

UDK: 630*242+630*228.7
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1715031B

УТИЦАЈ ЈАКИХ ПРОРЕДА НА ПРИРАСТ И ИЗБОР СТАБАЛА ЗА НЕГУ У МОНОКУЛТУРИ СМРЧЕ У УСЛОВИМА ПРИРОДНИХ НЕПОГОДА

др Мартин Бобинац, редовни професор, Универзитет у Београду, Шумарски факултет
(martin.bobinac@sfb.bg.ac.rs)

др Сениша Андрашев, виши научни сарадник, Универзитет у Новом Саду, Институт за низијско шумарство и животну средину

Мсц Андријана Бауер-Живковић, докторант, Универзитет у Београду, Шумарски факултет

Мсц Никола Шушић

Извод: У раду се анализира утицај две јаке селективне прореди на прираст стабала смрче у монокултури изложеној ледоломима и снеголомима на подручју источне Србије. При прореди у 32. години је издвојено 556 кандидата за негу по хектару, а у 40. години од иницијалних кандидата је изабрано 311 стабала будућности по хектару (55,9%).

Код свих стабала у периоду од 41-50. године већи је прираст пречника за 31%, темељнице за 64% и запремине за 67%, у односу на период од 32-40. године. Колектив индиферентних стабала значајно заостаје у величинама прираста у односу на стабла будућности у оба посматрана периода. Међутим, величина прираста пречника, темељнице и запремине колектива „упоредивих” индиферентних стабала мања је од величине прираста стабала будућности за 10-15% у периоду од 32-40. године и за 15-21% у периоду од 41-50. године и нема сигнификантних разлика.

Резултати указују да јаке селективне прореди, почетно усмерене на већи број кандидата за негу у старости састојине која значајније не одступа од периода када се изводе прве „комерцијалне” прореди, унапређују прирасни потенцијал стабала будућности и индиферентних стабала, у оквиру којих је рационално вршити замену стабала за главни принос у „осетљивој” фази развоја на утицај снеголома и ледолома.

Кључне речи: *Picea abies* (L.) Karst., селективна прореда, јаке прореди, прираст, снеголоми и ледоломи

УВОД

У Србији без територије Косова културе смрче (*Picea abies* (L.) Karst.) су заступљене на површини од 32.400 ha, односно 26,0% од укупне површине под културама четинара (Banković et al., 2009). За велики број тих култу-

ра карактеристично је да су у првим деценијама од настанка биле препуштене спонтаном развоју, а прве прореди су спровођене у старости када је било могуће добити економски исплативе сортименте. Такав тренд је заступљен

и у другим културама четинара у Србији, као и на ширем европском простору, јер закаснење високе прореди дају већи и вреднији споредни принос у посматраној фази развоја састојина (Slodičák et al., 2005).

Приступи проредама у културама смрче у Србији до сада су разматрани од стране више аутора, на основу анализе структуре ненегованих састојина, односно резултата истраживања једног премера на огледним површинама (Marković, Petrović, 1960; Vučković et al., 1990; Dražić, 1994; Bjelanović, Vukin, 2010). Краткорочни ефекти прореда, различитог начина проређивања и јачине захвата, приказани су на основу истраживања на трајним огледним површинама које су формиране 1972. године у оквиру тадашњег Завода за гајење шума на Шумарском факултету у Београду на планинском масиву Повлен у западној Србији (Stojanović, Krstić, 1984). Утицај две јаке прореди на прираст и стабилност стабала и састојине смрче разматрани су на једној трајној огледној површини на подручју источне Србије (Bobinac, 2004).

Због биолошких особина смрче, првенствено кртог врха и површинског кореновог система, састојине смрче су, у поређењу са осталим врстама дрвећа, веома подложне ломовима и извалама. Такве негативне појаве су израженије у монокултурама смрче подигнутим на стаништима лишћарских врста, а интензивирају се после јачег отварања склопа, па је и то био разлог за недовољну примену високе прореди у смрчевим састојинама (Nilsson et al., 2010; Wallentin, Nilsson, 2014). Изостанак прореда у раном старосном периоду састојина повећава степен виткости стабала, али доприноси већој чистоћи дебла од грана, па произилази да је у смрчевим културама потребно спроводити интензивне прореди, тј. започињати их што раније и спроводити у краћим временским интервалима са умереним захватима (Mráček, Pařez, 1986; Cameron, 2002). Међутим, овакав начин газдовања са смрчевим културама је повезан са већим трошковима сече и израде тањег проредног материјала, који има малу економску вредност. Новији резултати вишедецениј-

ских истраживања на трајним огледним површинама у састојинама смрче, у којима су вршене високе и селективне прореди у раном периоду, показали су да се таквим приступом интензивира првенствено раст стабала у дебелину после прореди, а примарно стабала будућности, која су била предмет неге, што је доприносило бржем повећању њихових димензија и тиме скраћивању производног циклуса, али и смањењу степена виткости, односно повећању стабилности стабала након прореди (Slodičák, Novák, 2003; 2010; Nilsson et al., 2010; Štefančík, 2012). Такође, резултати дугорочних истраживања ефеката прореда у културама смрче генерално указују да састојине имају позитивну реакцију на прореди, независно од старосне доби у периоду када се врше комерцијалне прореди (Mäkinen, Isomäki, 2004a; 2004b). Међутим, закаснење прореди веће јачине, поред слабије реакције преосталих стабала, а тиме и значајно мањих запреминских прираста по хектару, повећавају и нестабилност састојина неколико година након прореди (Nilsson et al., 2010). На подручјима на којима се манифестују неповољни егзогени утицаји (ледоломи и снеголоми) посебан проблем селективне прореди представља остваривање континуитета дугорочних циљева неге састојина код изабраних стабала за главни принос. Зато је за примену селективне прореди у условима ледолома и снеголома важно питање везано за начин избора стабала за негу, на основу кога се и разликују приступи селективног проређивања. Приступ који је увео Schädelin (1934), а додатно утемељио Leibundgut (1966), заснива се на перманентној селекцији стабала током развоја састојине, тако да се из почетно шире базе кандидата за негу врши постепено крајњи одабир. Други приступ за избор стабала за негу код селективне прореди усмерава се на циљна стабла, која се бирају при првој прореди и негују до краја опходње. Други приступ у основи се заснива на рационализацији неге и у европском шумарству развијено је више специфичних прилаза, са посебним карактеристикама код појединих врста дрвећа: селективно проређивање по Abetzu i Johannu,

Schützu, Altherru (*Vučković, Stajić, 2004; Kotar, 2005*). При приступу селективне прореди усмереном на циљна стабла замена оштећених стабала будућности у условима снеголома и ледолома, као и стабала која нису успешно реаговала на прореду, је изводљива ако у њиховој непосредној близини има виталних и квалитетних стабала која су реаговала на прореду. Према наводима *Kotara (2005)* успешност замене стабала за негу је већа ако су састојине у претходном периоду интензивније неговане.

Верификовани ефекти прореди на трајним огледним површинама опредељују узгојни третман са састојинама на одређеном простору, а посебно су значајни када се огледне површине налазе на подручјима на којима се манифестују неповољни егзогени утицаји (ледоломи и снеголоми). Истраживања *Valinger, Pettersson (1996)* на трајним огледним површинама у културама смрче старим 24-45 година указују да је највећи релативни број оштећених стабала услед снега и ветра констатован на контролним површинама и у првом периоду после екстремно јаким прореди (преко 40% темељнице). Према наведеним резултатима највећи утицај на повећан ризик од оштећења услед снега и ветра има неповољан положај култура у простору и одржавање густих култура. Састојине смрче су, услед тога што су препуштене спонтаном развоју и касно проведеним првим прореди, највише угрожене од снеголома у II и III добном разреду (*Mráček, Pařez, 1986; Valsta, 1992; Slodičák et al., 2005*).

Поједина искуства са штетама услед катастрофалних природних непогода (ледоломи) на подручју Србије указују да начин газдовања са састојинама значајније не утиче на обим штета, али да су оне веће у културама четинара у односу на аутохтоне лишћарске врсте на одређеном подручју (*Stojanović, 1986*). Штете од природних непогода у шумама Србије су у порасту и могу се делом, према *Ranković et al., (2016)*, везивати за глобалне климатске промене. Такође, поједине активности у газдовању шумама могу имати значајан утицај на осетљивост шумских екосистема на природне непогоде (*Schuck, Schelhaas, 2013*).

