvjetanje divljeg prosa je inducirano smanjenjem dnevnog svjetla do kojeg dolazi nakon ljetnog solsticija. Donji internodiji započinju sa produljenjem nakon što se razvije par listova i nastavljaju sa produljenjem sve dok se ne pojavi cvat (Beaty i sur., 1978, George i sur., 1987) i u toj fazi su ugljikohidrati u bazi biljke na najnižoj razini (Smith, 1975). Stopa produljenja varira 1,4 do 2,8 cm/dan, zavisno od kultivara i okolišnih uvjeta, s tim da ekotipovi koji potječu sa južnijih područja postižu veće stope produljenja (Madakadze i sur., 1998, Casler i sur., 2004). Brdski ekotipovi postižu visinu od 1,5 do 2 m, a dok nizinski ekotipovi rastu i do 4 m visine (Moser i sur., 1995).





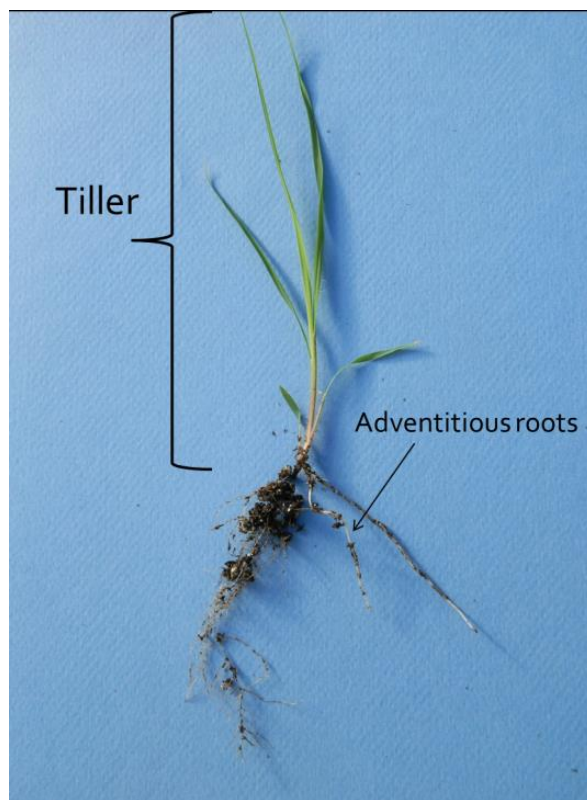
Slike 3, 4, 5 i 6: Faze rasta divljeg prosa (Izvor: Josip Leto)

### 3.4 Rast, razvoj i funkcije korijena

Inicijalni rast i razvoj korijena divljeg prosa jako je brz, poglavito u prva tri tjedna nakon sisanja, a onda brzina rasta postupno opada ali korijen i dalje ostaje glavni korisnik ugljikohidrata barem 15 tjedana nakon sisanja (Dalrymple i sur., 1967). Tako velika alokacija ugljikohidrata i brzi početni rast korijena su osnovne potrebe za uspješan rast i razvoj biljke divljeg prosa i za uspješno zasnivanje nasada divljeg prosa. C4 fiziologija divljeg prosa razlog je zbog kojeg on razvija veliki i dobro konstruiran korijenov sustav koji omogućuje aktivno i efikasno usvajanje hraniva iz tla i kapacitet biljke za skladištenjem nutrijenata (Monti, 2012).

Dinamična stopa rasta korijena divljeg prosa kroz vegetacijsku sezonu je pod velikim utjecajem godišnjih košnji nadzemnih dijelova biljke, ali tipično korijen divljeg prosa nastavlja sa svojim rastom sve do kasne jeseni. Razlog tomu je vjerojatno kontinuirana i neprekidna proizvodnja rizoma. Najveća biomasa korijena nastane zapravo na kraju vegetacijske sezone, od sredine ljeta do kasne jeseni (Garten i sur., 2010), dok se najveća stopa rasta nadzemne biomase zabilježi od proljeća do sredine ljeta.





Slika 7: Razvoj korijena mlade biljke (Izvor:<https://passel-old.unl.edu/pages/printinformationmodule.php?idinformationmodule=1130447263>)

Korijen biljke divljeg prosa ide i dublje od 3 metra u tlo ali većina biomase korijena se nalazi u prvom metru profila tla (Ma i sur., 2000). Bolinder i sur. (2002) su utvrdili da se najmanje 78% korijenja nalazi u 0.15 m profila tla na vrhuncu rasta nadzemnih dijelova divljeg prosa. Zajednička karakteristika svim biljkama koje pokazuju dobru otpornost na sušu, je dobro razvijen i veliki korijenov sustav koji može prodrijeti do vlage koja se nalazi u dubljim slojevima profila tla (Monti 2012). Eggemeyer i sur. (2008) su svojim istraživanjima pokazali da kroz vegetacijsku sezonu, divlje proso glavninu zahtjeva za vodom podmiruje iz gornjih 0.5 m profila tla, ali su isto pokazali da se kroz sušniji dio vegetacijske sezone (sredina ljeta) poveća iskorištavanje vode iz dubljih slojeva tla.

Općenito divlje proso ima manje zahtjeve za redovitom gnojidbom u usporedbi sa žitaricama, zahvaljujući skladištenju nutrijenata u rizomima, koje se godišnje recikliraju i konzerviraju. U dugovječnim rizomima (do 10 godina žive), pohranjuje se dušik i ugljik (Tufekcioglu i sur., 2003). Nekoliko je autora pokazalo da se nutrijenti i nestrukturani ugljikohidrati translociraju iz nadzemnih dijelova biljke u korijenov sustav na kraju svake vegetacijske sezone (nakon cvatnje ali prije pojave mrazova) i obrnuto na početku vegetacijske sezone (Vogel, 2004, Lemus i sur., 2008, Lemus i sur., 2009, Zegada-Lizarazu i sur., 2010). Istraživanja procjenjuju da se ukupna količina dušika koja se premješta iz korijenovog sustava u nadzemne dijelove biljke i obratno kreće u rasponu od 40 do 100 kilograma po hektaru

divljeg prosa (Lemus i sur., 2008). Sezonsko kretanje nutrijenata kao što su fosfor, kalij itd., slična su kao što je to slučaj s dušikom (McLaughlin i sur., 2005, Lemus i sur., 2009) ali sa tom razlikom da umjesto translokacije nutrijenata, glavni mehanizmi recikliranja tih nutrijenata su povezani sa ispiranjem iz starih i odumrlih listova unutar opsežne korijenove zone divljeg prosa. U svakom slučaju, nutrijenti se vraćaju u tlo preko zime, što pomaže očuvanju plodnosti tla i smanjuje potrebe za gnojidbom divljeg prosa.



Slika 8: Rizomi divljeg prosa

(Izvor:<https://www.friendsofthewildflowergarden.org/pages/plants/switchgrass.html>)

## 4. Zasnivanje nasada divljeg prosa

### 4.1 Odabir lokacije i priprema

Kao i većina višegodišnjih vrsta, divlje proso najbolje uspijeva na dobro dreniranim, plodnim tlima ali nasad divljeg prosa može se zasnovati i uspijevati na tlima veoma raznolikih karakteristika. Divlje proso koji se uzgaja za potrebe proizvodnje energije, uzgaja se na tlima koja se ne koriste za proizvodnju hrane za ljude ili životinje bilo zbog loše kvalitete tla ili nekih drugih razloga (erozija itd.). Pomno planiranje ključno je za uspjeh zasnivanja. Ključni faktori koji se razmatraju prilikom zasnivanja nasada su razina plodnosti tla, pravilna priprema tla za zasnivanje, pravilan odabir kultivara, korištenje sjemena visoke kvalitete. Uzorkovanje i analiza tla se svakako preporučuju prije zasnivanja, kako bi se odredila količina nutrijenata u tlu. Minimalno bi bilo poželjno ispitati količine fosfora i kalija koje su sadržane u tlu, kao i pH vrijednost tla, prije samog zasnivanja nasada divljeg prosa (Monti, 2012).

Optimalno nicanje postiže se pri pH vrijednostima tla u rasponu između 6 i 8 (Hanson i sur., 2005), ali biljke divljeg prosa mogu podnositi pH vrijednosti između 3,7 i 7,6 u poljskim uvjetima. Efektivnost korištenja vapna na tlima prije samog zasnivanja nasada je raznolika, ali korištenje vapna je najvjerojatnije poželjno i korisno na tlima sa pH vrijednošću ispod 5 (Parrish i sur., 2005).

Sijanje divljeg prosa u postojeće oranice, livade i slično tomu, uvijek zahtijeva adekvatnu pripremu za divlje proso čak i po dvije godine prije zasnivanja nasada divljeg prosa. Primjerice, potrebno je otkriti i identificirati višegodišnje korove na postojećoj poljoprivrednoj površini koje je potrebno staviti pod kontrolu, jer takvi korovi mogu ozbiljno ugroziti uspješnost zasnivanja nasada divljeg prosa. Kulture koje su otpornije na herbicide su poželjna predkultura divljem prosu, jer omogućuju efikasno gušenje i suzbijanje korova. Primjer dobre predkulture za divlje proso bila bi soja, koja ostavlja minimalno žetvenih ostataka na površini, ostavlja površinu čistu od korova što je ključno za uspješnost nicanja divljeg prosa. Kulture koje ostavljaju mnogo žetvenih ostataka, poput kukuruza, zahtijevaju veću upotrebu agrotehničkih zahvata da bi se tlo opet adekvatno pripremilo za sijanje divljeg prosa. Zasnivanje divljeg prosa na postojećim pašnjacima je nešto izazovnije, te zahtjeva najveću upotrebu agrotehničkih mjera, korištenja herbicida i sličnih mjera, da bi se šansa za uspješno zasnivanje nasada divljeg prosa maksimizirala (Monti, 2012).

