

PROCJENA GENETSKE DOBITI, PRODUKTIVNOSTI I FENOTIPSE STABILNOSTI KLONOVA TOPOLA NA PODRUČJU ISTOČNE HRVATSKE

ESTIMATION OF GENETIC GAIN, PRODUCTIVITY AND PHENOTYPIC STABILITY OF POPLAR CLONES IN THE AREA OF EASTERN CROATIA

Davorin KAJBA¹ i Ivan ANDRIĆ¹

Sažetak

Procjena genetskih parametara, produktivnosti i fenotipske stabilnosti za 14 klonova topola u plantažnoj dobi od 2+5 godina utvrđena je u pet klonskih testova na području istočne Hrvatske. Za istih osam klonova topola, u tri eksperimentalne plohe, izvršena su istraživanja adaptabilnosti i interakcije genotip × okolina. Na osnovi veličine regresijskih koeficijenata i regresijske analize možemo utvrditi da se testirani klonovi mogu podijeliti s obzirom na fenotipsku stabilnost i produktivnost na tri grupe: a) fenotipski stabilne klonove, osrednje produktivnosti sa tendencijom adaptabilnosti na sve okoline ('I-214', 'M 1', 'S 6-36', 'S 6-20'); b) srednje stabilni klonovi, osrednje produktivnosti, a pokazuju tendenciju adaptabilnosti na sve okoline ('710', 'Bl Constanzo', 'Pannonia'); c) fenotipski vrlo nestabilni klonovi, visoke produkcijske sposobnosti, sa specifičnom adaptacijom na optimalna staništa ('S 1-8'). Utvrđivane su i vrijednosti nasljednosti (h^2) za svojstvo drvene zalihe, a genetska dobit (DG) procijenjena je na osnovi selekcije pet ili jednog najboljeg klona. Očekivana genetska dobit uspoređena je s ostvarenim eksperimentalnim podacima. U svakom od pojedinih klonskih testova utvrđena je statistički značajna međuklonska varijabilnost u produkciji i preživljavanju. Vrijednosti procjene nasljednosti (h^2) kretale su se od 0,40 do 0,90, što nam ukazuje da je svojstvo produkcije i adaptabilnosti pod visokim stupnjem genetske kontrole. Ostvarena genetska dobit u produkciji drvene zalihe za selekcioniranih pet najboljih klonova bila je nešto veća od očekivanih, a kretala se od 15,30 do 45,12 %, dok je kod selekcije jednog najboljeg klona iznosila od 30,88 do 81,03 %. Kako bi se smanjio rizik monoklonskog uzgoja i povećala stabilnost ekosustava, prednost ćemo dati uzgoju smjese od pet klonova divergentne genetske konstitucije.

KLJUČNE RIJEČI: klonovi topole, genetski parametri, interakcija genotip × okolina, adaptabilnost.

Uvod Introduction

Interakcija određenog genotipa i različitih okolina u kojima genotip (klon) može ekzistirati, rezultira različitim fenotipovima, što zapravo predstavlja stupanj reakcije određenog genotipa na intenzitet vanjskih čimbenika. Stupanj reakcije određenog klona genetski je determiniran, čime je odre-

đena njegova fenotipska stabilnost ili nestabilnost genotipa. Pod fenotipski stabilnim genotipom podrazumijevamo klon čije su fenotipske vrijednosti za određeno svojstvo u nizu okolina vrlo slične. Genotip posjeduje određenu normu reakcije koja mu omogućuje da ostvari fenotipske promjene djelovanjem čimbenika okoliša tijekom njegovog ontogenetskog razvoja. Što je genetička determinacija pojedinih svojstava složenija (pod kontrolom većeg broja nasljednih

¹ Prof. dr. sc. Davorin Kajba, Ivan Andrić mag. ing. silv., Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb, davorin.kajba@zg.t-com.hr

osnova), kao što je slučaj kod gospodarskih kvantitativnih svojstava, utoliko je značajniji i utjecaj okoline na ispoljavanje određenog svojstva. Uporabna vrijednost klona ne ovisi samo o njegovoj maksimalnoj produktivnosti, već i o njegovoj sposobnosti da određena svojstva zadrži na relativno visokoj razini i u različitim okolinama. Interakcija genotip \times okolina (GEI) definira određeni klon ili smjesu klonova koji odgovaraju određenom staništu, ali ne moraju zadovoljiti produkcijom i adaptacijom na nekom drugom. Iz tih se razloga osnivaju serije eksperimenata na više potencijalnih kontrastnih ekoloških niša, s obzirom na tip tla i vodni režim. Interakcija genotip \times okolina definirana je kao varijabilnost između genotipova u njihovoj reakciji na različite stanišne uvjete. Genotipovi s dobrom adaptacijskom sposobnošću na različite okoline i visokom produktivnošću predstavljat će idealan model (Krstinić, 1984, Krstinić i Kajba 1993, Bisoffi i Gullberg 1966, Ballian i Kajba 2011), a cilj su uzgajanja i selekcije klonova topola na području Osječkih i Valpovačkih podravskih šuma.

