

Prof. dr. Dalibor Ballian

VARIJABILNOST
CRNE TOPOLE
(Populus nigra L.)
I NJENO OČUVANJE U
BOSNI I HERCEGOVINI



Sarajevo,
2017. godine

IMPRESSUM

ZNANSTVENA MONOGRAFIJA

Varijabilnost crne topole (*Populus nigra* L.) i njeno očuvanje u Bosni i Hercegovini

IZDAVAČ: Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu

ZA IZDAVAČA: prof. dr Mirza Dautbašić

SUIZDAVAČ: Silva Slovenica - izdavački centar Šumarskog instituta Slovenije, Ljubljana

GODINA IZDANJA: 2017.

RECENZENTI: prof. dr. Davorin Kajba, Dr. sc. Almir Karačić i Dr. sc. Gregor Božič

TEHNIČKA UREDNICA: Leila Čmajčanin, Art7

LEKTOR: Katarina Bakula

KOREKTOR: Andreja Dautović

GRAFIČKI DIZAJN I TEHNIČKA PRIPREMA: ART 7

AUTOR FOTOGRAFIJA NA OMOTU: prof. dr. Faruk Bogunić

Elektronsko izdanje

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i univerzitetska biblioteka
Bosne i Hercegovine, Sarajevo

582.681.81(497.6)

BALLIAN, Dalibor
Varijabilnost crne topole (*Populus nigra*
L.) i njeno očuvanje u Bosni i Hercegovini
[Elektronski izvor] / Dalibor Ballian. - El.
knjiga. - Sarajevo : Šumarski fakultet ;
Ljubljana : Silva Slovenica - izdavački centar
Šumarskog instituta Slovenije, 2017

Sistemske zahtjevi nisu navedeni.
Dostupno i na: <https://www.sfsa.unsa.ba>, <https://www.usitfbih.ba>. - Nasl. s nasl.
ekrana. - Izvor opisan dana 31.7.2017.

ISBN 978-9958-616-41-9
COBISS.BH-ID 24270086



ŠUMARSKI FAKULTET
UNIVERZITETA U SARAJEVU



Ova publikacija je sufinansirana iz LIFE GEN MON projekta, koji je finansijski podržan od strane LIFE (Financijskog instrumenta za okoliš) Europske unije, Ministarstva zaštite okoliša i prostornog planiranja Slovenije i Šumarskog instituta Slovenije.



Silva
Slovenica

Ova publikacija je tiskana u suradnji sa *Silva Slovenica* izdavačkim centrom Šumarskog instituta Slovenije, Ljubljana, Slovenija



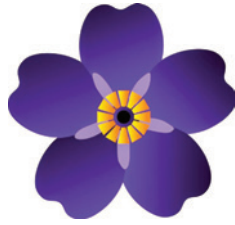
REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

Nijedan dio ove knjige ne smije se umnožavati ili na bilo koji način reproducirati bez dopuštenja autora.

Prof. dr. Dalibor Ballian

VARIJABILNOST
CRNE TOPOLE
(Populus nigra L.)
I NJENO OČUVANJE U
BOSNI I HERCEGOVINI

Sarajevo, Ljubljana
2017. godine



Այս գիրքը նվիրվում է բոլորնրանց հիշատակին,
ուն կորցրել է իմ ընտանիքը.

PREDGOVOR

Nastavljamo sa znanstvenim monografijama šumskih vrsta kod nas. Pred nama je treća monografija, ovaj put o crnim topolama, vrsti kojoj se ne pridaje dužna pažnja, a mogla bi da igra veoma značajnu ulogu, naročito u proizvodnji drva za biomasu. Crna topola je također nezamjenjiva u fitoremedijaciji vode. Inače, u susjednim zemljama i Europi, gdje je do sada objavljen veliki broj monografija za vrste šumskog drveća, nema sličnog projekta. To ovoj monografiji daje posebnu vrijednost.

Sama monografija sadržava suvremena morfološka, fiziološka i molekularna istraživanja o varijabilnosti crne topole u Bosni i Hercegovini i njenoj genetskoj strukturi do koje se došlo kroz niz istraživanja tijekom proteklih 19 godina. Većina podataka je ranije objavljena u brojnim znanstvenim radovima kod nas i u inozemstvu, ali jedan dio podataka se prvi put objavljuje.

U monografiji se mogu naći i osnovni podatci o sistematici crne topole, njenoj morfologiji, rasprostiranju i ekologiji, te praktične i osnovne znanstvene spoznaje o morfološkoj varijabilnosti i genetskoj strukturi. Iako su kroz monografiju i rasprave prikazana i brojna svjetska iskustva s crnom topolom, ipak srž ove knjige je prilagođena potrebama bosanskohercegovačkog šumarstva i svih ostalih koji žele proširiti svoja saznanja o crnoj topoli, najznačajnijoj vrsti koja raste duž bosanskohercegovačkih vodotoka, vrsti kojoj prijati potpuni nestanak.

Prilikom rada na ovoj monografiji susretali smo se s brojnim problemima i izazovima, te su nam mnoge kolege izašle u susret i pomogle u realizaciji ovog, za nas veoma značajnog, posla. Posebnu zahvalnost dugujem i kolegi prof. dr. Faruku Boguniću koji se već poslovično prihvatio pomoći pri izradi fotografija sa morfološkim detaljima cvijeta, sjemena i listova crne topole, što poglavlju morfologije daje posebnu vrijednost i specifičnost.

Zahvalu dugujemo kolegama iz šumarskih poduzeća koji su nam tijekom 19 godina nesebično pomagali prilikom sabiranja materijala za brojna istraživanja koja smo provodili s crnom topolom, kao i na organiziranju klonskog arhiva u Žepču, te vladi Regije Lombardia i ERSAFu iz Milana na financijskoj podršci prilikom podizanja arhiva. Nadam se da nam kolege neće zamjeriti što ih nismo poimenično pobrojali, ali bi spisak bio jako veliki i moglo bi nam se desiti da smo koga izostavili. Ipak, svi se mogu prepoznati kada pročitaju ovu monografiju i vide koji je materijal obrađen.

Recenzentima se posebno zahvaljujemo na primjedbama i korisnim prijedlozima, čime su znatno unaprijedili i poboljšali tekst. Unaprijed zahvaljujemo svim kolegama i čitateljima koji će nas upozoriti na propuste ili nedostatke u tekstu kako bismo zajednički pridonijeli proširenju znanja o toj problematici.

Na kraju se također zahvaljujem mom profesoru i mentoru na magistarskom studiju u Zagrebu, prof. dr. Anti Krstiniću koji je u meni probudio ljubav ka crnim topolama daleke 1997. godine, te prof. dr. Nikoli Janjiću koji me iste godine uveo u svijet bosanskohercegovačkih topola. Također sam zahvalan kolegama iz EUFORGENA, jer

su mi omogućili da prisustvujem sastancima radne skupine za crne topole, gdje sam produbio svoja saznanja o ovoj vrijednoj vrsti. Na kraju se moram zahvaliti i kolegama iz FAO – IPC-a, koji su mi omogućili da prisustvujem konferencijama o topolama u Čileu, Kini i Njemačkoj, na kojima sam još više produbio svoja znanja o crnim topolama i zavolio ovu vrijednu i nezamjenjivu vrstu.

Autor
Sarajevo, 2017.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	9
2. BIOSISTEMATSKA PRIPADNOST CRNIH TOPOLA.....	16
2.1. Osnovne karakteristike nekih taksonomskih jedinica.....	16
1. Divizija: <i>Magnoliophyta</i> – skrivenosjemenice.....	16
2. Razred: <i>Magnoliopsida</i> – dikotiledone biljke.....	16
3. Red: <i>Salicales</i>	17
4. Porodica: <i>Salicaceae</i>	17
5. Rod: <i>Populus</i>	17
6. Sekcija: <i>Aigeros</i>	17
7. Vrsta: <i>Populus nigra</i> L.....	17
2.2. Sistematika crnih topola u Bosni i Hercegovini.....	18
Pregled taksonomskih jedinica.....	20
3. OSNOVNA MORFOLOŠKA SVOJSTVA CRNIH TOPOLA.....	22
3.1. Europska crna topola (<i>Populus nigra</i> L. <i>nigra</i>).....	22
3.2. Dlakava crna topola <i>Populus nigra</i> ssp. <i>caudina</i> (Ten.) Bug. var. <i>nerentana</i> (Jov. et Tuc.) Janjić.....	25
4. PODRUČJE RASPROSTIRANJA CRNIH TOPOLA.....	26
4.1. Područje rasprostiranja topola u Europi i Aziji.....	26
4.2. Područje rasprostiranja topola u Bosni i Hercegovini.....	27
5. DINAMIKA POPULACIJA CRNIH TOPOLA.....	29
5.1. Dinamika populacija crnih topole temeljem fosilnih ostataka.....	29
5.2. Dinamika migracije na temelju molekularnih istraživanja.....	32
6. UGROŽENOST CRNIH TOPOLA.....	40
6.1. Ugroženost u Bosni i Hercegovini.....	42
7. EKOLOGIJA CRNIH TOPOLA.....	46
8. EKOLOŠKO-VEGETACIJSKA PRIPADNOST CRNIH TOPOLA.....	51
Pripanonska oblast (1.).....	52
Sjevernobosansko područje (1.1.).....	53
Sjeverozapadno bosansko područje (1.2.).....	54
Prelazno ilirsko-mezijska oblast (2.).....	55
Donje drinsko područje (2.1.).....	57

Srebrenički rajon (2.1.3.)	59
Gornje drinsko područje (2.2.)	59
Goraždansko-fočanski rajon (2.2.3.)	60
Oblast unutrašnjih Dinarida (3.)	61
Zapadnobosansko vapnenačko-dolomitno područje (3.2.)	62
Ključko-petrovački rajon (3.2.1.)	63
Srednjobosansko područje (3.3.)	64
Vranički rajon (3.3.2.)	65
Sarajevsko-zenički rajon (3.3.3.)	66
Zavidovičko-tesličko područje (3.4.)	67
Meditersansko-dinarska oblast (4.)	68
Submediteransko područje (4.3.)	69
Rajon bez zimzelenih elemenata (4.3.1.)	71
Rajon sa zimzelenim elementima (4.3.2.)	71
9. PREGLED FITOCENOZA U KOJIM SE JAVLJAJU CRNE TOPOLE U BOSNI I HERCEGOVINI (prema Stefanoviću 1977; Beusu 1997)	73
ŠUME VRBA I TOPOLA (<i>Svezia Salicion albae</i> , Soó)	73
ŠUME VRBA	74
ZAJEDNICA BADEMASTE VRBE (<i>Salicetum triandrae</i> , Malc., 1929)	74
ŠUMA BIJELE VRBE (<i>Salicetum albae</i> , Iss., 1926)	75
ZAJEDNICA RAKITE (<i>Salicetum purpureae</i> , Wendbg., 1952)	76
ZAJEDNICA SIVE VRBE (<i>Salicetum incanae</i> , Jov., 1965)	76
ŠUME TOPOLA	77
ŠUMA CRNE I BIJELE TOPOLE (<i>Populetum nigro-albae</i> , Slavn., 1952)	78
10. MORFOLOŠKA VARIJABILNOST CRNIH TOPOLA	80
10.1. Morfološka varijabilnost crnih topola u Bosni i Hercegovini i Hrvatskoj	80
10.2. Morfološka varijabilnost dlakavih crnih topola	94
10.2.1. Deskriptivna analiza	97
10.2.2. Klaster analiza	99
10.3. Usporedba hercegovačkih dlakavih crnih topola i tipičnih crnih topola iz Posavine i Podravine	101
10.3.1. Deskriptivni statistički pokazatelji	104
10.3.2. Diskriminacijska analiza	104
11. FENOLOŠKA VARIJABILNOST CRNIH TOPOLA	108
11.1. Fenološka istraživanja u klonskoj arhivi crnih topola	108
11.2. Deskriptivna analiza fenofaza	110
11.3. Usporedbe fenofaza i temperatura u vrijeme fenofaza kroz godine za svaku populaciju	112

11.4. Diskriminantna analiza	112
11.5. Korelacija istraživanih svojstava za sve populacije po godinama	113
12. MOLEKULARNA VARIJABILNOST CRNIH TOPOLA	118
12.1. Genetska karakterizacija europskih crnih topola (<i>Populus nigra</i> L. <i>nigra</i>) i dlakavih crnih topola (<i>Populus nigra</i> ssp. <i>caudina</i>)	118
13. OČUVANJE CRNIH TOPOLA U BOSNI I HERCEGOVINI	133
13.1. Klonski arhiv crnih topola u Žepču	133
13.1.1. Glavni cilj očuvanja	135
13.1.2. Metoda vegetativnog razmnožavanja	138
13.1.3. Rezultati vegetativnog razmnožavanja	141
13.2. Molekularno identificiranje klonova u arhivu Žepče	146
14. PREPORUKE ZA KORIŠTENJE I OČUVANJE CRNIH TOPOLA	150
14.1. <i>Temeljni kriteriji za razgraničenje populacija</i>	151
<i>Veličina</i>	151
<i>Indikatori ekološki homogenih uvjeta</i>	151
<i>Distribucija crne topole i genetičke različitosti</i>	152
14.2. Uporaba klonskog materijala	153
14.3. Adaptabilnost	154
14.4. <i>In situ</i> genetska obnova populacija <i>Populus nigra</i>	155
14.5. Teoretski pristup	156
1. <i>Rizik kod očuvanih populacija</i>	158
2. <i>Preporuke za očuvanje</i>	158
<i>Preporuke</i>	159
3. <i>Fluktuacija gena kultiviranih varijeteta</i>	160
<i>Preporuke</i>	160
4. <i>Veličina populacije</i>	161
<i>Preporuke</i>	162
14.6. Izbor indikatora za monitoring lokalne evolucije	162
14.7. Korištenje crnih topola u sustavu agroforestrija i fitoremedijacije	164
15. LITERATURA	170
16. SAŽETAK	193
17. SUMMARY	199



1. UVOD

U staroj Grčkoj drvo crne topole je bilo posvećeno Heraklu, mitskom junaku koji je trebao poći u podzemlje te je na glavi nosio vijenac od topolinskih grančica. U to doba je topola bila jedino drvo koje se moglo darovati vrhovnom božanstvu Zeusu. Također je drvo topole bilo povezano s paklom, bolestima i suzama te poznato kao pogrebno drvo koje simbolizira regresivne prirodne sile. U Francuskoj za vrijeme revolucije topole su bile simbol slobode zbog svog brzog rasta (Brus 2004).

Drvo topola je visoko cijenjeno jer je lagano, otporno na vatru i ima odlična svojstva prigušivanja zvuka kao zvučni izolator. Kao rezultat toga, crna topola ima dugu povijest korištenja za klompe, košare za voće, namještaj, podove i u izradi željezničkih vagona (Cottrell i sur. 2005).

Crna topola (*Populus nigra* L.) ima široko područje rasprostiranja od Mediterana na jugu do 64° zemljopisne širine u sjever, te od Britanskog otočja do zapadne Azije (Zsuffa 1974). To je pionirska vrsta drveća iz priobalnih ekosustava, strogo heliofilna, što formira metapopulacije koloniziranjem otvorenih prostora, sjemenom i vegetativno - reznicama, dijelom korijena (Zsuffa 1974; Herpka 1986; Pospíšková i Bartáková 2004; Čortan i sur. 2015). Topola u Europi i svijetu predstavlja jednu od najznačajnijih vrsta šumskog drveća s ekološkog i, djelomično, s gospodarskog stajališta, ali je u Bosni i Hercegovini, kao i mnogim zemljama središnje Europe, bila potpuno marginalizirana.

Prema novoj inventuri šuma u Bosni i Hercegovini, ukupna površina šuma i šumskih zemljišta je 3 231 500 ha, od čega na visoke šume dolazi 1 652 400 ha, niske šume 1 252 200 ha, šikare 130 600 ha te na goleti 187 200 ha (Lojo i Balić 2011). Za razliku od nove inventure šuma, prema staroj inventuri ukupna površina šumskih zemljišta je 2 501 000 ha, od čega na visoke šume dolazi 1 130 000 ha, niske šume i šikare 841 000 ha te na goleti 530 000 ha (Matić i sur. 1971), s velikim bogatstvom vrsta, posebno endema, te velikom raznolikošću biljnih zajednica i 93% prirodnih šuma. Do podataka o šumama topola dolazimo preračunavanjem podataka stare inventure šuma 1964. - 1968. godine (Matić i sur. 1971) te na prirodne šume topola dolazi aproksimativno oko 712 ha, a na plantaže oko 580 ha, s tim da postoje mnoge manje skupine stabala topola duž vodotoka koje nisu

uzete u obzir te mnogi nasadi u drvodredima u južnom i jugozapadnom dijelu zemlje. Prema novoj inventuri na prirodne šume topola dolazi aproksimativno oko 900 ha, a na plantaže euroameričkih topola oko 100 ha, ali također postoje manje skupine topola koje nisu uključene



Slika 1. Crne topole na Visočkoj adi

u površinu prikazanu u novoj inventuri šuma. Ipak, prema novoj inventuri šuma Bosna i Hercegovina ima potencijal od 40 000 ha gdje mogu rasti šume vrba i topola, pretežito u ravničarskom dijelu zemlje, odnosno Posavini (Lojo i Balić 2011). Da bi se bolje razumjela situacija s vodotocima i njihovim polojima na kojima rastu topole, potrebno je napomenuti da ukupna duljina rijeka i potoka u Bosni i Hercegovini iznosi oko 11 000 km (Alikalfić 1998), a pogodna područja za rast topola ograničena su samo na doline većih rijeka, Drine, Bosne, Vrbasa, Une, Sane, Neretve i Save, s ukupnom duljinom oko 1200 km. Topole u Bosni i Hercegovini naseljavaju aluvijalna, rahla i pjeskovita zemljišta duž rijeka, ravničarskih i nižih brdskih područja do oko 300 m (Šilić 1983), mada u unutrašnjosti topole pridolaze u dolinama i do 700 m nadmorske visine. S ovako malim površinama pod topolama Bosna i Hercegovina ne može pretendirati na neku veliku proizvodnju kao što je to slučaj u velikim i visokorazvijenim zemljama. Ipak, prednost Bosne i Hercegovine se ogleda u njenom autohtonom genofondu koji je, slobodno možemo reći, jedan od najbolje očuvanih u Europi kada su u pitanju crne topole.

U Bosni i Hercegovini su zastupljene četiri osnovne vrste topola, jasika - *Populus tremula*, crna topola - *P. nigra*, bijela topola - *P. alba* i siva topola - *Populus canescens* koja predstavlja hibrid (*Populus alba* x *P. tremula*), te čitav spektar nižih taksona koji proizlaze iz ove četiri pobrojane vrste (Beck-Mannagetta 1906; Fukarek 1959; Janjić 1983, 1984, 1990, 1992-1996). Možda najviše pažnje od nižih taksona treba posvetiti takozvanim dlakavim crnim topolama (*Populus nigra* ssp. *caudina*) koje rastu u jugozapadnom području Bosne i Hercegovine, odnosno u donjem toku rijeke Neretve.

Inače, rod *Populus* obuhvaća oko 100 vrsta koje od prirode dolaze u sjevernoj hemisferi (Zuffa 1974). Paleobotanička istraživanja su pokazala da je rod *Populus* bio rasprostranjen u dolinama rijeka u kasnoj kredi i tercijaru te je ustanovljeno da od toga najveći broj vrsta raste u sjevernoj Americi.

Crna topola se karakterizira velikom raznolikošću populacija, od izoliranih pojedinačnih stabala, kao i velikih čistih sastojina, pa do mješovitih sastojina (Lefèvre i sur. 1998). Topole uglavnom rastu na vlažnim poplavnim područjima uz rijeke i potoke te na riječnim sprudovima i adama. Traže puno svjetla te plodno i svježije zemljište. To su dvodomne vrste koje cvjetaju prije listanja i oprašuju se vjetrom.

Razmnožavaju se sjemenom i vegetativno jer daju kvalitetne izdanke iz panja ili žilja. Za gospodarske svrhe se uspješno razmnožavaju iz reznica ili cijepljenjem, a najvrjedniji svjetski klonovi i kroz kulturu tkiva (*in vitro*).

Brzi rast i lako vegetativno razmnožavanje su osnovna svojstva koja su omogućila postizanje velikih učinaka u klonskoj selekciji, a ti klonovi su bili prvi oblici upotrebe selekcioniranog materijala u praktičnom šumarstvu. Zbog tih svojstava je našla veliku primjenu u brojnim zemljama s intenzivnom proizvodnjom kemijskog drva i biomase. Tako se u Turskoj autohtone crne topole plantažiraju na površini od 60 000 ha, za razliku od hibridnih koje se plantažiraju na 70.000 ha. Osnovni razlog za njihovo plantažiranje u Turskoj je velika potreba lokalnog stanovništva za ogrjevnim drvom (Tunctaner 1995).

Kada su krajem 18. stoljeća iz Sjeverne Amerike u Europu (Francusku) prenesene američke crne topole, i kada je počela njihova sadnja, krenuo je proces spontanih križanja s europskim crnim topolama. Tada su se u prirodi pojavljivali hibridi različitih svojstava koji su se pokazivali tehnički boljim od izvorišnih vrsta, a stanovništvo ih je počelo intenzivno koristiti. Time je pokrenut proces introgresije gena američkih vrsta u populacije europskih crnih topola (Heinze 1998a i b, 2008; Taylor 2002; Fossati i sur. 2003; Lexer i sur. 2005; Niggemann 2006; Ziegenhagen i sur. 2008, Smulders i sur. 2008a) koji je u zapadnoj i srednjoj Europi skoro u potpunosti istisnuo čistu autohtonu crnu topolu. Tako se, s vremenom, područje rasprostiranja crnih topola smanjivalo pod utjecajem introgresije i čovjeka. Čovjek je najviše utjecao sječom ili posredno promjenama ekoloških uvjeta na rijekama kroz njihovu regulaciju. Tako se u mnogim europskim zemljama crne topole smatraju vrstom u nestajanju zbog stalne kontaminacije prirodnih staništa hibridima, širenjem hibrida na račun njihovog staništa te intenzivnim djelovanjem čovjeka. U mnogim zemljama, posebice u Italiji, u cilju očuvanja genofonda vrste pristupilo se pronalaženju i reintrodukciji autohtonih crnih topola koje su opstale u vidu pojedinačnih stabala. Da bi se izbjegle introgresirane individue, odnosno hibridi, bilo je potrebno pronaći što starija stabla crnih topola izvan područja s kulturama hibridnih topola kako bi genfond bio potpuno autohton. Također, u tim aktivnostima posebna pažnja u Italiji je usmjerena i k očuvanju odnosa između spolova da bi se što bolje očuvala genetska struktura autohtone crne topole (Bisoffi i sur.

1987). U zadnjem desetljeću se pojavio veliki interes za proučavanje i očuvanje crnih topola u Europskoj šumarskoj zajednici (Koskela i sur 2004; Storme i sur. 2004). Također su i brojne zemlje pokrenule lokalne arhive klonova i analize genetske strukture unutar postojećih populacija. Tako se na tome radi u Francuskoj (Legionnet i Lefèvre 1996; Imbert i Lefèvre 2003.), Njemačkoj (Ziegenhagen i sur. 2008), Italiji (Fossati i sur. 2003), Nizozemskoj (Arens i sur. 1998; Smulders i sur. 2008a), Švicarskoj (Holderegger i sur. 2005.) i Velikoj Britaniji (Winfield i Hughes 2002).

Zbog svoje ugroženosti europska crna topola je prepoznata kao prioritetna vrsta u aktivnostima na očuvanju šumskih genetskih izvora u Europi, a politički okvir za ove aktivnosti na zaštiti gena nastao je usvajanjem Rezolucije 2 na strasbourgškoj Ministarskoj konferenciji o zaštiti šuma u Europi tijekom 1990.g. (Anonimus 1990).

Crna topola je vrsta koja se uglavnom koristi kao matična baza za uzgoj hibridnih topola kroz programe oplemenjivanja hibridizacijom s američkim crnim topolama ili nekim od egzotičnih vrsta topola. Svoje mjesto u oplemenjivanju su našle i zbog toga što pokazuju dobru prilagodljivost različitim tipovima tla i klimatskim uvjetima kao i dobru otpornost na patogen, poznat kao bakterijski rak (*Xanthomonas populi*), otpornost na patogenu gljivu *Marssonina brunnea* koja uzrokuje pjegavost topolinog lista, odnosno topolin mozaički virus (Cagelli i Lefèvre 1995) te na imelu (*Viscum album*) koja se javlja samo na hibridima ili introgresiranim crnim topolama.

Inače, naša zemlja nije bila pošteđena introdukcije kultivara kanadskih, odnosno euroameričkih topola (*P. × canadensis* Moench), što u svojim radovima navode Fukarek (1959) i Janjić (1992-1996), ali su te introdukcije bile bez značajnijeg uspjeha. Pored kanadskih topola, u manjoj mjeri unošene su i balzamaste topole, ali samo za potrebe u urbanim sredinama.

Prva introdukcija alohtonih vrsta topola vezuje se za dolazak Austro-Ugarske Monarhije u Bosnu i Hercegovinu (Ballian i Mikić 1999). Tada se pored željezničkih postaja sade introducirane vrste. I pored tih reintrodukcija, za genofond autohtonih topola u Bosni i Hercegovini možemo slobodno reći da je još u dobrom stanju, da je on jedan od najbolje očuvanih u Europi te da predstavlja pravu riznicu, iako se danas mogu naći introgresirane individue (op. autora). Za takvo stanje prije svega trebamo zahvaliti činjenici da u Bosni i

Hercegovini nikad nije u velikoj mjeri zaživjela intenzivna proizvodnja mekih listača, nego su se potrebe za drvom mekih listača podmirivale uvozom iz susjednih zemalja. Ipak je bilo pokušaja da se podignu određene površine plantaža, ali su rezultati bili bez većeg uspjeha jer ih je pratio slab prinos i pojave patogena. Tako još i danas možemo putujući Bosnom sresti te podignute plantaže koje su trenutno u raznim stadijima degradacije. U novije vrijeme, počinje se razmišljati o rješavanju problema proizvodnje biomase koja treba odigrati vrlo bitnu ulogu u stvaranju energetskog potencijala te će u tom segmentu topole vjerojatno igrati vrlo bitnu ulogu kroz podizanje intenzivnih ili ekstenzivnih nasada. U tim aktivnostima treba težiti da se uporabljaju samo autohtone topole s obzirom da, za razliku od euro-američkih hibrida, naseljavaju lošija staništa. Tako bi se ujedno smanjila i mogućnost pojave introgresije alohtonih gena te i dalje očuvala dobra genetska osnova autohtonih topola.

Ipak, veću prijetnju autohtonom genofondu predstavlja neplansko korištenje zemljišta duž riječnih tokova, stihijska i neplanska regulacija riječnih tokova, otvaranje šljunčara, deponiranje otpadnoga materijala kao i nepostojanje bilo kakve zakonske regulative koja bi zaštitila stanje sadašnjeg genofonda crnih topola.

Na zaštiti autohtonog genofonda topola već je mnogo urađeno, za razliku od drugih vrsta, te je u suradnji s kolegama iz Hrvatske, koji su od ranije uključeni u program mrežnih istraživanja i očuvanja genofonda europskih vrsta šumskog drveća (EUFORGEN), arhivirano oko 70 stabala crnih topola (Krstinić i Kajba 1997; Ballian 2004). Na temelju iskustava kolega iz Hrvatske, u 2006. godini se krenulo s podizanjem prve klonske arhive crnih topola u Bosni i Hercegovini sa 163 klona autohtonih crnih topola (Ballian 2009).

Pored aktivnosti na zaštiti, u tijeku su već duži niz godina i radovi na istraživanju unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti na morfološkoj, fenološkoj i fiziološkoj razini, a također su aktivnosti nastavljene i na molekularnoj razini, što nam treba ukazati na to u kojem pravcu treba usmjeriti daljnje aktivnosti na očuvanju autohtonog genofonda.

Trenutno stanje s topolama je ipak takvo da, za sada, predstavljaju marginalnu vrstu u Bosni i Hercegovini, ali će se situacija vjerojatno u bližoj budućnosti iz temelja izmijeniti jačanjem ekološke svijesti stanovnika kao i zbog potreba za obnovljivim energetskim resursima.

Inače, crne topole su vrsta koja može odigrati vrlo značajnu ulogu u aktivnostima na remedijaciji zagađenih riječnih vodotoka kao i zagađenih tla u industrijskim središtima te istovremeno osigurati veću količinu potrebne biomase za energetske potrebe.



Slika 2. Crne topole uz rijeku Neretvu

2. BIOSISTEMATSKA PRIPADNOST CRNIH TOPOLA

Prema Systema Naturae 2000 (Classification), a uvažavajući Tahtadžanov sistem (Takhtajan 1997), shematski prikaz taksonomskih jedinica crne topole je sljedeći:

- ☐ Carstvo *Plantae*, Haeckel (1866)
 - ☐ Podcarstvo *Viridaeplantae*, Cavalier-Smith (1981)
 - ☐ Razred *Tracheophyta*, Sinnott, 1935 ex Cavalier-Smith (1998)
 - ☐ Podrazred *Euphyllophytina*, Endlicher (1836)
 - ☐ Klasa *Magnoliopsida*, Brongniart (1843)
 - ☐ Podklasa *Hamamelididae*, Takhtajan (1967)
 - ☐ Red *Salicales*, Engler (1892)
 - ☐ Porodica *Salicaceae*, Dumortier (1829)
 - ☐ Rod *Populus*, C. Linnaeus (1753)
 - ☐ Sekcija *Aigeros* Duby (1828), (de Candolle & Duby 1828)
 - ▣ *Populus nigra*, Linnaeus – Crna topola (1753)

2.1. Osnovne karakteristike nekih taksonomskih jedinica

1. Divizija: *Magnoliophyta* – skrivenosjemenice

Skrivenosjemenice (*Magnoliophyta*, *Angiospermae*) su najveća skupina zelenih kopnenih biljaka kod kojih se sjeme nalazi unutar ploda. Skrivenosjemenice u većini slučajeva čine najveću biomasu u ekosustavu i svojim izgledom i brojnošću određuju izgled i strukturu ekosustava. Značaj za čovjeka je također veliki jer skoro sve biljke koje čovjek uzgaja za osobnu i ishranu domaćih životinja pripadaju skrivenosjemenicama.

Dijele se na dvije velike podskupine (klase) – disupnice (*Magnoliopsida*, *Dicotyledoneae*) i monosupnice (*Liliopsida*, *Monocotyledoneae*).

2. Razred: *Magnoliopsida* – dikotiledone biljke

Imaju dva embrijska listića – supke. Nervatura lista je mrežasta, za razliku od monosupnica kod kojih je paralelna. Prisutno je pravo sekundarno debljanje kojeg nema kod monosupnih biljaka (Brongniart 1843).

3. Red: *Salicales*

Salicales je red koji obuhvaća samo familiju *Salicaceae* u kojoj je svrstano dvodomno listopadno drveće i grmlje, jednostavnog i spiralno raspoređenog lišća. Plod je višesjemena čahura – kapsula (Engler 1892).

4. Porodica: *Salicaceae*

Porodica *Salicaceae* je vrlo bogata po broju vrsta, a obuhvaća tri roda: *Salix*, *Populus* i *Chosenia*. Rod *Chosenia* ima samo jednu vrstu u Koreji i sjevernom Japanu, a rodovi *Salix* i *Populus* imaju vrlo široka rasprostranja u sjevernoj hemisferi i veliki broj listopadnih vrsta. Prve vrste iz familije *Salicaceae* se javljaju u početku perioda krede i od toga perioda do danas predstavljaju značajan sastavni dio vegetacije (Dumortier 1829; Jovanović 2000).

5. Rod: *Populus*

Ime roda dolazi od grčke riječi *papallomai* – što znači treperiti, a vezano je za lako pokretno lišće koje treperi i na najmanjem povjetarcu.

Rod broji oko 100 vrsta koje pridolaze u Europi, Aziji, sjevernoj Africi i Sjevernoj Americi (Zuffa 1974). U literaturi za rod *Populus* može se naći od 22 do 85 vrsta plus stotinjak hibrida, varijeteta i kultivara (Eckenwalder 1977, 1996; Dickmann i Stuart 1983). Rod je podijeljen u pet sekcija od kojih su za nas najvažnije *Aigeros* (crne topole), *Leuce* (bijeke topole) i *Tacamahaca* (balzamaste topole), (Vidaković i Krstinić 1985), dok Eckenwalder (1996) navodi 29 vrsta u šest sekcija (Linnaeus 1753).

6. Sekcija: *Aigeros*

Najznačajnija je sekcija za šumarstvo jer, pored naše autohtone crne topole, najveći broj topola dolazi iz ove sekcije, a naročito se ističu euroameričke topole koje su hibridi. Sekcija se dijeli na dvije skupine crnih topola - euroazijske i američke (Duby 1828; de Candolle & Duby 1828).

7. Vrsta: *Populus nigra* L.

Populus nigra je glavni predstavnik sekcije *Aigeros*. Široko je rasprostranjena u Europi, a javlja se još i dlakava crna topola *Populus nigra* ssp. *caudina* (Ten.) Bugala, kao specifikum submediterana, koja se morfološki značajno razlikuje od tipične crne topole

Populus nigra L. *nigra*. Postoje brojni hibridi s američkim crnim topolama koji predstavljaju veliku vrijednost za proizvodno šumarstvo jer se jednostavno uzgajaju u plantažama (Linnaeus 1753).



Slika 3. Dlakava crna topola kod Čapljine. Lokalitet Počitelj polje

2.2. Sistematika crnih topola u Bosni i Hercegovini

U Bosni i Hercegovini su zastupljene četiri osnovne vrste topola, jasika (*Populus tremula*), crna topola (*P. nigra*), bijela topola (*P. alba*)

i siva topola (*P. canescens*) te čitav spektar nižih taksona koji proizlaze iz ove četiri vrste (Beck-Mannagetta 1906; Fukarek 1959; Janjić 1983, 1984, 1990, 1992-1996). Možda najviše pažnje kod nižih taksona treba obratiti takozvanim dlakavim crnim topolama (*Populus nigra* ssp. *caudina*) koje rastu u jugozapadnom području Bosne i Hercegovine. Te dlakave crne topole mogu igrati značajnu ulogu u ponovnom naseljavanju topola duž velikih rijeka Bosne i Hercegovine u izmijenjenim ekološkim uvjetima prouzročnim klimatskim promjenama (Kajba i sur. 2004).

Dugo godina autohtone topole u Bosni i Hercegovini su bile zastupljene u literaturi (Beck-Mannagetta, 1906) sa svega tri vrste (jaska - *Populus tremula*, crna – *P. nigra* i bijela topola - *P. alba*), da bi se kasnije uključila na popis i siva topola - *P. canescens*, a kasnije se, pojavom radova Fukareka (1959) i Janjića (1983, 1984, 1990, 1992-1996) došlo do razdiobe topola na niže sistematske jedinice koje su pokazale veliko bogatstvo oblika u odnosu na druge vrste u Bosni i Hercegovini (vidi pregled taksonomskih jedinica).

Inače, naša zemlja nije bila pošteđena veće introdukcije kultivara kanadskih topola (*P. xcanadensis* Moench) što u svojim radovima navode Fukarek (1959) i Janjić (1992-1996). Pored kanadskih topola, u manjoj mjeri unošene su i balzamaste topole, kako je dato u pregledu koji slijedi.

Prva introdukcija alohtonih vrsta topola vezuje se za dolazak Austro-Ugarske Monarhije u Bosnu i Hercegovinu kada se pored željezničkih postaja sade hibridne i egzotične vrste topola i drugog introduciranog drveća (Ballian i Mikić 1999). Pored toga, za genofond autohtonih crnih topola u Bosni i Hercegovini možemo slobodno reći da je još u dobrom stanju, a prije svega trebamo zahvaliti činjenici da u našoj državi nikad nije u velikoj mjeri počela intenzivna proizvodnja mekih listača u plantažama ili ekstenzivna u drvoredima. Bilo je samo pokušaja podizanja plantaža, ali bez većih rezultata i uspjeha te su se one brzo napuštale, naročito nakon pojave patogena. Ipak, postoji mala vjerojatnost da je došlo do introgresije gena alohtonih vrsta u genofondu naših topola. Osnovnu prijetnju genofondu naših topola predstavlja neplansko korištenje zemljišta duž riječnih tokova, regulacija riječnih tokova, otvaranje šljunčara, deponiranje otpadnoga materijala kao i nepostojanje zakonske regulative koja bi zaštitila stanje sadašnjeg genofonda crnih topola.

PREGLED TAKSONOMSKIH JEDINICA

(+ vrste koje su introducirane)

Gen. *Populus* L.Subgen. *Balsamifera* Bugala(syn. Subgen. *Eupopulus* Dode)Sect. 1. *Aigeiros* Duby*P. nigra* L. – crna topola- ssp. *nigra* – gololisna (nedlakava) ili tipska crna topola(syn. *P. nigra* L. apud. Jov. et. Tuc. 1972)I. var. *nigra*II. f. *nigra*III. f. *vistulensis* (Dode) Janjić, stat. nov.(syn. *P. vistulensis* Dode)IV. f. *truncata* Jov. et Tuc.V. f. *maserica* (Jov. et Tuc.) Janjić stat. nov.(syn. *P. nigra* var. *maserica* Jov. et Tuc.)

+ cv. 'Italica' – obični jablan

(syn. *P. nigra* var. *italica* Muenchh.; *P. pyramidalis* Rozier)-ssp. *Caudina* (Ten.) Bugala – dlakava mediteranska crna topola(syn. *P. Caudina* Ten.; *P. nigra* var. *pubescens* Parl.)VI. var. *grandifolia* (Džekov) Janjić(syn. *P. nigra* var. *pubescens* f. *grandifolia* Džekov)VII. f. *grandifolia*VIII. f. *pseudocaudina* JanjićIX. f. *torulosa* Janjić(syn. *P. pubescens* var. *maserica* Jov. et Tuc.)X. f. *hispidula* (Bornm.) Janjić(syn. *P. nigra* f. *hispidula* Bornm.; *P. nigra* var. *calvescens* Džekov)XI. var. *narentana* (Jov. et Tuc.) Janjić – neretvanska topolaXII. f. *narentana**P. nigra* ssp. *nigra* x *P.* cv. *Italica*(syn. ? *P. pannonica* Kit.; *P. nigra* var. *media* Schur)+*P. afghanica* (Aitch. et Helmsl.) Schneid. cv. *Afghanica* –
bjelokori jablan(syn. *P. thevestina* Dode; *P. nigra* L. cv. *Hamoui*)

- P. x neapolitana* Ten. nm. *kakanjensis* Janjić – kakanjska topola
(= *P. afghanica* cv. *Afghanica* x *P. nigra* ssp. *caudina*)
- P. afghanica* cv. *Afghanica* x *P. nigra* ssp. *nigra*
(syn. *P. x pannonica* Kit. nm. *ilidshensis* Janjić; = *P. x charkowiensis* Schroed. vel affine)
- +*P. deltooides* Marshal – američka crna topola
(syn. *P. monilifera* Ait.)
- +*P. wislizenii* (S. Wats.) Sarg.
(syn. *P. fremontii* var. *wislizenii* S. Wats.)
- +*P. x canadensis* Moench – kanadske topole
(syn. *P. x euramericana* Guin.; = *P. deltooides* or *P. angulata* x *P. nigra*)
- XIII. cv. *Serotina* – kasna topola
(syn. *P. serotina* Hartig; = *P. nigra* x *P. deltooides* var. *monilifera*)
- XIV. cv. *Marilandica* – majska topola
(syn. *P. marilandica* Bosc; = *P. nigra* x *P. serotina*)
- XV. cv. *Robusta* – robustna topola
(syn. *P. robusta* Schneid.; = *P. angulata* x *P. nigra* cv. *Plantierensis*)
- XVI. cv. *Regenerata*
(= *P. x regenerata* Henry)
- XVII. cv. I – 214
(= *P. angulata* or *P. deltooides* x *P. nigra*)
- XVIII. cv. I – 154
(= *P. deltooides* var. *monilifera* x *P. nigra*)
- XIX. cv. I – 455
(= *P. deltooides* var. *monilifera* x *P. nigra* cv. *Italica*)
- Sect. 2. *Tacamahaca* Spach
- +*P. simonii* Carr. – kineska ili Simonijeva topola
(syn. *P. przewalskii* Maxim.)
- XX. cv. *Fastigiata*
- +*P. yunnanensis* Dode
- +*P. cathayana* Rehd.
- +*P. trichocarpa* Torrey et Gray
- +*P. x gileadensis* Rouleau – ontarijska topola
(syn. *P. canadicans* Ait.; = *P. balsamifera* x *P. angulata*)
- +*P. x berlinensis* (K. Koch) Dipp – berlinska topola
(= *P. laurifolia* x *P. nigra* cv. *Italica*)

3. OSNOVNA MORFOLOŠKA SVOJSTVA CRNIH TOPOLA

3.1. Europska crna topola (*Populus nigra* L. *nigra*)

Vrste iz roda *Populus* su listopadne ili rjeđe, poluzimzelene vrste koje se javljaju prvenstveno u sjevernim, umjerenim i suptropskim zonama na sjevernoj hemisferi (Eckenwalder 1996; Dickmann 2001; Cronk 2005; de Rigo i sur. 2016). Drveća ovog roda obično imaju visoka stabla i s korom koja teži da ostane tanka i glatka do duboke starosti, mnogo duže nego u drugim vrstama drveća (Eckenwalder 1996; Dickmann 2001). Topole obično „žive“ od 100 do 200 godina, mada Popivshchy i sur. (1997) navode da pojedinačna stabla mogu živjeti više od 400 godina, a na nepovoljnim staništima do 60 godina.

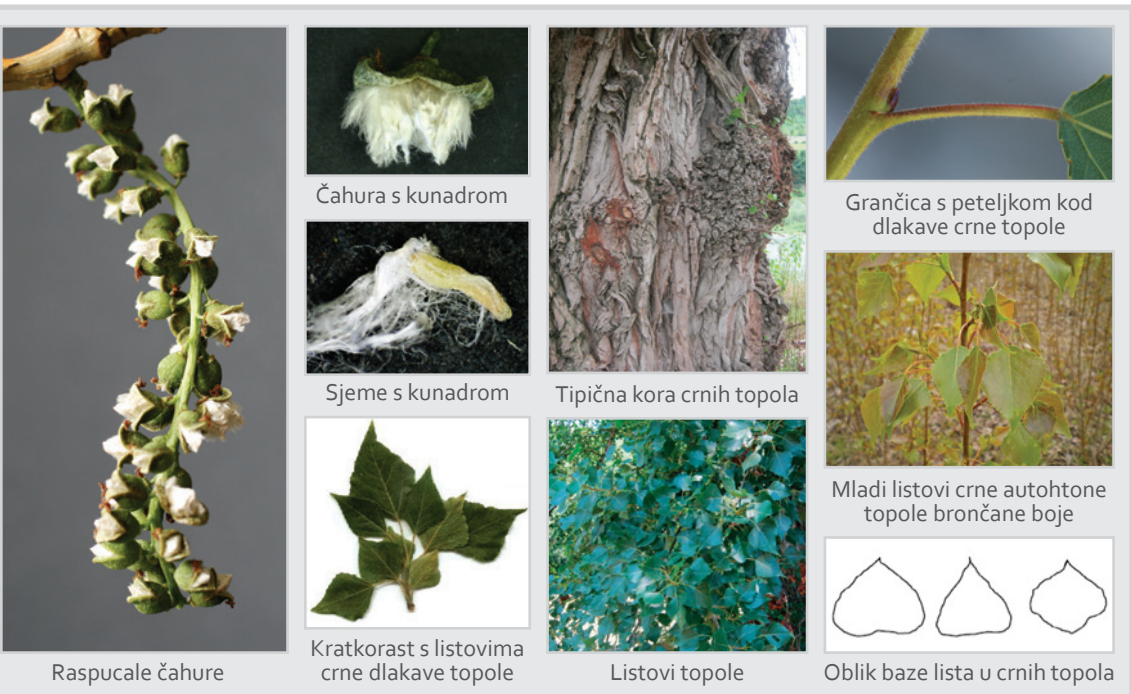
Crne topole, za razliku od ostalih vrsta iz roda *Populus*, karakterizira $2n=38$ kromosoma u somatskim stanicama, a poznati su i triploidi



Slika 4. Neke interesantne morfološke karakteristike crnih topola

crnih topola (Zsuffa 1974). Također, poznata su i stabla s umjetno induciranom poliploidijom (Hyun i Kim 1963).

Prvi pravi opis crnih topola je dao Linnaeus (1753), kao i brojnih kultivara i hibrida. Crne topole su među najbrže rastućim vrstama i mogu izrasti do velikih dimenzija. Poznat je primjer crnih topola koje su bile više od 60 m visoke i promjera do 3 m (De Bell 1990). Za naše uvjete, prema Jovanoviću (1956, 1971, 2000), Pintariću (2002) i Brusu (2004), crna topola je drvo prvog reda, naraste do 35 m (45) visine i promjera je do 3 m. Kod nas je zabilježen primjerak s promjerom od 2,85 m u Zenici, na Kamberovića polju. Izrazita je vrsta svjetla. Korijen joj je površinsko-srcolik, s nekoliko dubokih žila. Značajno je kod topola nastajanje čvorova (mazera) u donjem dijelu debla, odnosno ikričavosti, koji nastaju od uraslih spavajućih pupoljaka. Ovakvo drvo se mnogo cijeni kod izrade furnira. Kora crne topole relativno brzo ispuca. U početku je glatka, pepeljastosiva, zatim crnkasta s krupnim izduženim rebrima plute. Krošnja crnih topola je razvijena, široka i



vrlo granata, ali dosta rijetka. Grančice su okrugle, bez rebara na kori. Pupoljci su kupasto zašiljeni, sa sjajnim smolastim prevlakama. Mlade grančice su ljepljive. Mlado lišće je rombično, odraslo dugo 5-10 cm, široko 2,5-6 cm, s dugačkom bočno spljoštenom peteljkom (Šilić 1983, Eckenwalder 1996), ali se u Europi susreće lišće koje je romboidno, deltoidno i srcasto (De Woody 2011). Lišće izdanaka bude i 13-16 cm dugo i široko, te je pod izravnom genetskom kontrolom (Trewin 2008), a ti geni su djelomično kartirani. Ono je pri osnovi klinasto, a po obodu nazubljeno. Lista u travnju i svibnju. Period listanja traje 10-20 dana, a ova faza se poklapa s fazom sazrijevanja sjemena. Pri osnovi lista nema žlijezda. Unutar vrste postoje značajne varijacije u karakteristikama lista, a to se može u velikoj mjeri pripisati razvojnom heteromorfizmu koji se javlja u dva oblika (Eckenwalder 1980). Prvi je heteroblastija (tj. razlike u svojstvima lista između mladih i odraslih stabala), što je čest slučaj kod topola. Drugi je da postoji značajna sezonska heterofilija jer je kod izbojaka topola primarno nastalo lišće (tj. ono koje se razvilo iz dobro oblikovanih primordia, odnosno pupova koji su prezimili) i neoformirani listovi (tj. listovi koji su nastali tijekom tekuće vegetacije). Primarni i neoformirani listovi se mogu znatno razlikovati (Critchfield 1960) te zato izvedena svojstva lista obično imaju višu taksonomsku vrijednost (Eckenwalder 1996).

Topole su uglavnom dvodomne, iako postoje i hermafroditna stabla, što je zabilježeno kod nekih individua (Rottenberg 2000; Rowland i sur. 2002; Cronk 2005; Slavov i sur. 2009; Franjić i Škvorc 2010). Prema Jovanoviću (1956, 1971, 2000), Šiliću (1983), Brusu (2004) i Franjić i Škvorcu (2010), cvjeta prije listanja, skoro istovjetno ili nešto ranije od jablana (*Populus nigra* cv. *Italica*). Rese su duge 3-6 cm. Prašnika je 20-30. Tučak je obuhvaćen do iznad polovine peharastim perigonom; žigovi su unazad povijeni. Čahure su kupaste, gole, zelenkastosmeđe. Rađa sjemenom svake godine obilno, od kraja travnja do kraja svibnja. Veliki dio sjemena se raznosi vjetrom ili pada u vodu, ali se ne kvasi (Likon i sur. 2013) jer ga ultrastruktura održava na vodi i vjetrom se raznosi na velika rastojanja. Pri opadanju vode sjeme se zadržava na svakoj neravnini zemljišta te tu iskljija i pojavljuje se pomladak. Sjemenke imaju kratkotrajnu iskljivost (Muller i Teissier du Cros 1982), a šire se vjetrom i vodom te su potrebni posebni uvjeti tla i vode za njihovo iskljivanje. Sjeme, kad se nađe u povoljnim uvjetima, iskljija nakon 10-24 sata. Prvog dana se javlja korjenčić koji se odmah savija k tlu. U prve dvije godine po hektaru se može naći 500 000 biljaka, a ponekad i čitav milijun. U četvrtoj godini taj se broj reducira od 100 000 do 150 000 biljaka, a od ovog broja biljaka zrelost

doživi 0,5-1,0 %. Prema nekim saznanjima, biljke nastale iz sjemena pokazuju veći stupanj otpornosti na patogene. Mladice su s dva zelena kotiledona, a poslije nekoliko dana se javljaju i prvi listovi. Jednostavno se razmnožava pomoću reznica. Raste brzo te u 40., 50. godini postiže visinu 20-25 m. Ima veliku izbojnu snagu iz panja iz kojeg može dati i 400-500 izdanaka od kojih samo nekoliko preživi. Crne topole se danas malo koriste za pošumljavanje jer su primat preuzele euroameričke.

3.2. Dlakava crna topola *Populus nigra* ssp. *caudina* (Ten.) Bug. var. *nerentana* (Jov. et Tuc.) Janjić

Osnovne podatke o staništu i morfologiji neretvanske crne topole dali su Jovanović (1971, 2000) i Janjić (1984), Kajba i sur. (2004, 2015) i De Woody (2011). Tipično stanište neretvanske crne topole je u donjem toku rijeke Neretve, točnije na potezu od Žitomislića do Metkovića. Inače ima sve karakteristike topola iz submediteranskog područja. Najviše je zastupljena na području Čapljine gdje je gradila veće sastojine, a neke posebno na adi Dretelj i nizvodno od Čapljine. Uzvodno od rijeke Bune nije registrirana, a uz rijeku Trebižat registrirani su pojedinačni primjerci, kao i na području Hutova blata.

Hercegovačka neretvanska topola ima maksimalni visinski uzrast do 24 m, a u debljinu naraste do 1,30 m. Imaju dosta rijetke krune, što daje poseban vizualni utisak, a posljedica je to listova koji su manji u odnosu na druge crne topole. Inače, izbojci, pupovi i listovi su dlakavi.

Listovi neretvanske crne topole su ekstremno mali te se statistički značajno razlikuju od tipične crne topole (Kajba i sur. 2004, 2015). Duljina listova kratkorasta varira na stablu od 4 do 5 cm. Prosječna duljina peteljke iznosi oko 1,5 cm, a slični odnosi su i kod listova dugorasta.

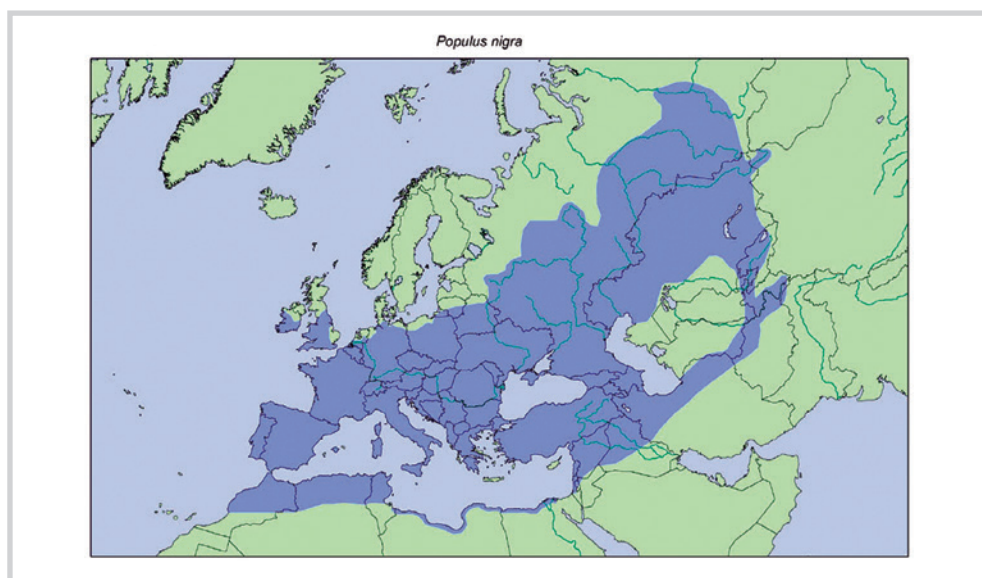
Oblik listova kratkorasta u neretvanske crne topole je uvijek rombičan s klinastom osnovom, ali se zapažaju primjerci s užom ili širom klinastom osnovom i kraće ili duže izvučenim vrhom liske, što upućuje na postojanje srodnih biotipova. Listovi dugorasta imaju široko klinastu plojku ili uz peteljku kratko i usko izvučenu osnovu plojke (obrnuto srcastu). Uvijek su širi od svoje duljine, što je slučaj i u svih ostalih autohtonih crnih topola.

Duljina cvjetnih i plodnih resa korelira s duljinom listova. Duljina muških resa iznosi u prosjeku manje od 6 cm, a duljina plodnih resa mjerениh pred sazrijevanje iznosi 8-9 cm. Plodne čahure su vrlo male i uz to gusto poredane na osnovi, zbijene, što predstavlja karakteristiku svih submediteranskih topola. Zbog zbijenosti čahura, obično se u doba zrenja ne može vidjeti osovina rese.

4. PODRUČJE RASPROSTIRANJA CRNIH TOPOLA

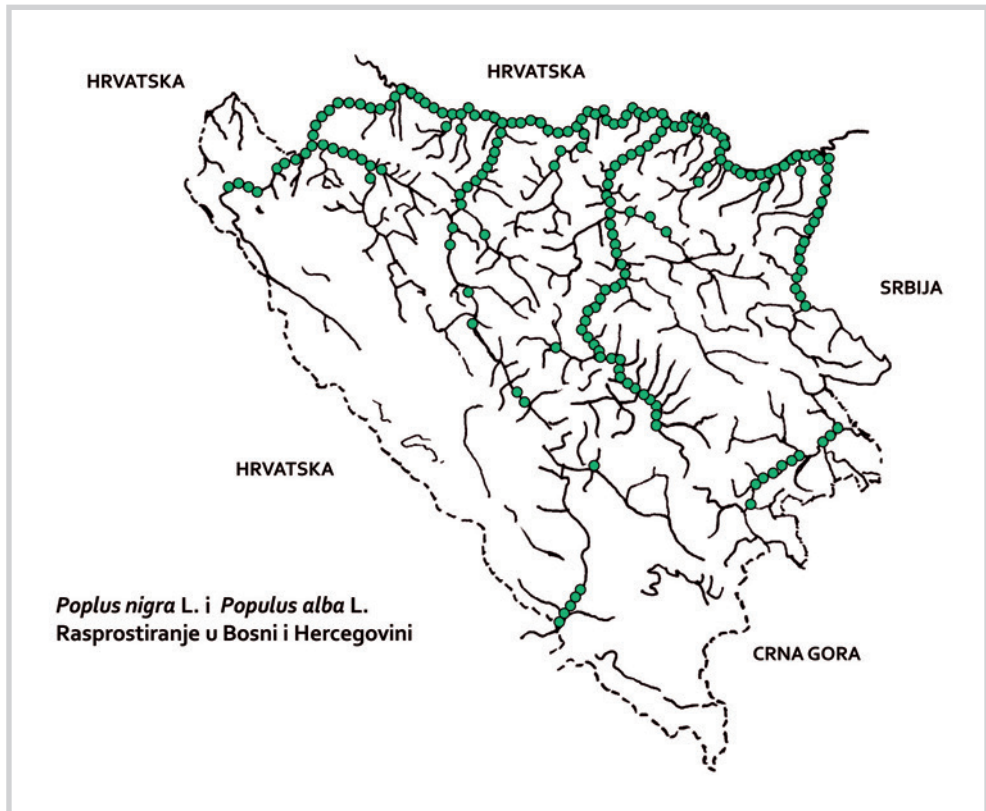
4.1. Područje rasprostiranja topola u Europi i Aziji

Brojni autori su pisali o rasprostiranju crnih topola. Tako Rehder i Kobuski (1932), Fiori (1933), Koltay (1955), Rol (1955), Wang (1961), Papaioannou (1963), Bugala (1967), Vanden Broeck (2003), Brusu (2004) i de Rigo i sur. (2016) navode da se područje rasprostiranja crne topole (*Populus nigra* L.) proteže od Velike Britanije i Irske, preko Danske, Poljske, Bjelorusije i Rusije sve do sjeverozapadne Kine kao sjeverne i istočne granice rasprostiranja. Granica areala se nastavlja do sjevernog Pakistana, Afganistana, sjevernog Irana, Bliskog istoka, sjeverne Afrike, Portugala, Španjolske i Francuske na jugu i zapadu. Ovo rasprostiranje ne može se shvatiti kao kompaktno jer je crna topola vezana za aluvijalna topla tla uz velike rijeke gdje gradi, manjeviše u zavisnosti od lokalnih ekoloških uvjeta, povezanije areale, a najveće dijelove tog rasprostiranja nalazimo duž rijeke Dunav i njegovih pritoka te Volge i njenih pritoka. Na Karti 1. prikazano je rasprostiranje crnih topola u Euroaziji, ali je prikazano kompaktno područje, bez uvažavanja ekoloških čimbenika vezanih za crne topole.



Karta 1. Rasprostiranje crnih topola (Vanden Broeck 2003)

4.2. Područje rasprostriranja topola u Bosni i Hercegovini



Karta 2. Rasprostriranje crnih topola u Bosni i Hercegovini (Ballian 2004)

Kako je rasprostriranje topola u Bosni i Hercegovini vezano za velike rijeke i neke od njihovih manjih pritoka (Ballian 2004), to ćemo dati kraći pregled njihovog trenutnog pojavljivanja. U dolini rijeke Drine crne topole rastu u gornjem toku od Foče do Ustiprača te u donjem toku od Tegara do ušća u Savu kod Rače. Duž cijelog toka rijeke Bosne, od Sarajevskoga polja do ušća u rijeku Savu, rastu crne topole, bilo kao skupine stabala ili pojedinačno, uz prekide koje nalazimo u strmim dolinama i manjim kanjonima. U dolini rijeke Vrbas imamo tri odvojene skupine crnih topola. Jedna je u gornjem toku u Uskopaljskoj dolini od Gornjeg Vakufa do Bugojna (gdje imamo

jedno malo nalazište slabo dlakavih crnih topola), a druga skupina je od Jajca do Podmilačja, s pojedinačnim primjercima topola, te od Banjaluke nizvodno Vrbasom do ušća u Savu. Razlog odvojenosti je kanjon Vrbasa s nedostatkom toplih riječnih poloja na kojima bi mogla rasti crna topola. Na rijeci Uni crna topola raste u dijelu toka kroz Bihaćku kotlinu i nizvodno od Bosanske Krupe do ušća u Savu. Topole nalazimo u dolini rijeke Sane, ali tek u njenom donjem toku od Sanskog Mosta do ušća u Unu, gdje rastu crne i bijele topole. Duž toka rijeke Save, koji pripada Bosni i Hercegovini, nalazimo pojedinačna stabla ili manje skupine crne topole, a glavna prijetnja obnovi crnih topola je invazivna flora. Na rijeci Neretvi, kao jedinoj koja pripada Jadranskome slivu, imamo u donjem toku poseban tip crnih topola poznat kao dlakavi tip (*Populus nigra* ssp. *caudina*), a koje postižu respektabilne dimenzije i naseljavaju donji tok rijeke od Žitomislića do granice s Republikom Hrvatskom (kod Metkovića). Također, pojedinačne primjerke nalazimo i u području Hutova blata. U gornjem toku također je jedna mala populacija na pritoci Neretve, na potoku Trešanici iznad Konjica, sa specifičnim nalazištem netipičnih crnih dlakavih topola koje izgledaju veoma depresivno i u zadnjoj su fazi degradacije te je ova populacija pred nestankom, jer danas postoje još samo dva stabla.

