

Fenološka neujednačenost kao ograničavajući čimbenik uspješnoga oprašivanja u klonskim sjemenskim plantažama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

Jozo Franjić, Krunoslav Sever, Saša Bogdan, Željko Škvorc, Daniel Krstonošić, Ivana Alešković

Nacrtak – Abstract

Istraživanje fenologije cvjetanja klonova hrasta lužnjaka provedeno je u proljeće 2010. godine. Pokusna ploha na kojoj je istraživanje obavljeno osnovana je u proljeće 2008. godine u rasadniku Brestje (UŠP Zagreb, Šumarija Dugo Selo). Pokusna je ploha osnovana s klonovima podrijetlom iz već postojećih proizvodnih klonskih sjemenskih plantaža (KSP) hrasta lužnjaka na području uprava šuma podružnica Vinkovci, Našice i Bjelovar.

Istraživanjem je utvrđena protoginija kod velike većine klonova. Od meteoroloških prilika koje negativno utječu na receptivnost ženskih cvjetova posebno se ističu veliko kolebanje dnevne temperature zraka i nagli pad relativne vlažnosti zraka. Negativan utjecaj meteoroloških prilika na trušenje polena nije utvrđen. Velika kolebanja dnevne temperature zraka, uz istodobni pad relativne vlažnosti zraka, prekida receptivnost ženskih cvjetova, što ujedno umanjuje i dužinu trajanja njihove receptivnosti. Zbog utjecaja nepovoljnih meteoroloških prilika razdoblje receptivnosti ženskih cvjetova nije bilo ujednačeno s razdobljem trušenja polena, što uvelike umanjuje mogućnost međusobnoga slučajnoga oprašivanja klonova podrijetlom iz istraživanih KSP. To se uglavnom odrazilo na našičke klonove zato što su bili vrlo ujednačeni s obzirom na početak receptivnosti ženskih cvjetova i trušenje polena, što nije bio slučaj kod vinkovačkih i bjelovarskih klonova. Klonovi podrijetlom iz KSP Vinkovci i Bjelovar imali su bolju mogućnost međusobnoga slučajnoga oprašivanja u odnosu na našičke klonove, zahvaljujući onomu dijelu klonova koji je poslije započeo s otvaranjem pupova i receptivnošću ženskih cvjetova te na taj način izbjegao utjecaj nepovoljnih meteoroloških prilika. Unatoč dobromu potencijalu međusobnoga oprašivanja našičkih klonova te sposobnosti vinkovačkih i bjelovarskih klonova da djelomično izbjegniju nepovoljan utjecaj meteoroloških prilika, ne možemo reći da su klonovi podrijetlom iz istraživanih KSP 2010. godine imali mogućnost proizvodnje sjemena koje nosi zadovoljavajuću razinu genetske raznolikosti. Stoga preporučujemo otvaranje rasprave o rekonstrukciji postojećih KSP i njihovu popunjavanju klonovima podrijetlom iz svih KSP. Tako rekonstruirane KSP ne bi bile pod tako izraženim negativnim utjecajem meteoroloških prilika, a ujedno bi zadržale dobar potencijal međusobnoga oprašivanja onoga broja klonova koji bi osigurao proizvodnju genetski kvalitetnoga sjemena.

Ključne riječi: hrast lužnjak, klonska sjemenska plantaža, meteorološke prilike, oprašivanje, protoginija, receptivnost

1. Uvod – Introduction

Poznavanje biologije cvjetanja šumskoga drveća, pa tako i hrasta lužnjaka, izuzetno je važno pri planiranju masovne proizvodnje genetski kvalitetnoga sje-

mena u klonskim sjemenskim plantažama (KSP) za potrebe pririodne i umjetne ubnove šumskih sastojina (Ostrogović i dr. 2010). Proizvodnja genetski kvalitetnoga sjemena u KSP, što razumijeva visok stupanj genetske raznolikosti, može biti osigurana jedino ako

u međusobnom oprašivanju sudjeluje veći broj roditeljskih stabala. Prema dosadašnjim spoznajama preporučuje se da KSP sadrži između 20 i 60 genotipski različitih klonova, ovisno o spoznajama vezanim uz njihovu genetsku raznolikost, oplemenjivačku vrijednost i količinu uroda (White i dr. 2007). Osim zadovoljavajućega broja genotipski različitih klonova unutar KSP, za uspješnu oplodnju koja bi osigurala željenu kakvoću i količinu sjemena važna je i njihova fenološka ujednačenost cvjetanja. Povoljna je fenološka ujednačenost cvjetanja sposobnost ženskih cvjetova određenoga broja majčinskih stabala da u danom trenutku na njušku tučka prime polen koji je otpušten iz polenovnica muških cvjetova zadovoljavajućega broja očinskih stabala. Nadalje, polen koji je primljen na njušku tučka ženskoga cvijeta mora neometano započeti s razvojem polenove mješine (klijanjem), koja uz dovoljno energije može uspješno proraštati kroz vrat tučka i naposljetku oploditi jajnu stanicu, nakon čega započinje razvoj sjemenke.

Hrast lužnjak je listopadna, jednodomna i anemofilna vrsta šumskoga drveća s vrlo izraženom varijabilnošću fizioloških i morfoloških svojstava (Krstinić 1996), koja lista i cvjeta tijekom travnja i svibnja. Cvjetovi su hrasta lužnjaka jednospolni i smješteni su u resama. Muške se rese pojavljuju u proljeće, neposredno prije listanja na vrhu prošlogodišnjih izbojaka, dok se ženski cvatovi pojavljuju pri vrhu ovogodišnjih izbojaka (Vidaković 1996). Pod utjecajem povoljnih meteoroloških prilika muške rese polen počinju trusiti 1 – 2 tjedna nakon otvaranja pupova, a trusjenje polena završava za 2 – 4 dana. Nekoliko dana nakon otvaranja pupova počinje izduživanje stapki ženskih cvatova koji na sebi nose 1 – 5 cvjetova. Za vrijeme izduživanja cvatnih stapki trodjelne njuške tučka ženskih cvjetova punu receptivnost (sposobnost ženskoga cvijeta da na njušku tučka prima polen koji ondje neometano može započeti klijeti) postižu u trenutku kada nabubre i postanu »ljepljive« te poprime sjajnocrvenu boju (Bacilieri i dr. 1994). Receptivnost ženskoga cvata traje 10 – 14 dana, dok receptivnost pojedinoga cvijeta unutar cvata traje najviše do šest dana (Dacauso i dr. 1993).

Početak otvaranja pupova kod hrasta lužnjaka pod velikom je genetskom kontrolom (Stojković 1991), što pruža mogućnost pravovaljanoga odabira plus stabala radi postizanja trajne fenološke ujednačenosti cvjetanja i listanja klonova kojima se osniva KSP. Međutim, utjecaj nepovoljnih meteoroloških prilika kao što su obilne oborine (Fornaciari i dr. 1997, Galan i dr. 2001), visoka relativna zračna vlaga (Wolgast 1972), mraz i niska temperatura zraka (Garcia-Mozo i dr. 2001), visoka temperatura zraka (Hedhly i dr. 2003), tuča (Cecich 1997) i dr. ponekad mogu narušiti povoljnu fenološku ujednačenost cvjetanja unutar

KSP, što također umanjuje kakvoću i količinu proizvedenoga sjemena.

U prijašnjem istraživanju fenološke ujednačenosti klonova hrasta lužnjaka iz KSP u Hrvatskoj utvrđena je prilično visoka fenološka neujednačenost klonova u KSP s područja uprava šuma podružnica (UŠP) Vinkovci i Bjelovar, dok je fenološka ujednačenost klonova u KSP s područja UŠP Našice bila zadovoljavajuća (Franjić i dr. 2009).

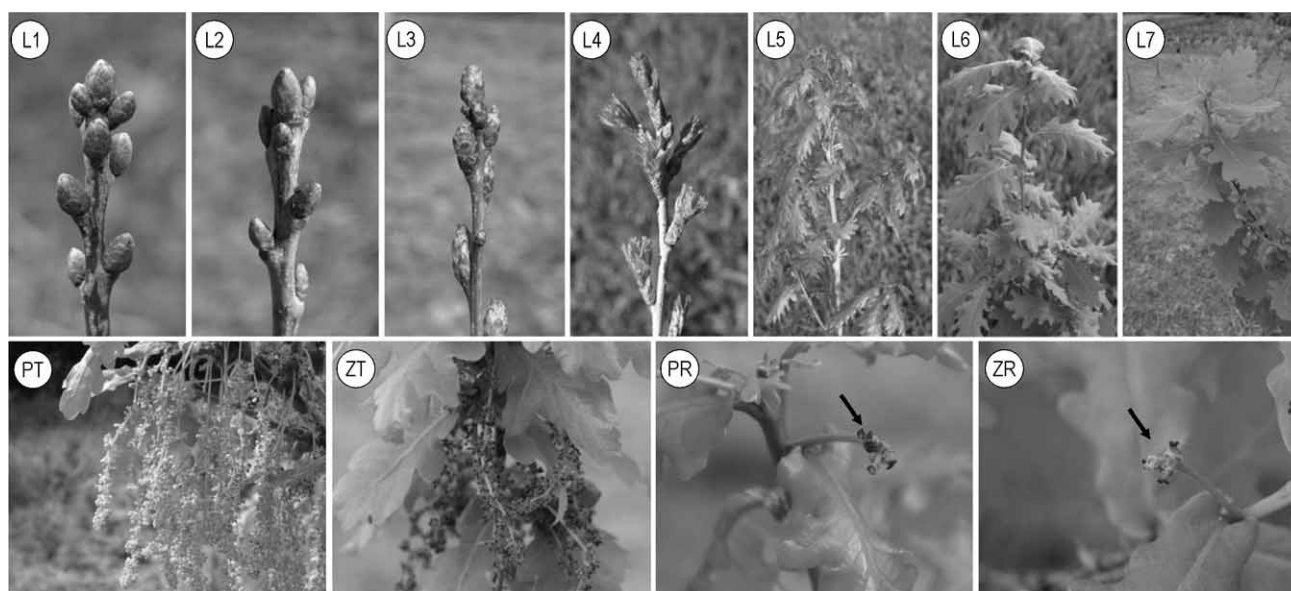
Svrha je ovoga rada da razmotri moguće posljedice fenološke neujednačenosti cvjetanja u našim KSP hrasta lužnjaka, utjecaj meteoroloških prilika na dužinu trajanja receptivnosti ženskih cvjetova i trusjenje polena te da utvrdi stupanj podudarnosti pojedinih fenofaza listanja i cvjetanja.