## 4.2 Odabir kultivara

Odabir kultivara ključan je za uspješno zasnivanje nasada divljeg prosa, ali i za njegovu dugotrajnost. Kultivari divljeg prosa su morfološki podijeljeni na dva ekotipa: brdski i nizinski eko tip (Monti, 2012). Nizinski eko tipovi su viši, imaju dulje plavkasto-zelene listove, dulje ligule, proizvode veći prinos biomase, otpornije su na hrđu. Brdski tipovi su niži, daju manje prinose ali bolje podnose sušnije klime od nizinskih eko tipova divljeg prosa (Moser i sur., 1995). Istraživanja provedena u Europi, potvrdila su američka istraživanja, da nizinski tipovi divljeg prosa proizvode veće prinose biomase. Tijekom 4 godine i dva različita sustava žetve u Italiji, nizinski eko tipovi su imali prinose u prosjeku od 14,9 tona po hektaru biomase, dok su brdski eko tipovi imali prosjek od 11,7 tona po hektaru (Monti i sur., 2008).

Divlje proso je biljka osjetljiva na fotoperiod, zahtjeva kratke dane za induciranje cvatnje (Benedict, 1941). Kad se divlje proso uzgaja sjevernije od originalnog područja iz kojeg dolazi, izložen je duljem fotoperiodu dana i to rezultira duljim vegetacijskim sezonama što u konačnici rezultira većim prinosima biomase od kultivara koji su nastali u takvom okruženju (Monti, 2012). No ukoliko se premješta previše na sjever, divlje proso ne preživi zimski period, ugiba jer se ne stignu pripremiti za zimu prije dolaska niskih temperatura. Divlje proso koji se seli južnije od područja u kojem se prilagodio, daje manje prinosa biomase, jer inicijacija cvjetanja počinje ranije (Monti, 2012).

## 4.3 Sjeme

Kvalitetno sjeme još je jedan ključni faktor za uspješno zasnivanje nasada divljeg prosa. Atributi koje kvalitetno sjeme treba posjedovati su: čistoća, vitalnost i energija klijanja (Vogel, 2002). Energija sjemena povezana je sa njegovom mogućnošću uspješnog nicanja i stvaranja mlade biljke u poljskim uvjetima. Uvjeti rasta sjemenskih biljaka, vrijeme žetve, sušenje sjemenki, čišćenje, skladištenje sjemena, bolesti i insekti, sve su to faktori koji utječu na kvalitetu sjemena (Vogel, 2002). Selekcija krupnijih sjemenki, pozitivno utječe na energiju klijanja i vitalnost sjemena. Veće stope uspješnosti nicanja, pokazane su kod sjemena s većom masom od prosječne (Aiken i sur., 1995, Green i sur., 1995).

Dormantnost sjemena umanjuje energiju sjemena. Može se definirati kao nemogućnost nicanja, čak i kad je sjeme izloženo odgovarajućim uvjetima (Bryant, 1985). Mehanizmi dormantnosti kod divljeg prosa su kompleksni, ali ekspresija dormantnosti uzrokovana je sa strukturama koje okružuju embrij i mehanizmima unutar embrija (Knapp, 2000). Genetska selekcija prema sjemenu manje izražene dormantnosti dovela je do ublažavanja dormantnosti kod nekih nizinskih eko tipova divljeg prosa (Sanderson i sur. 1996).

Primarna dormantnost sjemena divljeg prosa može biti razbijena nakon perioda sazrijevanja ili pak hladnom stratifikacijom (Moser i sur., 1995). Do sekundarne (latentne) dormantnosti dolazi kad dobro i vitalno sjeme postaje dormantno nakon što je izloženo neoptimalnim ekološkim uvjetima (Knapp, 2000). Okolišne ili kemijske metode se mogu upotrijebiti da bi se razbila sekundarna dormantnost. Sjemenke koje pokazuju nizak stupanj nicanja, nakon korištenja tehnika za razbijanje sekundarne dormantnosti, posjeduju rezidualnu dormantnost (Sarath i sur., 2006).

Nekoliko tretmana sjemena istraženo je kako bi se poboljšala mogućnost nicanja i razvoja divljeg prosa. Grundiranje sjemena, osmotski je proces gdje se sjeme hidrira do razine gdje počinje metabolička aktivnost ali ne dolazi do pojave korijenčića (Beckman i sur., 1993, Hacısalihoglu, 2008). Tretman hidrogen peroksidom dormantnog sjemena pospješilo je klijanje i nicanje sjemena kao i uniformnije nicanje cijelog nasada (Sarath i sur., 2007). Sjemenke divljeg prosa tretirane fungicidima, koriste se u vlažnijim klimama kako bi se poboljšalo klijanje, iako nije još razjašnjeno da li aplikacija fungicida ograničava simbiotsku vezu između divljeg prosa i arbuskularno-mikoriznih gljiva (Monti, 2012). Korištenje insekticida u svrhe poboljšavanja klijanja se isto pokazalo dobrom praksom (McKenna i sur., 1991).

#### **4.4 Priprema tla za sjetvu**

Divlje proso može rasti u dosta varijabilnim uvjetima tla, od pjeskovitih do glinovitih tala (Vogel, 2004). Nasadi divljeg prosa se uspješno zasnivaju koristeći različite agrotehničke prakse predsjetvene pripreme tla. Najčešći način sjetve divljeg prosa je direktnom sjetvom koristeći sijačicu za izravnu sjetvu bez prethodne pripreme tla. Predsjetvena priprema najčešće je uvjetovana raspoloživom mehanizacijom, potencijalom tla za eroziju, kulturom koja prethodi divljem prosu te inicijalnim uvjetima vlage u tlu (Monti, 2012). Bez obzira na metodu sijanja koja se koristi, preporučeno je da sjetveni sloj bude čvrst, poradi pravilnog raspoređivanja sjemena jer se divlje proso sije dosta plitko u sjetveni sloj. Sijanje korištenjem konvencionalnih metoda se isto uspješno koristi kod zasnivanja nasada divljeg prosa. Korištenjem konvencionalnih metoda pripreme tla za sjetvu, mogu se kontrolirati i umanjiti populacija određenih korova prije sjetve, a i smanjiti žetveni ostatci prethodne kulture koji bi mogli zasmetati pravilnom postavljanju novog sjemena. Korištenjem paker valjaka, postiže se dobar kontakt između tla i sjemena, ali valjanje tla prije sjetve pokazalo se efikasnijim negoli nakon sjetve (Monti i sur., 2001). Konvencionalne metode nisu preporučljive na tlima s velikim nagibima, zbog opasnosti od erozije tla. Korištenje reducirane obrade tla ili pak direktnom sjetvom, omogućuje se veća konzervacija vode u tlu nego kod korištenja konvencionalnih metoda obrade, osobito u sjetvenom sloju tla. Korištenje herbicida, kako prije nicanja tako i poslije nicanja, od ključne je važnosti za uspješnu kontrolu i smanjenje populacije raznih korova kod direktne sjetve u prvoj godini usjeva.

## 4.5 Sjetva

Uspješna sjetva divljeg prosa uvjetovana je dubinom sjetve, teksturom tla, vlažnošću i temperaturom tla (Parrish i sur., 2005). Temperatura tla  $>20$  °C potrebna je za nicanje i rast klijanaca (Hsu i sur., 1986). Utvrđeno je, studijama na nekoliko kultivara, da je optimalna temperatura za nicanje u rasponu od 27 do 30 °C, ali tolerancija prema različitim temperaturama kod nicanja ovisi o kultivaru (Seepaul i sur., 2011). Preporučena dubina sjetve za divlje proso je nešto plića i kreće se u rasponu od 0,5 do 2 cm dubine (Moser i sur., 1995) osim u slučajevima grublje teksture tla, na kojima dubina sjetve može biti nešto veća. Najvažniji uvjet za razvoj adventivnog korijenja je optimalna i dovoljna količina vlage u tlu tijekom cijelog početnog razdoblja (Newman i sur., 1988).

Preporučeni datumi sjetve divljeg prosa, kao i za sve trave slične njemu, su rano proljeće, dok još vlaga u tlu nije ograničavajući faktor, a i temperatura tla je nešto niža pa je moguća hladna stratifikacija sjemenki (Monti, 2012). Za sjeverno-istočni dio SAD-a primjerice, preporučeno sijanje divljeg prosa je 3 tjedna prije i 3 tjedna poslije sadnje kukuruza (Panciera i sur., 1984). Sijanje tijekom drugog dijela travnja i do sredine svibnja se pokazalo optimalnim za toploljubive trave u područjima srednje geografske širine SAD-a (Hsu i Nelson, 1986). Dormantnim sijanjem (kasna jesen) ili zimsko sijanje (kasna zima) se može koristiti za zasnivanje nasada divljeg prosa u konzervacijske svrhe (Monti, 2012).

Preporučena količina sjemena iznosi 200-400 klijavih sjemenki po metru kvadratnom (Monti, 2012). To je otprilike količina sjemena 4,5-11 kg/ha. Tu je količinu moguće nešto reducirati uz preciznu kontrolu korova, a količina od 100 klijavih sjemenki po metru kvadratnom pokazala se adekvatnom za konzervacijsko sijanje (Vogel, 1987). Manje količine sjemena preporučene su za podneblja sa nešto manjim oborinama, ali ove preporuke su izdate za konzervacijsko sijanje i moguće je da nisu prikladna za sijanja divljeg prosa u energetske svrhe (Monti, 2012).



Slike 9 i 10: Sijanje divljeg prosa i mladi nasad divljeg prosa (Izvor: Josip Leto)

## 5. Gnojidba, korovi i štetočine

### 5.1 Gnojidba pri zasnivanju

Gnojidba dušikom se ne preporuča tijekom godine sjetve, jer bi dušik pospješio rast korova, što bi ojačalo glavne konkurente za hranivima i povećalo troškove zasnivanja (Mitchell i sur., 2008). Pokusi su pokazali da rasta prinosa biomase uslijed gnojidbe dušikom u količinama 22 -112 kg po hektaru, nema u prvoj godini zasnivanja nasada (Sanderson i sur., 2000), što pokazuje da je divlje proso sposobno koristiti dostupni dušik (N) iz tla tijekom prve godine.

Razine fosfora i kalija su najčešće adekvatne za rast i razvoj divljeg prosa na većini poljoprivrednih površina (Monti, 2012).

### 5.2 Gnojidba u zasnovanom nasadu

Potreba za gnojivima ovisi o potencijalu prinosa, produktivnosti tla, agrotehnikama i o vremenskim prilikama. Većina istraživanja gnojidbe divljeg prosa u glavni fokus stavljaju dušik (N) jer je on najčešće ograničavajući nutrijent (Monti, 2012).