У раду се анализирају ефекти примене две јаке селективне прореди на прираст стабала и састојине на трајној огледној површини у монокултури смрче изложеној снеголосима и ледолосима на подручју Србије. Поступак избора стабала за негу и главни принос опредељује континуитет успостављених циљева неге, који су променљиви у условима снеголома и ледолома. Стога је задатак овог рада усмерен на анализу прирасног потенцијала различитих категорија стабала у примењеном поступку избора за негу, односно главни принос у условима ледолома.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Објект истраживања

Истраживања су вршена у култури смрче на Кучајским планинама у северо-источној Србији, на Великој Брезовици (ГЈ Боговина I, одељење 87а), на 870 m надморске висине, на нагибу до 5° експонираном југу, југо-западу. Смрча не улази у природни састав шумских заједница на истраживаном подручју, где доминира планинска шума букве, а култура је настала пошумљавањем пашњака на положају који, због периодичних штета од снеголома и ледолома, није погодан за смрчу. Култура је основана густом садњом (2×1 m) и према расположивим подацима из евиденција газдовања није проређивана до старости 32 године. Крајем 1994. године (старост културе 32 године) у добро склопљеном делу је формирана једна трајна огледна површина (15×30 m) на којој је премерено 176 стабала и спроведена прва прореди. Други премер стабала и прореди изведени су на огледној површини у старости културе 40 година (*Bobinac, 2004*). Трећи премер извршен је крајем 2012. године у старости културе 50 година, када је премерено укупно 48 стабала. Изглед стабала и састојине на трајној огледној површини у старости културе 50 година приказан је на слици 1.

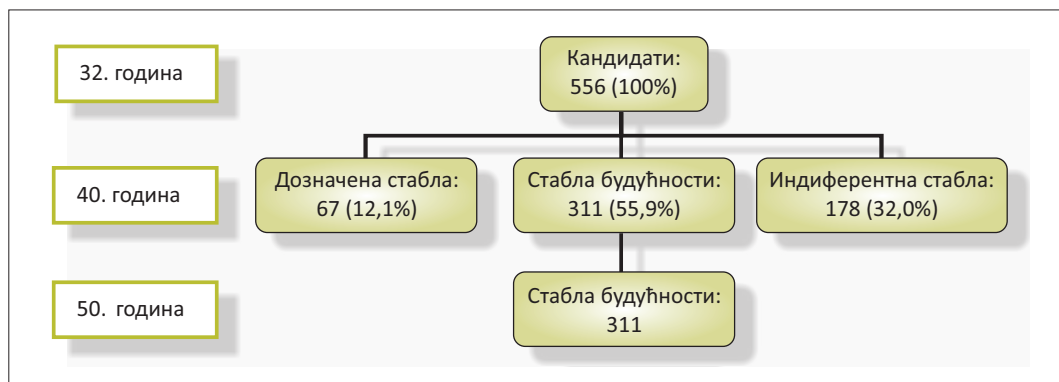


Слика 1. Изглед састојине (лево) и изграђеност крошњи у окружењу стабла будућности (десно) на трајној огледној површини у старости културе 50 година (Фошо: М. Бобинац, април, 2013).

Избор стабала за негу

На огледној површини примењене су две јаке селективне прореди у поступку који описује *Schädelin (1934)*. У старости културе 32 године извршен је избор кандидата за негу у горњем спрату и реализована је прва селективна прореда са циљем да се, у критичном добу када је састојина највише угрожена од снеголома, утиче на развој и стабилност највиталнијих и најквалитетнијих стабала. Почетни број кандидата износио је 556 по хектару и апроксимативно је одре-

ђен на основу таблица приноса и прираста по Schwarach-у за старост састојине од 80 година на I бонитету (*Nikolić, Banković, 2009*). Истраживана култура има велики број квалитетних стабала и високу производност, па се производња пиланске обловине, уз обезбеђење стабилности састојина у краћој опходњи, може поставити као циљ газдовања. Од иницијалних 556 кандидата у 40. години је изабрано 311 стабала будућности по хектару (55,9%), 67 стабала је посечено у другој прореди (12,1%), а 178 стабала је проглашено индиферентним (32,0%), (Графикон 1).



Графикон 1. Еволуција избора стабала за негу у периоду од 32. до 50. године на огледној површини

Почетни избор већег броја кандидата спроведен је у условима неповољног положаја састојине и повремене појаве снеголома и ледолома, услед којих су се ломили врхови крошњи стабала у доминантном спрату и тиме се онемогућавало остваривање дугорочних циљева неге код изабраних стабала. При другој прореди у 40. години избор стабала будућности заснивао се и на прирасној реакцији кандидата

на прореду у 32. години и оштећењима од снеголома и ледолома која су се у мањем обиму манифестовала у периоду 33-40. године. Штете од јачег ледолома манифестовале су се почетком 2013. године и биле су изражене у слабије проређиваним деловима састојине, а на огледној површини су се претежно поломили врхови крошњи у дужини 3-6 m (Слика 2).



Слика 2. Последице јачег ледолома почетком 2013. у слабије проређиваном делу састојине (лево) и на огледној површини (десно) у 50. години (Фойо: М. Бобинац, април, 2013).

Прикупљање и обрада података

На огледној површини у старости културе 32, 40 и 50 година свим стаблима су мерена два унакрсна прсна пречника, са тачношћу од 1 mm, а за конструкцију висинске криве премерене су висине стабала. Висинске криве су изравнате функцијом Михајлова, $h = ae^{-b/d} + 1,30$, а запремина стабала је одређена по запреминским таблицама *Vaur-a (1890)* за смрчу чије је аналитички облик: $V = 0,00007 \cdot d_{1,3}^{2,05363} \cdot h^{0,70952}$ (1971). Запремина оштећених и одумрлих стабала између две прореди одређена је на основу њиховог пречника и висине на почетку посматраног периода.

У састојини су издвојени различити „функционални“ колективи стабала: стабла за негу (кандидати и стабла будућности), дозначена стабла и индиферентна стабла. За нумеричко дефинисање карактера прореди коришћен је коефицијент q_d - однос између средњег пречника по темељници укупно дозначених стабала и средњег пречника по темељници преосталих стабала после прореди (*Pretzsch, 2005*). Дефинисан је и посебан колектив дозначених стабала са средњим пречником већим од средњег пречника преосталих стабала после прореди ($d_{g,doz} > d_{g,ps}$), који има коефицијент $q_d > 1$.

Ефекти прореда су приказани за колектив стабала за негу и колектив индиферентних стабала. У оквиру индиферентних стабала издвојен је колектив „упоредивих” индиферентних стабала са стаблима будућности, чији су прсни пречници већи од средњег пречника састојине после прореде ($d > d_{g,ps}$) и колектив осталих индиферентних стабала.

За дефинисање ефеката прореда упоређен је текући прираст пречника (i_d), темељнице (i_g) и запремине (i_v) за исти колектив стабала, у периоду 33-40. године и у периоду 41-50. године. Тестирање значајности разлика између текућих прираста различитих колектива стабала извршено је помоћу t-теста (Нађживковић, 1973).

У табели 1. налази се списак коришћених симбола у раду.

Табела 1. Списак коришћених ознака

Ознака	Значење
N	Број стабала по хектару
G	Темељница по хектару
V	Запремина по хектару
d_g	Средњи пречник састојине по темељници
$d_{g,doz}$	Средњи пречник по темељници дозначених стабала
$d_{g,ps}$	Средњи пречник по темељници стабала преосталих након прореде
$d_{g,sb}$	Средњи пречник по темељници колектива стабала будућности
$d_{g,k}$	Средњи пречник по темељници колектива стабала кандидата
h_L	Средња висина по Лорају
i_d	Текући прираст пречника средњег стабала одређеног колектива
i_g	Текући прираст темељнице стабала одређеног колектива
i_v	Текући прираст запремине стабала одређеног колектива
q_d	Коефицијент прореде

РЕЗУЛАТИ

Карактеристике прореда

Проредама у истраживаној култури примарно се желело утицати на развој стабала за негу (кандидати и стабла будућности), која су припадала категорији виталних и квалитетних стабала из доминантног спрата. Првом проредом у 32. години посечено је 1.378 стабала по хектару (35,2%), са запремином 115,1 $m^3 \cdot ha^{-1}$, а у периоду од 32.-40. године услед морталитета, снеголома и ледолома посечено је још 555 тањих стабала по хектару (14,2 %) са запремином 22,0 $m^3 \cdot ha^{-1}$. У односу на почетни број стабала у 32. години је укупно посечено 1.933 стабла по хектару (49,4%) са укупном запремином 137,1 $m^3 \cdot ha^{-1}$ (35,9%). У 40. години проредом је посечено 911 стабала по хектару (46,1%) са запремином 142,3 $m^3 \cdot ha^{-1}$ (33,7%).

На основу две прореде и накнадно посечених тањих стабала у периоду 33-40. године, на огледном пољу укупно је посечено 2.844 стабла по хектару (72,7%) са запремином 279,4 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Према односу средњег пречника по темељници посечених стабала у прореди и преосталих стабала у 32. и 40. години проистиче да су изведене ниске прореде ($q_d = 0,83-0,80$), а на основу процента смањења темељнице (35-37%) и запремине (34-36%) изведене су јаке прореде (Табела 2).

У структури посечених стабала у 32. и 40. години, највећи утицај на преостала стабла после прореде имала су стабла чији је средњи пречник био већи од средњег пречника стабала после прореде ($q_d > 1$) (Табела 3).