2. Materijal i metode – *Material and methods*

Istraživanje je provedeno na pokusnoj plohi osnovanoj u proljeće 2008. godine u rasadniku Brestje (UŠP Zagreb, Šumarija Dugo Selo; 45° 50' 20,25" N, 16° 06' 14,10" E, 128 m n.v.). Prema Köppenovoj klimatskoj klasifikaciji područje u kojem se nalazi pokusna ploha pripada klimi tipa Cfwbx". Prema 13-godišnjem nizu podataka (1990 – 2003) s meteorološke postaje Maksimir, udaljene oko 6,0 km od pokusne plohe, prosječna godišnja temperatura zraka iznosi 10,6 °C, prosječna godišnja količina oborina 871 mm, a srednja godišnja relativna vlaga zraka 78 %.

Pokusna je ploha osnovana sadnjom rameta sukladno eksperimentalnomu dizajnu randomiziranoga blok- sustava s tri ponavljanja (bloka). Svaki je klon zastupljen s po jednom rametom u svakom bloku. Ramete su podrijetlom s klonova od kojih su osnovane već postojeće klonske sjemenske plantaže na području UŠP Vinkovci (VK), Našice (NA) i Bjelovar (BJ). Ukupan je broj klonova selekcioniranih plus stabala na području tih UŠP-a 150. Prilikom osnivanja pokusne plohe predviđeno je da svaki klon u pokusu bude zastupljen s tri ramete, ukupno 450 rameta (150 klonova puta 3 ramete). Međutim, zbog neuspjeha cijepljenja i sušenja određenoga broja rameta nakon sadnje u pokusu se 2010. godine nalazilo 145 klonova s 375 rameta. Više informacija o načinu i razlozima osnivanja pokusne plohe donose Franjić i dr. (2009).

U prve dvije godine fenološka motrenja cvjetanja nisu obavljena jer su istraživani klonovi bili premladi i nisu cvjetali, dok su 2010. godine obavljena na rametama (156 rameta) svih klonova koji su cvjetali (103 klona). Fenološka motrenja listanja i cvjetanja obavljena su istodobno, dva puta tjedno, dok se na svim klonovima listovi nisu potpuno razvili, odnosno dok svi muški cvjetovi nisu prestali trusiti polen ili dok svi ženski cvjetovi nisu prestali biti receptivni.



Slika 1. Prikaz fenofaza listanja i cvjetanja (L1 do L7 – fenofaze listanja; PT i ZT – početak i završetak trušenja polena; PR i ZR – početak i završetak receptivnosti ženskoga cvijeta)

Fig. 1 Overview of flushing and flowering phenophases (L1 to L7 – phenophases of flushing; PT and ZT – beginning and end of pollen shedding; PR and ZR – beginning and end of receptivity of female flowers)

Tablica 1. Opis fenofaza listanja i cvjetanja

Table 1 Description of flushing and flowering phenophases

Fenofaza – Phenophases	Opis fenofaze – Description of phenophase
L1	Pupovi miruju <i>Buds are dormant and protected by scales</i>
L2	Pupovi su još uvijek zatvoreni, ali su produženi i (ili) nabubreni <i>Buds are still closed but swollen</i>
L3	Pupovi se počinju otvarati i moguće je uočiti vrhove lista <i>Buds start opening, and apexes of the leaves can be noted</i>
L4	Razvijaju se prvi listovi koji se još uvijek većim dijelom nalaze u pupu <i>First leaves are developed still mostly within the bud</i>
L5	Formirani su prvi vidljivi listovi <i>First leaves are formed</i>
L6	Listovi su formirani, ali još uvijek uzdužno savijeni <i>Leaves are formed but still longitudinally curved</i>
L7	Listovi su potpuno formirani i glatki <i>Leaves are fully formed and smooth</i>
PT	Neki cvjetovi na muškim resama počinju otpuštati polen <i>Some flowers on male catkins start with pollen shedding</i>
ZT	Muške rese poprimaju tamno smeđu boju i počinju otpadati <i>Male catkins are getting brownish and start falling off</i>
PR	Cvjetovi na ženskim resama postaju samostalni, čije su trodijelne njuške tučka razdvojene i nabubrene, sjajno crvene boje i jedre <i>Flowers on female catkins become autonomous, with stigmas in clear divergent position, with shining red and viscous pattern</i>
ZR	Njuške tučka ženskih cvjetova izgubile su sjajno crvenu boju i jedrinu te postale tamno smeđe <i>All stigmas lose red color and become dark brown</i>

Fenologija listanja praćena je sukladno metodologiji koja listanje hrasta lužnjaka dijeli u sedam fenofaza (Perić 2001), dok je fenologija cvjetanja praćena su-

kladno metodologiji na primjeru hrasta plutnjaka (*Quercus suber* L.) opisanoj prema Varela i Valdivieso (1996). U ovom istraživanju prilikom fenoloških

Tablica 2. Početak, trajanje i završetak receptivnosti ženskih cvjetova i trušenja polena**Table 2** Beginning, duration and end of receptivity of female flowers and pollen shedding

KSP CSO	Receptivnost ženskih cvjetova <i>Receptivity of female flowers</i>			Trušenje polena <i>Pollen shedding</i>		
	Početak (datum) <i>Beginning (date)</i>	Završetak (datum) <i>Ending (date)</i>	Trajanje (dan) <i>Duration (day)</i>	Početak (datum) <i>Beginning (date)</i>	Završetak (datum) <i>Ending (date)</i>	Trajanje (datum) <i>Duration (day)</i>
Bjelovar	21.4. ($\pm 5,7$) ^a	27.4. ($\pm 7,8$) ^a	5,9 ($\pm 3,5$) ^a	26.4. ($\pm 7,7$) ^a	2.5. ($\pm 8,1$) ^a	5,6 ($\pm 1,9$) ^a
Našice	17.4. ($\pm 1,9$) ^b	21.4. ($\pm 1,3$) ^b	4,4 ($\pm 1,7$) ^a	22.4. ($\pm 2,1$) ^b	28.4. ($\pm 2,4$) ^b	6,1 ($\pm 1,3$) ^a
Vinkovci	22.4. ($\pm 5,0$) ^a	2.5. ($\pm 7,1$) ^a	8,3 ($\pm 4,2$) ^b	29.4. ($\pm 6,5$) ^a	5.5. ($\pm 5,9$) ^a	5,3 ($\pm 1,7$) ^a
Prosijek - Average	20.4. ($\pm 5,0$)	26.4. ($\pm 7,1$)	6,2 ($\pm 3,6$)	27.4. ($\pm 6,7$)	2.5. ($\pm 6,5$)	5,6 ($\pm 1,6$)

Podaci označeni s istim slovom značajno se ne razlikuju pri razini $P < 0,01$, što je potvrđeno *Tukey post hoc testom*; \pm SD - Standardna devijacija
Data marked with the same letter are not significant at the level $P < 0,01$ according to *Tukey's post hoc test*; \pm SD - Standard deviation

motrenja cvjetanja posebna je pažnja bila usmjerena prema fenofazama razvoja muških cvjetova koji predstavljaju početak i završetak trušenja polena, odnosno ženskih cvjetova koji predstavljaju početak i završetak njihove receptivnosti. Opisni i fotografski prikaz istraživanih fenofaza listanja i cvjetanja prikazani su na slici 1 i u tablici 1.

Na temelju fenološkoga motrenja za svaku je rametu utvrđeno vrijeme potrebno za »ulazak« u pojedinu fenofazu kao broj dana od 1. siječnja tekuće godine pa do dana kada je rameta bila u određenoj fenofazi. Ako za neku rametu nije zabilježen točan dan određene fenofaze, »preskočena« je fenofaza izračunata metodom interpolacije. Na opisan smo način utvrdili broj dana od 1. siječnja koji je pojedinoj rameti bio potreban da počne (PT) odnosno završi (ZT) s trušenjem polena, dok je trajanje trušenja polena (TT) utvrđeno kao razlika u broju dana između završetka i početka trušenja polena (ZT – PT). Na isti je način utvrđen i broj dana potreban pojedinoj rameti za početak receptivnosti ženskoga cvijeta (PR), trajanje receptivnosti (TR) i završetka receptivnosti (ZR).

Fenološke značajke listanja i cvjetanja svakoga klona, kao što su L1, L2..., PT, ZT... i dr., čine prosječne vrijednosti onoga broja rameta unutar svakoga klona koji se u vrijeme istraživanja nalazio u pokusu (najviše 3, a najmanje 1 rameta).

Podaci o meteorološkim prilikama 2010. godine za vrijeme cvjetanja (od 7. 4. do 23. 5.) zabilježeni su pomoću automatske meteorološke postaje postavljene na pokusnoj plohi, koja bilježi temperaturu zraka, relativnu vlažnost zraka i količinu oborina svakih sat vremena.

Prikupljeni podaci statistički su obrađeni pomoću programskih paketa SAS (SAS 2000), Statistica 7.1. (StatSoft, Inc. 2006) i Microsoft Excel 2007.