5. DINAMIKA POPULACIJA CRNIH TOPOLA

5.1. Dinamika populacija crnih topola temeljem fosilnih ostataka

Fosilni ostaci topola datiraju iz perioda krede, a vrlo često su bili neprepoznati i neklasificirani kao pripadnici roda *Populus* (Cronk 2005). Ipak, najstariji fosilni ostaci sugeriraju da su se vrste roda *Populus* pojavile najkasnije u periodu eocena, a vjerojatno već kasnog paleocena, tj. prije oko 60 milijuna godina (Manchester i sur. 1986, 2006). Fosilni ostaci koji potječu iz eocena i oligocena su relativno brojni, a dostupni su u mnogim nalazištima fosilnih biljaka širom sjeverne hemisfere (Manchester i sur. 1986, 2006; Ramirez i Cevallos-Ferriz 2000; Iljinskaja 2003) te, vjerojatno, predstavljaju preteče svih sačuvanih dijelova roda *Populus* koji su bili prisutni od miocena (prije oko 13 milijuna godina) do danas (Eckenwalder 1996; Cronk 2005).

Inače, period kvartara je bio razdoblje u kojem su se odvijale vrlo značajne i raširene klimatske i ekološke promjene koje su zahvatile i rod *Populus*. Veliki kopneni ledeni omotač počeo se stvarati u sjevernoj hemisferi prije 2,75 milijuna godina, što je rezultiralo u više glacijalnih i interglacijalnih ciklusa. To je potaknuto promjenama u orbitalnim insolacijama i zbog povremenih oscilacija u Zemljinj orbiti, kako navodi Milanković (1969), a u periodima od 100 (za orbitalnu ekscentričnost), 41 (Zemljin nagib) i 19-23 tisuća godina (precesijski period), odnosno u određenim intervalima, o čemu još pišu Bennett (1997), Bradley (1999), Willis i Niklas (2004) i Huybers i Wunsch (2005) kada su bila u pitanju suprotna djelovanja. Ostavilo je to nesagledive posljedice na biljni svijet i njegovo širenje u Europi, pa tako i na crne topole. Tadašnja glacijacija je prevladavala u oko 80% kvartarnog perioda, dok se preostalih 20% sastojalo od kraćih interglacijalnih perioda u kojima su uvjeti bili slični današnjim ili nešto topliji nego danas (Jackson i Overpeck 2000; Willis i Niklas 2004) što je, pak, odgovaralo tadašnjoj vegetaciji. Veliki dio sjevera, sve od 40°N, bio je pokriven velikim ledenim omotačem, uz značajnu raširenost permafrosta (Willis 1996), s temperaturama eventualno 10-25°C nižim od današnjih. To je bilo nepovoljno za širenje šumske vegetacije koju poznajemo danas. U tom periodu bila je prisutna i visoka aridnost, a i temperature su kod nas bile prosječno niže za 2-5°C od današnjih, što su bila osnovna obilježja nizinskih područja dok je globalna atmosferska

koncentracija CO₂ bila niska, oko 180 ppm tijekom ledenih perioda, ali se s vremenom podizala na predindustrijsku razinu od 280 ppm u interglacijalnom periodu (Petit i sur 1999; Sigenthaler i sur. 2005). Zbog velikih ledenih površina i promjena u oceanskim strujama, oštri klimatski gradijenti postojali su u cijeloj Europi i sjevernoj Aziji tijekom zadnjeg glacijalnog maksimuma (Peltier 1994; Pollard i Thompson 1997), što je uvjetovalo da drveće može preživjeti samo na ograničenim prostorima južne Europe u glacijalnim pribježištima gdje tada nalazimo i topole (Cottrelli sur. 2005).

Ovi redovni naizmjenični i dugi ledeni periodi uvjetovali su kratke interglacijalne periode tijekom kvartara sa svim pripadajućim velikim promjenama u različitim okolinama (Willis i Niklas 2004), a to ukazuje

na ključno pitanje - kako je šumsko drveće preživjelo ponavljanja dugih ledenih perioda koji karakteriziraju period kvartara?

Danas je poznato da se drveće veoma teško nosilo s periodom tople interglacijacije uz sustavne migracije drveća k sjeveru Europe, o čemu postoje brojni fosilni dokazi (Ravazzi 2002). To je već davno zaintrigiralo brojne biljne geografe i paleoekologe te je odnedavno postalo fokus mnogim molekularno-ekološkim, fitogeografskim i filogeografskim istraživanjima. U tim istraživanjima su se rješavala tri specifična pitanja: (1) Što se zna o rasprostranjenju vrsta u Europi tijekom posljednjeg glacijalnog maksimuma (PGM)? (2) Što je poznato o širenju biljaka u Europi tijekom PGM? (3) Što



Slika 5. Crne topole duž rijeke Drine (Tegare)

se zna o povijesti alpskih i arktičkih područja u Europi tijekom tekuće holocenske interglacijacije? U središtu znanstvenog interesiranja biljnih geografa je primarno da se na temelju dostupnih palaeobotaničkih nalaza (npr. biljnih makrofosila ili peludi), podrijetlom iz europskih nalazišta, odrede glacialna pribježišta. Stewart i Lister (2001) ističu da se postojanje određenog pribježišta «izravno može dokazati samo iz fosila, a što ukazuje na postojanje, lokaciju i trajanje pribježišta i njihov biološki sastav u usporedbi s okolnim područjima».

Postoji sve više fosilnih nalaza iz srednje i istočne Europe te mediterana iz zadnje glacijacije koji ukazuju na to da su tu rasle određene vrste, a na temelju makrofosila i makroskopskih ugljenisanih biljnih dijelova, na što upućuju Willis i Van Andel (2004) i Döffler (2013), (Barboni i sur. 2004). Analizirano je 35 lokaliteta u središnjoj i istočnoj Europi s makroskopskim uzorcima koji su ugljenisani, a koji sadrže najmanje 17 različitih vrsta s preko 200 podataka koji ukazuju da fosili datiraju od prije 37 do 16 tisuća godina. Većina fosila drveća je ugljenisana i dolazi iz borealnih šuma, uz prevlast svojti golosjemenjače kao što su *Pinus*, *Picea* i *Larix*, i nekog listopadnog drveća i grmlja, poput *Salix* i *Betula*, dok se svojte iz roda *Populus* rjeđe nalaze, ali ipak ukazuju na njihovo postojanje. Uz ove makroskopske fosile, sve je veći broj mjesta na kojima se može naći fosilizirana pelud što također ukazuje na lokalnu prisutnost stabla (Rybníčková i Rybníček 1991; Willis i sur. 2000; Feurdean i sur. 2007; Döffler 2013).

Neki od paleobotaničkih podataka iz istočnih dijelova Sjeverne Amerike (Jackson i sur. 2000) te iz Beringija (Brubakeru sur. 2005), upućuju na to da neke vrste drveća nisu bile udaljene od margina ledenog pokrivača kao što se to ranije mislilo (Birks 2003; Jackson i Williams 2004). Dostupni paleobotanički nalazi u Europi upućuju na to da je tijekom zadnje glacijacije najviše listopadnih vrsta drveća raslo u pribježištima koja se nalaze u planinama južne Europe, a to je dovelo do zemljopisne izolacije u Europi te eventualno i do diferencijacije između crnih topola. Za razliku od toga, za golosjemenjače kao što su *Picea*, *Pinus* i *Larix*, za neko listopadno drveće kao što su *Betula* i *Salix* i neke vrste iz roda *Populus*, čini se da je opstalo i u pribježištima u središnjoj i istočnoj Europi (Birks i Willis 2008). Bhagwat i Willis (2008) se, pak, pozivaju na dva glavna područja s pribježištima u Europi, na južna i sjeverna, a ne samo na «južna» i «zatvorena sjeverna» ili «zatvorena» pribježišta. Bhagwat i Willis (2008) ukazuju na to da bi

tijekom zadnje glacijacije mnoge vrste u južnim područjima imale pribježišta u dolinama (Petit i sur. 2002a i b; Slade i sur. 2008), a ne na padinama planina i da su to bila eventualna koridorska staništa duž kojih su se biljke mogle širiti. Nasuprot tome, sjeverna pribježišta možda su bila lokalno povoljna, ali su ti izolirani džepovi bili okruženi negostoljubivim permafrostom (Willis i van Andel 2004), što je bilo veoma nepovoljno za kretanje vrsta.

S obzirom na ove dvije vrste pribježišnih scenarija, Bhagwat i Willis (2008) su istraživali kako razlikovati svojte iz sjevernih i južnih refugija na temelju ekoloških svojstava. Njihova analiza pokazuje da drveće u južnim pribježištima općenito ima velike sjemenke i danas, dok je drveće podrijetlom iz sjevernih pribježišta s manjim (sjemenom) te da se vjetrom rasijava, a ima i sposobnost vegetativnog razmnožavanja, što je slučaj s crnim topolama.

Willis i van Andel (2004) smatraju da je ključno pitanje je li drveće, koje je identificirano na temelju makroskopskih fosila, moglo preživjeti zadnju glacijaciju u središnjoj i istočnoj Europi. Oni ipak dolaze do zaključka na temelju modela klimatskih simulacija za period zadnje glacijacije da se današnja ekološka tolerancija šumskog drveća mogla identificirati i na makroskopskim ugljenisanim fosilima te da je drveće moglo imati tolerantnost na klimatske promjene za vrijeme zadnje glacijacije.

5.2 Dinamika migracije na temelju molekularnih istraživanja

O dinamičkom kretanju crnih topola najbolja se slika dobiva iz istraživanja Cottrella i sur. (2005) koji su se koristili informacijama cpDNK kako bi pronašli glacijalna pribježišta crne topole i utvrdili njene rute kolonizacije u Europi nakon zadnje glacijacije kada su mnoge vrste krenule k sjeveru. Rezultati o raspodjeli cpDNK biljega i njenoj raznolikosti vrijedni su i za razvoj zaštite ove vrijedne vrste, a kao kolonizacijski efekt poznato je da ima veliki utjecaj na strukturu i raspodjelu postojeće varijabilnosti unutar vrste. Količinu raznolikosti unutar populacija, dobivenu s nuklearnim biljezima (izoenzimi, AFLP, mikrosateliti), obradili su Storme i sur. (2004).

Ledena doba se javlja u pravilnim razmacima od 100 tisuća godina, s toplim interglacijalnim razdobljima u trajanju 15 – 20 000 godina, kao rezultat nestabilnosti Zemljine klime uzrokovanih Milanković-

vim ciklusima (Bennett 1990). Mnoge vrste koje nalazimo na sjeveru Europe preživjele su glacijalno razdoblje kao male populacije niske gustoće u određenom glacijalnom pribježištu u dubokim dolinama između planina južne Europe (Bennett i sur. 1991). Tako su ostaci fosilne peludi kod hrastova ukazivali na glacijalna pribježišta u južnoj Španjolskoj, južnoj Italiji i na Balkanskom poluotoku (Huntley i Birks 1983; Bennett i sur. 1991). Međutim, za razliku od drugih vrsta, fosilna pelud crnih topola je od male vrijednosti u određivanju kolonizacijskog pravca kretanja crnih topola. To je djelomično zbog toga što je fosilna pelud topola nađena u vrlo malim količinama i zbog toga što je nemoguće razlikovati pelud različitih vrsta topola. Dakle, zbog toga se za topole trebala razviti posebna alternativna metoda za određivanje pravca migracijskih kretanja. Za sada se to najbolje uspelo uz primjenu cpDNK biljega koji nude značajne tehnološke prednosti, a mogu se iskoristiti za pružanje uvida u postglacijalne migracijske puteve crne topole u Europi.

Mnogi univerzalni biljezi su razvijeni za genom kloroplasta vrste *Nicotiana tabacum* (Heinze 1998a, b; Samuel i sur. 1997; Demesure i sur. 1995; Dumolin-Lapegue i sur. 1997; Gardner i Weising 1999; Petit i sur. 2002a; Slade i sur. 2008). Ove regije genoma kloroplasta mogu pružiti informacije i za određeni stupanj raznolikosti unutar vrsta (Demesure i sur. 1995; Heinze 1998a, b; Lagercrantz i sur. 1997; King i Ferris 1998; Petit i sur. 2002a, b). U tim vrstama je jednostran način nasljeđivanja cpDNK te ne postoje njene rekombinacije i uz to imaju jako nisku stopu mutacija, što sve čini ovaj genom odgovarajućim izvorom za filogenetske studije kao i za proučavanje postglacijalnih migracijskih putova. Majke koje su nositelji nasljednog cpDNK genoma zemljopisno su više strukturirane zbog ograničenog rasijavanja sjemena u odnosu na brzinu kretanja peludi (El Mousadik i Petit, 1996). Genom cpDNK je dobro istražen kod topole uz uporabu biljega RFLP i uz primjenu PCR tehnike u više istraživača (Smith i Sytsma 1990; Mejnartowicz 1991; Rajora i Dancik 1992, 1995a, b, c; Sabsch 1992; Vornam i sur. 1994; Heinze 1998a, b). Majčinska nasljednost cpDNK genoma kod topola je prvi put registrirana u kontroliranim križanjima koje je proveo Mejnartowicz (1991) i taj način nasljeđivanja su kasnije potvrdili Rajora i Dancik (1992). Ipak, u kasnijim radovima Rajora i Dancik (1995c) dovode u pitanje potpunost nalaza cpDNK genoma kod majčinske biljke u topole zbog specifičnosti koje su otkrivene kod

hibridnih topola (*P. x euramericana*) i sjevernoameričke crne topole (*P. deltoides*). Ovi rezultati se nisu uklapali u uvjerenje da ta vrsta predstavlja majčinsku biljku tih hibrida. Rajora i Dancik (1995a) ukazuju na to da se cpDNK ne nasljeđuje u potpunosti od majke i da se može pojaviti roditeljska rekombinacija u hibrida (*P. x euramericana*). To je važno razmatranje koje ukazuje na to da su cpDNK biljezi neprikladni za filogenetske studije topola. Ovaj fenomen je otkriven kod drugih vrsta, ali ne u drugim studijama koje uključuju topole. Heinze (1998b) je skeptičan u tome da su ti rezultati zbilja dokaz da je cpDNK genom i očinskog podrijetla, kao što je slučaj kod četinjača (Salaj i sur. 1998). Umjesto toga, on misli da rezultati mogu biti posljedica postojanja neotkrivenih varijanti cpDNK u *P. deltoides* ili radna kontaminacija uzoraka. Osim toga, Heinze (1998b) ističe da, kao što su ovi rezultati ograničeni na jedan određeni uzorak (biljeg) koji pokriva područje poznato kao centar mutacija kod drugih vrsta, te kako su ovi rezultati nađeni u hibrida, oni mogu odražavati nestabilnost usljed hibridizacije, a ne važiti kao dokaz očinskog nasljeđivanja cpDNK genoma. Svi podaci koji su uzeti u cjelini uz uravnotežene dokaze ukazuju na to da se cpDNK kod crnih topola nasljeđuje od majke i stoga su razlike u cpDNK molekuli koje su korištene u studiji postglacijalne migracije zanemarive. Iako ne postoje detaljni podaci o strukturi varijabilnosti cpDNK biljega kod crnih topola, takvih podataka imamo za crnu johu (*Alnus glutinosa* L.) koju također oprašuje vjetar, kao i druge vrste iz priobalnih i poplavnih staništa (King i Ferris 1998). Za johe su na taj način registrirana pribježišta u Španjolskoj i Turskoj.

Postglacijalni migracijski putovi su dobiveni filogenetskom analizom svih europskih uzoraka crnih topola iz genskih arhiva i jasno ukazuju na nehibridne haplotipove koje nalazimo u zapadnim dijelovima rasprostiranja, za razliku od onih koji se nalaze na istoku i koji se značajno razlikuju (Cottrell i sur. 2005). Talijanska skupina haplotipova je smještena između istočne i zapadne skupine. Haplotipovi sa zapada bili su sličniji međusobno nego oni koje nalazimo na istoku Europe i obrnuto. Prema tome, zapadno pribježište je bilo na jugozapadu Španjolske. Velika raznolikost u populacijama Austrije i Italije na jugoistoku, a znatno drugačija od Španjolske, upućuje na to da su pribježišta crne topole također u jugoistočnoj Europi. Inače, Iberijski poluotok se smatra pribježištem i za druge vrste drveća kao što su hrastovi (Jimenez i sur. 1999; Goicoechea i Agundez 2000.) i borovi

(Alba i sur. 2002; Salvador i sur. 2000), a što je predloženo na temelju velike raznolikosti koja je dobivena kod crnih topola u Španjolskoj i što je, možda, utjecaj pribježišta. Ovo je sukladno istraživanju peludi te su na temelju tog istraživanja Brewer i sur. (2002) predložili španjolsko pribježište za hrast na krajnjem jugu Španjolske. Međutim, Olande i sur. (2002) ističu da je crna topola mogla preživjeti ledeno doba u planinskim dolinama i dubokim klancima i izvan južne Španjolske. Oni navode dokaze koji podupiru ideju da su druge vrste, kao što su vrste roda *Corylus* (Sanchez Goni i Hannon, 1999), možda preživjele u pribježištima koja su se nalazila u dubokim kanjonima rijeke Ebro.

Točne lokacije za istočna pribježišta je također teško utvrditi. Apeninski poluotok sadržava mnoge jedinstvene haplotipove i to daje potvrdu ideji da je ovo područje djelovalo kao pribježište. Alpe su u tom periodu izgleda djelovale kao prepreka za migraciju većine talijanskih haplotipova jer ih se puno zadržalo u sjevernoj Italiji. Bilo je i nekoliko jedinstvenih haplotipova u istočnoj Austriji i Mađarskoj tako da ti rezultati podržavaju ideju pribježišta negdje na istoku Italije. Raznolikost koju su dobili Bordács i sur. (2002a), u populacijama koje su uz rijeku Dunav u Mađarskoj, također je potvrda prethodne tvrdnje. Prisutnost haplotipa 2 u cijeloj Italiji, ali i u Austriji, te njegova potpuna odsutnost u Francuskoj daje posebnu sliku. Time se potvrđuje učinkovita alpska prepreka u kretanju ovog haplotipa k Francuskoj, ali i to da je imao otvoren put k istoku, u Austriju. Alternativno, ovaj haplotip može postojati u više od jednog pribježišta, možda u Italiji, a također i na području Balkana istočno od Jadrana gdje je registrirano više pribježišta (Petit i sur 2002b). Vrste iz balkanskoga pribježišta su zatim mogle migrirati prema sjeveru i kolonizirati Austriju, a da ne prelaze bilo kakve velike planinske lance. Ipak, treba se podsjetiti na to da nekadašnja obala Jadrana nije izgledala kao danas te da je kolonizacija iz Italije mogla ići i tim pravcem. Slična situacija bila je i kod haplotipova hrasta koji se javlja u južnoj Italiji i na Balkanu (Bordács i sur. 2002b; Csai kl i sur. 2002; Fineschi i sur. 2002; Petit i sur. 2002b; Slade i sur. 2007). Uočeno je da prisustvo haplotipa u oba glacijalna pribježišta, a to može biti rezultat njegove migracije preko Jadrana u prethodnom interglacijalnom razdoblju. To bi bilo moguće zbog zemljišnoga mosta koji je postojao u tom trenutku.

Prema Cottrell i sur. (2005), filogenetska analiza je pokazala da su tri haplotipa (79, 80 i 81), koji su osnovali skupinu II, bili vrlo različiti

od ostalih haplotipova koji su otkriveni u istraživanju. Bordács i sur. (2002a) su registrirali da su neki od mađarskih uzoraka imali sličan cpDNK biljeg koji je tipičan za klonove 'Thevestina' kada se analiziraju pomoću Heinzeovih (1998a, b) cpDNK biljega. Haplotipovi 79, 80 i 81 mogu ipak biti različiti jer potječu iz istog područja kao 'Thevestina', tj. iz središnje Azije i šireg Crnomorskog područja te se naširoko koriste kao ukrasna vrsta i u drvodredima širom Balkana, a posebno u južnom dijelu Bosne i Hercegovine.

Hipoteza da su najmanje tri pribježišta za crne topole u skladu je s nalazima za ostale vrste drveća (Taberlet i sur. 1998). Na primjer, pribježišta za hrastove u Španjolskoj, Italiji i na Balkanu predložilo je više istraživača (Dumolin-Lapegue i sur. 1997; Ferris i sur. 1998; Petit i sur. 2002b; Slade i sur. 2007). Sva tri pribježišta su dala materijal za postglacijalnu kolonizaciju središnje i sjeverne Europe. Nasuprot tome, bukve i joha dijele pribježište u području Karpata odakle je većina Europe naseljena. Obje vrste imaju jedinstvene haplotipove na jugu Italije koji očito nisu prešli prepreku Alpa.

Više razine cpDNK raznolikosti u južnim populacijama u odnosu na sjeverne mogu se uklopiti s prethodnim filogenetskim rezultatima u drugim vrstama drveća kao što su *Fagus*, *Quercus* i *Alnus* (Demesure i sur. 1996; Dumolin-Lapegue i sur. 1997; King i Ferris 1998).

Dva moguća razloga za smanjivanje broja haplotipova od juga prema sjeveru su veliki planinski lanci, kao što su Pireneji, Alpi i Karpati u južnoj Europi, što može djelovati kao barijera koja sprječava većinu haplotipova da migriraju k sjeveru tijekom postglacijalne migracije. Drugi čimbenik je umanjeње varijabilnosti tijekom migracije iz pribježišta, što je predviđeno za vrste koje naglo prolaze velika odstojanja migracijom, za razliku od uobičajenog migracijskog kretanja. O tome izvještava Hewitt (1996), a praktično su to uz pomoć izoenzima za jelu prikazali Konnert i Bergman (1995).

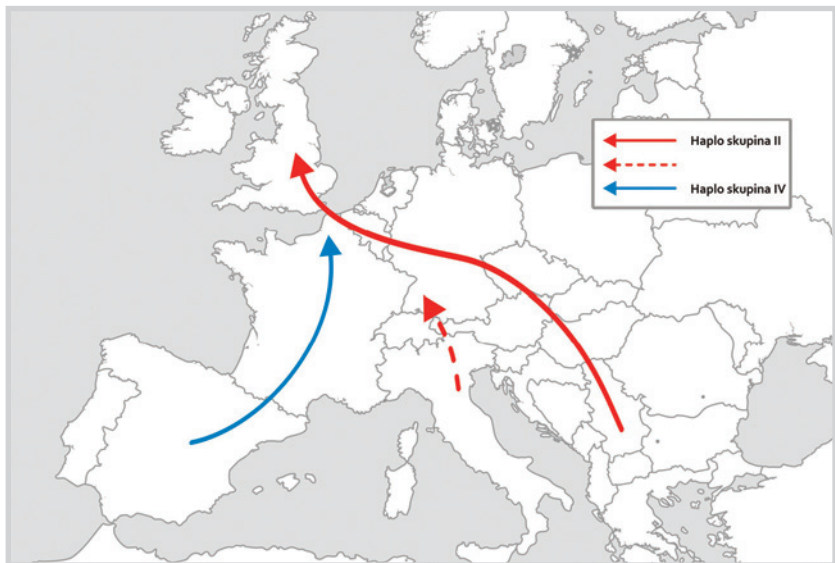
Kako navode Cottrell i sur. (2005) u svom početnom istraživanju cpDNK varijabilnosti, a na temelju uzoraka iz kolekcije topola, Krystufek (2001) je dobio haplotip 2 u svim populacijama, osim u francuskim i španjolskim. Isti taj haplotip je bio prisutan i u populacijama Rumunjske i Ukrajine. Tako velika prisutnost haplotipa 2 može biti odraz i migracijskih teškoća koje je imala crna topola prilikom odlaska iz pribježišta ili zbog kasnije brze migracije. Vitalnost sjemena crnih topola je kratkotrajna i ima vrlo velike zahtjeve na uvjete iskljanja koji

se mogu naći samo uz riječne doline, a tla su obvezno poplavljena zimi (Barsoum i Hughes 1998). Tako Imbert i Lefèvre (2003) daju izolacijsko odstojanje između populacija crne topole unutar jednoga riječnoga sustava kojim se sjemena šire na vrlo velike udaljenosti. Zbog toga je doista teško vjerovati da se sjeme haplotipova, koji su migrirali preko planinskih lanaca, moglo naći na tlu koje je prikladno za iskljanje. Činjenica da se crne topole lako šire vegetativno možda je pomogla da se lakše premještaju preko planinskih barijera. Povremeni prijenos grančica na velike udaljenosti pomoću vode, ptica, dabrova i čovjeka može imati ključnu ulogu u širenju vrste iz pribježišta. Tako se moglo dogoditi da je haplotip 2 bio prvi koji je fizički prešao preko planinskih prepreka i uspostavio temelje novih populacija. Sjeme ove prve generacije bi imalo priliku da se brzo širi vjetrom preko ravnica Europe sa samo jednim haplotipom. Iako nema podataka od peludi crnih topola, podaci za druge vrste koje su također migrirale vjetrom ili vodom, kao što su *Betula*, *Pinus* i *Alnus*, mogu poslužiti kao putokaz, a pokazuju visoku stopu migriranja od 500 do 2000 m godišnje (Huntley i Birks 1983). Druge vrste, kao što su hrastovi koji se oslanjaju na ptice i životinje u migraciji, širili su se sporije, od 350 do 500 m godišnje.

Iako haplotip 2 prevladava u sjevernoj Europi, uz relativno visoku raznolikost cpDNK haplotipova, tu je i pojava drugih haplotipova koji su savladali planinske barijere i uspješno migrirali na sjever, iako se javljaju s manjim učestćem od haplotipa 2. Ovaj primjer je sasvim različit od onog koji je dobiven od hrastova gdje nema jedinstvenih haplotipova, već imamo mnogo nižih haplotipskih frekvencija (Ibrahim i sur. 1996).

Nakon što su uspostavljena velika, samoodrživa haplotipska područja, bilo je nemoguće da drugi haplotipovi preuzmu ta staništa koja su već bila kolonizirana od odgovarajućeg haplotipa (Cottrell i sur. 2005). To je dovelo do gubitka raznolikosti prilikom migriranja vrste k sjeveru. Ekologija crne topole je znatno različitija nego je to kod hrastova, a karakterizira je nekoliko tipova, što može biti odgovor za različite obrasce haplotipskih distribucija. Prvo, hrast je vrsta terminalnih stadija u razvoju šume dok je crna topola pionirska vrsta koja kolonizira poremećena riječna staništa. Posljedica toga je da crna topola ima fragmentarno rasprostiranje koncentrirano uz riječne tokove (doline). Također, populacije crne topole su puno dinamičnije od hrastova jer stalno uspostavljaju nove populacije nakon promjena

toka rijeka i stvaranja riječnih sprudova. Posebno mjesto zauzima veličina priliva sjemena i vegetativnog potomstva koje može biti relativno veliko. Tako haplotipovi koji pristignu nakon prve kolonizacije mogu uspostaviti nove populacije sve dok rijeke ponovno ne promijene svoje tokove. Oni su, dakle, formirali male populacije koje su prepune izvornih koloniziranih haplotipova. Ove male populacije čine prve korake k sjevernim progresivnim haplotipovima koji će kasnije pridolaziti. Neke od tih populacija su se izgubile kada je rijeka promijenila svoj tok, a to je dovelo i do genetskih gubitaka prilikom uspostavljanja nove populacije. Ovakva dinamička obnova i kolonizacija obala može biti objašnjenje zašto haplotipovi iz istočnih i zapadnih pribježišta koegzistiraju u Velikoj Britaniji (Karta 3). Jedan od haplotipova koji je stigao prvi neće spriječiti pojavu kasnije kolonizacije od drugog haplotipa. To također može objasniti zašto neke od sjevernih populacija sadrže jedinstvene haplotipove kojih nema južnije. Putovi migracije haplotipova crnih topola mogu nestati kada se populacija izgubi usljed promjena u riječnim tokovima. Ako su haplotipovi rijetki, veličina uzorka koji se upotrebljuje za analizu može samo biti mala da bi se moglo otkriti njegovo prisustvo u populaciji (Cottrell i sur. 2005).



Karta 3. Raspored haplotipova II i IV skupine i njihovi migracijski pravci prema Cottrell i sur. (2005)

Ovdje se treba osvrnuti i na ljudski utjecaj koji kod crnih topola može biti značajan, kako navode Cottrell i sur. (2005). Ranije navedena hipoteza je pretpostavljala da je promatrani uzorak za analizu cpDNK haplotipova iz prirodno stvorenih populacija. Moguće je za pretpostaviti da kretanje reproduktivnog materijala uz pomoć čovjeka i ljudskog posredovanja sadnjom određenih haplotipskih skupina može biti glavna alternativa za objašnjenje suživota istočne i zapadne haplotipske skupine u Velikoj Britaniji. Cottrell i sur. (2002) su potvrdili da su istočni i zapadni haplotipovi prisutni u Velikoj Britaniji u sličnim omjerima, ali ipak u vrlo različitom broju klonova. Za Britaniju je bilo veoma važno klonsko razmnožavanje (Cottrell i sur. 1997, 2002), ali su se razmnožavala samo tri različita klona koja su pripadala zapadnoj skupini u usporedbi s dvadeset klonova iz istočne skupine haplotipova. Stoga je moguće da su uvedena tri klona iz zapadne skupine i da su se intenzivno razmnožavali i širili pomoću čovjeka. To upućuje na zaključak da je Velika Britanija bila prirodno kolonizirana haplotipovima istočne skupine (Cottrell i sur. 2005).

Ovaj primjer ilustrira poteškoće u tumačenju podataka dobivenih iz cpDNK biljega kada su u pitanju crne topole. Činjenica da se može vegetativno razmnožavati, u kombinaciji s visokom razinom ljudskog uplitanja u njenom širenju, narušava znanstvenu sigurnost u raširenje raznih cpDNK haplotipova u Europi pa danas nemamo pravu sliku prirodne postglacijalne migracije crnih topola.

Jedan od ostalih učinaka ljudskog uplitanja je širenje hibridnih topola u cijeloj sjevernoj Europi. Umjetno proizvedeni hibridi, koji uključuju crnu topolu i nekoliko drugih vrsta topola poput *P. deltoides*, *P. trichocarpa*, *P. maximowiczii* i *P. laurifolia*, zasađeni su širom Europe (Cottrell i sur. 2005).

Tako su križanci pravljeni i s crnom topolom koja je nekad bila muški, a nekad ženski roditelj. Osim toga, tu su i prirodne hibridizacije kao i povratni križanci uz korištenje hibrida i crne topole, a što je općepoznato iz oplemenjivanja topola (Kajba i Bogdan 2005). Treba imati na umu neprepoznavanje hibrida ili povratnog križanca u kojem majčinska linija koja predstavlja crnu topolu, može dovesti do pogrešne interpretacije trenutnih rezultata za izgradnju migracijskih putova te su potrebna dodatna istraživanja mikrosatelitskim biljezima pomoću kojih je moguće prepoznati križance.

6. UGROŽENOST CRNIH TOPOLA

Crna topola spada u ugrožene vrste te se nalazi na popisu kao jedna od važnih vrsta koje treba očuvati na temelju Strasbourgske rezolucije od 1990. godine, a koja tretira zaštitu šumskoga drveća u Europi (Anonymous 1990; Arbez i Lefèvre 1997; Šijačić-Nikolić 2012; Čortan i sur. 2015).

Situacija za crne topole, koje još uvijek nalazimo na širokom području rasprostiranja, ali i lokalno, pokazuje izuzetan potencijal za kolonizaciju te se u neku ruku ne može činiti kao kritično ili visoko ugrožena vrsta šumskoga drveća kao što su *Abies nebrodensis* kod koje je preostalo samo 29 individua (Vendramin i sur. 1997; Venturella i sur. 1997) ili kao što je slučaj s brijestovima koji su pod visokim pritiskom patogena (Collin 1998). Međutim, tri glavna čimbenika predstavljaju prijetnju za crne topole u Europi.

Prva prijetnja je promjena obalnih ekosustava sa sve više drugih vrsta, posebno invazivnih vrsta u priobalju, s intenzivnim vodnim inženjeringom i reguliranjem vodotoka, kao i brojnim poljoprivrednim aktivnostima koje se obavljaju duž obala vodotoka. Osim toga, u još uvijek prirodnim područjima, regulacija poplavnih ciklusa utječe na obnovu topola te njeno stanište preuzimaju druge vrste.

Druga prijetnja je što su autohtone crne topole bile predmet pretjeranog iskorištavanja. Tako su namjerno uklonjene iz dunavskih poplavnih šuma na početku prošloga stoljeća, najviše zbog loše kvalitete drva te zamijenjene hibridnim topolama (Heinze 1997). S druge strane, u Bugarskoj su vrlo stara stabla crnih topola pretjerano iskorištavana za izradu specifičnih predmeta posebnog dizajna (Lefèvre i sur. 1998), dok danas imaju veliku primjenu u izradi europaleta.

Konačno, treća prijetnja je genska introgresija od kultivara topola jer je u pitanju potencijalna prijetnja za crne topole u smislu da se samo nekoliko klonova intenzivno uzgaja i doprinosi u velikoj mjeri s peludom i sjemenom u njejoj obnovi na prirodnim staništima. Ne samo kada su u pitanju egzotični hibridi, već je tu problem i s kultivarima čiste crne topole, kao što je kultivar muškog stabla '*italica*' koji je široko distribuiran širom Europe (Cagelli i Lefèvre, 1995). Pored toga, kod topola ne treba zaboraviti i patogene koji se s vremenom mijenjaju, a poseban problem su introducirani patogeni (Pinon i Frey 1997).

O smanjenju raširenja crnih topola postoje brojni pokazatelji. Prvi od indikatora je da vrsta pokazuje sve više diskontinuirano raširenje u mnogim zemljama, osobito u zapadnoj Europi. Tako je crna topola došla na listu najugroženijih vrsta u Belgiji, a u nekim područjima, kao što je dolina rijeke Meuse, je potpuno nestala (van Slycken 1995). Slična situacija je registrirana u Nizozemskoj i Grčkoj (de Vries 1995; Lefèvre i sur. 1998). U Velikoj Britaniji broj preostalih crnih topola procjenjuje se na 2 000 – 3 000 stabala. Osim toga, odnos spolova je iznimno smanjen te na jedno žensko stablo dolazi sedam muških, vjerojatno zbog uklanjanja stabala na kojima se javlja kunadra (pamučni dio sjemenke), te je značajno umanjena efektivna veličina populacije na samo 150 ženskih stabala (White 1993; Tabbush 1996a). Smanjenje broja stabala crnih topola u Austriji duž rijeke Dunav bilo je vidljivo još od 1960. godine (Heinze 1997). U navedenim zemljama je i prirodna obnova izuzetno otežana zbog nedostatka područja s pogodnim uvjetima za iskljanje i rast mladih biljaka (Lefèvre i sur. 1998). U Velikoj Britaniji specifična inventura crnih topola je napravljena tijekom 1970. godine otkrivši da se tadašnja populacija uglavnom sastojala od biljaka koje su posađene reznicama u poplavnim ravnicama, a pretpostavlja se da je crna topola bila podrijetlom s tog staništa (Tabbush 1996a). Osim toga, na tim područjima je zabilježen pad populacije crnih topola zbog jače konkurentnosti jasena i lipa (Pont 1995).

Konačno, treća kategorija pokazatelja proizlazi iz analize raznolikosti, a tu je njihova predvidljiva evolucija. Situacija u Velikoj Britaniji pokazuje rizik od izumiranja vrsta u marginalnim područjima svog rasprostiranja, a nakon toga gubitak određenih genotipova. U genetskim istraživanjima na temelju izoenzima, Legionnet i Lefèvre (1996) su pronašli nižu raznolikost (srednja očekivana heterozigotnost) u francuskim populacijama u odnosu na populacije središnje Europe, što također pokazuje nižu raznolikost u nekim manjim dijelovima rasprostiranja.

Štoviše, Legionnet (1996) je pronašao dokaze o iznenađujuće ograničenom protoku gena između populacija, a njihovi mehanizmi su ostali nepoznati. Temeljem tih rezultata je predložio pesimističan scenarij u kojem, s obzirom na genetsko opterećenje koje možemo očekivati za takvu alogamnu vrstu te fragmentaciju populacija koja je rezultat ljudske aktivnosti, uz povećanje samooplodnje i križanja u srodstvu, te nakon toga smanjenja prosječnog vitaliteta pojedinih genotipova, u konačnici možemo očekivati i nestanak.

6.1. Ugroženost u Bosni i Hercegovini

Obična i dlakava crna topola, nekada dosta brojne i široko rasprostranjene u Bosni i Hercegovini, naročito oko naših rijeka i potoka, danas su u situaciji da se nalaze pred nestankom. Takav slučaj je bio i u Sarajevu kada su crne topole bile ukras grada Sarajeva, što je vidljivo na starim bakropisima, a s početkom radova na regulaciji rijeke Miljacke i sarajevskih potoka počela je njena agonija. Isto tako, u sjećanju su mi ogromna stabla crnih topola u Sarajevskom polju. To su bili ukrasi Sarajevskoga polja, a nestali su pod udarima sjekira i motornih pila. Velika stabla crnih topola urezala su mi se u pamćenje jer sam kao dječak na njima gledao jata bijelih i sivih čaplji dok se odmaraju na preletu preko Sarajevskoga polja. Danas tih stabala nema, a nema ni čaplji, ili su vrlo rijetke i nema ih više u jatima nego se pojavljuju samo pojedinačno. Također, značajno je ugrožena i dlakava crna topola (Ballian 2004, 2004a, 2005; Ballian i Mikić 1999).

Skoro svakodnevno spoznajemo da pojedine vrste iz biljnog i životinjskog svijeta nestaju s lica zemlje i to već postaje statistika o kojoj se sve manje vodi računa. Mediji su inače prepuni alarmantnih vijesti o toj problematici, ali ti su problemi daleko od nas i našeg okruženja. Takav slučaj imamo i s autohtonim crnim topolama iz Bosne i Hercegovine kojima prijete potpuni nestanak, a na njihovo mjesto dolaze hibridi koji su izgubili svojstva autohtonih vrsta ili su ih u manjem obimu zadržali. Iz tog razloga u Europi je pokrenut projekt očuvanja genofonda ugroženih europskih vrsta šumskog drveća, među kojima se našla i europska crna topola, nakon Strasbourgske rezolucije (Anonimus 1990) te je u okviru IPGRI-a (Međunarodni institut za biljne resurse) formiran EUFORGEN čija je prva misija bila istraživanje i očuvanje crnih topola. Da ne bismo došli u situaciju da i naša obična crna topola i neretvanska crna topola nestanu, trebali bismo ih više upoznati i, uz mala uložena sredstva, očuvati za buduće naraštaje.

U 1997. godini izvršena je selekcija preostalih stabala crne topole na relaciji Sarajevo – Zenica, kada se uspjelo naći samo 54 stabla crne topole, te na području Čapljine gdje je sakupljena dlakava crna topola. Neupućeni promatrač može reći da crne topole ima, no to više nije čista crna topola, nego hibridi koji su nastali spontanom križanjem s klonovima euroameričkih crnih topola koje su introdukovane. U tim križanjima prisutna je introgresija gena američkih topola u naše crne

topole, što rezultira gubitkom određenih svojstava naših topola, mada pojedini sponzani hibridi mogu biti i vrlo perspektivni za plantažne nasade topola. Ipak, na taj način je izgubljen dragocjeni genofond naših crnih topola (Ballian i Tröber 2016).

Možda je najalarmantnije stanje na sarajevskom području jer se samim sječama preostalih stabala taj broj svake godine smanjuje. U gradu Sarajevu i na njegovom širem području 1997. godine nađeno je ukupno deset stabala crnih topola, da bi se iste godine tri stabla posjekla. Nalazila su se u samom središtu grada, kod Alipašine džamije, i davala su poseban identitet tom dijelu grada. Sada je na tom mjestu sofor koja je podrijetlom iz dalekog Japana, ali smo izgubili našu autohtonu vrstu. Kod zgrade Predsjedništva bile su dvije prastare crne topole koje su u međuvremenu posječene, a vrlo vjerojatno na njihovom mjestu će rasti neke strane alohtone vrste drveća. Slična situacija je i u drugim dijelovima grada. Tako smo kod mosta Suade Dilberović i Olge Sučić imali dvije crne topole u fazi sušenja jer su bile okovane asfaltom i stalno izložene oštećenjima, tako da su i one u međuvremenu posječene. Ništa bolja situacija nije i s nekolicinom crnih topola koje su preostale u Sarajevskom polju gdje ih divlja gradnja objekata za stanovanje ugrožava, a također i uređivanje obala u cilju povećanja obradivih površina. Danas u sarajevskom području imamo samo jednu crnu topolu.

Kada pobrojane crne topole nestanu, grad Sarajevo i okolina ostat će osiromašeni



Slika 6. Rezanje i paljenje crnih topola duž vodotokova u Bosni i Hercegovini

za jednu vrstu o kojoj nitko nije želio voditi računa i koja nikome nije trebala u ovome gradu.

Ipak, za razliku od nas, u Europi postoji veliki projekt koji se bavi zaštitom genofonda crnih topola u svim europskim zemljama. Zbog nezainteresiranosti šire zajednice za tu problematiku kod nas, kolege sa zagrebačkoga Šumarskoga fakulteta izvršile su arhiviranje klonskog materijala iz Bosne i Hercegovine. U dvije klonske arhive u Čakovcu i Osijeku arhivirano je oko 50 klonova, a dva naša klona su poslali i u Europski arhiv crnih topola. Poslove na selekciji crnih topola obavili su radnici sa Šumarskoga fakulteta u Sarajevu, čime će bar djelomično sačuvati autohtoni genofond crnih topola za buduće generacije. Tijekom 2007. godine u Bosni i Hercegovini smo također počeli s arhiviranjem posljednjih čistih crnih topola u klonskoj arhivi Žepče. Tada su uspješno arhivirana 163 klona (Ballian i Mekić 2008a i b).

Crne topole su obrazovale čiste sastojine u Bosni i Hercegovini, bez primjese tipskih topola, ali je unošenje raznih egzotičnih vrsta crnih topola, a prije svega klonova hibridnih euroameričkih crnih topola (posebno I-214), imalo negativan utjecaj na sadašnju populaciju zbog introgresije gena euroameričkih crnih topola (op. autora). Inače, europske crne topole imaju veliku sklonost ka križanju s američkim crnim topolama (obično je američka crna topola ženski roditelj, a europska muški roditelj). To ima za posljedicu pojavu hibrida u prirodnim populacijama koji su dosta agresivniji u odnosu na autohtone crne topole koje bivaju istisnute sa svojih staništa, a pored toga imaju i bolja tehnička svojstva drva tako da čovjek daje prednost hibridu.

Stupanj introgresije gena američkih crnih topola u populacijama obične i neretvanske dlakave crne topole je ispitan molekularno i registrirana je introgresija gena *P. deltoides* (op. autora). Na osnovi tih istraživanja će se propisati mjere za daljnju zaštitu crnih topola.



Slika 7. Sušenje crnih topola

7. EKOLOGIJA CRNIH TOPOLA

Crne topole imaju široku ekološku valencu koja se ogleda u njenom rasprostranjenju u rasponu koji je veći od 20° zemljopisne širine, s velikom raznolikošću klime i tla (Eckenwalder 1996, Dickmann 2001). Topole rastu u ekstremno različitim staništima, od toplih i suhih staništa, polupustinja u središnjoj Aziji i sjevernoj Africi do umjerenih vlažnih i hladnih područja središnje i sjeverne te istočne Europe s izrazitim kontinentalnim klimatom. Hibridne crne topole, a misli se na klonove (hibride) koji se plantažiraju, nisu toliko tolerantne na određene patogene i ekološke čimbenike, kao što je slučaj s čistim vrstama. Kako trepetljika, kao i neke druge vrste iz roda *Populus* imaju sjeme koje je osjetljivo na pojave požara, poplava i ledenih kiša (Romme i sur. 1995, 1997; Rood i sur. 2007), za pretpostaviti je da se i crne topole tako ponašaju.

Stabla topola imaju tendenciju da se pojavljuju u dvije opće kategorije staništa. Prvo, obično rastu u priobalnim područjima rijeka i močvara koje karakteriziraju sezonske poplave i visoke razine podzemnih voda, uz optimalne uvjete staništa, a što se odnosi na stalni nanos svježeg mulja i pijeska koji su bogati hranjivim materijama odmah nakon povlačenja visokih voda (Braatne i sur 1996; Dickmann 2001; Colmer i Voesenek 2009). Postoje slučajevi kod topola da se duboko zakorjenjuju te u tom slučaju mogu izdržati i u jako suhim klimatima kao što je to slučaj s eufratskom topolom (*P. euphratica*), a može izdržati i visoku zaslanjenost tla (Ma i sur. 1997; Hukin i sur. 2005; Ferreira i sur. 2006, Thevs i sur. 2008). Pretpostavljamo da se tako ponaša i naša dlakava crna topola. U drugom slučaju postoje topole, a većinom su u pitanju bijele topole, koje rastu prvenstveno u planinskim ili gorskim staništima, na nadmorskim visinama do 3 500 m i najbolje uspijevaju na dobro dreniranim, ilovastim tlima, s količinom padalina između 600 i 2 500 mm (Perala 1990; Dickmann 2001), mada Pintarić (2002) navodi da se i crne topole mogu naći na određenim staništima i do 1 500 m nadmorske visine. U ekološkom pogledu zauzima ekološku nišu između pojasa vrba i pojasa hrasta lužnjaka te redovito naseljava i nerazvijena tla šljunkovitih sprudova, kao i nerazvijene aluvije (Trinajstić 2005; Šijačić–Nikolić M. 2012).

Pod povoljnim uvjetima, topole dostižu reproduktivnu zrelost unutar 4-8 godina ako su u pitanju intenzivni nasadi, i unutar 10-15

godina u prirodnim populacijama (Stanton i Villar 1996). Registriran je i omjer spolova za prirodne populacije u rasponu od populacija s brojnijim ženskim individuama do uravnoteženih s odnosom koji je približno 1: 1, kao i populacija s brojnijim muškim individuama (Farmer 1996; Braatne i sur 1996; Stanton i Villar 1996; Gom i Rood 1999; Rowland i Johnson 2001; Cottrel i sur. 2005; Hultine i sur. 2007). Neka istraživanja ukazuju da specifičnost staništa utječe na odnos spolova jer ženske individue dominiraju na mjestima s obiljem vlage i hranjivih tvari i na nižim nadmorskim visinama, dok su muške individue bile češće na visokim nadmorskim visinama, kao i toplijim staništima te s više ekstremnosti staništa. Ove zanimljive biološke hipoteze, međutim, treba još provjeriti kroz brojna istraživanja. Posebno treba voditi računa o razvojnim razlikama između dva spola, tj. da muške individue u nekim uvjetima mogu doseći reproduktivnu zrelost prije nego ženske, čime se eventualno može izmijeniti optimalni omjer spolova (Stanton i Villar 1996).



Slika 8. Crne topole na Zeničkoj adi

Topole se kao pionirska vrsta brzo šire laganim sjemenom pa vrlo brzo zarasta neobraslo tlo i predstavlja jedan od pionirskih stadija u razvitku šumske vegetacije (Trinajstić i Franjić 1994; Trinajstić 2005; de Rigo i sur. 2016).

Crne topole cvjetaju prije listanja u rano proljeće (Braatne i sur. 1996; Eckenwalder 1996; de Rigo i sur. 2016). Kod pojedinih individua cvjetanje traje 1-2 tjedna (Stanton i Villar 1996), ali vrijeme za oprašivanje u populaciji može biti i duže od jednog ili čak dva mjeseca (Braatne i sur. 1996). Relativno vrijeme cvatnje ovisi o kretanju temperatura, a kod populacija na višim nadmorskim visinama, na višim sjevernim zemljopisnim širinama te s više kontinentalne klime, cvjetanje je kasnije (De Bell 1990; Perala 1990; Zasada i Phipps 1990; Braatne i sur. 1996). Pelud se raspršuje vjetrom i moguće je u nekim slučajevima međupopulacijsko oprašivanje (Tabbener i Cottrell 2003; Lexer i sur. 2005; Pospíšková i Šálková 2006; Vanden Broeck i sur. 2006; Slavov i sur. 2009). Nakon uspješnog oprašivanja, odnosno kada pelud stigne do tučka, oplodnja se odvija unutar naredna 24 sata (Braatne i sur. 1996). Sjeme sazrijeva za 6 – 8 tjedana kada počinju pucati kapsule u kojima se ono nalazi (Zsuffa 1974). Svako stablo proizvodi sjeme u velikim količinama, više od 25 milijuna sjemenki po stablu godišnje (Braatne i sur. 1996), i potencijalno se može raspršiti na jako velike udaljenosti vjetrom i vodom (Braatne i sur. 1996; Karrenberg i sur. 2002), ali su izravni empirijski podaci o raspršivanju sjemena na određene udaljenosti ipak ograničeni (DiFazio 2002).

U prirodnim uvjetima sjeme zadržava vitalitet da isklji samo 1-2 tjedna (Braatne i sur. 1996; Karrenberg i sur. 2002). Ipak, na odgovarajućim, odnosno optimalnim staništima, kada sjeme uspješno isklji imamo veliki broj biljčica po jedinici površine, u nekim slučajevima i do 4000 po m², ali je njihova smrtnost u prvoj godini života jako visoka i iznosi od 77% do 100%, prvenstveno kao rezultat djelovanja suše, poplava i sl. (Braatne i sur. 1996; Karrenberg i sur. 2002; Dixon 2003; Dixon i Turner 2006).

Regeneracija je općenito loša u starim sastojinama, dok sukcesija u obalnim šumama vodi k trajnoj biljnoj zajednici (Lefèvre i sur. 1998), najčešće šumama hrasta lužnjaka i poljskog jasena.

Vegetativno razmnožavanje je jedno od prepoznatljivih obilježja crnih topola (Dickmann 2001). Crna topola se aseksualno reproducira obično iz dijelova korijena i kroz ukorjenjivanje reznica ili u prirodi



Slika 9. Posljednje crne topole u Bilješevu

iz otkinutih grana koje se nađu u vodi, a postoje primjeri da su se obnovile iz cijelih srušenih debala nakon oluja ili poplava ako se deblo našlo u riječnom nanosu (Braatne i sur. 1996; Rood i sur. 2003, 2007; Barsoum i sur. 2004; Smulders i sur. 2008).

Zbog plastičnosti, crna topola se također koristi kao čista vrsta za zaštitu tla te za pošumljavanje onečišćenih industrijskih zona zbog visoke remedijacijske sposobnosti (Popivshchy i sur. 1997). U velikoj mjeri sadila se da zaustavi kretanje pijeska u Velikoj mađarskoj ravnici na početku 18. stoljeća, a potom je zamjenjuju tzv. euroamerički hibridi između *Populus deltoides* x *nigra* u 20. stoljeću (Toth 1995).

8. EKOLOŠKO-VEGETACIJSKA PRIPADNOST CRNIH TOPOLA

U Bosni i Hercegovini je provedena ekološko-vegetacijska rajonizacija šuma (Stefanović i sur. 1983). Populacije i skupine stabala koje su izdvojene za arhivu crnih topola u Žepču nalaze se u svim izdvojenim oblastima u Bosni i Hercegovini (pripanonska, prelazno ilirsko-mezijaska, unutarjni Dinaridi, mediteransko-dinaridska). One će biti prikazane, kao i područja, tj. rajoni jer ćemo se u reintrodukciji materijala držati principa koji su usvojeni u rajonizaciji, uz uvažavanje rezultata koji su dobiveni na molekularno-genetskoj razini dok se ne uradi genetska rajonizacija crnih topola.

Šumske zajednice ili filocenoze s crnim topolama nalaze se u svim izdvojenim oblastima u Bosni i Hercegovini i o njima će se više razmatrati, a svaka se dijeli na više područja i to:

1. Pripanonska oblast

Sjevernobosansko područje

Sjeverozapadno bosansko područje

2. Prelazno ilirsko-mezijaska oblast

Gornje drinsko područje

Donje drinsko područje

3. Oblast unutrašnjih dinarida

Područje Cazinske krajine

Zapadnobosansko krečnjačko-dolomitsko područje

Srednjobosansko područje

Zavidovičko-tesličko područje

Područje istočnobosanske visoravni

Jugoistočno bosansko područje

4. Meditaransko-dinarska oblast

Submediteransko planinsko područje

Submediteransko montano područje

Submediteransko područje

Eumediteransko područje

Također, kako u Bosni i Hercegovini topole zasad ne predstavljaju komercijalnu vrstu, u rajonizaciji nisu ni spomenute te ćemo napomenuti samo one šumske zajednice koje karakteriziraju oblasti, područja i rajone jer su vezane pedološki i klimatski, a to su čimbenici koji igraju vrlo značajnu ulogu i kod topola.

Pripanonska oblast (1.)

Položaj: Ravničarski i brežuljkasti predjeli sjeverne Bosne, od Save i Une prema jugu do oboda brdsko-planinskih masiva oblasti unutrašnjih Dinarida. Dolinama rijeka Sane, Vrbanje, Bosne sa Usorom i Sprečom proteže se dublje u unutrašnjost.

Prema orografskim karakteristikama pripada nizinskom i brdskom pojasu, od 80 do 980 m nadmorske visine.

Klima: Ova oblast karakterizira se klimom u kojoj dominiraju kontinentalni klimatski utjecaji dok su u krajnjem sjeverozapadnom dijelu oblasti izraženi utjecaji atlantske klime. Zato je istočni dio oblasti topliji i s manje padalina u vegetacijskom periodu (premda od ukupnih padalina ima više od 50%), od zapadnog dijela oblasti koja je hladnija i s više padalina u vegetacijskom periodu.

Geomorfologija i geološka građa: Geomorfološki predstavlja najniže aluvijalno-diluvijalne ravni, terase riječnih tokova i jezerskih sedimenata koje su dobrim dijelom prekrivene beskarbonatnim lešom. Ovim je određen petrografski sastav (najčešće su to gline, pijesci, šljunci). Mjestimično su sedimenti flišolikog karaktera vezani za podignute dijelove reljefa koji su uvjetovani čvrstim magmatskim stijenama.

Zemljišta: Zemljišta su uglavnom duboka, težeg mehaničkog sastava i pod utjecajem podzemnih i površinskih voda, tako da pripadaju pretežno grupi hidromorfnih zemljišta.

Fitogeografska pripadnost: Oblast po svojim fitogeografskim karakteristikama predstavlja pripanonski sektor srednjoeuropske provincije koju pretežno karakteriziraju hrastove nizinske šume sveza *Carpinion betuli*, *Alno-Quercion*, *Alnion glutiniseae*, *Salicion albae* u kojima možemo naći i crne topole.

Oblast je diferencirana na dva područja: sjevernobosansko i sjeverozapadno bosansko.

Sjevernobosansko područje (1.1.)

Položaj: Zauzima središnji dio sjeverne Bosne, od Save do obronaka brdsko-planinskih oblasti unutarnjih Dinarida. Na istoku graniči s prelaznom ilirsko-mezijskom oblasti, linijom Brčko – greben Majevice – istočni rub Sprečkog polja, a na zapadu i jugozapadu sa sjeverozapadno bosanskim područjem ove oblasti.

U visinskom pogledu prostire se od 80 do 980 m.

Klima: Ima izrazitije umjeren kontinentalni karakter (55% ukupnih padalina odnosi se na vegetacijski period). Potencijalna evapotranspiracija je veća od padalina u vegetacijskom periodu (0,91), a i ostali pokazatelji ukazuju na kontinentalnost i kserotermnost klimatskih prilika. Vegetacijski period traje od 180 do 200 dana.

Geomorfologija i geološka građa: Izdvajaju se aluvijalne ravni rijeke Save i donjih tokova rijeka Vrbasa, Ukrine, Bosne sa Usorom i



Slika 10. Crne topole na Banjalučkoj adi

Sprečom te diluvijalnim terasama, kao i uzdignutim brežuljkastim reljefom pretežno tercijarnih sedimentata koji su često pokriveni beskarbonatnim lesom.

Zemljišta: Prevladavaju pseudoglejevi i distrični kambisoli na tercijarnim sedimentima, a manje su zastupljene zemljišne kombinacije eugleja i semigleja, samostalni zemljišni areali fluvisola, pelosola te rendzine na laporcu i kalkokambisoli na vapnencu.

Ova zemljišta su nepovoljnih svojstava, a naročito vodno-fizičkih (zbog teškog mehaničkoga sastava i suvišnog vlaženja). Nešto povoljnija su zemljišta koja pripadaju tipu distričnih kambisola, ali ova zemljišta se javljaju češće na većim nagibima i manjim površinama.

Realna šumska vegetacija: Za nizinske predjele i zaravni diluvijalnih terasa karakteristične su šume lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli* – *Quercetum roboris*), odnosno šume lužnjaka (*Genisto elatae* – *Quercetum roboris*) dok su na najvlažnijim mjestima šume crne joha (*Alnetum glutinosae*), odnosno šume poljskog jasena (*Leucoio* – *Fraxinetum angustifoliae*). Na recentnim fluvisolima zastupljene su šume vrba i topola (*Populetum albo* – *nigrae*).

Potencijalna šumska vegetacija: Najvećim dijelom područje pripada klimazonalnim šumama kitnjaka i običnog graba s kojima alteriraju šume lužnjaka i običnog graba, sporadično poplavne šume lužnjaka (*Genisto elatae* – *Quercetum roboris*), šume kitnjaka, šume bukve, zatim šume vrba i topola te šume crne joha.

Sjeverozapadno bosansko područje (1.2.)

Položaj: Prostire se od rijeke Une k jugoistoku uvlačeći se uz Vrbanjicu iznad Kotor Varoši. Pripada pretežno brdskom pojasu, a manjim dijelom dolinskom (kotlinskom), u visinskom intervalu od 130 do 500 m nadmorske visine.

Klima: Područje se karakterizira umjereno kontinentalnom klimom koja ima znake utjecaja atlantske klime. Koeficijent kontinentalnosti je manji (oko 54%), a odnos potencijalne evapotranspiracije i padalina u vegetacijskom periodu je povoljniji (oko 0,98). Vegetacijski period traje od 195 do 200 dana (manja varijabilnost nadmorskih visina meteoroloških stanica u ovom području).

Geomorfologija i geološka građa: Ovo područje je izgrađeno od aluvijalnih ravni u dolinama rijeka Une, Sane i Vrbasa te od tercijarnih

sedimenata, a manje od paleozojskih pješčara i škriljaca, eruptiva i vapnenaca.

Zemljišta: Pseudoglejevi s distričnim kambisolom su najviše zastupljeni tipovi zemljišta, a još dolaze i semiglejevi, fluvisoli, vertisoli, eutrični kambisoli, pelosoli, kao i kalkokambisoli na vapnencu.

Struktura zemljišnog pokrivača ovog područja, kao i svojstva kartografskih jedinica, slični su prethodnom području, samo je zbog klimatskih prilika još više naglašen problem suvišnoga vlaženja.