Optimalne količine dušika za divlje proso koje se uzgaja za energetske svrhe variraju ovisno o geografskoj regiji, okolišnim uvjetima i vremenskim prilikama. Maksimalni prinosi, jednog kultivara divljeg prosa, ostvareni su gnojidbom od 448 kg dušika po hektaru, primijenjenog u travnju u Oklahomi (Thomason i sur., 2004). Više od jedne žetve godišnje i visoke stope gnojidbe dušikom, imali su negativne efekte na godišnju proizvodnju biomase nego jedna žetva godišnje tijekom četverogodišnjeg perioda i takva se praksa pokazala ekonomski neisplativom. Istraživanja su također pokazala da je jedna žetva godišnje i aplikacija samo 69 kg N po hektaru, najekonomičnija praksa u sličnim uvjetima (Aravindhakshan i sur., 2011). Aplikacijom 56 kg N po hektaru povećala se proizvodnja biomase divljeg prosa na nekoliko lokacija u Južnoj Dakoti, SAD, ali korištenje većih količina dušika od ovih nije pokazalo nikakve prednosti u povećanju prinosa (Mulkey i sur., 2006).

Bez obzira na primijenjenu količinu, aplikacija dušika se tipično obavlja nakon porasta divljeg prosa u proljeće, da bi se izbjeglo „pomaganje“ korovima, poglavito invazivnim. Reakcija divljeg prosa na dušik može ovisiti o sustavu žetve. Primjerice, u zapadnoj Europi, divlje proso se obično kosi zimi ili u rano proljeće (kasna žetva) pa je reakcija divljeg prosa na



N minimalna, čak i kad se ne koristi N u prijašnjim godinama (Christian i sur., 2002, Lasorella i sur., 2011).

Nešto manje istraživanja napravljeno je u vezi gnojidbe divljeg prosa koje se proizvodi za energetske svrhe fosforom i kalijem. Preporuke za aplikaciju fosfora i kalija temelje se na testovima tj. analizama tla, koje pokazuju stanje tih nutrijenata u tlu, a i same karakteristike tla (Brejda, 2000). Reakcije divljeg prosa na fosfor nije bilo na dvije lokacije u Texasu, SAD tijekom perioda od 3 odnosno 7 godina (Muir i sur., 2001).

Proizvodnja divljeg prosa se povećala kada su fosfor i dušik ili fosfor, kalij i dušik bili primijenjeni zajedno sa vapnom u usporedbi sa proizvodnjom gdje se primjenjivao samo dušik, i to na pet različitih tipova tala u Louisiani, SAD (Taylor i Allinson, 1982). Divlje proso koje se uzgaja na kiselim tlima, može biti izloženo manjku fosfora. Divlje proso bolje uspijeva na kiselim tlima, kad se uzgaja u simbiozi s arbuskularnim mikoriznim gljivama (Taylor i Allinson, 1982, Clark, 2002). Gljive bolje pristupaju fosforu sadržanom u tlu i to je razlog zbog kojeg, na kiselim tlima, divlje proso bolje uspijeva kad je u simbiozi sa ovakvim gljivama.

Divlje proso ima ponešto ograničenu reakciju na vapno. U određenim istraživanjima u staklenicama sa pet kiselih tala, prinos divljeg prosa nije se povećao kad se pH tla vapnom povećao do vrijednosti od 6,5 (Taylor i Allinson, 1982). Reakcija divljeg prosa na vapno, zabilježena je kad su se dušik i fosfor, odnosno dušik, fosfor i kalij, primijenili zajedno sa vapnom. Na jako kiselim tlima (pH vrijednost u rasponu između 4,3 do 4,9) u Pennsylvaniji, SAD, prinos divljeg prosa na površini gdje se nije primijenilo ništa bio je 50% manji u odnosu na površinu gdje su se primijenila mineralna gnojiva u kombinaciji sa vapnom (Jung i sur., 1988).

Goveđi stajski gnoj se može koristiti kao izvor nutrijenata za divlje proso. Lee i sur. (2007) su u svojim istraživanjima usporedili 3 količine dušika (0, 112 i 224 kg po hektaru) iz stajskog gnojiva ili amonijevog nitrata i otkrili su da se prinos divljeg prosa povećao sa srednjom količinom dušika od oba ova izvora. Dodatno su pokazali da je amonijev nitrat imao štetne efekte na sklop i otpornost divljeg prosa u odnosu na stajnjak. Njihova pretpostavka zašto je tomu tako, je da to ima veze sa sporim otpuštanjem dušika iz stajnjaka u usporedbi sa brzim ispuštanjem dušika iz amonijevog nitrata. Prinos biomase divljeg prosa povećavao se linearno sa stajnjakom mliječnih farmi kad se primjenjivao u rasponu od 0-600 kg N po hektaru (Sanderson i sur., 2001).

### **5.3 Korovi i štetočine kod zasnivanja**

Kompeticija sa korovima velik je razlog propadanja nasada divljeg prosa u godini zasnivanja. Adekvatna proizvodnja divljeg prosa može biti odgođena za jednu ili više godina,

upravo kompeticijom sa korovima i lošom početnom godinom (Schmer i sur., 2006). Preporučena praksa za kontrolu korova i razvoja neželjenih kultura na tlu predviđenom za divlje proso, je korištenje herbicida prije nicanja i pojave divljeg prosa. Neselektivni herbicidi su se pokazali efektivnim u kontroli korova prije nego divlje proso nikne, poglavito u uvjetima reducirane obrade tla prije sjetve. Veoma je bitno pratiti sve regulacije i odredbe prilikom korištenja bilo kakvih herbicida pa tako to vrijedi i ovdje. Protiv korova kod zasnivanja nasada divljeg prosa može se boriti i mehaničkim putem, košnjom. Da bi košnja bila uspješna, korovi moraju biti viši od samog divljeg prosa da ne bi došlo do oštećenja samog prosa (Elbersen i sur., 2004). Nakon uspješnog zasnivanja nasada, potreba za korištenjem herbicida se drastično smanjuje. Istraživanja korištenja insekticida te općenito šteta izazvanih insektima na divljem prosu su rijetka.

#### **5.4 Bolesti osnovanog nasada**

Brojne su bolesti prijavljene u literaturi za divlji proso. Pritisak ovih bolesti na divlje proso će biti još i veći ukoliko se proizvodnja divljeg prosa za energiju krene ostvarivati na većoj razini nego što je danas (Parrish i sur., 2005). Pojava hrđa i čađavosti se može desiti u prvoj godini nasada ali općenito je više vjerojatno da se pojave nakon zasnivanja (Monti, 2012). Hrđa (*Puccinia emaculata*) je zabilježena na divljem prosu u centralnoj i istočnoj Južnoj Dakoti. Simptomi hrđe su bili dosta ozbiljniji na kultivarima koje vuku podrijetlo sa sjevernijih područja iako posjeduju nasljednu osobinu za otpornost prema hrđi (Gustafson i sur. 2003). Od drugih bolesti koji se pojavljuju tu su: antraknoza (*Colletotrichum graminicola*), trulež (*Phoma* spp.), čađavost (*Tilletia maclaganii*) itd. (Vogel, 2004).

#### **5.5 Korovi u zasnovanom nasadu**

U zasnovanom nasadu divljeg prosa, pritisak na divlje proso od strane korova u drugoj godini zasnovanog nasada, često je gori nego u narednim godinama ukoliko se u početnoj godini zasnivanja razvio slab sklop divljeg prosa. U tom slučaju, velik broj raznih korova se razvije u prvoj godini (Monti, 2012). Ukoliko se u prve dvije godine nasada adekvatno provede kontrola korova, u narednim godinama su problemi sa korovima limitirani jer se ne mogu natjecati sa razvijenim divljim prosom.

Hladnoljubivi godišnji korovi obično ne predstavljaju problem za divlje proso osim ako se ne radi o velikoj brojnosti korova. Ukoliko se radi o velikoj invaziji korova, postoje razne

kombinacije herbicida koje se uspješno koriste za suzbijanje kao primjerice herbicidi širokog spektra poput glifosata (Monti, 2012). Neselektivni herbicidi se upotrebljavaju prije nego divlje proso razbije svoju dormantnost, da bi se izbjegla oštećenja na samom divljem prosu. Hladnoljubivi višegodišnji korovi se relativno lako kontroliraju u nasadu divljeg prosa jer se njihova vegetacijska sezona razlikuje od divljeg prosa. Aplikacija glifosata primjerice, tijekom faze dormantnosti divljeg prosa, uspješno rješava problem takvih korova. Divlje proso ima osrednju toleranciju na glifosat, rano u svojoj vegetacijskoj sezoni (Sanderson i sur. 2004), što dopušta određenu fleksibilnost kod tempiranja proljetnih tretmana. Bez obzira na to, najbolje je glifosat primijeniti prije proljetnog razbijanja dormantnosti ili na jesen nakon što je divlje proso potpuno dormantno.

Ljetni godišnji korovi obično ne predstavljaju problem osim ako je sklop divljeg prosa rijedak što im dopušta da se razviju (Monti, 2012). Ipak ukoliko su korovi uporni i agresivni, postoji niz herbicida sa kojima se uspješno rješavaju, kao što je primjerice kvinklorak (Monti, 2012).

## 6. Žetva i skladištenje

Pravovremena i pravilna žetva, te pravilno skladištenje biomase divljeg prosa osiguravaju kvalitetnu i redovitu proizvodnju kvalitetne sirovine za energetska postrojenja. Sorte divljeg prosa, selekcionirane upravo za energetske svrhe, proizvode velike prinose biomase koja se u većini slučajeva može požeti i uskladištiti konvencionalnim strojevima i opremom za proizvodnju sijena. Mnogo je opcija za pakiranje i transport divljeg prosa, ali velike okrugle ili prizmatične bale su najčešći izbor. Velike okrugle bale imaju nešto manje gubitke nego velike pravokutne bale, ali pravokutne su nešto praktičnije za transport (Monti, 2012).