Procjene genetskih parametara imaju važnu ulogu u programima gospodarenja šumama i oplemenjivanja šumskog drveća, posebice za gospodarski važna svojstva. U tehnici oplemenjivanja šumskog drveća – genetsku dobit, u smislu produkcije, moguće je ostvariti koristeći odgovarajući klon ili smjesu klonova adaptiranu na određene stanišne uvjete. Na temelju procjene stupnja nasljednosti određenog svojstva i selekcijskog diferencijala u određenoj populaciji, možemo predvidjeti genetsko poboljšanje putem oplemenjivanja selekcijom u sljedećoj generaciji (Wright 1976, Falconer 1981, Kang 1985). Genetska dobit (ΔG) je prosječno poboljšanje u potomstvu u odnosu na srednju vrijednost roditelja ili roditeljske generacije, a ovisi o intenzitetu selekcije (i), genetskoj varijabilnosti, te nasljednosti (h^2). Genetska dobit ostvarena u klonskim testovima predstavlja prosječno poboljšanje smanjenog broja klonova ili pojedinog klona u odnosu na srednju vrijednost ukupnog broja testiranih klonova, a ovisi o intenzitetu selekcije, genetskoj varijabilnosti i nasljednosti. Genetska dobit predstavlja produkt selekcijskog diferencijala, odnosno intenziteta selekcije i nasljednosti, a najčešće se ponajprije misli na neaditivnu genetsku varijancu koju je moguće sačuvati i reproducirati samo klonskim putem. Kod šumskog drveća ta je metoda vrlo uspješna kod vrsta s rutinskim autovegetativnim razmnožavanjem, kao što su topole i vrbe, uz mogućnost ostvarenja dodatne genetske dobiti selekcijom najboljih klonova (Kajba 1991, Kajba i Bogdan 1999).

Jedan od ciljeva u ovom istraživanju bilo je utvrđivanje razine genetske kontrole produkcije drvene zalihe u mladim klonskim testovima crnih topola te utvrđivanje varijabilnosti parametara nasljednosti (h^2), dok je dodatno genetsko poboljšanje (ΔG) procijenjeno na temelju selekcije pet ili jednog najboljeg klona. Očekivana dodatna genetska dobit uspoređena je s ostvarenim eksperimentalnim podacima.

Materijal i metode rada

Material and methods

Podaci u ovim istraživanjima korišteni su iz izmjera u pet mladih klonskih testova crnih topola koji su osnovani na području Šumarija Osijek i Valpovo (UŠP Osijek). Klonski testovi su osnovani s razmakom sadnje 6×6 m, u randomiziranom rasporedu sa po 16 biljaka u plohi u četiri ponavljanja. Starost sadnog materijala kod osnivanja eksperimentalnih ploha bila je 1/2 i 2/3 godine, a ukupno je bilo uključeno u testiranje 14 klonova američkih crnih topola i njihovih hibrida. Pri plantažnoj starosti od 2 + 2, 2 + 3 i 2 + 4 god. izvršene su izmjere preživljavanja i visinskog prirasta, dok je u dobi od 2 + 5 ili 1 + 5 godina izvršena i izmjera prsnih promjera, volumena srednjeg stabla, kao i procjena drvene zalihe (m^3/ha) s obzirom na preživljavanje klona. Volumen srednjeg stabla dobiven je interpolacijom talijanskih tablica za topole I.F.N.I (Castellani i sur. 1984). Za osam klonova u dobi od 2 + 5 godina izvršena su istraživanja fenotipske stabilnosti, adaptabilnosti i interakcije genotip \times okolina, a u testiranju su uključena tri pokusa na lokalitetima Šumarije Osijek (Osječke podravske šume 7k i 5g), te Šumarije Valpovo, (Valpovačke podravske šume 25 b). Testirani su klonovi *P. \times canadensis* ('Pannonia', 'Bl Constanzo', 'I-214', 'M 1'), te klonovi *P. deltooides* ('710', 'S 6-36', 'S 6-20', 'S 1-8'). Obrada podataka provedena je uz pomoć programskih paketa IBM SPSS Statistics 19.0.0. i Excel.

Različita smjesa klonova u eksperimentima uvjetovala je da se izvrši procjena genetskih parametara za pojedini eksperiment. U svakom testu bilo je devet ili deset klonova, a za analizu varijance korištene su aritmetičke sredine po ponavljanjima. Stupanj nasljednosti (h^2) za pojedino istraživano svojstvo dobiven je raščlanjivanjem njegove sveukupne varijabilnosti na međuklonsku varijabilnost i varijabilnost unutar jedinki istoga klona. Metodom analize klonskih testova dobivene su vrijednosti za nasljednost u širem smislu.

Nasljednost je računata po sljedećoj formuli:

$$h^2 \text{ (u širem smislu)} = \frac{\delta_c^2}{\frac{\delta_c^2}{r} + \delta_c^2}; \text{ (po Wrightu 1976)}$$

U gornjim formulama \mathbf{d}_c^2 je varijanca klona, \mathbf{d}^2 je varijanca greške, a r je broj ponavljanja u pojedinom pokusu.

Procjena genetskog poboljšanja selekcijom računata je po formuli:

$$DG = i \times \mathbf{d}_{ph} \times h^2 \text{ (Falconer 1981),}$$

gdje je i intenzitet selekcije (Becker 1984), \mathbf{d}_{ph} je standardna devijacija za fenotipske vrijednosti uzgojenih klonova, a h^2 je nasljednost za pojedino svojstvo.

Kada je selekcija bazirana na prosjecima klonova, tada formula za očekivanu genetsku dobit iznosi:

$$\Delta G = i \frac{\delta_c^2}{\sqrt{\delta^2 / r + \delta_c^2}} ; (\text{Randall i Cooper 1973}).$$

Očekivano genetsko poboljšanje za svojstvo drvene zalihe obračunato je glede selekcije pet ili jednog najboljeg klona u pojedinom klonskom testu, te je uspoređeno s ostvarenim eksperimentalnim podacima.