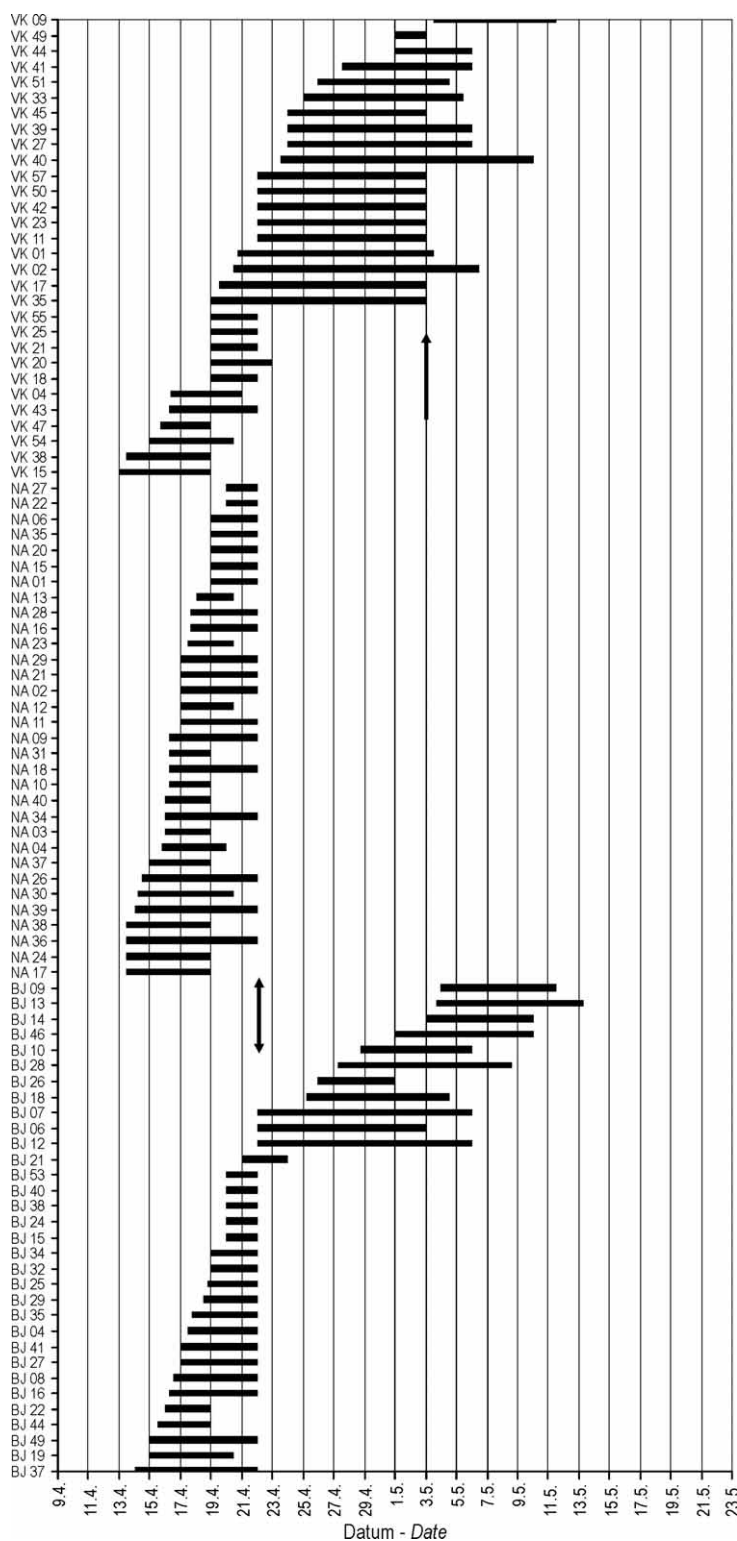
3. Rezultati – Results

Na temelju fenoloških motrenja koja su obavljena dva puta tjedno dobili smo detaljnu sliku o cvjetanju klonova od kojih su osnovane istraživane KSP. Na pokusnoj plohi 2010. godine od ukupno 145 klonova cvjetala su 103 klona, od toga osam samo s muškim cvjetovima, 31 samo sa ženskim cvjetovima te 63 s muškim i ženskim cvjetovima. Za sve klonove koji su cvjetali s muškim i ženskim cvjetovima utvrđena je protoginija, izuzev klona VK 43 za koji je utvrđena protandrija. Receptivnost ženskih cvjetova protoginičnih klonova u prosjeku je nastupala sedam dana prije nego što su muški cvjetovi počeli trusiti polen, dok je klon VK 43 polen počeo trusiti jedan dan prije početka receptivnosti ženskih cvjetova. U tablici 2 prikazani su podaci koji se odnose na početak, trajanje i završetak trušenja polena i receptivnosti ženskih cvjetova s obzirom na pripadnost klonova pojedinim KSP.

3.1 Receptivnost ženskih cvjetova – *Receptivity of female flowers*

Na slici 2 prikazani su podaci o početku, trajanju i završetku receptivnosti ženskih cvjetova kod klonova koji pripadaju istraživanim KSP. Na slici 2 ističu se dva »kritična« razdoblja (prvo između 19. i 22. 4. te drugo oko 3. 5.) u kojima je zabilježen nagli prestanak receptivnosti ženskih cvjetova velikoga broja klonova.

U prvom i naglašenijem razdoblju prestala je receptivnost ženskih cvjetova svih klonova iz KSP Našice i velike većine klonova u ostalim dvjema KSP. Zajedničko je obilježje tih klonova raniji početak otvaranja pupova, a samim time i raniji početak receptivnosti ženskih cvjetova, koji su postali receptivni prije 22. 4. Prosječno trajanje receptivnosti ženskih cvjetova svih klonova koji su prestali biti receptivni u tom razdoblju iznosilo je 4,2 dana. Izuzetak čine



Slika 2. Početak, trajanje i završetak receptivnosti ženskih cvjetova s obzirom na pripadnost klonova KSP. Na lijevoj strani slike prikazane su oznake klonova s obzirom na pripadnost klonskim sjemenskim plantažama: VK (Vinkovci), NA (Našice), BJ (Bjelovar). Dvosmjerna strelica pokazuje završetak receptivnosti tijekom prvoga »kritičnoga« razdoblja. Jednosmjerna strelica pokazuje prestanak receptivnosti tijekom drugoga »kritičnoga« razdoblja

Fig. 2 Beginning, duration and end of receptivity of female flowers with regard to clones originating from respective CSO. On the left side of the graph, designations of clones are shown with regard to clonal seed orchards; VK (Vinkovci), NA (Našice), BJ (Bjelovar). The two-headed arrow indicates the end of receptivity in the first »critical« period. The one-way arrow indicates the end of receptivity in the second »critical« period

klonovi VK 1, VK 2, VK 17 i VK 35 kod kojih receptivnost ženskih cvjetova nije prestala 22. 4. unatoč tomu što su im cvjetovi postali receptivni nekoliko dana ranije. Receptivnost njihovih cvjetova prosječno je trajala 14,1 dan, a statistički se značajno razlikovala ($P < 0,001$) od trajanja receptivnosti ženskih cvjetova svih ostalih klonova.

U drugom i manje naglašenom razdoblju prestala je receptivnost ženskih cvjetova polovice vinkovačkih klonova čija je receptivnost započela uglavnom nakon 22. 4. Kod bjelovarskih klonova tijekom drugoga razdoblja prestanak receptivnosti zabilježen je samo za klon BJ 6. Prosječna dužina trajanja receptivnosti ženskih cvjetova kod klonova čija je receptivnost završila 3. 5. iznosila je 9,2 dana. Dužina trajanja receptivnosti ženskih cvjetova kod klonova čija je receptivnost završila nakon 3. 5. u prosjeku je iznosila 10,4 dana.

S obzirom na dužinu trajanja receptivnosti ženskih cvjetova utvrđena je statistički značajna razlika ($P < 0,001$) između klonova čija je receptivnost ženskih cvjetova završila tijekom prvoga »kritičnoga« razdoblja i onih klonova čiji su ženski cvjetovi prestali biti receptivni tijekom i nakon drugoga »kritičnoga« razdoblja.

3.2 Trušenje polena muških cvjetova – *Pollen shedding of male flowers*

Na slici 3 prikazan je početak, trajanje i završetak trušenja polena kod klonova koji pripadaju istraživanim KSP. Slično kao i kod receptivnosti ženskih cvjetova, i u ovom je slučaju moguće uočiti dva »kritična« razdoblja (prvo od 27. do 29. 4. i drugo oko 10. 5.) kada je prestalo trušenje polena većega broja klonova.

U prvom je razdoblju prestalo trušenje polena kod većine našičkih klonova te samo tri vinkovačka i četiri bjelovarska klona. Tijekom drugoga razdoblja nagli prestanak trušenja polena zabilježen je kod gotovo svih vinkovačkih klonova, koji su polen započeli trusiti nakon 3. 5., te kod tri bjelovarska klona. Trajanje trušenja polena ne razlikuje se s obzirom na razdoblje u kojem je prestalo trušenje te za sve klonove prosječno iznosi 5,6 dana.

U tablici 2 prikazani su podaci o početku, trajanju i završetku trušenja polena s obzirom na pripadnost klonova istraživanim KSP.

3.3 Ujednačenost cvjetanja – *Synchronization of flowering*

Nakon pregleda početka, trajanja i završetka receptivnosti ženskih cvjetova i trušenja polena razmatranjem samo onih klonova koji su cvjetali s muškim i ženskim cvjetovima dobili smo sliku njihove

međusobne ujednačenosti cvjetanja (slika 4). Spomenuta »kritična« razdoblja utjecala su na razdvajanje klonova podrijetlom iz KSP Vinkovci i Bjelovar u tri skupine, dok su u slučaju KSP Našice svi klonovi pripadali jednoj skupini.

3.3.1 KSP Vinkovci – *CSO Vinkovci*

Klonovi podrijetlom iz KSP Vinkovci, s obzirom na početak i trajanje receptivnosti ženskih cvjetova, jasno su razdvojeni u tri skupine (slika 4). Kod prve je skupine utvrđena prosječna razlika od 1,2 dana između završetka receptivnosti ženskih cvjetova i početka trušenja polena (izuzev klona VK 43 kod kojega je utvrđena protandrija), što upućuje na njihovu lošu fenološku ujednačenost cvjetanja. Kod druge skupine klonova, za razliku od prve, nije utvrđena razlika već preklapanje receptivnosti ženskih cvjetova i trušenja polena koje u prosjeku za sve klonove iznosi 1,6 dana, što je pokazatelj nešto povoljnije fenološke ujednačenosti cvjetanja. U treću skupinu pripadaju klonovi VK 44, VK 49 i VK 9, kod kojih prosječna razlika između završetka receptivnosti ženskih cvjetova i početka trušenja polena iznosi 0,7 dana, što je također posljedica i pokazatelj fenološke neujednačenosti cvjetanja.