У структури прореде у 32. години таквих стабала, чији је средњи пречник био већи од средњег пречника стабала после сече ($q_d > 1$), је било по хектару 378 (27,4%) и она су чинила 51,4-54,8% посечене темељнице и запремине. Када се има у виду селективни карактер прореде и у однос доведе број и темељница тих посечених стабала и стабала за негу проистиче да је у 32. години просечно посечено 0,68 стабала са средњим пречником 1,01 · $d_{g,k}$ сваком од иницијалних 556 кандидата, односно посечено је 1,21 стабала са средњим пречником 0,93 · $d_{g,sb}$ сваком од 311 стабала будућности ($q_d = 1,14$).

У структури прореде у 40. години број стабала чији је средњи пречник био већи од сред-

Табела 2. Нумерички елементи састојине у 32., 40. и 50. години

Старост	Укупно	Стабла будућности	Дозначена стабла	Морталитет	Индиферентна стабла
N [сјабала·ha^{-1}]					
32	3.911	311	1.378	555	1.667
40	1.978	311	911	-	756
50	1.067	311	-	-	756
G [m^2·ha^{-1}]					
32	57,39	8,71	17,48	3,78	27,42
40	50,25	13,20	17,62	-	19,43
50	52,87	22,32	-	-	30,55
V [m^3·ha^{-1}]					
32	384,17	62,34	115,13	21,97	184,73
40	424,75	118,90	142,28	-	163,57
50	539,72	238,04	-	-	301,68
d_g [cm]					
32	13,7	18,9	12,7	9,3	14,5
40	18,0	23,2	15,7	-	18,1
50	25,1	30,2	-	-	22,7
h_l [m]					
32	14,0	15,1	13,7	11,8	14,1
40	19,1	20,5	18,1	-	19,0
50	24,3	25,4	-	-	23,3

Табела 3. Нумерички елементи различитих колектива стабала у 32., 40. и 50. години

Елемент	32. година				40. година			50. година	
	Стабла за негу		Индиферентна стабла	Дозначена стабла	Стабла за негу	Индиферентна стабла	Дозначена стабла	Стабла за негу	Индиферентна стабла
	Кандидати	Стабла будућности	($d > dg$.ps)	($d > dg$.ps)	Стабла будућности	($d > dg$.ps)	($d > dg$.ps)	Стабла будућности	($d > dg$.ps)
N [сјабала· ha^{-1}]	556	311	622	378	311	244	111	311	244
G [m^2 · ha^{-1}]	13,09	8,45	14,30	8,98	12,95	9,26	4,06	22,32	15,19
V [m^3 · ha^{-1}]	91,90	60,21	100,03	63,05	116,27	82,07	35,81	238,04	158,48
d_g [cm]	17,3	18,6	17,1	17,4	23,0	22,0	21,6	30,2	28,1
q_d				1,14			1,10		

њег пречника стабала после сече ($q_d > 1$) износио је 111 по хектару (12,2%) и она су чинила 23,0-25,2% посечене темељнице и запремине. Када се у однос доведе број стабала и темељница тих посечених стабала и стабала будућности проистиче да је просечно посечено 0,36 стабала са средњим пречником $0,94 \cdot d_{g,ps}$ сваком од 311 стабала будућности по хектару ($q_d = 1,10$)

Наведени подаци показују да је прореда у 32. години била, у делу колектива дозначених стабала са прским пречницима који су били већи од средњег пречника преосталих стабала после сече ($d > d_{g,ps}$), са двоструко јачим захватом према стаблима за негу, у односу на прореду у 40. години. У складу са наведеним поред непосредног утицаја на стабла будућности селективна прореда у 32. години је имала и идентичан утицај на колектив индиферентних стабала који је проистекао из колектива кандидата у периоду 33-40. године. Због типа прореде индиферентна стабла нису директно била под утицајем прореда, већ „индиректно“, јер су посечена стабла у одређеној мери била и конкуренти индиферентним стаблима.

Утицај прореда на прираст различитих колектива стабала

Преостала стабла после прореде (1.978 стабала по хектару) остварила су просечно у периоду 33-40. године $22,21 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$, а у периоду 41-50. године (1.067 стабала по хектару) $25,73 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$ текућег запреминског прираста. У текућем прирасту запремине 311 стабала будућности по хектару у периоду 33-40. године, (15,7% од укупног броја стабала) имала су учешће око 32%, а у периоду 41-50. године (29,1% од укупног броја стабала) имала су учешће 46%.

Код свих стабала у периоду од 41-50. године већи је прираст пречника за 31%, темељнице за 64% и запремине за 67%, у односу на период од 32-40. године. Највећи прираст пречника, темељнице и запремине имала су стабла будућности, према којима је приоритетно била усмерена прореда у 32. и 40. години. У односу на стабла будућности индиферентна стабла имала су мањи прираст пречника, темељнице и запремине, у периоду 33-40. године за 40-50%, а у периоду 41-50. године за 39-53% и разлике су високо значајне (Табела 4).

Међутим, код колектива индиферентних стабала (244 стабла по хектару), која су имала прсне пречнике веће од средњег пречника по темељници свих стабала после прореда ($d > d_{g,ps}$) мањи је прираст пречника, темељнице и запремине у периоду 33-40. године за 10-15%, а у периоду 41-50. године за 15-21% од прираста стабала будућности. Величине прираста код „упоредивих колектива“ (стабала будућности и индиферентних стабала) у оба периода се значајно не разликују, када се посматрају исти колективи стабала, а разликују се у периоду 33-40. године ако се упореде величине прираста стабала будућности и индиферентних стабала ($d > d_{g,ps}$) са припадајућим бројем стабала у том периоду. То указује да колектив истих индиферентних стабала у оба посматрана периода у апсолутном износу прати величину прираста стабала будућности, са тенденцијом заостајања у периоду 41-50. године.

Стабла будућности у периоду 41-50. године имају већи дебљински прираст за 29%, а колектив индиферентних стабала ($d > d_{g,ps}$) за 23% у односу на период 33-40. године. Међутим, у периоду 41-50. године сва индиферентна стабла имају већи дебљински прираст за 32%, а колектив индиферентних стабала ($d < d_{g,ps}$) има већи дебљински прираст за 40% у односу на период 33-40. године, што указује на релативно интензивнију реакцију тањих стабала после друге прореде у односу на стабла будућности (Табела 4).

ДИСКУСИЈА

У овом раду се приказују резултати истраживања примене јаких селективних прореда на трајној огледној површини у периоду од скоро две деценије у монокултури смрче на неповољном положају, односно у условима ледолома и снеголома на подручју источне Србије. По утврђеним елементима раста састојина се може сврстати у категорију најбољих вештачки подигнутих састојина смрче у Србији (Bobinaц, 2004). Евидентирани укупни прираст запремине састојине до 40. године износио је $561,85 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, а до 50. године $819,1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Прва прореда, изведена у 32. години у поступку који описује Schädelin (1934), била је ниска ($q_d = 0,83$) и јака (јачина по запремини је преко 30%). Прореда је урађена у старости са-

Табела 4. Средње величине текућег прираста пречника, темелјнице и запремине различитих колектива стабала у састојини

Категорија стабала	n stab./ OP	33-40. год.			41-50. год.			33-40. год.			41-50. год.							
		i _d	i _g	i _v	i _d	i _g	i _v	i _d	i _g	i _v	i _d	i _g	i _v					
														[cm·stab. ⁻¹ ·год. ⁻¹]			[dm ³ ·stab. ⁻¹ ·год. ⁻¹]	
Стабла будућности	14	0,55	18,07	22,53	0,71	30,12	39,14	1,00 ³	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,74
Индиферентна стабла, d>d _{g-p.s.} ¹	11 (28)	0,49 (0,42**)	15,34 (12,56***)	19,28 (15,82***)	0,61	23,83	30,80	0,90	0,85	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,23	1,55	1,60
Индиферентна стабла, d<d _{g-p.s.}	23 (47)	0,25*** ² (0,18***)	6,09*** (4,04***)	7,52*** (5,07***)	0,35***	10,37***	12,30***	0,52	0,40	0,39	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	1,40	1,70	1,64
Индиферентна стабла	34 (75)	0,33*** (0,27**)	9,09*** (7,22**)	11,32*** (9,08**)	0,44***	14,72***	18,28***	0,60	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,32	1,62	1,61	1,61
Сва стабла	48 (89)	0,39 (0,31)	11,71 (8,93)	14,59 (11,20)	0,52	19,22	24,37	0,72	0,65	0,65	1,00	1,00	1,00	1,00	1,31	1,64	1,67	1,67

¹ Вредности у загради се односе на колектив стабала у I периоду (33-40. година).

² Резултати t-теста упоређења прираста различитих колектива стабала са прирастом колектива стабала за негу (кандидати и стабла будућности) (** сигнификантне разлике уз α=0,999; *** сигнификантне разлике уз α=0,99).

³ Однос текућих прираста колектива индиферентних стабала и укупно свих стабала у односу на колектив стабала будућности у истом периоду.

⁴ Однос текућих прираста колектива стабала будућности, индиферентних стабала и укупно свих стабала у различитом периоду

стојине која значајније не одступа од периода када се изводе прве „комерцијалне“ прореди у Европи (Slodičák, Novák, 2003).