Rezultati istraživanja i rasprava

Results of research and discussion

Izmjera totalnih visina i preživljavanja u pet klonskih testova topola izvršeno je tijekom 2009. i 2010. godine pri plantažnoj starosti od 2 + 3 i 2 + 4 godine, odnosno 1 + 3 i 2 + 2 godine, a zavisno od starosti sadnica pri osnivanju pokusnih ploha. Tijekom 2011. godine, u dobi kultura od 2 + 4, 1 + 5 ili 2 + 5 godina, osim izmjera totalnih visina i preživljavanja izvršene su izmjere i prsnih promjera, napravljena je procjena volumena srednjeg stabla i drvene zalihe klonova, zavisno od njihova preživljavanja (tablica 1 i slika 1).



Slika 1: Klonski test topola, Osječke podravške šume 7k, Plantažna starost 2 + 5 godina

Figure 1: Poplar clonal test, Osječke podravške šume 7k, Plantation age 2 + 5 years

U svakom od pojedinih klonskih testova utvrđena je statistički značajna međuklonska varijabilnost u produkciji proizvodnosti drvene zalihe i preživljavanju. Prosječna vrijednost

Tablica 1. Drvena zaliha i preživljavanje testiranih klonova topola
Table 1 Volume stock and survival of tested poplar clones

Red. br. No.	Klon Clone	Botanički naziv Botanical name	Šumarija / Odjel, odsjek Forestry office / Management unit									
			Osijek 7k		Osijek 5g		Osijek 5g		Valpovo 25b		Valpovo 26d	
			Drvena zaliha (V) m ³ /ha/kom / Preživljavanje (%) / Plantažna starost (god) Volume Stock (V) m ³ /ha/no / Survival (%) / Plantation age (yrs)									
			2+5 god. / yrs		1+5 god. / yrs		2+5 god. / yrs		2+5 god. / yrs		2+4 god. / yrs	
V %		V %		V %		V %		V %				
1.	'710'	<i>P. deltoides</i>	17,6	92	2,9	70	21,3	97	2,6	62	3,3	80
2.	'79/41'	<i>P. × canadensis</i>	9,7	94	–	–	–	–	–	–	–	–
3.	'S 6-36'	<i>P. deltoides</i>	10,5	81	4,9	74	18,1	92	3,2	76	1,8	44
4.	'Pannonia'	<i>P. × canadensis</i>	17,3	92	–	–	22,1	98	3,4	81	3,8	92
5.	'S 6-20'	<i>P. deltoides</i>	7,2	69	6,5	88	20,5	98	3,2	78	2,9	70
6.	'Bl Constanzo'	<i>P. × canadensis</i>	15,7	94	7,9	74	26,4	94	3,5	84	3,9	93
7.	'I-214'	<i>P. × canadensis</i>	9,2	88	2,6	63	15,4	91	3,1	75	2,9	70
8.	'S 1-8'	<i>P. deltoides</i>	11,4	63	9,4	82	35,8	98	3,4	81	2,6	62
9.	'275/81'	<i>P. × canadensis</i>	5,9	64	–	–	–	–	–	–	2,9	69
10.	'M1'	<i>P. × canadensis</i>	15,5	94	8,9	80	17,6	97	3,5	84	3,1	75
11.	'Triplo'	<i>P. × canadensis</i>	–	–	2,4	58	26,7	93	0,9	22	2,9	72
12.	'S 1-3'	<i>P. deltoides</i>	–	–	2,1	50	–	–	–	–	2,5	59
13.	'S 1-5'	<i>P. deltoides</i>	–	–	4,2	77	–	–	–	–	–	–
14.	'182/81'	<i>P. deltoides</i>	–	–	–	–	19,5	93	–	–	–	–
	Prosjek / Average		12,00	83	5,18	72	22,34	95	2,98	71	2,96	71

drvene zalihe za pojedinu pokusnu plohu kretala se od 3,0 m³/ha kod klonskih testova Valpovo 25b i 26d, do 20,4 m³/ha u klonskom testu Osijek 5g. Prosječno preživljavanje u klonskim testovima iznosilo je od 71 % do 95 %, iako je bila prisutna statistički značajna varijabilnost između klonova unutar pojedinog lokaliteta i kretala se od 22 do 98 %. Kod klonskih testova u istoj dobi od 2 + 5 godina prosječna drvena zaliha klonova kretala se od 0,9 kod klona 'Triplo' (uz preživljavanje od 22 %, test Valpovo 25b) do 35,8 m³/ha za klon 'S 1-8' (kod preživljavanja od 98 % na plohi Osijek 5g).

Kod svih plantažnih starosti za svojstvo totalnih visina (u dobi od 1 + 3 do 2 + 4 god.) i za drvenu zalihu (u dobi 2 + 5 god.) u pet klonskih testova topola, provedenom analizom varijanci, dobivena je statistički značajna razlika između testiranih klonova u svim klonskim testovima osnovanim sa sadnicama starosti 2/3 godine, osim u klonskom testu osno-

vanom sa sadnicama 1/2 god. (Osijek 5g), kako je prikazano u tablici 2. U ovoj prvoj izmjeri, pri plantažnoj starosti 1 + 3 god., još nije došlo do diferencijacije dinamike prirasta između klonova (tablica 2). Također je u većini klonskih testova, pri različitoj dobi izmjera, utvrđena statistički značajna razlika između blokova unutar pojedinog eksperimenta, što ukazuje na značajnu heterogenost tla unutar pokusnih ploha, a što je bitno utjecalo na vrijednosti greške eksperimenta.