Realna šumska vegetacija: U nizinama i na diluvijalnim terasama zastupljene su šume lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*) uz koje možemo naći crne topole. Na krajnjem sjeverozapadu zastupljene su šume kitnjaka (*Quercetum petraeae montanum*).

Potencijalna šumska vegetacija: Područje pripada klimatogenim šumama kitnjaka i običnog graba, s mozaičko raspoređenim šumama lužnjaka i običnog graba, zatim šumama kitnjaka, šumama kitnjaka i kestena, na hladnijim položajima i šumama bukve, a uz rijeke možemo naći i crne topole.

Prelazno ilirsko-mezijska oblast (2.)

Položaj: Zauzima sjeveroistočni, istočni i jugoistočni dio Bosne graničeći na sjeveroistoku s pripanonskom oblasti, a na istoku i jugozapadu s oblasti unutrašnjih dinarskih Alpa.

Prema orografskim karakteristikama pripada najvećim dijelom brdsko-planinskom pojasu s krajevima oko rijeke Drine, pretežno u njenom donjem toku, nizinskom (kotlinskom) pojasu.

Klima: Ova oblast ima u svom sjevernom dijelu (Donje drinsko područje) karakteristike kontinentalne klime. Idući k jugu, odnosno s porastom nadmorske visine (područje Gornje drinsko), utjecaj kontinentalne klime slabi tako da se u najvišim krajnjim predjelima jako osjećaju utjecaji planinske, odnosno mediteranske klime.

Geomorfologija i geološka građa: Geomorfološki ovo je vrlo heterogena oblast koja zauzima dio sliva rijeke Drine, tj. obuhvaća padine planinskih masiva i jednim dijelom aluvijalne ravni i terase. Geološko-petrografski je izgrađena od aluvijalnih sedimenata, paleozojskih pješčara i škriljaca, a manjim dijelom i od magmatskih stijena.

Zemljišta: Zemljišta pretežno pripadaju klasi kambičnih koja su u sredini duboka, često skeletna i podložna eroziji.



Slika 11. Stare crne topole pored rijeke Drine (Kopači kod Goražda)

Fitogeografska pripadnost: S obzirom na činjenicu da ovdje upravo graniče dvije široko rasprostranjene klimatogene zajednice, šuma hrasta kitnjaka i graba (*Quercus - Carpinum*) sa zapada i sladuna i cera (*Quercetum confertae-ceris*) s istoka naše zemlje, s nizom specifičnosti u vegetacijskim odnosima (naročito u pogledu visinskog zoniiranja) i orografsko uvjetovanih nekih fitocenoza, ova oblast ima svoj poseban fitogeografski pečat. Nju karakterizira posebno termofilna zajednica sladuna i cera koja je ovdje biološki indikator klime, posebnih stanišnih uvjeta i florističkog sastava (u spektru flornih elemenata značajan udio vrsta: *Quercion confertae*, *Quercion robori-petraeae*) te šuma kitnjaka i cera kao i smanjenog učešća ilirskih i atlantskih flornih elemenata, dok u dolini rijeke Drine na diluvijalnim terasama i uz potoke nalazimo biljne zajednice s crnim topolama.

Donje drinsko područje (2.1.)

Položaj: Zauzima sjeveroistočni dio Bosne koji ograničava linija: Brčko-greben Majevice-istočni rub Sprečkog polja-Vlasenica-obronci Javor planine-kanjon Drine.

Većim dijelom pripada nizinskom i brdskom pojasu, a manjim dijelom planinskom, od 80 do 1020 m nadmorske visine.

Klima: Područje ima karakter kontinentalne klime u nižim dijelovima (aluvijalne ravni i diluvijalne terase), a u višim karakter umjerenog kontinentalne klime. Na padaline u vegetacijskom periodu otpada oko 55% godišnjih količina, a odnos padalina i potencijalne evapotranspiracije je veoma nepovoljan (oko 0.82). Vegetacijski period traje od 190 do 210 dana.

Geomorfologija i geološka građa: Geomorfološki se ovo područje u svom sjevernom dijelu karakterizira aluvijalnom ravni u kojoj se diže masiv Majevice. Južno od Zvornika područje prelazi u planinski masiv iznad kanjona Drine.

Izgrađeno je od aluvijalnih sedimenata, eocenskog fliša, andeizitsko-dacitskih eruptiva, paleozojskih i trijaskih sedimenata.

Zemljišta: Najviše zastupljeni tipovi zemljišta su iz skupine automorfni i hidromorfni, čineći samostalne areale i zemljišne kombinacije. Pojava predstavnika pojedinih grupa vezana je za geomorfološku građu. U nižim predjelima prevladavaju hidromorfna zemljišta, a u višim automorfna i u njima su zastupljeni predstavnici kambične klase.



Slika 12. Stare crne topole u Babinoj Rijeci (Zenica)

Realna šumska vegetacija: Šumske fitocenoze zadržale su se mozaički, u zavisnosti od orografsko-edafskih i antropogenih utjecaja. Zastupljene su šume lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*), a kada se spuštaju do vodotokova u njima se susreću crne topole.

Potencijalna šumska vegetacija: Niži položaji pripadaju šumama lužnjaka i običnog graba. Manje površine pripadaju šumama na recentnim fluvisolima, azonalnoj fitocenozi vrba i topola.

Srebrenički rajon (2.1.3.)

Položaj: Od doline Drine, tj. njenoga izlaska iz klisure do Zvornika, na jugozapad do obronaka Javor planine, obuhvaća visinski interval od 150 do 1020 m nadmorske visine. Pripada brdsko-planinskom pojasu, osim uske zone doline Drine.

Geomorfologija i geološka građa: U geomorfološkom pogledu izdvajaju se manje aluvijalne ravni i terase te planinski masivi.

Rajon karakterizira masiv eruptivnih stijena s paleozojskim škriljcima i pješčarima, kao i trijarskim vapnencima te pješčarima, glincima i rošnjacima.

Zemljište: Najzastupljeniji tip zemljišta je distrični kambisol, a na manjim površinama javljaju se i zemljišne kombinacije tipa mozaika kalkokambisola, kalkokambisola na vapnencu i euteričnog kambisola na silikatnim stijenama.

Ovo su tipična šumska zemljišta. Na vapnencima su pretežno plitka i suha, dok su na ostalim supstratima srednje duboka i duboka i znatno vlažnija.

Realna šumska vegetacija: Uska zona doline Drine pripada azonalnim fitocenzama vrba (*Salicetum*) i topola (*Populetum nigro – albae*).

Potencijalna šumska vegetacija: Uska zona doline Drine pripada azonalnim fitocenzama vrba (*Salicetum*) i topola (*Populetum nigro – albae*).

Gornje drinsko područje (2.2.)

Položaj: Brdsko-planinski predjeli jugoistočne Bosne od obronaka Jahorine, Ravne planine i Romanijske visoravni na sjeverozapadu, do granice sa Srbijom i Crnom Gorom na jugoistoku, odnosno od

kanjona Tare i Drine na jugozapadu do Stolac planine i kanjona Drine na sjeveroistoku.

Zauzima visinski interval od 350 m (dolina Drine kod Višegrada) do 2238 m nadmorske visine (vrh V. Ljubišnje).

Klima: Niži dijelovi ovoga područja (oko Višegrada i šire okoline Goražda) su pod utjecajem umjereno kontinentalne klime s tendencijom opadanja padalina i povećanjem temperature u periodu od lipnja do početka rujna. Još veći utjecaj mediteranske klime osjeća se u području Foče. Viši položaji (ograci Jahorine, Ljubišnje, Stakorine) su s izmijenjenom umjereno kontinentalnom klimom sa svojstvima planinske klime. Odnos padalina i potencijalne evapotranspiracije u vegetacijskom periodu je veoma nepovoljan (oko 0.83), što, uz relativno malu rezervu biljkama pristupačne vode u zemljištu, čini ovo područje veoma kserotermnim. Trajanje vegetacijskoga perioda je od 140 do 200 dana.

Geomorfologija i geološka građa: U ovom geomorfološki relativno homogenom području (padine gornjeg toka rijeke Drine) zastupljeni su grauvakni pješčari i škriljci, pretežno argiofiliti, vapnenci i serpentiniti.

Zemljišta: Zemljišta su najvećim dijelom u grupi automorfnih i to klase kambičnih zemljišta.

Realna šumska vegetacija: Recentni fluvisoli predstavljaju staništa vrba i topola.

Potencijalna šumska vegetacija: Recentni fluvisoli predstavljaju staništa vrba i topola.

Goraždansko-fočanski rajon (2.2.3.)

Položaj: Dijelovi slivnog područja toka Drine uzvodno od Foče do ispod Goražda, kao i izvorišno područje Prače, u visinskom intervalu od 340 m (dolina Drine) do 1750 m nadmorske visine (jugoistočni dijelovi Jahorine). Pretežno pripada brdsko-planinskom pojasu, znatno manje subalpinskom pojasu, a samo dolina Drine nizinskom (kotlinskom).

Geomorfologija i geološka građa: Ovaj rajon u geomorfološkom pogledu karakterizira planinski reljef ispresijecan vodotocima, a uglavnom je izgrađen iz paleozojskih pješčara i škriljaca. U dolinama rijeka nalazimo recentne aluvijalne ravni i stare diluvijalne terase.

Zemljišta: Zastupljen je distrični kambisol, a u dolinama rijeka se još nalaze i fluvisoli.



Slika 13. Topole duž rijeke Bosne

Ovo je najhomogeniji rajon unutar područja, pa i oblasti.

Zemljišta imaju relativno povoljna svojstva, međutim za rasadničku proizvodnju problem predstavlja izbor povoljnog položaja i veličine rasadnika.

Realna šumska vegetacija: Za recentne fluvisole karakteristične su fitocenoze vrba (*Salicetum*) i topola (*Populetum*), a u nekim dijelovima šume crne johe (*Alnetum glutinosae*), odnosno sive johe (*Alnetum incanae*).

Potencijalna šumska vegetacija: Za recentne fluvisole karakteristične su fitocenoze vrba (*Salicetum*) i topola (*Populetum*), a u nekim dijelovima šume crne johe (*Alnetum glutinosae*), odnosno sive johe (*Alnetum incanae*).

Oblast unutrašnjih Dinarida (3.)

Položaj: Zauzima unutrašnju oblast Dinarida, od Plješevice na sjeverozapadu do Maglića i Volujaka na jugoistoku. Jugozapadnu granicu ove oblasti čine visokoplaninski grebeni i visoravni koje su ujedno granica utjecaja mediteranske klime. Prema sjeveroistoku, oblast

se spušta prema pripanonskoj i prelaznoj ilirsko-mezijskoj oblasti, završavajući se na obroncima viših masiva Dinarida.

Visinski je dijapazon od najniže krajnje zone na sjeveroistoku, 300-500 m nadmorske visine, do najviših predjela 2000-2386 m nadmorske visine na graničnom području s mediteransko-dinarskom oblasti. Prema orografskim prilikama pripada pretežno planinsko-subalpinskom pojasu, a samo na sjeveroistočnom kraju ili nekim depresijama u unutrašnjosti i dolinsko-brdskom pojasu.

Klima: Geografske i geomorfološke prilike ove oblasti uvjetuju i njenu klimu. Čitava oblast je pod utjecajem djelovanja međusobnog sukobljavanja umjereno kontinentalne i izmijenjene mediteranske klime. Visoki planinski masivi uvjetuju planinsku klimu. Nedovoljan broj i nepovoljan raspored meteoroloških stanica ograničavaju preciznije definiranje utjecaja različitih klimatskih struja i njihovo prostorno razgraničenje.

Geomorfologija i geološka građa: U geomorfološkom smislu ovo je vrlo heterogena oblast koju grade tri krečnjačko-dolomitna planinska masiva, dvije bregovite cjeline (ofiolitska zona i Cazinska krajina), srednjobosansko škriljogorje i Sarajevsko-zenička kotlina.

Zemljišta: Kako u geološkom, tako i u pedološkom pogledu ovo je također vrlo heterogena oblast čija građa će se detaljnije obraditi unutar pojedinih područja i rajona.

Fitogeografska pripadnost: Oblast pripada ilirskoj provinciji koja se karakterizira svojstvenim vegetacijskim jedinicama i flornim elementima.

Oblast se dijeli na sljedeća područja: Cazinska krajina, zapadno-bosansko krečnjačko-dolomitno područje, srednjobosansko, zavidovičko-tesličko, istočnobosanska visoravan i jugoistočnobosansko.

Zapadnobosansko vapnenačko-dolomitno područje (3.2.)

Položaj: Zauzima velika geografska prostranstva krečnjačko-dolomitnih površina i planinskih masiva od Une na sjeverozapadu do Glamočko-kupreške visoravni na jugoistoku. Graniči s mediteransko-dinarskom oblasti na jugozapadu dosežući do doline Vrbasa linijom Voljevac-Jajce, odakle prelazi na desnu obalu zahvaćajući vapnenačke masive Vlašića i Čemernice.

Većim dijelom pripada planinskom subalpinskom pojasu, od 800 (900 m) do 1900 m. Manjim dijelom je to brdsko područje, od 300 do 700 (800) m nadmorske visine.

Klima: Ovo područje se karakterizira nedovoljno jasnim međusobnim prodorima mediteranske i kontinentalne klime. Prema analizi podataka za stanicu Drinić, u zimskom periodu prevladava utjecaj kontinentalne klime dok su u ljetnom periodu jači utjecaji mediteranske klime. Relativno položen tok linija na grafikonu ukazuje i na karakteristike planinske klime uvjetovane nadmorskom visinom područja. I u ovom području pada u vegetacijskom periodu manji dio godišnjih padalina, pa ipak su odnosi padalina i evapotranspiracije povoljni. Vegetacijski period traje od 120 do 200 dana, zavisno od nadmorske visine (Bosanska Krupa, Bosanski Petrovac, Drinić, Ključ, Gerzovo, Preodac, Makljen, Imljani, Mlinište, Glamoč, Vaganj i Kupres).

Geomorfologija i geološka građa: Ovo područje je izgrađeno od nekoliko krečnjačko-dolomitnih masiva i visoravni. Mjestimično ima tragova glacijalnih aktivnosti. Dolomiti mogu biti čvrsti, a češće se javljaju istrošeni u vidu dolomitne pržine. Silikatne stijene su manje zastupljene, a na njima susrećemo, uglavnom, distrične kambisole.

Zemljišta: Karakteristike zemljišta su plitkoća, suhoća, skeletnost, težak mehanički sastav i visoka površinska kamenitost.

Za rasadničku proizvodnju u ovom području najpovoljnija bi bila dublja, deluvijalno kolvijalna, beskarbonatna zemljišta na vapnencima ako zadovoljavaju svojim položajem i veličinom površine.

Realna šumska vegetacija: Ravničarski predjeli, povremeno plavljeni i pod utjecajem podzemnih voda, predstavljaju staništa šuma lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*), a močvarnim zemljišta pripadaju šume crne johe (*Alnetum glutinosae*).

Potencijalna šumska vegetacija: Ravničarski predjeli, povremeno plavljeni i pod utjecajem podzemnih voda, predstavljaju staništa šuma lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*), a močvarnim zemljišta pripadaju šume crne johe (*Alnetum glutinosae*).

Ključko-petrovački rajon (3.2.1.)

Položaj: Predjeli s lijeve strane Vrbasa obuhvaćaju masive Manjače i Zmijanja na jugoistoku, od Grmeča i kanjona Une na sjeverozapadu, uključujući masiv Plješivice te planine Lunjevače i Jadovnika (Vijenca)

na jugu. S obzirom na orografske karakteristike predjeli ovog rajona pripadaju većim dijelom brdsko-planinskom, a manjim subalpinskom pojasu. Prostire se u visinskom intervalu od 300 do blizu 2000 m nadmorske visine, dokle dopiru vrhovi najvećih masiva (Osječenica, Klekovača, Lunjevača).

Geomorfologija i geološka građa: Posebno obilježje ovog rajona u geomorfološkom pogledu je pojava vrtačastih visoravni s izdizanjem viših vapnenačkih masiva na krajevima. Ovaj rajon je uglavnom izgrađen od vapnenca, a manje od dolomita.

Zemljišta: Zastupljene su zemljišne kombinacije tipa mozaika i to najčešće kalkomelanosola-kalkokambisola-luvisola na vapnencu kao i mozaici dvočlanog tipa serije zemljišta na vapnencima: rendzine na dolomitu, kalkomenalosol, distrični kambisol i fluvisol.

Ovo su izrazito šumski rajoni i zemljišta su plitka, suha i skeletna.

Za rasadničku proizvodnju najpovoljniji bi bili distrični kambisoli i fluvisoli, ali ova se zemljišta najčešće koriste u poljoprivrednoj proizvodnji.

Realna šumska vegetacija: U kanjonu Une, Sane i Vrbasa na nižim predjelima nalazimo šume vrba i topola, šume lužnjaka i običnog graba (polje kod Lušci Palanke i Podrašničkog polja) gdje močvarna zemljišta predstavljaju staništa šuma crne johe (*Alnetum glutinosae*) u kojima možemo naći i topole.

Potencijalna šumska vegetacija: Niži predjeli pripadaju i različitim fitocenzama orografsko-edafski uvjetovanim, na recentnim fluvisolima to su šume vrba i topola, šume lužnjaka i običnog graba (polje kod Lušci Palanke i Podrašničkog polja), gdje močvarna zemljišta predstavljaju staništa šuma crne johe (*Alnetum glutinosae*).

Srednjobosansko područje (3.3.)

Položaj: Obuhvaća teritoriju od gornjeg toka Bosne na jugozapad do grebena Ivan Sedla, Bitovnje, Vranice, niz dolinu Vrbasa do Jajca. Sjeveroistočno od doline Bosne dopire do linije Nahorevo, sjeverno od Breze, izvorišnih predjela Žuče i Ribnice pa na Begov Han, pružajući se preko Bosne na sjeverozapad do Banjaluke.

Područje je izrazito brdsko-planinskog karaktera, s prostranijom subalpinskom zonom na masivima Vranice i Bitovnje te užom i širom dolinskom zonom uz Bosnu, Lepenicu, Fojnicu i Vrbas.

Visinski se prostire od 300 do preko 2200 m nadmorske visine (vrhovi Vranice).

Klima: Područje je pod dominantnim utjecajem planinske klime. Međutim, od srpnja do rujna i od prosinca do lipnja osjeća se djelovanje kontinentalne klime (Zenica). U ostalom dijelu godine jači su utjecaji mediteranske klime. U vegetacijskom periodu padne oko 48% godišnjih padalina, ali je odnos padalina prema potencijalnoj evapotranspiraciji ipak donekle nepovoljan (oko 0,92).

Vegetacijski period (bar u nižem dijelu područja) traje od 180 do 200 dana.

Geomorfologija i geološka građa: Geomorfološki se razlikuju tri cjeline i to: masiv srednjobosanskog škriljogorja (uglavnom izgrađen od kristalnih škriljaca i riolita) brežuljkast teren jurskog fliša i Sarajevsko-zenička kotlina (uglavnom izgrađena od tercijarnih sedimenata).

Zemljišta: Zemljišni pokrivač je vrlo heterogen i složen, ali se izdvajaju dosta homogene površine kao posebni rajoni.

Po svojim svojstvima, u ovom području ima više tipova zemljišta koje bi moglo odgovarati za rasadničku proizvodnju, ali se postavlja problem izbora položaja i veličine površine koja nije pod poljoprivrednom proizvodnjom.

Realna šumska vegetacija: Riječne doline i diluvijalne terase pripadaju šumi lužnjaka i običnog graba, a recentni fluvisoli predstavljaju staništa vrba i topola.

Potencijalna šumska vegetacija: Riječne doline i diluvijalne terase pripadaju šumi lužnjaka i običnog graba, a recentni fluvisoli predstavljaju staništa vrba i topola.

Vranički rajon (3.3.2.)

Položaj: Prostire se od Jajca na sjeverozapadu preko Komara, Vranice i Bitovnje do podnožja vapnenačkih masiva Bjelašnice na jugoistoku. Dio ovog rajona nalazi se teritorijalno izdvojen obuhvaćajući masiv Stožera, istočno od Kupresa. Orografski predstavlja pretežno planinsko područje sa subalpinskim pojasom visokih planina Vranice, Bitovnje i Sebešića. Dolinski (kotlinski) pojas najvećim dijelom zahvaća dolina Vrbasa.

U visinskom rasponu, proteže se od 400 (500) m u dolini Vrbasa i sjeveroistočnim rubovima rajona do vrhova Vranice, tj. do 2200 m nadmorske visine.

Geomorfologija i geološka građa: Ovaj rajon zauzima uglavnom visokoplaninski masiv srednjobosanskog škrljavog gorja koji je pretežno izgrađen od kristalnih škrljaca, manje eruptiva, vapnenaca i pješčara. Kristalasti škrljci su često rastrošni glacijalnim i soliflukcijalnim procesima.

Zemljišta: Najzastupljeniji tip zemljišta je distrični kambisol te zemljišne kombinacije distričnog kambisola i luvisola na kiselim silikatnim stijenama, kao i rankera i distričnog kambisola te rendzine na dolomitu i mozaik kalkomelanosola i kalkokambisola na vapnencu.

Po svojim fizičko-kemijskim svojstvima ova zemljišta bi bila pogodna za rasadničku proizvodnju, ali i ono malo pogodnih terena za istu nalaze se u poljoprivrednoj proizvodnji.

Realna šumska vegetacija: Dolinsko-brdski predjeli pripadaju hrastovim fitocenozama, aluvijalna ravan Vrbasa šumi lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*) uz koje nalazimo i crne topole.

Potencijalna šumska vegetacija: Riječne doline i diluvijalne terase pripadaju šumi lužnjaka i običnog graba, a recentni fluvisoli predstavljaju staništa vrba i topola.

Sarajevsko-zenički rajon (3.3.3.)

Položaj: Obuhvaća središnje dijelove Bosne, doline rijeke Bosne od Sarajeva do Zenice i Lašve do Travnika. Predstavlja najvećim dijelom brežuljkasto gorje od 400 do blizu 1300 m nadmorske visine, a samo dolinama rijeka Bosne, Lepenice i Lašve izražen je dolinski pojas.

Geomorfologija i geološka građa: Ovo su tereni brežuljkastobrdskog karaktera ispresijecani aluvijalnim ravnima vrlo složenog petrografskog sastava, naročito kompleksi tercijarnog fliša.

Zemljišta: Najzastupljenija kartografska jedinica je kompleks rendzine, distričnog kambisola i pseudogleja na fliškim sedimentima, niz rendzina i eutričnog kambisola na laporcu, mozaik kalkomelanosola i kalkokambisola i mozaik kalkomelanosola i luvisola na vapnencu te kompleks luvisola i pseudogleja na tercijarnim sedimentima, fluvisola u riječnim dolinama.

Budući da je ovo rajon nižih nadmorskih visina uz riječne tokove, zemljišta se uglavnom koriste u poljoprivrednoj proizvodnji, a samo ona najnepovoljnijih svojstava su pod šumskom vegetacijom. Unutar

ovih površina mogu se naći povoljne površine za rasadnike, ali su zemljišta često nepovoljnih fizičkih svojstava.

Realna šumska vegetacija: Na ravničarskim terenima se nalaze ostaci lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*) te šume topola i vrba uz vodotokove.

Potencijalna šumska vegetacija: Najvećim dijelom brežuljkasto-dolinski predjeli pripadaju klimazonalnoj zajednici kitnjaka i običnog graba. Unutar ove, ravničarski predjeli predstavljaju staništa šuma lužnjaka i običnog graba, a recentni fluvisoli su staništa vrba i topola (*Salicetum et Populetum*).



Slika 14. Crne topole duž rijeke Bosne u Zavidovićima

Zavidovičko-tesličko područje (3.4.)

Položaj: Obuhvaća sliv srednjeg toka rijeke Bosne, posebno Kri-vaje i Usore, odnosno masive Konjuha, Ozrena i Borje. Područje se karakterizira i jako heterogenim orografskim prilikama, a nalazi se u brdsko-planinskom pojasu od 250 do 1328 m nadmorske visine (vrh Konjuha).

Klima: Najvećim dijelom godine ovo je područje pod utjecajem izmijenjene umjereno kontinentalne klime. Jači utjecaj mediteranske klime osjeća se u periodu lipanj-kolovoz. Zbog svega toga u vegetacijskom periodu padne u prosjeku oko 56% godišnjih padalina pa je i

odnos padalina i potencijalne potrošnje vode, s klimatskog aspekta, povoljan.

Vegetacijski period traje od 180 do 190 dana (Maoča i Kladanj).

Geomorfologija i geološka građa: Ovo područje pripada srednjo-bosanskoj ofiolitskoj zoni, a odlikuje se orografskim brdsko-planinskim obilježjima s dosta izraženim reljefom. Izgrađeno je pretežno od serpentiniziranog peridotita, eruptiva, rožnjaka, a vapnenci su daleko manje zastupljeni.

Zemljišta: Najrasprostranjeniji tipovi zemljišta su eutrični kambisol na peridotu i serpentinitu, kao i distrični kambisol na kiselim silikatnim stijenama, a manje su zastupljeni eutrični kambisoli na ostalim silikatnim stijenama, pseudoglejevi, mozaik kalkomelanosola i kalkokambisola.

Ovo su izrazito šumska zemljišta, plitka i kserotermna. Za rasadničku proizvodnju nisu pogodna.

Realna šumska vegetacija: Zbog izuzetno heterogenih stanišnih prilika, karakterističnih za ofiolitsku zonu, zastupljene su različite šumske fitocenoze. Ostaci šuma lužnjaka i običnog graba (*Quercus-Carpinetum*) na diluvijalnim terasama su rijetki, a uz vodotokove rastu vrbe i topole.

Potencijalna šumska vegetacija: Iz navedenih razloga i potencijalna šumska vegetacija je veoma mozaička. Ravničarski predjeli predstavljaju staništa šuma lužnjaka i običnog graba, a recentni fluvisoli su staništa vrba i topola (*Salicetum* et *Populetum*).

Mediterransko-dinarska oblast (4.)

Položaj: Zauzima dijelove Dinarida koji su pod utjecajem mediteranske klime, obuhvaćajući Hercegovinu i dijelove Bosne. Prema sjeverozapadu proteže se do podnožja Plješevice, odnosno Grmeča, gdje se još osjećaju prodori mediteranske klime dolinom rijeka Krke, Zrmanje, Unca i Une, kao i u planinskim prevojima. Na sjeveroistoku graniči s planinskim grebenima i prevojima (uglavnom vododijelnicama Jadranskog i Crnomorskog sliva).

U visinskom intervalu proteže se od razine mora pa do brojnih masiva čija visina prelazi preko 2000 m nadmorske visine.

Klima: Čitava ova oblast je pod utjecajem mediteranske klime. Utjecaj toplotnog režima naglo slabi s porastom nadmorske visine

planinskih masiva, ali se utjecaj padalinskog režima maritimnog karaktera jako osjeća i na sjevernoj, planinskoj granici oblasti prema unutrašnjim Dinaridima.

Zavisno od udaljenosti od mora, nadmorske visine te naročito od položaja pojedinih predjela (otvorenost prema moru), temperatura jako varira pa je prema tome i opći karakter klime dosta različit. Tako su, na primjer, u kraškim poljima tijekom zimskog perioda izražene inverzije temperatura. Za razliku od klime ostalih oblasti, ovdje klimu karakterizira česta pojava jakih i slapovitih vjetrova (bure).

Geomorfologija i geološka građa: Ova oblast zauzima gotovo cijele vanjske Dinaride, tj. goli krš pa se od morske razine vrlo strmo izdiže do visokih planinskih masiva. Cijela površina je jako karstificirana i zastupljeni su svi, veoma brojni fenomeni karstne erozije. Dominiraju kredni i jurski vapnenci i dolomiti, a manje su zastupljeni flišoliki i drugi sedimenti. U višim planinskim predjelima prisutni su oblici glacijalne erozije.

Zemljišta: Karakteristika zemljišnoga pokrivača, posebno za šumske površine, vrlo je visok stupanj površinske stjenovitosti. Zemljišne kombinacije, koje zauzimaju mjestimično samo do 10% površine, najčešće obuhvaćaju samo prva dva člana serije zemljišta na vapnencu (kalkomelanosol i kalkokambisol). U toplijem, nižem dijelu područja u klasi A-(B)-R zemljišta, umjesto kalkokambisola, češće se sreće terra rossa. Mozaičnost, kontrast i svojstva članova zemljišnih kombinacija mnogo zavise od načina slojevanja vapnenaca prema padini.

Fitogeografska pripadnost: Pečat vegetaciji ove oblasti daju više ili manje izraženi utjecaji mediteranske klime. Fragmentarno su zastupljene higrofilne fitocenoze u dolinama nekih rijeka i nekih kraških polja (*Periploco gracae - Quercetum roboris*, *Leucoi - Fraxinetum angustifoliae*, *Populetum albae*), i druge.

Submediteransko područje (4.3.)

Položaj: Najvećim dijelom zahvaća niže predjele donje Hercegovine i jugozapadne Bosne protežući se uz Livanjsko polje.

Visinski pripada dolinsko-brdskom pojasu, uglavnom do 750 m nadmorske visine.

Klima: Ovdje je karakter submediteranske klime izrazit što se posebno očituje uz tokove Neretve, Trebišnjice, Bregave i Trebižata. U višim

predjelima (iznad 300 m) nešto je hladnije, a vegetacijski period traje od 200 do 230 dana (Berkovići, Bileća, Ljubinje, Široki Brijeg i Konjic).

Niži dio područja (rajon sa zimzelenim elementima) znatno je topliji pa je i vegetacijski period duži, od 240 do 260 dana, a što se odražava i u trajanju bezmraznog perioda.

U vegetacijskom periodu u prosjeku za cijelo područje padne oko 33% godišnjih padalina. Odnos padalina i evapotranspiracije u vegetacijskom periodu je vrlo nepovoljan (oko 0,66), a s obzirom na pljuskoviti karakter padalina i površinska i vertikalna otjecanja, on je još nepovoljniji.

Geomorfologija i geološka građa: Planinski masivi međusobno su razdvojeni visoravnima, zaravnima i kraškim poljima, a dobrim dijelom i aluvijalnim ravninama i terasama.

Najvažnije stijene su vapnenci i dolomiti kredne i jurske starosti, a u poljima i aluvijalnim ravninama zastupljeni su tercijarni sedimenti i recentni aluviji. Lokalno ima i lesolikog materijala.

Zemljišta: Za razliku od drugih područja ove oblasti, ovdje su karakteristične crvenice (terra rossa), ili u zemljišnim kombinacijama ili samostalnim zemljišnim arealima.



Slika 15. Neretvanska šljunčara i ostaci crnih topola kod Počitelja

Realna šumska vegetacija: Na recentnim fluvisolima, oko Neretve, Trebižata i Bregave, susreću se šume vrba i topola.

Potencijalna šumska vegetacija: Podudara se u najvećoj mjeri s realnom vegetacijom uz različite odnose u pogledu učesća pojedinih jedinica.

Najmočvarniji dijelovi predstavljaju stanište crne johe (*Alnetum glutinosae*) ili pripadaju različitim močvarnim fitocenzozama iz reda *Phragmitetalia*.

Klimatski i vegetacijski se područje diferencira na dva rajona: bez zimzelenih i sa zimzelenim elementima.

Rajon bez zimzelenih elemenata (4.3.1.)

Položaj: Zauzima relativno više obodne predjele donje Hercegovine, uvlačeći se dublje dolinom Neretve do iznad Konjica, kao i najtoplije predjele jugozapadne Bosne.

Geomorfologija i geološka građa: Budući da je ovo područje razdvojeno na rajone prema vegetaciji i klimatskim karakteristikama, za ovaj rajon važe sve odlike date za područje.

Zemljišta: U ovom rajonu najzastupljeniji je mozaik kalkomelanosola–kalkokambisola–luvisola na vapnencu, a manji značaj imaju fluvisoli, semiglej, euglej, rendzina na dolomitu i kompleks kalkomelanosola–eutričnog kambisola na seriji vapnenaca i laporaca i subakvalna zemljišta.

Svojstva zavise od toga je li zemljište razvijeno na vapnencu i dolomitu (kamenita, plitka, skeletna, suha) ili na drugim vrstama sedimentata (kada su dublja, jako antropogenizirana, pod velikim utjecajem suvišnog vlaženja i najčešće su pod poljoprivrednom proizvodnjom).

Realna šumska vegetacija: Šume vrba i topola oko rijeke Trešanice kod Konjica.

Potencijalna šumska vegetacija: Analogna je realnoj vegetaciji uz različite odnose vegetacijskih jedinica. Manje površine kraških polja pripadaju šumi lužnjaka (*Carpino betuli*–*Quercetum roboris*), crne johe (*Alnetum glutinosae*), odnosno vrba i topola (*Salicetum* i *Populetum albae*) te močvarnoj zajednici iz reda *Phragmitetalia*.

Rajon sa zimzelenim elementima (4.3.2.)

Položaj: Proteže se nižim dijelovima donje Hercegovine, s obje strane Neretve, dopirući uz Neretvu do njenoga kanjona u Salakovcu.

Visinski se nalazi najvećim dijelom između 50 (100) i 400 (500) m nadmorske visine, a na najnižim dijelovima doline Neretve ispod 10 m nadmorske visine.

Geomorfologija i geološka građa: Ovaj rajon karakteriziraju niži planinski masivi izgrađeni od vapnenaca te kraška polja i aluvijalne ravni.

Zemljište: Prevladavaju, uglavnom, mozaik kalkomelanosola–kalkokambisola na vapnencu, a manje su zastupljeni mozaik kalkomelanosol i terra rossa na vapnencu, kalkokambisol i terra rossa kao samostalni zemljišni areali te rendzine na karbonatnom materijalu.

Ovo su također plitka, stjenovita, skeletna te suha zemljišta. Površinsku stjenovitost povećava linija površinskog kamenja zbog jake eolske erozije.

Realna šumska vegetacija: Fragmentarno su zastupljene manje enklave vrba i topola, poljskog jasena i lužnjaka na recentnim aluvijima.

Potencijalna šumska vegetacija: Podudara se s realnom uz različite odnose zastupljenosti vegetacijskih jedinica.



Slika 16. Crne i bijele topole u Ševaš polju pored Neretve

9. PREGLED FITOCENOZA U KOJIM SE JAVLJAJU CRNE TOPOLE U BOSNI I HERCEGOVINI (prema Stefanoviću 1977; Beusu 1997)

ŠUME VRBA I TOPOLA (Sveza *Salicion albae*, Soó)

Ovoj svezi pripadaju priobalne fitocenoze mekih listača. Njihovo rasprostiranje je uvjetovano stalnim vlaženjem aluvijalnih zemljišta poplavnim ili podzemnim vodama. S obzirom na način njihovog formiranja, zemljišta su različitih fizičkih osobina i mogućnosti za razvoj ovih šuma. U gornjim i srednjim tokovima to su najčešće aluvijumi izgrađeni od šljunkovitog materijala, dok su u donjim tokovima zemljišta visoke plodnosti u riječnim poljima ili ritovima gdje sastojine vrba i topola postižu visok uzrast uz veliku drvenu masu po jedinici površine.

Međutim, i u poljima ravničarskih rijeka Save, Drave, Dunava, Tise i drugih rijeka, osobine zemljišta jako variraju u pogledu mehaničkoga sastava, vlažnosti i plodnosti, što se odražava u različitom sastavu i građi ovih priobalnih šuma te zastupljenosti, pored tipskih populacija, mnogo njihovih prijelaza i mješavina. U njima je vidljiva stalna dinamika kojoj doprinosi voda kao čimbenik, bilo nanošenjem novih slojeva prilikom poplava, bilo raznošenjem sjemena na širem prostranstvu, što omogućava pojavu različitih populacija i njihovih prijelaza. Za pojavu i rasprostiranje ove ili one fitocenoze presudan je čimbenik režim vlaženja, tj. vrijeme plavljenja i prosušivanja zemljišta, odnosno oscilacija podzemne vode u najsušnijem ljetnom periodu. „Ove promjene prate i same vrste drveća i grmlja koje su se adaptirale do te mjere da se u određenim uvjetima povlače, da bi u novoizmijenjenim uvjetima ponovo naseljavale najprikladnija staništa u odnosu na svoje bioekološke zahtjeve“ (Jovanović i Tucović, 1965).

Iako su zajednice vrba i topola u ravničarskim krajevima često sindinamski povezane, ipak one predstavljaju odvojene cjeline te ću prikazati prvo zajednice vrba, a zatim zajednice topola.

ŠUME VRBA

ZAJEDNICA BADEMASTE VRBE (*Salicetum triandrae*, Malc., 1929)

Među fitocenozama grmolikih vrba koje se susreću u priobalnom pojasu ravničarskih rijeka Zapadne i Velike Morave, Save, Tise, Dunava, a sigurno i drugih rijeka, česta je ova pionirska zajednica. Raširena je u čistim i mješovitim populacijama, na najnižim dijelovima sprudova ili depresija s kojih se voda povlači tek u srpnju ili kolovozu kada ova vrsta cvjeta, tako da se njena staništa nalaze najduže pod vodom. Usljed dužeg zadržavanja vode zapažaju se tragovi zabarivanja na

dubini od 30 do 70 cm, iako su zemljišta lakšeg mehaničkog sastava (ilovasto-pjeskovita ili pjeskovito-glinovita ilovača).

U prvom sloju, čija visina dostiže 5 m, dominira *Salix triandra*, a primiješani su rjeđe: *Salix alba*, *S. fragilis* i *Populus nigra*. S obzirom na ekstremnost staništa, sloj prizemne flore je jako siromašan vrstama, a pokrovnost im je neznatna, od 2 do 5 %. Zastupljene su: *Salix triandra*, *Lysimachia nummularia*, *Myosotis palustris*, *Polygonum lapatifolium*, *Solanum dulcamara*, *Bidens tripartitus*, *Calystegia sepium* i dr.

Ova fitocenoza predstavlja grmoliku ivičnu fitocenozu asocijacije bijele vrbe (*Salicetum albae*). Kada se u njenim sastojinama natalože novi slojevi pijeska i njen nivo postane viši, nju potiskuje bijela vrba.



Slika 17. Crne topole uz rijeku Bosnu kod Nemile

ŠUMA BIJELE VRBE (*Salicetum albae*, Iss., 1926)

Rasprostranjena je u priobalnom pojasu ravničarskih rijeka na većim površinama sa sastojinama visokog uzrasta. Ona je dosad bila predmet istraživanja brojnih autora (Španović 1931, Rajevski 1950, Slavnić 1952, Jovanović 1953, Gajić 1954, Vukičević 1956) gdje je tretirana kao zajednica s po dva edifikatora (*Salicetum alba-amygdalinae*, *Populo-Salicetum*). Kasnije su je Jovanović i Tucović (1956) okarakterizirali kao zasebnu fitocenozu, a ukoliko se sreću i mješovite sastojine s bademastom vrbom ili crnom topolom, radi se o sindinamskim fazama ovih fitocenoza, rjeđe i o mješavinama. Drugim riječima, fitocenoza bademaste vrbe na mnogo mjesta je u toku kretanja, promjena k zajednici bijele vrbe, a teže je naći stanište (prelaznog karaktera) koje trajno odgovara jednoj i drugoj vrsti. Sličan slučaj je i s crnom topolom koja se bioekološki osjetno razlikuje od bijele vrbe jer ne podnosi duže periode plavljenja i osjetljivija je prema vodi nego vrba (prema Karpatiju, cit. po Jovanoviću 1965. - bijela vrba podnosi u Mađarskoj plavljenje zemljišta godišnje od 4 do 5 mjeseci, a gdje se javlja crna topola plavljenje traje od 1 do 3 mjeseca).

Bijela vrba na svojim tipičnim staništima postiže visinu i preko 25 m, a promjer do 80 cm. U 40. godini u sastojinama ima od 300 do 400 stabala s drvnom masom preko 500 m³/ha. Pored bijele vrbe koja dominira, sa znatno manjom brojnošću i pokrovnošću u sloju drveća sreću se: *Populus nigra*, *Salix fragilis*, *Populus alba*, *Ulmus effusa*, *Alnus glutinosa*; u sloju grmlja: *Salix triandra*, *S. purpurea*, *Frangula alnus*, *Cornus sanguinea*, *Crataegus nigra*, *Amorpha fruticosa*; u sloju prizemne flore: *Alisma plantago*, *Galium palustre*, *Equisetum palustre*, *Veronica anagalis*, *Scirpus lacustris*, *Phragmites communis*, *Agrostis alba*, *Gnaphalium uliginosum*, *Solanum dulcamara*, *Myosotis palustris*, *Mentha aquatica*, *Juncus* sp. div. i druge higrofilne vrste.

Kao važnije varijante šume bijele vrbe, od najvlažnijih do relativno suhljih, ističu se sljedeće:

- Subasocijacija *myosotietosum*, Karp., na vlažnim, muljevitim i dosta glinovitim vezanim zemljištima, a prostorno graniči sa zajednicom *Salicetum triandrae*;

- Subasocijacija *phragmito-caricetosum*, Jur. Odlikuje se vrlo velikom pokrovnošću prizemne flore gdje prevladavaju visoki šaševi (*Carex riparia*, *C. acutiformis* i dr.);
- Subasocijacija *agrostitosum albae*, Karp., koja se javlja pod stanišnim uvjetima sličnim vlažnim dolinskim livadama na težem i vlažnom zemljištu;
- Subasocijacija *rubetosum*, Soó, s *Rubus caesius*, koja dolazi u šire rasprostranjene tipove. Tu je najkraće vrijeme plavljenja te se počinje javljati sloj grmlja, dok u prve tri varijante uopće nije razvijen. Predstavlja najsuhlji tip zajednice bijele vrbe sa znatnijom primjesom bijele i crne topole i čini sukcesiju tipovima ovih šuma;
- Subasocijacija *cornetosum*, Wend.- Zel., najviša stepenica ove šume koja je plavljena kratkotrajno samo pri najvišim vodama. U sastavu ima i brojne elemente iz poplavnih šuma lužnjaka.

ZAJEDNICA RAKITE

(*Salicetum purpureae*, Wendbg., 1952)

Za razliku od zajednice *Salicetum triandrae*, naseljava redovno slabo razvijena, plitka i fiziološki plitka zemljišta heterogenog mehaničkog sastava od pijeska i šljunka. Ona je češća kraj naših manjih rijeka kao fitocenoza prelaznog karaktera.

U prvom sloju dominira rakita, s uvijek prisutnom crnom topolom, a s rjeđe primiješanim vrstama: *Salix incana*, *Alnus glutinosa*, *Myricaria germanica*. U sloju prizemne flore se nalaze: *Saponaria officinalis*, *Polygonum lapatifolium*, *Solanum dulcamara*, *Bidens tripartitus*, *Ranunculus repens*, *Mentha aquatica*, i dr.

Ova fitocenoza ima širu ekološku amplitudu i javlja se s više asocijacija i subasocijacija koje odgovaraju sindinamskim stadijima u obrašćivanju staništa uz riječna korita. U submediteranskom dijelu Makedonije poznate su zajednice *Tamarici-Salicetum amplexicaulis*, Karp., 1962.

ZAJEDNICA SIVE VRBE

(*Salicetum incanae*, Jov., 1965)

Ima također karakter pionirske zajednice. Rasprostranjena je pod nepovoljnim, dosta ekstremnim ekološkim uvjetima u riječnim slivovima brdsko-planinskih područja. To su šljunkovito-pjeskoviti riječni

prudovi, slična staništa kao kod zajednice rakite, ali koja se još više isušuju zbog oscilacije vode u koritima ovih rijeka. Ona dobro veže slojeve obale i nanijeti grubi materijal s razgranatim sistemom korijenja koji joj omogućavaju, zajedno sa kseromorfnom građom listova, da opstane na ovakvim staništima kada opadne voda tijekom ljeta.

Pored sive vrbe zastupljene su rjeđe *Populus nigra* ssp. *pubescens*, Parl. i *Salix purpurea*. U sloju prizemne flore postoji niz vrsta među kojima se ističu: *Mentha aquatica*, *Polygonum lapatifolium*, *Solanum dulcamara*, *Tussilago farfara*, *Agrostis stolonifera*, *Lythrum salicaria*, *Parietaria officinalis*, *Ranunculus repens* i dr.

Fitocenoza sive vrbe je sindinamski povezana sa zajednicom sive johe te poboljšanjem uvjeta staništa, naročito edafskih, ona može preći u *Alnetum incanae*, a preko razvojne faze *Alnetum incanae alnetosum*.

ŠUME TOPOLA

Ove šume se nalaze dodirno ili se vežu na zonu šuma vrba u nizin-skim ravničarskim krajevima. Njihovo rasprostiranje je uvjetovano poplavnim i podzemnim vodama u Podunavlju, Potisju, Posavini i Podravini. Međutim, one dolaze kratkotrajnije pod vodu zbog uzdignutih terena te su, u odnosu na šume vrba, kraće plavljene za oko tri nedjelje, a i visina vodostaja je nešto niža i iznosi oko 3,5 m. Ove razlike uvjetuju da se i zemljište pod šumama topola odlikuje većom stabilnošću jer procesi nanošenja i odnošenja riječnoga pijeska ne dolaze toliko do izražaja. Ovi recentni aluvijumi odlikuju se već pedogenetskim procesima koji se ne mogu uočiti kod zemljišta vrbinih šuma. Zemljište pripada ilovastim pjeskuljama s primjetnom količinom humusa u gornjem sloju horizonta. Sve to ima za posljedicu naseljavanje nekih vrsta „tvrdih listača“ kojih nema u šumi vrba. Međutim, s obzirom na veoma izraženu sindinamiku vegetacije uopće na recentnim aluvijalnim zemljištima, sastav sastojine se mijenja od slučaja do slučaja. U prosjeku, od pojedinih vrsta drveća topole su zastupljene od 50 do 60%, vrbe od 30 do 40% i ostale vrste drveća (*Ulmus effusa*, *Fraxinus angustifolia*, *Quercus robur*, itd.) od 0 do 20% (Španović).

Iako su šume topola bile predmet istraživanja, mnoga pitanja u pogledu njihovih samostalnih asocijacija i uopće odnosa, s jedne strane prema šumama vrba, a isto tako i prema susjednim šumama hrasta lužnjaka, nisu dovoljno razjašnjena.



Slika 18. Stara crna topola u Krupi na Vrbasu

ŠUMA CRNE I BIJELE TOPOLE (*Populetum nigro-albae*, Slavn., 1952)

U području hidrofилnih šuma ova zajednica zauzima mjestimično i veće površine u Posavini između Šamca i Rače, često mijenjajući sastav u odnosu na veći ili manji udio jednog ili drugog edifikatora, što je uvjetovano i edafskim prilikama. Naime, zapaženo je da se u pogledu fizičkih osobina zemljišta ove dvije vrste naših autohtonih

topola različito ponašaju. Crna topola (*Populus nigra*) naseljava zemljišta s grubljim frakcijama pijeska u odnosu na bijelu topolu (*Populus alba*), mada često grade mješovite sastojine. To je dalo povoda nekim autorima (Jovanović, 1965) da nagovijeste potrebu izdvajanja i u nas dviju zasebnih fitocenoza (*Populetum albae*, Knapp. i *Populetum nigrae*, Knapp.).

Zajednica crne i bijele topole najbolje uspijeva na recentnim aluvijalnim zemljištima ilovasto-pjeskovitog sastava gdje su već otpočeli procesi stvaranja humusa. Ova zemljišta su mineralno bogata, povoljnih su fizičko-kemijskih osobina te predstavljaju mlada neiscrpna zemljišta s vrlo velikom plodnošću. Ona su u većem dijelu godine svježija s obzirom da su uvijek pod utjecajem podzemnih voda, što omogućava bujan rast topolinskih stabala. Jovanović (1965) navodi da bijela topola, koja zauzima i najveće površine, pokazuje i neobično lijepu visinu i do 40m.

U sloju drveća, pored topola koje grade potpun sklop, ima i ovih vrsta: *Fraxinus angustifolia*, *Ulmus effusa*, *Quercus robur*, *Alnus glutinosa*, *Prunus padus*; u sloju grmlja: *Frangula alnus*, *Cornus sanguinea*, *Crataegus monogyna*, *C. nigra*, *Viburnum opulus*, *Rubus caesius*, *Genista tinctoria*; u sloju prizemne flore su zastupljene higrofitne iz šume bijele vrbe, ali i druge vrste relativno svježijih zemljišta: *Galeopsis speciosa*, *Aegopodium podagraria*, *Carex divulsa*, *Lapsana communis*, *Circaea lutetiana*, *Parietaria officinalis* i dr.

Šume nizinskih područja topole predstavljaju privredno vrijedne šume, s obzirom na suvremene mogućnosti njihovog svestranog iskorištavanja. U njima se intenzivno vrši gospodarenje u kraćim ophodnjama. Vrlo često, na njihovim staništima vrši se intenzivno unošenje brzorastućih euro-američkih vrsta topola koje pokazuju daleko brži rast i postižu veće zalihe drvene mase po hektaru.

Topole čine i mješovite sastojine s drugim vrstama drveća pa su opisane i posebne zajednice: šuma crne topole i poljskog jasena (*Populo nigrae-Fraxinetum angustifoliae*), šume crne topole i crne johe (*Populo nigrae-Alnetum glutinosae*), šume topole i sive johe u gornjoj Posavini i Podravini (*Populo-Alnetum incanae*), šume topole i bijele vrbe (*Populo-Salicetum*, Raj., 1950), šume crnog gloga i bijele topole (*Crataego-Populetum*, Parab., 1965), zajednice sive topole (*Populetum canescentis*, Gliš., 1964) itd. One su, međutim, više lokalnog značaja.

10. MORFOLOŠKA VARIJABILNOST CRNIH TOPOLA

10.1. Morfološka varijabilnost crnih topola u Bosni i Hercegovini i Hrvatskoj

Morfološke analize na identifikaciji crnih topola su ustaljena procedura u provjeri njihove varijabilnosti te su tako Kajba i sur. (2004, 2015) i Ballian i sur. (2009) proveli analizu crnih topola iz Bosne i Hercegovine i Hrvatske.

Europska crna topola je vrsta koja raste na aluvijalnim tlima duž velikih rijeka u umjerenim zonama Europe, Azije i sjeverne Afrike (Vanden Broeck 2003). Na području Republike Hrvatske europska crna topola raste u poplavnim šumama uz rijeke Muru, Savu, Dravu i Dunav. Njihova prisutnost u ukupnoj površini šuma Hrvatske je mala, ali je njihova univerzalna uloga u očuvanju riječnih obala i biocenoza veoma značajna i nezamjenjiva. Zbog kontinuiranih ljudskih aktivnosti u prirodnim staništima europske crne topole njeno raširenje je svedeno na pojedinačna, djelomično samo mala područja, iako su za europske uvjete staništa vrlo dobro očuvana u poplavnim šumama (Kajba i Vratarić 2000). Ukupna duljina rijeka i potoka u Bosni i Hercegovini iznosi oko 11000 km (Alikalfić 1998), ali staništa europske crne topole su ograničena samo na tople doline većih rijeka s riječnim polojima, kao što su Drina, Bosna, Una, Sana, Ukrina, Usora i Neretva, s ukupnom duljinom od 1200 km (Ballian 2004). U Hercegovini, uz rijeku Neretvu, raste posebna podvrsta crne topole koja se drugdje ne može pronaći, a poznata je kao dlakava topola (*P. nigra* ssp. *caudina*) koju karakterizira izrazito dlakavi izbojak i listovi (Janjić 1984). Dlakavost zadržava na jednogodišnjim i dvije godine starim izbojcima te djelomično na starijim izbojcima. Osim listova i mladica, peteljke cvati i plod su također trajno dlakavi. Do sada, ove topole su zabilježene na dva lokaliteta u južnim balkanskim prostorima, u južnoj Makedoniji i Tesaliji, u središnjoj Grčkoj, a neke populacije iz Albanije i Turske su također pripisane ovoj svojti (Džekov 1960; Papaioannou 1963; Bugala 1967). Promatrana populacija dlakave vrste crne topole nalazi se u submediteranskom tipu klime. Nju karakteriziraju blage zime i suha ljeta. Vrijednost očuvanja gena u tim populacijama može biti od presudne važnosti za cijelu vrstu s obzirom na trendove klimatskih promjena (Peters 1990; Erwin 1991; Eriksson i sur. 1993; Aitken i sur. 2008). Opstanak europske crne topole, kao autohtone vrste, bio je

ugrožen zbog uzgoja odličnih hibrida euro-američkih topola (*P. × canadensis*) i istočnoameričke crne topole (*P. deltoides*) čije klonove nalazimo unutar područja rasprostiranja autohtonih crnih topola. Neki od tih uvezenih klonova su ženske jedinice i njihova cvatnja je sinkronizirana s europskom crnom topolom. Njihovim unošenjem može između tih raznih vrsta topola doći do spontane hibridizacije te se nameće pitanje hoće li kod europskih crnih topola nova mlada populacija biti introgresirana genima istočnoameričke crne topole ili genima euro-američkih hibrida jer pokazuju veći afinitet ka križanju s autohtonom crnom topolom koja predstavlja majčinsku individuu (Cagelli i Lefèvre 1995; Lefèvre i sur. 2001; Lefèvre i sur. 2001a). Genetskim izvorima europske crne topole prijetnju predstavlja i neplansko korištenje zemljišta uz rijeke, regulacija riječnih tokova, šljunčare, odlagališta, kao i nedostatak zakonske regulative koji bi se bavio ugroženim vrstama. U ovom istraživanju namjera je da se,



Karta 4. Istraživane populacije crnih topola u Bosni i Hercegovini i Hrvatskoj

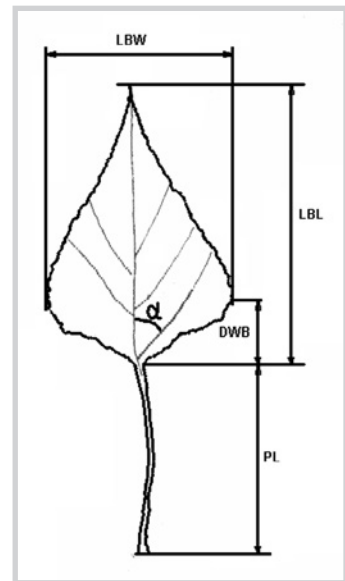
osim dlakavosti, nešto sazna o mogućim razlikama uz pomoć drugih morfoloških svojstava lišća tipične i dlakave crne topole, kao i između populacija i riječnih sustava. Također se razmatra važnost dlakave europske crne topole u vezi očuvanja i uzgoja topola s obzirom na sve veći učinak klimatskih promjena (Kajba i sur. 2004).

Za morfološko istraživanje su prikupljeni uzorci lista iz 17 prirodnih populacija europske crne topole na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine (Karta 4.). U Hrvatskoj su istraživanja provedena među pet populacija duž sliva rijeke Drave (Žirovnjak, Trščana, Bobrovac, Šućurica i Topolje) i tri populacije duž rijeke Save (Jarun, Zaprešić 1, Zaprešić 2) u starosti od 5 do 15 godina. U Bosni i Hercegovini su uzorci prikupljeni u devet prirodnih populacija iz sliva četiriju rijeka: jedna populacija je bila uz rijeku Drinu (Tegare), po dvije populacije su prikupljene duž rijeke Vrbas (Zlavast, Banjaluka,) i rijeke Bosne (Bilješevo, Doboj) i četiri populacije su uzorci duž rijeke Neretve (Ovčari, Počitelj, Čapljina, Metković). Sva stabla su bila u dobi fiziološki zrelih stabala (sva su stabla bila stariji od 30 godina), a da bi se pojednostavila obrada podataka, proučavane populacije podijeljene su u četiri odvojene skupine prema ekozemljopisnim zonama.

Tablica 1. Temeljni podaci o istraženim populacijama							
Skupina	Populacija	Lokalitet	N	n	Zem. širina	Zem. duljina	Nadm. visina
HR-01	Drava 1	Žirovnjak	60	300	46°19' N	16°43' E	139
	Drava 2	Trščana	60	300	46°15' N	16°44' E	149
	Drava 3	Dobrovac	60	300	45°48' N	17°47' E	102
	Drava 4	Šućurica	60	300	45°46' N	18°11' E	88
	Drava 5	Topolje	60	300	45°40' N	18°30' E	99
HR-02	Sava 1	Jarun	52	260	45°46' N	15°55' E	117
	Sava 2	Zaprešić 1	33	165	45°50' N	15°46' E	131
	Sava 3	Zaprešić 2	40	200	45°49' N	15°48' E	125
BiH-01	Bosna 1	Bilježevo	10	500	44°07' N	18°00' E	357
	Bosna 2	Doboj	10	500	44°45' N	18°06' E	141
	Vrbas 1	Zlavast	10	500	44°01' N	17°29' E	580
	Vrbas 2	Banjaluka	10	500	44°46' N	17°13' E	154
	Drina 1	Tegare	11	550	44°08' N	19°26' E	180
	Neretva 1	Ovčari	10	488	43°41' N	17°59' E	330
BiH-02	Neretva 2	Počitelj	7	300	43°08' N	17°43' E	15
	Neretva 3	Čapljina	13	650	43°07' N	17°42' E	10
	Neretva 4	Metković	8	400	43°03' N	17°41' E	3
	N – broj uzorkovanih stabala; n – broj uzorkovanih listova						

Skupine HR-01 i HR-02 pripadaju hrvatskim rijekama (Drava i Sava), skupina BiH-01 je sastavljena od šest populacija unutaršnjeg dijela Bosne i Hercegovine i skupina BiH-02 se sastoji od triju populacija iz donjeg toka rijeke Neretve u submediteranskom području. Uzorci lista su prikupljeni s kratkih plodnih mladica i ukupno je analizirano 514 stabala sa 6513 listova na kojima je izmjereno 32 565 podataka i statistički obrađeno (Tablica 1). Za analizu su uporabljeni potpuno razvijeni i zreli, neoštećeni listovi (Bissoffi i Cagelli 1992). Na istim stablima topola je registriran lisni dimorfizam i sezonska heterofilija (Zsuffa 1974; Eckenwalder 1996). Listovi su uzeti samo s kratkih izbojaka iz središnjeg dijela krošnje, što se pokazalo najviše pouzdano prilikom istraživanja morfoloških svojstava lišća, za razliku od onih koji su podrijetlom s dugih izbojaka (Krstinić i sur. 1997; Kajba i sur. 1999, 2004, 2015; Brus i sur. 2010; Maksimović i Šijačić-Nikolić 2013; Čortan i sur. 2013, 2014, 2015).

Mjereni su sljedeći morfološki parametri: duljina lista, odnosno plojke (LBL), širina plojke (LBW), duljina peteljke (PL), kut između prvog donjeg bočnog nerva i centralnog lisnog nerva (α) i udaljenosti između najšireg dijela lista i baze lista (DBW), kao što je prikazano na Slici 19. Izmjerena morfološka svojstva su sažeto prikazana deskriptivnim statističkim pokazateljima, sa standardnim algoritmima pomoću deskriptivne statističke analize (Sokal i Rohlf 1989). Podaci su prikazani sljedeći univarijantne statističke parametre: aritmetičku sredinu (M), standardnu devijaciju (SD) i koeficijent varijacije (CV). Statistički značajne razlike između ispitivanih predmeta određene su pomoću univarijantnog neparametarskog Kruskal-Wallis testa za analizu varijance (Kruskal-Wallis ANOVA). Analiza je provedena na cijelom uzorku na način da se ispituju razlike između svih populacija, između skupina HR-01, HR-02, BiH-01 i BiH-02, između skupina HR-01 i HR-02, skupina BiH-01 i BiH-02 i između populacija na temelju pripadnosti određenom riječnom sustavu. Prema McGarigal i sur. (2000), korištene su multivarijantne statističke



Slika 19. Mjerena svojstva na listu: duljina lista, odnosno plojke (LBL), širina plojke (LBW), duljina peteljke (PL), kut između prvog donjeg bočnog nerva i centralnog lisnog nerva (α) i udaljenosti između najšireg dijela lista i baze lista (DBW)

metode (osnovne komponente analize i diskriminacijske analize) za prikazivanje sličnosti ili razlika između istraživanih populacija i skupina na temelju izmjerenih morfoloških svojstava lišća. U obje analizirane aritmetičke sredine svake populacije koristi se svaki parametar. Pet glavnih ukupnih komponenata je izvedeno metodom glavne komponente. Prva dva od njih su odabrani prema Kaiserovom kriteriju (svojevrsna vrijednost veća od 1) za daljnju analizu odnosa između populacija (Kaiser 1960). Kada je u pitanju tumačenje rezultata, prve dvije glavne komponente su prikazane u grafikonu i određuju trend odnosa između populacija. Za određivanje značajki koje se najbolje razlikuju za predefimirane skupine, provedena je diskriminacijska analiza, a za statističke testove korišten je statistički program Statistica 8.0 (Statsoft 2001).