### 6.1 Žetva

Način konverzije biomase divljeg prosa u energiju čimbenik je koji odlučuje na koji način se žetva divljeg prosa obavlja i koje je optimalno vrijeme žetve (Vogel i sur. 2011). Svi koji se bave proizvodnjom i čuvanjem sijena za stočarske potrebe, lako se prilagode proizvodnji divljeg prosa za energetske svrhe (Monti, 2012). Visoko produktivna polja divljeg prosa, mogu biti pokošena i balirana komercijalno dostupnom opremom za proizvodnju sijena, ali nekoliko bitnih stvari se mora imati u vidu. Primjerice, samohodne disk kosilice poželjne su za postizanje optimalne efikasnosti kod košnje divljeg prosa (Mitchell i sur, 2010). Visina košnje na takvim strojevima je lako prilagodljiva i iznosi 10-15 cm u većini slučajeva, ta visina košnje drži pokošene otkose iznad tla te potiče kretanje zraka, što doprinosi sušenju same sirovine na manje od 20% sadržaja vlage što je uvjet za uspješno baliranje (Vogel i sur., 2011). Nakon obavljene košnje, sirovina se balira u velike okrugle ili velike pravokutne bale, u ovisnosti od opreme koja je dostupna (Vogel i sur., 2011; Mitchell i sur., 2010). Ukoliko se bale skladište na otvorenom prostoru, velike okrugle bale imaju prednost u odnosu na pravokutne jer imaju manje gubitaka, no velike pravokutne bale su praktičnije za transport i manipulaciju (Mitchell i sur., 2010).

### 6.2 Tempiranje i učestalost košnje

Maksimalan prinos biomase sa visokim sadržajem lignoceluloze primarni je cilj uzgoja travnih kultura za bioenergiju (Mitchell i sur., 2010; Hohenstein i sur., 1994). U ovisnosti od eko-regije, prinos se može maksimizirati sustavima sa jednom košnjom u sezoni ili pak više

košnji unutar jedne sezone. Većina istraživanja podupire jednu košnju unutar sezone, radi maksimiziranja prinosa biomase ali i radi očuvanja samog nasada (Monti i sur, 2012). Prema Sandersonu i suradnicima (1999), jedna košnja u sezoni, u jesen, maksimizira prinose biomase u južno-centralnom dijelu SAD-a. Bitna napomena je da košnja nakon prvih mrazova, minimizira iznošenje nutrijenata iz tla, poglavito dušika (Hancock, 2009). Pravilno vrijeme žetve, visina košnje i očuvanje prisutnosti dušika u tlu su glavni čimbenici u očuvanju kvalitetne proizvodnje i dugotrajnosti nasada divljeg prosa (Mitchell i sur., 2010; Vogel i sur., 2011). Istraživanja o optimalnom vremenu košnje pokazuju da je jedna košnja u sezoni, nakon stadija cvatnje, najpogodnija za maksimiziranje prinosa divljeg prosa, ali košnja nakon mrazova osigurava dugotrajnost i produktivnost nasada, posebice za vrijeme suše (Vogel i sur., 2011; Mitchell i sur., 2010). Po preporukama istraživanja Mitchella i suradnika (2010), košnja divljeg prosa se ne bi trebala obavljati unutar 6 tjedana od prvih mrazova ili ispod 10 cm visine stabljike da bi se osigurala translokacija ugljikohidrata u podzemne dijelove biljke čime se u sljedećoj sezoni osigurava uspješno razvijanje mladica (stabljika) i produžuje dugotrajnost nasada.

Još jedna moguća opcija košnje divljeg prosa, jest u proljeće nakon što nasad ostane nepokošen preko cijele zime (Adler i sur. 2006). Odgađanje košnje do proljeća smanjuje prinos biomase za 20-40% u usporedbi sa jesenskom košnjom nakon pojave mrazova, ali nema redukcije u proizvodnji energije (Adler i sur., 2006). Te redukcije u prinosu biomase su prihvatljive ukoliko je krajobrazu i divljim životinjama koristan pokrov i sklonište (Adler i sur., 2006).

### **6.3 Skladištenje**

Zahtjevi za skladištem i manipulacijom sirovinom će ovisiti o načinu na koji je sama žetva divljeg prosa obavljena (Monti, 2012). Košnja se najčešće obavlja konvencionalnom opremom za proizvodnju sijena. Samohodne kosilice/kondicioneri su idealni za obavljanje košnje nasada divljeg prosa sa velikim prinosima biomase. Kondicioneri na kosilicama, su komponenta koja pridonosi bržem sušenju biomase tako što gnječi stabljike ali ne uništavaju njihovu strukturu (Monti, 2012). Nakon košnje, baliranje pokošene biomase je korak koji omogućuje lakše manipuliranje i transport biomase. Za baliranje biomase koriste se preše koje prave velike okrugle bale ili pak velike pravokutne bale. Oba tipa preša zahtijevaju da biomasa divljeg prosa bude osušena ispod 18% vlage za okrugle bale ili manje od 16% vlage za velike pravokutne bale da bi se smanjili gubici kod skladištenja. Vrijednosti sadržaja vlage koje su veće od navedenih, dovode do degradacije sirovine pri skladištenju. Sušenje biomase na polju je nužan korak da bi se osigurala tražene vrijednosti sadržaja vlage, a trajanje sušenja će ovisiti o klimatskim prilikama gdje se košnja odvija i o vremenu kad se košnja obavlja. Tako balirana sirovina se potom prikuplja i odlaže na rubovima parcela ili u dostupnom skladišnom prostoru.

Okrugle bale su nešto podobnije za odlaganje na rubu parcele jer su nešto otpornije na okolišne uvjete poput padalina i slično, dok se pravokutne bale trebaju zaštititi od vanjskih utjecaja da ne bi došlo do gubitaka pri skladištenju (Monti, 2012). Ovakav način skladištenja se još naziva i suho skladištenje.

Metode za vlažno skladištenje su preporučene za regije gdje je teško postići uvjete za sušenje potrebno za baliranje (Monti, 2012). Metode za mokro skladištenje divljeg prosa uključuju košnju divljeg prosa pa zatim sjeckanje mase korištenjem silažnog kombajna sa adapterom za pokošenu masu ili pak direktna košnja i sjeckanje mase sa silažnim kombajnom, usitnjena masa se u oba slučaja odmah transportira iz kombajna u transportne prikolice (Monti, 2012). Sadržaj vlage u biomasi divljeg prosa za sjeckanje kod metode mokrog skladištenja je preko 40%. Prednosti za ovakvu vrstu žetve i skladištenja su reducirani troškovi žetve, manji gubitci prilikom skladištenja, bolji oporavak divljeg prosa nakon žetve i smanjen rizik od mogućeg požara kod suhog skladištenja (Digman i sur., 2010). Nedostatci kod metode mokrog skladištenja su veća cijena opreme i objekata koji se koriste u odnosu na metodu suhog skladištenja (Collins i sur., 2003). Usitnjena biomasa zahtjeva specifični prostor za skladištenje i usitnjena biomasa ima najmanju gustoću od drugih metoda skladištenja (Monti, 2012).

Idealne procedure za skladištenje su takve da sačuvaju biomasu, tako da pri odlasku sa skladišta bude neizmijenjenog stanja u odnosu na dolazak u skladište (Hess i sur., 2007). Ključni faktori su kod minimiziranja skladišnih gubitaka su osiguranje niskih razina vlage prije samog skladištenja kao i osiguranje od vlage tijekom skladištenja. Kratkoročne strategije skladištenja uključuju smještanje bala na otvorenom prostoru na dobro dreniranom tlu, prekrivanjem ceradom, zamatanje bala u plastiku i u konačnici skladištenje bala u zatvorenom prostoru. Zatvorena skladišta su najskuplji način skladištenja ali isto tako osiguravaju najbolje uvjete za skladištenje biomase i najmanje gubitke pri skladištu (Duffy, 2007).

## 7. Pepeo

Pepeo je materijal koji se većinom gleda kao otpad i materijal koji često predstavlja problem mnogim industrijama koje moraju zbrinuti velike količine pepela koje nastane u tim istim industrijama i procesima. Zbrinjavanje pepela predstavlja i ekološki problem, pošto je najčešći način zbrinjavanja pepela odlaganje u prirodu. Adekvatno zbrinjavanje pepela je kompliciran i skup proces i stoga se traže alternativne metode upotrebe i zbrinjavanja pepela. Nekoliko je istraživanja promatralo mogućnosti upotrebe pepela u poljoprivredi i šumarstvu kao poboljšivača tla.

### 7.1 Karakteristike drvenog pepela

Svojstva drvenog pepela ovise o nekoliko faktora, a to su tip biljke, dio biljke koji se spaljuje (stabljika, list, klip itd.), tip tla i klima na koje se koristi pepeo, uvjeti izgaranja, prikupljanja i skladištenja (Etiegni i Campbell, 1991; Ulery i sur., 1993;).

Prema nekolicini autora (Etiegni i sur., 1991; Etiegni i Campbell, 1991) više od 80% drvnog pepela sastoji se od čestica manjih od 1mm, ostatak je neizgorena sirovina. Analize drvnog pepela pokazuju kompleksnu i heterogenu prirodu ovog materijala (Demeyer i sur., 2001). Tijekom sagorijevanja drveta, organski spojevi su mineralizirani i osnovni kationi su transformirani u njihove okside koji se sporo hidriraju i naknadno karboniziraju u atmosferskim uvjetima (Demeyer i sur., 2001). Alkalizirajuća ili neutralizirajuća sposobnost i kapacitet drvenog pepela je visoka, ali taj kapacitet opada sa porastom temperatura izgaranja i vremenom provedenom u skladištu (Demeyer i sur., 2001).

Mineraloške analize pokazuju da su u pepelu prisutni alkali i alkalni zemljani elementi poglavito kao oksidi, hidroksidi i karbonati. Ovo objašnjava kapacitet za hvatanjem sulfata (Demeyer i sur., 2001). Ugljik i dušik većinom oksidiraju i pretvaraju se u plinovite sastojke tijekom izgaranja, stoga su prisutni u pepelu u zanemarivim količinama ili su čak odsutni. Kalij iz drvenog pepela veoma je topiv u vodi, što objašnjava njegovu podložnost ispiranju u tlu (Ulery i sur., 1993). Usporedbom različitih tipova pepela došlo se do zaključka da pepeo iz direktnog izgaranja drveta sadrži veće količine glavnih makroelemenata nego pepeo koji dolazi iz papira ili pulpe (Demeyer i sur., 2001). Pepeo drveta ima generalno veći sadržaj kalcija i kalija i niži sadržaj aluminija nego pepeo od ugljena.