Ista smjesa klonova u testu Osijek 5g osnovana sa sadnicama 1/2 god. imala je znatno slabije rezultate od pokusa u istom odsjeku osnovanom sa sadnicama starosti 2/3 godine. Prosječno preživljavanje u klonskom testu osnovanom sa sadnicama 1/2 god. iznosilo je u prosjeku 72 %, dok je u testu sa sadnicama 2/3 god. ono iznosilo 95 %, što ukazuje na značajnu prednost korištenja sadnica starosti 2/3 godina na ovim staništima.

Tablica 2. Analiza varijance za klonove topola kod različite plantažne starosti
Table 2 Analysis of variance for poplar clones at different plantation age

Redni broj / No.	Šumarija / Forest office	Gospodarska jedinica / Locality	Odjel – Odsjek / Management unit	Broj klonova / No. of Clones	F – vrijednost / F – Value		
					Plantažna starost (god.) / Plantation age (yrs.)		
					2009	2010	2011
1.	Osijek	Osiječke podravске šume	7k	10	4,51 (2+3)	5,57 (2+4)	1,65 ^{NS} (2+5)
2.	Osijek	Osiječke podravске šume	5g	10	0,79 ^{NS} (1+3)	–	2,41 (1+5)
3.	Osijek	Osiječke podravске šume	5g	10	2,30 (2+3)	2,91 (2+4)	3,29 (2+5)
4.	Valpovo	Valpovačke podravске šume	25b	9	2,38 (2+3)	2,39 (2+4)	10,47 (2+5)
5.	Valpovo	Valpovačke podravске šume	26d	10	8,20 (2+2)	7,62 (2+3)	3,68 (2+4)

Tablica 3. Analiza varijance za testiranih osam klonova na tri različita staništa
Table 3 Analysis of variance for the eight poplar clones tested on three different sites

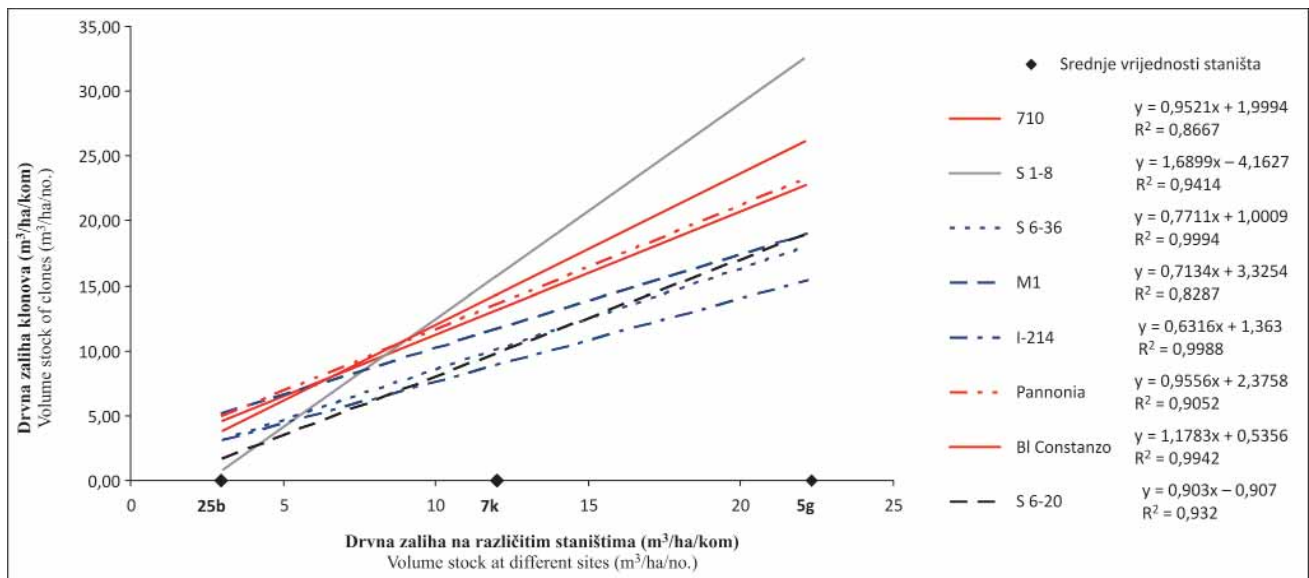
Izvor / Source	Suma kvadrata / Sum of Squares	Stupnjevi slobode / Degrees of Freedom	F	Signifikantnost / Significant
Model / Model	7334,751a	23	6,326	0,000
Lokaliteti / Localities	5729,564	2	56,826	0,000
Klonovi / Clones	594,696	7	1,685	0,126
Lokaliteti × Klonovi / Localities × Clones	1010,491	14	1,432	0,161
Greška / Error	3629,732	72		
Ukupno / Total	26724,603	96		

Za osam istih klonova topola, koji su zastupljeni na tri pokusne plohe izvršeno je istraživanje fenotipske stabilnosti i adaptabilnosti za svojstvo drvene zalihe, a u istraživanja su uključena četiri klona *P. ×canadensis* i četiri klona *P. deltoides*. Za te su klonove, na tri različita lokaliteta, dobivene statistički značajne razlike, dok interakcija klonovi × stanište u ovoj dobi nije utvrđena (tablica 3).

Iz slika 2. i 3. vidljivo je kako je bonitet staništa uvjetovao modifikacije prosječnih vrijednosti u produkciji klonova, te kolika se drvena zaliha može očekivati u smjesi tih klonova ili pri uzgoju pet ili jednog najboljeg klona. Kao najpodesniji klonovi s uzgojnog stajališta, u pravilu su klonovi visoke fenotipske nestabilnosti, čiji je uzgoj opravdan na optimalnim staništima, kao i na manje povoljnim staništima uz primjenu agrotehničkih mjera, te adekvatnih mjera zaštite.