Rezultati deskriptivne statističke analize u Tablici 2. prikazani su prema populacijama te su u Tablici 3. navedeni u skladu s ispitivanim skupinama.

Rezultati pokazuju da hrvatske populacije iz skupine HR-01 imaju najveće prosječne vrijednosti za svojstva kao što su duljina lista plojke (LBL), širine plojke (LBW), odstojanja između najšireg dijela plojke i baze lista (DBW) i duljine peteljke (PL). Naprotiv, najviše prosječne vrijednosti za kut insercije između prvog donjeg bočnog nerva i središnjeg nerva (α) su bile karakteristične za populaciju iz skupine HR-1, ali je variranje veće u populaciji HR-2. Dvije skupine istraživanih populacija iz Bosne i Hercegovine imale su duže i šire plojke (LBL, LBW) i duže peteljke (PL) koje karakteriziraju populacije iz unutarnjeg dijela Bosne i Hercegovine (skupina BIH-01). Populacije iz kojih su uzeti uzorci u donjem toku rijeke Neretve (skupina BIH-02), osim što su imale manje listove, također su imale veće vrijednosti za kut između prvog donjeg bočnog nerva i središnjeg nerva (α). Također se može vidjeti da najviši stupanj varijabilnosti pokazuje svojstvo duljine peteljke (PL), kao što je prikazano u Tablicama 2. i 3. Visoka varijabilnost za sva mjerena svojstva u hrvatskim riječnim populacijama je određena za skupinu HR-02 (za rijeku Savu) te u Bosni i Hercegovini za skupinu BIH-02 (donji tok rijeke Neretve), osim za kut insercije između prvog donjeg bočnog nerva i centralnog nerva (α) koji pokazuje nešto veći stupanj varijabilnosti. Razlike između populacija i analiziranih skupina, kao i razlike između populacija koje pripadaju određenom riječnom sustavu, potvrdile su se za sva istraživana svojstva.

Tablica 2. Rezultati deskriptivne statističke obrade na populacijskoj razini

Populacija	LBL (cm)		LBW (cm)		DBW (cm)		PL (cm)		α (°)	
	M \pm SD	CV	M \pm SD	CV	M \pm SD	CV	M \pm SD	CV	M \pm SD	CV
Drava 1	5,5 \pm 1,18	21,5	4,5 \pm 0,97	21,3	2,0 \pm 0,43	21,5	3,2 \pm 0,99	30,9	38,9 \pm 5,56	14,3
Drava 2	5,5 \pm 1,06	19,4	4,2 \pm 0,87	20,8	2,0 \pm 0,43	21,2	3,0 \pm 0,86	29,1	36,9 \pm 5,51	14,1
Drava 3	4,5 \pm 1,14	25,4	3,9 \pm 0,91	23,7	1,7 \pm 0,42	24,9	2,9 \pm 0,94	33,1	39,7 \pm 6,37	16,0
Drava 4	3,1 \pm 1,06	20,6	4,4 \pm 0,95	21,7	1,9 \pm 0,45	23,2	3,0 \pm 0,93	31,2	39,8 \pm 6,56	16,5
Drava 5	4,6 \pm 0,99	21,5	4,0 \pm 0,83	21,0	1,8 \pm 0,39	22,0	2,9 \pm 0,95	32,8	40,0 \pm 6,06	15,1
Sava 1	4,4 \pm 1,09	24,8	3,3 \pm 0,94	28,1	1,7 \pm 0,46	27,2	2,2 \pm 0,81	37,3	34,4 \pm 7,77	22,6
Sava 2	4,9 \pm 1,10	22,2	3,8 \pm 0,95	25,1	1,9 \pm 0,53	27,2	2,4 \pm 0,79	33,0	33,2 \pm 8,25	24,8
Sava 3	4,9 \pm 1,11	22,7	3,6 \pm 0,85	23,3	1,8 \pm 0,52	28,3	2,5 \pm 0,85	33,8	32,8 \pm 8,36	25,5
Bosna 1	6,3 \pm 0,85	13,6	4,8 \pm 0,57	12,0	1,7 \pm 0,28	16,0	3,8 \pm 0,74	19,4	42,7 \pm 7,72	18,1
Bosna 2	6,4 \pm 1,15	17,9	4,9 \pm 0,81	16,3	1,8 \pm 0,39	21,2	3,7 \pm 0,86	22,9	42,3 \pm 6,44	15,2
Vrba 1	6,1 \pm 0,70	11,4	4,8 \pm 0,50	10,4	1,9 \pm 0,30	15,7	3,9 \pm 0,62	16,0	39,7 \pm 5,44	13,7
Vrba 2	6,3 \pm 0,77	12,2	4,7 \pm 0,57	12,1	1,7 \pm 0,27	15,8	3,7 \pm 0,77	20,8	42,0 \pm 8,15	19,4
Drina 1	6,7 \pm 0,92	13,6	4,8 \pm 0,66	13,7	1,9 \pm 0,35	18,8	3,8 \pm 0,88	23,3	41,3 \pm 6,14	14,9
Neretva 1	6,0 \pm 0,72	12,0	4,6 \pm 0,53	11,6	1,7 \pm 0,25	15,1	3,3 \pm 0,65	19,5	41,0 \pm 8,43	20,6
Neretva 2	5,1 \pm 0,71	13,9	3,7 \pm 0,54	14,7	1,7 \pm 0,41	24,3	2,3 \pm 0,69	30,1	45,7 \pm 6,75	14,8
Neretva 3	5,0 \pm 0,67	13,5	3,6 \pm 0,48	13,5	1,6 \pm 0,25	16,1	2,0 \pm 0,46	23,0	43,3 \pm 6,43	14,8
Neretva 4	5,1 \pm 0,94	18,5	3,8 \pm 0,64	16,8	1,7 \pm 0,38	22,4	2,3 \pm 0,54	23,2	45,7 \pm 6,26	13,7

LBL – duljina lisne plojke; LBW – širina lisne plojke; DBW – rastojanje između najšireg dijela lista i baze lista; PL – duljina peteljke; α – ugao između prvog donjeg nerva i glavnog nerva; M – srednja vrijednost; SD – standardna devijacija; CV – koeficijent varijacije (%)

Tablica 3. Rezultati deskriptivne statističke obrade na razini skupina

Skupina	LBL (cm)		LBW (cm)		DBW (cm)		PL (cm)		α (°)	
	M \pm SD	CV	M \pm SD	CV	M \pm SD	CV	M \pm SD	CV	M \pm SD	CV
HR-01	5,0 \pm 1,16	23,1	4,2 \pm 0,94	22,5	1,9 \pm 0,44	23,4	3,0 \pm 0,94	31,6	39,1 \pm 6,07	15,6
HR-02	4,7 \pm 1,13	24,1	3,5 \pm 0,93	26,2	1,8 \pm 0,51	28,1	2,3 \pm 0,83	35,5	33,6 \pm 8,11	24,4
BIH-01	6,3 \pm 0,90	14,2	4,8 \pm 0,62	13,1	1,8 \pm 0,32	18,0	3,7 \pm 0,78	21,0	41,5 \pm 7,19	17,3
BIH-02	5,0 \pm 0,77	15,3	3,7 \pm 0,55	15,1	1,6 \pm 0,34	20,8	2,2 \pm 0,57	26,4	44,6 \pm 6,56	14,7

LBL – duljina lisne plojke; LBW – širina lisne plojke; DBW – rastojanje između najšireg dijela lista i baze lista; PL – duljina peteljke; α – ugao između prvog donjeg nerva i glavnog nerva; M – srednja vrijednost; SD – standardna devijacija; CV – koeficijent varijacije (%)

Tablica 4. Kruskal-Wallis ANOVA za mjerena svojstva
 Analiza 1 – populacija: H (16, N = 6513); $p = 0,00001$; $\chi^2 =$ Chi-Kvadrat test (df = 16),
 Analiza 2 – rijeka: H (5, N = 6513); $p = 0,00001$; $\chi^2 =$ Chi-Kvadrat test (df = 3),
 Analiza 3 – grupa: N = 6513); $p = 0,0001$; $\chi^2 =$ Chi-Square test (df=3)
 Analiza 4 – HR-01/HR-02: H (1, N = 2125); $p = 0,00001$; $\chi^2 =$ Chi-Kvadrat test (df = 1),
 Analiza 5 – BIH-01/ BIH-02: H (1, N = 4388); $p = 0,00001$; $\chi^2 =$ Chi-Kvadrat test (df = 1)

Analiza	Kruskal-Wallis test	Morfološko svojstvo				
		LBL	LBW	DBW	PL	α (°)
Populacija	H	2592,36	2433,03	691,07	2992,43	1114,49
	χ^2	2027,61	2131,20	504,51	2451,45	713,73
Rijeka	H	2052,17	1815,07	384,41	2346,392	392,15
	χ^2	1555,63	1549,97	284,91	1910,51	373,99
Skupina	H	2304,53	2263,87	328,65	2835,83	977,52
	χ^2	1871,01	2044,90	233,19	2323,13	584,83
HR-01/	H	41,68	197,18	17,73	204,18	293,32
HR-02	χ^2	36,62	133,44	6,97	149,31	297,09
BIH-01/	H	1518,47	1899,93	223,40	2275,50	148,79
BIH-02	χ^2	1044,38	1418,36	158,40	1589,24	88,97

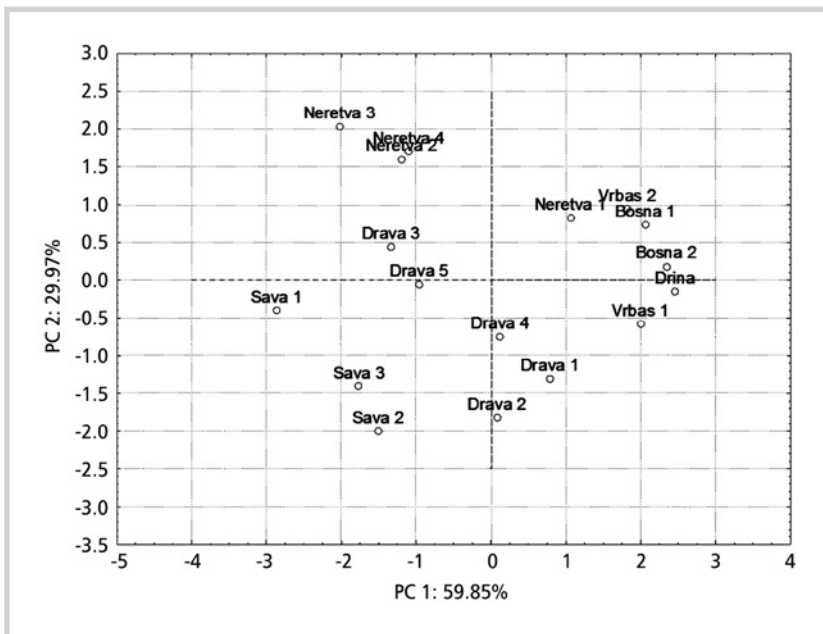
LBL – duljina lisne plojke; LBW – širina lisne plojke; DBW – rastojanje između najšireg dijela lista i baze lista; PL – duljina peteljke; α – ugao između prvog donjeg nerva i glavnog nerva

Tablica 5. Glavne komponente varijabilnosti

Glavne komponente	Svojstvena vrijednost	% Ukupna varijanca	Cjelokupna svojstvena vrijednost	Cjelokupno %
1	2,992682	59,85364	2,992682	59,8536
2	1,498491	29,96981	4,491173	89,8235
3	0,352645	7,05290	4,843818	96,8764
4	0,136580	2,73159	4,980397	99,6079
5	0,019603	0,39205	5,000000	100,0000

Tablica 4. prikazuje rezultate neparametrijske jednosmjerne analize varijance (Kruskal-Wallis ANOVA). Promatrane populacije i skupine, kao i populacije koje pripadaju određenom riječnom sustavu, statistički se značajno međusobno razlikuju na razini od 0,0001 za sva izmjerena svojstva lišća. Rezultati analize glavnih komponenata pokazuju da je ukupna varijabilnost svojstvena u prve dvije PC-osi s oko 90%, a najveći dio prve PC-osi daje otprilike 60% varijabilnosti (Tablica 5). Preostale tri osi, čija je svojstvena vrijednost manja od 1 u ukupnoj varijabilnosti, pridonose samo oko 10% što se može i zanemariti. Doprinos svakog od mjerenih morfoloških svojstava za svaku od izračunatih PC-osi prikazan je u Tablici 6. Slika 20. prikazuje odnos između istraživanih populacija na temelju prve i druge osnovne

komponente. Iz Tablice 6. možemo pretpostaviti da su sve izvorne varijable u pozitivnoj korelaciji s prvim glavnim komponentama, s obzirom da je s desne strane dijagrama populacija s većim listovima u skupini, a na lijevoj strani populacija s manjim listovima. Raspodjela istraživanih populacija duž druge PC-osi uvelike doprinosi na pozitivnu korelaciju kut insercije između prvog donjeg bočnog nerva i središnjeg nerva (α), kao i negativnu korelaciju za udaljenosti između lista na najširem dijelu i baze lista (DBW). Diskriminantna analiza korištena je za određivanje kojim se morfološka svojstva lista mogu najbolje odvojiti od ispitivane skupine. Rezultati diskriminantne analize ukazuju da je varijabilnost između eksperimentalnih skupina značajna (Wilk je $\lambda = 0,00032$, $F(15,25) = 29,336$; $p < 0,00001$).

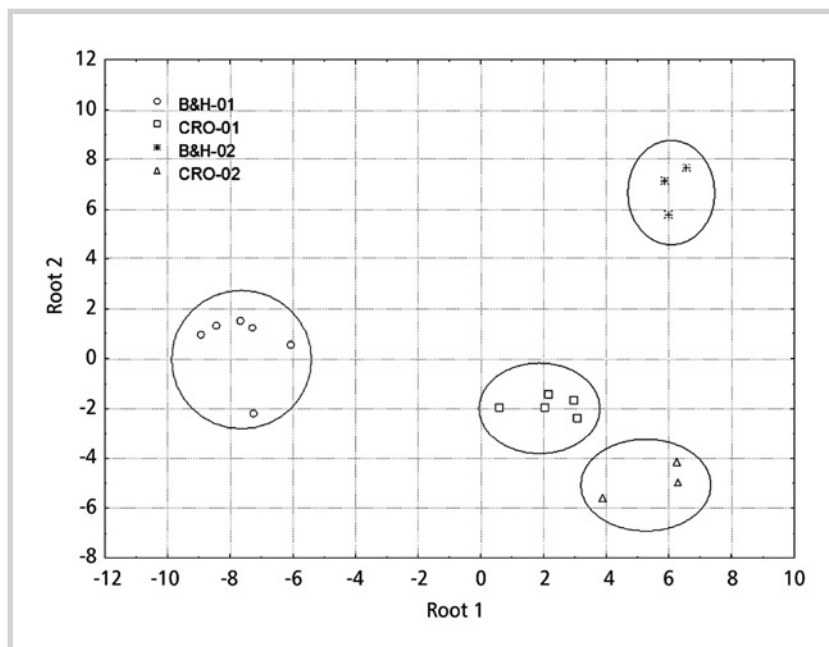


Slika 20. Prikaz rasporeda istraživanih populacija na PC dijagramu

Varijabla	Čimbenik 1	Čimbenik 2	Čimbenik 3	Čimbenik 4	Čimbenik 5
LBL	0,546315	0,000723	-0,151127	0,004953	0,155579
LBW	0,571610	-0,040110	-0,016151	-0,235424	-0,704012
DBW	0,554369	-0,074417	-0,276459	-0,531439	0,572949
PL	0,165978	-0,711838	0,660192	0,060142	0,125061
α (°)	0,199124	0,692529	0,673739	-0,102072	0,126262

LBL – duljina lisne plojke; LBW – širina lisne plojke; DBW – rastojanje između najšireg dijela lista i baze lista; PL – duljina peteljke; α – ugao između prvog donjeg nerva i glavnog nerva

Za pet varijabli i četiri skupine kanonskom analizom dobivene su tri diskriminantne funkcije. Od dobivenih vrijednosti iz kanonskih varijabli vidljivo je da diskriminacijska funkcija 1 u najvećoj mjeri posebno izdvaja skupinu BiH-01 iz druge ispitivane skupine (Slika 21., Tablica 7.). U Tablici 8. vidljivo je da su ovoj diferencijaciji u velikoj mjeri doprinijela svojstva kao što su udaljenost između najšireg dijela lista i baze lista (DBW) i duljine peteljke (PL). Budući da ova tablica sadrži specifične vrijednosti i kumulativnu proporciju, može se objasniti varijabilnost



Slika 21. Kanonički prikaz populacijskih skupina

za svaku diskriminacijsku funkciju te utvrditi da diskriminacijska funkcija 1 sadrži 68,2% od dobivene varijabilnosti. Diskriminacijska funkcija 2, koja zajedno s diskriminacijskom funkcijom 1 objašnjava 95,9% varijabilnosti, jasno će razlikovati skupinu BiH-02 od ostalih triju istraživanih populacija koje su uzorkovane na Savi, a koje dolaze u skupinu HR-02 (Slika 21., Tablica 7.). Varijable α (kut između prvog donjeg bočnog nerva i središnjeg lisnog nerva) i LBL (duljine lisne plojke) u velikoj mjeri su doprinijeli razlici između ovih dviju skupina, kao što je prikazano u Tablici 8. Treća diskriminacijska funkcija objašnjava samo 4,1% od ukupne varijabilnosti i može najbolje razlikovati dvije skupine hrvatske populacije koja pripada slivu rijeka Drave i Save (Tablica 7.).

Tablica 7. Glavne kanoničke varijable

Grupa	Korijen 1	Korijen 2	Korijen 3
BiH-01	-7,60668	0,57274	-0,43766
HR-01	2,15751	-1,86648	2,01742
BiH-02	6,14944	6,86594	-0,45985
HR-02	5,46808	-4,90061	-2,02719

Tablica 8. Standardizirani koeficijenti za kanoničke varijable

Grupa	Korijen 1	Korijen 2	Korijen 3
LBL	0,67926	1,00128	-1,42333
LBW	4,55689	-0,59936	0,81317
DBW	-1,05147	-0,43264	0,13713
PL	1,82785	0,19787	0,82135
α (°)	036774	1,13227	0,40122
Svojstvena vrijednost	44,12233	17,91218	2,65094
Cjelokupna proporcija objašnjene varijacije	0,68211	0,95902	1,00000

LBL – duljina lisne plojke; LBW – širina lisne plojke; DBW – rastojanje između najšireg dijela lista i baze lista; PL – duljina peteljke; α – ugao između prvog donjeg nerva i glavnog nerva

Međupopulacijska varijabilnost za varijabilnost između riječnih sustava bila je statistički značajna za sva istraživana morfološka svojstva koja odgovaraju prethodnim istraživanjima na mladim populacijama europske crne topole uz rijeke Dravu i Savu (Krstinić i sur. 1997; Kajba i sur. 1999, 2015; Kajba i Romanić 2002). Neki od morfoloških parametara, kao što su duljina peteljke (PL), pokazuju statistički značajnu razliku između ispitivanih populacija, a što je

potvrđeno u ranijim istraživanjima (Kajba i Romanić 2002). Među-populacijska varijabilnost u slivu rijeke Dunav registrirana je kod većine morfoloških svojstava i iznosila je između 10 i 20% (Šiler i sur. 2014), a do sličnih rezultata dolaze i Čortan i sur. (2015). Najveći doprinos razlikama između populacija ima broj lisnih nerva s lijeve i desne strane plojke. Najveći doprinos varijabilnosti unutar populacije (s više od 50%) imalo je odstojanje između baze lista i najšireg dijela lisne plojke (Šiler i sur. 2014). Ovakvi rezultati odgovaraju rezultatima međupopulacijske diferencijacije u ovom istraživanju. Navedena svojstva su pod genetskom kontrolom, a manje su pod utjecajem promjena u okolišu tako da bi mogla poslužiti za procjenu unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti te poslužiti za procjenu introgresije gena alohtonih vrsta topola u lokalne populacije europske crne topole. Morfološka varijabilnost sedam svojstava lista sa 84 stabla istočnoameričke crne topole (*Populus deltoides* Bartr. Ex. Marsh. var. *deltoides*) iz devet populacija s područja Ontarija također je istraživana (Rajora i sur. 1991). Svojstva lista su pokazala značajne razlike između populacija ($P \leq 0.003$), a broj lisnih nerva je pokazao značajnu korelaciju sa zemljopisnom duljinom ($r = 0,81$, $P < 0,001$) i širinom ($r = -0,69$, $p < 0,05$). Niti jedno od drugih svojstava lista nije pokazalo odnos naspram zemljopisnoj širini i duljini.

Genetska raznolikost deset populacija crnih topola, populacija duž glavnih riječnih sustava diljem Slovenije i Hrvatske (rijeke Soča, Sava, Drava i Mura) analizirana je pomoću šest mikrosatelitnih lokusa (Božić i sur. 2010). Rezultati ovog istraživanja pokazuju da je genetska baza kod preostalih populacija crne topole u ovom području još uvijek dobro očuvana. U prirodnim populacijama je prisutnost introgresije gena američke crne topole vrlo niska. Jedna od populacija uz rijeku Dravu (Suhopolje, blizu mjestu Šučurica, populacija Drava 4 u Tablici 1. i 2.) različita je od drugih populacija koje su u skupinama te predstavlja posebnu skupinu. Procjena genetske strukture populacija crnih topola duž istraživanih rijeka pokazala je značajnu prostornu i genetsku strukturu koja je, vjerojatno, uzrokovana ograničenim protokom gena. To pomaže u objašnjenju smanjenja raznolikosti u mladim populacijama (Pospiškova i Šalkova 2006; Smulders i sur. 2008; Rathmacher i sur. 2010). Dakle, postoji značajna prostorna i genetska struktura zbog ograničenog protoka gena. Međutim u mlađim populacijama (duž ovih riječnih tokova) ta se različitost smanjuje zbog



Slika 22. Stare topole u Bilješevu, srednji tok Bosne (2006. godina)

brzog toka gena. Rezultati istraživanja morfološke varijabilnosti u prirodnim sastojinama europske crne topole uz Savu i Dravu pokazuju da u promatranom potomstvu fenotipovi nalikuju jedni na druge i da upućuju na to da prevladava europska crna topola (Krstinić i sur. 1997; Kajba i sur. 1999, 2015; Božić i sur. 2010), a da nije introgresirana s istočnoameričkom crnom topolom ili hibridima topola. Ovi rezultati potvrđuju istraživanja koja su proveli Vanden Broeck i sur. (2000, 2002) u Belgiji. Proučavajući fenologiju cvatnje topola u klonskim arhivama primijetili su da muški klon topola (*P. nigra* var. *Italica*) i 22 klon *P. × canadensis* cvjetaju ranije od istraživanih klonova lokalne europske crne topole (*P. nigra*). Na temelju tog nalaza zaključili su da ne postoji velika opasnost od introgresije gena američkih crnih topola u genom europske crne topole, ali da se genska introgresija ne treba isključiti u potpunosti, imajući u vidu znatnu varijabilnost u fenologiji cvjetanja kod topola.

Morfometrijska svojstva lista znatno su doprinijela poznavanju unutar i međupopulacijske varijabilnosti crnih topola u slivu rijeke Dunav (Šiler i sur. 2014; Čortan 2013, 2014, 2015). Diskriminantni model sa svim svojstvima ukazuje na manje od 60,38% točnosti u dodjeli visoke varijabilnosti promatranim svojstvima unutar populacija. Rezultati morfološke analize u potpunosti ne podržavaju rezultate molekularne analize, ali oni uglavnom podržavaju sličnost između susjednih populacija pa, prema tome, rezultati osiguravaju odgovarajući odabir i korištenje šumskog reprodukcijuskog materijala. Dlakave podvrste europske crne topole (*Populus nigra* ssp. *caudina*) imaju rasprostiranje u toplom i suhom području Hercegovine uz rijeku Neretvu, a uz rijeke u središnjem području i planinskom bosanskom pojasu nalazimo samo pojedinačna stabla koja su pomiješana s tipičnim crnim topolama. Može se pretpostaviti da je današnje područje rasprostranjenosti ono što je ostalo od njene negdašnje rasprostranjenosti, a vjerojatno i veće populacije (Papaioannou 1963). Stanište dlakave europske crne topole u Hercegovini posljedica je ekozemljopisnih uvjeta i značajnih povijesnih čimbenika te njihovog utjecaja na razvoj flore u tom području. Ovi rezultati starih znanstvenika dovode do ideje da je trenutno rasprostiranje dlakave crne topole rezultat nedavnog širenja crne topole sa sjevera (uz rijeke Dravu i Savu, skupina HR-01 i HR-02) prema jugu. Pojedina stabla dlakave crne topole u sjevernoj i središnjoj Bosni rastu na višim nadmorskim visinama, u hladnijoj i

vlažnijoj planinskoj regiji (Janjić 1984). Izolirane submediteranske populacije (skupina BiH-02) rastu uz rijeku Neretvu i može ih se naći na 15 m iznad razine mora. Prosječna temperatura tijekom vegetacije je u rasponu između 15,9°C i 16,9°C kod populacije iz unutrašnjosti Bosne i Hercegovine (skupina BiH-01) te je 20,7°C kod populacija iz donjeg toka rijeke Neretve (skupina BiH-02). Ekološki i klimatski uvjeti duž rijeke Neretve u potpunosti se razlikuju, imaju karakteristična duga, topla i suha ljeta (s prosječnom količinom padalina od 365 mm u vegetacijskom razdoblju). Osim toga, ovi uvjeti se odlikuju prepoznatljivim fluktuacijama u razini vode, kao i zasićenošću pedološkoga sloja vapnenačkim kamenjem. Možemo pretpostaviti da se dlakava crna topola mogla naći duž rijeke Neretve i da danas postoji samo mali ostatak ranijeg kontinuiranog rasprostiranja te da je bila raširena od Grčke do Bosne i Hercegovine, preko Makedonije i Albanije. Dlakava vrsta crne topole (*P. nigra* ssp. *caudina*) koja raste duž Neretve znatno se razlikuje od crne topole u priobalnim populacijama duž europskih rijeka. Ta rijetka i dlakava vrsta crnih topola smatra se kseromorfnim oblikom submediteranskog područja (Kajba i sur. 2004, 2015; Ballian i sur. 2006).

U preliminarnom pokušaju procjene taksonomskog statusa dlakavih crnih topola, uporabom deset stabala, iz svake od sedam istraživanih populacija uz pomoć nuklearnih i kloroplastnih biljega smo pokazali da postoje razlike između vrsta, podvrsta i pojedinačnih klonova kod topola (Heinze 1998; Kajba i sur. 2004a; Lexer i sur. 2005). Jedna od populacija je bila čisti dlakavi tip, tri su bile hibridne sa ssp *nigra* i ostali su bili tipične ssp. *nigra*. Rezultati ne pokazuju nikakve naznake da je dlakavi tip zasebna taksonomska jedinica jer su svi dobiveni polimorfizmi isti kao i kod obične europske crne topole iz Bosne i Hercegovine, bez obzira jesu li listovi dlakavi ili ne. Ovi rezultati ne podržavaju hipotezu o mogućem terciarnom reliktu (Papaioannou 1963), nego podupiru razvrstavanje dlakavih tipova kao kseromorfnih ekotipova europske crne topole, za koje je karakteriziran snažan razvojni trihom na peteljka. Geni kandidati su analizirani kako bi se razumjele temeljne različitosti, kao i genetska varijabilnost (Kajba i sur. 2005; Hase i sur. 2007). Inače, postoje značajne razlike između tipične i dlakave podvrste europske crne topole u istraživanim morfološkim svojstvima i ove razlike su u skladu s klimatskim razlikama između pojedinih staništa kontinentalnih poplavnih šuma i submediteranskog tipa klime.

10.2. Morfološka varijabilnost dlakavih crnih topola

U Bosni i Hercegovini površine pod prirodnim šumama crnih topola zanemarive su i to, preračunato na osnovi podataka inventure šuma od 1964. do 1968. godine (Matić i sur. 1971), aproksimativno imamo oko 712 ha. Ipak, i pored zanemarivih površina, postoji čitav spektar vrsta i podvrsta domaćih autohtonih crnih topola. Crne topole u Bosni i Hercegovini rastu na aluvijalnim zemljištima uz tokove rijeka, u područjima s umjerenom, kontinentalnom i submediteranskom klimom, obično na rahlim pjeskovitim zemljištima, ravničarskih i nižih brdskih područja do oko 300 m, mada u Sarajevskoj kotlini idu i do 530 m. Prema Alikalfiću (1998) i Ballianu (2004), pogodna područja za rast crnih topola ograničena su samo na doline većih rijeka, kao Save, Drine, Bosne, Vrbasa, Une, Sane i Neretve, s ukupnom duljinom oko 1200 km.

U dolini rijeke Drine crne topole rastu u gornjem toku od Foče do Višegrada te u donjem toku od Tegara do ušća u Savu kod Rače. Duž cijelog toka rijeke Bosne od Sarajevskoga polja do ušća u rijeku Savu rastu crne topole, bilo kao skupine stabala, ili pojedinačno. Za rijeku Bosnu je svojstveno da se u njenom srednjem toku povremeno pojavljuju dlakave forme crnih topola o čemu je izvještavao Janjić (1984), kao i u krajnjem sjeveroistočnom području oko grada Bijeljine. U dolini rijeke Vrbasa rastu dvije odvojene skupine crnih topola, jedna je u gornjem toku na dubokom riječnom poloju Uskopaljske doline kod Bugojna koja je specifična po svojoj dlakavosti, s manjim brojem stabala, a druga je od Toplice nekoliko kilometara uzvodno Vrbasom od Banjaluke te nizvodno do rijeke Save gdje su zastupljene tipične crne topole. Razlog odvojenosti je kanjon Vrbasa s nedostatkom riječnih poloja na kojima bi mogla rasti topola. Kod rijeke Une pojavu crnih topola imamo tek u srednjem dijelu toka, točnije u Bihaćkoj kotlini i nizvodno do ušća u Savu. U dolini rijeke Sane tek u njenom donjem toku od Sanskog Mosta do ušća u Unu imamo stanište crnih topola. Duž toka rijeke Save koji pripada Bosni i Hercegovini, također ima nalazišta crnih topola. Na rijeci Neretvi, kao jedinoj od pobrojanih koja pripada Jadranskom slivu, imamo posebnu vrstu crnih topola, takozvanih dlakavih (*Populus nigra* ssp. *caudina*), kao i bijele topole koje naseljavaju donji tok rijeke od Žitomislića do granice s Hrvatskom (Metković), s jednim malim i specifičnim nalazištem crne topole u donjem toku potoka Trešanice (Konjic) gdje individue također pokazuju slabiju dlakavost.

Prva istraživanja dlakavih topola u donjem dijelu toka rijeke Neretve ukazala su na njihovu diferenciranost naspram iste vrste u unutrašnjosti kao i potrebu za daljnjim istraživanjima. Tako Janjić (1984) upotpunjuje istraživanja Jovanovića i Tucovića te daje kritički osvrt na do tada izvršena istraživanja. On kritički povezuje sva istraživanja i uspoređuje materijale iz herbara sakupljene u unutrašnjosti gdje također nalazi dlakave svojite i svrstava bosanskohercegovačke dlakave topole u podvrstu *Populus nigra* ssp. *caudina*. Na tome se taj segment istraživanja završava. Razvojem suvremenih metoda javila se potreba za novim saznanjima o dlakavim topolama koje mogu igrati vrlo važnu ulogu u podizanju novih nasada u svjetlu globalnoga zagrijavanja. Tako nova istraživanja provode Kajba i sur. (2004; 2015) i ona potvrđuju navode Janjića gdje novim statističkim metodama dobivaju potpuno izdvojenu grupu dlakavih naspram tipičnih crnih topola (*Populus nigra* ssp. *nigra*). Ipak, pored istraživane populacije dlakavih topola u Bosni i Hercegovini javljaju se još dvije populacije koje pokazuju nešto manju dlakavost, a to su populacije Konjic i Bugojno koje nisu bile predmet ranijeg istraživanja.

Osnovni cilj ovog istraživanja je utvrđivanje individualnih razlika i povezanosti između stabala podrijetlom iz triju populacija dlakavih crnih topola (*Populus nigra* ssp. *caudina*) uz uporabu pet standardiziranih morfoloških biljega.

Istraživane su tri populacije dlakavih crnih topola iz njihovog prirodnog rasprostiranja u Bosni i Hercegovini (Karta 5.). Uzorci iz populacije Čapljina pokazuju visok stupanj dlakavosti listova jednogodišnjih i dvogodišnjih izbojaka, a dlačice su primjetne i na



Slika 23. Dlakava crna topola u Počitelju, obrasla bršljanom

trogodišnjim izbojcima. Druge dvije populacije (Konjic i Bugojno) pokazuju nešto manji stupanj dlakavosti, odnosno pojavu djelomične periodične dlakavosti (Janjić 1984) kako listova, tako i izbojaka, pa su te populacije vrlo vjerojatno bile pod djelovanjem hibridnih procesa s tipičnim crnim topolama. Za stabla dlakave topole u sve tri populacije je svojstveno da imaju rijetku i svijetlu krošnju, za razliku od tipične crne topole. Također, samo je za populaciju Konjic svojstveno da stabla pokazuju depresivan rast naspram drugih dviju populacija, kao i pojavu jačeg napada patogena *Dotihiza* ssp., što je otežalo sakupljanje herbarskoga materijala. Populacije koje su istraživane pripadaju i različitim klimatskim područjima (Tablica 9.) te bi, u konačnici, i na taj segment trebalo obratiti pažnju.



Karta 5. Istraživane populacije

- B – populacija Bugojno
- K – populacija Konjic
- C – populacija Čapljina

U istraživanim populacijama je tijekom vegetacijskog perioda selekcionirano po 10 stabala relativno visoke starosti da bi se isključilo moguće križanje s introduciranim topolama. Tako su sva selekcionirana stabla bila procijenjena za starost od preko 80 godina.

Sa svakog od stabala je sabrano po 50 listova od kojih je napravljen herbar. Listovi su sabrani prema metodologiji da moraju biti iz vanjskog dijela sredine krošnje, južno eksponirane, jer su tijekom svog razvoja morali uživati potpuno svjetlo da bi bili potpuno razvijeni. Također, listovi su sabrani samo s kratkih fertilnih izbojaka jer, prema ranije provedenim istraživanjima, pokazuju najmanju varijabilnost unutar stabla (Kajba i

Romanić 2002). Prilikom sabiranja se težilo da selekcionirani materijal bude što više uniforman za svako stablo.

Nakon što je materijal osušen, pristupilo se mjerenju listova te su mjerena sljedeća svojstva: duljina lista, odnosno plojke (LBL), širina plojke (LBW), duljina peteljke (PL), kut između prvog donjeg bočnog

Tablica 9. Osnovni klimatski podaci za istraživane populacije (prema Stefanović i sur. 1983)

Populacija	Područje	Rajon	Najbliža meteorološka postaja	Nadmorska visina u m	Temperatura zraka °C		Srednja relativna vlaga zraka		Srednje sume padalina u mm	
					Srednja		Godišnja	IV. – IX.	Godišnje	IV. – IX.
					Godišnja	IV. – IX.				
Bugojno	Srednjobosansko	Vranički	Bugojno	562	8,8	14,8	78	74	826	383
Konjic	Submediteransko	Bez stalno zelenih elemenata	Konjic	280	11,1	16,9	73	70	1404	496
Čapljina	Submediteransko	Sa stalno zelenim elementima	Čapljina	5	15,0	20,7	72	67	1156	365

nerva i centralnog lisnog nerva (α) i udaljenost između najšireg dijela lista i baze lista (DBW), kako je prikazano na Slici 19. Tijekom rada na herbarskom materijalu izmjereno je ukupno 1500 listova sa 7500 podataka.

Za svako od istraživanih svojstava su izračunati osnovni statistički parametri, srednja veličina (\bar{x}), standardna devijacija (s^2) i varijacijski koeficijent (CV). Također je urađena klaster analiza na temelju Euklidovih odstojanja.

10.2.1. Deskriptivna analiza

Analizom svojstva duljine plojke došli smo do zaključka da ovo svojstvo kod populacije Čapljina daje u prosjeku za devet stabala manje veličine nego u druge dvije populacije, a također je svojstveno da je i veličina koja pokazuje varijabilnost unutar stabala manja. Srednje veličine stabala za duljine plojke su se kretale od 43,74 mm do 57,42 mm, kod populacije Bugojno od 54,96 mm do 66,57 mm, a kod populacije Konjic od 56,94 mm do 70,03 mm (Tablica 10.).

Svojstvo širine plojke u potpunosti prati prethodno svojstvo, a iz toga je vidljivo da su najmanje srednje veličine i individualna varijabilnost kod stabala iz populacije Čapljina (kreću se od 30,79 mm do 42,36 mm), a nešto veće veličine imamo kod populacija Bugojno (od 43,86 mm do 51,42 mm) i Konjic (od 42,38 mm do 49,46 mm), (Tablica 10).

Kod svojstva odstojanja od osnove lista do najšireg dijela lista imamo situaciju da analizirana stabla iz populacije Čapljina imaju

Tablica 10. Podaci deskriptivne analize, duljina lista, odnosno plojke (LBL), širina plojke (LWB), duljina peteljke (PL), kut između prvog donjeg bočnog nerva i centralnog lisnog nerva (α) i udaljenosti između najšireg dijela lista i baze lista (DBW)

Stablo	LBL			LWB			DBW			PL			α		
	aritm. sred.	st. dev.	C.V.	aritm. sred.	st. dev.	C.V.	aritm. sred.	st. dev.	C.V.	aritm. sred.	st. dev.	C.V.	aritm. sred.	st. dev.	C.V.
C1	51.13	2.96	5,8	36.47	2.42	6.7	17.24	2.07	12.0	17.28	2.08	12.0	37.7	4.0	10.6
C2	49.76	3.77	7,6	33.26	2.06	6.2	20.08	2.50	12.5	16.54	2.37	14.4	40.4	4.6	11.4
C3	41.26	2.66	6,5	30.79	2.53	8.2	16.12	1.98	12.3	12.42	1.06	8.6	46.9	5.4	11.5
C4	47.82	2.90	6,1	34.20	1.94	5.7	16.83	2.13	12.7	15.40	1.37	8.9	42.4	4.0	9.5
C5	50.86	3.89	7,7	38.88	2.59	6.7	24.27	3.61	14.9	17.16	2.03	11.8	42.7	5.8	13.7
C6	47.72	3.76	7,9	35.02	2.87	8.2	16.44	1.47	9.0	14.88	1.56	10.5	41.8	5.1	12.2
C7	52.25	4.01	7,7	35.12	1.58	4.5	17.61	2.19	12.5	14.26	1.57	11.0	47.7	5.0	10.5
C8	50.60	3.76	7,4	39.80	2.92	7.4	23.37	3.89	16.6	15.28	1.89	12.4	41.2	6.0	14.5
C9	57.42	4.85	8,4	42.36	3.83	9.1	25.84	2.98	11.5	16.31	2.33	14.3	44.3	6.5	14.8
C10	43.74	3.91	9,0	31.43	1.96	6.2	16.60	2.40	14.5	13.56	1.86	13.7	37.2	4.8	12.9
B1	57.04	5.15	9,0	46.09	3.92	8.5	37.58	4.78	12.7	18.86	1.81	9.6	37.3	3.4	9.1
B2	65.19	4.55	7,0	46.97	4.64	9.9	39.65	6.51	16.4	21.22	2.07	9.8	39.5	4.7	11.9
B3	61.74	7.86	12,7	49.02	5.20	10.6	41.39	6.25	15.1	16.83	2.03	12.1	40.4	6.1	15.1
B4	58.76	4.88	8,3	47.73	4.01	8.4	36.31	5.76	15.9	19.70	1.89	9.6	38.5	5.2	13.6
B5	61.10	7.13	11,7	46.87	5.00	10.7	39.02	5.27	13.5	16.74	2.36	14.1	43.0	5.3	12.2
B6	56.83	4.79	8,4	47.52	3.60	7.6	35.83	3.42	9.5	19.91	1.84	9.3	37.8	4.7	12.4
B7	66.57	5.71	8,6	51.17	3.86	7.5	39.95	6.45	16.2	22.86	2.83	12.4	35,6	4.5	12.7
B8	62.88	5.85	9,3	48.21	4.32	9.0	41.02	7.38	18.0	17.19	2.06	12.0	41,2	5.4	13.1
B9	54.96	5.84	10,6	43.86	5.05	11.5	36.66	4.87	13.3	16.71	2.17	13.0	40,7	5.3	13.0
B10	64.37	6.57	10,2	51.42	5.24	10.2	40.75	6.98	17.1	17.66	2.47	14.0	42.5	5.0	11.7
K1	70.03	9.41	13,4	42.38	5.21	12.3	37.57	7.12	19.0	15.88	1.86	11.7	45.7	7.9	17.3
K2	58.81	6.32	10,8	44.01	5.07	11.5	33.84	5.59	16.5	16.50	1.99	12.1	46.7	5.3	11.3
K3	61.39	5.83	9,5	44.95	4.05	9.0	32.52	5.26	16.2	16.54	2.18	13.2	39.4	5.6	14.3
K4	56.94	5.57	9,8	49.46	4.59	9.3	38.68	7.71	19.9	15.66	1.90	12.2	46.5	5.9	12.7
K5	61.01	6.54	10,7	47.48	5.66	11.9	33.26	6.53	19.7	19.50	2.72	13.9	38.2	7.6	19.8
K6	62.08	7.68	12,4	47.76	5.27	11.0	29.37	5.26	17.9	18.05	1.93	10.7	38.2	6.1	16.1
K7	58.32	6.04	10,4	45.00	5.57	12.4	32.14	5.21	16.2	18.23	2.75	15.1	34.3	7.7	22.4
K8	58.57	5.06	8,7	45.34	4.56	10.1	31.95	5.51	17.3	16.52	2.34	14.2	39.0	7.8	19.9
K9	59.92	6.68	11,2	44.09	5.36	12.2	31.59	6.28	19.9	16.13	1.99	12.3	34.5	7.5	21.6
K10	58.12	5.56	9,6	46.39	4.35	9.4	34.84	5.35	15.4	14.75	1.72	11.7	48.6	6.6	13.5

C1 - C10 = stabla Čapljina, B1 - B10 = stabla Bugojno, K1 - K10 = stabla Konjic

srednje veličine skoro za 50 % manje od veličina iz populacija Bugojno i Konjic. Tako populacija Čapljina ima veličine od 16,12 mm do 25,84 mm, a Bugojno od 35,83 do 41,39 mm i Konjic od 31,59 mm do 38,68 mm. Na isti način se kreće i individualna varijabilnost u istraživanim populacijama i najmanja je kod populacije Čapljina.

Duljina peteljke je svojstvo koje se ponaša kao i prethodno te populacija Čapljina, za razliku od Bugojna i Konjica, u prosjeku ima najmanje veličine koje se kreću od 12,42 mm do 17,28 mm, kod populacije Bugojno od 16,71 do 22,86, a Konjica od 14,75 do 19,50. Interesantno je za ovo svojstvo da i populacija Konjic pokazuje malo variranje te su veličine standardne devijacije relativno bliske onim iz populacije Čapljina (Tablica 10.).

Svojstvo "kut insercije prvog desnog nerva s naličja lista", za razliku od drugih svojstava, pokazuje prema dobivenim srednjim vrijednostima najveću bliskost, odnosno dobivene srednje veličine se u najvećoj mjeri preklapaju, a tako se ponaša i standardna devijacija (Tablica 10.).

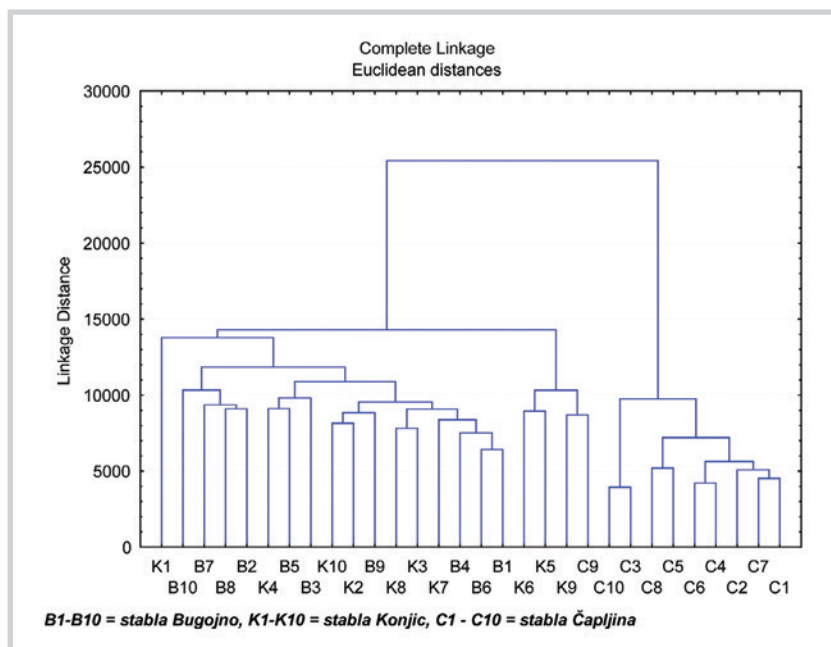
10.2.2. Klaster analiza

Klaster analiza je provedena na temelju Euklidovih odstojanja te je vrlo dobro grupirala analizirana stabala. Iz dendrograma (Slika 24.) je vidljivo da na prvoj razini možemo sva stabla grupirati u dva klastera; na jednoj strani imamo devet stabala iz populacije Čapljina, a na drugoj strani stabla iz populacija Bugojno i Konjic te s njima pridruženo jedno stablo iz populacije Čapljina.

Ako se spustimo na sljedeću razinu, dobivamo još jedan klaster koji nam može dati bolje pojašnjenje od prethodne razine. Tako nam se, pored grupiranja stabala iz populacije Čapljina te na drugoj strani grupiranja stabala iz populacije Bugojno i sedam stabala iz populacije Konjic, pojavljuje jedna posebna grupa s tri stabla iz populacije Konjic i jednog iz populacije Čapljina.

Iz dobivenih rezultata je vidljivo da populacija Čapljina ima svoj svojstveni put razvoja gdje je i izravni utjecaj mediteranske klime imao važnu ulogu u njenom razvoju. Za razliku od Čapljine, populacije Bugojno i Konjic, imaju svoj put razvoja. Ipak, populacija Konjic pokazuje znatan utjecaj populacije Čapljina na njenu strukturu, ali i povezanost s populacijom Bugojna.

Za slabu vezu između populacija Čapljine i Bugojna razloge možemo tražiti u prepriki koju čini planinski masiv Makljena smješten između sliva rijeka Neretve i Vrbasa. Ipak, u tom slučaju ostaje upitna i veza populacija Konjica i Bugojna, ali prema Janjiću (1984) tu su u pitanju reliktna staništa s prelaznim formama između dlakavih i tipičnih crnih topola, odnosno ostaci nekad velikog područja rasprostriranja dlakavih



Slika 24. Dendrogram konstruiran na bazi Euklidovih odstojanja

topola, tj. zone hibridizacije tipične i dlakave forme crnih topola. Kad su veze između njih prekinute, zbog zemljopisnih barijera, svaka od njih je krenula svojim specifičnim putem daljnjeg razvoja, ali ostala su mnoga zajednička obilježja. Inače, zemljopisno gledajući, a što se može vidjeti i iz klaster analize, između populacije Čapljina s tipičnim dlakavim topolama i male populacije kod Konjica vrlo vjerojatno postoji stalna veza sa stalnim kretanjem gena uz i niz rijeku Neretvu.

Analizom pet morfoloških svojstava lista dlakavih crnih topola potvrdili smo da se individue iz populacije Čapljina razlikuju od individua iz unutrašnjosti zbog toga što su im skoro sve srednje veličine svojstava manje nego kod individua iz unutrašnjosti. Također smo potvrdili vezu između populacija Konjica i Bugojna koje su imale sličan razvojni put te između populacija Čapljina i Konjic. Inače, dobivene razlike nas upućuju na to da u bilo kakvim radovima na očuvanju genofonda moramo posebno tretirati svaku od istraživanih populacija da bismo postigli potpun uspjeh u zaštiti njihovog autohtonog genofonda. Prema pokazanim svojstvima te kroz analizu

klimatskih podataka, individue dlakavih crnih topola iz populacije Čapljina bi mogle imati vrlo važnu ulogu u procesima reintrodukcije drveća u područjima iz kojih nestaju pojedine vrste pod djelovanjem globalnoga zagrijavanja.

10.3. Usporedba hercegovačkih dlakavih crnih topola i tipičnih crnih topola iz Posavine i Podravine

Prema Kajbi i sur. (2004), očuvanje genetskih resursa pojedinih vrsta šumskoga drveća, a naročito onih koje su ugrožene, treba imati visoki prioritet u svim značajnim programima upravljanja šumskim ekosustavima. Postojeća genetska raznolikost u prirodnim populacijama šumskoga drveća treba se očuvati i održavati kako bi se očuvala sama stabilnost šumskoga ekosustava. Također, treba očuvati i manje populacije i pojedine skupine stabala koje su značajne za očuvanje genetske varijabilnosti vrste. Europska crna topola (*Populus nigra* L.) je vrsta koja raste na aluvijalnim tlima uz velike rijeke u umjerenim klimatskim zonama Europe, Azije i sjeverne Afrike. Na području Republike Hrvatske europska crna topola se javlja u priobalnim poplavnim šumama uz rijeke Muru, Savu, Dravu i Dunav. Njihov udio u ukupnoj površini šuma Hrvatske je nizak, no njihova univerzalna i korisna uloga je značajna. Zbog stalnih ljudskih aktivnosti u prirodnim staništima europske crne topole njihovo rasprostiranje u Hrvatskoj je svedeno na pojedinačna stabla, a djelomično pridolazi samo u područjima vrlo dobro očuvanih poplavnih šuma. Dlakava crna topola je podvrsta europske crne topole (*P. nigra* ssp. *caudina*) koja pridolazi duž rijeke Neretve u Bosni i Hercegovini i predstavlja pravu mediteransku crnu topolu. S obzirom na uvjete u kojima se pojavljuje, ona se odlikuje izrazitom kseromorfnošću. Do sada su ove topole registrirane u dva balkanska područja, u južnoj Makedoniji (Džekov, 1960) te u Tesaliji, u središnjoj Grčkoj (Papaioannou, 1963), dok se neke populacije iz Albanije i Turske također pripisuju ovoj svojti. Usporedba svih spomenutih populacija otkriva velike sličnosti u klimatskim uvjetima koji vladaju u njihovom rasprostranjenju. Po načinu nastanka ovo je prirodni relikv, sa specifičnostima u njihovoj morfologiji. Te populacije sadrže samo dlakave vrste, što je posljedica njihove orografske ili ekološke izolacije, a što ih zauzvrat štiti od vanjskih genetskih utjecaja. Iako trenutno potpuno izolirane jedne

od drugih, njihov bivši neprekinuti niz koji se proteže od Grčke, preko Makedonije i Albanije, u BiH se može lako pratiti što znači da one predstavljaju ostatke nekadašnje uniformne populacije (Janjić 1984).

Različiti autori su tretirali dlakavu crnu topolu na različite načine s obzirom na njenu taksonomsku pripadnost. Na primjer, u svojoj monografiji o rodu *Populus*, Dode (1905) spominje postojanje nekoliko vrsta dlakavih crnih topola na razini populacije. Bugala (1967) pruža prihvatljiviju taksonomsku klasifikaciju te navodi tri podvrste za cijelo rasprostiranje europske crne topole: *P. nigra* ssp. *nigra* (tipična, nedlakava crna topola), *P. nigra* ssp. *betulifolia* (Pursh) Wettst (atlantska dlakava crna topola koja se javlja u klimi s umjereno toplim i vlažnim ljetima) i *P. nigra* ssp. *caudina* (Ten.) Bugala (mediteranska dlakava crna topola koja se javlja u klimi s toplim i suhim ljetima).

Papaioannou (1963) tvrdi da su dlakave crne topole terciarni relikv europske flore. Crna topola u južnoj Hercegovini nalazi se u čistim sastojinama i u mješovitim sastojinama s *Populus alba* i *Salix alba* bez pratnje tipične nedlakave podvrste. S druge strane, crna topola u hrvatskim priobalnim populacijama pripada ssp. *nigra* bez prisustva dlakavog tipa. Ovo je vrlo važna činjenica jer nema registrirane hibridizacije između dlakave i nedlakave vrste u bilo kojem od istraživanih područja. Dlakave crne topole iz područja uz rijeku Neretvu (Bosna i Hercegovina) karakteriziraju izrazito dlakavi izbojci, kratki listovi koji su uži nego kod crne topole iz priobalnih populacija nizinskih europskih rijeka, a s vrlo kratkom peteljkom. Po svojim fenotipskim svojstvima je također specifična jer raste kao malo stablo (do 24 m visine) u odnosu na tipične podvrste (do 35 m) i ima manje gustu krošnju koja je zbog manjih listova svijetla. Dlakavost se zadržava na jednogodišnjim i dvogodišnjim izbojcima i djelomično na starijim izbojcima, kao na Slici 25. Osim listova i mladica, peteljke i cvjetovi su također trajno dlakavi. Prema Köppenovoj klasifikaciji proučenih populacija, tipične europske crne topole rastu u području označenom klimatskim tipom "Cfwbx" (savske populacije), a njegov podtip je Cfwb "x" (dravske populacije). Ti klimatski tipovi pripadaju umjerenoj toploj kišnoj klimi bez suhog razdoblja. Padaline su ravnomjerno raspoređene tijekom godine, a najsuši dio javlja se u hladnom dijelu godine. Maksimalne padaline u toplom dijelu godine pojavljuju se u svibnju i kolovozu. Srednja godišnja količina padalina u tim područjima je u rasponu od 700 do 869 mm, a srednja godišnja temperatura je oko 10,5°C (Seletković i Katusin 1992).

Promatrana populacija dlakave vrste crne topole (populacija Neretva) nalazi se u submediteranskom području s dominantnim utjecajem mediteranskog klimatskog tipa. Ovo područje karakteriziraju blage zime i suha ljeta. Srednja godišnja temperatura u ovom području je 15,0°C, dok je srednja temperatura u vegetacijskom razdoblju (od travnja do listopada) iznosila 20,7°C. Srednja količina padalina u vegetacijskom razdoblju je niska i iznosi 365 mm.

Lisni dimorfizam i sezonska heterofilija su kod topola pronađeni na jednom stablu (Zsuffa 1974; Eckenwalder 1996). Preoblikovani i novoformljeni listovi se također često znatno razlikuju u teksturi, obliku i ozubljenju ruba lista. Prethodno nastali listovi su općenito više korišteni kao dijagnostičko-taksonomska kategorija od novoformljenih listova i imaju tendenciju da se razlikuju u više značajnih dijelova kod topola nego među drugim vrstama (Eckenwalder 1996).

Tek su u potpunosti razvijeni, neoštećeni listovi uzeti s kratkih izbojaka u središnjem dijelu krošnji jer su u nekim ranijim istraživanjima listovi s kratkih plodnih izbojaka, zbog manje varijabilnosti, potvrdili da daju pouzdaniji oblik istraživanih morfoloških svojstava od listova podrijetlom s dugih sterilnih izbojaka (Krstinić i sur. 1997; Kajba i sur. 1999; Kajba i Romanić 2001; Alba i sur. 2002). Lisni uzorci europske crne topole iz priobalnih šuma uz Dravu i Savu (Hrvatska) sakupljeni sa stabala koja su bila stara oko 200 godina i uspoređeni su s dlakavim tipovima crnih topola starim oko 150 godina (rijeka Neretva, Bosna i Hercegovina).

Izmjerena su sljedeća morfološka svojstva: duljina lista, odnosno plojke (LBL), širina plojke (LBW), duljina peteljke (PL), kut između prvog donjeg bočnog nerva i centralnog lisnog nerva (α) i udaljenosti između najšireg dijela lista i baze lista (DBW), kao što je prikazano na slici 19.

Za svako od pet analiziranih morfoloških svojstava lista urađena je aritmetička sredina (\bar{x}) i standardne devijacije (s) u svakom uzorku. Varijabilnost morfoloških svojstava lista između tipične i dlakave crne topole je određena pomo-



Slika 25. Jednogodišnji izbojak dlakave crne topole

ću diskriminacijske analize (Mardia i sur. 1982; Kachigan 1991). Ulazni parametri za diskriminacijske analize su bile skupine varijabli (*P. nigra* ssp. *nigra*, *P. nigra* ssp. *caudina*) i nezavisne varijable (pet izmjerenih lisnih svojstava). Nezavisne varijable su uključene u model pomoću naprijed definiranog stupnjevitog metoda. Vrijednost granica tolerancije iznosila je 0,01. Podaci su obrađeni u statističkom programu StatSoft Inc. (2001).

10.3.1. Deskriptivni statistički pokazatelji

Tablica 11. Aritmetička sredina istraživanih svojstava kod dlakave i tipične crne topole

Svojstvo	<i>P. nigra</i> ssp. <i>nigra</i> (N = 142)		<i>P. nigra</i> ssp. <i>caudina</i> (N = 1000)	
	x	s	x	s
LBL	73	13,4	52	8,9
LBW	54	9,8	38	7,9
DBW	30	15,7	17	3,6
PL	31	21,4	24	7,6
α (°)	45	8,2	46	6,5

LBL = duljina lisne plojke; LBW = širina lisne plojke; DBW = rastojanje između najšireg dijela lista i baze lista; PL = duljina peteljke; α = ugao između prvog donjeg nerva i glavnog nerva; N = broj mjerenih listova

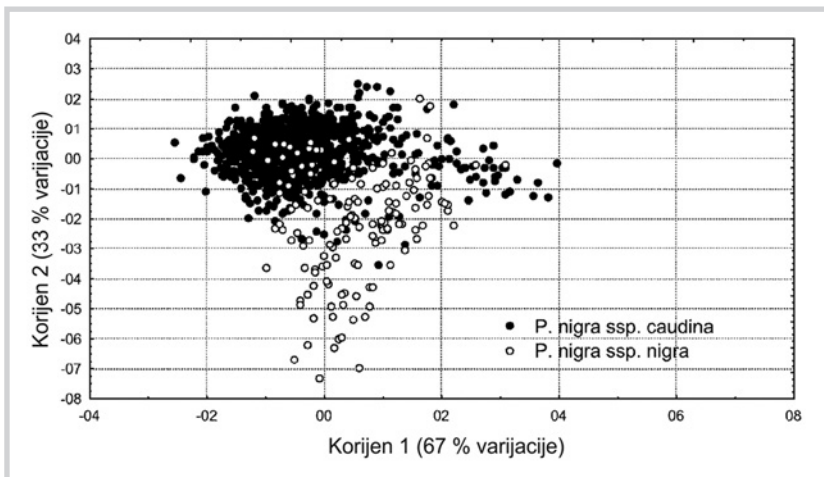
Aritmetička sredina i standardne devijacije za pet analiziranih morfoloških svojstava lista za dlakave i tipične europske crne topole dati su u Tablici 11. U prosjeku, tipična europska crna topola ima više vrijednosti za sva istraživana svojstva, osim za kut između prve niže lateralne žile i srednjeg glavnog nerva. Dvije podvrste europske crne topole su testirane pomoću F- i t-testova i primijećeno je da se značajno razlikuju u svim analiziranim svojstvima.