Етат, остварен у периоду од 33. до 40. године, је у категорији највиших износа запремине које су реализоване на појединим огледним површинама у младим састојинама (Stojanović, Krstić, 1984; Vučković et al., 1990; Orlić, 1999; Orlić et al., 1991), а прореди су највише јачине која се оквирно препоручује у литератури за сличну старост смрчевих култура (Halaj et al., 1986; Maunaga, 2001).

Почетни број кандидата за негу у 32. години (556 стабала по хектару) је у сагласности са бројем кандидата (512-616 по хектару) који наводи и Diaci (1994) при првој или другој прореди, у старости смрчевих састојина 33-44. године. Критеријум избора 311 стабала будућности по хектару у 40. години обухватио је и прирасну рекацију стабала на прореду и појаву оштећења од снеголома и ледолома у периоду 33-40. године. Избором почетно већег број кандидата за негу у 32. години је омогућен већи колектив „упоредивих“ индиферентних стабала са стаблима будућности у 40 години, у оквиру којих је рационално кандидовати (вршити замену) стабала за главни принос, јер се истраживана састојина налази у „осетљивој“ фази развоја на утицај снеголома и ледолома и у њој је повремено нарушаван успостављени континуитет дугорочних циљева неге (Слика 2). Поступак избора почетно већег броја кандидата за негу и њихова перманентна селекција при наредним проредима у складу је са природним процесима диференцирања стабала (Ferlin, Bobinac, 1999), а у условима снеголома и ветролома има посебан значај.

„Упоредиви“ колектив индиферентних стабала са стаблима будућности, чији је средњи пречник био већи од средњег пречника стабала после сече ($d > d_{sp}$), у 32. години био је двоструко већи, а у 40. години био је за 21,5% мањи, у односу на исти колектив стабала будућности (Табела 3). То указује да су се у периоду 33-40. године у састојини одвијали процеси интензивног диференцирања стабала, што је резултирало умањивањем њиховог прирасног потенцијала ако нису била под утицајем прореди или нису реаговала на прореду. Такође, одређен број кандидата (12,2%) и индиферентних стабала је изгубио функцију под утицајем снеголома и ледолома и био је посечен у другој прореди.

Резултати указују да спроведене јаке селективне прореди, почетно усмерене на већи број кандидата за негу у старости састојине која значајније не одступа од периода када се изводе прве „комерцијалне“ прореди, допринесе одржавању и унапређењу прирасног потенцијала значајног колектива индиферентних стабала после прореди. У периоду 41-50. године мањи текући прираст пречника, темељнице и запремине за 15-21% од прираста стабала будућности имало је 244 индиферентна стабла по хектару, што износи 78,5% од укупног броја стабала будућности у том периоду (311 стабала по хектару), у оквиру којих је рационално вршити замену стабала за главни принос у „осетљивој“ фази развоја на утицај ледолома. Јака селективна прореди у 32. години у истраживаној састојини одлучујуће је утицала на прирасни потенцијал стабала будућности, али и на значајан колектив индиферентних стабала. На основу наведеног се може сматрати да је наш скроман експеримент у примени две јаке селективне прореди после 18 година дао позитиван резултат и да има основа да се спроведу шира истраживања на примени јаке прореди у смрчевим културама у Србији. У складу са претходним резултатима у смрчевим културама на подручју Србије приказани резултати указују да се може објективно претпоставити да закасне ниске прореди, слабе до умерене јачине, не могу дати такве ефекте који се могу остварити јаким проредима. Савремено планирање у шумарству потребно је базирати на реалним информацијама о стању шумских екосистема (Vučković, Stajić, 2004), а у вези пројекције неге смрчевих култура у Србији савременом планирању газдовања потребно је прикључити и резултате нашег скромног експеримента.

ЗАКЉУЧЦИ

На основу анализе прирасног потенцијала различитих категорија стабала после две јаке селективне прореди у периоду 32-40. године и 41-50. године, у монокултури смрче изложеној ледоломима и снеголомима на подручју источне Србије, може се закључити следеће:

- Код свих стабала у периоду од 41-50. године већи је прираст пречника за 31%, темељнице за 64% и запремине за 67%, у односу на период од 32-40. године;

- Највећи текући прираст пречника, темељнице и запремине имају стабла будућности, према којима је приоритетно била усмерена прореда у 32. и 40. години;
- У односу на стабла будућности индиферентна стабла имала су мањи текући прираст пречника, темељнице и запремине у периоду од 33. до 40. године за 40-50%, а у периоду од 41. до 50. године за 39-53%;
- Код колектива индиферентних стабала (244 стабла по хектару), која су имала прсне пречнике веће од средњег пречника по темељници свих стабала после прореда ($d > d_{g,ps}$), мањи је текући прираст пречника, темељнице и запремине у периоду од 33. до 40. године за 10-15%, а у периоду 41-50. године за 15-21% од прираста стабала будућности, причему ове разлике нису сигнификантне;
- Почетни број кандидата за негу у 32. години износио је 556 стабала по хектару, у оквиру кога је при другој прореди у 40. години извршен избор 311 стабала будућности;
- Јаке селективне прореде, почетно усмерене на већи број кандидата за негу, у старости састојине која значајније не одступа од периода када се изводе прве „комерцијалне“ прореде, доприносе унапређењу прирасног потенцијала стабала будућности и значајног колектива индиферентних стабала, у оквиру којих је рационално вршити замену стабала за главни принос у „осетљивој“ фази развоја на утицај ледолома и снеголома.

Напомена: Овај рад је реализован у оквиру пројекта „Истраживање климатских промена на животну средину: праћење утицаја, адаптација и ублажавање“ (III43007) који финансира Министарство за просвету и науку Републике Србије у оквиру програма Интегрисаних и интердисциплинарних истраживања за период 2011-2014. године.

EFFECTS OF HEAVY THINNINGS ON THE INCREMENT AND SELECTION OF TREES FOR TENDING IN NORWAY SPRUCE MONOCULTURE IN NATURAL HAZARD CONDITIONS

dr Martin Bobinac, full professor, University of Belgrade, Faculty of forestry (martin.bobinac@sfb.bg.ac.rs)
 dr Siniša Andrašev, senior research associate, Institute of Lowland Forestry and Environment
 Msc Andrijana Bauer-Živković, PhD student, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet
 Msc Nikola Šušić

Abstract: The paper studies the effects of two heavy selection thinnings on the increment of Norway spruce trees exposed to ice and snow breaks in eastern Serbia. In a thinning that was carried out at 32 years of age, 556 candidates per hectare were selected for tending, and at the age of 40, of the initial candidates, 311 trees per hectare (55.9%) were selected as future trees.

In all trees at 41-50 age period, diameter increment was higher by 31%, basal area increment by 64% and volume increment by 67% compared to 32-40 age period. The collective of indifferent trees is significantly falling behind compared to future trees in terms of increment values in both observed periods. However, the value of diameter, basal area and volume increments, of the collective of “comparable” indifferent trees are lower in comparison to the values of increments of future trees by 10-15% in the 32-40 age period, and by 15-21% in the 41-50 age period and there are no significant differences.

The results show that heavy selective thinnings, initially directed at a larger number of candidates for tending at stand age that does not differ much from the period of carrying out first “commercial” thinnings, improve the growth potential of future and indifferent trees, where it is rational to do the tree replacement for the final crop in „susceptible” growth stage to snow and ice breaks.

Key words: *Picea abies* (L.) Karst., selective thinning, heavy thinning, increment, snow breaks, ice breaks

INTRODUCTION

In Serbia excluding Kosovo, Norway spruce cultures have been established on an area of 32,400 ha, *i.e.* 26.0% of the total area covered by conifer cultures (Banković *et al.*, 2009). A large number of these cultures typically had a spontaneous development in the first decades after the establishment. The first thinnings were usually carried out at the age when economically viable assortments were most likely to be obtained. Such a trend has also been a characteristic of other conifer cultures in Serbia and throughout Europe because late crown thinnings provide higher and more valuable cutting yields in the observed growth stage (Slodičák *et al.*, 2005).

Thinning approaches to spruce cultures in Serbia have been studied by a number of authors. These studies were mostly based on the analysis of the structure of untended stands or on the research results of initial state in experimental plots (Marković, Petrović, 1960; Vučković *et al.*, 1990; Dražić, 1994; Bjelanović, Vukin, 2010). Short-term thinning effects using different thinning methods and intensities are presented based on research on permanent experimental plots formed in 1972 by former Institute for silviculture at the Faculty of Forestry in Belgrade, on mountain range Povlen in western Serbia (Stojanović, Krstić, 1984). The effects of two heavy thinnings on the increment and stability of Norway spruce trees and stand have been treated on one permanent experimental plot in eastern Serbia (Bobinac, 2004).