S obzirom na dobivene rezultate, ponajprije na osnovi veličine regresijskih koeficijenata i regresijske analize, možemo utvrditi da se testirani klonovi pri ovoj plantažnoj dobi mogu podijeliti s obzirom na fenotipsku stabilnost i produktivnost na tri grupe:

- fenotipski stabilne klonove, osrednje produktivnosti sa tendencijom adaptabilnosti na sve okoline ('I-214', 'M1', 'S 6-36', 'S 6-20');
- srednje stabilni klonovi, osrednje produktivnosti, a pokazuju tendenciju adaptabilnosti na sve okoline ('710', 'Bl Constanzo', 'Pannonia');
- fenotipski vrlo nestabilni klonovi, visoke produkcijske sposobnosti, sa specifičnom adaptacijom na optimalna staništa ('S 1-8').

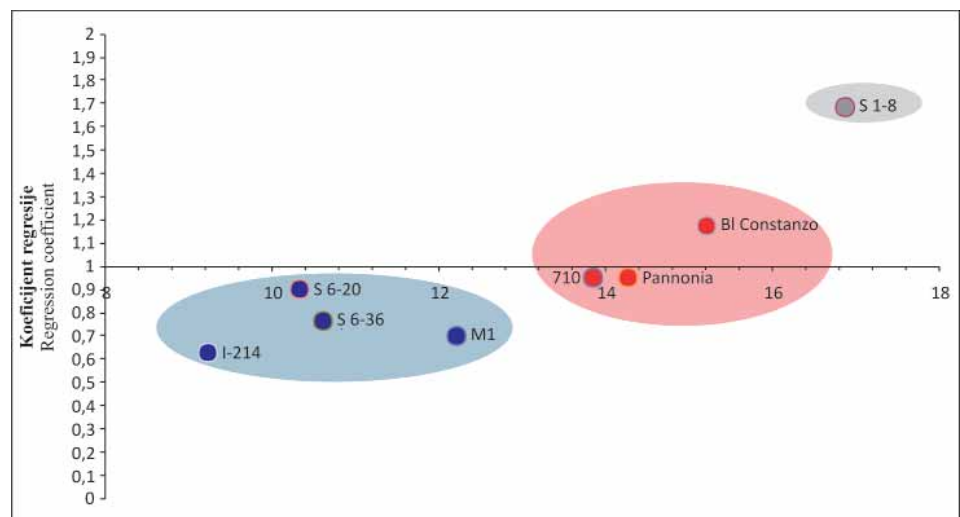


Slika 2: Fenotipska stabilnost i produktivnost nekih klonova topola na tri različita staništa (m³/ha/kom)

Figure 2: Phenotypic stability and productivity of some poplar clones at three different sites (m³/ha/no.)

Slika 3: Odnos koeficijenta regresije i produktivnosti nekih klonova topola testiranih na različitim staništima (m³/ha/kom.)

Figure 3: Relation between regression coefficient and productivity of some clones poplar tasted on different sites (m³/ha/no.)



Pri ovoj juvenilnoj plantažnoj starosti od 2 + 5 god., možemo ukazati da klon 'S 1-8', iako pri vrhu prema dobivenim rezultatima na istraživanim plohama, iskazuje tendenciju fenotipske nestabilnosti i adaptabilnosti s obzirom na preživljavanje i drvenu zalihu. To je posebice vidljivo u neoptimalnim uvjetima (preživljavanje od 63 % u pokusu 7k, odnosno 62 % u pokusu 26d). Iako je biljnohranidbeni status bolji na tim staništima, izgleda da je odlučujuću ulogu za preživljavanje i produkciju imala razina podzemne vode unutar aktivnog profila tla.

Dobiveni rezultati preživljavanja novotestiranih klonova 'S 1-3' i 'S 1-5', u klonskom testu osnovanom sa sadnim materijalom starosti 1/2 godine, u Šumariji Osijek, odjel/odsjek 5g, iznosili su 50 i 77 %. Klon 'S 1-3' bio je i među najslabijim klonovima u produkciji u testu Šumarije Valpovo, 26d pri dobi od 2 + 4 godina (tablica 1). Ovi klonovi imali su i znatno manju masu lišća, uz najveće koncentracije dušika u lišću, u odnosu na kontrolni klon 'S 1-8' (Potočić 2010, usmeno priopćenje). Odnos utrošenog hraniva i produkcije bit će od važnosti za daljnje testiranje ovih klonova u starijoj dobi te za njihovu selekciju i adaptaciju.

Procjena nasljednosti u klonskim testovima topola za svojstvo produkcije drvene zalihe u različitim pokusnim plohama i kod različite plantažne starosti, prikazana je u tablici 4. Vrijednosti procjene nasljednosti (h^2) kretale su se od 0,40 do 0,90, što nam ukazuje da je to svojstvo pod visokim stupnjem genetske kontrole. No dobivene vrijednosti ukazuju da ne postoji stabilnost istraživanog svojstva na testiranim lokalitetima, odnosno da je prisutan različit genetski heterogenitet, s obzirom na različitu smjesu klonova u pojedinom eksperimentu. Vrijednosti nasljednosti obično se povećavaju s plantažnom dobi klonova, jer ontogenetskim starenjem dolazi do većeg izražaja genetski heterogenitet smjese genotipova (Kajba 1991). Iako su istraživana svojstva pod visokim stupnjem genetske kontrole, utjecaj smjese fenotipski nestabilnih klonova, kroz veći broj ponavljanja i dobivena razlika između blokova, može imati znatan utjecaj na procjenu nasljednosti, posebice u dobi intenzivne dinamike prirasta, kao što je slučaj u ovim mladim kulturama topola. Visoke procjene vrijednosti nasljednosti kod topola i vrba utvrđene su i u drugim istraživanjima (Krstinić 1967, Mohan i Randall 1971, Randall i Cooper 1973, Kajba 1991, Pichot i Teissier du Cros 1988, Lin i Zsuffa 1993, Kajba i Bogdan 1999, Singh i sur. 2001, Isik i Toplu 2004, Pliura i sur. 2007, Dhillon i sur. 2010, Sharma i sur. 2011). Prosječne vrijednosti nasljednosti ukazuju da neka gospodarski važna svojstva, iako su u većoj mjeri uvjetovana nasljeđem, podliježu i znatnim utjecajima okoline. Modifikacije će biti posebno prisutne kod genotipova koji posjeduju genetsku konstituciju za veću reakcijsku normu (tzv. fenotipsku plastičnost, fenotipski nestabilni klonovi), a iskazat će pozitivne modifikacije u produkciji, kao što je slučaj s klonom 'S 1-8' u ovim istraživanjima. U odnosu na tip adaptabilno-