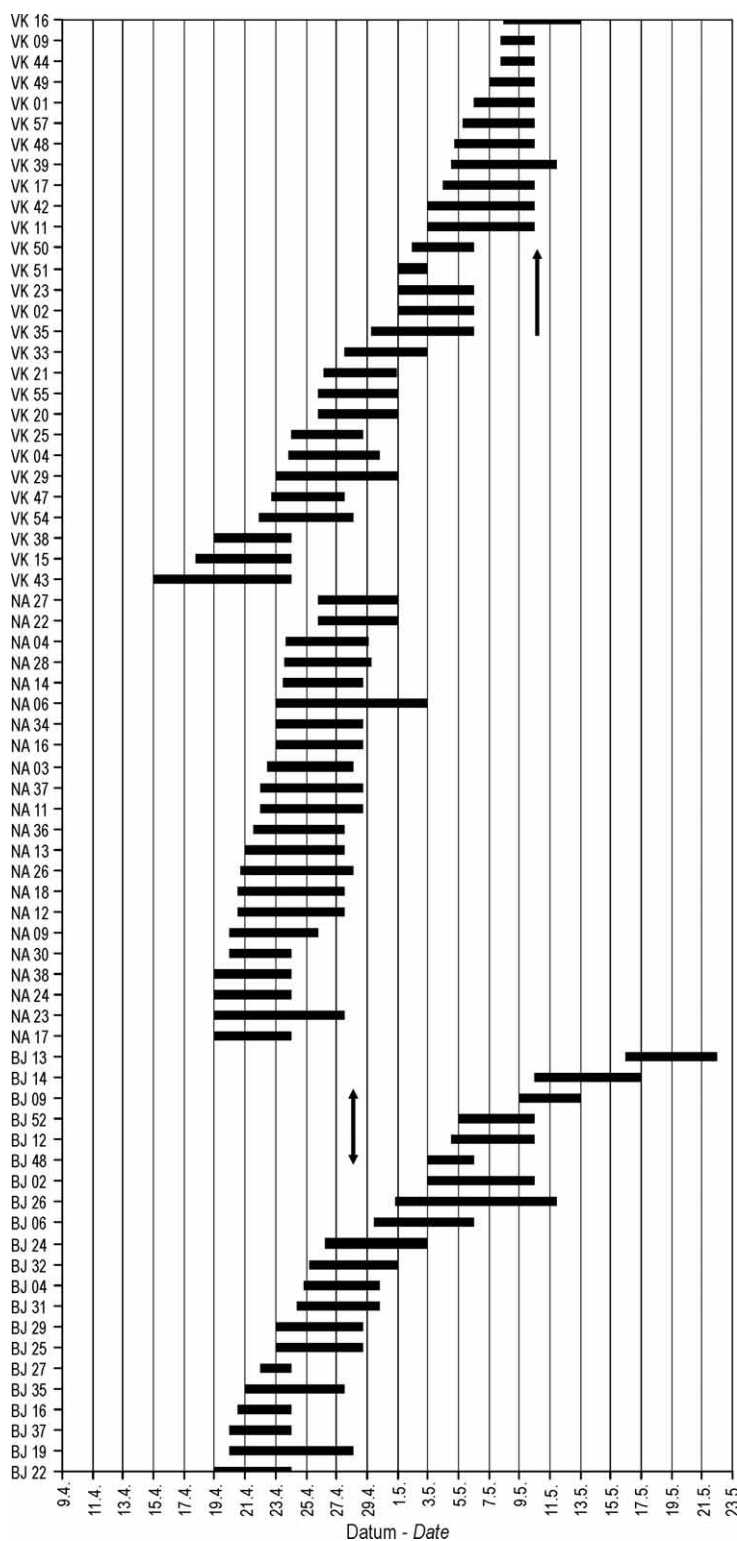
Receptivnost ženskih cvjetova kod klonova unutar prve skupine bila je potpuno ili djelomično ujednačena samo s trušenjem polena od tri klona (VK 43, VK 15 i VK 38). Receptivnost ženskih cvjetova kod klonova iz druge skupine bila je gotovo potpuno ujednačena s trušenjem polena od svih klonova iz prve skupine i trušenjem polena od klonova VK 51, VK 33 i VK 35 koji su pripadali drugoj skupini. Kod većine klonova u drugoj skupini trušenje polena bilo je samo djelomično ujednačeno s receptivnošću ženskih cvjetova, dok je potpuno ujednačeno s receptivnošću klona VK 9 koji pripada trećoj skupini. Trušenje polena klonova iz treće skupine nije ujednačeno s receptivnošću ženskih cvjetova ni jednoga klona koji pripada prvoj ili drugoj skupini.

3.3.2 KSP Našice – *CSO Našice*

Kod klonova iz KSP Našice prosječna razlika između prestanka receptivnosti ženskih cvjetova i početka trušenja polena iznosi 0,7 dana. S obzirom na protoginiju i prestanak receptivnosti ženskih cvjetova svih klonova gotovo u istom razdoblju (od 20. do 22. 4.) za našičke je klonove utvrđena samo djelomična ujednačenost trušenja polena i receptivnosti ženskih cvjetova za mali broj klonova (slika 4). Sve skupa upućuje na posebno lošu fenološku ujednačenost cvjetanja našičkih klonova.

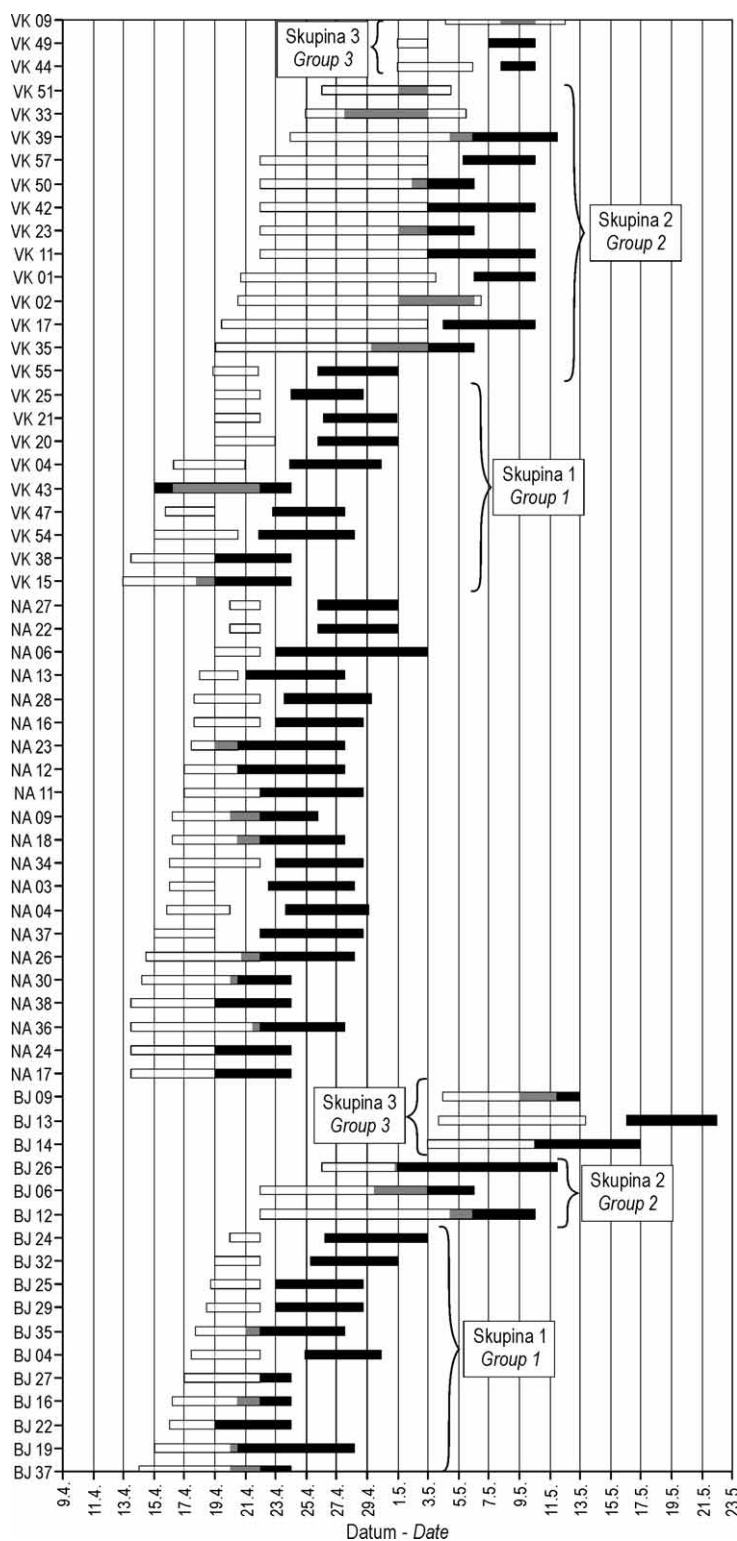
3.3.3 KSP Bjelovar – *CSO Bjelovar*

Kod klonova podrijetlom iz KSP Bjelovar, kao i kod onih iz KSP Vinkovci, izraženo je razdvajanje s



Slika 3. Početak, trajanje i završetak trušenja polena s obzirom na pripadnost klonova KSP. Na lijevoj strani slike prikazane su oznake klonova s obzirom na pripadnost klonskim sjemenskim plantažama: VK (Vinkovci), NA (Našice), BJ (Bjelovar). Dvosmjerna strelica pokazuje završetak trušenja polena u prvom »kritičnom« razdoblju. Jesnosmjerna strelica pokazuje završetak trušenja polena tijekom drugoga »kritičnoga« razdoblja

Fig. 3 Beginning, duration and end of pollen shedding with regard to clones originating from respective CSO. On the left side of the graph, designations of clones are shown with regard to clonal seed orchards; VK (Vinkovci), NA (Našice), BJ (Bjelovar). The two-headed arrow indicates the end of pollen shedding in the first »critical« period. The one-way arrow indicates the end of pollen shedding in the second »critical« period



Slika 4. Ujednačenost cvjetanja s obzirom na pripadnost klonova KSP. Na lijevoj strani slike prikazane su oznake klonova s obzirom na pripadnost klonskim sjemenskim plantažama: VK (Vinkovci), NA (Našice), BJ (Bjelovar). Bijeli poligoni označuju trajanje receptivnosti ženskih cvjetova, a crni poligoni trušenje polena. Preklapanje receptivnosti ženskih cvjetova i trušenja polena označeno je sivom bojom unutar bijelih poligona

Fig. 4 Synchronization of flowering with regard to clones originating from respective CSO. On the left side of the graph, designations are shown of clones with regard to clonal seed orchards; VK (Vinkovci), NA (Našice), BJ (Bjelovar). White polygons indicate the duration of receptivity of female flowers, while black polygons indicate pollen shedding. Overlapping of receptivity of female flowers and pollen shedding is colored gray inside white polygons

obzirom na početak i trajanje receptivnosti ženskih cvjetova u tri skupine (slika 4). U prvoj je skupini klonova utvrđena prosječna razlika od 0,7 dana između završetka receptivnosti ženskih cvjetova i početka trušenja polena, što pokazuje lošu fenološku ujednačenost cvjetanja. U drugoj skupini, koju čine klonovi BJ 12, BJ 6 i BJ 26, trušenje polena i receptivnost ženskih cvjetova samo su djelomično ujednačeni, a prosječno vrijeme preklapanja trušenja polena i receptivnosti ženskih cvjetova iznosi 1,7 dana, što je posljedica nešto povoljnije fenološke ujednačenosti cvjetanja. Kod klonova BJ 14, BJ 13 i BJ 9, koji čine treću skupinu, također je utvrđena djelomična ujednačenost receptivnosti ženskih cvjetova i trušenja polena, ali u ovom slučaju prosječna razlika između završetka receptivnosti ženskih cvjetova i početka trušenja polena iznosi 2,7 dana, što također pokazuje lošu fenološku ujednačenost cvjetanja. Trušenje polena od klona BJ 9 nije ujednačeno s receptivnošću ženskih cvjetova ni jednoga drugog klona.