Compared to other tree species, Norway spruce stands are very susceptible to breakages and uprooting, because of biological characteristics of the species (primarily fragile tree top and shallow root system). Such negative phenomena are more expressed in Norway spruce monocultures established in sites of deciduous tree species, and are more intensified after heavier canopy openings. Therefore, it was one of the reasons for insufficient application of crown thinnings in Norway spruce stands (Nilsson *et al.*, 2010; Walentin, Nilsson, 2014). The absence of thinning at an early age increases the tree slenderness but improves stem clearness. Thus, it follows that Norway spruce requires intensive thinning, *i.e.* it

should be implemented as early as possible, in shorter intervals and the intensity of interventions should be moderate (Mraček, Perez, 1986; Cameron, 2002). However, this method of Norway spruce culture management entails higher felling costs and thinner assortments of small economic value. Recent results of several decade long research on permanent experimental plots in Norway spruce stands in which crown selective thinnings were carried out at early age show that this approach has primarily intensified diameter growth of trees after the thinning, especially of future trees which have been the primary tending objects. This approach further contributes to the rapid increase in their size and thus to the shortening of the production cycle. It also reduced their slenderness and thus increased the stability of the remaining trees after thinning (Slodičák, Novák, 2003; 2010, Nilsson *et al.*, 2010; Štefančík, 2012). Furthermore, the results of long-term research on the effects of thinning in Norway spruce cultures generally show that stands respond positively to thinning, regardless of their age at the time of commercial thinnings (Mäkinen, Isomäki, 2004a; 2004b). However, not only delayed thinnings of heavy intensity produce weak reactions of the remaining trees and so significantly smaller volume increments per hectare, but they also increase the instability of stands several years after thinning (Nilsson *et al.*, 2010). In areas where unfavourable exogenous influences (ice and snow breaks) occur, a special problem of selective thinning application is identified in assuring the continuity of long-term tending goals for selected final crop trees. Therefore, in ice and snow break conditions, for selective thinning application, an important question is tied to the selection of trees for tending which is the basis for different selective thinning approaches. The approach introduced by Schädelin (1934), and additionally justified by Leibundgut (1966) is based on permanent selection of trees during stand development, where from initially wider base of candidates for tending, gradually, a final selection is made. Another approach for the selection of trees for tending in selective thinning is directed to targeted trees which are selected in the first thinning and are tended to the end of rotation.

This approach is based on tending rationalization, and in European forestry a number of specific approaches were developed, with special characteristics for some tree species: selective thinning by Abetz and Johann, Schütz, Altherr (Vučković, Stajić 2004; Kotar, 2005). In selective thinning the approach is based on target trees, the replacement of future trees in snow and ice break conditions, as well as trees that did not have a successful reaction to thinning, is possible if there are trees with good vitality and quality which reacted to thinning in their close surrounding. According to Kotar (2005), the replacement of trees for tending is more successful if the stands were more intensively tended in the previous period.

The effects of thinnings verified in permanent experimental plots define the silvicultural treatment of the forest stands in a certain area. They are particularly significant if experimental plots are located in areas with adverse exogenous impacts (ice and snow breaks). Research conducted by Valinger, Pettersson (1996) in permanent experimental plots in Norway spruce cultures of the stand age of 24-25 years suggest that the largest relative number of damaged trees due to snow and wind is registered in control plots and in the first period after extremely heavy thinnings (over 40% of basal area). According to these results, unfavourable terrain position and keeping of dense cultures has the strongest influence on increasing the risk of snow and wind damage. Norway spruce stands are the most susceptible in age classes II and III since they were left to spontaneous development and first thinnings were delayed (Mraček, Perez, 1986; Valsta, 1992; Slodičák et al., 2005).

Some experiences with damage caused by catastrophic natural hazards (ice breaks) in Serbia suggest that stand management activities do not have significant effects on the damage extent, but the damage extent is bigger in conifer cultures compared to autochthonous deciduous tree species in a specific area (Stojanović, 1986). Damage caused by natural hazards in forests in Serbia is increasing, and they may be partly linked to global climate change according to Ranković et al., (2016). In addition, some forest management activities can have a noticeable influence on forest

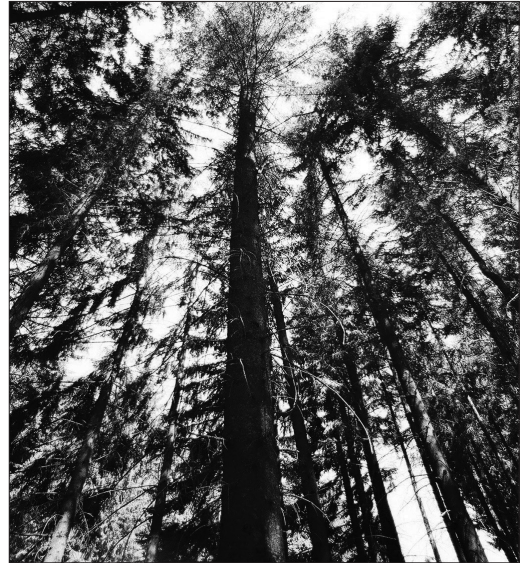
susceptibility to disturbances (Schuck, Schelhaas, 2013).

In this paper, we analyzed the effects of two heavy selective thinnings on the tree and stand increment on a permanent experimental plot in a Norway spruce monoculture exposed to snow and ice breaks in Serbia. Procedure of tree selection for tending and for the final crop defines the continuity of established tending goals which are (changeable) variable in snow and ice breaks conditions. Therefore, the aim of this paper is directed towards the analysis of the growth potential of different tree categories in the applied procedure of selection of trees for tending, i.e. final crop in ice break conditions.

MATERIALS AND METHODS

The experiment

The research was conducted in a Norway spruce culture on Velika Brezovica of the Kučaj mountain range in northeastern Serbia (MU Bogovina I, compartment 87a) at 870 m above sea level with southern and southwestern aspects and an inclination of 5°. Norway spruce is not a part of the natural composition of the forest communities in the study area, which is dominated by mountain beech forests. The culture was established by afforestation of pasture on the site which is not suitable for spruce due to periodic ice and snow breaks. It was established by dense planting (2x1 m) and according to available data from the management records it had not been thinned before the age of 32. At the end of 1994 (culture aged 32 years), a permanent experimental plot (15x30 m) was established in a densely closed part of the stand where 176 trees were measured and the first thinning was carried out. The second tree measurement and the second thinning were carried out in the permanent experimental plot at the age of 40, and the third measurement, when 48 trees were measured, was carried out at the end of 2012 when the culture was 50 years old. The appearance of trees and the stand in a permanent experimental plot in 50 years culture age is shown in Figure 1.



Picture 1. Stand appearance (left) and crown structure of the trees in the surrounding of a future tree (right) on a permanent experimental plot in 50 years old culture (Photo: M. Bobinac, april, 2013)

The selection of trees for tending

In the experimental plot, two heavy selective thinnings were carried out using the procedure described by *Schädelin (1934)*. At the age of 32, candidates for tending were selected in the upper storey and first selective thinning was conducted. The aim of the thinning was to influence the development and stability of the trees that are characterized by best vitality and quality in a critical period when the stand is most susceptible to snow breaks. The initial number of candidates for tend-

ing was 556 per hectare, and it was approximated using the yield table by Schwapach for the stand age of 80 years and site class I (*Nikolić, Banković, 2009*). The studied culture is characterized by a large number of good quality trees and a high productivity, so the production of sawmill roundwood, while acquiring stand stability in a shorter rotation, can be set as a management goal. At the stand age of 40, of the initial 556 candidates, 311 future trees per hectare (55.9%) were selected, 67 trees (12.1%) were felled during the thinning and 178 trees (32.0%) were declared indifferent (Diagram 1).

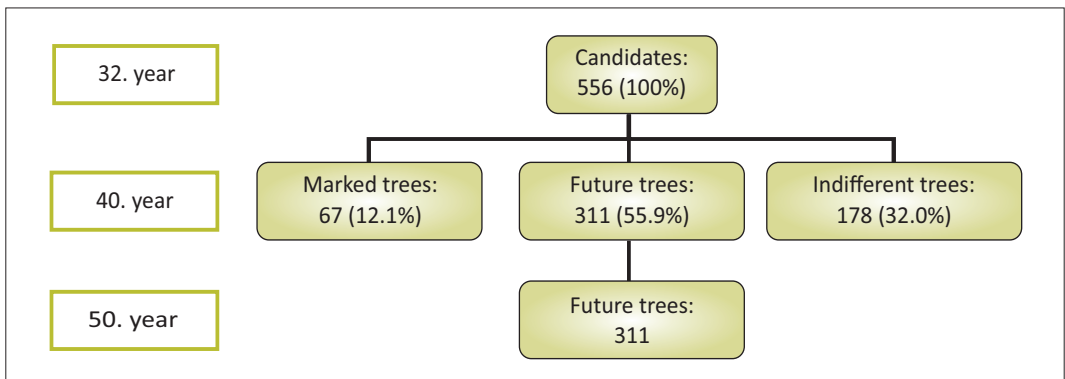


Diagram 1. The evolution of tree selection for tending in 32-50 stand age period on the experimental plot

The initial selection of a larger number of candidates was applied in conditions of unfavourable stand position in the terrain and the occasional occurrence of snow and ice breaks when the tree tops were broken in the dominant storey, thus preventing the achievement of long-term goals of stand tending. In the second thinning in 40 years of the stand age the selection of future trees was

based and on the growth increment reaction of the candidates after the thinning in 32nd year and snow and ice damage which occurred on a small scale in the 33-40 age period. The damage due to a more severe ice break occurred in the beginning of 2013 was expressed in the less thinned parts of the stand while in the experimental plot, mainly tree tops were broken in a 3-6m length (Figure 2).