sti i produktivnosti pojedinog klona određuje se i njegova namjena, pa će se tako na lošijim staništima osnivati multi-klonske kulture (mozaik smjese klonova), koje imaju visoku fenotipsku stabilnost i prosječnu produktivnost sa dobrim preživljavanjem i adaptacijom, a to su u ovom slučaju 'Pannonia', 'Bl Constanzo' i '710'). Procjene produkcije u mladim klonskim plantažama topola obrađeni su i u drugim zemljama, kao što je npr. Kanada (Pliura i sur. 2007, Bradley i sur., 2010), Švedska (Christersson 2010) ili Finska (Yu i Pulkkinen 2003).

U tablici 4 prikazane su očekivane i ostvarene genetske dobiti u produkciji drvene zalihe selekcijom pet i jednog najboljeg klona. Očekivana genetska poboljšanja uspoređena s ostvarenim eksperimentalnim vrijednostima drvene zalihe, po pojedinačnim pokusnim plohama, iskazala su odstupanja u korist ostvarenih vrijednosti u četiri od pet pokusnih ploha. Vrijednost ostvarene genetske dobiti bila je nešto manja od procijenjene samo u testu Valpovo 25b, na staništu s najlošijim hranidbenim i vodnim statusom. Novija istraživanja kod topola doprinose afirmaciji uloge kalcija u kontroliranju vodnog statusa kod šumskog drveća, pa i kod njegovog odziva na gnojidbu različitih vrsta i klonova topola (Potočić 2006), budući je utvrđeno da je odnos N/Ca vrlo važan. Na staništima topola donje Podravine, gdje u tlu imamo niske koncentracije hraniva i nedostatkom vode u vegetacijskom razdoblju, osjećaju se posljedice na rast biomase, pa je tako i nedostatna opskrbljenost kalcijem utvrđena za klonove u testu Valpovo 25b (Potočić, usmeno priopćenje). Najlošiji rezultati u produkciji i preživljavanju klonova topola u ovom testu Valpovo 25b izravno su utjecali i na dobivene manje vrijednosti ostvarene genetske dobiti od očekivanih, kako za pet klonova od 14,23 %, odnosno 18,15 % za jedan najbolji klon (tablica 4).

Ostvarena dodatna genetska dobit u produkciji drvene zalihe za selekcioniranih najboljih pet klonova bila je nešto veća od očekivanih i kretala se od 15,30 do 45,12 %, dok je kod selekcije jednog najboljeg klona ona iznosila od 30,88 do 81,03 % (tablica 4). Usporedbom ostvarene produkcije drvene zalihe i dodatnog genetskog poboljšanja selekcijom pet ili jednog najboljeg klona u pokusnim plohama s istom smjesom genotipova, različite starosti, a uz isti intenzitet selekcije, dobiveni su različiti postoci poboljšanja, što nam dokazuje da su genetski parametri vrlo heterogeni i mijenjanju se tijekom ontogenetskog razvoja.

Budući da su procjene ostvarenog genetskog poboljšanja veće od očekivanih, svrsishodnije je utvrđivanje procjene nasljednosti i genetske dobiti (DG) u starijoj plantažnoj dobi, kada u većoj mjeri do izražaja dolazi genetski heterogenitet za svojstva od gospodarskog značenja. Kako bi se smanjio rizik uzgoja jednog klona (monoklonski uzgoj) i povećala stabilnost ekosustava prednost dajemo uzgoju smjese od pet klonova divergentne genetske konstitucije, neovisno o većoj ostvarenoj produkciji i genetskoj dobiti kod uzgoja jednog klona.

Tablica 4. Procjena genetskih parametara u klonским testovima topola
Table 4 Estimation of genetic parameters in poplar clonal tests