10.3.2. Diskriminacijska analiza

Tablica 12. Klasifikacijska matrica. Sva mjerenja koja su klasificirana prema klasifikacijskim funkcijama i skupinama

Skupina	Ispravno klasificiran kao <i>P. nigra</i> ssp. <i>caudina</i>		Pogrešno klasificiran kao <i>P. nigra</i> ssp. <i>nigra</i>	
	Broj	%	Broj	%
LBL	957	98,4	16	1,6

Prema statističkim rezultatima diskriminacijske analize između skupina dobivena je statistički značajna razlika, a dobivene su sljedeće vrijednosti: Wilks' $\lambda = 0,296$ $F(10,2460) = 206,4$; $p < 0,01$. Svih pet nezavisnih varijabli su uključene u model. Na temelju analiziranih svojstava, uzorak *P. nigra* ssp. *caudina* se značajno razlikuje od *P. nigra* ssp. *nigra* (Tablica 12.). Vjerojatnost nedostajuće identifikacije uzorka *P. nigra* ssp. *caudina* za *P. nigra* ssp. *nigra* iznosila je 1,6%. Slika 26. prikazuje pojedinačne podatke za prvu diskriminacijsku funkciju (kanonski korijen 1) na osi x, a za drugu diskriminacijsku funkciju (kanonski korijen 2) na osi y. To se može zaključiti iz standardiziranih koeficijenata kanonskih varijabli koje *P. nigra* ssp. *caudina* najviše razlikuju od *P. nigra* ssp. *nigra* u udaljenosti između lista u najširem dijelu i lisne baze, nakon čega slijedi širina lisne plojke, duljina lista, kut između prvog donjeg bočnog nerva i središnjeg nerva (a), dok je najmanji doprinos diskriminanti ima svojstvo duljine peteljke.



Slika 26. Rezultat diskriminacijske analize za morfologiju lista dlakave crne topole i europske crne topole

Usporedba istraživanih morfometrijskih svojstava lišća tipične i dlakave crne topole iz istraživanih populacija u Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini pokazala je jasnu razliku između ovih dviju podvrsta (Tablica 12.). Individue dlakave crne topole karakteriziraju znatno manje

dimenzije listova što, vjerojatno, proizlazi iz njihove adaptacije na mnogo izraženije uvjete kserotermnosti. Znatno manja varijabilnost između ispitivanih svojstava unutar *caudina* podvrste pronađena je u odnosu na tipične crne topole iz hrvatskih populacija (Tablica 11.). To se može objasniti činjenicom da su dlakave crne topole formirale male, izolirane populacije koje su vjerojatno pod utjecajem genetskog drifta zbog specifičnih selekcijskih pritisaka, što znači da imaju smanjenu genetsku varijabilnost, ali i život pod ravnomjernijim utjecajem okoliša. Buduća morfometrijska i molekularna istraživanja trebaju obuhvatiti i druge populacije dlakave crne topole u mediteranskoj regiji kako bi se razjasnila distribucija ove podvrste i njene genetske varijabilnosti. U prvom nacionalnom izvješću o promjeni klime Republike Hrvatske (DHMZ, 2001), u razdoblju 1961-1994. godine, prosječna godišnja temperatura je porasla za 0,8°C prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda. Količine padalina su smanjene tako da je prosječna godišnja količina padalina za 149,5 mm ili 17,1% manja, dok je prosječna količina padalina u vegetacijskom periodu pala za 138,7 mm ili 27%. Dakle, postoji trend prema klimatskom zatopljenju i smanjenju padalina. Budući da se klimatske promjene očekuju i u narednim desetljećima, niz prijelaza k toplijem klimatskom režimu je vrlo bitan (Peters 1990).

Morfološka diferencijacija strogo prati razlike u okolišu, zatim se trenutna diferenciranost uspoređuje na temelju morfotipova i razlika u okolišu, a mogu se dobiti dobre smjernice za radove na očuvanju (Sork i sur. 2010; Kremer i sur. 2012). Međutim, ako morfološka diferencijacija odražava kombinaciju prilagodljivih i neadaptivnih procesa, tada je predviđanje odgovora vrste na klimatske promjene prilično komplicirano te genetska varijabilnost ne smije odgovarati adaptivnom fenotipu za određenu okolinu (De Woody i sur. 2015).

Adaptacija ima dva aspekta: (1) aklimatizaciju, tj. fiziološke prilagodbe i (2) genetsku prilagodbu. Zbog dugog životnog vijeka drveća, fiziološka adaptacija (Dudley, S.A. 1996a i b) ima veliku važnost i predstavlja glavni čimbenik u pokusima provenijencija, iako se genetske promjene ne smiju zanemariti (Beuker i Koski 1997), a prema nekim rezultatima broj vrsta koje su se sposobne prilagoditi na klimatska zatopljenja je ograničen. Uzimajući u obzir morfološka svojstva dlakavog tipa europske crne topole, kao i klimatske uvjete u kojima živi, očito je da je ova podvrsta dobro prilagođena na toplije

i sušne uvjete u vegetacijskom razdoblju. Povezano uz trenutnu zabrinutost zbog globalnih klimatskih promjena, neka od temeljnih pitanja su: kako će populacije i vrste drveća reagirati na klimatske promjene, a što znači da trebaju biti aktivni u održavanju i poboljšanju svoje prilagodljivosti i aktivno poboljšavati svoju prilagodljivost. Iako su ova pitanja previše složena da bi se svela na samo jedan aspekt, općenito je prihvaćeno da genetska raznolikost i geni na individualnoj razini predstavljaju ključni element u održavanju stabilnosti i prilagodljivosti živih sustava (Eriksson i sur. 1993).

Jedan od zaključaka koji proizlazi iz primijenjene analize, a s kojim se suočava šumsko drveće, sadržan je u sljedećem: glavni cilj očuvanja gena šumskih vrsta drveća mora biti stvaranje dobrih uvjeta za razvoj u neizvjesnoj budućnosti, koju nam nose klimatske promjene. Vrste u fokusu za očuvanje gena će biti definirane kao ciljane vrste (Eriksson 1997). Izbor ciljane vrste može se temeljiti na znanstvenim razlozima, očuvanju, karizmatičnosti ili iz socio-ekonomskih razloga. Interesantno je da Frankel (1983) spominje "žive fosile", ali bez ikakvih argumenata, što ostavlja prostora za spekulacije. Erwin (1991) odbacuje ideju o aktivnostima na očuvanju koji uključuju "žive fosile" jer on smatra da su osuđeni na izumiranje. Za rijetke vrste ili sorte s pojedinačnim stablima po hektaru ili manjim skupinama individua može se nagađati da je genetski drift možda igrao važnu ulogu u određivanju vrste. Unatoč činjenici da su očuvane populacije podvrste *caudina* male i izolirane i, vjerojatno, pod utjecajem genetskog drifta, potrebno je poduzeti mjere za očuvanje njenih genetskih izvora. Vrijednost očuvanja gena u tim populacijama može biti od presudne važnosti za cijeli rod s obzirom na trendove klimatskih promjena. To zahtijeva hitno definiranje i provedbu strategije očuvanja genetskih izvora ove ugrožene podvrste europske crne topole. To se, prije svega, odnosi na prikupljanje uzoraka iz drugih malih populacija dlakavih crnih topola u mediteranskom području.

11. FENOLOŠKA VARIJABILNOST CRNIH TOPOLA

11.1. Fenološka istraživanja u klonskoj arhivi crnih topola

Biljke kao indikatori vremenskih promjena imaju veliki značaj pri proučavanju klime nekog područja. Vrsta i raspored biljaka ukazuju na određene makroklimatske karakteristike područja, uglavnom na njegov termički i pluviometrijski režim. Međutim, o lokalnim karakteristikama klime, odnosno o mikroklimatskim promjenama u području, pored vrste govori i ritam razvitka biljaka, njihova fenologija. Selekcija koja djeluje u tom pravcu obrađena je od strane Dudley (1996a i b).

Na manje promjene u djelovanju klimatskih čimbenika biljni svijet reagira prilagođavanjem svojih životnih funkcija lokalnim uvjetima kao što su nastupanje i trajanje cvjetanja, listanja, dozrijevanja ploda itd., koje kod iste vrste nisu istovremene na svim lokalitetima i područjima. Čak i na jednom istom lokalitetu odvijanje ovih pojava varira u nizu godina prema godišnjim vrijednostima klimatsko-meteoroloških elemenata. Tu funkcionalnu zavisnost godišnjeg razvoja od klimatskih prilika biljnog, a i organskog svijeta uopće, proučava fenologija (Ortopec 1980, Bertović 1980).

Prirodne šume topola pridolaze u Bosni i Hercegovini na oko 700 ha, a plantaže euro-američkih topola na oko 100 ha, s tim da postoje mnoge manje skupine stabala topola duž vodotoka koje nisu uzete u obzir te mnogi nasadi u drvodredima u južnom i jugozapadnom dijelu zemlje. Ipak, prema novoj inventuri šuma, gdje su svrstane sve poplavne šumske zajednice, postoji potencijal od 40 000 ha za topolove šume, ili za podizanje intenzivnih i ekstenzivnih nasada (Lojo i Balić 2011). S ovako malim površinama pod topolama u Bosni i Hercegovini ne može se pretendirati na neku veliku proizvodnju, kao što je to slučaj u susjednim zemljama. Ipak, prednost je Bosne i Hercegovine u njezinom autohtonom genofondu koji je, slobodno se može reći, jedan od najbolje očuvanih u Europi po pitanju crnih topola.

Na proučavanju sezonskih fenoloških promjena općenito u cijelom svijetu, kao i u našem regionu, radi se s većim ili manjim intenzitetom više od sto godina. Podaci o mnogim fenološkim istraživanjima dostupni su u različitim radovima domaćih (Ballian i Velić 2011; Ballian i sur. 2012; Kremer 2001, 2002) i stranih autora (Fussi 2010).

Rezultatima fenoloških opažanja u klonskom arhivu crnih topola željelo se prikazati kakve su fenološke karakteristike klonskog materijala koji je u njemu zastupljen (Ballian i Kajba 2015). Na temelju dobivenih rezultata iz ovog istraživanja moglo se dati preporuke za korištenje ove značajne vrste u njenoj reintrodukciji u, za nju, optimalnim mikroklimatskim uvjetima, kao i u selekciji najboljih individua za ponovnu reintrodukciju.

Klonski arhiv je smješten u rasadnik Žepče, na lokalitetu Šećin Han (44°25'N, 18°00'E), na aluvijalno-deluvijalnim nanosima. Autohtoni materijal je sabran iz prirodnih populacija crnih topola u Bosni i Hercegovini sa 26 lokaliteta koji su grupirani u pet metapopulacija: Neretva (26 stabala), Bosna (58 stabala), Vrbas (35 stabala), Spreča (8 stabala) i Drina (32 stabla), (Ballian 2009; Ballian i Mekić 2008a i b).

Osmatranja fenoloških promjena izvršena su u 2007. (od 04.03. do 13.04.), 2008. (od 04.03. do 20.04.) i 2009. godini (od 30.03. do 18.04.), u periodu od kraja veljače do kraja travnja. Tijekom tog perioda praćene su tri fenološke faze. Kao početak osmatranja definiran je dan tijekom kojeg je opaženo da je na terminalnom pupu primijećena određena promjena.

Osmatranja su vršena svaka tri dana na početku vegetacijske sezone, a tijekom razvitka pupova svaka dva dana na 159 klonova. Prva osmatranja izvršena su dva tjedna prije pretpostavljenog datuma kada počinje bubrenje pupova. Praćene su tri faze: F1 - bubrenje pupa (izduženi, nabubreni pupovi, žućkasto-zelenkaste boje, vršci mladih listova imaju opnu, a još je nisu probili), F2 - otvaranje pupa (napukli i vidi se prvo zelenilo), F3 - pojava zelenog lista sa razvijenom plohom lista, a prikazani su na Slici 27.



Faza - F1



Faza - F2



Faza - F3

Slika 27. Fenološke faze kod crnih topola (F1 - bubrenje pupa (izduženi, nabubreni pupovi, žućkasto-zelenkaste boje, vršci mladih listova imaju opnu, a još je nisu probili), F2 - otvaranje pupa (napukli i vidi se prvo zelenilo), F3 - pojava zelenog lista sa razvijenom plohom lista)

Osnovne klimatske karakteristike za period vršenja fenoloških osmatranja dobivene su od Federalnog hidrometeorološkog zavoda BiH za najbližu meteorološku postaju, u našem slučaju postaju Zenica, koja je udaljena oko 25 km.

Statistička obrada podataka je obavljena za početak i kraj svake osmatrane fenološke faze za svaku jedinku, a rezultati su dobiveni korištenjem programa Microsoft Excel 2007 i SPSS 15.0 for Windows.

11.2. Deskriptivna analiza fenofaza

Na temelju analize podataka za 2007. godinu možemo primijetiti da, između pet populacija, populacija Drina (4,41 dana) i Neretva (5,08 dana) imaju najkraće prosječno vrijeme trajanja bubrenja pupa, dok je najduže prosječno vrijeme potrebno Bosni (5,79 dana) i Spreči (6,00 dana) od dana početka praćenja. Prosječni broj dana koji je protekao od početka praćenja pa do dana fenofaze otvaranja pupa najduži je za populaciju Vrbas (18,00 dana), a najkraći za topole koje

Tablica 13. Pokazatelji deskriptivne analize i analize varijance po godinama

Faza	Populacija (Vodotok)	2007. godina (od 04.03. do 13.04.)			2008. godina (od 04.03. do 20.04.)			2009. godina (od 30.03. do 18.04.)		
		Srednja vrijednost	Stan. devijacija	F _o	Srednja vrijednost	Stan. devijacija	F _o	Srednja vrijednost	Stan. devijacija	F _o
Bubrenje pupa (dani)	Vrbas	5,74	1,68	6,33**	12,97	8,39	8,88**	31,65	0,55	9,02**
	Neretva	5,08	2,03		9,56	1,32		30,20	1,22	
	Drina	4,41	1,52		4,94	3,15		30,35	0,83	
	Bosna	5,79	0,76		9,43	5,28		30,69	1,21	
	Spreča	6,00	0,00		8,38	5,52		30,13	1,55	
	Total	5,40	1,50		9,25	5,96		30,70	1,16	
Otvaranje pupa (dani)	Vrbas	18,00	10,16	15,44**	21,33	7,63	11,88**	34,87	1,43	13,22**
	Neretva	10,23	3,42		14,44	2,61		32,28	0,98	
	Drina	7,41	1,52		12,29	3,29		32,58	0,84	
	Bosna	16,33	6,11		16,74	5,96		33,46	1,92	
	Spreča	13,75	8,79		17,13	4,67		33,25	1,83	
	Total	13,77	7,62		16,47	6,23		33,36	1,73	
Pojava zelenog lista (dani)	Vrbas	28,69	7,49	37,53**	29,00	8,50	9,30**	40,90	3,45	15,11**
	Neretva	23,27	4,17		27,64	3,90		36,44	0,50	
	Drina	15,69	3,81		20,23	3,42		36,58	0,80	
	Bosna	28,41	4,97		26,83	6,94		38,57	2,99	
	Spreča	30,25	4,16		29,50	7,52		39,25	3,61	
	Total	25,16	7,35		26,23	7,07		38,32	3,02	

pripadaju slivu Drine (7,41 dana). Prosječni broj dana koji je protekao od početka praćenja pa do dana fenofaze pojave zelenog lista najduži je za populaciju Spreča (30,25 dana), a najkraći za Drinu (15,69 dana). Analizom varijance (Tablica 13.) utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između populacija za sva tri analizirana svojstva. Iz detaljnije analize može se primijetiti da su subpopulacije Čapljina, Konjic, Visoko, Kopači, Osanica, Tegare i Banjaluka najranije počele s bubenjem pupa (04.03.). Subpopulacije Kopači i Osanica su prve završile sve fenofaze razvitka lista.

U pet populacija (Tablica 13.) vidimo da populacije Drina (4,94 dana) i Spreča (8,38 dana) imaju najkraće prosječno vrijeme koje je potrebno da protekne od dana početka praćenja pa do dana pojave bubenja pupa, dok je najduže prosječno vrijeme potrebno Vrbasu (12,97 dana) i Neretvi (9,56 dana). Prosječni broj dana za fenofazu otvaranje pupa od početka praćenja je najduži za populaciju Vrbas (21,33 dana), a najkraći za Drinu (12,29 dana). Prosječni broj dana od dana praćenja pa do pojave zelenog lista najduži je za populaciju Spreča (29,50 dana), a najkraći za Drinu (20,23 dana).

Analizom varijance (Tablica 13.) utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između populacija u broju dana potrebnih od početka praćenja pa do dana određene fenofaze. Koeficijent varijabilnosti za sve tri fenofaze je približno jednak. Detaljna analiza podataka za 2008. godinu ukazuje da su subpopulacije Bilješevo, Babina Rijeka, Doboj, Toplice, Rudnik, Lukavac, Visoko, Kakanj, Kopači, Osanica, Tegare i Banjaluka najranije počele s bubenjem pupa (04.03.). Subpopulacija Kopači završila je prva sve fenofaze razvitka lista (18.03.).

U pet populacija (Tablica 13.) vidimo da populacije Spreča (30,13 dana) i Neretva (30,20 dana) imaju najkraće prosječno vrijeme od početka praćenja pa do bubenja pupa, dok je najduže prosječno vrijeme potrebno Vrbasu (31,65 dana) i Bosni (30,69 dana). Prosječni broj dana od početka praćenja do fenofaze otvaranja pupa najduži je za populaciju Vrbas (34,87 dana), a najkraći za Neretvu (32,28 dana). Prosječni broj dana od početka praćenja do fenofaze pojave zelenog lista najduži je za populaciju Vrbas (40,90 dana), a najkraći za Neretvu (36,44 dana). Analizom varijance (Tablica 13.) utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između populacija u broju dana potrebnih od početka praćenja do pojave određene fenofaze. Detaljnijom analizom je vidljivo da su subpopulacije Čapljina, Zenica, Babina Rijeka,

Doboj, Rudnik, Gračanica, Lukavac, Osanica i Tegare najranije počele s bubrenjem pupa (30.03.). Subpopulacija Bilješevo je prva završila sve fenofaze razvitka lista za 2009. godinu.

11.3. Usporedbe fenofaza i temperatura u vrijeme fenofaza kroz godine za svaku populaciju

Na temelju analize potvrđujemo da broj dana od početka praćenja do bubrenja pupa između populacija nije isti u sve tri godine promatranja. Razlog tome su temperature koje su varirale kroz godine. Tako se za 2009. godinu broj dana koji je protekao u tom periodu kretao od 30 do 32 dana od početka našeg praćenja, za 2008. godinu taj period je bio od 5 do 13 dana, dok je za 2007. godinu bio od 4 do 6 dana.

Pojava varijabilnosti bubrenja pupa prema godinama nije ista za sve populacije, a varijabilnost je potvrđena i testom Wilks' Lambda koji pokazuje da postoji statistički značajna razlika u broju potrebnih dana od početka praćenja do bubrenja pupa po godinama za sve populacije ($F_0 = 12238,86^{**}$). Također, za 2007., 2008. i 2009. godinu statistički značajna razlika je potvrđena i Duncanovim testom, a populacije su svrstane u tri skupine. Ovom analizom populacije Vrbas i Drina nemaju povezanost s ostalim populacijama. Populaciji Vrbas broj potrebnih dana od početka praćenja do bubrenja pupa je 16,95, dok je za populaciju Drina 13,16. Populacije Spreča, Neretva i Bosna također su svrstane u posebnu grupu jer im je potreban približno isti broj dana. Ovakvo grupiranje je uvjetovano unutrašnjom genetičkom strukturom populacija, a što je posljedica evolutivnih čimbenika (nadmorska visina, ekspozicija, temperatura, oblik reljefa, tip tla i sl.).

11.4. Diskriminantna analiza

Kao što je već ranije rečeno, broj potrebnih dana do otvaranja pupa po godinama nije isti za sve populacije. To potvrđujemo i testom Wilks' Lambda sa $F_0 = 725,74^{**}$ koji pokazuje da postoji statistički značajna razlika u broju potrebnih dana do otvaranja pupa po godinama za sve populacije. Analiza fenofaze otvaranja pupa za 2007., 2008. i 2009. godinu pokazuje tu statistički značajnu razliku između populacija. Duncanovim testom populacije su svrstane u tri skupine. Broj potrebnih dana do otvaranja pupa najmanji je bio u populaciji Drina 17,39, a najviši u populaciji Vrbas 25,10 dana od dana početka praćenja.

Također, broj potrebnih dana od početka praćenja do pojave zelenog lista po godinama nije isti za sve populacije. To potvrđujemo i testom Wilks' Lambda i veličinom $F_o = 436,32^{**}$ za godine te je vidljivo da postoji statistički značajna razlika u broju potrebnih dana do pojave zelenog lista po godinama za sve populacije.

Analiza fenofaze pojave zelenog lista za 2007., 2008. i 2009. godinu pokazuje da postoji statistički značajna razlika između populacija. Duncanovim testom populacije su svrstane u tri skupine. Iz rezultata vidimo da provenijencija Drina nema povezanosti s ostalim populacijama. Prosječni broj dana od početka praćenja do pojave zelenog lista je najmanji za populaciju Drina (24,04 dana), dok je za populaciju Vrbas potreban najveći broj dana (33,05 dana).

11.5. Korelacija istraživanih svojstava za sve populacije po godinama

Korelacija je određivana za odnos: broj dana-bubrenje pupa, broj dana-otvaranje pupa, broj dana-pojava zelenog lista, temperature-bubrenja pupa, temperature-otvaranja pupa i temperature-pojave zelenog lista. Određeni komparirani parovi pokazuju visoke vrijednosti koeficijenta varijabilnosti, što govori da su ta svojstva u pozitivnoj korelaciji u 2007. godini, odnosno porast vrijednosti jedne varijable utječe na rast druge varijable – npr. bubrenje pupa/otvaranje pupa ($r=0,752$), temperatura bubrenja pupa/pojava zelenog lista ($r=0,542$). U drugim slučajevima, vrijednost koeficijenta korelacije ima niske i negativne vrijednosti, odnosno rast jedne varijable prouzrokuje pad vrijednosti druge varijable, npr. bubrenje pupa/temperatura u vrijeme otvaranja pupa ($r=-0,186$). Visoke i pozitivne vrijednosti koeficijenta korelacije u 2008. godini pokazuju komparirani parovi pojava zelenog lista i temperatura u vrijeme pojave zelenog lista ($r=0,932$), bubrenje pupa i pojava zelenog lista ($r=0,823$), bubrenje pupa i otvaranje pupa ($r=0,745$) i otvaranje pupa i temperature u vrijeme pojave zelenog lista ($r=0,725$). Negativan i visok koeficijent korelacije (r) imaju otvaranje pupa i temperatura u vrijeme otvaranja pupa ($r=-0,312$), temperatura u vrijeme otvaranja pupa i temperatura u vrijeme pojave zelenog lista ($r=-0,300$) i pojava zelenog lista i temperature u vrijeme otvaranja pupa ($r=-0,237$).

Visoki koeficijenti varijabilnosti za 2009. godinu ukazuju da postoje pozitivne korelacije između otvaranja pupa i temperature u vrijeme otvaranja pupa, između bubrenja pupa i otvaranja pupa, između

bubrenja pupa i temperature u vrijeme otvaranja pupa (pozitivna korelacija). Niski koeficijent korelacije postoji između temperature u vrijeme otvaranja pupa i temperature u vrijeme pojave zelenog lista, otvaranja pupa i temperature u vrijeme pojave zelenog lista, bubrenja pupa i temperature u vrijeme bubrenja pupa (negativna korelacija).

Početak i kraj fenofaza, kao i trajanje fenoloških faza crne topole u klonskom arhivu u rasadniku Žepče, nije isti za 2007., 2008. i 2009. godinu.

Deskriptivna analiza pokazuje broj dana koji je prošao od početka praćenja do određene fenofaze. Tako je broj potrebnih dana do bubrenja pupa najveći u 2009. godini za populaciju Vrbas (31,65 dana), a najmanji u 2007. godini za populaciju Drina (4,41 dana). Do otvaranja pupa najveći broj dana je u 2009. godini za populaciju Vrbas (34,87 dana), a najmanji u 2007. godini za populaciju Drina (7,41 dana). Najveći broj potrebnih dana do pojave zelenog lista ima populacija Vrbas (40,90 dana) za 2009. godinu, a najmanji u 2007. godini za populaciju Drina (15,69 dana).

Provedena analiza varijance potvrdila je da postoji statistički značajna varijabilnost između populacija u broju dana potrebnih do određene fenofaze, kao i u temperaturama za navedene fenofaze za sve tri godine promatranja. Za 2007. i 2009. godinu najveća varijabilnost je bila za svojstvo broj potrebnih dana do pojave zelenog lista, a najmanja za svojstvo bubrenje pupa.

Multiplim testiranjem po Duncanu utvrđene su statistički značajne razlike u fenofazama, s tim da za svojstva bubrenje pupa, otvaranje pupa, pojava zelenog lista, temperatura u vrijeme bubrenja pupa pokazuje grupiranje u tri skupine, za svojstvo temperatura u vrijeme otvaranja pupa grupiranje u četiri skupine, dok za svojstvo temperatura u vrijeme pojave zelenog lista grupiranje u dvije skupine.

Korelacije istraživanih svojstava za sve populacije i za sve godine pokazuju visoke vrijednosti koeficijenta varijabilnosti.

Na proučavanju fenologije općenito u cijelom svijetu, kao i u našem regionu, radi se većim ili manjim intenzitetom više od sto godina. Podaci o mnogim fenološkim istraživanjima dostupni su u različitim radovima domaćih (Ballian i Velić, 2011; Ballian i sur., 2012; Kremer, 2001; Kremer, 2002) i stranih autora (Fussi, 2010), web stranicama i kalendarima prirode.

U ovom poglavlju su date međupopulacijske varijabilnosti crne topole (*Populus nigra* L.) u klonskom arhivu „Žepče“ na osnovi fenolo-

gije listanja i temperature u vrijeme listanja. Fenologija listanja praćena je tijekom 2007., 2008. i 2009. godine, pri čemu su evidentirani datumi triju fenoloških faza: bubrenje pupa, otvaranje pupa i pojave zelenog lista.

Analizom temperatura i fenoloških svojstava crne topole u klonskom arhivu Žepče pokušano je statističkim metodama utvrditi interakciju genotip-okolina i skrenuti pažnju na važnost očuvanja prirodnih populacija crne topole jer upravo one predstavljaju osnovni izvor varijabilnosti genetskog materijala ove vrste. S obzirom na to da se razvitak svake populacije temelji na genetskim osobinama, kao i raznim utjecajima okoliša, fenološke metode su dobri pokazatelji interakcije genoma i staništa.

Fenološkim istraživanjem u ovom radu željela se utvrditi varijabilnost fenoloških faza kod crnih topola koje potječu iz različitih populacija, a sada se nalaze i rastu u istim ekološkim uvjetima. Također se željela utvrditi varijabilnost trajanja fenofaza u odnosu na visine temperatura za 2007., 2008. i 2009. godinu.

Prema rezultatima koji su dobiveni na osnovi trogodišnjeg praćenja u klonskom arhivu Žepče, vrijeme trajanja fenofaza je različito za pojedine populacije, kako unutar jedne godine, tako i za sve tri godine praćenja. Ballian i Velić (2011) u svom radu na šest različitih lokaliteta na području Sarajeva utvrdili su značajne razlike između promatranih fenoloških faza hibridnih platana (*Platanus x acerfolia* Aiton./Willd.), kako u njihovom početku, tako i u trajanju vegetacijskog perioda svake.

Prema rezultatima Mujagić-Pašić (2010), na osnovi dvogodišnjeg praćenja fenologije pitomog kestena na području Bosanske Krajine uočava se postojanje razlika u početku i dužini trajanja pojedinih fenofaza između subpopulacija, između sezona, ali i između samih individua iste subpopulacije. Višegodišnjim osmatranjem fenoloških



Slika 28. Dekupirane stare crne topole u Babinoj Rijeci (Zenica)

faza listanja crne topole možemo zaključiti da početak vegetacije ovisi o visini proljetnih temperatura. Tako možemo reći da su sve fenofaze počele najranije u 2007. godini, prije nego u 2008. i 2009. godini, jer je srednja temperatura za mjesec ožujak bila veća nego za naredne godine i iznosila je 8,7°C, dok je za 2008. iznosila 7,0°C, a za 2009. godinu 5,0°C. U konkavnim oblicima terena, prije svega niskih noćnih temperatura, razvitak biljaka se usporava ili ubrzava (Kremer, 2001). U prosjeku, listanje u klonskom arhivu počinje rano u ožujku i završava početkom svibnja. Tako je iz godine u godinu uočen kasniji početak listanja kod svih istraživanih populacija za 23 dana u 2009. godini u odnosu na isti period prethodne dvije godine. Uzrok tome su relativno niže srednje i maksimalne temperature u mjesecima početka listanja u 2009. godini.

Broj potrebnih dana od početka do kraja praćenja fenofaza u 2007. godini najmanji je bio za populaciju Drina, što je slučaj i za 2008. godinu, dok je za 2009. najmanji broj dana bio potreban populaciji Neretva, no ni populaciji Drina nije bio potreban nešto veći broj dana, što je možda posljedica njenog prenošenja u nove ekološke uvjete.

U ovom radu rezultati deskriptivne međupopulacijske razlike istraživanih fenofaza i temperatura u vrijeme listanja crne topole analizirani su u cilju utvrđivanja postojanja ili nepostojanja statistički značajnih razlika dana trajanja pojedinih fenofaza kao i temperatura u vrijeme trajanja pojedinih fenofaza po godinama, pri čemu je utvrđena statistički visoka značajna razlika za većinu analiziranih svojstava. Za sagledavanje međupopulacijske varijabilnosti istraživanih svojstava crne topole kao najpogodnija mjera uzet je koeficijent varijabilnosti. Vrijednost ovog koeficijenta za sve populacije kroz godine bio je najveći: za fazu bubrenja pupa u 2008. godini (13,86 - 65,97%), za fazu otvaranja pupa u 2007. godini (20,53 - 63,96%), dok je za pojavu zelenog lista u 2008. godini (14,12 - 29,33%), temperature u vrijeme bubrenja pupa u 2008. godini (13,37 - 41,89%), temperature u vrijeme otvaranja pupa u 2008. godini (38,27 - 63,29%) i za temperature pojave zelenog lista u 2007. godini (7,49 - 30%).

Analiza varijance (ANOVA) provedena je kako bi se potvrdila međupopulacijska varijabilnost trajanja fenofaza i temperature u vrijeme trajanja fenofaza po godinama, pri čemu je uočeno postojanje statistički značajne varijabilnosti među populacijama. Poslije

ove analize učinjena su multipla testiranja po Duncanu čime je utvrđeno da se za sve tri godine istraživanja faze bubrenja pupa, otvaranje pupa i pojava zelenog lista, kao i temperature bubrenja pupa izdvajaju u tri grupe, dok se za svojstvo temperatura u vrijeme otvaranja pupa grupiraju u četiri grupe, a za svojstvo temperatura u vrijeme pojave zelenog lista u dvije grupe. Ovakvo grupiranje može biti uvjetovano unutrašnjom genetičkom strukturom populacija, ali i djelovanjem različitih ekoloških uvjeta (nadmorska visina, ekspozicija, temperatura, oblik reljefa, tip tla i sl.) koji mogu značajno varirati između dviju relativno bliskih lokacija, što nije u našem slučaju.

Promatrajući koeficijente korelacije za istraživana svojstva, može se zaključiti da postoje visoke statistički značajne korelacije između većine istraživanih svojstava za sve tri godine promatranja.

Utvrđena međupopulacijska razlika fenoloških svojstava lista u istraživanim populacijama posljedica je djelovanja kako unutarnjih (genetskih), tako i vanjskih (ekoloških) utjecaja. Na temelju dobivenih rezultata neophodna su detaljnija istraživanja niza drugih važnih čimbenika koji utječu na varijabilnost same vrste kao što su genetska, fitocenološka, taksonomska, pedološka i druga istraživanja koja ovim istraživanjima nisu bila obuhvaćena.

Ovakav oblik individualne međupopulacijske varijabilnosti može predstavljati polaznu osnovu za daljnja istraživanja oplemenjivanja i očuvanja crne topole u Bosni i Hercegovini.

Također se mogu koristiti za rasadničku proizvodnju, opažanja pojedinih razvojnih stadija na vrstama drveća i grmlja, mogu biti indikatori za mikroklimatske osobnosti lokacije objekata jer u kombinaciji s meteorološkim elementima mogu služiti kao dopuna za kompletniju predstavu mikroklimat konkretnih objekata.

Dok ne budemo imali potrebne rezultate na molekularno-genetičkoj razini ili na razini testa provenijencija, moramo se zadovoljiti uporabom materijala za reintroduciranje samo za lokalne zahtjeve, ne miješajući ga s drugim materijalom. Tako bi se klonovi iz Sarajeva koristili u području Sarajeva, a klonovi iz Banjaluke samo u Banjaluci. Eventualno bi se moglo izvršiti obazrivo miješanje u slivovima rijeka, ali vrlo oprezno i to samo u zonama koje su intermedijarne između arhiviranih populacija, a o nekom većem miješanju se ne bi smjelo govoriti.

12. MOLEKULARNA VARIJABILNOST CRNIH TOPOLA

12.1. Genetska karakterizacija europskih crnih topola (*Populus nigra* L. ssp. *nigra*) i dlakavih crnih topola (*Populus nigra* ssp. *caudina*)

Molekularno-genetskim analizama želi se upotpuniti poznavanje genetske strukture crnih topola u Bosni i Hercegovini na temelju

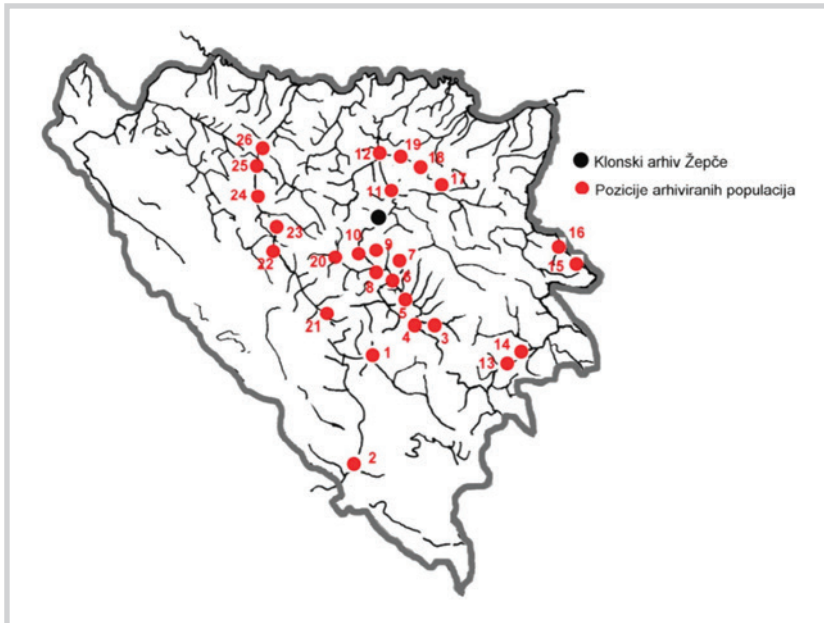
Tablica 14. Osnovni podaci o korištenom materijalu

Rijeka	Lokalitet	Zemljopisna duljina	Zemljopisna širina	Nadmorska visina (m)	Broj uspješno analiziranih biljaka
Neretva gornji tok	Konjic	43°40' 11"	17°58' 36"	341	9
Neretva donji tok	Čapljina	43°08' 41"	17°43' 47"	36	14
Bosna gornji tok	Sarajevo	43°51' 20"	18°24' 08"	539	3
	Ilidža	43°49' 16"	18°17' 57"	496	1
	Visoko	43°59' 27"	18°10' 56"	422	4
	Dobrinje	44°07' 13"	18°06' 36"	375	1
	Rudnik	44°08' 10"	18°03' 40"	410	3
	Bilješevo	44°07' 57"	17°59' 48"	362	8
Bosna srednji tok	Babina Rijeka	44°11' 55"	17°55' 30"	345	6
	Zenica	44°12' 12"	17°54' 43"	315	4
Bosna donji tok	Maglaj	44°34' 24"	18°06' 10"	201	3
	Doboj	44°44' 24"	18°05' 55"	137	11
Lašva uključena u srednji tok Bosne	Travnik	44°13' 08"	17°41' 30"	476	4
Vrbaš gornji tok	Bugojno	44°00' 57"	17°29' 14"	600	7
Vrbaš srednji tok	Jajce	44°18' 58"	17°14' 48"	389	2
	Podmilačje	44°21' 59"	17°17' 48"	351	4
	Krupa	44°36' 52"	17°08' 55"	211	4
Vrbaš donji tok	Toplice	44°44' 18"	17°09' 17"	170	5
	Banjaluka	44°46' 09"	17°13' 05"	152	10
Drina gornji tok	Osanica	43°36' 36"	18°52' 07"	359	6
	Kopači	43°40' 26"	19°02' 01"	348	8
Drina donji tok	Tegare	44°06' 53"	19°29' 20"	187	10
	Bratunac	44°10' 08"	19°23' 57"	173	1
Spreča	Lukavac	44°33' 15"	18°28' 44"	175	5
	Gračanica	44°40' 40"	18°18' 13"	154	2
	Velika Brijesnica	44°43' 28"	18°10' 23"	144	1

DNK analiza. Također, ovim istraživanjem će biti učinjen i pokušaj određivanja molekularno-genetske povezanosti populacija crnih topola u Bosni i Hercegovini, duž riječnih vodotoka.

Pored fundamentalnog značaja ovog istraživanja, ono je također primjenljivo u budućem gospodarenju crnim topolama jer će dati bolju genetsku sliku, što je značajno za daljnje radove na njihovom oplemenjivanju, odnosno kod kontrole podrijetla reproduksijskog materijala, bitnog za proces umjetne obnove degradiranih riječnih staništa kao i za poslove vezane za identificiranje klonova u arhivu crnih topola u Žepču.

Za ovo istraživanje je tijekom rujna 2014. godine sabran biljni materijal u klonoskoj arhivi crnih topola u Žepču (Ballian i Mekić 2008a i b; Ballian 2009). Sabirani su zeleni listovi sa 141 klon čije su ortete bile starije od 80 godina prilikom sabiranja, podrijetlom iz 26



Karta 6. Istraživane populacije crnih topola:

1 - Konjic, 2 - Čapljina, 3 - Sarajevo, 4 - Ilidža, 5 - Visoko, 6 - Kakanj, 7 - Rudnik, 8 - Bilješevo, 9 - Babina Rijeka, 10 - Zenica, 11 - Maglaj, 12 - Dobož, 13 - Osanica, 14 - Kopači, 15 - Tegare, 16 - Bratunac, 17 - Lukavac, 18 - Gračanica, 19 - Velika Brijesnica, 20 - Travnik, 21 - Bugojno, 22 - Jajce, 23 - Podmilačje, 24 - Krupa, 25 - Toplica, 26 - Banjaluka.

populacija (Tablica 14., Karta 6.) i koji su nakon sabiranja pohranjeni u silika gel do ekstrakcije DNK. Tijekom analize detektirali smo hibride nastale povratnom hibridizacijom s euro-američkim hibridima te smo ih isključili iz analize, dok je uspješno analizirano 136 individua (N).

Za ekstrakciju DNK iz suhog biljnog materijala uporabljen je *Innupure C16 and innuPREP Plant DNA Kit-IP-C16* proizvođača *Analytik Jena*, a provjera ekstrakcije obavljena je na agarom gelu od 2%. Za amplifikaciju su uporabljene mikrosatelitne početnice za topole koje su date u Tablici 15., a koje su ranije uspješno uporabljene i u sličnim istraživanjima (Cremer i Konnert 2010; Tröber i Wolf 2015) te će to omogućiti širu uporabu rezultata u budućnosti. Uključene su i neke od početnica koje daju specifične alele, a koje osiguravaju karakterizaciju *Populus nigra* i *P. deltoides*, odnosno njihovih hibrida (Ziegenhagen i sur. 2008, Rathmacher i sur. 2009).

Tablica 15. Uporabljene početnice i potrebne koncentracije za višestruku PCR reakciju

Početnica (Genski lokus)	Referenca	Oznaka biljega	Alelni raspon u pb	Broj alela	Multiplex	Koncent.	Specifični Aleli*
PMGC_14	IPGC	Cy5	202-226	9	1	2 µM	2
WPMS_18	Smulders i sur. 2001	BMN-6	226-253	9	1	2 µM	1
WPMS_09	van der Schoot i sur. 2000	DY-751	246-306	18	1	2 µM	1
PMGC_2163	IPGC	Cy5	220-258	18	2	2 µM	1
WPMS_14	Smulders i sur. 2001	BMN-6	228-279	12	2	2 µM	
WPMS_12	van der Schoot i sur. 2000	DY-751	159-179	10	2	2 µM	
WPMS_20	Smulders i sur. 2001	Cy5	224-254	6	3	2 µM	
WPMS_05	van der Schoot i sur. 2000	BMN-6	185-305	13	3	2 µM	
ORPM_23	Tuskan i sur. 2004	DY-751	171-193	11	3	2 µM	
PMGC_456	IPGC	Cy5	79-86	3	3	5 µM	

(* specifični alel za *P. deltoides*). IPGC - *Populus* Molecular Genetics Cooperative (http://www.ornl.gov/sci/ipgc/ssr_resource.htm) : International *Populus* Genome Consortium

Za lančanu reakciju polimerazom uporabljene su tri višestruke reakcije uz *Qiagen Type-it Multiplex Kit* s temperaturom nalijeganja od 57°C uz ukupno 28 krugova u termokrugu.

Za analizu produkata dobivenih lančanom reakcijom polimerazom uporabljen je *CEQ 8000* kapilarni elektroforetski sustav (Fa. Beckman-Coulter). Za statističku analizu smo uporabili novi softver *CONVERT* (Glaubitz 2004) and *GDA_NT* (Degen 2008), *STRUCTURE* 2.2 (Pritchard i sur. 2007) i *GeneAIEx* (Peakall i Smouse 2012), a za samu



Slika 29. Tipično stanište vrba i topola, s puno vrbinog i topolinog pomlatka na sprudovima

analizu grupirali smo populacije prema odvojenim dijelovima slivova, dok smo populacije rijeke Bosne podijelili na gornji, srednji i donji tok (Tablica 14.).

Uporabom deset mikrosatelitskih biljega, analiziran je polimorfizam u šest riječnih slivova gdje su za analizu uporabljena stara stabla autohtonih crnih topola (Tablica 15.). Nakon uspješno urađenoga sekvencioniranja amplificiranih uzoraka iz analiziranih populacija i statističke obrade podataka, kao rezultat mikrosatelitske analize dobivena su ukupno 422 alela u svim istraživanim populacijama (Tablica 14. i 16.). Iz ovih rezultata je vidljivo da u istraživanim populacijama postoji velika polimorfnost, odnosno velika genetska raznolikost, čak i u malim, izoliranim populacijama koje su obuhvaćene ovim istraživanjem te pored ograničenog broja stabala.

Kada integralno analiziramo slivove, u ovom istraživanju je registrirana 100% polimorfnost (p%) kod svih analiziranih lokusa, izuzev populacije Neretva gdje je registrirano 90% polimorfnih genskih lokusa. Također je registriran udio nespecifičnih alela koji su nađeni

kod 17 individua iz svih istraživanih populacija. Zbog tog malog broja specifičnih alela nismo bili u mogućnosti ovo istraživanje iskoristiti za određivanje migracija poslije zadnje glacijacije. Inače, populacije donji tok Neretve i gornji tok Vrbasa pokazuju najmanje vrijednosti broja alela za šest ispitivanih genskih lokusa (Tablica 16.).

Interesantna je usporedba broja analiziranih individua i genotipova. Kako je jako mali broj stabala zbog ograničenog broja starih stabala, tako u populaciji gornji tok Vrbasa imamo kod 7 stabala samo 3 genotipa, dok u populaciji gornji tok Bosne kod 20 stabala imamo 19 genotipova. Tako je kod detekcije od 10 genskih lokusa registrirano za gornji tok Vrbasa samo 29 alela, dok je u populaciji gornji tok Bosne registriran 81 alel (Tablica 16.).

Analizom alelne raznolikosti možemo primijetiti da populacija gornjeg toka rijeke Bosne pokazuje najveću vrijednost, dok populacije gornji tok Vrbasa i donji tok Neretve imaju najmanju alelnu raznolikost (Tablica 20.). Inače, alelna raznolikost se kretala od 1,000 za *PMGC_456* u populaciji Neretve i donjeg toka Vrbasa, do 11,765 za genski lokus *PMGC_2163* u populaciji gornji tok Bosne. Za populaciju donjeg toka Neretve interesantno je da su za osam genskih lokusa dobivene najmanje vrijednosti alelne raznolikosti (Tablica 17.). Kada analiziramo populacijsku raznolikost, tada primjećujemo da je donji tok Neretve s najmanjom vrijednošću, a gornji tok Bosne s najvećom.

Vrlo važno mjerilo genetske raznolikosti u populaciji je heterozigotnost koja, zapravo, označava broj heterozigota u istraživanoj populaciji. Stvarne heterozigotnosti su skoro u svim slučajevima veće od teorijskih (Tablica 20.) ili su razlike minimalne, što ukazuje na odsustvo inbridinga ili je u pitanju mala vrijednost. Ovdje se treba osvrnuti i na populaciju gornjeg toka Vrbasa kod koje su prisutna samo tri genotipa, što je ostavilo traga i na heterozigotnost ove populacije.

Razlike između stvarne i teorijske heterozigotnosti pokazuju odstupanje stvarnog stanja od uravnoteženog stanja populacije, a što je bilo i za očekivati s obzirom na veličinu i strukturu istraživanih populacija. Tako smo dobili da je najveća razlika kod populacije donji tok Neretve te da je vrijednost fiksacijskog indeksa $F_i=0,062$.

Fiksacijski indeks u pet istraživanih populacija pokazuje negativne veličine (Tablica 18.) ili male pozitivne vrijednosti, osim donjeg toka Neretve s relativno većom vrijednošću, ali bez značajnijeg inbridinga u populaciji. Tako možemo reći da su sve populacije u skoro uravnoteženom stanju.

Tablica 16. Broj registriranih alela prema populacijama

Genski lokus	Populacije (dio riječnoga sliva)										
	Neretva gornji tok	Neretva donji tok	Vrbas gornji tok	Vrbas srednji tok	Vrbas donji tok	Bosna gornji tok	Bosna srednji tok	Bosna donji tok	Spreča	Drina gornji tok	Drina donji tok
PMGC_14	5	2	2	6	6	8	5	7	7	6	6
WPMS_09	4	3	4	8	9	11	8	8	8	7	7
WPMS_18	5	4	3	5	8	7	5	6	7	5	6
WPMS_12	3	4	2	5	6	7	8	6	7	5	5
WPMS_14	6	2	3	5	6	7	8	8	6	5	7
PMGC_21636	6	3	4	9	9	15	11	11	6	5	9
PMGC_456	1	1	2	2	1	2	2	3	2	2	2
ORPM_23	8	4	3	6	6	9	5	7	5	7	6
WPMS_20	5	5	3	5	5	6	5	6	5	5	5
WPMS_05	8	6	3	8	6	9	5	6	5	10	6
Ukupno alela	51	34	29	59	62	81	62	68	58	57	59

Tablica 17. Alelna raznolikost – efektivni broj alela

Genski lokus	Populacije (dio riječnoga sliva)										
	Neretva gornji tok	Neretva donji tok	Vrbas gornji tok	Vrbas srednji tok	Vrbas donji tok	Bosna gornji tok	Bosna srednji tok	Bosna donji tok	Spreča	Drina gornji tok	Drina donji tok
PMGC_14	1,841	1,074	2,000	3,571	3,488	3,756	4,215	2,970	3,879	2,947	4,321
WPMS_09	2,348	1,931	2,970	5,882	4,945	6,299	4,308	5,600	5,565	5,158	5,042
WPMS_18	3,115	3,240	2,513	2,985	6,081	4,624	4,455	3,240	5,818	4,667	3,841
WPMS_12	2,455	2,306	1,849	2,469	3,571	3,556	4,558	3,187	4,267	3,294	3,507
WPMS_14	2,842	1,237	2,513	4,000	4,167	4,762	6,031	5,444	4,267	4,041	4,172
PMGC_21636	2,945	1,537	2,970	7,143	4,787	11,765	7,127	7,686	4,571	3,187	6,368
PMGC_456	1,000	1,000	1,324	1,342	1,000	1,280	1,153	1,446	1,280	1,074	1,095
ORPM_23	3,951	2,074	1,556	4,000	4,369	6,061	2,347	5,026	2,723	4,780	5,149
WPMS_20	4,765	3,039	2,513	4,444	3,846	4,762	3,439	3,769	3,657	3,439	4,033
WPMS_05	4,909	2,800	2,178	5,128	3,947	4,734	4,612	4,667	3,556	5,227	4,172
Gene pool	2,466	1,719	2,099	3,339	3,201	3,868	3,311	3,544	3,333	3,091	3,370

Ukupna diferenciranost istraživanih populacija iznosila je $D_j = 0,3738$, što je visoka vrijednost za jednu pionirsku vrstu. U bosansko-hercegovačkim populacijama crnih topola prisutna je relativno visoka

unutarpopulacijska diferenciranost i kretala se od $d_j=0,2917$ za donji tok Bosne do $d_j=0,5545$ za donji tok rijeke Neretve (Tablica 19.).

Tablica 18. Genetska varijabilnost: heterozigotnost i fiksacijski indeks

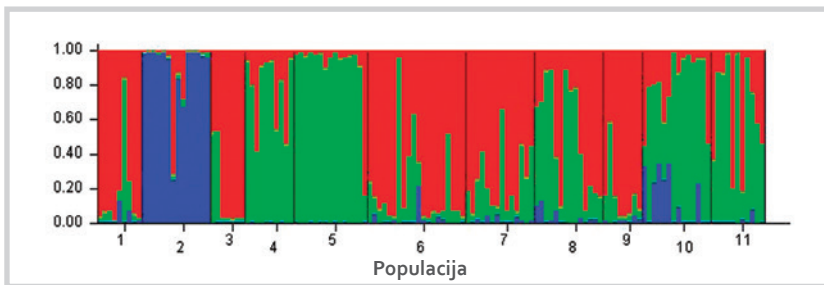
Populacija	Heterozigotnost		Fiksacijski indeks (F)
	Ho (stvarna)	He (očekivana)	
Neretva gornji tok	0,678	0,594	-0,164
Neretva donji tok	0,379	0,418	0,062
Vrbas gornji tok	0,814	0,523	-0,524
Vrbas srednji tok	0,730	0,701	-0,041
Vrbas donji tok	0,653	0,688	0,054
Bosna gornji tok	0,720	0,742	0,051
Bosna srednji tok	0,729	0,698	-0,038
Bosna donji tok	0,707	0,718	0,034
Spreča	0,738	0,700	0,016
Drina gornji tok	0,743	0,677	-0,095
Drina donji tok	0,655	0,703	0,052

Tablica 19. Genetska diferenciranost (d_j) prema Gregoriusu (1987)

Genski lokus	Populacije (dio riječnoga sliva)											
	Neretva gornji tok	Neretva donji tok	Vrbas gornji tok	Vrbas srednji tok	Vrbas donji tok	Bosna gornji tok	Bosna srednji tok	Bosna donji tok	Spreča	Drina gornji tok	Drina donji tok	Diferenciranost D_j
PMGC_14	0,4178	0,5853	0,3763	0,4621	0,4632	0,1505	0,2888	0,24	0,3009	0,3015	0,3696	0,3596
WPMS_09	0,6006	0,6776	0,7033	0,4636	0,4560	0,3971	0,4653	0,3862	0,389	0,4457	0,5535	0,5034
WPMS_18	0,545	0,5445	0,5098	0,4472	0,2573	0,2885	0,3400	0,3592	0,1526	0,324	0,4261	0,3813
WPMS_12	0,4955	0,6568	0,6684	0,6183	0,4717	0,2431	0,2867	0,3299	0,2271	0,2564	0,3926	0,4224
WPMS_14	0,5777	0,8995	0,4958	0,3756	0,4291	0,2625	0,4422	0,2663	0,2551	0,3918	0,3801	0,4342
PMGC_2163	0,6910	0,7045	0,7880	0,5245	0,4173	0,3368	0,3217	0,3965	0,5903	0,6668	0,6081	0,5496
PMGC_456	0,0874	0,0874	0,0769	0,0847	0,0874	0,0572	0,0088	0,1090	0,0572	0,0481	0,0374	0,0674
ORPM_23	0,2973	0,5167	0,6749	0,3385	0,4244	0,2281	0,4813	0,3414	0,5483	0,4454	0,2869	0,4166
WPMS_20	0,1197	0,3237	0,5504	0,1526	0,2129	0,1998	0,3563	0,2741	0,2389	0,2756	0,1796	0,2621
WPMS_05	0,3068	0,5486	0,655	0,298	0,3714	0,1982	0,3141	0,2145	0,3841	0,1683	0,2969	0,3415
Gene pool	0,4139	0,5545	0,5499	0,3765	0,3591	0,2362	0,3305	0,2917	0,3144	0,3324	0,3531	

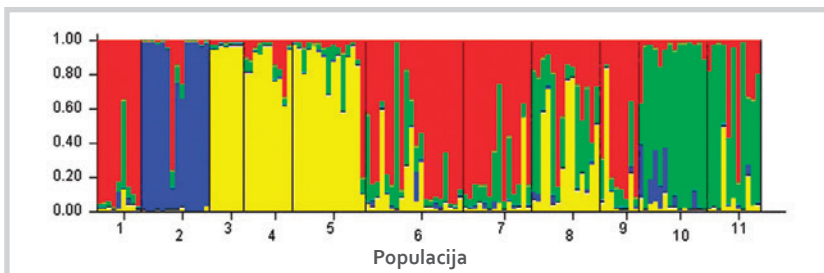
Ako, pak, analiziramo kakva je diferenciranost prema genskim lokusima (biljezima), ona se kretala od $d_j=0,1090$ za genski lokus *PMGC_456* kod donjeg toka Bosne gdje se zadržao veći broj starih autohtonih stabala topola, do $d_j=0,8995$ kod donjeg toka Neretve za genski lokus *WPMS_14*.

Dobiveni rezultati između istraživanih populacija u Tablici 6. mogu se protumačiti malim zemljopisnim udaljenostima između analiziranih populacija uz kretanje gena između njih. Kada su u pitanju populacije Neretva i gornji tok Vrbasa, one pokazuju specifičnost. U populaciji gornji Vrbas imamo samo tri genotipa, iako su stabla sakupljena s jednog šireg područja. Kada je u pitanju donji tok Neretve (Čapljina), ona je izolirana od ostalih, a pripada Jadranskom slivu te niska raznolikost i heterozigotnost, visoka vrijednost diferenciranja u njoj ukazuje da nema kretanja gena iz drugih populacija. Također, provedena analiza uz pomoć programa STRUCTURE 2.2 s klasterima $K=3$ ilustrativno pokazuje značajnu diferenciranost populacije donja Neretva (Slika 30.).



Slika 30. Zemljopisna reprezentiranost klastera sa $K=3$ skupine za svih 136 individua iz 11 populacija

Kada se primijeni isti metod s klasterom $K=4$, dobijemo grupiranje populacija Vrbasa, Drine, kao Bosne i Spreče, koje pokazuju raznolikost, dok populacija gornji tok Neretve (Konjic) pokazuje sličnosti s populacijama rijeke Bosne (Slika 31.).

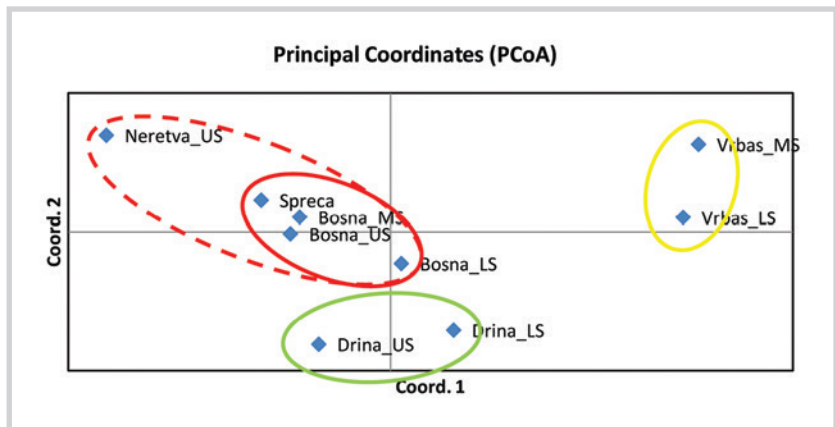


Slika 31. Zemljopisna reprezentiranost klastera sa $K=4$ skupine za svih 136 individua iz 11 populacija

Nakon što se iz statističke analize isključilo ekstremne vrijednosti, populacije donji tok Neretve (Čapljina) i gornji tok Vrbasa (Bugojno), rezultat principal komponent analize dobivenim programom Gene ALEx, temeljenim na Neiovim genetskim odstojanjima prema Peakall i Smouse (2012), pokazuje diferencijaciju (Tablica 20., Slika 32.).

Tablica 20. Postotak varijabilnosti na temelju prve 3 ose

	Ose		
	1	2	3
% prema osi	28.67	21.00	14.58
Kumulanta u %	28.67	49.67	64.25



Slika 32. Principal komponent analiza

Iz Slike 32.vidljivo je grupiranje u središnjem dijelu populacija rijeke Bosne i Spreče te još dviju skupina, dviju populacija rijeka Vrbasa i Drine, sa sličnim udaljenostima spram populacija rijeke Bosne, a što je vidljivo i iz Tablice 21.

Kada su se analizirala genotipska odstojanja, prikazana u Tablici 21., možemo primijetiti da najveća odstupanja pokazuju populacije Neretve i gornjeg toka Vrbasa, a što je potvrđeno prethodnim analizama. S obzirom na sve provedene analize i dobivene rezultate, ovo je bilo i za očekivati.