Receptivnost ženskih cvjetova iz prve skupine samo je djelomično ujednačena s trušenjem polena od klonova BJ 37, BJ 19, BJ 22, i BJ 16 koji također pripadaju prvoj skupini. Receptivnost ženskih cvjetova klonova iz druge skupine gotovo je potpuno ujednačena s trušenjem polena klonova iz prve skupine, dok je receptivnost ženskih cvjetova iz treće skupine bila djelomično ujednačena s trušenjem polena klonova iz druge skupine. Preklapanje receptivnosti ženskih cvjetova klonova iz treće skupine s trušenjem polena od klonova iz prve skupine nije utvrđeno.

3.4 Meteorološki podaci – *Meteorological data*

Na slici 5 prikazano je kretanje temperature zraka, relativne vlažnosti zraka i količine oborina s obzirom na dva istaknuta »kritična« razdoblja koja se pojavljuju za vrijeme receptivnosti ženskih cvjetova (poglavlje 3.1) i trušenja polena (poglavlje 3.2), uz napomenu kako je posebna pažnja posvećena analizi meteoroloških podataka koji se podudaraju s razdobljem trajanja i trenutkom prestanka receptivnosti ženskih cvjetova i s trušenjem polena.

3.4.1 Prvo razdoblje trajanja receptivnosti ženskih cvjetova (13. do 22. 4.) – *The first duration period of female flower receptivity (April 13 to 22)*

Prosječna dnevna temperatura zraka iznosila je 11,5 °C, s prosječnim minimumom od 6,0 °C, a maksimumom od 17,2 °C. Ukupna količina oborina iznosila je 5,9 mm, a prosječna minimalna vrijednost relativne vlažnosti zraka 35,2 % (oznaka I. na slika 5).

3.4.1.1 Prvo »kritično« razdoblje prestanka receptivnosti ženskih cvjetova (između 19. i 22. 4.) – *The first »critical« termination period of female flower receptivity (between April 19 and 22)*

U prvom razdoblju receptivnosti ženskih cvjetova meteorološki podaci zabilježeni 19. 4. (strelica A na slici 5) znatno se razlikuju u odnosu na nekoliko prethodnih i idućih dana. Na taj je dan zabilježena najviša vrijednost relativne vlažnosti zraka koja je iznosila 8,7 %. Istoga dana zabilježen je apsolutni maksimum temperature zraka koji je iznosio 23,3 °C te apsolutni minimum od 5,1 °C, što znači da je dnevno kolebanje temperature zraka iznosilo 18,2 °C. Od ukupne količine oborina tijekom prvoga razdoblja receptivnosti (oznaka I. na slici 5) na razdoblje od 19. do 22. 4. otpada 47 %.

3.4.2 Drugo razdoblje trajanja receptivnosti ženskih cvjetova (22. 4. do 3. 5.) – *The second duration period of female flower receptivity (April 19 to May 3)*

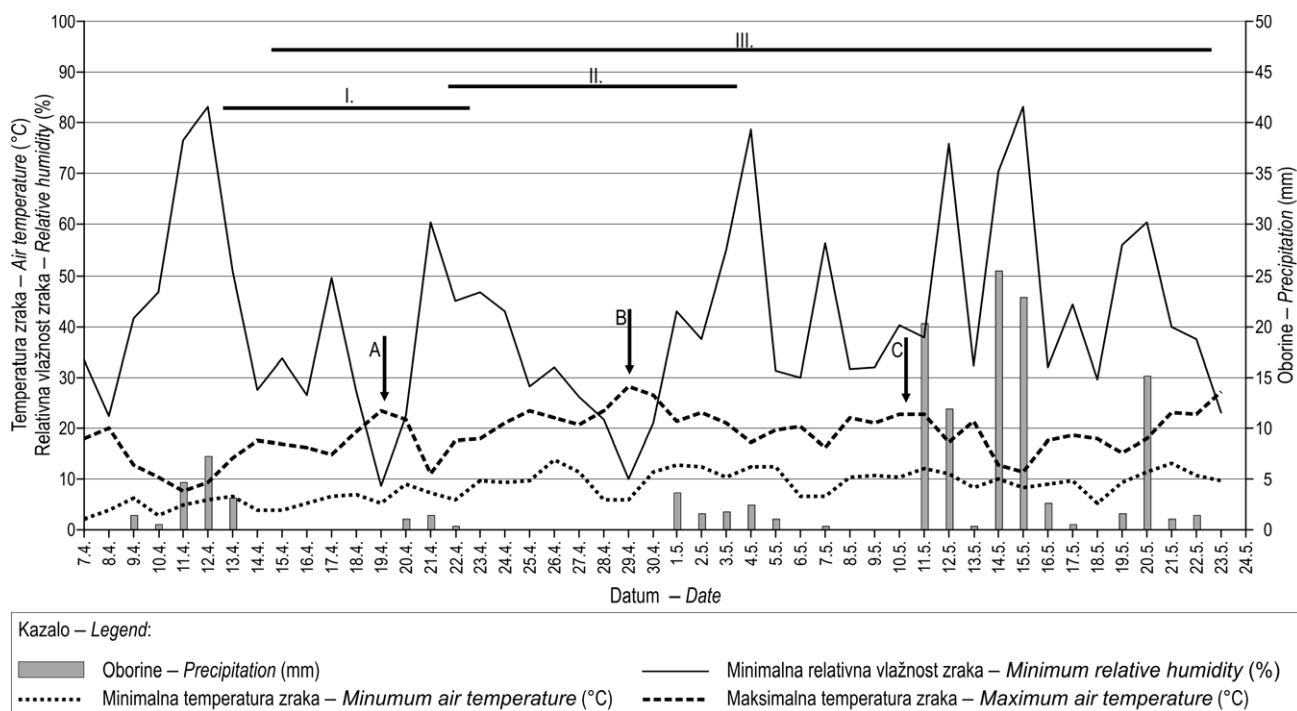
Prosječna dnevna temperatura zraka iznosila je 16,3 °C, s prosječnim minimumom od 10,2 °C, a maksimumom od 22,6 °C. Ukupna količina oborina iznosila je 7,0 mm, a prosječna minimalna vrijednost relativne vlažnosti zraka 33,1 % (oznaka II. na slici 5).

3.4.2.1 Drugo »kritično« razdoblje prestanka receptivnosti ženskih cvjetova (nekoliko dana prije 3. 5.) – *The second »critical« termination period of female flower receptivity (several days before May 3)*

Na gotovo jednak način kao i tijekom prvoga razdoblja receptivnosti ženskih cvjetova u drugom razdoblju meteorološki podaci zabilježeni 29. 4. (strelica B na slici 5) znatno se razlikuju u odnosu na nekoliko prethodnih i idućih dana. Na 29. 4. zabilježena je apsolutna minimalna vrijednost relativne vlažnosti zraka koja je iznosila 10,1 %. Istoga dana zabilježen je apsolutni maksimum temperature zraka koji je iznosio 28,3 °C te apsolutni minimum od 6,0 °C pa je dnevno kolebanje temperature zraka iznosilo 22,3 °C. Od ukupne količine oborina tijekom drugoga razdoblja receptivnosti (oznaka II. na slici 5) čak je 96 % koncentrirano u razdoblju od 1. do 3. 5.

3.4.3 Razdoblje trušenja polena (15. 4. do 22. 5.) – *The period of pollen shedding (April 15 to May 22)*

Prosječna dnevna temperatura zraka iznosila je 14,4 °C, s prosječnim minimumom od 9,2 °C, a maksimumom od 19,6 °C. Prosječna minimalna vrijednost relativne vlažnosti zraka iznosila je 40,2 %, a ukupna količina oborina 116,4 mm (oznaka III. na slici 5).



Slika 5. Prikaz meteoroloških prilika za razdoblje cvjetanja s naznačenim razdobljima receptivnosti ženskih cvjetova (I. i II.), te razdobljem trušenja polena (III.). (Strelica A – pokazuje meteorološke prilike koje su obilježile prvo »kritično« razdoblje prestanka receptivnosti ženskih cvjetova; strelica B – ujedno pokazuje meteorološke prilike koje su obilježile drugo »kritično« razdoblje prestanka receptivnosti ženskih cvjetova i prvo »kritično« razdoblje prestanka trušenja polena; strelica C – pokazuje meteorološke prilike koje su obilježile drugo »kritično« razdoblje prestanka trušenja polena.)

Fig. 5 Meteorological data in the period of flowering with marked periods of female flower receptivity (1st and 2nd), and period of pollen shedding (3rd). (Arrow A - indicates meteorological data that marked the first »critical« termination period of receptivity of female flowers; Arrow B - indicates meteorological data that marked the second »critical« termination period of receptivity of female flowers and the first termination period of pollen shedding; Arrow C - indicates meteorological data that marked the second »critical« termination period of pollen shedding)

3.4.3.1 Prvo »kritično« razdoblje prestanka trušenja polena oko 29. 4. – The first »critical« termination period of pollen shedding, around April 29

Oko 29. 4. (strelica B na slici 5) minimalna vrijednost relativne vlage zraka zadržavala se ispod 25 %, a na 29. 4. iznosila je samo 10,1 %, što je mnogo niže u odnosu na prethodno i iduće razdoblje od nekoliko dana, kao i u odnosu na cjelokupno razdoblje trušenja polena od 15. 4. do 22. 5. Najviše vrijednosti apsolutnih i prosječnih maksimalnih temperatura zraka za vrijeme razdoblja trušenja polena zabilježene su upravo oko 29. 4., uz napomenu kako u navedenom razdoblju nije bilo ni oborina.

3.4.3.2 Drugo »kritično« razdoblje prestanka trušenja polena oko 10. 5. – The second »critical« termination period of pollen shedding, around May 10

U razdoblju od nekoliko dana prije 10. 5. također nije bilo oborina. U odnosu na dane koji su prethodili 10. 5. važno je uočiti prilično ustaljene vrijedno-

sti relativne vlage i maksimalne dnevne temperature zraka čije su se vrijednosti kretale nešto iznad 20 °C (strelica C na slici 5).