Picture 2. The effect of a more severe ice break at the beginning of 2013. in a less thinned part of the stand (left) and in the experimental plot (right) in 50 years stand age (Photo: M. Bobinac, april, 2013)

Data collection and processing

In the experimental plot, at culture age of 32, 40 and 50 years, two cross diameters with an accuracy of 1 mm were measured for all trees. In order to construct height curves, tree heights were measured. Height curves were smoothed using Michailoff's function, $h = a \cdot e^{-b/d} + 1.30$. Tree volume was determined using Norway spruce volume tables by *Baur (1890)* with the following analytical form: $V = 0.00007 \cdot d_{1.3}^{2.05363} \cdot h^{0.70952}$ (1971). The volume of the trees that were damaged or died between two thinnings was determined based on their

diameters and heights at the beginning of the study period.

Different "functional" collectives of trees were selected in the stand: trees for tending (candidates and future trees), marked trees and indifferent trees. For the numerical characterization of the thinnings, the ratio of the quadratic mean diameter of the trees marked for felling to the mean diameter of the trees that remained after the thinning i.e. q_d ratio was used (*Pretzsch, 2005*). A special collective of marked trees which are characterized by a higher mean diameter value compared to trees that remained after the thinning ($d_{g,mar} > d_{g,rem}$) in the stand was defined, with coefficient $q_d > 1$.

The thinnings effects are shown for tree tending collective and for indifferent trees collective. Within indifferent trees collective, a new collective of indifferent trees "comparable" to future trees was derived, whose breast height diameters are higher than stand mean diameter after the thinning ($d > d_{g,rem}$). Another collective of all the rest indifferent trees was derived.

To define the effects of thinning, we compared the current increments of diameter (i_d), basal area (i_g) and volume (i_v) for the same tree collective, in the 33-40 age period and the 41-50 age period. The t-test was used to test the differences between the current increments of studied tree collectives in different periods (Hadživuković, 1973).

The list of used designations in the paper is presented in Table 1.

Table 1. The list of used designations

Designation	Meaning
N	Number of trees per hectare
G	Basal area per hectare
V	Volume per hectare
d_g	Stand quadratic mean diameter
$d_{g,mar}$	Marked trees quadratic mean diameter
$d_{g,rem}$	Quadratic mean diameter of trees that remained after the thinning
$d_{g,ft}$	Quadratic mean diameter of future trees collective
$d_{g,c}$	Quadratic mean diameter of candidates trees collective
h_L	Lorey's mean height
i_d	Current diameter increment of the mean tree of a specific collective
i_g	Current basal area increment of the mean tree of a specific collective
i_v	Current volume increment of the mean tree of a specific collective
q_d	Thinning coefficient

RESULTS

Thinning characteristics

The main goal of applied thinnings was to affect the development of trees for tending (candidates and future trees) that belonged to the category of trees with good vitality and quality in the upper storey. In the first thinning that was carried out in the 32nd year of age, 1,378 trees were cut per hectare (35.2%), with a volume of 115.1 $m^3 \cdot ha^{-1}$. In the period from the age of 32 to the age of 40 years, 555 thin trees per hectare were felled due to mortality, snow breaks and ice breaks (14.2%). Their volume was 22.0 $m^3 \cdot ha^{-1}$. From the initial number of trees recorded in 32nd year, 1,933 trees per hectare (49.4%) were felled with a total volume of 137.1 $m^3 \cdot ha^{-1}$ (35.9%). The thinning that was carried out at the age of 40 included 911 trees per hectare (46.1%) that were felled down with the volume of 142.3 $m^3 \cdot ha^{-1}$ (33.7%).

The two thinnings and the subsequently felled thin trees in the experimental plot in the period from the age of 33 to 40 years included 2,844 trees per hectare (72.7%) with the volume of 279.4 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Based on the ratio between the quadratic mean diameter of the trees harvested in the thinning and the remaining trees at the ages of 32 and 40, the thinnings were low ($q_d = 0.83-0.80$) and based on the percentage decrease in basal area (35-37%) and volume (34-36%), they were heavy thinnings (Table 2).

In the structure of felled trees in 32nd and 40th year of age, the trees that had their mean diameter higher than the mean diameter of trees after the thinnings ($q_d > 1$) had the greatest influence on trees that remained after the thinnings (Table 3).

In the structure of thinning that was carried out in the 32nd year of age, there were 378 (27.4%) trees per hectare whose mean diameter was higher than the mean diameter of trees after the felling ($q_d > 1$), and they accounted for 51.4 to 54.8% of total basal area and volume that was cut during the thinning. Having in mind that selective thinning method is used, when the total number of trees and basal area of previously mentioned trees is put in the ratio with the trees for tending,

Table 2. Numerical stand elements in 32nd, 40th and 50th year of age

Age	Total	Future trees	Marked trees	Mortality	Indifferent trees
<i>N[trees·ha⁻¹]</i>					
32	3,911	311	1,378	555	1,667
40	1,978	311	911	-	756
50	1,067	311	-	-	756
<i>G[m²·ha⁻¹]</i>					
32	57.39	8.71	17.48	3.78	27.42
40	50.25	13.20	17.62	-	19.43
50	52.87	22.32	-	-	30.55
<i>V[m³·ha⁻¹]</i>					
32	384.17	62.34	115.13	21.97	184.73
40	424.75	118.90	142.28	-	163.57
50	539.72	238.04	-	-	301.68
<i>d_g[cm]</i>					
32	13.7	18.9	12.7	9.3	14.5
40	18.0	23.2	15.7	-	18.1
50	25.1	30.2	-	-	22.7
<i>h_i[m]</i>					
32	14.0	15.1	13.7	11.8	14.1
40	19.1	20.5	18.1	-	19.0
50	24.3	25.4	-	-	23.3

Table 3. Numerical elements of different trees collectives in 32nd, 40th and 50th year

Element	32 nd year			40 th year			50 th year				
	Trees for tending		Indifferent trees	Marked trees	Trees for tending		Indifferent trees	Marked trees	Trees for tending		Indifferent trees
	Candidates	Future trees	(<i>d</i> > <i>d</i> _{g,rem})	(<i>d</i> > <i>d</i> _{g,rem})	Future trees	(<i>d</i> > <i>d</i> _{g,rem})	(<i>d</i> > <i>d</i> _{g,rem})	Future trees	(<i>d</i> > <i>d</i> _{g,rem})	Future trees	(<i>d</i> > <i>d</i> _{g,rem})
<i>N</i> [trees·ha ⁻¹]	556	311	622	378	311	244	111	311	244		
<i>G</i> [m ² ·ha ⁻¹]	13.09	8.45	14.30	8.98	12.95	9.26	4.06	22.32	15.19		
<i>V</i> [m ³ ·ha ⁻¹]	91.90	60.21	100.03	63.05	116.27	82.07	35.81	238.04	158.48		
<i>d_g</i> [cm]	17.3	18.6	17.1	17.4	23.0	22.0	21.6	30.2	28.1		
<i>q_d</i>				1.14			1.10				

it can be concluded that in the 32nd year, on average, 0.68 trees that had a mean diameter of $1.01 \cdot d_{g,c}$ were felled for every tree from 556 initial candidates i.e. 1.21 trees with a mean diameter of $0.93 \cdot d_{g,ft}$ were felled for every of 311 future trees ($q_d=1.14$).

In the thinning structure in the 40th year of stand age, 111 (12.2%) trees had a mean diameter higher than the mean diameter of trees after the felling ($q_d > 1$). These trees accounted for 23.0-25.2% of basal area and volume that was cut during the thinning. When number of trees and basal area of previously mentioned 111 trees is put in the ratio with the number of trees and basal area of future trees, it can be concluded that on average, 0.36 trees with a mean diameter of $0.94 \cdot d_g$ were felled for every of 311 future trees ($q_d=1.10$).

These results show that, in the part of marked trees collective that had diameters at breast height higher than the mean diameter of trees that remained after the thinning ($d > d_{g,rem}$), the thinning carried out in 32nd year was characterized by two times heavier intensity towards the trees for tending, compared to the thinning carried out in the 40th year. Not only the thinning carried out in 32nd year had a direct impact on future trees, yet it had the same effect towards the collective of indifferent trees which arose from the candidates collective in the 33-40 age period. Because of the thinning method, the indifferent trees were not under a direct influence of thinning, but under "indirect" influence because the trees that were cut during the thinning were to a certain extent competitors to indifferent trees.