## 7.2 Efekti primjene pepela na svojstva tla

Općenito govoreći, aplikacija drvenog pepela stimulira mikrobiološku aktivnost i mineralizaciju u tlu (Demeyer i sur., 2001). Efekti pepela i aplikacije pepela na fizikalna i mineraloška svojstva tla malo su poznata. Smatra se da aplikacija pepela u tlo može jako utjecati na teksturu, aeraciju, kapacitet tla za vodu i salinitet. Chang i sur. (1977) otkrili su da se sa malim dozama pepela može povećati hidraulička provodljivost i kapacitet tla za zadržavanje vode, ali bez značajnog porasta za vodu koja je zapravo dostupna biljci. Etiegni i Campbell (1991) su pokazali da čestice drvenog pepela nateknu u dodiru sa vodom i mogu opstruirati pore tla, što onda šteti cjelokupnoj aeraciji tla.



Slika 11: Izgled polja na kojem je primijenjen pepeo (lijevo) i na kojem nije primijenjen pepeo (desno)  
(Izvor:<https://onpasture.com/2021/06/28/using-wood-ash-to-improve-pasture-soils-and-forages/>)

Iako drveni pepeo utječe na fizikalne karakteristike tla, njegova primjena kao poboljšivača tla fokusira se na kemijskim promjenama u tlu. Zbog njegove visoke alkalnosti, većina istraživača se fokusira na efikasnu upotrebu pepela pri podizanju pH vrijednosti kiselih tala (Demeyer i sur., 2001). Stoga je pepeo poželjan poboljšivač tla u tropskim kiselim tlima kao i na šumskim tlima. Aplikacija pepela na šume sjeverne Europe i Sjeverne Amerike je uobičajena praksa u borbi sa acidifikacijom šumskog tla (Demeyer i sur., 2001). Nekoliko studija je pokazalo da je aplikacija drvenog pepela povisila pH vrijednost tla i smanjila izmjenjivi sadržaj aluminija kiselih tala (Lerner i Utzinger, 1986; Ohno i Erich, 1990; Unger i Fernandez, 1990; Etiegni i sur., 1991). Prema Vance-u (1996), neutralizirajuća sposobnost hidrooksida i karbonata Ca, Mg, i K u drvenom pepelu je najvjerojatnije najvažnija karakteristika u vezi sa izmjenama u tlu. Nekoliko studija pokazalo je da drveni pepeo reagira mnogo brže sa tlom nego vapno, što rezultira jačim povišenjem pH vrijednosti, ali samo



tijekom relativno kratkog perioda (Clapham i Zibilske, 1992; Muse i Mitchell, 1995). To se događa zbog toga što su oksidi, hidrooksidi i karbonati K i Na, koji su najviše odgovorni za kapacitet neutralizacije, jako topljivi i ne opstaju dugo u tlu. Kalcit je mnogo manje topiv i prisutan je u tlu tri godine nakon izgaranja, održavajući umjereno alkalnu pH vrijednost u površini tla (Ulery i sur., 1993). Stope reakcije se nalaze i pod utjecajem veličine čestica, bez obzira radi li se o pepelu ili vapnu, stoga pepeo u prahu mnogo brže reagira u tlu nego granulirani pepeo (Vance, 1996). Još jedan nezanemarivi efekt povišene pH vrijednosti je naknadno smanjivanje gubitka nutrijenata uzrokovano ispiranjem nutrijenata u podzemne vode.

Eksperimenti u stakleničkim uvjetima, kao i oni u poljskim uvjetima potvrdili su da biljke imaju koristi u rastu od nutrijenata sadržanih u drvenom pepelu. Aplikacija pepela u tlo je često uzrokovala poboljšanje rasta biljaka i prinosa (Demeyer i sur., 2001). Drveni pepeo ne sadrži nimalo dušika (N) i zbog toga je kombinacija drvenog pepela sa dodatnim dušičnim gnojivima ponekad potrebna da bi se osigurala balansirana fertilizacija. Razine kalcija, kalija i magnezija u biljci su pod nevjerojatnim utjecajem aplikacije drvenog pepela (Demeyer i sur., 2001). Erich (1991) i Ohno (1992) pokazuju da je dostupnost kalija iz drvenog pepela jako slična dostupnosti iz mineralnih gnojiva.

Europski zeleni plan planira pretvoriti Europu u prvi klimatski neutralan kontinent do 2050. godine. Klimatske promjene i uništavanje okoliša prijetnja su egzistenciji Europe i svijeta. Za borbu protiv istih Europa treba novu strategiju rasta koja će je pretvoriti u moderno, učinkovito i konkurentno gospodarstvo u kojem 2050. nema neto emisija stakleničkih plinova, a gospodarski rast nije povezan s upotrebom fosilnih goriva. U ovu priču odlično se uklapa divlje proso (*Panicum virgatum* L.) zbog svoje prilagodljivosti na različite agroekološke uvjete, skromnih gnojidbenih zahtjeva i niske razine agrotehnike. Marginalna tla na kojima se trebaju uzgajati energetske kulture često su slabo opskrbljena hranivima i kisela pa se u svrhu popravka takvih tala može koristiti pepeo izgorjene biomase i kao kalcifikator i kao gnojivo.

## 8. Materijali i metode

Pokusno polje nalazi se na površini Pokušališta Šašinovec (slika 12.) Agronomskog fakulteta u istočnom dijelu grada Zagreba.



Slika 12: Pokušalište Šašinovec (Izvor: <https://www.google.com/maps>)

Pokus je postavljen na pokušalištu Agronomskog fakulteta Šašinovec u travnju 2020. godine po shemi split plot u 3 ponavljanja s glavnim faktorom primjenom pepela u 4 različite količine:

- I. 0 t/ha (kontrola)
- II. 1.5 t/ha
- III. 3 t/ha
- IV. 4.5 t/ha

i rokom žetve kao podfaktorom (jesen i proljeće).

Žetva je obavljena na kraju vegetacijske sezone 2020. godine u studenom – jesenski rok (slika 16.), te 2021. godine u ožujku – proljetni rok (slika 17.). Prinos suhe tvari utvrđen je odsijecanjem biljaka motornom pilom (slika 18.) na visinu 10 cm od tla, na obračunskim podparcelicama veličine 2.4 m<sup>2</sup>. Nakon vaganja požnjevene mase (slika 19.), uzimanjem poduzoraka od oko 1000 g sasjeckane mase (slike 20. i 21.), sušenjem 48 sati na 60 °C (slika 22.), zatim ponovnim vaganjem (slika 23.) i preračunavanjem u t/ha dobiveni su prinosi suhe tvari. Visina biljke (slika 24.) mjerena je od razine tla do vrha cvata na 10 slučajno odabranih biljaka na osnovnoj parcelici.

Nakon analize varijance kod signifikantnih efekata proveden je Fisherov test najmanje značajne razlike (Fisher's least significant difference test).



Slika 13: Vaganje pepela. Izvor: Josip Leto



Slika 14: Aplikacija pepela na osnovne parcelice. Izvor: Josip Leto



Slika 15: Pokusno polje divljeg prosa nakon aplikacije pepela. Izvor: Josip Leto



Slika 16: Nasad divljeg prosa pred jesensku žetvu. Izvor: Josip Leto



Slika 17: Nasad divljeg prosa pred proljetnu žetvu. Izvor: Josip Leto





Slika 18: Žetva divljeg prosa. Izvor: Josip Leto



Slika 19: Vaganje – utvrđivanje prinosa svježe mase. Izvor: Josip Leto



Slika 20: Sjeckanje biomase. Izvor: Josip Leto



Slika 21: Uzimanje poduzoraka biomase. Izvor: Josip Leto



Slika 22: Sušenje poduzoraka u sušioniku. Izvor: Josip Leto



Slika 23: Vaganje poduzoraka prije i poslije sušenja. Izvor: Josip Leto





Slika 24: Mjerenje visine biljke Izvor: Josip Leto

## 9. Rezultati i rasprava

### 9.1 Rezultati jesenskog roka žetve

Tretmani pepelom nisu značajno utjecali na prinos suhe tvari u jesenskom roku žetve (tablica 1). Prosječan prinos ST iznosio je 38,17 t/ha. Nije bilo značajne razlike ni u sadržaju ST među tretmanima, prosječno 44,34 % ST. Visina biljaka divljeg prosa nije se značajno mijenjala pod utjecajem primjene pepela i prosječno je iznosila 2,61 m (tablica 1).

Tablica 1. Prinos suhe tvari (PST), visina biljke i % suhe tvari divljeg prosa u jesenskom roku žetve, Šašincev 2020.

Gnojdbeni tretman pepelom	PST t/ha	VB m	ST %
P <sub>0</sub>	39,57	2,59	45,41
P <sub>1.5</sub>	35,31	2,51	42,06
P <sub>3.0</sub>	39,59	2,77	45,46
P <sub>4.5</sub>	38,19	2,55	44,41
Signifikantnost	ns	ns	ns

ns Nije signifikantno

### 9.2 Rezultati proljetnog roka žetve

U proljetnom roku žetve prinos ST nije značajno varirao među tretmanima pepelom i prosječno je iznosio 21,87 t/ha (tablica 2). Također nije bilo značajne razlike ni u sadržaju ST među tretmanima, prosječno 88,02 % ST.

Tablica 2. Prinos suhe tvari (PST) i % suhe tvari divljeg prosa u proljetnom roku žetve, Šašincev 2021.

Gnojdbeni tretman pepelom	PST t/ha	ST %
P <sub>0</sub>	20,55	88,37
P <sub>1.5</sub>	22,27	88,01
P <sub>3.0</sub>	23,09	90,40
P <sub>4.5</sub>	21,56	85,30
Signifikantnost	ns	ns

ns Nije signifikantno



Iako su razlike u prinosu ST između jesenskog i proljetnog roka bile vidljive, statistički značajne su bile samo kod kontrole, a razlog je veća varijabilnost prinosa ST unutar tretmana nego između tretmana. Proljetni rok žetve divljeg prosa uzrokovao značajno veći sadržaj ST kod svih tretmana (tablica 3), zbog prirodnog sušenja usjeva od jeseni do idućeg proljeća.