Dobiveni rezultati pokazuju da su uz pomoć korištenih mikrosatelitskih biljega razlike između populacija ili unutar populacija crnih

Tablica 21. Genotipska odstojanja prema Gregoriusu (1974)

Populacija	Neretva donji tok	Vrbas gornji tok	Vrbas srednji tok	Vrbas donji tok	Bosna gornji tok	Bosna srednji tok	Bosna donji tok	Spreča	Drina gornji tok	Drina donji tok
Neretva gornji tok	0,533	0,610	0,514	0,508	0,370	0,433	0,469	0,433	0,500	0,489
Neretva donji tok		0,689	0,681	0,640	0,572	0,586	0,575	0,553	0,507	0,601
Vrbas gornji tok			0,554	0,580	0,503	0,632	0,518	0,549	0,579	0,601
Vrbas srednji tok				0,350	0,400	0,455	0,404	0,429	0,474	0,450
Vrbas donji tok					0,415	0,443	0,340	0,449	0,455	0,378
Bosna gornji tok						0,375	0,342	0,321	0,366	0,375
Bosna srednji tok							0,389	0,342	0,411	0,397
Bosna donji tok								0,360	0,361	0,394
Spreča									0,426	0,426
Drina gornji tok										0,346

topola vidljive i jasne. Mogući su uzroci tih razlika, osim prirodne selekcije, u jakom antropogenom djelovanju, kao i u razvojnim čimbenicima ili procesima prilagođavanja na izmijenjene ekološke uvjete u posljednjih 150 godina, kao što je registrirano kod hrastova (Ballian i sur. 2010).

Samo područje Bosne i Hercegovine vrlo je specifično kad su posrijedi uvjeti okoliša jer na vrlo malom prostoru postoji velika šarolikost klimatskih, edafskih, orografskih i drugih čimbenika koji izravno utječu na diferencijaciju različitih ekotipova, a time i genetičke diferenciranosti što se temeljem istraživanja morfoloških svojstava dobilo kod crnih topola (Kajba i sur. 2004, 2015). Stoga se smatra da vrste šumskog drveća iz Bosne i Hercegovine pokazuju veliku varijabilnost u usporedbi



Slika 33. Stara crna topola kod Bugojna, gornji tok Vrbasa

s istim vrstama iz središnje, zapadne i istočne Europe, a što je dobiveno na molekularnoj razini (Ballian i sur. 2008, 2010).

Kakav je utjecaj ekoloških čimbenika, odnosno genetičkog prilagođavanja crnih topola na određeno stanište su, na morfološkoj razini kod populacije Neretve, pokazali Kajba i sur (2004, 2015) i Ballian i sur. (2006) te, na fiziološkoj razini, De Woody (2011), a rezultati ovog istraživanja to potvrđuju na molekularno-genetskoj razini. Također, dobiveni rezultati, s obzirom na registrirane specifične alele, ipak ukazuju na relativnu blizinu glacijalnog pribježišta na Balkanskom poluotoku o čemu izvještavaju Cottrel i sur. (2005), a koje je možda utjecalo na današnju genetičku varijabilnost populacija i njihovo diferenciranje.

Iz dobivenih rezultata u ovom istraživanju možemo izvesti zaključak da postoje razlike među populacijama iz različitih ekoloških niša (Stefanović i sur. 1983), u našem slučaju riječnih slivova, odnosno da je, vjerojatno, razlog tome i jaki antropogeni utjecaj kroz povijest ili su ipak razlike u klimi između staništa najznačajnije utjecale na genetičku diferencijaciju između populacija, o čemu pišu neki od autora (Kajba i sur. 2004; Ballian i sur. 2006; De Woody 2011). Ovo je posebno interesantno ako se zna da su istraživane populacije u zadnjih 150 godina bile pod velikim ljudskim selekcijskim utjecajem zbog nestručnog gospodarenja, regulacije vodotoka i isušivanja polja, a u posljednje vrijeme i zbog velikog utjecaja brojnih zagađivača koje nalazimo uz velike rijeke. Ako morfološka diferencijacija strogo prati razlike u okolišu, tada se trenutna diferenciranost uspoređuje na temelju morfotipova i razlika u okolišu, a kao rezultat se dobiju dobre smjernice za radove na očuvanju (Sork i sur. 2010; Kremer i sur. 2012). Međutim, ako morfološka diferencijacija odražava kombinaciju prilagodljivih i neadaptivnih procesa, tada je predviđanje odgovora vrste na klimatske promjene prilično komplicirano te genetska varijabilnost ne smije odgovarati adaptivnom fenotipu za određenu okolinu (De Woody i sur. 2015). Stoga se dobivene veličine genetskih parametara moraju promatrati uvjetno jer, možda, nisu samo posljedica prirodnih procesa i genetičke diferenciranosti kod kontinentalnih bosanskih populacija. Situacija s populacijom Neretva je potpuno drugačija jer je, i pored svega, pod jakim izravnim utjecajem toplog i suhog submediteranskog klimata (Kajba i sur. 2004; De Woody 2011), a koji duboko prodire dolinom Neretve u unutrašnjost Bosne i Hercegovine (Stefanović i sur. 1983).

Kao i kod nas, i u Europi postoji dobra genetska varijabilnost crnih topola uz nisku stopu diferenciranosti jer je prisutan tok gena između populacija, što su na razini izoenzimskih istraživanja potvrdili Legionnet i Lefèvre (1996), na molekularno-genetskoj razini Winfield i sur. (1998), Cottreli i sur. (1997, 2002), a na haplotipskoj razini Cottreli i sur. (2005). Za razliku od njih, van Dam i sur. (2002) su uz primjenu morfoloških, izoenzimskih i DNK biljega, dobili zadovoljavajuću diferenciranost između i unutar nekoliko riječnih sustava u Europi. Do sličnog rezultata su došli Božić i sur. (2010) za rijeke u Austriji, Sloveniji i Hrvatskoj. Primjenom više početnica, od kojih su neke bile iste kao u našem istraživanju, De Woody i sur. (2015) su dobili veću varijabilnost i heterozigotnost. Za razliku od našeg istraživanja, isti autor je dobio više negativnih vrijednosti fiksacijskog indeksa te bi se za pojavu pozitivnih vrijednosti morali pozvati na jaki antropogeni utjecaj.

Poznavanje genetičke varijabilnosti crnih topola može osigurati da se u Bosni i Hercegovini donesu planovi za obnovu topolinskih šuma, njenu reintrodukciju, kao i očuvanje genetičke raznolikosti metodom *in situ*, s obzirom na potencijal od 40 000 ha koji je za sada neiskorišten. U poslovima obnove treba dati prednost prirodnom pomlađivanju ili unošenju autohtonog klonskog reprodukcijanskog materijala iz klonske arhive u Žepču (Ballian 2009). Prilikom provođenja redovne provjere uspješnosti očuvanja genetičke raznolikosti kod mladih populacija, trebali bi se služiti analizom mikrosatelitskih biljega jer se pokazala veoma uspješnom u ovom istraživanju.

Veza ispitivanih mikrosatelitnih regija s određenim sposobnostima adaptacije crnih topola u ovom istraživanju nije registrirana na zadovoljavajućoj razini, ali rezultati koji su dobiveni za populaciju Neretva to mogu pokazati, a s obzirom i na neka druga istraživanja s kojima možemo napraviti usporedbe (Kajba i sur. 2004, 2015; Ballian i sur. 2006; De Woody 2011; De Woody i sur. 2015). Isto tako, i primarni populacijski genetski parametri mogu dati važne dokaze o adaptivnosti jedinke ili populacije, a to se, prije svega, ogleda u podacima o genetskoj raznolikosti, broju alela, efektivnom broju alela, alelnoj raznolikosti, genetskoj multilokusnoj raznolikosti, stupnju heterozigotnosti, a što je također dobiveno u ovom istraživanju. Njihovim promatranjima i sintezom rezultata mogu se donijeti odgovarajuće preporuke radi očuvanja genetske biološke raznolikosti populacija, odnosno uspješne obnove populacija.

Kad je u pitanju veličina genetske varijabilnosti, mnogi istraživači su postavili hipotezu da mala varijabilnost uzrokuje propadanje populacije i vrste (Larsen 1986) te, s obzirom na dobivene veličine heterozigotnosti, naše istraživane populacije bi trebale pokazati visok stupanj otpornosti, kao i one u Europi s kojima su radili De Woody i sur. (2015). Ta tvrdnja se može temeljiti na istraživanjima u zapadnoj Europi gdje crna topola ima relativno manju diferenciranost (Legionnet i Lefèvre 1996; Arens i sur. 1998; Winfield i sur. 1998, Pospišková i Bartáková 2004, Božič i sur. 2010) u odnosu na rezultate u ovom istraživanju i istraživanju De Woody i sur. (2015) gdje su populacije pokazale visoku varijabilnost i heterozigotnost. Osim toga, na heterozigotnost populacija uveliko utječe i tip gospodarenja u određenim područjima tijekom dužeg vremena, što je usmjeravalo raznolikost u pozitivnom ili negativnom pravcu, a treba znati i da su bosanskohercegovačke populacije crnih topola prilično devastirane, s jako narušenom strukturom, što sigurno ima utjecaja na njezinu genetsku strukturu.

Na temelju svega toga, u istraživanim populacijama situacija je vrlo složena. Imamo male populacije s dobrom heterozigotnošću, a koje karakterizira pojava polimorfizma nerazmjerna njihovoj veličini. Inače, za vrste s disjunktnim rasprostiranjem, kao što je crna topola u Bosni i Hercegovini, svojstveno je da pokazuju veliku međupopulacijsku varijabilnost i umjerenu unutarpopulacijsku varijabilnost na molekularnoj razini.

U populacijama s pojavom rijetkih alela prilikom njihove obnove posebno treba voditi računa o strukturi mlade sastojine da bi se omogućilo prenošenje rijetkih alela na sljedeću generaciju, po mogućnosti prirodnom obnovom, ali ako se to pokaže nedovoljnim, treba pristupiti i umjetnoj obnovi.

Provedenom molekularnom analizom genetske strukture crnih topola iz šest riječnih slivova i s 11 populacija, uz uporabu deset mikrosatelitskih genskih lokusa, dobili smo značajne razlike.

Registriran je veliki polimorfizam, a u populaciji donji tok Neretve i gornji tok Vrbasa registrirano je najmanje alela, 34 i 29, dok je u populaciji gornji tok Bosne registriran 81 alel.

Alelna raznolikost se, prema biljezima, kretala od 1 za genski lokus *PMGC_456* u populacijama Neretva i donji tok Vrbasa, do 11,333 za genski lokus *PMGC_2163* u populaciji gornji tok Bosne. Za populaciju



Slika 34. Klonski arhiv crnih topola u Gemencu (Mađarska)

Neretva je interesantno da kod pet genskih lokusa imamo najmanje vrijednosti.

Stvarne heterozigotnosti su skoro u svim slučajevima manje od teorijskih koje se ponašaju sukladno stvarnim heterozigotnostima.

Fiksacijski indeks u svim istraživanim populacijama pokazuje negativne ili male pozitivne veličine, ali s relativno malim vrijednostima, osim u slučaju populacije Neretva gdje imamo odstupanje, a prosječni koeficijent inbridinga je $F=0,062$.

U istraživanim populacijama prisutna je relativno visoka unutarpopulacijska diferenciranost koja se kretala od $D_j=0,2917$ kod donjeg toka Bosne do $D_j=0,5545$ kod donjeg toka Neretve, a slijedi je populacija gornjeg toka Vrbasa, te se dobiveni rezultati mogu protumačiti malim zemljopisnim udaljenostima između analiziranih populacija s tim da je populacija Neretva izolirana i pripada Jadranskom slivu.

Najveće genetske udaljenosti prema Gregoriusu pokazuju populacije Neretve i gornjeg toka Vrbasa.

Metode s uporabom molekularnih biljega za određenje genetske strukture crnih topola dale su dobru sliku o istraživanim populacijama te nam dobiveni rezultati osiguravaju potrebne preporuke i mjere za očuvanje genetskih izvora ove lišćarske vrste u Bosni i Hercegovini.

13. OČUVANJE CRNIH TOPOLA U BOSNI I HERCEGOVINI

13.1. Klonski arhiv crnih topola u Žepču

U posljednje vrijeme svjedoci smo svakodnevnog nestajanja pojedinih biljnih i životinjskih vrsta. Do sada smo govorili da se to odvija „tamo negdje, daleko“, ali nismo obraćali pažnju da i u našem okruženju postoje vrste koje su također pred samim nestankom.

Takav je slučaj i s našom autohtonom crnom topolom čije se brojno stanje iz godine u godinu smanjuje. Neupućeni promatrač može reći da crne topole ima, no to više nije čista crna topola, nego u većini slučajeva hibridi koji su nastali spontanom križanjem s euro-američkim crnim topolama. U tim križanjima prisutna je introgresija gena američkih topola u naše crne topole, što rezultira gubitkom određenih svojstava naših topola, mada pojedini spontani hibridi mogu biti vrlo perspektivni za plantažne nasade topola. Ipak, na taj način je izgubljen dragocjeni genofond naših crnih topola.

Prve aktivnosti na očuvanju topola u Bosni i Hercegovini provedene su tijekom 1997. godine u suradnji s kolegama sa Šumarskoga fakulteta u Zagrebu koji su odavno uključeni u program očuvanja genofonda europskih vrsta šumskoga drveća te sudjeluju u mrežnim istraživanjima EUFORGEN *Populus nigra* Network. Tada su na području Sarajeva, Kaknja i Zenice izdvojena ukupno 54 stabla crnih topola od kojih je 50 vegetativno razmnoženo (Krstinić i Kajba 1997). Trenutna situacija je takva da je oko 90 % tada selekcioniranih stabala uništeno ili se osušilo jer su selekcionirana stara stabla, osim šest mladih stabala s jalovišta rudnika ugljena u Kaknju. Pored toga, od selekcioniranih stabala na području grada Sarajeva trenutno je još samo jedno u životu, ali zbog starosti uskoro će i ono biti posječeno. Slična situacija je i kada govorimo o dlakavoj crnoj topoli u donjem toku rijeke Neretve (Ballian 2004a).

Tijekom veljače 2003. godine pristupilo se sistematskom selekcioniranju stabala dlakave crne topole (*Populus nigra* ssp. *caudina*) na području Čapljine, a tijekom veljače 2004. godine selekcionirano je i 11 stabala na području Konjica te 10 stabala u Bugojnu koja su ožiljena i uključena u žive arhive Hrvatske, točnije na području Osijeka i Čakovca. Dva klona su poslana u centralni Europski arhiv u Belgiji te dva klona dlakave crne topole u Cassale Monferato u Talijanski nacionalni arhiv.

Također su realizirani i drugi radovi značajni za očuvanje genofonda, a prije svega:

- unutarpopulacijska i međupopulacijska istraživanja na morfološkoj razini (morfologija lista);
- unutarpopulacijska i međupopulacijska istraživanja na molekularnoj razini (djelomična DNK analiza);
- aktivnosti na konzervaciji *in situ*.

U Bosni i Hercegovini se vrlo malo radilo na introdukciji hibridnih topola tako da su samo male površine hibridnih topola korištene u proizvodnji celuloznog drva. Zbog pojave određenih bolesti koje su zahvatile te kulture one su vrlo brzo napuštene te se prestalo s daljnjom introdukcijom. Također se u hortikulturu unosilo dosta raznih hibrida koji su prvi put uneseni prije 100 godina te su zasađeni, prije svega, uz željezničke postaje, ali to je, ipak, bio zanemariv broj (Ballian 2004, Ballian i Mikić 1999). Veći problem predstavlja stalno uništavanje staništa autohtonih topola u Bosni i Hercegovini koje se ogleda kroz neplansko korištenje zemljišta duž riječnih tokova, regulaciju riječnih tokova, otvaranje šljunčara, deponiranje otpadnoga materijala kao i nepostojanje zakonske regulative koja bi zaštitila stanje sadašnjeg genofonda crnih topola, kao i njihovo neuvršavanje u Crvenu listu ugrožene flore.

S obzirom na trenutno stanje koje vlada u području rasprostriranja crnih topola te na sustavno uništavanje njenog prirodnog areala, potrebno je hitno izvršiti zaštitu njezinoga genofonda. Izlaz iz ovakve situacije kakva je danas jedino vodi k formiranju klonskih arhiva *in situ* i *ex situ*. Čak bi i aktivnosti koje bi se preduzele da se sačuva mjerama zaštite na svojim staništima teško dale rezultate, s obzirom na to da je to zona sa čestim požarima koji su posebno ove godine izazvali velike štete. Stoga izlaz vidimo, kako u podizanju arhiva *ex situ* na mjestima koja su manje ugrožena od požara i ljudskih aktivnosti, tako i u formiranju jedne arhive *ex situ* na zaštićenom i sigurnom mjestu, uz paralelne aktivnosti na *in situ* očuvanju.

Za formiranje klonske arhive gena crnih topola *ex situ* iskorištena je jedna od neproduktivnih površina u rasadniku (Ballian i Mekić 2008a i b; Ballian 2009).

Za formiranje arhiva potrebno je izvršiti selekciju polaznog materijala, s tim da se reznice koje će se ožiljavati uzimaju samo s jako

starih stabala za koja smo sigurni da nisu bila pod utjecajem introgresije. S obzirom da bi se još moglo naći dovoljno takvih stabala, njih bi trebalo prvo zaštititi da ne nastradaju dok ih ne umnožimo. U isto vrijeme dok se vršila selekcija pozicionirana su stabla, a izvršena je inventura ostalih grupa stabala da bi se dao prijedlog o njihovoj trajnoj zaštiti. Selekcija i umnožavanje stabala omogućili bi nam da ovu vrstu očuvamo najmanje još 200 godina jer, ako uspijemo sačuvati i manji dio prirodnih populacija, uspjeh ćemo u potpunosti sačuvati i crnu topolu.

Pored selekcije važno pitanje je i njezino razmnožavanje u rasadniku, s obzirom na to da je kloniranje starih crnih topola povezano s određenim problemima, prije svega s pojavom slabog ožiljavanja, kao i s plagiotrofnim rastom. Da bi se ovi problemi riješili potrebno je stalno savjetovanje s mjerodavnim ustanovama iz svijeta, a i stalni nadzor nad mladim biljkama. U rasadniku treba primijeniti posebnu tehniku sadnje kao i pasažiranja primljenih klonova. Sama aktivnost u rasadniku traje jednu godinu na ožiljavanju i jednu godinu na pasažiranju.

13.1.1. Glavni cilj očuvanja je:

Očuvanje genetskog diverziteta autohtonih crnih topola s područja Bosne i Hercegovine arhiviranih *in situ* i *ex situ*;

Stvaranje arhive *ex situ* u svrhu kasnije reintrodukcije crnih autohtonih topola kad se pokaže potreba za njima.

Uspješna realizacija formiranja klonskog arhiva je osigurala nastavak istraživanja na crnim topolama te se, s dosadašnjih aktivnosti koje se odnose na morfološko-genetsku karakterizaciju, prešlo na fiziološko-genetsku razinu istraživanja. Tako se sada može daleko jednostavnije odgovoriti na sljedeća pitanja: Kakvi su fenološka i genetska struktura, fenološki i genetski diverzitet i diferencijacija populacija crnih topola na području Bosne i Hercegovine te kakve su njihove fenološke značajke?

Za podizanje središnjeg arhiva crnih topola autohtoni materijal je selekcioniran i sabran iz prirodnih populacija crnih topola u Bosni i Hercegovini u rano proljeće 2005. godine. Sabrane su grančice s dormantnim pupovima u fazi zimskog mirovanja tijekom veljače, ožujka i travnja, s unaprijed selekcioniranim jedinkama iz prirodnih populacija crnih topola prema uputama koje je dao EUFORGEN.



Slika 35. Mjesto za podizanje klonskog arhiva crnih topola

Selekcija materijala je obavljena na području:

1. gornji tok rijeke Drine, potez Usitkolina - Goražde
2. donji tok rijeke Drine, potez Tegare – Bratunac
3. gornji tok rijeke Bosne, potez Sarajevo – Visoko - Kakanj – Lašva - Zenica
4. donji tok rijeke Bosne, potez Maglaj - Doboj
5. gornji tok rijeke Vrbasa, potez Zlavast – Bugojno
6. srednji tok Vrbasa, potez Jajce – Podmilačje
7. donji tok rijeke Vrbasa, potez Krupa na Vrbasu – Banjaluka
8. gornji tok rijeke Neretve, potez Orašac – Konjic
9. donji tok rijeke Neretve, potez Žitomislići – Čapljina
10. srednji tok rijeke Spreče, potez Lukavac – Gračanica – Brijesnica
11. Gornji tok rijeke Lašve, područje Dolca na Lašvi

Pored tipičnih populacija koje će se uključiti u arhivu, tu je i jedna specifična populacija koja se javlja na rudničkom jalovištu u neposrednoj blizini Kaknja na koju treba obratiti punu pozornost zbog uvjeta u kojima egzistira. To su uništena tla, većinom deposoli, s jako siromašnim humusnim slojem na pješčarskim i laporastim geološkim podlogama.

Također su uključene i hibridne komercijalne topole koje su sakupljene iz napuštenih topolinskih plantaža u Bosni i Hercegovini, ili su dobivene razmjenom sa susjednim zemljama, a koje će odigrati određenu ulogu u daljnjim istraživanjima crnih topola.

Tablica 22. Osnovni podaci o korištenom materijalu

Rijeka	Lokalitet	Zemljopisna duljina	Zemljopisna širina	Nadmorska visina m	Broj sakupljenih klonova	Šifra ekološko-vegetacijske pripadnosti
Neretva	Konjic	43°40' 11"	17°58' 36"	341	12	4,3,1
	Čapljina	43°08' 41"	17°43' 47"	36	14	4,3,2
Bosna	Sarajevo	43°51' 20"	18°24' 08"	539	4	3,3,3
	Ilidža	43°49' 16"	18°17' 57"	496	1	3,3,3
	Visoko	43°59' 27"	18°10' 56"	422	4	3,3,
	Dobrinje	44°07' 13"	18°06' 36"	375	4	3,3,3
	Rudnik	44°08' 10	18°03' 40"	410	4	3,3,3
	Bilješevo	44°07' 57"	17°59' 48"	362	9	3,3,3
	Babina Rijeka	44°11' 55"	17°55' 30"	345	6	3,3,3
	Zenica	44°12' 12"	17°54' 43"	315	5	3,3,3
	Maglaj	44°34' 24"	18°06' 10"	201	4	3,4,
Doboj	44°44' 24"	18°05' 55"	137	13	1,1,	
Lašva	Travnik	44°13' 08"	17°41' 30"	476	4	3,3,3
Vrba	Bugojno	44°00' 57"	17°29' 14"	600	9	3,3,2
	Jajce	44°18' 58"	17°14' 48"	389	2	3,2,1
	Podmilačje	44°21' 59"	17°17' 48"	351	4	3,2,1
	Krupa	44°36' 52"	17°08' 55"	211	4	3,2,1
	Toplice	44°44' 18"	17°09' 17"	170	7	1,2,
	Banjaluka	44°46' 09"	17°13' 05"	152	10	1,2,
Drina	Osanica	43°36' 36"	18°52' 07"	359	8	2,2,3
	Kopači	43°40' 26"	19°02' 01"	348	8	2,2,3
	Tegare	44°06' 53"	19°29' 20"	187	15	2,1,3
	Bratunac	44°10' 08"	19°23' 57"	173	2	2,1,3
Spreča	Lukavac	44°33' 15"	18°28' 44"	175	4	1,1,
	Gračanica	44°40' 40"	18°18' 13"	154	2	1,1,
	Velika Brijesnica	44°43' 28"	18°10' 23"	144	2	1,1,

Prilikom selekcije materijala autohtonih crnih topola vodili smo se uputama koje je propisao EUFORGEN (Vanden Broeck 2003). Selekcionirali smo samo stara stabla, preko 80 godina starosti, da bismo izbjegli kontaminaciju alohtonim genofondom.

Sa stabala su se sabirale reznice koje su nastale na oštećenjima stabla ili koje su se pojavile iz vodenih izbojaka. To je bilo jako bitno jer su ti izbojci u procesu rejuvenilizacije i lakše se ožiljavaju te se kasnije dobiju biljke s manjim stupnjem plagiotrofnog rasta.

Sabran je materijal iz 26 lokaliteta koji su prikazani u Tablici 22., s osnovnim podacima za svaki od lokaliteta. Također smo u arhivu uključili i deset hibridnih klonova, kao i afganistansku crnu topolu (*Populus afganica*), kinesku bijelu topolu (*Populus boleana*) te kultivare *Populus nigra* var. *Italica* i *Populus robusta* (Tablica 23., Karta 6.).

Tablica 23. Hibridne topole uključene u klonsku arhivu	
Hibridne topole uključene u arhivu	Broj klonova uključenih u arhivu
<i>Populus nigra</i> var. <i>Italica</i>	1
<i>Populus afganica</i>	2
<i>Populus boleana</i>	1
<i>Populus serotina</i> – <i>robusta</i>	1
<i>Populus deltoides</i> – 710	1
<i>Populus deltoides</i> Krka – S-6-20	1
<i>Populus deltoides</i> Dunav – S-1-8	1
<i>Populus deltoides</i> Sava – S-6-36	1
<i>Populus x canadensis</i> BL Constanzo	1
<i>Populus x canadensis</i> San Martino	1
<i>Populus x canadensis</i> Triplo	1
<i>Populus x canadensis</i> I-214	1
<i>Populus x canadensis</i> Tiepolo	1
<i>Populus x canadensis</i> M-1	1

13.1.2. Metoda vegetativnog razmnožavanja

Koristio se standardni metod vegetativnog razmnožavanja klonskog materijala hibridnih topola. Sabran je materijal prije kretanja vegetacije te se pohranjivao u hladnjaču, u posude s vodom, do sadnje. Sadnju smo obavljali nakon što je krenula vegetacija. Sabrane reznice smo skraćivali na 25 cm tako da na njima ostanu 3-4 kvalitetna i dobro razvijena pupoljka. Potom su se reznice sadile u pripremljeno tlo, arhive. Tlo se počelo pripremati u jesen i to dubokim oranjem. U



Slika 36. Afganistanska crna topola, poznata kao bjelokori jablan u Duvanjskom polju

proljeće, u drugoj polovini ožujka, nastavljeno je s pripremom tla prvim proljetnim tanjiranjem, a nekoliko dana kasnije i frezanjem. Nakon frezanja ručnim alatom je popravljeno i izravnato tlo. Pripremljene reznice smo potom prema shemi sadili, tako da svako od selekcioniranih stabala bude zasađeno u posebni red (Slika 37.), a između redova je ostavljen razmak od 1 m da bi se međuprostor mogao mehanički obrađivati. Samo tlo je prije sadnje prekriveno crnom PVC folijom da bi se spriječilo isušivanje i suvišno zakorovljavanje tla oko sadnica jer bi samo uklanjanje korova oštetilo tek ožiljene biljke. Sadnja je obavljena ručnim sadilicama da bi se oštećivanje reznica svelo na najmanju moguću mjeru. Tijekom sadnje reznice nisu tretirane nikakvim stimulirajućim sredstvima (hormonima) iz razloga da se odmah napravi prvi stupanj selekcije, odnosno da se da prednost najvitalnijim reznicama.

Po završetku sadnje odmah je postavljen sustav za zalijevanje da bi se biljkama osigurala dovoljna količina vlage tijekom puhanja suhих i toplih proljetnih vjetrova, ali i zbog nepovoljnih i vrelih ljetnih dana kada se temperature podižu i preko 30°C.

Nakon kretanja vegetacije svakog prvog u mjesecu su brojane biljke te je registriran uspjeh u njihovu primanju. Zabilježeno je stvarno primanje, a prikazano je u procentima. Cilj je da se primi bar jedna reznica koja bi kasnije bila umnožena u 10 kopija. Kod individua s velikim brojem primljenih reznica izvršena je redukcija jer nam je potrebno samo deset individua po orteti za potrebe arhive.

U arhivi se svake godine provode određene mjere njege koje imaju za cilj da se spriječi cvjetanje i plodonošenje klonova, odnosno da se izbjegne tok gena iz arhive u okolne populacije. To se postiže redovnim prikraćivanjem klonova koje se obavlja u rano proljeće, prije kretanja vegetacije. Na taj način se postiže da se individue bokore i da svake godine imamo veliki broj izbojaka koje možemo koristiti za razmnožavanje. Tako možemo u vrlo kratkom vremenu proizvesti veliki broj sadnica za reintrodukciju i svake bi se godine moglo od svakog klona na teren poslati od 500 do 1000 biljaka.

13.1.3. Rezultati vegetativnog razmnožavanja

U arhiv je bilo uključeno 161 stablo autohtonih crnih topola i 15 hibridnih i egzotičnih vrsta topola, a broj stabala koji se primio je prikazan u Tablici 24. Kako je primanje registrirano od 1.5. do 1.9. tijekom godine, može se pratiti uspjeh ožiljavanja iz mjeseca u mjesec (Ballian 2009; Ballian i Mekić 2008a i b;).

Tablica 24. Primanje reznica prema datumima i populacijama

Rijeka	Lokalitet	Broj klonova	Ukupno zasadenih (kom)	Primanje 1.5. u %	Primanje 1.6. u %	Primanje 1.7. u %	Primanje 1.8. u %	Primanje 1.9. u %
Neretva	Konjic	12	28-67	3,13-77,27	0-72,27	0-77,27	0-77,27	0-77,27
	Čapljina	14	32-104	12-95,71	12-91,35	12-91,35	12-91,35	12-91,35
Bosna	Sarajevo	4	25-61	54,84-92,59	54,84-92,59	20-92,59	20-92,59	20-92,59
	Ilidža	1	33	81,82	78,79	78,79	78,79	78,79
	Visoko	4	24-36	25-79,17	14,29-79,17	14,29-75	14,29-75	14,29-75
	Dobrinje	4	22-36	3,23-80,56	0-75	0-75	0-75	0-75
	Rudnik	4	20-28	10-78,57	0-64,29	0-64,29	0-64,29	0-64,29
	Bilješevo	9	31-67	17,86-69,70	1,79-48,48	1,79-45,45	1,79-45,45	1,79-45,45
	Babina Rijeka	6	36-80	55,56-81,54	19,44-81,54	16,67-81,54	16,67-81,54	16,67-81,54
	Zenica	5	35-69	63,83-82,35	42,55-75,36	40,43-75,36	40,43-75,36	40,43-75,36
	Maglaj	4	27-53	0-34,38	0-28,13	0-28,13	0-28,13	0-28,13
	Doboj	13	23-56	4,35-78,05	2,17-51,92	2,17-51,92	2,17-42,86	2,17-42,86
Lašva	Travnik	4	23-43	47,22-81,40	38,89-55,81	38,89-55,81	38,89-55,81	38,89-55,81
Vrba	Bugojno	9	38-79	36,84-82,54	13,16-82,54	13,16-82,54	4,55-68,42	4,55-68,42
	Jajce	2	33-82	27,27-84,15	27,27-50	27,27-50	27,27-50	27,27-50
	Podmilačje	4	34-47	45,65-67,39	28,26-52,94	26,09-52,94	21,95-52,94	21,95-52,94
	Krupa	4	18-61	45,83-80,33	20,83-57,38	20,83-54,10	4,35-54,10	4,35-54,10
	Toplice	7	23-47	0-75,68	0-70	0-70	0-70	0-70
	Banjaluka	10	24-60	66,67-88,67	37,21-77,36	37,21-77,36	37,21-77,36	37,21-77,36
Drina	Osanica	8	23-39	17,39-85,29	17,39-74,36	17,39-70,59	17,39-70,59	17,39-70,59
	Kopači	8	25-51	20-94,12	20-88,24	20-88,24	0-88,24	0-88,24
	Tegare	15	19-40	16,67-80	14,29-65	14,29-65	14,29-65	14,29-65
	Bratunac	2	36-38	0-52,63	0-36,84	0-36,84	0-36,84	0-36,84
Spreča	Lukavac	4	17-32	47,06-71,88	29,41-68,75	29,41-68,75	29,41-68,75	29,41-68,75
	Gračanica	2	26-40	59,69-80	59,69-80	59,69-80	59,69-80	59,69-80
	Velika Brijesnica	2	16-26	43,75-65,38	26,92-37,50	26,92-37,50	26,92-37,50	26,92-37,50



Slika 37. Rad na podizanju klonskog arhiva crnih topola



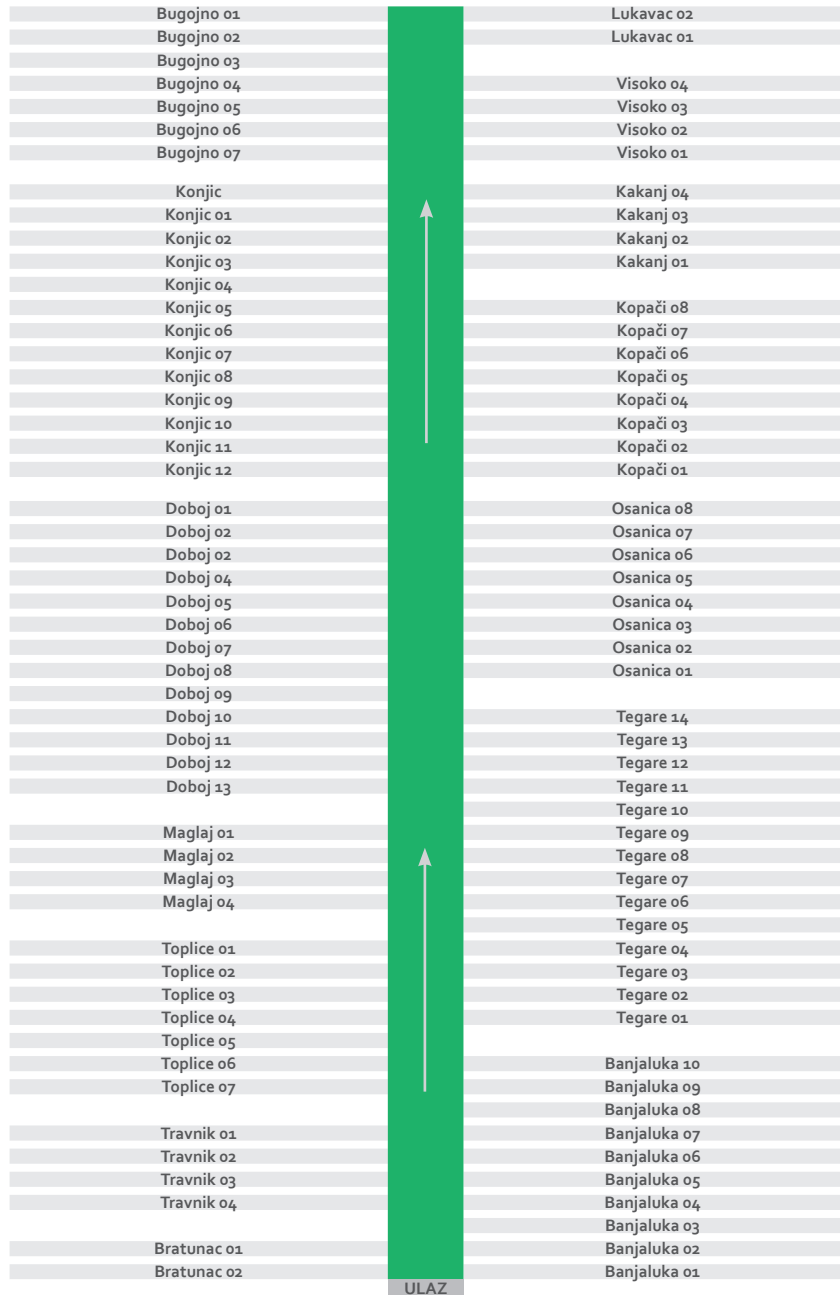
Ukupno je zasađeno 6885 reznica, a nakon prvog prebrojavanja primilo se 61,55% ili 4238 komada. Tijekom drugog brojanja, 1.6., imali smo 3480 živih biljaka ili 50,54%. Kod trećeg prebrojavanja živih je 3427 ili 49,77%. Tako se uspjeh ožiljavanja kretao od 0 do 95,71 % kod prvog brojanja, kod drugog od 0% do 91,35, kao i kod trećeg. Kod prvog brojanja dva klon se nisu primila, jedan iz populacije Maglaj i drugi iz populacije Bratunac, a kasnije se broj povećao na šest klonova koji nisu pokazali vitalnost i uspješno se ožilili. Dobiveni rezultati su u skladu s rezultatima koje su objavili Krstinić i Kajba (1997) za crne topole iz Bosne i Hercegovine. Kod autohtonih crnih topola može se primijetiti da je najbolje zakorjenjivanje kod dlakavih crnih topola iz Čapljine (Ballian i Mekić 2008a i b).



Hibridne topole su pokazale najbolji rezultat u zakorjenjivanju, od 90 do 100 %, što predstavlja njihovu prednost jer se bolje zakorjenjavaju od autohtonih crnih topola.

Kod autohtonih crnih topola veliki problem za njihovo primanje u rasadniku predstavlja stadijska starost matičnih biljaka jer se moralo sabrati reznice s jako starih stabala da bi se izbjegao negativni utjecaj introgresije stranih gena. Također, nije uporabljeno nikakvo sredstvo za stimulaciju ožiljavanja da bi se napravila prirodna selekcija između individua, kao i unutar individua. Preživjele su samo one biljke (reznice) koje su pokazale visoki stupanj vitaliteta.





Slika 38. Shema klonske arhive Žepče

	KRAJ	
Čapljina 01		<i>Populus nigra</i> var <i>Italica</i>
Čapljina 02		<i>Populus afganica</i>
Čapljina 03		<i>Populus afganica</i>
Čapljina 04		<i>Populus serotina</i>
Čapljina 05		<i>Populus boleana</i>
Čapljina 06		<i>Populus deltoides</i> 710
Čapljina 07		<i>Populus deltoides</i> S-6-20
Čapljina 08		<i>Populus deltoides</i> - Dunav S-1-8
Čapljina 09		<i>P x canadensis</i> - Bl. Constanzo
Čapljina 10		<i>P x canadensis</i> - San Martino
Čapljina 11		<i>P x canadensis</i> - Triplo
Čapljina 12		<i>P x canadensis</i> I-214
Čapljina 13		<i>P x canadensis</i> - Tiepolo 275/81
Čapljina 14		<i>Populus deltoides</i> S-6-36
		<i>P x canadensis</i> M-1
Sarajevo 01		
Sarajevo 02		X
Sarajevo 03		X
Sarajevo 04		X
		X
Zenica 01		X
Zenica 02		X
Zenica 03		X
Zenica 04		X
Zenica 05		X
		X
Bilješevo 01		X
Bilješevo 02		X
Bilješevo 03		X
Bilješevo 04		X
Bilješevo 05		X
Bilješevo 06		X
Bilješevo 07		X
Bilješevo 08		X
Bilješevo 09		X
		X
Babina Rijeka 01		X
Babina Rijeka 02		X
Babina Rijeka 03		X
Babina Rijeka 04		X
Babina Rijeka 05		X
Babina Rijeka 06		
		Iliđža 01
Podmilačje 01		
Podmilačje 02		Rudnik 04
Podmilačje 03		Rudnik 03
Podmilačje 04		Rudnik 02
		Rudnik 01
Krupa 01		
Krupa 02		Gračanica 02
Krupa 03		Gračanica 01
Krupa 04		
		Velika Brijesnica 02
Jajce 01		Velika Brijesnica 02
Jajce 02		
Jajce 03		Lukavac 05
		Lukavac 04
		Lukavac 03

Tako je, od 141 analiziranog klona, njih 136 s autohtonom genskom strukturom. Za tri klona je nađeno da samo kod genskog lokusa *PMGC_14* pokazuju prisustvo alohtonih introgresiranih gena u klonovima. S obzirom da je genski lokus tipičan za *PMGC_14* samo za *P. deltoides*, u ovom slučaju možemo govoriti o hibridizaciji autohtonih topola s povratnim križancem. Kada su u pitanju druga dva klona, tu imamo više introgresiranih gena, za genski lokus *PMGC_14*, *WPMS_18* te za *PMGC_2163*, a svi su s tipičnim alelima za američke crne topole (*P. deltoides*), što je i dobiveno u našoj analizi. Za ova dva klona možemo reći da su nastali direktnom hibridizacijom s *P. deltoides* s obzirom na tri otkrivena introgresirana alela. Ovo je i vjerojatno jer je u pitanju jedan klon sa sarajevskoga područja gdje su prvo unošene američke topole te je dosta rano, prije više od 100 godina, došlo do introgresije. Kada je u pitanju veoma interesantna populacija Rudnik sa sirovih deposola, a gdje je i naš najmlađi klonski materijal (Ballian i Mekić 2008), tada nema sumnje da postoji introgresija jer su u blizini bile zasađene introducirane topole nepoznatoga podrijetla, vjerojatno klonovi američkih crnih topola.

Dobiveni rezultati su potvrdili da u klonskoj arhivi imamo klonove s introgresijom koje će trebati ukloniti iz arhiva. Ako promatramo naše populacije crnih topola, neupućeni promatrač može reći da crne topole ima. Ipak, to više nije čista crna topola, nego hibridi koji su nastali spontanom križanjem s euro-američkim crnim topolama, a čije smo prisustvo potvrdili ovim istraživanjem. Kada je selekcioniran klonski materijal, težilo se da je podrijetlom sa starih stabala topola da izbjegnemo kontaminaciju neželjenim genima. No, u tome nismo uspjeli nego smo selekcionirali i introgresirane individue. Ovo nameće pretpostavku da je u populacijama mlađih biljaka situacija još poraznija te da imamo veliku zastupljenost introgresiranih individua. Time naše populacije gube određena adaptivna svojstva, mada pojedini spontani hibridi mogu biti vrlo perspektivni za plantažne nasade topola. Slično istraživanje u devet klonskih arhiva topola u Europi proveli su Storme i sur. (2004).

Sam opstanak europske crne topole, kao autohtone vrste, ugrožen je već dva stoljeća zbog uzgoja odličnih hibrida euro-američkih topola (*P. × canadensis*) i istočnoameričke crne topole (*P. deltoides*) čije klonove nalazimo unutar područja rasprostiranja autohtonih crnih topola. Neki od tih uvezenih klonova su ženske jedinke i njihova cvatnja

je sinkronizirana s europskom crnom topolom. Njihovim unošenjem može između tih raznih vrsta topola doći do spontane hibridizacije te se nameće pitanje hoće li kod europskih crnih topola nova mlada populacija biti introgresirana genima istočnoameričke crne topole ili genima euro-američkih hibrida (Cagelli i Lefèvre 1995; Lefèvre i sur. 2001; Lefèvre i sur. 2001a, Vanden Broeck i sur. 2000 i 2006). Inače, samo prirodno pomlađivanje kod crnih topola može biti i hibridnog podrijetla, a to je uočeno i potvrđeno genetskim analizama duž rijeke Labe u Njemačkoj (Ziegenhagen i sur. 2008), rijeke Rajne u Nizozemskoj (Smulders i sur. 2008, 2008a) te na rijekama u Austriji (Heinze 2008), što ukazuje na prirodnu hibridizaciju autohtonih crnih topola s *P. x canadensis*, a koje mogu ugroziti genetski integritet preostalih prirodnih populacija crnih topola (DeWoody 2011). Konačno, tu je genska introgresija određenih visoko raširenih kultivara crnih topola, a u pitanju je potencijalna prijetnja za autohtone crne topole u smislu da se samo nekoliko klonova intenzivno uzgaja i doprinosi u velikoj mjeri s peludi i sjemenom. I ne samo kada su egzotični hibridi u pitanju, već je tu problem i s kultivarima čiste crne topole kao što je kultivar muškog stabla '*italica*' koji je široko distribuiran širom Europe (Cagelli i Lefèvre, 1995).

S biološke strane inicirani su ciljevi, a dva različita procesa su ovdje uključena: prava introgresija gena različitih stranih vrsta, većinom *P. deltoides* i preko hibridnih topola (*P. x euramericana*) te fluktuacija gena s kultivarima europske crne topole kao što je npr. '*italica*' ili '*thevestina*' (Heinze 1998a, b; Bordás i sur. 2002a). Unošenje gena s biološkog stanovišta ima i svoj pozitivan i negativan učinak. U pozitivnom smislu može povećati genetski diverzitet, ali može izmijeniti i lokalnu adaptabilnost, što predstavlja negativnu stranu. Individualna sposobnost može naštetiti tim utjecajem. Drugi mogući utjecaj intenzivne fluktuacije gena s kultiviranih varijeteta je redukcija (smanjenje) efektivne veličine populacije vodeći prema gubitku diverziteta i povećanju razine inbridinga, što može biti u slučaju da jedan muški klon oprašuje intenzivno većinu ženskih stabala, uz stvaranje polusrodničkih familija.

Geni *P. deltoides* detektirani su u nekim slučajevima na razini sadnica. Postoje velike razlike kod introgresije i ovisi o postojanju kompeticije između više ženskih stabala. Introgresija je mnogo češća kada je žensko stablo *P. nigra* izolirano soliterno stablo. Stare

jedinke s mogućom introgresijom su rijetke u Europi, ali se mogu naći, što je potvrđeno ovim istraživanjem. Geni *P. trichocarpa* također mogu sudjelovati u introgresiji europske crne topole. Jablan ne može izvršiti hibridizaciju u lokalnim populacijama sjeverne Europe zbog nesinkronizacije cvatnje, ali može u drugim regijama. Također se može utvrditi i postojanje fluktuacije gena od kultivara 'thevestina' o čemu izvještavaju Bordás i sur. (2002).

Da bi se izbjegle sve moguće nedoumice oko podrijetla klonova, najbolje moguće rješenje je bilo u molekularnoj analizi i identifikaciji klonskog materijala, što će osigurati da se iz klonske arhive na teren u poslovima reintrodukcije šalje samo autohtoni materijal. Pri novom osnivanju klonskih arhiva potrebno je voditi računa o izvornosti materijala, a s obzirom na stanje i s drugim vrstama nameće se imperativ da se sav biološki materijal mora podvrgnuti molekularnim identifikacijama.

Klonske arhive omogućavaju vrlo jednostavnu proizvodnju autohtonog materijala te bazu za daljnje oplemenjivanje neke od vrsta, kao i kontrolu proizvodnje klonskog sadnog materijala jer je već poznata genetska struktura klonskog materijala, iz čega slijedi da je i proizvedeni sadni materijal poznate genetičke konstitucije. Sami poslovi identifikacije u ovom slučaju su daleko jednostavniji nego kad su u pitanju selekcija prirodne populacije gdje se genetska struktura može mijenjati iz godine u godinu.

U klonskoj arhivi, i pored velike pažnje prilikom selekcioniranja materijala za njeno podizanje, nađeno je pet klonova s prisutnim introgresiranim genima američkih crnih topola, što ukazuje na određene greške koje su počinjene tijekom podizanja arhive te upućuje na nepouzdanost primijenjenih morfoloških biljega u selekcioniranju materijala.

14. PREPORUKE ZA KORIŠTENJE I OČUVANJE CRNIH TOPOLA

U Bosni i Hercegovini je izvršena ekološko-vegetacijska rajonizacija šuma i šumskih zemljišta. Prema trenutnim saznanjima, iako smo u seriji istraživanja na crnim topolama bili oslonjeni na nju i prikazali pripadnost klonskog materijala u arhivi prema njoj, ne možemo je u potpunosti prihvatiti za distribuciju materijala crnih topola u slučaju potreba za reintrodukcijom. Osnovne postavke rajonizacije su uredu, ali da bi se prihvatile za distribuciju materijala, treba ga usporediti s rezultatima na morfološkoj, fenološkoj, fiziološkoj i molekularnoj razini ili kroz testove provenijencija, što do sada nije urađeno, a kod drugih vrsta koje su istraživane ekološka i genetičko-molekularna rajonizacija nisu pokazale kompatibilnost (Memišević 2010; Ballian i

sur. 2008, 2010). Što se tiče testa provenijencija, kao prelazno rješenje može nam poslužiti i klonski arhiv u Žepču gdje bismo testirali klonski materijal, a za sada se samo istražuje fenologija.

Prvi rezultati na morfološkoj razini za crne topole u Bosni i Hercegovini su dobiveni i pokazali su postojanje značajnih razlika između populacija, posebice populacija iz sliva rijeke Neretve i ostalog dijela Bosne i Hercegovine (Kajba i sur 2004, 2015; Ballian i sur. 2006) te mogu poslužiti kao dobri orijentacijski podaci, dok fiziološka (De Woody 2011) i molekularna istraživanja daju potpuniju genetsku sliku bosanskohercegovačkih populacija (Ballian i Tröber 2017).



Slika 39. Klonski arhiv crnih topola

Ipak, da bismo potpuno izvršili razgraničenje za uporabu sadnog materijala crnih topola, trebali bismo se držati sljedećih kriterija.

14.1. Temeljni kriteriji za razgraničenje populacija

Veličina

Rajoni ne bi trebali biti odveć prostrani jer se u tom slučaju može uključiti genetski materijal koji je prilično udaljen. Prema istraživanjima provedenim na mitohondrijskoj DNK obične jele, imamo rajone u zapadnoj Bosni i Hercegovini gdje se javljaju dva haplotipa (Gömöry i sur. 2004). Također, rajoni ne bi smjeli biti ni odveć mali jer bi u tom slučaju varijabilnost mogla biti prilično reducirana. Unutar rajona je vrlo važno ustanoviti i uporabiti kao temeljni element razgraničenja postojanje eventualnih prepreka u genetskim tokovima (Gradual i sur. 1997) kao što su planinski vijenci, zone izrazito naseljene ljudima, velike rijeke ili jezera, jako vjetrovite zone i slično. Učinkovitost ovih barijera je povezana s reprodukcijom sposobnošću vrste, s vrstom oprašivanja, oblikom disperzije peludi i sjemena, kao i s osnovnim svojstvima populacijske distribucije vrste.

Indikatori ekološki homogenih uvjeta

Svi indikatori zasebice spomenuti općenito su dobro dokumentirani na cijelom nacionalnom teritoriju, ali i šire. Sigurno je da sastav prirodne vegetacije i njena distribucija jesu primarni element jer su izraz prosječnih uvjeta sredine. Vegetacija je obično dobro poznata i relativno dobro kartirana u mnogim dijelovima Bosne i Hercegovine, što se može vidjeti iz mnogih fitocenoloških radova (Stefanović 1977; Beus 1997) kao i ekološko-vegetacijske rajonizacije Bosne i Hercegovine (Stefanović i sur. 1983). Tako u mnogim slučajevima ekotipske i edafske rase šumskih vrsta drveća, u našem slučaju crnih topola, iako s njima nije mnogo rađeno, mogu biti floristički praečne, ili bolje fito-ekološki te vrstom zemljišta na kojoj populacija živi i razmnožava se. Morfologija tog teritorija je obično dobro dokumentirana, a to jest drugi vrlo važan element u određivanju razlika kod okolišnih parametara. Klimatski parametri koji se odnose na padaline i temperature, kao i klimatski režim, imaju doista bitnu ulogu za određivanje granica ekološki homogenih rajona. Klimatske

karakteristike utječu direktno na postojanje, distribuciju i povijest populacija, kao i šumskih ekosustava. U interakciji s klimatskom homogenošću potrebno je uzeti u obzir i učinak geopedoloških svojstava teritorija. Geopedološki podaci su daljnji element diferenciranja unutar homogenog područja po klimi i često su složeni i do u detalje razrađeni u kartografijama te je vrlo često potrebno pojednostavljenje da bi se mogle uspješno koristiti u radu (Ballian 2011).

Distribucija crne topole i genetičke različitosti

Podrazdiobu na provenijencije potrebno je napraviti inače za svaku vrstu. Tako treba napraviti mape distribucije za vrste od većeg ekonomskog interesa. U BiH postoji niz vrlo prikladnih mapa koje je izradio Fukarek (1970) za smreku, običnu jelu i običnu bukvu te Ballian (2004a) za crne topole. Kartografska baza dobivena ustanovljenjem



Slika 40. Mlade crne topole na siromašnim deposolima duž rijeke Bosne

ekološki homogenih područja ostat će temeljnim uporištem za sve sljedeće faze rada. Na nju će se staviti mapa distribucije svake pojedine vrste i, ako je na raspolaganju, informacija o genetičkoj strukturi. Tako dobivenu kartu treba uporabiti u pravljenju sinteze koja vodi k razgraničenju pravih i istinskih provenijencija (Ballian 2011).

Određivanjem granica homogenih prostora, što je napravljeno u "ekološko-vegetacijskoj rajonizaciji" prema crnoj topoli, moći će pretrpjeti i daljnje izmjene u funkciji progresivne obnove informacije o genetičkoj varijabilnosti. U tu svrhu ne treba se podcijeniti važnost eksperimentalnih mrežnih podataka kao izvora karakterizacije razlika unutar vrste. To se može dobiti iz rezultata komparativnih pokusa provenijencija (klonskih ili generativnih), za što će poslužiti klonski arhiv u Žepču. Također, procjena interakcije genotip x okolina (Burdon 1977) za svojstva kvantitativnog karaktera (visina, promjer i sl.), može poslužiti kao dobro sredstvo procjene (Graudal i sur. 1997), što bi se moglo uraditi u bliskoj budućnosti kroz seriju pokusa širom Bosne i Hercegovine. Rezultati tih komparativnih pokusa će omogućiti da se napravi podrazdioba i reprodukcijskog materijala crnih topola u homogene skupine te da se prema tome ustanove i klasificiraju površine pogodne za unošenje određenih provenijencija. Za to kao primjer može poslužiti dobro poznata zelena duglazija (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Fraco) s kojom je u BiH urađeno jako mnogo (Pintarić 1989, 1991a, 1991b, Ballian i sur. 1999, 2002, 2003, Govedar i sur. 2003) te se na temelju dobivenih rezultata mogu uraditi prve razdiobe.

14.2. Uporaba klonskog materijala

S obzirom da imamo potrebne rezultate na molekularno-genetičkoj razini, ali ne i na razini testa provenijencija, moramo se zadovoljiti uporabom materijala samo za lokalne potrebe i ne miješati ga s drugim materijalom, uz izuzetke koje dozvoljavaju rezultati molekularno-genetskih odstojanja. Inače bi se klonovi iz Sarajeva koristili u području Sarajeva, odnosno u zoni gornjeg toka Bosne, a klonovi iz Banjaluke samo u Banjaluci ili donjem toku rijeke Vrbasa (Ballian i Tröber 2017). Prema molekularno-genetskim rezultatima eventualno bi se moglo izvršiti obazrivo miješanje u slivovima rijeka, ali vrlo oprezno i to samo u zonama koje su intemedijarne između arhiviranih populacija, a o nekom većem miješanju ne bi se smjelo razmišljati (Holderegger i sur. 2005).

Stoga svaka distribucija materijala iz arhive treba biti pod strogom kontrolom nadležne institucije, u ovom slučaju Šumarskoga fakulteta iz Sarajeva. Zato je potrebno hitno napraviti plan uporabe i definirati područje njene uporabe u slučaju reintrodukcije materijala (Holderegger i sur. 2005).

Posebno mjesto u uporabi zauzima materijal iz populacije Rudnik koji predstavlja pionirsku vrstu na deposolu rudnika Vrtilište kod Kaknja. Stoga bi se taj materijal trebao koristiti za sanaciju deposola rudnika u Kaknju jer vrlo brzo veže tlo i stvara predispozicije za pojavu autohtone vegetacije.

14.3. Adaptabilnost

Sposobnost prirodnih populacija da se prilagode ili aklimatiziraju na klimatske promjene koje su nas zahvatile izravno će ovisiti o njihovoj varijabilnosti i genetskoj strukturi (Svenning i Skov 2006; Dudley 1996a i b). Temeljem rečenog radit će se i planovi gospodarenja ovom vrijednom vrstom i predvidjeti reakciju svake populacije na novonastale uvjete na temelju dostupnih istraživanja. Inače, kod topola morfološka varijabilnost može ukazivati na tri moguće mjere. Prva mjera se oslanja u najvećem dijelu na fenotipsku i genetsku strukturu populacija te učinke promjena varijabilnosti među tim populacijama.

Druga mjera daje naglasak na jedno mjesto ili populaciju kroz istraživanje razvoja morfoloških svojstava lista, uz povezivanje razvojnih, biotskih i ekoloških čimbenika u genetskom doprinosu morfologiji lista (De Woody 2011).

Treća mjera je da se treba dati naglasak na individue koje pokazuju značajne razlike u jednom od adaptivnih svojstava kao što je veličina lista. Temeljna razlika u broju stanica po jedinici površine lista pruža dokaze da se trebaju precizirati buduća istraživanja gena kandidata odgovornih za adaptabilnost ili fiziološke procese koji kontroliraju prilagodljivost morfologije te navodne mehanizme prirodne selekcije u razvoju fenotipske raznolikosti (Dudley, S.A. 1996a i b; De Woody 2011).

Morfologija lista široko varira u raznim okolinama, a smatra se da tim svojstvom dobro pokazuje prilagodljivost (Eckenwalder 1984; Westoby i Wright 2006), što se pokušava povezati i sa proizvodnošću biomase (Al Afas i sur. 2007). Ekološki čimbenici koji utječu na morfo-

lošku lisnu varijabilnost smatraju se zakonomjernim abiotskim čimbenicima, kao što su voda ili dostupnost svjetla te temperatura zraka i tla (Chapin i sur. 1993; Meier i Leuschner 2008; Poorter i Rozendaal 2008). Kao mjesto razmjene gasova i fotosinteze, list sa svojim morfološkim svojstvima utječe na učinkovitost korištenja i prerade vode u malim i velikim razmjerima. Unutar pojedinih listova struktura puči te debljina lista, odnosno kutikule, utječu na brzinu transpiriranja vode iz biljke. Tako se može obuhvatiti sve lišće na biljci, a razlike u provodljivosti puči ili transpiracije vode mogu imati značajne učinke na vodeni odnos i reakciju stabla na sušu (Jarvis 1976; Westoby i Wright 2006), odnosno na njegovu adaptabilnost.

Sve veći broj znanstvenih podataka ukazuje na interakciju biljaka i okoliša u kojem se razvija biljka, što se izravno manifestira na morfologiju lista (Picotte i sur 2007). Provedene studije na hibridima topola ukazuju da biokemijska svojstva lišća mogu biti mehanizam koji utječe i na pojavu insekata (Bangert i sur. 2006), ali je provedeno istraživanje na autohtonim individuama u prirodnim hibridnim zonama pokazalo da dodatni fiziološki čimbenici, kao što je fenologija, mogu djelovati veoma značajno (Wimp i sur. 2007). Njihovi rezultati ukazuju na to da treba dodatno proučavati interakcije između prostornih i razvojnih svojstava lišća i utjecaja insekata na njih, a samim tim i na adaptabilnost.

14.4. *In situ* genetska obnova populacija *Populus nigra*

Europska crna topola nije ugrožena vrsta u smislu opstanka nekoliko individualnih stabala, već se broj populacija koje sada postaju fragmentirane smanjuje, a obnova novih generacija je onemogućena zbog ugroženosti ekosustava. Kako je crna topola pionirska vrsta, s jakom migracijom i dobrom adaptacijom na lokalne stanišne uvjete, od kojih još mnogi nisu upoznati (Šijačić–Nikolić 2012) na njoj će se još dodatno raditi. Kako je u pitanju diecična stranooplodna vrsta, s veoma dobrom genetskom varijabilnošću, za očekivati je da možda bude veoma osjetljiva na iznenadne promjene i povećano križanje u srodstvu.

Obnova populacija ove vrste i njihova važnost na području gdje su ritska staništa ili nestali ritski ekosustavi, kao i devastirane riječne obale u Bosni i Hercegovini, predstavljaju veliki genetski potencijal i

buduće oplemenjivačke populacije za duža razdoblja, dok obnovljene ili sačuvane populacije topola predstavljaju bitan prilog u očuvanju jednog složenog i veoma ugroženog ekosustava.



Slika 41. Panj stare crne topole (Bilješevo 2016.g.)