The effects of thinnings on the increment of different collectives of trees

The trees that remained after the thinning (1,978 trees per hectare) achieved, on average, the current volume increment of $22.21 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ in the 33-40 age period and $25.73 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ in the 41-50 age period (1,067 trees per hectare). In the current volume increment, the 311 future trees per hectare (15.7% of the total number of trees) accounted for 32% in the 33-40

age period. In the 41-50 age period the same trees (now 29.1% of the total number of trees) accounted for 46% of the total current volume increment.

In all trees in the 41-50 age period, diameter increment was higher by 31%, basal area increment by 64% and volume increment by 67% compared to the 32-40 age period. The future trees had the highest values of diameter, basal area and volume increments and the thinnings the 32nd and 40th years were primarily directed towards these trees. Compared to the future trees, the indifferent trees had lower values of diameter, basal area and volume increments, in the 33-40 age period by 40-50% and in the 41-50 age period by 39-53%. The differences were highly significant (Table 4.)

However, the collective of indifferent trees (244 trees per hectare), that had diameters at breast height higher than the quadratic mean diameters of all trees after the thinning ($d > d_{g,rem}$), had lower values of diameter, basal area and volume increments in the 33-40 age period by 10-15%, and in the 41-50 age period by 15-21% compared to the values of increments of future trees. The increment values of "comparable collectives" (future trees and indifferent trees) are not significantly different in both periods, when the same collectives are observed. However, they do differ in the 33-40 age period if increment values of future trees and indifferent trees ($d > d_{g,rem}$) are compared having in mind the number of trees in that period. That means that the collective of the same indifferent trees in both periods follows the increment values of future trees in absolute amount with the tendency of falling behind in the 41-50 age period.

Future trees in the 41-50 age period have higher diameter increment by 29%, while indifferent trees collective ($d > d_{g,rem}$) have higher diameter increment by 23% compared to the 33-40 age period. However, in the 41-50 age period all indifferent trees have higher diameter increment by 32%, and indifferent collective trees ($d < d_{g,rem}$) have a higher increment by 40% compared to the 33-40 age period. This indicates that thinner trees had a relatively more intensive reaction to the second thinning compared to future trees (Table 4).

Table 4. Mean values of current diameter, basal area and volume increments of different collectives of trees in the stand

Tree category	n trees/ EP	33-40 age period				41-50 age period				33-40 age period				41-50 age period.			
		i_d	i_g	i_v		i_d	i_g	i_v		i_d	i_g	i_v		i_d	i_g	i_v	
		$[cm \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$	$[cm^2 \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$	$[dm^3 \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$		$[cm \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$	$[cm^2 \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$	$[dm^3 \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$		$[dm^3 \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$	$[dm^3 \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$	$[dm^3 \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$		$[dm^3 \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$	$[dm^3 \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$	$[dm^3 \cdot tree^{-1} \cdot year^{-1}]$	
Future trees	14	0.55	18.07	22.53	0.71	30.12	39.14		1.00 ³	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Indifferent trees, $d > d_{g,rem}$	11 (28) ¹	0.49 (0.42 ^{**})	15.34 (12.56 ^{***})	19.28 (15.82 ^{***})	0.61	23.83	30.80		0.90	0.85	0.86	0.85	0.85	0.86	0.85	0.79	0.79
Indifferent trees, $d < d_{g,rem}$	23 (47)	0.25 ^{***2} (0.18 ^{***})	6.09 ^{***} (4.04 ^{***})	7.52 ^{***} (5.07 ^{***})	0.35 ^{***}	10.37 ^{***}	12.30 ^{***}		0.52	0.40	0.39	0.59	0.40	0.39	0.59	0.43	0.40
Indifferent trees	34 (75)	0.33 ^{***} (0.27 ^{***})	9.09 ^{***} (7.22 ^{***})	11.32 ^{***} (9.08 ^{***})	0.44 ^{***}	14.72 ^{***}	18.28 ^{***}		0.60	0.50	0.50	0.61	0.49	0.50	0.61	0.49	0.47
All trees	48 (89)	0.39 (0.31)	11.71 (8.93)	14.59 (11.20)	0.52	19.22	24.37		0.72	0.65	0.65	0.73	0.64	0.65	0.73	0.64	0.62

¹ Values in the brackets refer to the collective of trees in the first period (33-40 age period)

² The results of t-test when comparing increments of different collectives of trees with trees for tending collective (candidates and future trees)

(** significant at $\alpha=0.999$, * significant at $\alpha=0.99$)

³ The ratio of current increments of indifferent trees collective and of all trees compared to the future trees collective in the same period

⁴ The ratio of current increments of future trees collective, indifferent trees and all trees in different periods

DISCUSSION

This paper presents the research results of applying heavy selection thinnings on a permanent experimental plot in a period of nearly two decades in a Norway spruce monoculture on an unfavourable terrain position exposed to ice and snow breaks in eastern Serbia. The defined stand growth elements show that the stand can be selected in a category of the best artificially established Norway spruce stands in Serbia (Bobinac, 2004). Total volume increment of the stand until the 40th year amounted to 561.85 m³·ha⁻¹, and 819.1 m³·ha⁻¹ until the 50th year of age.

The first thinning carried out in the 32nd year in a manner described by Schädelin (1934) was low ($q_c=0.83$) and heavy (volume thinning intensity over 30%). The thinning was carried out at the stand age that does not differ significantly from the age of carrying out the first "commercial" thinnings in Europe (Slodičák, Novák, 2003).

The yield attained in period from the 33rd to 40th year is in a category of the highest yields realized in some experimental plots in young stands (Stojanović, Krstić, 1984; Vučković et al., 1990; Orlić, 1999; Orlić et al., 1991) and the thinnings are of the heaviest intensity approximately recommended in literature for similar stand age (Halaj et al., 1986; Maunaga, 2001).

The initial number of candidates for tending in the 32nd year (556 trees per hectare) is in compliance with the number of candidates shown by Diaci (1994) for the first or second thinning in Norway spruce stand age of 33-44 years. The criteria for selection of 311 future trees per hectare in the 40th year included growth increment reaction of trees to thinning and the occurrence of snow and ice breaks in the 33-40 age period. The selection of a larger initial number of trees for tending in the 32nd year allowed larger collective of "comparable" indifferent trees with future trees in the 40th year. Within this collective, it is rational to candidate (replace) the final crop trees, because the stand is in a "susceptible" phase of development to snow and ice breaks which occasionally disturbed the established continuity of long-term tending goals (Figure 2). The procedure of selection of an initially larger number of candidates for tending and permanent se-

lection of these trees in the next thinnings is in compliance with the processes of natural differentiation of trees (Ferlin, Bobinac, 1999), and in snow and ice break conditions it is particularly important.

The collective of trees that is "comparable" with future trees whose mean diameter was higher than the mean diameter of trees after felling ($d > d_{g,rem}$) in the 32nd year was two times larger, and in the 40th year it was smaller by 21.5% compared to the same collective of future trees (Table 3). This indicates that the processes of intensive tree differentiation occurred in the stand in the 33-40 age period. This resulted in a lower growth increment potential if the trees were not affected by thinning or they did not react to thinning. In addition, a certain number of candidates (12.2%) and indifferent trees lost their function under the influence of snow and ice breaks, and these trees were felled in the second thinning.

The results show that heavy selective thinnings, initially directed to a larger number of candidates for tending in a stand age that does not significantly differ from the age when the first "commercial" thinnings are carried out, contribute to maintaining and improving the growth increment potential of an important collective of indifferent trees after thinnings. A total of 244 indifferent trees per hectare had their current diameter, basal area and volume increments lower by 15-21% in the 41-50 age period. That amounts to 78.5% of the total number of future trees in that period (311 trees per hectare). Within these trees it is rational to replace trees for a final crop in a "susceptible" phase to ice breaks. The heavy selective thinning in the 32nd year in the investigated stand had crucial impact on the growth increment potential of future trees, but it also had such an impact on prevailing collective of indifferent trees. On the basis of the above, it can be concluded that our modest experiment in applying two heavy selection thinnings after 18 years gave a positive result and that there are prerequisites for a wider research about applying heavy selective thinnings in Norway spruce cultures in Serbia. In compliance with previous results in Norway spruce cultures in Serbia, the shown results indicate that it can be assumed that late low thinnings, light to moderate intensi-

ty, cannot have such an effect that can be maintained by using heavy thinnings. Modern planning in forestry should be based on real information about the state of forest ecosystems (Vučković, Stajić, 2004), and when having in mind the projection of Norway spruce cultures tending in Serbia, the results of our modest experiment should be incorporated in forest management.