Tablica 3. Razlike između prinosa i % suhe tvari (PST) divljeg prosa u jesenskom i proljetnom roku žetve

Gnojidbeni tretman	PST jesen t/ha	PST proljeće t/ha	ST jesen %	ST proljeće %
P <sub>0</sub>	39,57	20,55	45,41	88,37
P <sub>1.5</sub>	35,31	22,27	42,06	88,01
P <sub>3.0</sub>	39,59	23,09	45,46	90,40
P <sub>4.5</sub>	38,19	21,56	44,41	85,30
Signifikantnost/ LSD <sub>0,05</sub>	*/17,11		**/4,29	

\*\*Signifikantno na razini 0.01.

Rezultati istraživanja provedenog na pokusnom polju Šašinovec, pokazali su da utjecaj primjene pepela na divlji proso nije značajan. Značajna razlika u prinosu suhe tvari pokazala se između jesenskog i proljetnog termina košnje, 38,17 t/ha kod jesenskog termina košnje naspram 21,87 t/ha kod proljetnog termina košnje. Slične rezultate u prinosu su imali i znanstvenici u Palamasu, Grčkoj, gdje su postigli prosječne prinose od 27 t/ha i sa sličnom visinom biljke od 2,56 m. Ta studija za cilj je imala prikazati utjecaje gnojidbe dušikom i primjene navodnjavanja na prinos biomase divljeg prosa. Studija provedena u SAD-u 90-tih godina (Fike i sur., 2006), pokazala je važnost pravovremenih oborina za prinos biomase, a osim toga i važnost sustava žetve (1 ili više košnji tijekom sezone). U našem istraživanju korišten je sustav jedne košnje u vegetacijskoj sezoni, u jesenskom ili proljetnom terminu, dok je na navedenoj studiji u SAD-u korišteno, osim sustava sa jednom košnjom, sustav sa dvije košnje u sezoni. Sustav sa dvije košnje u vegetacijskoj sezoni pokazao je pozitivne utjecaje na prinos biomase, poglavito na brdske ekotipove divljeg prosa, uz dvije košnje u sezoni, bitan faktor bila je i količina oborina između samih košnji, što je ključan faktor za ovakve sustave žetve. Prosječan prinos biomase u toj studiji iznosio je 14,1 t/ha, razlog za tako nizak prosječan prinos može se objasniti time što je u izračun uzeto nekoliko lokacija sa različitim klimatskim prilikama, kao i nekoliko različitih kultivara divljeg prosa. Na nekim lokacijama prinosi su bili i preko 20 t ST/ha, što je bliže rezultatima pokusa koji su provedeni u mediteranskim uvjetima. Studije provedene u Italiji (Alexopoulou i sur. 2008) su imale prosječne prinose suhe tvari od 12,3 t/ha, vrijednost dosta niža od prinosa dobivenih na pokušalištu u Šašinovcu. Područje na kojem se ta studija odvijala u Italiji ima dosta suhu i toplu klimu, što je možda glavni razlog toliko nižeg prinosa suhe tvari od vrijednosti dobivenih u Šašinovcu.

Poljski pokusi, na dvije lokacije u Grčkoj, Palamas i Velestino (Giannoulis i sur., 2016), pokazali su utjecaj gnojidbe dušikom i primjene navodnjavanja na prinose biomase divljeg prosa. Na lokaciji u Palamasu, visina stabljike divljeg prosa dostizala je 2,56 m uz napomenu

da je bila primijenjena gnojidba dušikom u iznosu od 160 kg N po hektaru. Primjena veće količine dušičnog gnojiva od navedena na toj lokaciji nije se pokazala opravdanom. Konačna visina biljke bila je jako pod utjecajem primjene gnojidbe dušikom na lokaciji u Palamasu, dok je na lokaciji u Velestinu jak utjecaj imalo navodnjavanje gdje je visina biljke iznosila skoro 2 m. Na obje lokacije korišten je kultivar divljeg prosa pod nazivom Alamo. Prosječni prinos suhe tvari bio je veći na lokaciji u Palamasu i iznosio je 27 t ST/ha u usporedbi sa 14 t ST/ha koliko je prosječni prinos suhe tvari iznosio u Velestinu. Ova konkretna studija je pokazala je utjecaj navodnjavanja na prinos biomase divljeg prosa.

U vremenskom periodu od 1998. do 2002. održani su poljski pokusi uzgoja divljeg prosa u mediteranskim klimatskim uvjetima (Alexopoulou i sur. 2008) . Pokusi su održani na dvije lokacije, jedna lokacija u Grčkoj, a druga u Italiji. Na obje lokacije žetva se obavljala jednom godišnje i to u jesenskom roku žetve, kad bi sadržaj vlage u biomasi bio ispod 20%. Na obje lokacije klimatske prilike su takve da se klima može okarakterizirati kao suha sa manje od 400 mm oborina tijekom godine, zbog čega je na obje lokacije bilo korišteno navodnjavanje. Što se tiče visine biljaka, najveće vrijednosti u Grčkoj izmjerene su u drugoj sezoni rasta, a iznosile su prosječno 185 cm između svih varijeteta. U Italiji su najveće vrijednosti zabilježene u trećoj vegetacijskoj sezoni, a iznosile su 173 cm prosječno. Na obje lokacije je zabilježen oštar pad vrijednosti visine biljke u petoj sezoni, 33% i 30% posto na obje lokacije. U godini zasnivanja nasada na obje lokacije prinos suhe tvari divljeg prosa bio je nešto niži, 11,5 t/ha u Grčkoj i samo 2,2 t/ha u Italiji. Prinosi na obje lokacije su ili rasli ili bili stabilni sve do nakon treće vegetacijske sezone, nakon čega prinosi opadaju. Najveće prosječne vrijednosti prinosa suhe tvari zabilježene su u trećoj sezoni i iznose 17,9 t/ha suhe tvari u Grčkoj i 12,3 t/ha suhe tvari u Italiji. Bitno je napomenuti da su u toj studiji najbolje rezultate davali nizinski ekotipovi divljeg prosa.

Tijekom 90-tih godina, prošlog stoljeća održano je i niz poljskih pokusa u SAD-u, kojima je cilj bio utvrditi utjecaje korištenja raznih agrotehnika na produktivnost nasada divljeg prosa, kao i utjecaj učestalosti i roka košnje na prinos biomase divljeg prosa. Jedan od takvih pokusa započeo je 1992. godine, kad se na 8 različitih lokacija preko 5 različitih saveznih država SAD-a, zasnovali po 4 različita kultivara divljeg prosa, od čega su 2 nizinski ekotipovi, a 2 brdska ekotipa divljeg prosa (Fike i sur., 2006). Korištena su dva sustava košnje divljeg prosa, dvije košnje u sezoni prvi sustav i jedna košnja u sezoni drugi. Kod sustava sa dvije košnje u sezoni, prva košnja obavljala se krajem lipnja, dok se druga košnja obavljala u jesenskim terminima, kod oba sustava, nakon pojave jakih mrazova. Na sva polja se primjenjivalo godišnja gnojidba od 100 kg dušika po hektaru. Kod sustava sa dvije košnje ta količina se ravnomjerno raspoređivala između dvije košnje, dok se kod sustava sa jednom košnjom gnojidba vršila u jednom terminu po vegetacijskoj sezoni. Podatci o prinosu biomase uzeti su iz raspona 1994. do 1996. godina, što je od 3 vegetacijske sezone nakon zasnivanja, do pete vegetacijske sezone. Kod sustava sa dvije košnje godišnje, prva košnja obavljala se na visinu stabljike od 16-20 cm, dok se konačna košnja na jesen kod oba sustava obavljala na visinu od 7-10 cm. Prosječan prinos biomase divljeg prosa, uzevši u izračun sve ove lokacije, sve kultivare i oba

sustava košnje, iznosio je 14,1 t ST/ha. Na svim lokacijama su nizinski tipovi pokazali bolje rezultate nego visinski, no na nekim lokacijama je ta razlika bila dosta mala. Na lokacijama sa blažom klimom prinosi biomase iznosili su i preko 20 t ST/ha. Usporedivši sve ove lokacije i kultivare, prinos biomase bio je povećan korištenjem sustava sa dvije košnje u sezoni, a visinski ekotipovi su pokazali veći odgovor na korištenje takvog sustava žetve. Visinski tipovi su proizveli čak 38% više biomase, kod korištenja sustava sa dvije košnje u vegetacijskoj sezoni (14,5 t/ha naspram 10,5 t/ha), u usporedbi sa samo 8% povećanjem prinosa koji su pokazali nizinski ekotipovi (16,3 t/ha naspram 15,1 t/ha). Ovi rezultati bili su suprotni od sličnih studija koje su provedene na sustavima sa više košnji u jednoj sezoni, ali bitno je napomenuti da su drugi takvih pokusi održani na lokacijama koje su južnije i imaju mnogo manje godišnjih oborina.

## 10. Zaključci

- Primjena pepela nije značajno utjecala na prinos suhe tvari biomase divljeg prosa ni u jednom roku košnje (prosjeak svih tretmana u jesen 38,17 t ST/ha, prosjeak svih tretmana u proljeće 21,87 t ST/ha).
- Primjena pepela nije značajno utjecala na visinu biljke u jesen (prosječno 2,61 m).
- Primjena pepela nije značajno utjecala na sadržaj suhe tvari u biomasi divljeg prosa ni u jesen (prosječno 44,34 % ST) ni u proljeće (prosječno 88,02 % ST).
- Velike razlike u prinosu suhe tvari, došle su do izražaja između jesenskog i proljetnog roka košnje s tendencijom pada prinosa u proljetnom roku za prosječno 42,7 %.