Redni broj / No.	Gospodarska jedinica / Locality	Odjel - Odsjek / Management unit	Plantazna starost (god.) / Plantation age (yrx.)	Broj klonova / No. of Clones	Nasljednost (h^2) / Heritability (h^2)	ΔG 5 najboljih klonova / 5 best clones				ΔG 1 najbolji klon / 1 best clone					
						5 najboljih klonova / 5 best clones	očekivano / Expected	ostvareno / Achieved	%	1 najbolji klon / best clone	očekivano / Expected	ostvareno / Achieved	%		
1	Osiječke podravške šume	7k	2+5	10	0,40	710, Pannonia, B.Constanzo, S 1-8, M1	13,24	15,51	10,24	29,14	710	14,58	17,61	21,39	46,59
2	Osiječke podravške šume	5g	1+5	10	0,57	Bl.Constanzo, S 6-36, S 1-8, S 6-20, M1	6,39	7,55	22,87	45,12	S 1-8	7,68	9,42	47,66	81,03
3	Osiječke podravške šume	5g	2+5	10	0,70	710, S 1-8, Pannonia, Triplo., Bl.Constanzo	25,39	26,45	13,65	18,42	S 1-8	28,92	35,79	29,46	60,21
4	Valpovačke podravške šume	25b	2+5	9	0,90	M1, S 1-8, Pannonia, S 6-20, Bl.Constanzo	3,46	3,40	16,41	14,23	M1	4,08	3,51	37,31	18,15
5	Valpovačke podravške šume	26d	2+4	10	0,72	710, M1, Pannonia, Triplo., Bl.Constanzo	3,32	3,43	11,86	15,30	Bl.Con.	3,66	3,89	23,13	30,88

Zaključci Conclusions

1. U većini klonских testova utvrđena je statistički značajna međuklonска varijabilnost u produkciji i preživljavanju.
2. Za istih osam klonova topola, u tri eksperimentalne plohe, izvršena su istraživanja njihove adaptabilnosti i interakcije genotip \times okolina. Na osnovi veličine regresijskih koeficijenata i regresijske analize utvrđeno je da se testirani klonovi, s obzirom na fenotipsku stabilnost i produktivnost, mogu podijeliti na tri grupe: a) fenotipski stabilne klonove, osrednje produktivnosti sa tendencijom adaptabilnosti na sve okoline ('I-214', 'M 1', 'S 6-36', 'S 6-20'); b) srednje stabilni klonovi, osrednje produktivnosti, a pokazuju tendenciju adaptabilnosti na sve okoline ('710', 'Bl Constanzo', 'Pannonia'); c) fenotipski vrlo nestabilni klonovi, visoke produkcijske sposobnosti, sa specifičnom adaptacijom na optimalna staništa ('S 1-8').
3. Vrijednosti procjene nasljednosti (h^2) kretale su se od 0,40 do 0,90, što nam ukazuje da su svojstva produkcije i adaptabilnosti pod visokim stupnjem genetske kontrole.
4. Ostvarena genetska dobit (DG) u produkciji drvene zalihe za selekcioniranih najboljih pet klonova bila je nešto veća od očekivanih, a kretala se od 15,30 do 45,12 %, dok je kod selekcije jednog najboljeg klona ona iznosila od 30,88 do 81,03 %. Kako bi se smanjio rizik uzgoja jednog klona (monoklonски uzgoj) i povećala stabilnost ekosustava prednost ćemo dati uzgoju smjese od pet klonova divergentne genetske konstitucije.

Zahvala Acknowledgement

Ovaj rad rezultat je istraživačkog projekta "Mogućnost obnove nasada topola nakon višekratnih ophodnji" kojega su financirale "Hrvatske šume" d.o.o. Zagreb. Veliku zahvalnost dugujemo kolegama UŠP Osijek na pomoći pri terenskim radovima i susretljivosti, i to ponajprije inženjerima Dragi Vračeviću, Stanku Antunoviću, Draženu Košutiću, Daliboru Toncu i Tomislavu Paukoviću.

Literatura References

- Ballian, D., D. Kajba, 2011: Oplemenjivanje šumskog drveća i očuvanje njegove genetske raznolikosti. 299 str., Šumarski fakultet Sarajevo, Šumarski fakultet Zagreb, Sarajevo-Zagreb.
- Becker, W. A., 1984: Manual of Quantitative Genetics. Academic Enterprises, Pullman, 188 str., Washington.
- Bisoffi, S., U. Gullberg, 1996: Poplar breeding and selection strategies in: Stettler, R. F., Bradshaw, H. D., Jr., Heliman, P. E., and Hincley, T. M., (ed.), Biology of Populus and its implications for management and conservation. NRC Research Press, 539 str., Ottawa, Ontario, Canada.