3.5 Usporedna analiza fenologije cvjetanja i listanja – Comparative analysis of flushing and flowering phenology

Na temelju usporedbe prosječnoga broja dana koji je klonovima bio potreban za ulazak u svaku od istraživanih fenofaza listanja i cvjetanja, utvrđeno je kako početak receptivnosti ženskih cvjetova nastupa gotovo istodobno kada i fenofaza listanja L4, početak trušenja polena i završetak receptivnosti ženskih cvjetova istodobno kada i fenofaza listanja L6, dok se fenofaza listanja L7 podudara sa završetkom trušenja polena. U tablici 3 prikazan je datum kada su klonovi ušli u svaku od navedenih fenofaza te koeficijenti korelacije koji upućuju na međusobnu povezanost nastupa navedenih fenofaza listanja i cvjetanja.

Uz sve navedeno valja istaknuti i vrlo izraženu korelaciju ($r^2 = 0,84$; $P < 0,001$) između nastupa fenofaze listanja L3 koja opisuje početak otvaranja pupova

Tablica 3. Ujednačenost fenofaza listanja i cvjetanja
Table 3 Synchronization of flushing and flowering phenophases

Fenofaza - Phenophases	L4	PR	L6	ZR	L6	PT	L7	ZT
Datum (\pm SE) Date (\pm SE)	18. 4 (\pm 0,82)	19. 4 (\pm 0,56)	26. 4 (\pm 0,70)	25. 4 (\pm 0,77)	26. 4 (\pm 0,70)	26. 4 (\pm 0,69)	1. 5 (\pm 0,82)	1. 5 (\pm 0,69)
Koeficijent korelacije, r^2 Correlation coefficient, r^2	0,85**		0,92**		0,93**		0,91**	

** razina značajnosti $P < 0,001$; **significance level $P < 0,001$.
 \pm SE - Standardna pogreška; \pm SE - Standard error.

i početka receptivnosti ženskih cvjetova. Receptivnost ženskih cvjetova u prosjeku nastupa 4 dana nakon otvaranja pupova. Isto tako utvrđena je i visoka korelacija ($r^2 = 0,92$; $P < 0,001$) između fenofaze listanja L3 i početka trusjenja polena, što u prosjeku nastupa 13 dana nakon otvaranja pupova.

4. Rasprava – Discussion

Rezultati istraživanja potvrđuju protoginiju svih klonova hrasta lužnjaka podrijetlom iz istraživanih KSP koji su cvjetali 2010. godine, izuzev klona VK 43 za koji je utvrđena protandrija. U dosadašnjim istraživanjima utvrđeno je kako se kod roda *Quercus* protoginija pojavljuje vrlo rijetko, dok je protandrija češća (Ducouso i dr. 1993, Bacilieri i dr. 1994, Gómez-Casero i dr. 2007). Međutim, istraživanja biologije cvjetanja pojedinih vrsta iz roda *Populus* i *Corylus* potvrđuju kako se protandrija i protoginija od godine do godine izmjenjuju ovisno o temperaturi zraka u razdoblju prije otvaranja pupova (Van den Brocken i dr. 2003).

U našem istraživanju, ukupno gledajući za sve klonove 2010. godine, trajanje i prestanak receptivnosti ženskih cvjetova odvijali su se od 13. 4. do 13. 5. U tom su vremenu zabilježena dva »kritična« razdoblja koja su obilježena specifičnim meteorološkim prilikama nakon kojih je primijećen nagli prestanak receptivnosti ženskih cvjetova. Trajanje receptivnosti ženskih cvjetova kod klonova na čiji je prestanak utjecalo prvo »kritično« razdoblje u prosjeku je iznosilo 4,2 dana. Trajanje receptivnosti ženskih cvjetova kod klonova na čiji je prestanak receptivnosti utjecalo drugo »kritično« razdoblje u prosjeku je iznosilo nešto više od 9 dana. Ducouso i dr. (1993) navode kako pri optimalnim vremenskim prilikama receptivnost ženskih cvatova kod hrastova može maksimalno trajati 10 do 14 dana, a svakoga pojedinoga cvijeta u cvatu do 6 dana. Bacilieri i dr. (1994) utvrdili su na temelju trogodišnjih istraživanja da receptivnost ženskih cvjetova kod hrasta lužnjaka prosječno traje od 9,2 do 10,1 dana, a kod hrasta kitnjaka od 7,6 do 11,7 dana.

U našem su istraživanju oba »kritična« razdoblja u kojima je zabilježen nagli prestanak receptivnosti

ženskih cvjetova obilježena gotovo identičnim meteorološkim prilikama koje se ogledaju u naglom povećanju apsolutnih maksimalnih te sniženju apsolutnih minimalnih dnevnih temperatura zraka, kao i minimalnih vrijednosti relativne vlažnosti zraka u jednom danu (usp. poglavlje 3. 4 i sliku 5). S obzirom na to da su apsolutne maksimalne i minimalne temperature zraka za vrijeme oba »kritična« razdoblja zabilježene istoga dana, teško je bilo razlučiti koje imaju značajniji utjecaj na prestanak receptivnosti ženskih cvjetova. Prema rezultatima istraživanja koja je proveo Minina (1954) niska temperatura zraka ne utječe negativno na cvjetanje hrasta lužnjaka, uz napomenu kako usporava i odgađa razvoj ženskih cvjetova, ali ne utječe na smanjenje njihova broja. Sharp (1958) i Goodrum i dr. (1971) također zaključuju da niska temperatura zraka u proljeće ne utječe negativno na cvjetanje te navode da je jedini negativni utjecaj niske temperature ako mraz ošteti mlade izbojke, cvjetove i listove.

Rezultati novijih istraživanja potvrđuju činjenicu kako temperatura zraka od 10 °C daleko povoljnije utječe na dužinu trajanja receptivnosti ženskih cvjetova nego od 20 °C i više (Hedhly i dr. 2003). Uspoređujući stoga naše rezultate s literaturnim podacima, možemo pretpostaviti da je visoka maksimalna dnevna temperatura zraka za vrijeme trajanja receptivnosti ženskih cvjetova imala odlučujući utjecaj na prekid njihove receptivnosti.

Uz to što su oba »kritična« razdoblja obilježena istodobnim povećanjem razlika između apsolutnih maksimalnih i minimalnih dnevnih temperatura zraka, ona su obilježena i naglim padom relativne vlažnosti zraka (slika 5). S obzirom na to da je prestanak receptivnosti ženskih cvjetova utvrđen na temelju promjene boje i izgleda njuški tučka od sjajno crvene, nabubrene, jedre i ljepljive do tamno smeđe i sasušene (slika 1), moguće je pretpostaviti kako su i vrlo niske minimalne vrijednosti relativne vlage zraka u znatnoj mjeri mogle pridonijeti prestanku receptivnosti ženskih cvjetova. Prema Cosmulescu i Baci (2002) na početku vegetacijskoga razdoblja, kada lisna površina nije u potpunosti razvijena, glavni organi

preko kojih se odvija transpiracija su cvjetovi. Stoga je vrlo sigurno da se zbog nagloga pada minimalnih vrijednosti relativne vlage zraka, koja je u našem slučaju pala vrlo nisko (oko 10 %), potpuno isuši nježno staničje koje tvori njušku tučka ženskoga cvijeta te da prestane njegova receptivnost (slika 5). Uza sve do sada navedeno valja istaknuti kako, za razliku od prvoga, drugo »kritično« razdoblje prestanka receptivnosti ženskih cvjetova nije imalo tako fatalan učinak na fenološku ujednačenost cvjetanja (preklapanje receptivnosti ženskih cvjetova i trušenje polena) i mogućnost međusobnoga oprašivanja onih klonova koji su nešto kasnije započeli otvarati pupove vjerojatno zato što je nastupilo tek 8 dana nakon početka receptivnosti njihovih ženskih cvjetova.

Trajanje trušenja polena za sve klonove prosječno je iznosilo 5,6 dana i nije se značajno razlikovalo između pojedinih klonova ni između KSP s obzirom na vrijeme početka ili završetka trušenja. To pokazuje kako su vremenske prilike u razdoblju od 15. 4. do 22. 5., kada se polen trusio, uglavnom ujednačeno djelovale na njegovo trušenje. Trušenje polena kod hrastova pod utjecajem povoljnih meteoroloških prilika završava za 2 do 4 dana (Ducoussu i dr. 1993). U našem istraživanju dva istaknuta »kritična« razdoblja unutar razdoblja trušenja polena moguće je povezati s niskim vrijednostima relativne vlage zraka, visokom temperaturom zraka i izostankom oborine u danima netom prije nego što je zabilježen nagli prestanak trušenja (usp. poglavlje 3.4 i slika 3). Ovi su rezultati u skladu s rezultatima istraživanja koja su proveli Ramashov (1975) i Vásquez (1998), koji su utvrdili kako se razvoj muških resa i trušenje polena ubrzava s porastom temperature zraka i sniženjem relativne vlažnosti zraka.

U prijašnjem istraživanju fenološke ujednačenosti klonova iz istraživanih KSP koje su proveli Franjić i dr. (2009) klonovi su bili premladi za praćenje fenologije cvjetanja, stoga se pretpostavilo kako je razdoblje listanja od fenofaze L4 do fenofaze L6 sukladno razdoblju cvjetanja, odnosno receptivnosti ženskih cvjetova i trušenju polena. Rezultati ovoga istraživanja pokazuju kako se receptivnost ženskih cvjetova vrlo dobro podudara s pretpostavljenim razdobljem listanja, dok je trušenje polena sukladno razdoblju listanja od fenofaze L6 do fenofaze L7 (tablica 3). Budući da je u ovom istraživanju utvrđena visoka korelacija između početka receptivnosti ženskih cvjetova, odnosno trušenja polena i otvaranja pupova, možemo pretpostaviti kako su rasprava i zaključci prijašnjega istraživanja koje su proveli Franjić i dr. (2009) dobro utemeljeni.

Zahvaljujući dobroj ujednačenosti prilikom otvaranja pupova i listanja, što su također utvrdili Franjić i dr. (2009), te prilikom početka receptivnosti žen-

skih cvjetova i trušenja polena, na što upućuju rezultati ovoga istraživanja, naši klonovi imaju bolji potencijal panmiksije (isključivo spolni način razmnožavanja s potpunom i slučajnom stranooplodnjom biljaka) u odnosu na vinkovačke i bjelovarske klonove. Tako dobar potencijal panmiksije i proizvodnje genetski kvalitetnoga sjemena u KSP Našice opravdavamo činjenicom kako bi pod utjecajem povoljnih meteoroloških prilika i dužine trajanja receptivnosti ženskih cvjetova od 10 dana sva 32 klona podrijetlom iz KSP Našice uključena u ovo istraživanje bila u mogućnosti sudjelovati u međusobnom slučajnom oprašivanju.