## 11. Popis literature

1. Adler P.R., Sanderson M.A., Boateng A.A., Weimer P.J., Jung H.-J.G. (2006). Biomass yield and biofuel quality of switchgrass harvested in fall or spring. *Agronomy Journal* 98: 1518-1525
2. Aiken G.E., Springer T.L. (1995). Seed size distribution, germination, and emergence of 6 switchgrass cultivars. *Journal of Range Management* 48: 455-458
3. Alexopoulou E., Sharma N., Papatheohari Y., Christou M., Piscioneri I., Panoutsou C., Pignatelli V., (2008). Biomass yields for upland and lowland switchgrass varieties grown in the Mediterranean region, *Biomass and Bioenergy*, 32(10): 926-933
4. Aravindhakshan S.C., Epplin F.M., Taliaferro C.M. (2011). Switchgrass, bermudagrass, flaccidgrass, and lovegrass biomass yield response to nitrogen for single and double harvest. *Biomass Bioenergy*. 35: 308-319
5. Barney J.N., Mann J.J., Kyser G.B., Blumwald E., Van Deynze A., DiTomaso J.M. (2009). Tolerance of switchgrass to extreme soil moisture stress: ecological implications. *Plant Science* 177: 724-732
6. Beaty E.R., Engel J.K.L., Powell J.D. (1978). Tiller development and growth in switchgrass. *Journal of Range Management* 31: 361-365
7. Beckman J.J., Moser L.E., Kubik K., Waller S.S. (1993). Big bluestem and switchgrass establishment as influenced by seed priming. *Agronomy Journal* 85: 199-202
8. Benedict H.M. (1941). Effect of day length and temperature on the flowering and growth of four species of grasses. *Journal of Agricultural Research* 61: 661-672
9. Bolinder M.A., Angers D.A., Belanger G., Michaud , Laverdiere M.R. (2002). Root biomass and shoot to root ratios of perennial forage crops in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science* 82: 731-737
10. Brejda J.J. (2000). Fertilization of native warm-season grasses. U: Moore K.J., Anderson B.E. (eds). *Native warm-season grasses: research trends and issues*. CSSA Spec Publ 30. CSSA, Madison, WI
11. Bryant J.A.(1985). *Seed physiology*. Edward Arnold Publishers, London
12. Casler M.D., Vogel K.P., Taliaferro C.M., Wynia R.L. (2004). Latitudinal adaptation of switchgrass populations. *Crop Science* 44: 293-303
13. Chang A.C., Lund L.J., Page A.L., Warneke J.E., (1977). Physical properties of Fly ash-amended soils. *Journal of Environmental Quality* 6 : 267-270
14. Chapman G.P. (1992). *Grass evolution and domestication*. Cambridge Press, Cambridge
15. Christian D., Riche A.B., Yates N.E. (2002). The yield and composition of switchgrass and coastal panic grass grown as a biofuel in Southern England. *Bioresource Technology* 83: 115-124
16. Christian D.G., Riche A.B. (2001). Estimates of rhizome weight of *Miscanthus* with time and rooting depth compared to switchgrass. *Asp Appl Biol* 65: 1-5

17. Clapham W.M., Zibilske L.M., (1992). Wood ash as a liming amendment. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 23: 1209-1227
18. Clark R.B. (2002). Differences among mycorrhizal fungi for mineral uptake per root length of switchgrass grown in acidic soil. *Journal of Plant Nutrition* 25: 1753-1772
19. Collins M., Owens V.N. (2003). Preservation of forage as hay and silage. U: Barnes R.F., Nelson C.J., Collins M., Moore K.J. (eds). *Forages: an introduction to grassland agriculture*, 6th edn. Iowa State Press, Ames
20. Cornelius D.R., Johnson C.O. (1941). Differences in plant type and reaction to rust among several collections of *Panicum Virgatum*. *L J Am Soc Agron* 33: 115-124
21. Dalrymple R.L., Dwyer D.D. (1967). Root and shoot growth of five range grasses. *Journal of Range Management* 20: 141-145
22. Demeyer A., Voundi Nkana J.C., Verloo M.G.,(2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology* 77 (3): 287-295
23. Digman M., Shinnars K., Muck R., Dien B. (2010a). Full-scale on-farm pretreatment of perennial grasses with dilute acid for fuel ethanol production. *Bioenerg Res.* 3: 335-341
24. Duffy M. (2007). Estimated costs for production, storage and transportation of switchgrass PM 2042. Iowa State University Extension, Ames
25. Eggemeyer K.D., Awada T., Harvey F.E., Wedin D.A., Zhou X., Zanner C.W. (2008). Seasonal changes in depth of water uptake for encroaching trees *juniperus virginiana* and *pinus ponderosa* and two dominant C4 grasses in a semiarid grassland. *Tree Physiol* 29: 157-169
26. Elbersen H.W., Christian D.G., El Bassam N. et al (2004). A management guide for planting and production of switchgrass as a biomass crop in Europe. U: van Swaaij W.P.M., Fjallstrom T., Helm P., Grassi A. (eds). *Proceedings of the 2nd world conference on biomass for energy, industry, and climate protection*, Rome, Italy
27. Elbersen H.W., Christian D.G., El Bassam N., Alexopoulou E., Pignatelli V., van der Berg D. (2001). Switchgrass (*Panicum Virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe: initiation of a productivity network. Final report FAIR 5-CT97-3701: 91
28. Elbersen H.W., Ocumpaugh W.R., Hussey M.A., Sanderson M.A., Tischler C.R. (1998). Crown node elevation of switchgrass and kleingrass under low light. *Crop Science* 38: 712-716
29. Erich M.S.(1991). Agronomic effectiveness of wood ash as a source of phosphorus and potassium. *Journal of Environmental Quality* 20: 576-581
30. Etiegni L., Campbell A.G., (1991). Physical and chemical characteristics of wood ash. *Bioresources Technology* 37: 173-178.
31. Etiegni L., Campbell A.G., Mahler R.L., (1991a). Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. I. Potential as a soil additive and liming agent. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22: 243-256.
32. Fike John H., Parrish David J., Wolf Dale D., Balasko John A., Green James T., Monroe Rasnake, Reynolds John H. (2006). Switchgrass production for the upper southeastern USA: Influence of cultivar and cutting frequency on biomass yields, Biomass and Bioenergy, 30(3): 207-213
33. Garten C.T. Jr, Smith J.L., Tyler D.D. et al (2010). Intra-annual changes in biomass, carbon, and nitrogen dynamics at 4-year old switchgrass field trials in west Tennessee, USA. *Agr Ecosyst Environ* 136: 177-184
34. George J.R., Reigh G.S. (1987). Spring growth and tiller characteristics of switchgrass. *Canadian Journal of Plant Science* 672: 167-174

35. Giannoulis K.D., Karyotis T., Sakellariou-Makrantonaki M., Bastiaans L., Struik P.C., Danalatos N.G. (2016). Switchgrass biomass partitioning and growth characteristics under different management practices, *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 78: 61-67
36. Green J.C., Bransby D.I. (1995). Effects of seed size on germination and seedling growth of „Alamo“ switchgrass. U: West NE (ed) Proceedings of 5th international rangelands congress, Salt Lake City, UT
37. Gustafson D.M., Boe A., Jin Y. (2003). Genetic variation for *Puccinia emaculata* infection in switchgrass. *Crop Science* 43: 755-759
38. Hacisalihoglu G. (2008). Responses of three switchgrass (*Panicum Virgatum* L.) cultivars to seed priming and differential aging conditions. *Acta Agric Scand, See B-Soil Plant Science* 58: 280-284
39. Hancock D.W. (2009). The management and use of switchgrass in Georgia. *Georgia Cooperative Extension Bulletin* 1358
40. Hanson J.D., Johnson H.A. (2005). Germination of switchgrass under various temperature and pH regimes. *Seed Technology* 27: 203-210
41. Hess J.R., Wright C.T., Kenney K.L. (2007). Cellulosic biomass feedstocks and logistics for ethanol production. *Biofuel Bioprod Bior* 1: 181-190
42. Hohenstein W.G., Wright L.L. (1994). Biomass energy production in the United States: An overview. *Biomass and Bioenergy* 6: 161-173
43. Hsu F.H., Nelson C.J. (1986). Planting date effects on seedling development of perennial warm-season forage grasses. I field emergence. *Agron J* 78: 33-38
44. Jensen N.K., Boe A. (1991). Germination of mechanically scarified neoteric switchgrass seed. *Journal of Range Management* 44: 299-301
45. Jung G.A., Shaffer J.A., Stout W.L. (1988). Switchgrass and big bluestem responses to amendments on strongly acid soil. *Agronomy Journal* 80:669-676
46. Kellog E. A. (2001). Evolutionary history of the grasses. *Plant Physiology* 125: 1198-1205
47. Knapp A.D. (2000). An overview of seed dormancy in native warm-season grasses. U: Moore K.J., Anderson B.E. (eds). *Native warm-season grasses: research trends and issues*. CSSA Special Publ 30. CSSA and ASA, Madison
48. Lasorella M.V., Monti A., Alexopoulou E. et al (2011). Yield comparison between switchgrass and miscanthus based on multi-year side by side comparison in Europe. U: Proceedings of the 19th European biomass conference & exhibition, Berlin
49. Lee D.K., Owens V.N., Doolittle J.J. (2007). Switchgrass and soil carbon sequestration response to ammonium nitrate, manure, and harvest frequency on conservation reserve program land. *Agronomy Journal* 99: 462-468
50. Lemus R., Parrish D.J., Abaye O. (2008). Nitrogen-use dynamics in switchgrass grown for bio-mass. *Bioenergy Resources* 1: 153-162
51. Lemus R., Parrish D.J., Wolf D.D. (2009). Nutrient uptake by „Alamo“ switchgrass used as an energy crop. *Bioenergy Resources* 2: 37-50
52. Lerner B.R., Utzinger J.D. (1986). Wood ash as soil liming material. *HortScience* 21: 76-78
53. Lowenberg-DeBoer J., Cherney J.H. (1989). Biophysical simulation for evaluating new crops: the case for switchgrass for biomass energy feedstock. *Agr Syst* 29:233-24
54. Ma Z., Wood C.W., Bransby D.I. (2000). Impacts of soil management on root characteristics of switchgrass. *Biomass and Bioenergy* 18: 105-112
55. Madakadze I., Coulman B.E., Stewart K., Peterson P., Samson R., Smith D.L. (1998). Phenology and tiller characteristics of big bluestem and switchgrass cultivars in a short growing season area. *Agronomy Journal* 90: 489-495