14.5. Teoretski pristup

U konceptu *najmanje održive veličine populacije* (MVP) kod šumskog drveća smatra se populacija koja je relativno sigurna od rizika nestajanja zbog genetskih, demografskih, okolišnih i drugih razloga te ukoliko je njezina minimalna veličina dovoljna da se održi određeno vremensko razdoblje. Na primjer, standardni model populacije od 50 stabala u dobi cvatnje kod monoecičnih vrsta u panmiksiji i njezino direktno potomstvo u populaciji konstantne veličine, osigurat će vjerojatno 99 % svoje izvorne genetičke varijabilnosti u smislu bogatstva alela kroz sljedećih sto godina te će preživjeti ako uzmemo

u obzir samo genetske uzroke (Lawrence i Marshall 1997). Općenita preporuka za *najmanju održivu veličinu populacije* za duži period kod šumskog drveća, a baziranoj na ovom teoretskom razmatranju, smatra se veličina od najmanje 500 do 2000 stabala, kako predlažu Geburek (1992) i Lynch (1996).

Genetski drift prisutan kod malih populacija također utječe na kvantitativnu genetsku varijabilnost (Ballian 2005a, 2015). Aditivna komponenta varijance opada sa smanjenjem efektivne veličine populacije. Kod vrste kao što je crna topola to specifično utječe kao i drugi čimbenici, a posebno u spolnom pogledu, u pitanju je diecična vrsta. Tu je i nesklad između genetski efektivne veličine populacije, tj. broja stabala u cvatnji i njihov periodični broj. Također, i populacija varira u svojem odnosu i stupnju genetske bliskosti - u bosanskohercegovačkim populacijama nađeni su prirodni klonovi (Ballian i Tröber 2017), a što je važno za smanjenje inbridinga u budućnosti.

Konceptom *višestrukog sustava oplemenjivanja populacija* (MPBS), prema Erikssonu (1997) i Erikssonu i sur. (1993), razvijen je model podjele velikih populacija u veći broj manjih subpopulacija. Minimalan broj od 50 klonova (genotipova koji nisu u srodstvu) u svakoj od najmanje 20 subpopulacija preporučeno je za većinu monoecičnih vrsta. Subpopulacije su gospodarene za ubrzanu adaptaciju na različite okolišne uvjete i selekcijske pritiske. To povećava unutarpopulacijsku varijabilnost, daje više naglaska i jačinu djelovanja na alele s niskom frekvencijom i općenito ubrzava evoluciju. Demografski kriteriji se mogu smatrati najrelevantnijim za očuvanje jer katastrofalni efekti inbridinga postaju vidljivi tek nakon nekoliko generacija.

Iz tih razloga trebalo bi podržavati sljedeće prioritete:

1. Izbjeći rizik katastrofalne destrukcije (demografska stohastičnost);
2. Limitirati rizik smanjenja (redukcije) životne sposobnosti (fitness), općenito izbjegavajući križanje u srodstvu u očuvanim populacijama;
3. Izbjegavati naglo smanjenje diverziteta.
4. Kod crne topole obično se broj stabala u populaciji odnosi na broj klonova.

1. Rizik kod očuvanih populacija

Genetski rizik kod izoliranih populacija uključuje inbriding i gubitak genetske varijabilnosti zbog prisustva peludi i sjemena hibridnih topola i jablana te pojave povratnih križanaca.

Negenetski rizik uključuje klimatske poremećaje poput učestalih poplava, suša i drugih klimatskih nepogoda, štete od divljači, širenje otpornih bolesti, onečišćenja rijeka, regulaciju rijeka, otvaranja riječnih šljunkara i slično.

2. Preporuke za očuvanje

Osnovni cilj očuvanja genetskih resursa je sačuvati genetski potencijal za buduću adaptaciju vrste i njezinih populacija kroz duži period, dozvolivši njihov evolucijski tijek uz veću pozornost na promjene nastale u okolišu, kao što su na primjer klimatske promjene ili globalno zatopljenje (Kajba i sur. 2004). Strategija očuvanja može se podijeliti u tri operativna cilja:



Slika 42. Stara crna topola u Begovom Hanu

1. Osigurati optimalnu moguću količinu prirodne obnove (pojavu ponika);
2. Spriječiti gubitak genetskog diverziteta i gubitka individualne sposobnosti opstanka u sljedećim generacijama;
3. Identificirati i sačuvati lokalne i regionalne genetske baze.

Odabir staništa za očuvanje

Očuvanje metodom *in situ* općenito predstavlja mrežu konzervacijskih jedinica (odjela) vodeći računa o njihovom broju i geografskoj distribuciji. Do sada je utvrđeno da postoji značajna genetska izdiferenciranost između populacija unutar pojedine zemlje. Populacije unutar jednog riječnoga sustava mogu se razlikovati jedna od druge i veličina diverziteta je varijabilna između populacija te nema akumulacije diverziteta nizvodno niz riječni tok (Božić i sur. 2010; Ballian i Tröber 2017).

Preporuke

1. Lokalne konzervacijske jedinice (odjeli) predviđene za očuvanje genofonda trebale bi biti distribuirane unutar opsega rasprostiranja vrste i to ne samo na europskoj razini, već i unutar pojedine zemlje. Izbor lokaliteta može se bazirati na temelju dvaju parametara (latitudinalnog, longitudinalnog i altitudinalnog rasprostiranja te s obzirom na klimatske prilike) kao indikatora moguće lokalne adaptacije s postojećom mapom cpDNK skupina (Cottrell i sur. 2005) i kao indikatora postglacijalnih rekolonizacijskih smjerova iz odvojenih genetskih baza. No, za sada nije evidentno da cpDNK loze stvaraju strukturu diverziteta za adaptacijska svojstva, ali može se zaključiti da neki izvorni geni mogu obitavati u različitim lozama.
2. Idealno bi bilo očuvati više od jedne konzervacijske jedinice (odjela) po riječnom sustavu, a u ovisnosti o njegovoj genetskoj strukturi nekada je potrebno i više konzervacijskih jedinica (Ballian i Tröber 2017).
3. Preliminarna procjena genetskog diverziteta između starih stabala u kandidiranim populacijama preporučljiva je budući da je cilj imati maksimum diverziteta s najmanjim brojem dupliciranih klonova u reproduktivnoj generaciji.

3. Fluktucija gena kultiviranih varijeteta

S biološke strane inicirani su ciljevi, a dva različita procesa su ovdje uključena: prava introgresija gena različitih stranih vrsta, većinom *P. deltoides* i preko hibridnih topola (*P. × euramericana*), te fluktuacije gena s kultivarima europske crne topole kao što su npr. 'italica' ili 'thevestina' (Heinze 1998a, b; Bordásc i sur. 2002a; Fossati i sur. 2003; Vanden Broeck i sur. 2006; Smulders i sur. 2008a.).

Unošenje gena s biološkog stanovišta ima svoj pozitivan i negativan učinak (Storme i sur. 2004). U pozitivnom smislu može povećati genetsku raznolikost, ali može izmijeniti i lokalnu adaptabilnost, što predstavlja negativnu stranu. Individualnoj sposobnosti se može naštetiti tim utjecajem.

Drugi mogući utjecaj intenzivne fluktuacije gena s kultiviranih varijeteta je redukcija (smanjenje) efektivne veličine populacije koja vodi prema gubitku raznolikosti i povećanju razine inbridinga, što može biti u slučaju da jedan muški klon oprašuje intenzivno većinu ženskih stabala, uz stvaranje polusrodničkih familija.

Geni *P. deltoides* uočeni su u nekim slučajevima na razini sadnica. Postoje velike razlike kod introgresije i to ovisi o postojanju kompeticije između više ženskih stabala. Introgresija je mnogo češća kada je žensko stablo *P. nigra* izolirano soliterno stablo. Stare jedinice s mogućom introgresijom su rijetke u Europi, ali se mogu naći. Geni *P. trichocarpa* također mogu sudjelovati u introgresiji europske crne topole. Jablan ne može izvršiti hibridizaciju u lokalnim populacijama sjeverne Europe zbog nesinkronizacije cvatnje, ali se to može dogoditi u drugim regijama. Također se može utvrditi i postojanje fluktuacije gena od kultivara 'thevestina' (Bordásc i sur. 2002a).

Preporuke

1. Idealno bi bilo da jedinice predviđene za konzervaciju budu više ili manje izolirane od planataža topola. No, ne mora se u potpunosti izbjegavati i izopćiti plantaže topola iz okolice, naročito ako je populacija dovoljno velika. Za obnovljenu populaciju može se koristiti "sigurnosna" zona oko plantaže sa stablima lokalne populacije oba spola.
2. Treba postojati strategija monitoringa (praćenja) veličine introgresije u konzervacijskim odjelima kako bi se stupanj in-

trogresije procjenjivao u sadašnjim adultnim stablima i komparirao s eventualnim postojanjem u sljedećoj generaciji kada dostigne fiziološku zrelost cvatnje. Tek bi se tada mogla ukloniti stara stabla.



Slika 43. Crne topole kod Vranduka

4. Veličina populacije

Populacija mora biti dovoljno velika da bi se izbjegao genetski drift (slučajan gubitak genetskih varijanti usljed stohastičkih procesa) na genetski diverzitet i na udio inbridinga (Ballian i Kajba 2011; Ballian 2005a 2015). Mala populacija imat će veći stupanj fiksacije genskih alela u sljedećoj generaciji. Budući da je topola alogamna vrsta kod koje genetičko opterećenje igra veoma važnu ulogu, za očekivati je da utjecaj inbridinga na prosječnu sposobnost populacije može biti značajan. Pažnja mora biti posvećena "efektivnoj veličini populacijskog

inbridinga", što je maksimalno kada najveći broj ženskih i muških stabala oplođuju u balansiranom sistemu. Fluktuacija gena je također čimbenik koji može povećati veličinu populacije.

Do oplodnje ne dolazi ili se ne odvija slučajno, jer ženska stabla preferiraju oplodnju s ograničenim brojem muških stabala (što može biti uvjetovano udaljenošću i fenologijom, ali može također biti uvjetovano i genetskim čimbenicima). Potomstvo polusrodnika s majčinskog stabla sadržava samo par polinatora, a kretanje gena slijedi model izolacije prema udaljenosti. Efektivno kretanje gena razlikuje se od potencijalne fluktuacije gena, a stvaranje novih sadnica je limitirajući čimbenik. Kretanje gena nije opće, odnosno usmjereno, što znači da je glavni čimbenik raspršivanja peludi i sjemena vjetar.

Preporuke

1. Pozornost mora biti posvećena efektivnom broju ženskih i muških stabala u populaciji (Kajba i Ballian 2007) koja će sudjelovati u kreiranju sljedeće generacije. Od mogućeg broja ženskih stabala neka od njih će biti uspješnije oprašena i time dovesti do nebalansirano efektivnog spolnog omjera, pa bi dodatni broj ženskih stabala bio nužno potreban.
2. Uvjeti za pridolazak sjemena (kao svjetlo) i formiranja sadnica (otkriveno tlo, vodene table) moraju biti optimalni.
3. Obnova populacija se može prakticirati uz korištenje nesrodnih klonova prije nego potomstva iz sjemena. Specijalne klonske plantaže nisu dobra rješenja za ovu vrstu jer se može povećati učinak preferiranog sparivanja, naročito kada je broj genotipova malen ili imamo alelnu siromaštvo.
4. Male konzervacijske jedinice upotrebljavaju se kao mostovi između većih populacija i trebale bi biti manje od 5 km udaljene kako bi aktivno sudjelovale u efektivnoj veličini populacije.

14.6. Izbor indikatora za monitoring lokalne evolucije

Uzgajivači će u svrhu očuvanja genetskih resursa morati vršiti promatranje (monitoring) evolucijskih procesa u danom planu konzervacije. Preporučeni su set indikatora koji je temeljen na ekološkim opažanjima (na razini ekosustava), na demografskim parametrima (na populacijskoj razini) i na genetskim parametrima (na individualnoj



Slika 44. Pojedinačne crne topole duž rijeke Bosne u Dobrinju

razini). Svaki indikator osigurava informaciju o jednom ili više procesa koji se odvijaju u populaciji. Tu ostaje još i primjena novih i potencijalno kontroverznih strategija, kao što su financiranje migracija uz ljudsko posredovanje (McLachlan i sur. 2007), što može biti potrebno samo za održavanje zdravog, samoobnovljivog i, s ekološkog motrišta, značajnog drveća koje raste uz naše riječne obale.

Utjecaj genetskog drifta određuje se na lokalnoj razini (unutar sastojine) prema diferencijaciji između skupina. S teoretskog motrišta za očekivati je da će to utjecati na životnu sposobnost (fitnes) populacije preko povećanja razine inbridinga u populaciji (Kajba i Ballian 2007).

1. Posebna pozornost mora se posvetiti praksi koja ima utjecaja na cvatnju i procese obnove, a koji determiniraju *efektivnu veličinu populacije*.
2. Najrelevantniji ekološki i demografski indikatori su: hidropetiod, trajanje (koji osiguravaju informacije o dinamici ekosusta-

va i također mogućnost za regeneraciju, ali možda također u udjelu klonskog umnažanja), strukture staništa (koji su direktno vezani za veličinu populacije). Drugi demografski indikator je distribucija (starosne klase) dobnih razreda. U starim populacijama mogućnost genetskih indikatora može biti heterozigotnost sadnica u novoj generaciji, koristeći neke od biljega koji su već razvijeni, a daju informacije o driftu, sistemu oplodnje i selekcije (Arens i sur. 1998).

14.7. Korištenje crnih topola u sustavu agroforestrija i fitoremedijacije

U svjetskim razmjerima agroforestri dobiva svakim danom na značaju. Ako se analizira svjetska proizvodnja drva, oko 2% svjetskih potreba se namiruje na ovaj način. Ako se to promatra kao 2%, onda



Slika 45. Vjetrozaštitni pojas od hibridnih crnih topola u Popovom polju (Ravno), jedan vid agroforestrija

izgleda veoma malo, ali je to ipak ogromna količina drva. Daljnja analiza ukazuje da se najviše drvene mase na ovaj način dobiva u nerazvijenim, odnosno u zemljama s polupustinjskom klimom, većinom u području srednje Azije, zemljama Sahela, a u novije vrijeme pojavljuje se i Kina kao najcjenjeniji proizvođač drva na ovaj način (Ballian 2010).

U Kini je ova metoda trenutno najrazvijenija, a počeli su je razvijati još prije 40 godina. Može se sa sigurnošću reći da je u zadnjoj dekadi ovaj način proizvodnje drva doveden do savršenstva, uz primjenu suvremenih metoda oplemenjivanja, modificiranja gena te uz suvremene metode proizvodnje sadnog materijala i primjenu suvremenih metoda uzgoja.

Za razliku od navedenog, u SAD-u agroforestri ima potpuno drugačiju ulogu, a ona se prije svega ogleda u sprječavanju eolske erozije u savezanim državama koje se nalaze u dolini rijeka Missouri i Mississippi. U ovom području je problem eolske erozije posebice izražen u proteklih 70 godina uvođenjem u poljoprivrednu proizvodnju pesticida i mineralnih hranjiva kao i teške mehanizacije za obradu tla. Na taj način je aktivni sloj tla, koji je bio dubok oko 120 cm, smanjen na 30-40 cm, a tijekom posljednjih 30 godina taj problem je još izraženiji te se izlaz pronalazi u primjeni metoda agroforestrija.

Odmah se nameće pitanje: gdje je tu Bosna i Hercegovina? Iako se kod nas drvo pridobiva na klasičan način iz prirodnih šuma, ne bismo trebali zapostaviti i ovaj način jer bi mogao osigurati veće količine drva, uz druge polivalentne uloge. Kako je temeljna proizvodnja drva kroz agroforestri vezana za topole, a stalno se na tržištu povećava potražnja za drvom mekih listača, to bismo trebali razviti i taj segment proizvodnje. Raspolažemo velikim, a nepotpuno iskorištenim poljoprivrednim površinama, te bismo ih mogli uključiti u ovaj vid proizvodnje koji iziskuje dobro poznavanje ekologije poljoprivrednoga bilja i drveća te ekologije topola. Poznavanje i ekološko usklađivanje različitih kultura prilikom primjene agroforestrija osigurava i vrhunske prinose.

Da bi se bolje razumjela problematika, potrebno je da se osvrnemo na neke od pozitivnih primjera koji bi se mogli primijeniti i kod nas. Tako ćemo se osvrnuti na turska iskustva koja su među najboljim u svijetu po uspješnosti primjene ovog vida proizvodnje drva.

Prije 15 godina počelo se s razvojem agroforestrija, uz stalni nadzor Instituta u Izmitu. Kao i svaki početak, i ovo je izazvalo poduzrenje stanovništva jer je ukupno poljoprivredno zemljište bilo u privatnom

posjedu. Nakon velike kampanje krenulo se u aktivnosti, u početku na malim i praktično zanemarivim površinama, da bi se u zadnjih pet godina te površine počele naglo povećavati te sad zapremaju nekoliko tisuća hektara.



Slika 46. Agroforestri u Turskoj (okolica Iznika)

Tako su posjednici zemlje i stručnjaci s instituta bili u mogućnosti da prave različite kombinacije pri primjenama agroforestrija na terenu. Postoje i kombinacije gdje se kombiniraju dvije vrste, što je najčešći slučaj. Obično su to kukuruz kao poljoprivredna kultura i crna topola, u ovom slučaju autohtona ili američka crna topola (*Populus deltoides*) koja je predstavljena najproduktivnijim klonom u Turskoj, poznatim kao "Samsun". Druga kombinacija je s ječmom i topolom, a potom slijede grah s topolom, paprika s topolom, lubenice i topola, i sl. Posebna kombinacija je s tri kulture, a najčešće se koristi kombinacija



Slika 47. Posljednja crna topola na području grada Sarajeva (kod Zemaljskog muzeja BiH)

kukuruza, lješnjaka i topola. U svim ovim slučajevima topole se koriste u kratkim ophodnjama, najduže do 12 godina, ali je uobičajena starost 8 – 10 godina kad daju prinos preko 200 m³/ha, s tim da glavnu masu predstavlja furnirski trupac čija cijena na lokalnom tržištu ide i preko 150 US\$ (Ballian 2010). Također, tu je i dobra, iako nešto smanjena proizvodnost poljoprivrednog usjeva koji ipak raste u povoljnijim ekološkim uvjetima nego isti usjev na otvorenom. Ta smanjenost prinosa poljoprivredne kulture kompenzira se proizvodnošću drva. Inače, samo se u zadnjih nekoliko godina pred kraj ophodnje prinos zna smanjiti do 20%.

Posebna uloga topola u ovom slučaju je i fitoremedijacija tla jer topole iz zemljišta kupe sve suvišne nitratre koje unosimo s dušičnim đubrivima u tlo. Na taj način se sprječava zagađenje podzemnih vodotoka i čuva okoliš.

Što se tiče sadnje topola, kod agroforestrija gustoća sadnje se odvija prema poljoprivrednoj kulturi, kao i prema raspoloživoj mehanizaciji kojom će se obrađivati tlo. Tako su sadnje između redova i u redovima obično 4 - 6 m, a ako primjenjujemo i treću vrstu mora se u redovima ostaviti veći razmak između stabala. Sadnja se obavlja u rupama čija je dubina prilagođena visini sadnice, odnosno dubini na kojoj se pojavljuje podzemna voda, a to znači da je u turskom primjeru dubina sadnje 1 - 1,5 m. Inače, dimenzije sadnog materijala topola koje se rabe za agroforestri su za naše prilike neshvatljive te se visina sadnice prve klase klona "Samsun" kreće 6 - 6,5 m i s promjerom 4 - 5 cm.

Na zasađenim biljkama se odmah počinju primjenjivati mjere njege koje se ogledaju u odrezivanju grana da bi do tla, odnosno do poljoprivredne kulture, dospjelo dovoljno svjetla. Krošnja se mora tako oblikovati da smanjuje isparavanje vode iz tla, ali da do biljaka dopire dovoljno svjetla koje je potrebno za njihov nesmetan razvitak. Uspoređivanjem poljoprivrednih kultura koje rastu pod zasjenom i onih s otvorenog prostora došlo se do saznanja da one koje rastu u zasjeni praktično ne pate od sunčanih nekroza, fiziološke suše te imaju kvalitetnije razvijenu asimilacijsku masu lista. Također je potvrđeno da biljnu masu poljoprivrednih kultura, proizvedenu kroz agroforestri, domaće životinje radije koriste u ishrani nego onu koja je rasla na otvorenom i pokazuje određeni stupanj žilavosti.



Slika 48. Borba za opstanak na sprudovima Neretve

LITERATURA

- Abrams M.D. 1994:** Genotypic and phenotypic variation as stress adaptations in temperate tree species: a review of several case studies. *Tree Physiology*, 14: 833-842.
- Aitken S.N., Yeaman S., Holliday J.A., Wang T., Curtis-McLane S. 2008:** Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1: 95-111.
- Al Afas N., Marron N., Ceulemans R. 2007:** Variability in *Populus* leaf anatomy and morphology in relation to canopy position, biomass production, and varietal taxon. *Annals of Forest Science*, 64: 521-532.
- Alba N., Maestro C., Agundez D., Notivol E. 2002:** Advances in the preservation of genetic resources in *Populus nigra* L. in Spain. In: van Dam B.C., Bordács S. (Ed.), Genetic diversity in river populations of European black poplar-implications for riparian eco-system management, Proceedings of the International Symposium Held in Szekszard, Hungary, May 16–20, 2001. Str. 125–136.
- Alikalfić, F. 1998:** Johe uz obale naših vodotoka i njihov značaj za kvalitet životne sredine. Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu. 1:1-17.
- Anonymous. 1990:** Ministerial Conference Strasbourg. Actes de la Conférence Ministérielle pour la Protection des Forêts en Europe. 18 Décembre 1990. Strasbourg. Ministère de L'Agriculture et des Forêts, France. Str. 1-255.
- Arbez M., Lefèvre F. 1997:** Towards a European genetic resource programme: objectives and general conception - a case study concerning black poplar (*Populus nigra* L.). *Boccone*, 7: 389–398.
- Arens P., Coops H., Jansen J., Vosman B. 1998:** Molecular genetic analysis of black poplar (*Populus nigra* L.) along Dutch rivers. *Molecular Ecology*, 7: 11-18.
- Ballian D. 2004:** The status of Black and White Poplar (*Populus nigra* L., *Populus alba* L.) in Bosnia and Herzegovina, In *Populus nigra* Network. Report of the 8th *Populus nigra* Network Meeting. Frankfurt (Oder)/Treppeln. IPGRI, Rome, Italy. Str. 17-20.
- Ballian D. 2004a:** Da li nestaje neretvanska crna topola (*Populus nigra* ssp. *caudina* (Ten.) Bug. var. *nerentana* (Jov. et Tuc.) Janjić). *Naše šume*, 3: 39.
- Ballian D. 2005:** Nestanak posljednjih crnih topola (*Populus nigra* L.) na sarajevskom području. *Naše šume*, 4/5: 40.
- Ballian D. 2005a:** Značaj procjene genetskog opterećenja u sastojinama obične jele (*Abies alba* Mill.) na osnovi fiksacijskog indeksa i njegova primjena. *Radovi Šumarskog instituta Jastrebarsko*, 40(2): 151-163.
- Ballian D. 2009:** Značaj kolekcije klonova autohtonih crnih i hibridnih topola za Bosnu i Hercegovinu. *Radovi Hrvatskog društva za znanost i umjetnost, Sarajevo*, 11: 221-230.
- Ballian D. 2010:** Što je agroforestri – perspektive u Bosni i Hercegovini. *Naše šume*, 18/19: 30-32.

- Ballian D. 2011:** Osnovni principi rajonizacije sjemenskih objekata za proizvodnju sjemena na genetskim principima. Radovi Hrvatskog društva za znanost i umjetnost, Sarajevo, 12/13: 18-41.
- Ballian D. 2015:** The role of fixation index in preservation of breeds in small and fragmented populations in the matter of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.). Botanical science in the modern world. Proceedings of International Conference, dedicated to the 80th anniversary of the Yerevan Botanical Garden. (5-9.10.2015). Str: 259-266.
- Ballian D., Mikić T. 1999:** Kako nestaje autohtona europska crna topola (*Populus nigra* L.) i kako je sačuvati. Biološki list. god. XLVI (1): 9-12.
- Ballian D., Mikić T., Pintarić K. 1999:** Analiza uspijevanja pet provenijencija zelene duglazije (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Fraco) u pokusu Batalovo brdo. Šumarski list.9-10: 423-430.
- Ballian D., Mikić T., Pintarić K. 2002:** Provenance trials with Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Fraco) at Blinje site near Kreševo. Works of the Faculty of Forestry, 1: 9-18.
- Ballian, D., Mikić, T., Pintarić, K., Ščekić, M. 2003:** The analysis of Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Fraco) growth within the IUFRO trial at "Gostović" Zavidovići. Works of the Faculty of Forestry, 1: 55-63.
- Ballian D., Kajba D., Idžojtić M. 2006:** Morphological Diversity Of Hairy European Black Poplar (*Populus nigra* ssp. *caudina*) in Bosnia and Herzegovina. Glasnik Šumarskoga fakulteta u Banjaluci, 5: 13-22.
- Ballian D., Monteleone I., Ferrazzini D., Kajba D., Belletti P. 2008:** Genetic characterization of common ash (*Fraxinus excelsior* L.) population in Bosnia and Herzegovina. Periodicum Biologorum, 110(4): 323-328.
- Ballian D., Mekić F. 2008a:** The Clone Archive of Black Poplar (*Populus nigra* L.) in Žepče, Bosnia and Herzegovina. IPC 2008 - China, 23rd Session, International Poplar Commission, Beijing – China, 27 – 30 October 2008. Book of abstracts. Str. 12.
- Ballian D., Mekić F. 2008b:** Klonski arhiv bosanskohercegovačkih populacija crne topole (*Populus nigra* L.) u Žepču – podizanje i uporaba klonskog materijala. Naše šume, 12/13: 16-24.
- Ballian D., Belletti P., Ferrazzini D., Bogunić F., Kajba D. 2010:** Genetic variability of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Bosnia and Herzegovina. Periodicum Biologorum, 112 (3): 353-362.
- Ballian D., Velić A. 2010/2011:** Fenološka varijabilnost hibridnih platana (*Platanus x acerifolia* Aiton./Willd.) u alejama i parkovima grada Sarajeva tijekom 2009. godine. Radovi Hrvatskog društva za znanost i umjetnost, Sarajevo, 12/13: 62-83.
- Ballian D., Kajba D. 2011:** Oplemenjivanje šumskog drveća i očuvanje njegove genetske raznolikosti. Univerziteti – Sveučilišni udžbenik. Sarajevo-Zagreb. Str. 1-299.

- Ballian D., Omerhodžić N., Dautbašić M. 2012:** Preliminarna istraživanja proljetne i jesenje fenologije divljeg kestena (*Aesculus hippocastanum* L.) na nekim lokalitetima u Sarajevu tijekom 2009. Naše šume, 25/26: 39-54.
- Ballian D., Kajba D. 2015:** Phenological researches of black poplars (*Populus nigra* L.) in clonal archives Žepče. Botanical science in the modern world. Proceedings of International Conference, dedicated to the 80th anniversary of the Yerevan Botanical Garden. (5-9.10.2015). Str: 266-273.
- Ballian D., Tröber U. 2016:** Identifikacija klonova u arhivu crnih topola (*Populus nigra* L.) Žepče. Naše šume, 44/45: 5-14
- Ballian D., Tröber U. 2017:** Genetska karakterizacija europske crne topole (*Populus nigra* L.) u Bosni i Hercegovini. Šumarski list, 5-6: 251-262.
- Barboni D., Harrison S.P., Bartlein P.J., Jalut G., New M., Prentice I.C., Sanchez-Goni M.-F., Spessa A., Davis B., Stevenson A.C. 2004:** Relationships between plant 294 traits and climate in the Mediterranean region: A pollen data analysis. Journal of Vegetation Science, 15: 635-646.
- Barsoum N., Hughes F.M.R. 1998:** Regeneration response of black poplar to changing river levels. In: Wheeler H., Kirby C. (Ed.), Hydrology in a Changing Environment. Str. 397-412.
- Barsoum N., Muller E., Skot L. 2004:** Variations in levels of clonality among *Populus nigra* L. stands of different ages. Evolution Ecology, 18: 601-624.
- Beck-Mannagetta, G. 1906:** Flora Bosne i Hercegovine i Novopazarskog sandžaka. 2 (1) dio. Glasnik Zemaljskog Muzeja u Sarajevu, 18: 69-81.
- Bennett K.D. 1990:** Milankovitch cycles and their effects on species in ecological and evolutionary time. Paleobiology. 16: 11-21.
- Bennett K.D. 1997:** Evolution and ecology: the pace of life. Cambridge: Cambridge University Press. Str. 1-241.
- Bennett K.D., Tzedakis P.C., Willis K.J. 1991:** Quaternary refugia of north European trees. Journal of Biogeography, 18:103-115.
- Bertović S. 1980:** Fenologija. Šumarska enciklopedija. Jugoslovenski leksikografski zavod. Zagreb. Tom I: 542-544.
- Beuker E., Koski V. 1997:** Adaptation of tree populations to climate as reflected by aged provenance tests. In: Mátyás C. (Ed.), Perspectives of Forest Genetics and Tree Breeding in a Changing World. IUFRO World Series 6. Str. 103-108.
- Beus V. 1997:** Fitocenologija za II. razred šumarske tehničke škole. Ministarstvo obrazovanja, nauke, kulture i sporta Federacije BiH i "Sarajevo-publishing". Str. 1-138.
- Bhagwat S., Willis K.J. 2008:** Species persistence in northerly glacial refugia of Europe: a matter of chance or biogeographical traits? Journal of Biogeography, 35: 464-482.
- Birks H.H. 2003:** The importance of plant macrofossils in the reconstruction of Lateglacial vegetation and climate: examples from Scotland, western Norway, and Minnesota, USA. Quaternary Science Reviews, 22: 453-473.
- Birks H.J.B., Willis K.J. 2008:** Alpines, trees, and refugia in Europe. Plant Ecology & Diversity, 1(2): 147-160.

- Bisoffi S., Gemignani G., Gras M.A., May S., Mughini G. 1987:** Establishment of *Populus nigra* genetic reserve in Italy. *Genetica Agriculture*, 41: 105-114.
- Bisoffi S., Cagelli L. 1992:** Leaf shape as a tool for the discrimination among poplar clones. 19th Session FAO/IPC. Zaragoza. Spain. FO:CIP:NR 92/2. Str. 19.
- Bordács S., Borovics A., Bach I. 2002a:** Genetic diversity of natural populations and genebank of black poplar in Hungary. In: van Dam B.C., Bordács S. (Ed.). *Genetic Diversity in River Populations of European Black Poplar-implications for Riparian Eco-system Management*. Proceedings of an International Symposium, Szekzard, Hungary, May 2001. Str. 125-136.
- Bordács S., Popescu F., Slade D., Csaikl U.M., Lesur I., Borovics A., Kezdy P., König A.O., Gömöry D., Brewer S., Burg K., Petit R.J. 2002b:** Chloroplast DNA variation of white oaks in northern Balkans and in the Carpathian Basin. *Forest Ecology and Management*, 156: 197-210.
- Božič G., Heinze B., Kajba D., Krystufek V., Vanden Broeck A. 2010:** Genetic diversity in *Populus nigra* L. populations along rivers in Eastern Austria, Slovenia and Croatia as revealed by microsatellite markers. In: Spano P., Cherubini L.(Ed.), *Fifth International Poplar Symposium, Poplars and Willows: from research models to multipurpose trees for a bio-based society*. Orvieto. Italy. 20-25 September 2010. Str. 22.
- Bradley R.S. 1999:** *Paleoclimatology – reconstructing climates of the Quaternary*. 2nd ed. San Diego: Harcourt/Academic Press. Str. 1-613
- Brewer S., Cheddadi R., de Beaulieu J.L., Reille M. 2002:** The spread of deciduous *Quercus* throughout Europe since the last glacial period. *Forest Ecology and Management*, 156: 27-48.
- Brongniart M.A. 1843:** *Énumération des genres de plantes cultivées au Musée d'histoire naturelle de Paris*, suivant l'ordre établi dans l'École de botanique en 1843. Str. 1-136.
- Brubaker L.B., Anderson P.A., Edwards M.E., Lozhkin A.V. 2005:** Beringia as a glacial refugium for boreal trees and shrubs: new perspectives from mapped pollen data. *Journal of Biogeography*, 32: 833-848.
- Brus R. 2004:** Drevesne vrste na Slovenskem. Mladinska knjiga. Ljubljana. Str. 1-399.
- Brus R., Galien U., Božič G., Jarni K. 2010:** Morphological study of the leaves of two European black poplar (*Populus nigra* L.) population in Slovenia. *Periodicum Biologorum*. 112(3): 317-325.
- Bugala W. 1967:** Systematyka euroazjatyckich topoli z grupy *P. nigra* L. *Rocznik Arboretum Kornickie*, 12: 47-220.
- Burdon R.D. 1977:** Genetic Corelation as a Concept for studying Genotype-Environment Interaction in Forest Tree Breeding. *Silvae Genetica*, 26: 168-175.
- Cagelli L., Lefèvre F. 1995:** The conservation of *Populus nigra* and gene flow with cultivated poplars in Europe. *Forest Genetics*, 2: 135-144.

- Cavalier-Smith T. 1981:** Eukaryote kingdoms: Seven or nine? *Biosystems*, 14(3/4): 461–481.
- Cavalier-Smith T. 1998:** A revised six-kingdom system of life. *Biological Reviews*, 73(3): 203–266.
- Chapin F.S., Autumn K., Pugnaire F. 1993:** Evolution of suites of traits in response to environmental stress. *American Naturalist*, 142: S78–S92
- Collin E. 1998:** European gene conservation strategy for Noble Hardwoods in the long term - Elm (*Ulmus* spp.), in: Turok J., Collin E., Demesme B., Eriksson G., Kleinschmidt J., Musanen M., Stephan R. (Ed.), Noble Hardwoods Network Report of the second meeting, Lourizan, Spain, 22–25 March 1997, IPGRI, Rome. Str. 44–47.
- Colmer T.D., Voeselek L.A.C.J. 2009:** Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology*, 36: 665–681.
- Cottrell J.E., Forrest G.I., White I.M.S. 1997:** The use of RAPD analysis to study diversity in British black poplar (*Populus nigra* L. ssp. *betulifolia* (Pursch) W. Wettst. (*Salicaceae*)) in Great Britain. *Watsonia*, 21: 305–312.
- Cottrell J.E., Tabbener H.E., Forrest G.I. 2002:** Distribution of variation in British black poplar: role for human management. In: van Dam B.C., Bordács S. (Ed.), Genetic Diversity in River Populations of European Black Poplar-implications for Riparian Eco-system Management. Proceedings of an International Symposium, Szekszárd, Hungary, May 2001. Str. 73–84.
- Cottrell J.E., Krystufek V., Tabbener H.E., Milner A.D., Connolly T., Sing L., Fluch S., Burg K., Lefèvre F., Achard R., Bordács S., Gebhardt K., Vornam B., Smulders M.J.M., Vanden Broeck A.H., Van Slycken J., Storme V., Boerjan W., Castiglione S., Fossati T., Alba N., Agundez D., Maestro C., Notivol E., Bovenschen J., Van Dam B.C. 2005:** Postglacial migration of *Populus nigra* L.: lessons learnt from chloroplast DNA. *Forest Ecology and Management*, 206: 71–90.
- Cremer E., Konnerth M. 2010:** Genetische Untersuchungen an Schwarzpappeln aus Bayern. In: LWF Wissen, Heft 64, 46–51.
- Critchfield W.B. 1960:** Leaf dimorphism in *Populus trichocarpa*. *American Journal of Botany*, 47: 699–711.
- Cronk Q.C.B. 2005:** Plant eco-devo: The potential of poplar as a model organism. *New Phytologist*, 166: 39–48.
- Csaikl U.M., Burg K., Fineschi S., König A.O., Mátyás G., Petit R.J. 2002:** Chloroplast DNA variation in white oaks in the alpine region. *Forest Ecology and Management*, 156: 131–147.
- Čortan D., Šijačić-Nikolić M., Knežević R. 2013:** Variability of leaves morphological traits in black poplar (*Populus nigra* L.) from two populations in Vojvodina. *Šumarstvo*, 65 (3/4): 193–202.
- Čortan D., Šijačić-Nikolić M., Knežević R. 2014:** Variability of Black poplar morphometric leaf characteristics from the area of Vojvodina. *Bulletin of the Faculty of Forestry. University of Belgrade*, 109: 63–72.

- Čortan D., Tubić B., Šijačić-Nikolić M., Borota D. 2015:** Variability of black poplar (*Populus nigra* L.) leaf morphology in Vojvodina, Serbia. *Šumarski list*, 5/6: 245–252.
- De Bell D.S. 1990:** *Populus trichocarpa* Torr. & Gray, black cottonwood. In: Burns R.M., Honkala B.H. (Ed.) *Silvics of North America Vol. 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. Str. 570–576.
- de Candolle A.P., Duby J.E. 1828:** *Botanicon Gallicum, seu, Synopsis plantarum in flora Gallica descriptarum (second Ed.)*. Desray, Paris. Str. 1-427.
- de Meeûs T., Prugnolle F., Agnew P. 2007:** Asexual reproduction: Genetics and evolutionary aspects. *Cell Molecular Life Sciences*, 64: 1355–1372.
- de Rigo D., Enescu C. M., Houston Durrant T., Caudullo G. 2016:** *Populus nigra* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San – Miguel – Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston, Durrant T., Mauri, A. (Ed.), *European Atlas of Forest Tree Species*, Edition: first, Publication Office of the European Union, Luxembourg. Str. 136-137.
- de Vries S.M.G. 1995:** *Populus nigra* in the Netherlands. In: Frison E., Lefèvre F., de Vries S., Turok J. (Ed.), *Populus nigra* Network. Report of the first meeting, Izmit, Turkey, 3-5 October 1994, IPGRI, Rome. Str. 46.
- De Woody J. 2011:** *Evolutionary and Genetic Basis of Morphological Variation in Populus nigra* (European black poplar). University Of Southampton, Faculty of Natural & Environmental Sciences, School of Biological Sciences. PhD Thesis. Str. 1-342.
- De Woody J., Trewin H., Taylor G. 2015:** Genetic and morfological differentiation in *Populus nigra* L.: isolation by colonization or isolation by adaptation. *Molecular Ecology*, 24: 2641-2655.
- Degen B. 2008:** Computer Program GDA_NT – Genetic Data Analysis & Numerical Tests. Version 2, May 2008
- Démesure B., Sodzi N., Petit R.J. 1995:** A set of universal primers for amplification of polymorphic non-coding regions of mitochondrial and chloroplast DNA in plants. *Molecular Ecology*, 4: 129–131.
- DHMZ 2001:** Nacionalno izvješće Republike Hrvatske o promjeni klime. Državni Hidrometeorološki Zavod.
- Dickmann D.I. 2001:** An overview of the genus *Populus*. In: Dickman D.I., Isebrands J.G., Eckenwalder J.E., Richardson J. (Ed.) *Poplar Culture in North America. Part A*. NRC Research Press, Ottawa, Canada. Str. 1–42.
- Dickmann D.I., Stuart K. 1983:** *The culture of poplars in Eastern North America*. Department of Forestry, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA. Str. 1-168.
- Di Fazio S.P. 2002:** *Measuring and Modeling Gene Flow from Hybrid Poplar Plantations: Implications for Transgenic Risk Assessment*. PhD Thesis, Oregon State University, Corvallis, OR. Str. 1-242.
- Dixon M.D. 2003:** Effects of flow pattern on riparian seedling recruitment on sandbars in the Wisconsin River, Wisconsin, USA. *Wetlands*, 23: 125–139.

- Dixon M.D., Turner M.G. 2006:** Simulated recruitment of riparian trees and shrubs under natural and regulated flow regimes on the Wisconsin River, USA. *River Research and Applications*, 22: 1057–1083.
- Dode L.A. 1905:** Extraits d'une Monographie inédite du genre *Populus*. Mémoires de la *Société d'histoire naturelle et des amis du Museum d'Autun*, 18: 161-231.
- Doncaster C.P., Davey A.J.H. 2007:** Analysis of Variance and Covariance: How to choose and construct models for the life sciences. Cambridge University Press, Cambridge, England. Str. 1-304.
- Döffler W. 2013:** Prokoško Jezero: An environmental record from a subalpine lake in Bosnia-Herzegovina. In: Müller J.U.a. (Hrsg.), Okolište 1 - Untersuchungen einer spätneolithischen Siedlungskammer in Zentralbosnien. Univforsch. Prähist. Arch., 228: 311-340.
- Dudley S.A. 1996a:** Differing selection on plant physiological traits in response to environmental water availability: A test of adaptive hypotheses. *Evolution*, 50: 92-102.
- Dudley S.A. 1996b:** The response to differing selection on plant physiological traits: evidence for local adaptation. *Evolution*, 50: 103-110.
- Dumolin-Lapégue, S., Démesure, B., Fineschi, S., Le Corre, V., Petit, R. 1997:** Phylogeographic structure of white oaks throughout the European continent. *Genetics*, 146: 1475–1487.
- Dumortier B.C.J. 1829:** Analyse des familles des plantes, avec indication des principaux genres qui s'y rattachent. J. Casterman aîné, Tournay. str. 1-104.
- Džekov S. 1960:** Domašnata crna topola (*P. nigra*) vo NR Makedonija. Godišen Zbornik na Zemjodjelsko-šumarskiot fakultet, str. 1-44.
- Eckenwalder J.E. 1977:** Systematics of *Populus* L. in southwestern North America with special reference to sect. Aigeiros Duby. Ph.D. dissertation, University of California, Berkeley, California, USA. Str. 1-331.
- Eckenwalder J.E. 1980:** Foliar heteromorphism in *Populus* (Salicaceae). A source of confusion in the taxonomy of tertiary leaf remains. *Systematic Botany*, 5: 366–383.
- Eckenwalder J.E. 1984:** Natural intersectional hybridization between North American species of *Populus* (Salicaceae) in sections Aigeiros and Tacamahaca. II. Taxonomy. *Canadian Journal of Botany*, 62: 325-335.
- Eckenwalder J.E. 1996:** Systematics and evolution of *Populus*. In: Stettler RF, Bradshaw Jr HD, Heilman PE, Hinckley TM (Ed.) *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*. National Research Council of Canada, NCR Research Press, Ottawa, Canada. Str. 7-32.
- El Mousadik A., Petit R.J. 1996:** Chloroplast DNA phylogeography of the argan tree of Morocco. *Molecular Ecology*, 5: 547–555.
- Endlicher S. 1836-1840:** Genera Plantarum Secundum Ordines Naturales Disposita, Vindobonae, Apud Fr. Beck Universitatis Biblioploam, Wien. Str. 1- 1483.

- Engler A. 1892:** Syllabus der Vorlesungen über specielle und medicinisch-pharmaceutische Botanik. Berlin: Gebrüder Borntraeger. Str. 1-184.
- Eriksson G. 1997:** Tasks of gene conservation in a changing world. In: Matyas C. (Ed.), Perspectives of Forest Genetics and Tree Breeding in a Changing World. IUFRO World Series 6. Str. 125–134.
- Eriksson G., Namkoong G., Roberds J.H. 1993:** Dynamic gene conservation for uncertain futures. *Forest Ecology and Management*, 62, 15–37.
- Erwin T.L. 1991:** An evolutionary basis for conservation strategies. *Science*, 253: 750–752.
- Farmer R.E. 1996:** The genecology of *Populus*. In: Stettler, R.F., Bradshaw, H.D., Heilman, P.E., Hinckley, T.M. (Ed.), *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*. NRC Research Press, Ottawa, Canada. Str. 33–55.
- Ferreira S., Hjernø K., Larsen M., Wingsle G., Larsen P., Fey S., Roepstorff P., Salomé Pais M. 2006:** Proteome profiling of *Populus euphratica* Oliv. upon heat stress. *Annals of Botany*, 98:361–377.
- Feurdean A., Wohlfarth B., Björkman L., Tantau I., Bennike O., Willis K.J., Farcas S., Robertsson A.M. 2007:** The influence of refugial populations on lateglacial and early vegetational changes in Romania. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 145: 305–320.
- Fineschi S., Turchini D., Grossini P., Petit R.J., Vendramin G.G. 2002:** Chloroplast DNA variation in Italy. *Forest Ecology and Management*, 156: 103–114.
- Fossati T., Grassi F., Sala F., Castiglione S. 2003:** Molecular analysis of natural populations of *Populus nigra* L. intermingled with cultivated hybrids. *Molecular Ecology*, 12: 2033–2043.
- Franjić J., Škvorc Ž. 2010:** Šumsko drveće i grmlje Hrvatske. Sveučilište u Zagrebu – Šumarski fakultet. Str. 1-432.
- Frankel O.H. 1983:** The place of management in conservation. In: Schonewald – Cox, F.M., MacBryde, B., Thomas, W.L. (Ed.) *The Value of the Gene Conservation in these Populations may be Crucial for the Whole Genus with regard to Trends of Climatic Changes*. Benjamin Cummings, Menlo Park, CA. Str. 1–14.
- Fukarek P. 1959:** Pregled dendroflore Bosne i Hercegovine. *Narodni šumar. Sarajevo*, 13(5/6): 263–286.
- Fukarek P. 1970:** Rasprostriranje i raprostranjenosti bukve, jele i smrče na području Bosne i Hercegovine. *Akad. nauka i umjetnosti BiH, Radovi XXXIX, Odjeljenje prirodnih i matematičkih nauka knjiga 11: 231–256*.
- Fussi B. 2010:** Phylogeography, Flowering Phenology and Cytonuclear Interactions of *Populus alba* and *P. tremula*: Two European Hybridising Forest Trees. Doktorin dissertation, Universität Wien. Str. 1-158.
- Geburek T. 1992:** Wie groß sollten Populationen sein, um bedrohte Tier- und Pflanzenarten zu erhalten? *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 163:129-133.

- Glaubitz J.C. 2004:** CONVERT: A user-friendly program to reformat diploid genotypic data for commonly used population genetic software packages. *Molecular Ecology Notes*, 4: 309–310.
- Goicoechea P.G., Agúndez D. 2000:** Robles y Hayas en España. Conservació de Recursos Genéticos. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie, 2: 125–142.
- Gom L.A., Rood S.B. 1999:** Patterns of clonal occurrence in a mature cottonwood grove along the Oldman River, Alberta. *Canadian Journal of Botany*, 77:1095–1105.
- Gömöry D., Longauer R., Liepelt S., Ballian D., Brus R., Kraigher H., Parpan T.I., Stupar P.I., Paule L., Ziegenhagen B. 2004:** Variation patterns of mitochondrial DNA of *Abies alba* Mill. in suture zones of postglacial migration in Europe. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 73(3): 203–206.
- Govedar Z., Ballian D., Mikić T., Pintarić K. 2003:** Development of douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Fraco) provenances within IUFRO program on sample plot "Crna Lokva" near Gradiška. *Šumarstvo*, 3/4: 61–70.
- Gradual L., Kjaer E., Thomsen A., Larsen A.B. 1997:** Planning natinal Programmes for Conservation of Forest Genetic Resources. Danida Forest Seed Center, Humlabaek: DK, Technical Note, 48:58.
- Gregorius H.R. 1974:** On the concept of genetic distance between populations based on gene frequencies. Proceedings, Joint IUFRO Meeting S.02-04. Str. 17–22.
- Gregorius H.R. 1987:** The relationship between the concept of genetic diversity and differentiation. *Theoretical & Applied Genetics*, 74: 397–401.
- Haeckel E.H.P.A. 1866:** Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanische Begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-Theorie. Volume I: Allgemeine Anatomie der Organismen. Georg Reimer, Berlin, str. 1–574, volume II: Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen. Georg Reimer, Berlin. Str. 1–462.
- Hase I., Heinze B., Arthofer W., Kajba D., Ballian D. 2007:** Candidate genes for hairiness in poplar. Plant and Animal Genomes XV Conference, San Diego, USA, 13–17 January 2007, (poster - sažetak u zborniku).
- Heinze B. 1997:** *Populus nigra* in Austria - rare, endangered, not recognised? In: Turok J., Lefèvre F., de Vries S., Toth B. (Ed.), *Populus nigra* Network. Report of the third meeting, Sarvar, Hungary, 5–7 October 1996, IPGRI, Rome. Str. 34–40.
- Heinze B. 1998a:** PCR-based chloroplast DNA assays for the identification of native *Populus nigra* and introduced poplar hybrids in Europe. *Forest Genetics*, 5(1): 31–38.
- Heinze B. 1998b:** Biochemical and molecular genetic methods available for the characterization of *Populus nigra* L. In: Turok J., Lefèvre F., de Vries S., Alba N., Heinze B., Van Slycken J. (Compilers), *Populus nigra* Network. Report of the

- fourth meeting, 3–5 October 1997, Geraardsbergen, Belgium. International Plant Genetic Resources Institute, Rome. Str. 42–70.
- Heinze B. 2008:** Genetic traces of cultivated hybrid poplars in the offspring of native *Populus nigra* in Austria. *Preslia*, 80: 365–374.
- Hewitt G.M. 1996:** Some genetic consequences of ice ages, and their role in divergence and speciation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 58: 247–276.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. 2005:** Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965–1978.
- Holderegger R., Angelone S., Brodbeck S., Csencsics D., Gugerli F., Hoebee S.E., Finkeldey R. 2005:** Application of genetic markers to the discrimination of European Black Poplar (*Populus nigra*) from American Black Poplar (*P. deltoides*) and Hybrid Poplars (*P. x canadensis*) in Switzerland. *Trees*, 19: 742–747.
- Horiguchi G., Ferjani A., Fujikura U., Tsukaya H. 2006:** Coordination of cell proliferation and cell expansion in the control of leaf size in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Plant Research*, 119: 37–42.
- Hukin D., Cochard H., Dreyer E., Thiec D.L., Bogeat-Triboulot M.B. 2005:** Cavitation vulnerability in roots and shoots: Does *Populus euphratica* Oliv. a poplar from arid areas of Central Asia, differ from other poplar species? *Journal of Experimental Botany*, 56: 2003–2010.
- Hultine K.R., Bush S.E., West A.G., Ehleringer J.R. 2007:** Population structure, physiology and ecohydrological impacts of dioecious riparian tree species of western North America. *Oecologia*, 154: 85–93.
- Huntley B., Birks H.J.B. 1983:** An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0–13,000 years ago. Cambridge: Cambridge University Press. Str. 1–688.
- Huybers P., Wunsch C. 2005:** Obliquity pacing of the late Pleistocene glacial terminations. *Nature*, 434: 491–494.
- Ibrahim K.M., Nichols R.A., Hewitt G.M. 1996:** Spatial patterns of genetic variation generated by different forms of dispersal during range expansion. *Heredity*, 77: 282–291.
- Ilijinskaja I.A. 2003:** The geological history of the genus *Populus* (Salicaceae) on the territory of the former Soviet Union. *Botanicheskii Zhurnal*, 5: 23–37.
- Imbert E., Lefèvre F. 2003:** Dispersal and gene flow of *Populus nigra* (Salicaceae) along a dynamic river system. *Journal of Ecology*, 91: 447–456.
- Jackson ST, Overpeck JT. 2000:** Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. *Paleobiology*, 26:194–220.
- Jackson S.T., Webb R.S., Anderson K.H., Overpeck J.T., Webb III T., Williams J.W., Hansen B.C.S. 2000:** Vegetation and environment in eastern North America during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19: 489–508.

- Jackson S.T., Williams J.W. 2004:** Modern analogs in Quaternary paleoecology: here today, gone yesterday, gone tomorrow? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 32: 495–537.
- Janjić N. 1983:** Dve nove hibridne polupiramidalne crne topole iz centralne Bosne (Two new semipyramidial hybrid black poplars from central Bosnia). *Biosistematika. Beograd.* 9 (1):15-27.
- Janjić, N. 1984:** Prilog poznavanju dlakavih svojti crne topole (*P. nigra* L.) u Bosni i Hercegovini. *Glas. Zem. muz. BiH, Prir. nauke. Sarajevo.* 23:255-278.
- Janjić N. 1990:** Prilog sistematici bele topole (*Populus alba* L.) u Bosni i Hercegovini. *Godišnjak Biološkog instituta Univerziteta u Sarajevu*, 42:45-56.
- Janjić N. 1992-1996:** Pregled prirodnih i gajenih topola Bosne i Hercegovine. *ANU BiH, Radovi LXXXIX, Odjelj. prir.-mat. nauka* 26: 109-117.
- Jarvis P.G. 1976:** The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences*, 273: 593-610.
- Jimenez P., Agundez D., Alis D., Gil L. 1999:** Genetic variation in Central and Marginal population of *Quercus suber* L. *Silvae Genetica.* 48(6): 278–284.
- Jovanović B. 1956:** Dendrologija sa osnovama fitocenologije. Skripta. Beograd. Str. 1-495.
- Jovanović B. 1971:** Dendrologija sa osnovama fitocenologije. Beograd. Str. 1-579.
- Jovanović B. 2000:** Dendrologija. Univerzitetska štampa. Beograd. Str.1-536.
- Kachigan S.K. 1991:** Multivariate statistical analysis. Radius Press, New York. Str. 1-303.
- Kaiser H.F. 1960:** The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 141-151.
- Kajba D., Idžojtić M., Bogdan S. 1999:** Discriminant analysis of leaf morphological characters of the European Black Poplar (*Populus nigra* L.) in natural population in Croatia. In: Turok J., Lefèvre F., de Vries S., Alba N., Heinze B., Voloyanchuk R., Lipman E. (Ed.), *Populus nigra* Network, Report of the fifth meeting, Kyiv, Ukraine, 5-9 May 1999. IPGRI, Rome, Italy. Str. 73-76
- Kajba D., Vratarić P. 2000:** Conservation of European black poplar (*Populus nigra* L.) genetic resources in Croatia. In: Isebrands J.G., Richardson J. (Ed.) 21st Session of the IPC-2000: poplar and willow culture: meeting the needs of society and the environment, Vancouver, Canada, 24-28 September 2000. US Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station, Gen Tech Rep NC-215, St Paul MN, USA. Str. 87.
- Kajba D., Romanić B. 2002:** Morfološka varijabilnost listova evropske crne topole (*Populus nigra* L.) u prirodnim populacijama u Dravskom slivu u Hrvatskoj. In: van Dam B.C., Bordács S.(Ed.), Genetic diversity in river populations of European Black Poplar – implications for riparian ecosystem management, Szekszárd, Hungary. 16-20 May 2001. Csiszár Nyomda, Budapest, Hungary. Str. 221-227.

- Kajba D., Ballian D., Idžojić M., Bogdan S. 2004:** The differences among hairy and typical European black poplars and the possible role of the hairy type in relation to climatic changes. *Forest Ecology and Management*, 197(1/3): 279-284.
- Kajba D., Ballian D., Heinze B., Idžojić M., Bogdan S. 2004a:** *Populus nigra* ssp. *caudina* and its importance for forest tree improvement and conservation of poplar genetic resources. In: El-Lakany M.H.(Ed.) 22nd Session of the International Poplar Commission, The contribution of Poplars and Willows to Sustainable Forestry and Rural Development, Santiago, Chile, 29 November-2 December 2004. FAO, Rome, Italy. Str. 29
- Kajba D., Bogdan S. 2005:** Dostignuća na oplemenjivanju vrsta poplavnih šuma. In: Matić, S., Prpić, B., Gračan, J., Anić, I., Kajba, D., Vratarić, P., Dundović, J. (Ed.), *Poplavne šume u Hrvatskoj*. Akademija šumarskih znanosti. Str. 206-224.
- Kajba D., Ballian D., Heinze B., Idžojić M., Bogdan S., Katičić-Trupčević I. 2005:** Importance of Conservation of the Hairy Type of *Populus nigra* in the Changing Climatic and Environmental Conditions. In: Čolić Franekić J, Ugarković Đ.(Ed.) Second Congress of Croatian Geneticists, Supetar, Croatia, 24-27 September 2005. Croatian Genetic Society, Zagreb, Croatia. Str. 90.
- Kajba D., Ballian D. 2007:** Šumarska genetika. Šumarski fakultet Zagreb. Šumarski fakultet Sarajevo. Sveučilišni-Univerzitetski udžbenik. Str. 1-283.
- Kajba D., Ballian D., Idžojić M., Poljak I. 2015:** Leaf Morphology Variation of *Populus nigra* L. in Natural Populations along the Rivers in Croatia and Bosnia and Herzegovina. *SEEFOR*, 6(1): 39-51.
- Karrenberg S., Edwards P.J., Kollmann J. 2002:** The life history of *Salicaceae* living in the active zone of floodplains. *Freshwater Biology*, 47: 733-748.
- King R., Ferris C. 1998:** Chloroplast DNA phylogeography of *Alnus glutinosa*. *Molecular Ecology*, 7: 1151-1161.
- Konnert M., Bergmann F. 1995:** The geographical distribution of genetic variation of silver fir (*Abies alba*, *Pinaceae*) in relation to a migration history. *Plant Systematics and Evolution*, 196(1-2): 19-30.
- Koskela J., de Vries S.G.M., Kajba D., von Wühlisch G. 2004:** *Populus nigra* Network, report of the seventh (25-27 October 2001, Osijek, Croatia) and eighth meetings (22-24 May 2003, Treppeln, Germany). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. Str. 1-136.
- Kremer A., Ronce O., Robledo-Arnuncio J.J., Guillaume F., Bohrer G., Nathan R., Bridle J.R., Gomulkiewicz R., Klein E.K., Ritland K., Kuparinen A., Gerber S., Schueler S. 2012:** Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecology Letters*, 15: 378-392.
- Kremer D. 2001:** Fenološka zapažanja cvatnje nekih drvenastih vrsta u botaničkom vrtu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. *Šumarski list*, 9/10: 475-486.

- Kremer D. 2002:** Fenologija kasnoproljetnog cvjetanja nekih drvenastih vrsta u Botaničkome vrtu Priridoslovno-matematičkoga fakulteta u Zagrebu. *Šumarski list*, 9/10: 489-99.
- Krstinić A., Kajba D. 1997:** Ex situ conservation of the European black poplar (*Populus nigra* L.) in Croatia. In *Populus nigra* Network: 3-5 October 1997, Geraardsbergen, Belgium. IPGRI, Rome, Italy. Str. 10.
- Krstinić A., Trinajstić I., Kajba D., Samardžić J. 1997:** Morphological variability of the leaves of black poplar (*Populus nigra* L.) in natural stands along the Sava river (Croatia). In: Turok J., Lèfevre F., de Vries S., Alba N., Heinze B., van Slycken J. (Ed.) *Populus nigra* Network, Report of the fourth meeting, Geraardsbergen, Belgium, 3-5 October 1997. IPGRI, Rome, Italy. Str. 71-77.
- Krystufek V., Fluch S., Burg K. 2002:** Artificial yet natural: colonisation by black poplar of an artificial island in the river Danube in Vienna. In: van Dam B.C., Bordács S. (Ed.), Genetic Diversity in River Populations of European Black Poplar-implications for Riparian Eco-system Management. Proceedings of an International Symposium, Szekszárd, Hungary, May 2001. Str. 137-144.
- Lagercrantz U., Putterill J., Coupland G., Lydiate D. 1997:** Comparative mapping in *Arabidopsis* and *Brassica*: fine scale genome colinearity and congruence of genes. *Plant Journal*, 9: 13-20.
- Larsen J.B. 1986:** Das Tannensterben: Eine neue Hypothese zur Klärung des Hintergrundes dieser rätselhaften Komplexkrankheit der Weißtanne (*Abies alba* Mill.), Forstwissenschaftliches Centralblatt, Göttingen, 105(5): 381-396.
- Lefèvre F., Legionnet A., de Vries S., Turok J. 1998:** Strategies for conservation of a pioneer tree species, *Populus nigra* L., in Europe. *Genetics Selection Evolution*, 30 (Suppl. 1): 181-196.
- Lefèvre F., Kajba D., Heinze B., Rotach P., de Vries S.M.G., Turok J. 2001:** Black poplar: a model for gene resource conservation in forest ecosystems. *Forestry Chronicle*, 77(2): 239-244.
- Lefèvre F., Barsoum N., Heinze B., Kajba D., Rotach P., de Vries S.M.G., Turok J. 2001a:** EUFORGEN Technical Bulletin: In situ Conservation of *Populus nigra*. IPGRI, Rome, Italy. Str 1-58.
- Legionnet A. 1996:** Diversité et fonctionnement génétique des populations naturelles de *Populus nigra* L., espèce pionnière des ripisylves européennes. Thèse Université de Montpellier II, France. Str. 1-115.
- Legionnet A., Lefèvre F. 1996:** Genetic variation of the riparian pioneer tree species *Populus nigra* L. I. Study of population structure based on isozymes. *Heredity*, 77: 629-637.
- Lexer C., Fay M.F., Joseph J.A., Nica M.S., Heinze B. 2005:** Barrier to gene flow between two ecologically divergent *Populus* species, *P. alba* (white poplar) and *P. tremula* (European aspen): the role of ecology and life history in gene introgression. *Molecular Ecology*, 14(4): 1045-1057.
- Likon M., Remškar M., Ducman V., Švegl F. 2013:** *Populus* seed fibers as a natural source for production of oil super absorbents. *Journal of Environmental Management* 114:158-167.