Lošiji potencijal panmiksije u odnosu na našičke imaju klonovi podrijetlom iz KSP Vinkovci i Bjelovar zbog izražene neujednačenosti prilikom otvaranja pupova i listanja (Franjić i dr. 2009) te neujednačenosti u početku receptivnosti ženskih cvjetova i trušenju polena (slike 2 i 3). Na njihov lošiji potencijal panmiksije upućuje činjenica kako bi čak i pod utjecajem povoljnih meteoroloških prilika i dužine trajanja receptivnosti ženskih cvjetova od 10 dana klonovi koji ranije započinju s receptivnošću ženskih cvjetova mogli biti oprašeni od vrlo maloga broja klonova. S druge strane klonovi koji najkasnije započinju s trušenjem polena ne bi mogli oprašiti ni jedan klon koji je ranije započeo s otvaranjem pupova, odnosno s receptivnošću ženskih cvjetova (slika 4).

Utjecaj nepovoljnih meteoroloških prilika u proljeće 2010. godine uglavnom se odrazio na klonove s ranijim početkom otvaranja pupova i receptivnosti ženskih cvjetova. To se posebno negativno odrazilo na našičke klonove zato što se svi odlikuju svojstvom ranijega otvaranja pupova. Zbog toga njihov dobar potencijal panmiksije nije došao do izražaja (slike 2 i 4). S druge strane, vinkovačka KSP i bjelovarska KSP osnovane su klonovima s vrlo ranim početkom otvaranja pupova, čiju su receptivnost ženskih cvjetova također prekinule nepovoljne meteorološke prilike, te klonovima s kasnijim početkom otvaranja pupova koji su uglavnom uspjeli izbjeći nepovoljan utjecaj meteoroloških prilika i koji su se mogli neometano oprašivati. Uz to, zahvaljujući vrlo izraženoj protoginiji, receptivnost ženskih cvjetova vinkovačkih i bjelovarskih klonova koji su kasnije započeli s otvaranjem pupova bila je dobro ujednačena s trušenjem polena onih klonova koji su ranije započeli s otvaranjem pupova (usp. poglavlje 3.3 i slika 4). Stoga, zahvaljujući upravo fenološkoj neujednačenosti, unatoč lošem potencijalu panmiksije klonovi podrijetlom iz KSP Vinkovci i Bjelovar imali su bolju mogućnost međusobnoga oprašivanja od klonova podrijetlom iz KSP Našice.

Prema dosadašnjim spoznajama preporučuje se da KSP sadrži između 20 i 60 genotipski različitih

klonova koji međusobno sudjeluju u oprašivanju, što osigurava proizvodnju sjemena koje sadrži visok stupanj genetske raznolikosti u obliku heterozigotnosti i ukupne raznolikosti alela, koje tek tada možemo nazivati »genetski kvalitetnim sjemenom«. Našim istraživanjem nije utvrđen zadovoljavajući broj klonova (minimalno 20 klonova) koji međusobno može sudjelovati u oprašivanju ni u jednoj našoj KSP. Kod klonova podrijetlom iz KSP Našice dobra fenološka ujednačenost i dobar potencijal panmiksije narušeni su nepovoljnim meteorološkim prilikama. Kod klonova podrijetlom iz KSP Vinkovci i Bjelovar zbog neujednačenosti u početku otvaranja pupova klonovi se razdvajaju u skupine ili subpopulacije (usp. poglavlje 3.3 i slika 4), što predstavlja opasnost od smanjenja efektivne veličine populacije i posljedica povezanih s tom pojavom. Stoga proizvedeno sjeme 2010. godine od klonova podrijetlom iz naših KSP vjerojatno ne bi imalo zadovoljavajuću genetsku kakvoću.

5. Zaključci – Conclusions

Velika kolebanja dnevne temperature zraka i nagli pad relativne vlažnosti zraka uvelike utječu na prestanak receptivnosti ženskih cvjetova, što je umanjilo mogućnost međusobnoga oprašivanja klonova podrijetlom iz istraživanih KSP u proljeće 2010. godine.

Klonovi podrijetlom iz KSP Našice imaju dobar potencijal panmiksije, zahvaljujući prilično dobroj ujednačenosti s obzirom na početak receptivnosti ženskih cvjetova i trušenje polena. Unatoč tomu samo je mali broj našičkih klonova mogao sudjelovati u međusobnom slučajnom oprašivanju zbog nepovoljnoga utjecaja meteoroloških prilika. Zbog toga razloga dobar potencijal panmiksije našičkih klonova nije došao do izražaja.

Klonovi podrijetlom iz KSP Vinkovci i Bjelovar prilično su neujednačeni s obzirom na početak receptivnosti ženskih cvjetova i trušenje polena te zato imaju nešto lošiji potencijal panmiksije. Unatoč tomu zahvaljujući fenološkoj neujednačenosti jedan dio vinkovačkih i bjelovarskih klonova koji se odlikovao kasnijim početkom otvaranja pupova izbjegao je nepovoljan utjecaj meteoroloških prilika te je mogao neometano sudjelovati u međusobnom slučajnom oprašivanju.

Klonovi podrijetlom iz KSP Našice unatoč dobrom potencijalu panmiksije nisu imali mogućnost proizvodnje genetski kvalitetnoga sjemena, ponajprije zbog nepovoljnoga utjecaja meteoroloških prilika, kao ni klonovi podrijetlom iz KSP Vinkovci i Bjelovar unatoč tomu što su djelomično izbjegli nepovoljan utjecaj meteoroloških prilika. Zbog navedenih

razloga jedan od mogućih načina poboljšanja količine i kakvoće proizvedenoga sjemena u istraživanim KSP je njihova rekonstrukcija.

Stoga preporučujemo otvaranje rasprave o rekonstrukciji KSP hrasta lužnjaka na području UŠP Vinkovci, Našice i Bjelovar radi njihova popunjavanja s klonovima podrijetlom iz svih istraživanih KSP. Tako rekonstruirane KSP, gdje bi svaka sadržavala svih 150 postojećih klonova bez obzira na to s područja koje UŠP oni potječu, vjerojatno ne bi bile pod tako izraženim utjecajem nepovoljnih meteoroloških prilika. Na taj bi način bio osiguran dobar potencijal panmiksije, a posljedice povezane sa smanjenjem efektivne veličine populacije bile bi svedene na minimum. Drugim riječima, unatoč utjecaju nepovoljnih meteoroloških prilika za vrijeme cvjetanja te razdvajanja klonova u nekoliko skupina ili subpopulacija proizvodnja sjemena koje nosi zadovoljavajuću razinu genetske raznolikosti i dalje bi bila osigurana.

Posebno napominjemo kako bi takav način rekonstrukcije KSP bio potpuno u skladu s velikom većinom dosadašnjih istraživanja ekotipske varijabilnosti hrasta lužnjaka u Hrvatskoj, a djelomično i s važećim Pravilnikom o području provenijencija svojti šumskog drveća od gospodarskog značaja (NN, 107/08).

Naposlijetku navodimo kako je prijeko potrebno i dalje nastaviti s praćenjem utjecaja meteoroloških prilika na cvjetanje hrasta lužnjaka. Ciljevi budućih istraživanja trebaju biti usmjereni prema utvrđivanju uzajamnoga utjecaja meteoroloških prilika i fenološke ujednačenosti cvjetanja na uspjeh oprašivanja i oplodnje. To je osnovni preduvjet za povećanje količine i kakvoće proizvodnoga sjemena u KSP te za razumijevanje pojave punoga uroda u prirodnim sastojinama hrasta lužnjaka.

6. Literatura – References

- Bacilieri, B. R., A. Dusouso, A. Kremer, 1994: Genetic, Morphological, Ecological and phenological Differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebel. and *Quercus robur* L. in a mixed Stand of Northwest of France. *Silvae genetica*, 44 (1): 1–10.
- Broecken, A. V., K. Cox, P. Quataert, E. van Bockstaele, J. van Slycken, 2003: Flowering Phenology of *Populus nigra* L., *P. nigra* cv. *italica* and *P. × canadensis* Moench. and the Potential for Natural Hybridisation in Belgium. *Silvae Genetica*, 52: 5–6.
- Cecich, R. A., 1997: The cotinuum between flowers and acorns. Diversity and Adaptation in Oak Species. College of agricultural Sciences, 220–234.
- Cosmulescu, S., A. Baci, 2002: Climatic factors effect on flowering of fruit tree species. *Journal of Enviromental Protection and Ecology*, 3 (4): 856–862.