CONCLUSIONS

Based on the analysis of the growth increment potential of different categories of trees after two heavy selective thinnings in the 32-40 age period and the 41-50 age period, in a Norway spruce monoculture exposed to ice and snow breaks in eastern Serbia, we can conclude the following:

- In all trees in the 41-50 age period, diameter increment was higher by 31%, basal area increment by 64% and volume increment by 67% compared to the 32-40 age period;
- Future trees have the highest values of diameter, basal area and volume increments, and the thinnings in the 32nd and 40th years of stand age were primarily directed to these trees;
- Compared to future trees, indifferent trees had lower values of current diameter, basal area and volume increments by 40-50% in the 33-40 year age period, and by 39-53% in the 41-50 age period;
- The collective of indifferent trees (244 trees per hectare) that were characterized by diameters at breast height that were higher than the quadratic mean diameter of all trees after the thinning ($d > d_{g,rem}$), had 10-15% lower current diameter, basal area and volume increments in the 33-40 age period and 15-21% in the 41-50 age period compared to the increments of future trees. These differences were not significant;
- The initial number of candidates for tending in the 32nd year was 556 trees per hectare. Within this number of trees, 311 future trees were selected in the thinning that was carried out in the 40th year;

- Heavy selective thinnings, initially directed to a larger number of candidates for tending, at a stand age that does not differ significantly from the age when the first "commercial" thinnings are carried out, contributes to the improvement of the growth of increment potentials of future trees and are an important collective of indifferent trees in which it is rational to replace the trees for the final crop in "susceptible" development phase to ice and snow breaks.

Acknowledgement: *This paper was realized as a part of the project "Studying climate change and its influence on the environment: impacts, adaptation and mitigation" (43007) financed by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia within the framework of integrated and interdisciplinary research for the period 2011-2016.*

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Banković S., Medarević M., Pantić N., Petrović N. (2009): *Nacionalna inventura šuma Republike Srbije: šumski fond Republike Srbije*, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije – Uprava za šume, Beograd (244)
- Bjelanović I., Vukin M. (2010): *Prorede u veštački podignutim sastojinama duglazije, smrče, crnog i belog bora na području Majdanpečke domene*, Šumarstvo 1-2, UŠITS, Beograd (79-93)
- Bobinac M. (2004): *Efekti selektivne prorede u veštački podignutoj sastojini smrče*, Glasnik Šumarskog fakulteta 89, Šumarski fakultet- Univerzitet u Beogradu, Beograd (63-75)
- Cameron A. D. (2002): *Importance of early selective thinning in the development of long-term stand stability and improved log quality: a review*, Forestry 75 (25-35)
- Diaci J. (1994): *Daueruntersuchungen der Auslese-durchforstung von künstlichen Fichtenbeständen in den Savinja Alpen*, Deutscher Verband forstlicher Forschungsanstalten. Forstliche Biometrie und Informatik 7, Tagung, Ljubljana-Grosuplje (105-121)

- Dražić M. (1994): *Uzgojno-biološki i ekonomski značaj proreda u šumskim kulturama*, U: M. Dražić (ur.), *Uzgojno-biološki i ekonomski značaj proreda u šumskim kulturama i mladim šumama*, Zbornik radova sa zaključcima savetovanja, JP Srbijašume, Beograd (9-38)
- Ferlin F., Bobinac M. (1999): *Natürliche Strukturentwicklung und Umsetzungsvorgänge in jüngeren, ungepflegten Stieleichenbeständen*, Allg. Forst-u. J.- Ztg., 170. Jg., 8. (137-142)
- Halaj J., Grék J., Pánek F., Petráš R., Řehák J. (1986): *Percentá prebierok pre hlavne dreviny*, Lesnícke studie 40, Vyskumny ustav lesneho hospodarstva vo Zvolene, Priroda, Bratislava (98)
- Hadživuković S. (1973): *Statistički metodi sa primenom u poljoprivrednim i biološkim istraživanjima*, Radnički univerzitet „Radivoj Čirpanov“, Novi Sad (482)
- Kotar M. (2005): *Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah*, ZGDS i ZGS, Ljubljana (500)
- Leibundgut H. (1966): *Die Waldpflege*, Haupt Verlag, Bern (192)
- Mäkinen H., Isomäki A. (2004a): *Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees*, Forest Ecology and Management 201 (295-309)
- Mäkinen H., Isomäki A. (2004b): *Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland*, Forestry, 77 (349-364)
- Marković Lj., Petrović D. (1960): *Nega šuma u Srbiji*, Poljoprivredno šumarska komora NR Srbije, Zadržna knjiga, Beograd (494)
- Maunaga Z. (2001): *Prinosne tablice za jednodobne sastojine smrče u Bosni (Yield tables for even aged spruce stands in Bosnia)*, Šuma 2, Sokolac (5-24)
- Mráček Z., Pařez J. (1986): *Přetování smrku*, Státní zemědělske nakladatelství, Praha (203)
- Nikolić S., Banković S. (2009): *Tablice i tehničke norme u šumarstvu*, J. Milanović (ur.), Zavod za udžbenike, treće izdanje, Beograd (257)
- Nilsson U., Agestam E., Ekö P.M., Elfving B., Fahlvik N., Johansson U., Karlsson K., Lundmark T., Wallentin C. (2010): *Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden – Effects of different thinning programmes on stand level gross- and net stem volume production*, Studia Forestalia Suecia 219 (46).
- Orlić S. (1999): *Drugi proredni zahvat, produkcija biomase i njezin kemizam u kulturi obične smreke „Velika buna“*, Radovi, Šumarski institut Jastrebarsko 34 (2), Zagreb (39-51)
- Orlić S., Komlenović N., Rastovski P., Ocvirek M. (1991): *Prvi proredni zahvat, produkcija biomase i njezin kemizam u kulturi obične smreke (Picea abies Karst) „Velika buna“*, Radovi, Šumarski institut Jastrebarsko, 26 (1), Zagreb (77-93)
- Pretzsch H. (2005): *Stand density and growth of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) and European beech (Fagus sylvatica L.): evidence from long-term experimental plots*, Eur J Forest Res, 124 (193–205)
- Ranković N., Nedeljković J., Zlatić M., Stanišić M., Nonić D. (2016): *Kretanje obima šteta od prirodnih nepogoda u šumama Srbije i uticaj temperature i padavina*, Glasnik Šumarskog fakulteta 114, Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd (201-218)
- Schädelin W. (1934): *Die Durchforstung als Auslese und Veredelungsbetrieb höchster Wertleistung*, Verlag Paul Haupt, Bern, Leipzig (96)
- Slodičák M., Novák J. (2003): *Thinning experiments in Norway spruce stands after 40 years of investigation – 1st series*, Journal of Forest Science, 49 (2) (45-73)
- Slodičák M., Novák J. (2010): *Evaluation of long-term experiments with thinning of Norway spruce stands*, DVFFA – Sektion Ertragskunde, Beiträge zur Jahrestagung 2010; herausgegeben von J. Nagel (44-48)
- Slodičák M., Novák J., Skovsgaard J.P. (2005): *Wood production, litter fall and humus accumulation in a Czech thinning experiment in Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.)*, Forest Ecology and Management, 209 (157-166)
- Stojanović Lj., Krstić M. (1984): *Rezultati istraživanja najpovoljnijih mera nege putem seča proreda na razvoj kultura smrče na Maglešu*, Šumarstvo 1-2, UŠITS, Beograd (3-20)
- Stojanović Lj. (1986): *Problem u vezi nastanka šteta u šumama od elementarne nepogode u novembru 1985. godine na području zapadne Srbije*, Šumarstvo 5-6, UŠITS, Beograd (51-60)

- Schuck A., Schelhaas M.J. (2013): *Storm damage in Europe - an overview*, In: Gardiner B., Schuck A., Schelhaas M.J., Orazio C., Blennow K., Nicoll B. (Eds.), *Living with Storm: Damage to Forests*, EFI Series What Science Can Tell Us 3, European Forest Institute, Joensuu (15-23)
- Štefančík I. (2012): *Development of spruce (Picea abies [L.] Karst.) target (crop) trees in pole-stage stand with different initial spacing and tending regime*, *Journal of Forest Science*, 58 (10) (456-464)
- Valinger E., Pettersson N. (1996): *Wind and Snow damage in a thinning and fertilization experiment in Picea abies in southern Sweden*. *Forestry* 69, (25-33)
- Valsta L. (1992): *An optimization model for Norway spruce management based on individual-tree growth models*, *Acta Forestalia Fennica* 232, 20 s.
- Vučković M., Stajić B. (2004): *Zadaci i značaj istraživanja rasta i proizvodnosti šuma za ekologiju i šumarstvo*, *Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci*, broj 1, Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Banja Luka (15-35)
- Vučković M., Stamenković V., Stojanović Lj., Krstić M., Tošić M. (1990): *Razvojno proizvodne karakteristike i predlog mera nege veštački podignutih sastojina molike, crnog bora i smrče na staništu planinske bukve (Fagetum montanum silicicolum)*, U: V. Stamenković (ur.), *Unapređenje šuma i šumarstva regiona Titovo Užice*, 2, Šumarski fakultet, Beograd (103-120)
- Wallentin C., Nilsson U. (2014): *Storm and snow damage in a Norway spruce thinning experiment in southern Sweden*, *Forestry*, 87 (229–238)
- ...(1971): *Tablice iz dendrometrije i uređivanja šuma*, D. Belić (ur.), treće prošireno izdanje, Beograd (132)