- Bradley, P., T. Barb, N. Bélanger, 2010: Predicting the productivity of a young hybrid poplar clone under intensive plantation management in northern Alberta, Canada using soil and site characteristics. *New Forests* 39(1): 89–103.
- Castellani, C., G. Scrinzi, G. Tabacchi, V. Tosi, 1984: *Inventario Forestale Nazionale Italiano (I.F.N.I.)*, Tavola di cubatura a doppia entrata, 85–111, Trento.
- Christersson L., 2010: Wood production potential in poplar plantations in Sweden, *Biomass & Bioenergy*, Vol. 34: 1289–1299, Uppsala
- Dhillon, G. P. S., A. Singh, D. S. Sidhu, 2010: Variation, inheritance and correlation of growth characteristics of *Populus deltoides* Bart. At various ages in the central plain region of Punjab, India. *Forestry Studies in China*. Vol. 12 (3): 126–136
- Falconer, D. S., 1981: *Introduction to quantitative genetics*, Longman Group Ltd., 340 str., London.
- Isik F., F. Toplu, 2004: Variation in juvenile traits of natural black poplar (*Populus nigra*) clones in Turkey, *New Forests* 27: 175–187.
- Kajba, D., 1991: Procjena genetskog heterogeniteta-nasljednosti i genetske dobiti za neka gospodarski važna svojstva u klonskim testovima stablastih vrba. *Šum. list* 10–12: 449–460.
- Kajba, D., S. Bogdan, 1999: Procjena genetskih parametara u klonskim testovima crnih topola (Sekcija *Aigeiros*). *Šum. list* 10–12: 3–10.
- Kang, H., 1985: Juvenile Selection in Tree Breeding: Some mathematical models, *Silvae Genetica* 34(2-3): 75–84.
- Krstinić, A., 1967: Procjena stupnja nasljednosti visina i promjera za bijelu vrbu (*Salix alba* L.) izračunata iz klonskog testa kod starosti biljaka 1/1. *Šum. list* 91: 48–54.
- Krstinić, A., 1984: Fenotipska stabilnost, adštabilnost i produktivnost nekih klonova stablastih vrba. *Glas. šum. pokuse*. Pos. izd. 4: 5–24.
- Krstinić, A., Kajba, D., 1993: Oplemenjivanje brzorastućih lištača. *Glas. šum. pokuse*, pos. izd. 4: 59–72, Zagreb.
- Lin, J. Z., L. Zsuffa, 1993: Quantitative genetic parameters for seven characters in a clonal trial of *Salix eriocephala*. II. Genetic and environmental correlations and efficiency of indirect selection. *Silvae Genetica*, Vol. 42 (2-3): 126–131.
- Mohan, C. A., W. K. Randall, 1971: Inheritance and correlation of growth characters in *Populus deltoides*. *Silvae Genetica*, Vol. 20 (5-6): 182–184
- Pichot Ch., E. Teissier du Cros, 1988: Estimation of genetic parameters in the European black poplar (*Populus nigra* L.). Consequence on the breeding strategy, *Ann. Sci. For.*, Vol. 45 (3): 223–238.
- Pliura, A., S. Y. Zhang, J. MacKay, J. Bousquet, 2007: Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. *Forest Ecology and Management* 238: 92–106.
- Potočić, N. 2006: Utjecaj gnojidbe dušikom na rast i razvoj klonova nekih vrsta topola (*Populus* spp.) u porječju Drave kod Vараždina. *Disertacija*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Randall, W. K., D. T. Cooper, 1973: Predicted genotypic gain from cottonwood clonal tests. *Silvae Genetica*, Vol. 22 (5–6): 165–167.
- Sharma, Jp., Nb. Singh, Hp. Sankhyan, P. Chaughary, Sk. Huse, 2011: Estimates of genetic parameters of newly introduced tree willow clones in Himachal Pradesh, India, Vol. 43 (3): 487–501.
- Singh, N. B., D. Kumar, G. S. Rawat, R. K. Gupta, K. Singh, S. S. Negi, 2001: Clonal evaluation on poplar (*Populus deltoides* Bart.) in eastern Uttar Pradesh. II-estimates of genetic parameters in field testing. *Indian Forester*, Vol. 127 (2): 163–172.
- Wright, J. W., 1976: *Introduction to Forest Genetics*. Academic Press, 463 str., New York.
- Yu, Q., P. Pulkkinen, 2003: Genotype-environment interaction and stability in growth of aspen hybrid clones, *Forest Ecology and Management*, Vol. 173: 25–35.

Summary

research into phenotypic stability, adaptability and productivity of poplar clones at younger plantation was conducted in the lower course of the River Drava and the tributary of the River Danube in the eastern Croatia. In this area, the construction of river infrastructure has led to severe changes in the water regime. It is for this reason that the selected poplar clones should be adapted to the specific new condition of low groundwater levels. The assessment of genetic parameters, productivity and phenotypic stability for 14 poplar clones at plantation age of 2+5 years were evaluated in five clonal trials in the area of Eastern Croatia. The tests were set up at planting distances of 6 × 6 m randomized with 16 plants per block and four repetitions. At the moment of experimental plot establishment, the planting material was 1/2 and 2/3 years old. Statistically significant inter-clonal variability in production and survival was found in particular clonal tests. Mean survival in the clonal test established with plants aged 1/2 years was 72 % on average, whereas it was 95 % in the test with plants aged 2/3 years, which suggests that using of planting material at age 2/3 years is much more successful. Research on adaptability and genotype × environment interaction were conducted for the same eight poplar clones in three trials. From a silvicultural standpoint, the most suitable clones for generating optimal modifications, as a rule, were those of high phenotypic instability. Their cultivation is justified on optimal sites, as well as on less favourable sites when are provided agrotechnical measures and applied adequate protection measures. Based on the size of regression coefficients and regression analysis, it can be concluded that the tested clones can be divided, in terms of phenotypic stability and productivity, into three groups: a) phenotypically stable clones

of medium productivity and a tendency to adapt to all environments ('I-214', 'M 1', 'S 6-36', 'S 6-20'); b) moderately stable clones, of moderate productivity which manifest a tendency to adapt to all environments ('710', 'Bl Constanzo', 'Pannonia'); and c) phenotypically very instable clones of high production capacity, with specific adaptation to optimal sites ('S 1-8'). Levels of the genetic control for the growing stock, heritability values (h^2) and genetic gain (ΔG) were assessed on the basis of selecting five or one of the best clones. The expected genetic gain was compared with the obtained experimental data. Assessment of the heritability values (h^2) ranged from 0.40 to 0.90, which indicates that the traits of production and adaptability is under a high degree of genetic control. The obtained genetic gain (ΔG) in growing stock production for the best five selected clones was somewhat higher than expected and ranged from 15.30 to 45.12 %, whereas it was between 30.88 and 81.03 % for one best selected clone. In order to minimize the risk of cultivating one clone (monoclonal culture) and increase plantations stability, we will favour the cultivation of a mixture of five clones of divergent genetic constitution. The results of this research confirm that even at such a young plantation age the quality of a particular habitat has conditioned modifications in average clone values of growing stock and survival. They also indicate the amount of production to be expected from the mixture of these clones or from the cultivation of a particular clone.

KEY WORDS: poplar clones, genetic parameters, genotype \times environment interaction, adaptability.