56. Madakadze I.C., Coulman B.E., McElroy A.R., Stewart K.A., Smith D.L. (1998). Evaluation of selected warm-season grasses for biomass production in areas with a short growing season. *Bioresources Technology* 65: 1-12
57. McKenna J.R., Wolf D.D., Lentner M. (1991). No-till warm-season grass establishment as affected by atrazine and carbofuran. *Agronomy Journal* 83: 311-316
58. McLaughlin S.B., Kszos L.A. (2005). Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy* 28: 515-535
59. Mitchell R.B., Vogel K.P., Sarath G. (2008). Managing and enhancing switchgrass as a bioenergy feedstock. *Biofuel Bioprod Bior* 2: 530-539
60. Mitchell R.B., Vogel K.P., Schmer M.R., Pennington D. (2010). Switchgrass for biofuel production. Lincoln, Nebraska, USA
61. Monti A., Bezzi G., Pritoni G., Venturi G. (2008). Long term productivity of lowland and upland switchgrass cytotypes as affected by cutting frequency. *Bioresources Technology* 99: 7425-7432
62. Monti A., Venturi P., Elbersen H.W. (2001). Evaluation of the establishment of lowland and upland switchgrass (*Panicum Virgatum* L.) varieties under different tillage and seedbed conditions in northern Italy. *Soil Till Res* 63: 75-83
63. Moore K.J., Moser L.E., Vogel K.P., Waller S.S., Johnson B.E., Pederson J.F. (1991). Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. *Agronomy Journal* 83: 1073-1077
64. Moser L.E., Vogel K.P. (1995). Switchgrass, big bluestem, and indiagrass. U: Barnes RF (ed) *Forages: an introduction to grassland agriculture*. Iowa State University Press, Iowa
65. Moser L.E., Vogel K.P. (1995). Switchgrass, bigbluestem and Indiegrass. U: Barnes R.F., Miller D.A., Nelson C.J. (eds) *Forages, an introduction to grassland agriculture*, vol 1. Iowa State University Press, Ames
66. Muir J.P., Sanderson M.A., Ocumpaugh W.R., Jones R.M., Reed R.L. (2001). Biomass production of „Alamo“ switchgrass in response to nitrogen, phosphorus, and row spacing. *Agronomy Journal* 93: 896-901
67. Mulkey V.R., Owens V.N., Lee D.K. (2006). Management of switchgrass-dominated conservation reserve program lands for biomass production in South Dakota. *Crop Science* 46: 712-720
68. Muse J.K., Mitchell C.C., (1995) Paper mill boiler-ash and lime byproducts as soil liming materials. *Agronomy Journal* 87: 432-438.
69. Newman P.R., Moser L.E. (1988). Grass seedling emergence, morphology, and establishment as affected by planting depth. *Agronomy Journal* 80: 383-387
70. Newman P.R., Moser L.E. (1988). Seedling root development and morphology of cool-season and warm-season forage grasses. *Crop Science* 28: 148-151
71. Ohno T., (1992). Neutralization of soil acidity and release of phosphorus and K by wood ash. *Journal of Environmental Quality* 21: 433-438.
72. Ohno T., Erich M.S., (1990). Effect of wood ash application on soil pH and soil test nutrient levels. *Agric. Ecosyst. Environ.* 32: 223-239
73. Olson W.W. (1984). Phenology of selected varieties of warm season native grasses. U: *Proceedings of the 9th North American prairie conference*. Moorhead, Minnesota
74. Panciera M.T., Jung G.A. (1984). Switchgrass establishment by conservation tillage: planting date responses of two varieties. *Journal of Soil Water Conservation* 39: 68-70
75. Parish D.J., Fike J.H. (2005). The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. *Crit Rev Plant Sci* 24: 423-459



76. Sanderson M.A., Jones R.M., McFarland M.J., Stoup J., Reed R.L., Muir J.P. (2001). Nutrient movement and removal in a switchgrass biomass-filter strip system treated with dairy manure. *Journal of Environmental Quality* 30: 210-216
77. Sanderson M.A., Read J.C., Reed R.L. (1999). Harvest management of switchgrass for biomass feedstock and forage production. *Agronomy Journal* 91: 5-10
78. Sanderson M.A., Reed R.L. (2000). Switchgrass growth and development: water, nitrogen, and plant density effects. *Journal of Range Management* 53: 221-227
79. Sanderson M.A., Reed R.L., McLaughlin S.B. et al (1996). Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresources Technology* 56: 83-93
80. Sanderson M.A., Schnabel R.R., Curran W.S., Stout W.L., Genito D., Tracy B.F. (2004). Switchgrass and big bluestem hay, biomass, and seed yield response to fire and glyphosate treatment. *Agronomy Journal* 96:1688-1692
81. Sanderson M.A., Wolf D.D. (1995). Morphological development of switchgrass in diverse environments. *Agronomy Journal* 87: 908-915
82. Sarath G., Bethke P., Jones R., Baird L., Hou G., Mitchell R. (2006). Nitric oxide accelerates seed germination in warm-season grasses, *Planta* 223: 1154-1164
83. Sarath G., Hou G., Baird L.M., Mitchell R.B. (2007). Reactive oxygen species, ABA and nitric oxide interactions on the germination of warm-season C4-grasses. *Planta* 226: 697-708
84. Sarath G., Mitchell R.B. (2008). Aged switchgrass seed lots response to dormancy-breaking chemicals. *Seed Technology* 30: 7-16
85. Schmer M.R., Vogel K.P., Mitchell R.B., Moser L.E., Eskridge K.M., Perrin R.K. (2006). Establishment stand thresholds for switchgrass grown as a bioenergy crop. *Crop Science* 46: 157-161
86. Seepaul R., Macoon B., Reddy K.R., Baldwin B. (2011). Switchgrass (*Panicum Virgatum* L.) intraspecific variation and thermo tolerance classification using in vitro seed germination assay. *American Journal of Plant Science* 2: 134-147
87. Shen Z.X., Parrish D.J., Wolf D.D., Welbaum G.E. (2001). Stratification in switchgrass seeds is re-versed and hastened by drying. *Crop Science* 41: 1546-1551
88. Smith D. (1975). Trends of nonstructural carbohydrates in the stem bases of switchgrass. *Journal of Range Management* 28: 389-391
89. Taylor R.W., Allinson D.W. (1982). Response of three warm-season grasses to varying fertility levels on five soils. *Canadian Journal of Plant Science* 62: 657-665
90. Thomason W.E., Raun W.R., Johnson G.V., Taliaferro C.M., Freeman K.W., Wynn K.J., Mullen R.W. (2004). Switchgrass response to harvest frequency and time and rate of applied nitrogen. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1199-1266
91. Tufekcioglu A., Raich J.W., Isenhardt T.M., Schultz R.C. (2003). Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. *Agroforest System* 57: 187-198
92. Ulery A.L., Graham R.C., Amrhein C., (1993). Wood-ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Science* 156: 358-364.
93. Unger Y.L., Fernandez I.J., (1990). The short-term effects of wood-ash amendment on forest soils. *Water Air Soil Pollution* 49: 299-314
94. Van Esbroeck G.A., Husey M.A., Sanderson M.A. (2003). Variation between Alamo and cave-in-rock switchgrass in response to photoperiod extension. *Crop Science* 43: 639-643
95. Van Esbroeck G.A., Husey M.A., Sanderson M.A. (1997). Leaf appearance rate and final leaf number of switchgrass cultivars. *Crop Science* 37: 864-870
96. Vance E.D., (1996). Land application of wood-fired and combination boiler ashes: an overview. *Journal of Environmental Quality* 25: 937-944

97. Vogel K.P. (1987). Seeding rates for establishing big bluestem and switchgrass with preemergence atrazine applications. *Agronomy Journal* 79: 509-512
98. Vogel K.P. (2002). The challenge: high quality seed of native plants to ensure successful establishment. *Seed Technology* 24: 9-15
99. Vogel K.P. (2004). Switchgrass. U: Sollenberger L.E., Moser L., Burson B.(eds). Warm-season (C4) grasses. *Agron monogr* 45. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA
100. Vogel K.P., Sarath G., Saathoff A., Mitchell R. (2011). Switchgrass. U: Halford N., Karp A. (eds). *Energy Crops*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge
101. Zalapa J.E., Price D.L., Kaeppler S.M., Tobias C.M., Okada M., Casler M.D. (2011). Hierarchical classification of switchgrass genotypes using SSR and chloroplast sequences: ecotypes, ploidies, gene pools and cultivars. *Theor Appl Genet* 122: 805-817
102. Zarnstorff M.E., Keys R.D., Chamblee D.S. (1994). Growth regulator and seed storage effects on switchgrass germination. *Agronomy Journal* 86: 667-672
103. Zegada-Lizarazu W., Elbersen W., Cosentino S.L., Zatta A., Alexopoulou E., Monti A. (2010). Agronomic aspects of future energy crops in Europe. *Biofuel Bioprod Bior* 4: 674-691
104. Zhang Z., Zalapa J.E., Jakubowski A.R. et al (2011). Natural hybrids and gene flow between upland and lowland switchgrass. *Crop Science* 51: 2626-2641

## Životopis:

Mijo Dumančić rođen je 16. dana mjeseca srpnja, godine 1996. u Livnu (Bosna i Hercegovina). Osnovu školu, Opću gimnaziju i 3 razreda glazbene škole (instrument gitara) završava u Kupresu (Bosna i Hercegovina). Godine 2015. upisuje Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, smjer Poljoprivredna tehnika. Titulu sveučilišnog prvostupnika stječe 2018. godine sa Završnim radom na temu *Primjena dvokratnih Otto motora u poljoprivredi*. Iste godine nastavlja s diplomskim studijem na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Vješto se služi engleskim jezikom te posjeduje osnovno znanje u CAD softveru (autocad i inventor) i radu u programu Microsoft Office. Bio je aktivni član Akademskog muškog zbora Fakulteta Elektrotehnike i računarstva. Veliku strast gaji prema prirodi i planinarenju, te prema sportu općenito.