- Ducouso, A., H. Michaud, R. Lumaret, 1993: Reproduction and gene flow in the genus *Quercus* L. *Ann. Sci. For.*, 50 (1): 91–106.
- Fornaciari, M., L. Pieroni, P. Ciuchi, B. Romano, 1997: A statistical model for correlating airborne pollen grains (*Olea europaea* L.) with some meteorological parameters. – *agr. Med.*, 127: 134–137.
- Franjić, J., S. Bogdan, Ž. Škvorc, K. Sever, D. Krstonošić, 2008: Fenološka sinkroniziranost klonova hrasta lužnjaka iz klonskih sjemenskih plantaža u Hrvatskoj. U: S. Matić, I. Anić (ur.), Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima, Zbornik radova sa znanstvenoga savjetovanja, HAZU, Zagreb, str. 153–168.
- Galan, C., M. J. Fuillerant, P. Comtois, E. Domingez, 2001: Bioclimatic factors affecting daily Cupressacea flowering in southwest Spain. *Int. J. Biometeorol.*, 41: 95–100.
- García-Mozo, H., P. J. Hidalgo, C. Galán, M. T. Gómez-Casero, E. Domínguez, 2001: Catkin frost damage in Mediterranean cork-oak (*Quercus suber* L.). *Israel Journal of Plant Sciences*, 49: 41–47.
- Goodrum, P. D., V. H. Reid, C. E. Boyd, 1971: Acorn yields, characteristics, and management criteria of oaks for wildlife. *J. Wildl. Manage.*, 35: 520–523.
- Gómez-Casero, M. T., C. Galán, E. Domínguez-Vilches, 2007: Flowering phenology of Mediterranean *Quercus* species in different locations (Córdoba, SW Iberian Peninsula). *Acta Botánica Malacitana*, 32: 127–146.
- Headly, A., J. I. Hormaza, M. Herrero, 2003: The effect of temperature on stigmatic receptivity in sweetcherry (*Prunus avium* L.). *Plant, cell and environment*, 26: 1673–1680.
- Krstinić, A., 1996: Unutarpopulacijska i međupopulacijska varijabilnost hrasta lužnjaka. U: D. Klepac (ur.), Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj. HAZU, Centar za znanstveni rad u Vinkovcima i Hrvatske šume p. o. Zagreb, Zagreb – Vinkovci, str. 112–118.
- Minina, E. G., 1954: Biological bases of flowering and fruit-bearing in oak. *Trudy Instituta lesa, Akademija nauk SSSR*, 17: 5–97.
- Ostrogović, M. Z., K. Sever, I. Anić, 2010: Utjecaj svjetla na prirodno pomlađivanje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u park-šumi Maksimir u Zagrebu. *Šum.list*, 134 (3–4): 115–123.
- Perić, S., 2001: Šumsko-uzgojna svojstva različitih provenijencija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Romashov, N. V., 1957: Laws governing fruiting in oak. *Botanicheskii Zhurnal*, 42: 41–56.
- SAS 2000. SAS Institute Inc. SAS OnlineDoc®, Version 8. <http://v8doc.sas.com/sashtml>
- StatSoft, Inc., 2006: STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. .
- Sharp, V. M., 1958: Evaluating mast yields in the oaks. *Penn. Agric. Expt. Sta. Bull.* 635, 22 str.
- Stojković, M., 1991: Varijabilnost i nasljednost listanja hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Glas. šum. pokuse*, 27: 227–259.
- Varela, M. C., T. Valdivieso, 1996: Phenological phases of *Quercus suber* L. Flowering. *Forest Genetics*, 3 (2): 93–102.
- Varela, M. C., R. Brás, I. R. Barros, P. Oliveira, C. Meierrose, 2008: Opportunity for hybridization between two oak species in mixed stands as monitored by the timing and intensity of pollen production. *Forest ecology and management*, 256: 1546–1551.
- Vidaković, M., 1996: Oplemenjivanje hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. U: D. Klepac (ur.), Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj, HAZU, Centar za znanstveni rad u Vinkovcima i Hrvatske šume p. o. Zagreb, Zagreb – Vinkovci, str. 95–143.
- White, T. J., W. T. Adams, D. B. Neale, 2007: *Forest Genetics*. CAB International. Wallingford, UK, 682 str.
- Wolgast, L. J., 1972: Mast production in scrub oak (*Quercus ilicifolia*) on the coastal plain in New Jersey. New Brunswick, NJ: Dissertation – Rutgers University, 137 str.

Abstract

Phenological Asynchronization as a Restrictive Factor of Efficient Pollination in Clonal Seed Orchards of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.)

The knowledge of the flowering biology of forest trees, and thus also of Pedunculate Oak, is exceptionally important when planning to mass-produce genetically high-quality seeds at clonal seed orchards (CSO) for the purpose of reforestation and restoration of forest cultures. The production of genetically high-quality seeds at CSOs, which assumes a high degree of genetic diversity, can only be guaranteed if 20 to 60 clones of different genotypes contribute to pollination (transferring of pollen from stamen to stigma). However, for a successful fertilization, which would guarantee the desired quality and quantity of seeds, phenological synchronization of the clone flowering within CSOs is also important. The beginning of pedunculate oak bud burst is under significant genetic con-

trol, which opens up the possibility to make the right selection of plus trees, with the goal of achieving a permanent phenological synchronization of flowering and flushing of clones with which the CSOs have been established. However, the effect of poor weather, such as heavy rainfall, too high or too low relative humidity of air, low temperatures, frosts, hail, etc., can sometimes disrupt favorable phenological synchronization of clones, also lowering the quality and quantity of seeds produced. The objectives of this study were (i) to determine the phenological synchronization of clone flowering within CSOs, (ii) to look into the possible effect of weather on the duration of receptivity of female flowers and pollen shedding, (iii) to determine the degree of correspondence between particular phenophases of flushing and flowering.

The study has been conducted at the experimental field founded in the spring of 2008 within Rasadnik Brestje (Forest Administration Zagreb, Forest Office Dugo Selo). The experimental field has been founded by planting ramet in accordance with the experimental design of randomized section system with repetitions (sections). Each clone is represented with one ramet in each section. Ramets originate from the clones of pedunculate oak, from which clonal seed orchards were founded in the regions under respective Forest Administrations (FAs) Vinkovci (VK), Našice (NA) and Bjelovar (BJ). Phenological observations of flushing and flowering were performed simultaneously, twice a week, until the leaves were fully developed on all clones, i.e. until all male flowers ceased to shed pollen or until all female flowers ceased to be receptive. The phenology of flushing was monitored in accordance with the methodology which distinguishes 7 phenophases in the flushing of pedunculate oak, while the phenology of flowering was monitored according to the methodology developed on the example of cork oak (*Quercus suber* L.). In this study, during the phenological monitoring of flowering, special attention was given to phenophases of male flower development, which describe the beginning and the end of pollen shedding, i.e. to phenophases of female flowers, which describe the beginning and the end of their receptivity. Microclimatic conditions during flowering (from April 7 to May 23) in 2010 were measured via automatic meteorological station set up at the experimental field.

From a total of 145 clones, 103 were flowering at the experimental field in 2010, 8 of which only with male flowers, 31 only with female flowers, and 63 with both male and female flowers. Protogyny was established for the clones flowering with both male and female flowers, except for the clone VK 43 where protandry was established. The receptivity of female flowers of protogynous clones occurred on average 7 days before the male flowers began shedding pollen, while the VK 43 clone started releasing pollen a day before female flowers started to be receptive.

Generally speaking for all the clones represented at the experimental field and flowering in 2010, pollen shedding started on April 15, and ended on May 22. The receptivity of female flowers started on April 13, and ended on May 13. From the moment the first clone started shedding pollen until shedding stopped, 37 days have elapsed, while the receptive period of female flowers lasted 30 days.

The receptive period of female flowers for the clones in the region of FA BJ and VK started on April 14, while this period started on April 13 for the clones in the region of FA NA. The end of the receptive period for BJ clones was recorded on May 13, for NA clones on April 20, and for VK clones on May 11. The receptive period of BJ female flowers lasted for 29 days, of NA for 9 days, and of VK for 28 days. There were two »critical« periods (the first from April 19 to 22, and the other on May 3) during which a sudden termination of receptivity in female flowers was recorded in a great number of clones. During the first period with a more pronounced effect, the termination of receptivity occurred in almost all of the clones within all three CSOs where flowers started to be receptive before April 22. The average duration of the receptive period of female flowers in all of the clones that stopped being receptive in this period amounted to 4.2 days. In the second and less pronounced period, there was a termination of receptivity of female flowers in a half of VK clones, whose receptivity mostly began after April 22. The average duration of the receptive period of female flowers, where clones stopped being receptive after May 3, amounted to 9.2 days. Considering the duration of the receptive period of female flowers, statistically significant difference has been determined among the clones whose receptivity of female flowers ended before April 22 and the clones whose female flowers stopped being receptive after April 22. The above-mentioned critical periods occurred in both cases after a sudden drop in the relative humidity of air, which was recorded on April 19 and 29, and low values of minimum air temperatures, which were recorded on April 19, 28 and 29. Shortly before or during the occurrence of »critical« periods, precipitation was also recorded.

The shedding of pollen started on April 19 for the clones in the region of FA BJ and NA, while the clones in the region of FA VK started shedding pollen on April 15. BJ clones stopped shedding pollen on May 20, NA clones on May 3, and VK clones on May 13. Pollen shedding lasted 31 days in BJ clones, 14 days in NA clones, and 28 days in VK clones. Similarly to the receptivity of female flowers, two »critical« periods, when a significant number of clones stopped shedding pollen, can also be noted (the first from April 27 to 29, and the second on May 10). During the first period, most of the NA clones stopped shedding pollen. During the second period, a sudden halt in shedding pollen was recorded in almost all VK clones that started shedding pollen after May 3. The duration of pollen shedding does not differ with respect to »critical« periods when cessation of shedding occurred, and it amounts to

5.6 days for all the clones, on average. The abovementioned »critical« periods, in both cases connected with shedding of pollen, occurred during a period with high temperatures and low relative humidity of air, without precipitation.

Phenological synchronization of flowering is the result of bud-burst synchronization in clones within CSOs and weather conditions, at the moment of receptivity of female flowers and shedding of pollen. In that respect, a combination of phenological synchronization of flowering and unfavorable weather conditions, which caused the sudden termination and short receptive period of female flowers, was most drastically reflected through the clones from CSO NA. Only a smaller number of clones from CSO NA could have participated in mutual pollination in 2010, while in CSOs VK and BJ most of the clones had this opportunity thanks to the unsynchronized bud burst, which had in turn enabled a number of clones to avoid unfavorable weather conditions.

Based on the comparison between an average number of days that clones needed to enter each of the studied phenophases of flushing and flowering, it has been determined that the onset of the receptive period of female flowers occurred almost at the same time with phenophase of flushing L4 (first leaves are developed still mostly in the bud), the onset of pollen shedding, and the termination of receptive period of female flowers at the same time with phenophase L6 (the leaves are formed but still longitudinally curved), while the flushing phenophase L7 (the leaves are fully formed and smooth) coincided with the termination of receptivity of female flowers.

The results showed that the phenological synchronization of flowering in 2010 was significantly affected by unfavorable weather conditions, which shortened the duration of the receptive period of female flowers to a greater degree, while they had no significant effect on the duration of pollen shedding period. Such course of events most severely affected the clones originating from CSO NA, which had started the period of receptivity of female flowers and pollen shedding of male flowers approximately at the same time, in contrast to the clones originating from CSOs Vinkovci and Bjelovar, which started their receptive periods of female flowers and pollen shedding periods of male flowers at different times.

Keywords: pedunculate oak, clonal seed orchard, meteorological data, pollination, protogyny, receptivity

Adresa autorâ – Authors' address:

Prof. dr. sc. Jozo Franjić
e-pošta: franjic@sumfak.hr
Krunoslav Sever, dipl. inž.
e-pošta: ksever@sumfak.hr
Doc. dr. sc. Saša Bogdan
e-pošta: sasa.bogdan@zg.htnet.hr
Doc. dr. sc. Željko Škvorc
e-pošta: skvorc@sumfak.hr
Daniel Krstonošić, dipl. inž.
e-pošta: dkrstonosic@sumfak.hr
Ivana Alešković, dipl. inž.
e-pošta: aleskovic@sumfak.hr
Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet
Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju
i botaniku
Svetošimunska 25
HR-10 000 Zagreb
Hrvatska