- Linnaeus C. 1753:** Species Plantarum, Exhibentes plantas rite cognitatas ad genera relatas. Tomus II, Laurentius Salvius, Stockholm. Str. 561-1231.
- Lojo A., Balić B. 2011:** Prikaz površina šuma i šumskih zemljišta. In: Lojo A., Balić B., Hočevar M., Vojniković S., Višnjčić., Musić J., Delić S., Treštić T., Čabaravdić A., Gurda S., Ibrahimspahić A., Dautbašić M., Mujezinović O.: Stanje šuma i šumskih zemljišta u Bosni i Hercegovini nakon provedene Druge inventure šuma na velikim površinama u periodu od 2006. do 2009. godine. Str.34-48.
- Lynch M. 1996:** A quantitative-genetic perspective on conservation issues. In: Avise J.C., Hamrick J.L. (Ed.), Conservation Genetics – Case Studies from Nature, Chapman and Hall. Str. 471–501.
- Maksimović Z., Šijačić–Nikolić M. 2013:** Morphometric characteristics of black poplar (*Populus nigra* L.) leaves in the area of Great War Island. Bulletin of the Faculty of Forestry,108: 93-108.
- Mardia K.V., Kent J.T., Bibby J.M. 1982:** Multivariate Analysis. Academic Press, London. Str. 1-502.
- Ma H.C., Fung L., Wang S.S., Altman A., Hutterman A. 1997:** Photosynthetic response of *Populus euphratica* to salt stress. Forest Ecology and Management, 93: 55–61.
- Manchester S.R., Dilcher D.L., Tidwell W.D. 1986:** Interconnected reproductive and vegetative remains of *Populus* (*Salicaceae*) from the middle Eocene Green river formation, northeastern Utah. *American Journal of Botany*,73: 156–160.
- Manchester S.R., Judd W.S., Handley B. 2006:** Foliage and fruits of early poplars (*Salicaceae: Populus*) from the Eocene of Utah, Colorado, and Wyoming. *International Journal of Plant Sciences*,167: 897–908.
- Matić V., Drinić P., Stefanović V., Ćirić M., Beus V., Bozalo G., Golić S., Hamzić U., Marković Lj., Petrović M., Subotić M., Talović N., Travar J. 1971:** Stanje šuma u SR Bosni i Hercegovini, prema inventuri na velikim površinama u 1964. -1968. godini. Šum. fak. i inst. za šum. Posebna izdanja br. 7, Sarajevo, Bosna i Hercegovina. Str. 1-639.
- McGarigal K., Cushman S., Stafford S. 2000:** Multivariate statistics for wildlife and ecology research. Springer-Verlag, New York, NY, USA. Str. 1-283.
- McLachlan J.S., Hellmann J.J., Schwartz M.W. 2007:** A framework for debate of assisted migration in an era of climate change. *Conservation Biology*, 21: 297-302.
- Meier I., Leuschner C. 2008:** Leaf size and leaf area index in *Fagus sylvatica* forests: competing effects of precipitation, temperature, and nitrogen availability. *Ecosystems*, 11: 655-669.
- Memišević M. 2010:** Unutarpopulacijska i međupopulacijska varijabilnost nekih morfoloških karakteristika hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u području Zapadnog Balkana. Magistarski rad, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu. Str. 1-148.
- Mejnartowicz M. 1991:** Inheritance of chloroplast DNA in *Populus*. *Theoretical and Applied Genetics*, 82: 477–480.

- Milanković M. 1969:** Canon of insolation and the ice-age problem. English translation by the Israel Program for Scientific Translations, published for the U.S. Department of Commerce and National Science Foundation, Washington, D.C. Str. 1- 633.
- Mujagić-Pašić A. 2012:** Morfološko-fenološka analiza cvijeta i ploda pitomog kestena (*Castanea sativa* Miller) na području Bosanske Krajine. Magistarski rad, Prirodno-matematički fakultet, Odsjek za biologiju. Sarajevo. Str. 1-158.
- Muller C., Teissier du Cros E. 1982:** Conservation pendant cinq ans de graines de peupliers noirs (*Populus nigra* L.). *Annals of Forest Science*, 39: 179-185.
- Nei M. 1972:** Genetic distance between populations. *American Naturalist*, 106: 283-291.
- Niggemann M., Rathmacher G., Bialozyt R. 2006:** The risk of introgression of foreign genes in *Populus* spec. Differences in the flowering phenology of *P. nigra* and *P. × canadensis*. In: Hoffmeister T., Diekmann M. (Ed.), "Proceedings of the GfÖ", Ecological Society of Germany, Austria and Switzerland, Berlin, Germany, Str. 91.
- Olande M., Herrán A., Espinel S., Goicoechea P.G. 2002:** White oaks phylogeography in the Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management*, 156: 89-102.
- Ortopec S. 1980:** Agrometeorologija. Nolit. Beograd. Str. 173-199.
- Papaioannou J. 1963:** The Geographical Distribution of *P. nigra* var. *pubescens* Parl. and *P. thevestina* Dode and Their Hybrids. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Str. 1-15.
- Park C.-R., Hino T., Itô H. 2008:** Prey distribution, foliage structure, and foraging behavior of insectivorous birds in two oak species (*Quercus serrata* and *Q. variabilis*). *Ecological Research*, 23: 1015-1023.
- Peakall R., Smouse P.E. 2012:** GenALEX 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research - an update. *Bioinformatics*, 28: 2537-2539.
- Peltier, W.R. 1994.** Ice age paleotopography. *Science*, 265: 195-201.
- Perala D.A. 1990:** *Populus tremuloides* Michx., Quaking Aspen. In: Burns R.M., Honkala B.H. (Ed.) *Silvics of North America Vol. 2. Hardwoods*. Agriculture Handbook 654. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. Str. 1082-1115.
- Peters R.L. 1990:** Effects of global warming on forests. *Forest Ecology and Management*, 35(1/2): 13-33.
- Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I., Barnola J.-M., Basile I., Benders M., Chappellaz J., Davis M., Delayque G., Delmotte M., Kotlyakov V.M., Legrand M., Lipenkov V.Y., Lorius C., Pépin L., Ritz C., Saltzman E., Stievenard M. 1999:** Climate and atmospheric history of the past 40 000 years from the Vostock ice core. *Antarctica. Nature*, 399: 429-436.
- Petit J.R., Csaiik U.M., Bordács S., Burg K., Coart E., Cottrell J., Van Dam B., Deans J.D., Dumolin-Lapegues S., Fineschi S., Finkeldey R., Gillies A., Glaz I., Goicoechea P.G., Jensen J.S., König A.O., Iowe A.J., Madsen S.F.,**

- Matyás C., Munro R.C., Olalde M., Pemonge M.H., Popescu F., Slade D., Tabbener H., Turchini D., De Vries S.G.M., Ziegenhagen G., Kremer A. 2002a:** Chloroplast DNA variation in European white oaks. Phylogeography and patterns of diversity based on data from over 2600 populations. *Forest Ecology and Management*, 156: 5–26.
- Picotte J., Rosenthal D., Rhode J., Cruzan M. 2007:** Plastic responses to temporal variation in moisture availability: consequences for water use efficiency and plant performance. *Oecologia*, 153: 821-832.
- Pinon J., Frey P. 1997:** Structure of *Melampsora larici-populina* populations on wild and cultivated poplar. *European Journal of Plant Pathology*, 103: 159-173.
- Pintarić K. 1989:** Proučavanje priraščivanja IUFRO duglazije različitih provenijencija na oglednoj plohi "Crna Lokva" (Bosanska Gradiška). *Šumarski list*, 9/10: 397-414.
- Pintarić K. 1991a:** Proučavanje priraščivanja duglazije (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) različitih provenijencija na oglednoj plohi Goleš kod Travnika. *Radovi Šumarskoga fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, knjiga 27, god. XXVII, sv. 1/4: 3-17.
- Pintarić K. 1991b:** Proučavanje priraščivanja IUFRO duglazije različitih provenijencija na nekoliko oglednih ploha u Bosni. *Šumarski list*. 1/2: 5-24.
- Pintarić K. 2002:** Šumsko-uzgojna svojstva i život važnijih vrsta šumskog drveća. UŠIT-Sarajevo. Str. 1-221.
- Pollard D., Thompson S.L. 1997:** Climate and ice-sheet mass balance at the last glacial maximum from the Genesis v2 global climate model. *Quaternary Science Reviews*, 16: 841–864.
- Pont B. 1995:** Suivi à long terme de la dynamique forestière spontanée des ripisylves - le phase: mise au point de la méthode et test sur six réserves naturelles – Rapport final, Internal document, Réserves naturelles de France. Str. 1-12.
- Popivshchy I.I., Prokazin A.E., Routkovsky L.V. 1997:** Black poplar in the Russian Federation, in: Turok J., Lefèvre F., de Vries S., Toth B. (Ed.), *Populus nigra* Network. Report of the third meeting, Sarvar, Hungary, 5-7 October 1996, IPGRI, Rome. Str. 46-52.
- Pospišková M., Bartáková I. 2004:** Genetic diversity of the black poplar in the Morava river basin assessed by microsatellite analysis. *Forest Genetics*, 11(3–4): 257–262.
- Pospišková M., Šálková I. 2006:** Population structure and parentage analysis of black poplar along the Morava River. *Canadian Journal of Forest Research*, 36 (5): 1067-1076.
- Pritchard J.K., Wen X., Falush D. 2007:** Documentation for structure software: Version 2.2. <http://pritch.bsd.uchicago.edu/software/structure22/readme.pdf>.
- Rajora O.P., Zsuffa L., Dancik B.P. 1991:** Allozyme and Leaf Morphological Variation of Eastern Cottonwood at the Northern Limits of Its Range in Ontario. *Forest Sciences*, 37(2): 688-702

- Rajora O.P., Dancik B.P. 1992:** Chloroplast inheritance in *Populus*. Theoretical and Applied Genetics, 84: 280–285.
- Rajora O.P., Dancik B.P. 1995a:** Chloroplast DNA variation in *Populus* 1. Intraspecific restriction fragment diversity within *Populus deltoides*, *P. nigra* and *P. maximowiczii*. Theoretical and Applied Genetics, 90: 317–323.
- Rajora O.P., Dancik B.P. 1995b:** Chloroplast DNA variation in *Populus* 2. Interspecific restriction fragment polymorphisms and genetic relationships among *Populus deltoides*, *P. nigra*, *P. maximowiczii* and *P. x canadensis*. Theoretical and Applied Genetics, 90: 324–330.
- Rajora O.P., Dancik B.P. 1995c:** Chloroplast DNA variation in *Populus* 3. Novel chloroplast variants in natural *Populus x canadensis* hybrids. Theoretical and Applied Genetics, 90: 331–334.
- Ramírez J.L., Cevallos-Ferriz S.R.S. 2000:** Leaves of *Salicaceae* (*Salix* and *Populus*) from Oligocene sediments near Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico. *International Journal of Plant Sciences*, 161: 521–534.
- Rathmacher G., Niggemann M., Wypukol H., Gebhardt K., Ziegenhagen B., Bialozyt R. 2009:** Allelic ladders and reference genotypes for a rigorous standardization of poplar microsatellite data. *Trees*, 23: 573–583.
- Rathmacher G., Niggemann M., Köhnen M., Ziegenhagen B., Bialozyt R. 2010:** Short-distance gene flow in *Populus nigra* L. accounts for smallscale spatial genetic structures: implications for in situ conservation measures. *Conservation Genetics*, 11(4): 1327–1338.
- Ravazzi C. 2002:** Late Quaternary history of spruce in southern Europe. Review of Palaeobotany and Palynology, 120: 131–177.
- Romme W.H., Turner M.G., Wallace L.L., Walker J.S. 1995:** Aspen, elk, and fire in northern Yellowstone National Park. *Ecology*, 76: 2097–2106.
- Romme W.H., Turner M.G., Gardner R.H., Hargrove W.W., Tuskan G.A., Despain R D.G., Renkin A. 1997:** A rare episode of sexual reproduction in aspen (*Populus tremuloides* Michx.) following the 1988 Yellowstone fires. *Natural Areas Journal*, 17:17–25
- Rood S.B., Kalischuk A.R., Polzin M.L., Braatne J.H. 2003:** Branch propagation, not cladoptosis, permits dispersive, clonal reproduction of riparian cottonwoods. *Forest Ecology and Management*, 186: 227–242.
- Rood S.B., Goater L.A., Mahoney J.M., Pearce C.M., Smith D.G. 2007:** Flood, fire, and ice: Disturbance ecology of riparian cottonwoods. *Canadian Journal of Botany*, 85: 1019–1032.
- Rottenberg A. 2000:** Fertility of exceptional bisexual individuals in four dioecious plant species. *Sexual Plant Reproduction*, 12: 219–221.
- Rowland D.L., Garner R., Jespersen M. 2002:** A rare occurrence of seed formation on male branches of the dioecious tree, *Populus deltoides*. *American Midland Naturalist Journal*, 147: 185–187.
- Rowland D.L., Johnson N.C. 2001:** Sexual demographics of riparian populations of *Populus deltoides*: Can mortality be predicted from a change in reproductive status? *Canadian Journal of Botany*, 79: 702–710.

- Rybnícková E., Rybníček K. 1991:** The environment of the Pavlovian: palaeoecological results from Bulhary, South Moravia. In: Kovar-Eder J. (Ed.), Palaeovegetational development in Europe. Proceedings of the Pan-European Palaeobotanical conference 1991. Vienna: Museum of Natural History. Str. 73–79.
- Sabsch M. 1992:** Untersuchungen über inter- und intraspezifische variation der cpDNK in der Gattung *Populus*. Thesis Dissertation, University of Göttingen. Str 1-141.
- Salaj J., Kosová A., Kormut'ák A., Walles B. 1998:** Ultrastructural and molecular study of plasmid inheritance in *Abies alba* and some *Abies* hybrids. Sexual Plant Reproduction, 11(5): 284-291.
- Salvador L., Alia R., Agúndez D., Gil L. 2000:** Genetic variation and migration pathways of maritime pine (*Pinus pinaster Ait*) in the Iberian peninsula. *Theoretical and Applied Genetics*, 100: 89–95.
- Samuel R., Pinsker W., Kiehn M. 1997:** Phylogeny of some species of *Cyrtandra* inferred from the atpB/rbc1 cpDNK intergene region. *Botanica Acta*, 110: 503–510.
- Sánchez Goñi M.F., Hannon G.E. 1999:** High altitude vegetational pattern on Iberian Mountain Chain (north-central Spain) during the Holocene. *Holocene*, 9: 39–57.
- Seletković Z., Katušín Z. 1992:** Klima Hrvatske. In: Rauš Đ. (Ed.), Šume u Hrvatskoj. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. "Hrvatske šume" p.o. Zagreb. Str. 13–18.
- Siegenthaler U., Stocker T.F., Monnin E., Lüthi D., Schwander J., Stauffer B., Raynaud D., Barnola J.-M., Fischer H., Masson-Delmotte V., Jouzel J. 2005:** Stable carbon cycle-climate relationships during the late Pleistocene. *Science*, 310:1313–1317.
- Sinnott E.W. 1935:** Botany: Principles and Problems, 3rd ed. McGraw-Hill, New York. Str.1-525.
- Slade D., Škvorc Ž., Ballian D., Gračan J., Papeš D. 2008:** The chloroplast DNA polymorphisms of White Oaks of section *Quercus* in the Central Balkans. *Silvae Genetica*, 57 (4-5): 227-234.
- Slavov, G.T., Leonardi, S., Burczyk, J., Adams, W.T., Strauss, S.H., Di Fazio, S.P. 2009:** Extensive pollen flow in two ecologically contrasting populations of *Populus trichocarpa*. *Molecular Ecology*, 18: 357–373.
- Smith R.L., Sytsma K.J. 1990:** Evolution of *Populus nigra* (sect. *Aigeiros*): introgressive hybridization and the chloroplast contribution of *Populus alba* (sect. *Populus*). *American Journal of Botany*, 77: 1176-1187.
- Smulders M.J.M., Van Der Schoot J., Arens P., Vosman B. 2001:** Trinucleotide repeat microsatellite markers for black poplar (*Populus nigra* L.). *Molecular Ecology, Notes*, 1: 188-190.
- Smulders M.J.M., Cottrell J.E., Lefèvre F., van der Schoot J., Arens P., Vosman B., Tabbener H.E., Grassi F., Fossati T., Castiglione S., Krystufek V., Fluch S., Burg K., Vornam B., Pohl A., Gebhardt K., Alba N., Agúndez D., Maestro**

- C., Notivol E., Volosyanchuk R., Pospíšková M., Bordács S., Bovenschen J., van Dam B.C., Koelewijn H.-P., Halfmaerten D., Ivens B., van Slycken J., Vanden Broeck A., Storme V., Boerjan W. 2008: Structure of the genetic diversity in black poplar (*Populus nigra* L.) populations across European river systems: Consequences for conservation and restoration. *Forest Ecology and Management*, 255 (5-6): 1388-1399.
- Smulders M., Beringen R., Volosyanchuk R., Vanden Broeck A., van der Schoot J., Arens P., Vosman B. 2008a: Natural hybridisation between *Populus nigra* L. and *P. x canadensis* Moench. hybrid offspring competes for niches along the Rhine river in the Netherlands. *Tree Genetics & Genomes*, 4: 663-675.
- Sokal R.R., Rohlf F.J. 1989: *Biometry*. Freeman and Co., San Francisco, CA, USA. Str. 1-859.
- Sork V.L., Davis F.W., Westfall R., Flint A., Ikegami M., Wang H., Grivet D. 2010: Gene movement and genetic association with regional climate gradients in California valley oak (*Quercus lobata* Née) in the face of climate change. *Molecular Ecology*, 19: 3806-3823.
- Stanton B.J., Villar M. 1996: Controlled reproduction of *Populus*. In: Stettler R.F., Bradshaw H.D., Heilman P.E., Hinckley T.M. (Ed.), *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*. NRC Research Press, Ottawa, Canada. Str. 113-138.
- StatSoft Inc. 2001: STATISTICA (data analysis software system), version 6. www.statsoft.com.
- StatSoft Inc, 2001: STATISTICA (data analysis software system), version 8.0.
- Stefanović V. 1977: Fitocenologija sa pregledom šumskih fitocenoza Jugoslavije, II dopunjeno izdanje. Sarajevo. Bosna i Hercegovina. Str. 1-269.
- Stefanović V., Beus V., Burlica Č., Dizdarević H., Vukorep I. 1983: Ekološko-vegetacijska rejonizacija Bosne i Hercegovine. Sarajevo. Šumarski fakultet. Posebna izdanja br. 17. Str. 1-51.
- Stewart J.R., Lister A.M. 2001: Cryptic northern refugia and the origins of the modern biota. *Trends in Ecology and Evolution*, 16: 608-613.
- Storme V., Vanden Broeck A., Ivens B., Halfmaerten D., Van Slycken J., Castiglione S., Grassi F., Fossati T., Cottrell J.E., Tabbener H.E., Lefèvre F., Saintagne C., Fluch S., Krystufek V., Burg K., Bordács S., Borovics A., Gebhardt K., Vornam B., Pohl A., Alba N., Agundez D., Maestro C., Notivol E., Bovenschen J., Van Dam B.C., van der Schoot J., Vosman B., Boerjan W., Smulders M.J.M. 2004: Ex-situ conservation of black poplar in Europe: genetic diversity in nine gene bank collections and their value for nature development. *Theoretical and Applied Genetics*, 108: 969-981.
- Svenning J.C., Skov F. 2006: Potential impact of climate change on the northern nemoral forest herb flora of Europe. *Biodiversity and Conservation*, 15: 3341-3356.
- Šijačić-Nikolić M. 2012: Program of the genetic conservation of woody species of the Great War Island. Faculty of Forestry, Belgrade, Report for the project. Str. 1-100.

- Šiler B., Skorić M., Mišić D., Kovačević B., Jelić M., Patenković A., Kurbalija Novičić Z. 2014:** Variability of European Black Poplar (*Populus nigra* L.) in the Danube Basin. Vojvodina šume. Novi Sad. Str. 128.
- Šilić Č. 1983:** Atlas drveća i grmlja. Svjetlost Sarajevo. Bosna i Hercegovina. Str. 1-218.
- Tabbener H.E., Cottrell J.E. 2003:** The use of PCR based DNA markers to study the paternity of poplar seedlings. *Forest Ecology and Management*, 179: 363–376.
- Tabbush P. 1996a:** The status of black poplar conservation in Britain, in: Turok J., Lefèvre F., Cagelli L., de Vries S. (Ed.), *Populus nigra* Network. Report of the second meeting, Casale Monferrato, Italy, 10-12 September 1995, IPGRI, Rome. Str. 7-10.
- Taberlet P., Fumagalli L., Wust-Saucy A.G., Cossons J.F. 1998:** Comparative phylogeography and postglacial colonisation routes in Europe. *Molecular Ecology*. 7:453–464.
- Takhtajan A.L. 1967:** Sistema i filogeniia tsvetkovykh rastenii (Systema et Phylogenia Magnoliophytorum). Soviet Science Press, Leningrad & Nauka, Moscow. Str. 1- 611.
- Takhtajan A. 1997:** Diversity and Classification of Flowering Plants. Columbia University Press, New York. Str. 1-643.
- Taylor G. 2002:** *Populus*: Arabidopsis for forestry. Do we need a model tree? *Annals of Botany*, 90:681-689.
- Thevs N., Zerbe S., Schnittler M., Abdusalih N., Succow M. 2008:** Structure, reproduction and floodinduced dynamics of riparian Tugai forests at the Tarim River in Xinjiang, NW China. *Forestry*, 81: 45–57.
- Toth, B. 1995:** Black poplar (*Populus nigra*): the situation in Hungary. In: Frison E., Lefèvre F., de Vries S., Turok J. (Ed.), *Populus nigra* Network. Report of the first meeting, Izmit, Turkey, 3-5 October 1994, IPGRI, Rome. Str. 27-28.
- Tröber U., Wolf H. 2015:** Erhaltung der Schwarz-Pappel (*Populus nigra* L.) in Sachsen: Erfassung, Charakterisierung und Vermehrung auf genetischer Grundlage. *Forstarchiv*, 86(6): 166-173.
- Trewin H. 2008:** Linking transcript, QTL and association mapping to understand the genetic control of leaf size and shape in *Populus*. PhD Thesis. School of Biological Sciences. University of Southampton, Southampton. Str. 1-237.
- Trinajstić I. 2005:** Taksonomska problematika drvenastih vrsta poplavnih i močvarnih šuma. In: Matić S., Prpić B., Gračan J., Anić I., Kajba D., Vratarić P., Dundović J. (Ed.), *Poplavne šume u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti*. Str. 193-205.
- Trinajstić I., Franjić J. 1994:** Ass. *Salicetum elaeagno-daphnoides* (Br.-Bl. Et Volk 1940) M. Moor 1958 (*Salicion eleagni*) in the vegetation of Croatia. *Natura Croatica*, 3(2):253-256.
- Tunçtaner K. 1995:** Conservation of genetic resources of *Populus nigra* in Turkey. In: Frison E., Lefèvre F., de Vries S., Turok J. (Ed.), *Populus nigra* Network.

- Report of the first meeting, Izmit, Turkey, 3-5 October 1994, IPGRI, Rome. Str. 41-44.
- Tuskan G.A., Gunter L.E., Yang Z.K., Yin T., Sewell M.M., Di Fazio S.P. 2004:** Characterization of microsatellites revealed by genomic sequencing of *Populus trichocarpa*. Canadian Journal of Forest Research 34: 85-93.
- van Dam B.C. 2002:** EUROPOP: Genetic Diversity in River Populations of European Black Poplar for evaluation of biodiversity, conservation strategies, nature development and genetic improvement. In: van Dam, B.C., Bordács, S. (Ed.), Genetic diversity in river populations of European Black Poplar - implications for riparian eco-system management. Proceedings of an international symposium held in Szekszird, Hungary, 16-20 May, 2001. Str. 15-32.
- van der Schoot J., Pospiskova M., Vosman B., Smulders M.J.M. 2000:** Development and characterization of microsatellite markers in black poplar (*Populus nigra* L.). Theoretical and Applied Genetics, 101:317-322.
- van Slycken J. 1995:** Short note about *Populus nigra* in Belgium. In: Frison E., Lefèvre F., de Vries S., Turok J. (Ed.), *Populus nigra* Network. Report of the first meeting, Izmit, Turkey, 3-5 October 1994, IPGRI, Rome. Str. 40.
- Vanden Broeck A. 2003:** EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use of European black poplar (*Populus nigra*). IPGRI, Rome, Italy. Str.1-6.
- Vanden Broeck A., Cox K., Van Slycken J., Halfmaerten D. 2000:** Genetic pollution and mating systems in an artificial stand of black poplar (*Populus nigra* L.). In: Isebrands JG, Richardson J (Ed.) 21st Session of the IPC-2000: poplar and willow culture: meeting the needs of society and the environment, Vancouver, Canada, 24-28 September 2000. US Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station, Gen Tech Rep NC-215, St Paul, MN, USA. Str. 186
- Vanden Broeck A., Cottrell J., Quataert P., Breyne P., Storme V., Boerjan W., Van Slycken J. 2006:** Paternity analysis of *Populus nigra* L. offspring in a Belgian plantation of native and exotic poplars. Annals of Forest Science, 63: 783-790.
- Vendramin G., Michelozzi M., Tognetti R., Vicario F. 1997:** *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei, a relevant example of a relic and highly endangered species. Bocccone, 7: 383-388.
- Venturella G., Mazzola P., Raimondo F.M. 1997:** Strategies for the conservation and restoration of the relict population of *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei. Bocccone, 7: 417-426.
- Vornam B., Herzog S., Preisig-Müller R., Hattemer H.H. 1994:** Restriction fragment length polymorphisms of a chloroplast photosystem II gene from poplar and their use for species identification. Genome, 37: 747-750.
- Westoby M., Wright I.J. 2006:** Land-plant ecology on the basis of functional traits. Trends in Ecology & Evolution, 21: 261-268.

- Winfield M., Hughes F.M.R. 2002:** Variation in *Populus nigra* clones: Implications for river restoration projects in the United Kingdom. *Wetlands*, 22: 33-48.
- Winfield M.O., Arnold G.M., Cooper F., Le Ray M., White J., Karp A., Edwards K.J. 1998:** A study of genetic diversity in *Populus nigra* ssp. *betulifolia* in the Upper Severn area of the UK using AFLP markers. *Molecular Ecology*, 7: 3-10.
- Willis K.J. 1996:** Where did all the flowers go? The fate of temperate European flora during glacial periods. *Endeavour*, 20: 110-114.
- Willis K.J., Niklas K.J. 2004:** The role of Quaternary environmental change in plant macroevolution: the exception or the rule? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 359: 159-172.
- Willis K.J., Rudner E., Sümegi P. 2000:** The full-glacial forests of central and southeastern Europe. *Quaternary Research*, 53: 203-213.
- Willis K.J., van Andel T.H. 2004:** Trees or no trees? The environments of central and eastern Europe during the Last Glaciation. *Quaternary Science Reviews*, 23: 2369-2387.
- White J. 1993:** Black poplar: the most endangered native timber tree in Britain, Research Information Note - Forestry Authority Research Division (United Kingdom), no. 239. Str. 4.
- Zasada J.C., Phipps, H.M. 1990:** *Populus balsamifera* L., Balsam Poplar. In: Burns, R.M., Honkala, B.H. (Ed.) *Silvics of North America Vol. 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. Str. 1019-1043.
- Ziegenhagen B., Gneuss S., Rathmacher G., Leyer I., Bialozyt R., Heinze B., Liepelt S. 2008:** A fast and simple genetic survey reveals the spread of poplar hybrids at a natural Elbe river site. *Conservation Genetics*, 9: 373-379.
- Zsuffa L. 1974:** The genetics of *Populus nigra* L. *Annales Forestales*, 6 (2): 29-53.



Slika 49. Crne topole na rijeci Drini - Lokalitet Kopači

VARIJABILNOST CRNIH TOPOLA (*Populus nigra* L.) I NJIHOVO OČUVANJE U BOSNI I HERCEGOVINI

SAŽETAK

Europska crna topola (*Populus nigra* L.) u Europi predstavlja jednu od ekološki najznačajnijih vrsta šumskoga drveća, a u nekim zemljama i s gospodarskog motrišta. Raste na aluvijalnim tlima uz velike rijeke u umjerenim klimatskim zonama Europe, Azije i sjeverne Afrike. U Bosni i Hercegovini, pored europske crne topole, javlja se i dlakava crna topola (*Populus nigra* ssp. *caudina*). Ovim vrstama se u prošlosti nije poklanjala dužna pažnja, a danas se mnogo radi s njima, mada ima zemalja, kao što je naša, gdje su i dalje marginalizirane.

Očuvanje genetskih resursa pojedinih vrsta šumskog drveća, a naročito onih koje su ugrožene, treba imati visoki prioritet u svim značajnim programima upravljanja šumskim ekosustavima. Postojeća genetska raznolikost u prirodnim populacijama šumskoga drveća treba se očuvati i održavati kako bi se očuvala sama stabilnost šumskog ekosustava. Također treba očuvati i manje populacije i pojedine skupine stabala koje su značajne za očuvanje genetske varijabilnosti vrste.

Kada su u pitanju crne topole, kod nas postoji dobar potencijal za podizanje plantaža i šuma topole. Prema posljednjoj inventuri raspoložemo površinom od oko 40 000 ha gdje mogu rasti topole u malim, čistim i većinom mješovitim sastojinama s vrbom i ostalim hidrofilnim vrstama drveća.

Da bi se bolje razumjela problematika crnih topola, pristupilo se seriji istraživanja u zemlji i inozemstvu. Kako raspoložemo relativno malim brojem populacija crnih topola, uključivali smo se u bilateralna istraživanja te dolazili do veoma vrijednih podataka, a rezultati o varijabilnosti crnih topola ohrabruju. Tako je provedena serija morfoloških istraživanja, fenološko istraživanje, a po novoj metodologiji se radi i dalje. Tu su još fiziološka istraživanja u kontroliranim uvjetima te molekularno-genetska. Posebna pozornost je posvećena i aktivnostima na očuvanju najvrjednijeg genofonda autohtonih crnih topola.

Zbog veće vrijednosti analiza za neka od morfoloških istraživanja koristili smo materijal i iz susjedne Hrvatske. Za osnovnu morfološku analizu uporabljena su svojstva lista, a materijal je prikupljen u

17 prirodnih populacija Europske crne topole na području Bosne i Hercegovine i Hrvatske. U Bosni i Hercegovini su uzorci prikupljeni u devet populacija iz četiri riječna sliva: jedna populacija je bila uz rijeku Drinu (Tegare), dvije populacije su prikupljene duž rijeke Vrbas i rijeke Bosne (Zlavast, Banjaluka, Bilješevo, Doboj) i četiri populacije su uzorci duž rijeke Neretve (Ovčari, Počitelj, Čapljina, Metković) koje predstavljaju dlakavi tip crnih topola. Ukupno je analiziran materijal s 514 stabala i 6513 listova, od kojih je prikupljeno 32 565 podataka koji su statistički obrađeni. Listovi su prikupljeni prema važećoj proceduri, a bili su u potpunosti razvijeni i neoštećeni te obvezno s kratkorasta. U svim morfološkim istraživanjima, a bilo ih je tri, mjereni su sljedeći morfološki parametri: duljina plojke, širina plojke, duljina peteljke, kut insercije prvog lisnog nerva te odstojanje od osnove plojke do najšireg dijela. Analiza osnovnih deskriptivnih pokazatelja je dokazala da u populacijama imamo veliku varijabilnost, a da je ona prisutna i na međupopulacijskoj razini. Statistički značajne razlike između ispitivanih populacija su određene pomoću analiza varijance i univarijantnog neparametarskog Kruskal-Wallis testa.

Rezultati pokazuju da ne postoje nikakve naznake da je dlakavi tip crnih topola zasebna taksonomska jedinica jer su svi polimorfizmi isti kao i kod onih kod europskih crnih topola iz Bosne i Hercegovine, bilo da su dlakavi ili ne. Tako rezultati dviju provedenih morfoloških analiza ne podržavaju hipotezu o mogućem tercijarnom reliktu, mada se nešto moglo naslutiti iz jednog od ova dva istraživanja, nego oni podupiru razvrstavanje dlakavih crnih topola kao kseromorfna ekotipa europske crne topole. Postoje značajne razlike između tipičnih i dlakave vrste europske crne topole u istraživanim morfološkim svojstvima i ove razlike su u skladu s klimatskim razlikama u pojedinim staništima kontinentalnih poplavnih šuma i submediteranskog tipa klime.

U treće morfološko istraživanje bile su uključene tri populacije crnih topola. Osvrnuli smo se na tipičnu dlakavu topolu iz područja Čapljine te dvije koje su joj zemljopisno bliske, Bugojno i Konjic, u kojima također nalazimo slabu dlakavost, ali samo na mladim izbojcima. Sve analizirane individue su iz prirodnih sastojina u Bosni i Hercegovini (Čapljina, Konjic, Bugojno).

Analizirano je po 10 stabala iz svake populacije s po 50 listova po individui, a obuhvaćena su sljedeća svojstva: duljina plojke, širina

plojke, duljina peteljke, kut insercije prvog lisnog nerva te odstojanje od osnove plojke do najšireg dijela.

Provedena je deskriptivna statistička analiza te multivarijantna klaster analiza na temelju Euklidovih odstojanja.

Rezultati su pokazali značajno odstupanje populacije Čapljina od populacija Konjic i Bugojno te da dlakava crna topola ipak može biti neki specifični ekotip.

Biljke kao indikatori vremenskih promjena imaju veliki značaj pri proučavanju klime nekog područja. Vrsta i raspored biljaka ukazuju na određene makroklimatske karakteristike područja, uglavnom na njegov termički i pluviometrijski režim. Međutim, o lokalnim karakteristikama klime, odnosno o mikroklimatskim promjenama u području, pored vrste govori i ritam razvića biljaka, njihova fenologija.

Klonski arhiv je smješten u rasadnik Žepče, na lokalitetu Šećin Han (18°00' E, 44°25' N), na aluvijalno-deluvijalnim nanosima. Autohtoni materijal je sabran iz prirodnih populacija crnih topola u Bosni i Hercegovini s 26 lokaliteta koji su grupirani u pet metapopulacija: Neretva (26 stabala), Bosna (58), Vrbas (35), Spreča (8) i Drina (32).

Osmatranja fenoloških promjena izvršena su tijekom 2007., 2008. i 2009. godine u periodu od kraja ožujka do kraja svibnja. Tijekom tog perioda praćene su tri fenološke faze. Kao početak osmatranja definiran je dan tijekom kojeg je opaženo da je na terminalnom pupu primijećena određena promjena.

Osmatranja su vršena svaka tri dana na početku vegetacijske sezone, a u toku razvitka pupova svaka dva dana na 159 klonova. Prva osmatranja izvršena su dva tjedna prije pretpostavljenog datuma kada počinje bubrenje pupova. Praćene su tri faze: F1 - bubrenje pupa (izduženi, nabubreni pupovi, žućkasto-zelenkaste boje, imaju opnu koju vršci iglica još nisu probili), F2 - otvaranje pupa (napukli i vidi se prvo zelenilo) i F3 - pojava zelenog lista.

Osnovne klimatske karakteristike za period vršenja fenoloških osmatranja dobivene su od Federalnog hidrometeorološkog zavoda BiH.

Početak i kraj fenofaza, kao i trajanje fenoloških faza crne topole u klonskom arhivu u rasadniku Žepče, nije isti za 2007., 2008. i 2009. godinu.

Deskriptivna analiza pokazuje broj dana koji je prošao od početka praćenja i do određene fenofaze. Tako je broj potrebnih dana do bubrenja pupa najveći u 2009. godini za populaciju Vrbas (31,65 dana), a

najmanji u 2007. godini za populaciju Drina (4,41 dana). Do otvaranja pupa najveći broj dana je u 2009. godini za populaciju Vrbas (34,87 dana), a najmanji u 2007. godini za populaciju Drina (7,41 dana). Najveći broj potrebnih dana do pojave zelenog lista ima populacija Vrbas (40,90 dana) za 2009. godinu, a najmanji u 2007. godini populacija Drina (15,69 dana).

Provedena analiza varijance potvrdila je da postoji statistički značajna varijabilnost između populacija u broju dana potrebnih do određene fenofaze, kao i u temperaturama za navedene fenofaze za sve tri godine promatranja. Za 2007. i 2009. godinu najveća varijabilnost je bila za svojstvo broj potrebnih dana do pojave zelenog lista, a najmanja za svojstvo bubenje pupa.

Multiplim testiranjem po Duncanu utvrđene su statistički značajne razlike u fenofazama, s tim da za svojstva bubenje pupa, otvaranje pupa, pojava zelenog lista, temperatura u vrijeme bubenja pupa imamo podjelu u tri skupine, za svojstvo temperatura u vrijeme otvaranja pupa podjelu u četiri skupine, dok za svojstvo temperatura u vrijeme pojave zelenog lista imamo dvije skupine.

Korelacije istraživanih svojstava za sve populacije i za sve godine pokazuju visoke vrijednosti koeficijenta varijabilnosti.

Provedenom molekularnom analizom genetske strukture crnih topola iz šest riječnih slivova s 11 populacija, uz uporabu deset mikrosatelitskih genskih lokusa, dobili smo značajne razlike. Analizirana su samo stara stabla, starija od 80 godina, kako bi se izbjegla introgresija gena američkih crnih topola i euro-američkih hibrida.

Prilikom genetske karakterizacije crnih topola analizirali smo deset genskih lokusa, s ukupno 422 alela u svim populacijama, dok je 17 bilo specifičnih. Broj alela po genskim lokusima za populacije se kretao od 1 do 17.

Registriran je veliki polimorfizam, a u populaciji donji tok Neretve i gornji tok Vrbasa registrirano je najmanje alela, 34 i 29, dok je u populaciji gornji tok Bosne registriran 81 alel. Za gornji toka Vrbasa je svojstveno da od 7 stabala imamo samo 3 genotipa.

Alelna raznolikost se prema biljezima kretala od 1 za genski lokus *PMGC_456* u populacijama Neretva i donji tok Vrbasa, do 11,333 za genski lokus *PMGC_2163* u populaciji gornji tok Bosne. Za populaciju Neretva je interesantno da su kod pet genskih lokusa zabilježene najmanje vrijednosti.

Stvarne heterozigotnosti su skoro u svim slučajevima manje od teorijskih koje se ponašaju sukladno stvarnim heterozigotnostima.

Fiksacijski indeks u svim istraživanim populacijama pokazuje negativne ili male pozitivne veličine, ali s relativno malim vrijednostima, osim u slučaju populacije Neretva gdje postoji odstupanje, a prosječni koeficijent inbridinga je $F=0,062$.

U istraživanim populacijama prisutna je relativno visoka unutarpopulacijska diferenciranost koja se kretala od $D_j=0,2917$ kod donjeg toka Bosne, do $D_j=0,5545$ kod donjeg toka Neretve, a slijedi je populacija gornjeg toka Vrbasa te se dobiveni rezultati mogu protumačiti malim zemljopisnim udaljenostima između analiziranih populacija, s tim da je populacija Neretva izolirana i pripada Jadranskom slivu.

Najveće genetske udaljenosti prema Gregoriusu pokazuju populacije Neretve i gornjeg toka Vrbasa zbog malog broja genotipova, samo 3 od 7 analiziranih stabala.

Metode s uporabom molekularnih biljega za određenje genetske strukture crnih topola dale su dobru sliku o istraživanim populacijama te nam dobiveni rezultati osiguravaju da se preporuče potrebne mjere za očuvanje genetskih izvora ove lišćarske vrste u Bosni i Hercegovini. Ovim istraživanjem se pokazalo da crna dlakava topola ipak pokazuje na molekularno-genetičkoj razini takve razlike da se može svrstati u zasebnu svojtu, a ne samo ekotip, do čega se došlo kroz istraživanja na morfološkoj razini.

Dobiveni rezultati omogućuju da se preporuče potrebne mjere za očuvanje genetskih izvora te za obnovu i uporabu klonskog reprodukcijskog materijala crnih topola u Bosni i Hercegovini.

Očuvanje crnih topola je prikazano kroz podizanje klonskog arhiva crnih topola. Arhiva je podignuta u rasadniku "Lugovi" kod Žepča. Sav matični materijal u arhivi potječe iz 26 prirodnih populacija crne topole (*Populus nigra* L.) iz cijele Bosne i Hercegovine te 11 hibridnih topola i tri egzotične vrste topola. Prilikom podizanja arhiva zasađeno je ukupno 6885 reznica, a nakon mjesec dana vitalnost je pokazalo 4270 ili 62,02%, dok smo nakon drugog mjeseca imali 3480 primljenih biljaka ili 50,54%, a nakon trećeg mjeseca 3427 biljaka ili 49,77%.

Najveći gubitak vitalnosti je bio u prvom i drugom mjesecu, iako su primijenjene sve agrotehničke mjere. Ako se isključe hibridne topole, prijem je još niži, za što razlog možemo tražiti u stadijskoj starosti biljnog materijala i neuporabi stimulativnih sredstava za ožiljavanje. Ipak, rezultati su ohrabrujući te nakon što ožiljene biljke prođu pro-

ces rejuvenilizacije moći će se rabiti u proizvodnji reprodukcijskog materijala.

U klonskoj arhivi je provedena identifikacija arhiviranih klonova. Za identifikiranje je uporabljeno 10 mikrosatelitskih sustava od kojih su neki bili specifični za detekciju autohtonih crnih topola (*Populus nigra*) te detekciju američke crne topole (*Populus deltoides*) kao i hibrida (*Populus x canadensis*), a analizirano je ukupno 93/107 različitih alela koji su registrirani u klonskoj arhivi. U klonskoj arhivi, i pored sve pažnje prilikom selekcioniranja materijala za njeno podizanje, nađeno je pet klonova s prisutnim introgresiranim genima američkih crnih topola, a što ukazuje na određene greške koje su počinjene tijekom podizanja arhive te upućuje na nepouzdanost primijenjenih morfoloških biljega u selekcioniranju materijala.

Rezultati morfoloških, fenoloških, fizioloških i molekularnih istraživanja upućuju na to da reprodukcijski materijal crnih topola možemo uporabiti samo za lokalne potrebe, ne miješajući ga s drugim materijalom, ali molekularna istraživanja ostavljaju mogućnosti i prenošenja na temelju genetskih odstojanja. Ipak, klonovi iz Sarajeva bi se koristili u području Sarajeva, a klonovi iz Banjaluke samo u Banjaluci. Eventualno bi se moglo izvršiti obazrivo miješanje u slivovima rijeka, ali vrlo oprezno i to samo u zonama koje su intermedijarne između arhiviranih populacija, a o nekom većem miješanju, dok se ne dobiju molekularno-genetski rezultati, ne bi se smjelo govoriti.

Stoga svaka distribucija materijala iz arhive treba biti pod strogom kontrolom nadležne institucije, u ovom slučaju Šumarskoga fakulteta iz Sarajeva.

Posebno mjesto u uporabi zauzima materijal iz populacije Rudnik koji predstavlja pionirsku vrstu na deposolu rudnika Vrtilište kod Kaknja. Stoga bi se taj materijal trebao koristiti za sanaciju deposola rudnika u Kaknju jer vrlo brzo veže tlo i stvara predispozicije za pojavu autohtone vegetacije.

VARIABILITY OF BLACK POPLAR (*Populus nigra* L.) AND ITS PRESERVATION IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

SUMMARY

The European Black Poplar (*Populus nigra* L.) is one of Europe's most important forest trees, ecologically, and also economically in certain countries. It grows on alluvial soils along major rivers in the moderate climatic zones of Europe, Asia and North Africa. In Bosnia and Herzegovina, the hairy Black Poplar (*Populus nigra* ssp. *caudina*) is present as well as the European Black Poplar. These species have been undeservedly neglected in the past, but are now the subject of considerable attention, though there are still countries where they are marginalized, as they are in this country.

The preservation of the genetic resources of individual forest tree species, especially those that are at risk, should be a high priority in every major forest ecosystem management programme. Smaller populations and individual groups of trees of importance for the preservation of the genetic variability of the species should also be preserved.

This country has ample potential for improving poplar plantations and forests; the most recent survey reveals an area of about 40,000 hectares suitable for poplars, in small pure stands or together with willow and other hydrophile tree species.

A series of studies in this country and abroad was undertaken with a view to advancing our understanding of the Black Poplar. Since we have relatively few Black Poplar populations, we took part in bilateral studies, which yielded valuable data. The results concerning the variability of Black Poplar are encouraging. A series of morphological and phenological studies was also conducted, and are still under way following a new methodology. Physiological studies are also being carried out in controlled conditions, along with molecular genetic studies. Particular attention is being paid to the preservation of the most valuable gene pools of indigenous Black Poplars.

To enhance the value of the analyses, we also used material from neighbouring Croatia for some of the morphological studies. Leaf characteristics were used for the basic morphological analysis

of material collected in 17 natural populations of European Black Poplar in Bosnia and Herzegovina and in Croatia. The samples in Bosnia and Herzegovina were collected from nine populations along four rivers: one beside the River Drina (Tegare), two each along the River Vrbas and the River Bosna (Zlavast, Banja Luka, Bilješevo, Doboj) and four along the River Neretva (Ovčari, Počitelj, Čapljina, Metković) consisting of the hairy Black Poplar. Material from 514 trees consisting of 6,513 leaves was analysed, yielding 32,545 data items which were collated statistically. The leaves were collected according to the approved procedure, being fully developed and undamaged, and always from short shoots. Three morphological studies were conducted, in each of which the following morphological parameters were measured: blade length, blade width, petiole length, angle of insertion of first leaf vein, and distance from base of blade to widest point. Analysis of the basic descriptive indicators showed that we have great variability within populations, and that there is also inter-population variability. Statistically significant differences between the populations studied were determined using variance analysis and the one-way nonparametric Kruskal-Wallis test.

The results reveal that there are no indications that the hairy type of Black Poplar constitutes a separate taxonomic entity, since all its polymorphisms are the same as those of the European Black Poplar in Bosnia and Herzegovina, whether hairy or not. The results of two of the morphological analyses do not support the hypothesis of a possible tertiary relict, though the third could perhaps hint at this; rather, the analyses would support treating the hairy Black Poplar as a xeromorphic ecotype of the European Black Poplar. There are significant differences between typical and hairy types of European Black Poplar in the morphological characteristics studied – differences which conform to climatic variations in the individual habitats of continental flood forests and the sub-Mediterranean type of climate.

Three populations of Black Poplar were covered by the third morphological study: typical hairy poplar from the Čapljina area, and two in close proximity, from Bugojno and Konjic; here too we find only slight hairiness, and only on young shoots. All individuals studied were from natural stands in Bosnia and Herzegovina (Čapljina, Konjic, Bugojno).

Fifty leaves from each of ten trees from each of these three populations were analysed, using the same measurements: blade

length, blade width, petiole length, angle of insertion of first leaf vein, and distance from base of blade to widest point. A descriptive statistical analysis was conducted, along with a multivariate cluster analysis based on Euclidean distance.

The results revealed significant differences between the Čapljina population and those of Konjic and Bugojno, and could suggest that the hairy Black Poplar is perhaps a specific ecotype.

Plants as indicators of climate change are of great importance for the study of the climate of a given area. The species and distribution of plants indicate certain macroclimatic features of the area, mainly relating to its thermal and pluviometric characteristics. As regards local climatic conditions and microclimatic changes in the given area, not only plant species but also their growth patterns and phenology are indicative.

The clonal archive is located in the Žepče forest nursery, at Šećin Han (18°00' E, 44°25'N), on alluvial-deluvial deposits. Indigenous material was collected from natural populations of Black Poplar in Bosnia and Herzegovina, from 26 sites classed into five meta populations (Neretva [26 trees], Bosna [58], Vrbas [35], Spreča [8] and Drina [32]).

Observations of phenological changes were carried out in 2007, 2008 and 2009 from the end of March to the end of May, during which period three phenological phases were monitored. The start of the observations was defined as the day when the terminal bud was observed to display a certain change.

The observations were conducted on 159 clones every three days at the start of the growth season, and every two days following budburst. The first observations were carried out two weeks before the estimated date at which the buds would begin to swell. Three phases were monitored: Phase 1, bud swell (elongation, swelling, yellowish-green colour, membrane not yet pierced by tips); Phase 2: budburst (buds split revealing first green leaves); Phase 3: emergence of green leaf.

The basic climatic characteristics for the period during which phenological observations were conducted were obtained from the Federal Hydro-meteorological Authority of BiH.

The beginning and end of the phenophase, as well as the duration of the phenological phases of Black Poplar in the clonal archive in the Žepče forest nursery, were different in 2007, 2008 and 2009.

The descriptive analysis shows the number of days between the start of the observations to a given phenophase. The number of days to bud swell was highest in 2009 for the Vrbas population (31.65 days) and lowest in 2007 for the Drina population (4.41 days). The number of days to budburst was highest in 2009 for the Vrbas population (34.87 days), and lowest in 2007 for the Drina population (7.41 days). The highest number of days to first leaf was in the Vrbas population in 2009 (40.90 days), and the lowest was in the Drina population in 2007 (15.69 days).

The variance analysis confirmed that there is statistically significant variability between populations in the number of days required to reach a given phenophase, as well as in the temperatures for the said phenophases, in each of the three years of observations. In 2007 and 2009, the greatest variability was in the number of days to first leaf, and the least to bud swell.

Duncan's multiple range test identified statistically significant differences in the phenophases; bud swell, budburst, first leaf and temperature at bud swell yielded three groups, while temperature at budburst yielded four groups, and temperature at first leaf yielded two groups.

The correlation of the characteristics studied for all populations for each of the three years displayed a high variability coefficient value.

The molecular analysis of the genetic structure of 11 populations of Black Poplar from six river basins, together with a comparison of ten microsatellite genetic loci, yielded significant differences. Only old trees over the age of 80 were analysed, so as to avoid the introgression of genes from American Black Poplar and Euro-American hybrids.

We analysed ten gene loci from a total of 422 alleles in all populations, 17 of which were specific. The number of alleles by gene loci for these populations ranged from one to 17.

A high degree of polymorphism was recorded. The lowest number of alleles was recorded in the lower Neretva population and the upper Vrbas population, 34 and 29 respectively, while in the upper Bosna population 81 alleles were recorded. A feature of the upper Vrbas population was that there were only three genotypes from seven trees.

Allele diversity shown by the records ranged from 1 for gene locus *PMGC_456* in the Neretva and lower Vrbas populations, to 11.333 for

gene locus *PMGC_2163* in the upper Bosna population. Interestingly, the Neretva population displayed the lowest value in five gene loci.

Actual heterozygosity was lower than theoretical in almost every case, behaving in accordance with actual heterozygosity.

In all the populations studied the fixation index displayed negative or low positive magnitudes, but with relatively small values except in the case of the Neretva population, where there were deviations, while the average inbreeding coefficient was $F = 0.062$.

The populations studied displayed relatively high intrapopulation differentiation, ranging from $D_j = 0.2917$ in the lower Bosna population to $D_j = 0.5545$ in the lower Neretva, followed by the upper Vrbas population. The results obtained may be seen as deriving from the geographical proximity of the populations studied, though the Neretva population is isolated, belonging as it does to the Adriatic basin.

The greatest genetic distance per Gregorius is displayed by the Neretva and upper Vrbas populations, on account of the small number of genotypes, only three from the seven trees analysed.

Methods using a comparison of molecular markers for specific genetic structures of Black Poplar produced a clear image of the populations studied, and the results obtained enable us to recommend the measures needed to preserve the gene pools of this deciduous species in Bosnia and Herzegovina. The studies showed that the hairy Black Poplar does in fact display differences at the molecular genetics level such that it may be classed as a separate taxon and not merely an ecotype, as was indicated by studies at the morphological level.

Thus the results enable us to recommend the measures needed to preserve the gene pools and the regeneration and use of cloned reproductive material of Black Poplar in Bosnia and Herzegovina.

The preservation of Black Poplar is manifested in the formation of a Black Poplar clone archive, located in the Lugovi forest nursery near Žepče. All the parent material in the archive derives from 26 natural populations of Black Poplar (*Populus nigra* L.) from throughout Bosnia and Herzegovina, along with 11 hybrid poplars and three exotic poplar species. In forming the archive, a total of 6,885 cuttings were set. After a month, 4,270 or 62.02%, were showing signs of life; after the second month, 3,480 of the cuttings, or 50.54%, had taken, and after the third month there remained 3,427 plants, or 49.77%.

The greatest loss of vitality was in the first and second months, though all possible agrotechnical measures were taken. If one excludes the hybrid poplars, fewer still took root, the reason for which is probably the age of the plant material, and the fact that no plant rooting hormones were used. Even so, the results are encouraging, and once the plants have healed and been rejuvenated, it will be possible to use them to produce propagation material.

The archived clones in the clone archive have been identified, using 10 microsatellite systems, some of which were specific for the detection of indigenous Black Poplar (*Populus nigra*) on the one hand and American Black Poplar or Cottonwood (*Populus deltoides*) on the other, as well as the hybrid between these two species (*Populus x canadensis*). A total of 93/107 different alleles recorded in the clone archive have been analysed. Despite taking great care in the clone archive to select material for propagation, five clones were found to contain introgressive Cottonwood genes, indicating that certain errors were made during the formation of the archive, and suggesting that morphological markers are unreliable for the purpose of selecting material.

The results of the morphological, phenological, physiological and molecular studies reveal that for now the material may be used only for local needs, without intermixing it with other material, but molecular studies allow for transmission on the basis of genetic deviations. Nonetheless, clones from Sarajevo would be used in the Sarajevo region, and those from Banja Luka only in Banja Luka. It may be possible ultimately to carry out careful intermixing in the river basins, but only with the greatest caution, and only in zone intermediate between the archives population. There can be no question of greater intermixing until molecular genetic results are obtained.

For this reason, any distribution of material from the archive should be under strict control by the relevant authority, in this case the Forestry Faculty in Sarajevo.

A separate case is that of material from the Rudnik population, which represents a pioneer species on the deposol of the Vrtilište mine near Kakanj. This material should be used in reclaiming the mine deposol in Kakanj, as it rapidly binds the soil and creates the conditions for indigenous vegetation to appear.



Slika 50. Crna topola na rijeci Odri u Njemačkoj



LIFEGENMON - LIFE Projekt praćenja Europskih šumskih genetskih sustava

Održivo gospodarenje šumama temelji se na dugoročnoj prilagodljivosti šumskih ekosustava i njihovih bioloških raznolikosti koje počinje na najnižoj, na razini gena. Šumski genetski nadzor (Forest genetic monitoring - FGM) je sustav ranog upozorenja odnosno pomoći u procjeni kakav je odgovor neke vrste na promjenu u okolišu, kroz dugoročni vremenski period. Genetski nadzor omogućuje promatranje promjena u populacijama kroz vremenski period, tako da se na temelju svih relevantnih komponenti može doći do određenih zaključaka i evaluacije posljedica. Šumski genetski nadzor uključuje prognozu, ali u isto vrijeme odgovarajućim metodama osigurava očuvanje i održavanje genetske varijabilnosti u prirodnim populacijama.

LIFEGENMON kombinira napore šest partnera iz tri države/zemlje (Njemačka/Bavarska, Grčke i Slovenije), te stručnjaka iz zemalja jugoistočne Europe, kako bi se pokrenuo sustav šumskog genetskog nadzora koji će osigurati pravodobni odgovor u planiranju gospodarenja šumama i prijetnjama prema šumskoj genetskoj raznolikosti, te kako bi se podržala održivost šuma u njihovom sadašnjem području rasprostranjenosti.

Ciljevi projekta su:

- Odrediti optimalne pokazatelje za praćenje promjena u genetskoj raznolikosti duž transekta od Bavarske do Grčke za dvije odabrane ciljne vrste: na staništima listaća (*Fagus sylvatica*) i sastojinama četinjača (*Abies alba/Abies borisii-Regis* kompleksa);
- Pripremiti smjernice za šumski genetski nadzor, za dvije pobrojane vrste i još pet drugih vrsta šumskog drveća (*Populus nigra*, *Fraxinus excelsior*, *Pinus nigra*, *Prunus avium*, *Quercus petraea/robur* kompleksa), koje se razlikuju u biologiji i distribuciji, a u cilju provedbe FGM na nacionalnoj, regionalnoj i EU razini;
- Pripremiti priručnik o šumskom genetskom nadzoru i njegovoj provedbi na razini EU;
- Pripremiti sustav odlučivanja o optimalnom izboru razine FGM koji se temelji na odgovarajućim potrebama i sredstvima;
- Organizirati niz radionica/obuka za sektor šumarstva, kako bi ih se osposobilo za provođenje FGM prema standardiziranim postupcima na njihovom teritoriju;
- Pripremiti potrebne stručne dokumente/smjernice (za kreatore politike na nacionalnoj, regionalnoj i EU razini) koji će biti potpora razvoju mogućih novih legislativa na nacionalnim razinama, procesu "Forest Europe" te budućim europskim politikama i strategijama o šumarstvu i očuvanju šuma i biološke raznolikosti;
- Raspravljati i proširiti FGM među različitim ciljnim skupinama i šumoposjednicima s ciljem promicanja uporabe i rezultata ovog sustava ranog upozorenja kao alata za održivo gospodarenje šumama; i
- Uspostaviti dobre veze i suradnje kroz međunarodni tim šumarskih stručnjaka koji rade na FGM.

Projekt je započeo u srpnju 2014. i trajat će do lipnja 2020. Ukupna financijska sredstva su u iznosu od € 5.84m, od čega EU sudjeluje sa 49,9% (€ 2,7 milijuna); partneri u projektu moraju doprinijeti sa 50,1% iz vlastitih (nacionalnih) izvora.

Partneri u projektu su: Šumarski institut Slovenije (koordinator); Služba za šume Slovenije; Centar za informacijske usluge, suradnju i razvoj NVO; Bavarski državni ured za šumske sadnice i sadnju; Aristotelovo sveučilište u Solunu i Glavna-Uprava za šume i poljoprivredne poslove - decentralizirane administracije Makedonije - Trakije.



ŠUMARSKI FAKULTET
UNIVERZITETA U SARAJEVU



Silva
Slovenica



LIFE FOR EUROPEAN FOREST GENETIC MONITORING SYSTEM



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

ISBN 978-9956-616-41-9