

UDK 630*2(497.113 Subotička peščara)
Оригинални научни рад
<https://doi.org/10.2298/GSF2225027A>

ПРОУЧАВАЊЕ СТРУКТУРЕ САСТОЈИНА БАГРЕМА И АМЕРИЧКОГ КОПРИВИЋА У СУБОТИЧКО-ХОРГОШКОЈ ПЕШЧАРИ И ПРЕДЛОГ УЗГОЈНИХ МЕРА У ЦИЉУ УНАПРЕЂЕЊА ЊИХОВОГ СТАЊА

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

Др Мартин Бобинац, редовни професор, Универзитет у Београду, Шумарски факултет

МSc Никола Шушић, истраживач-сарадник, Универзитет у Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања

Извод: У раду се анализирају елементи структуре и даје предлог узгојних мера за унапређење стања у састојини багрема (*Robinia pseudoacacia* L.) и америчког копривића (*Celtis occidentalis* L.) старости 28 година у Суботичко-Хоргошкој пешчари. Истраживања су вршена на три трајне огледне површине на којима је на две површине експериментално извршена селективна прореда (Т1 и Т2), док је једна површина контролна (К). Почетно је кандидовано 528 стабала за негу по хектару у проучаваној старости, од чега је на Т1 издвојено 448 стабала багрема и 80 стабала америчког копривића по хектару, а на Т2 320 стабала багрема и 208 стабала америчког копривића по хектару. На површинама Т1 и Т2 сваком стаблу за негу посечен је најмање један конкурент, а укупно је посечено 912 и 1.072 стабала по хектару са укупном запремином $53\text{--}55\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. На овај начин створена је основа за оцену прирасне реакције стабала на селективну прореду у наредном периоду.

Кључне речи: селективна прореда, стабла за негу, алохтоне врсте дрвећа, субспонтано ширење америчког копривића

УВОД

Подручје Суботичко-Хоргошке пешчаре на територији општине Суботица, карактеришу јединствене еколошке прилике. Услови песковите геолошке подлоге заталасаног динског рељефа, разноврсних земљишта и посебног режима подземних вода, који условљавају специфичан мозаик екосистема и станишта, уз висок степен разноврсности биљних заједница, као и значајно богатство фауне, овом подручју даје изузетне предеоне одлике. Највећи део комплекса шума је настао под непосредним антропогеним утицајем током последња два

века као мера заштите становника и обрадивог земљишта овог подручја од еолске ерозије (Pavićević, Stankević, 1962, Šijak, 1980). Песковито земљиште спада у нестабилно, а успостављањем биљног покривача од различитих врста дрвећа постигнута је његова одређена стабилност. Међутим, само успостављањем трајних шумских екосистема у пуној мери ће се задовољити остваривање њихове заштитне, социјалне и производне функције.

Крајем XVIII века започети су радови на везивању песка са врстама дрвећа које имају

брз раст, као што су: врбе, тополе, липе, багрем и кисело дрво. Почетно оснивање шумских састојина вршено је са мањим или већим успехом, због неадекватног избора врсте дрвећа или неодговарајуће технике оснивања, а прекретницу представља 1870. година када се започело са уношењем багрема уз претходно риголовање терена углавном на сиво-жутом песку, где се није одржала ниједна коришћена врста дрвећа. После Првог светског рата постепено је приоритет у пошумљавању дат црном бору (Peruničić, 1956).

У 1969. години багрем је био најзаступљенија врста дрвећа на простору Суботичко-Хоргошке пешчаре, заузимајући површину од 2.450 *ha* (75%) од око 3.500 *ha* шума и шумских култура. Од осталих врста биле су заступљене тополе на 470 *ha* и црни бор на око 500 *ha*, затим храст (лужњак и цер) на 42 *ha* и остали лишћари на око 140 *ha* (Šijak, 1980).

У доступној литератури не помиње се планско, вештачко уношење америчког копривића на простор Суботичко-Хоргошке пешчаре. Амерички копривић (*Celtis occidentalis* L.) је алохтона врста дрвета у Србији, која води порекло из Северне Америке. Врста је унета у Европу 1636. године, а на простор Панонске низије, претпоставља се да је унета у првој половини XIX века, прво као парковска врста у насељена места. Амерички копривић се у постојбини врло ретко налази у чистим састојинама, најчешће на мањим површинама, а обично се налази као примешана врста, у стабилним или групичним смешама са другим врстама дрвећа, са *Juglans nigra* L., *Populus deltoides* Marshall, *Fraxinus pennsylvanica* Marshall и другим (Burns, 1983). Не постоје релевантни подаци о гајењу, односно газдовању овом врстом у њеној постојбини (Крајцек, Williams, 1990). Почетком XX века амерички копривић се користи за пошумљавања у ширем подручју данашње Мађарске (Bartha, Csiszar, 2008). Имајући у виду да је простор Суботичко-Хоргошке пешчаре до почетка XX века припадао Мађарској (Аустро-Угарској), то се може претпоставити да је коришћен и за пошумљавања у Пешчари, с обзиром да се показао као врло отпоран на сушу (Tiborcz *et al.*, 2011). Изван подручја Суботичко-Хоргошке пешчаре амерички копривић

је претежно гајен у Србији као парковска врста и у дрворедима (Сомбор, Суботица, Нови Сад, Кикинда), као и у целој Европи.

Субспонтано ширење америчког копривића на подручју Суботичко-Хоргошке пешчаре је констатовано на основу навода више аутора у ранијем периоду (Gajić, 1984, Peruničić, 1956, Pavičević, Stankević, 1962, Šijak, 1980) и на основу инвентаризације шума у претходних 20 година (1999, 2009, 2019). Планским документима, проистеклим на основу инвентаризације шума на подручју газдинске јединице „Суботичке шуме“, утврђено је да је 1999. године амерички копривић евидентиран на преко 500 *ha*, а у 2009. години утврђено је присуство америчког копривића у састојинама на површини 1.277 *ha*. Састојине са доминантним учешћем америчког копривића по броју стабала (преко 50%) у 1999. години заузимале су површину 101 *ha*, а у 2009. години 271 *ha*, док су чисте састојине америчког копривића (учешће америчког копривића веће од 90% по броју стабала) заузимале површину од 15 *ha* у 1999. години, а у 2009. години заузимају површину од 29 *ha*. Инвентаризацијом 2019. године за ГЈ „Суботичке шуме“ (2019), у периоду од 10 година, утврђен је, тренд двоструког повећања површина под америчким копривићем у односу на претходни период (Andrašev *et al.*, 2020).

Субспонтано ширење америчког копривића на подручју ГЈ „Суботичке шуме“, као јединствени пример инвазивног процеса у Европи који је забележен у вези са овом алохтоном врстом шумског дрвећа, налаже решења за подржавање успостављеног тренда ширења, а у процесу формирања одрживих састојина, које преузимају заштитне, социјалне и производне функције (Andrašev *et al.*, 2016, 2020). Та решења су узгојне природе и могу се подвести под потребу дефинисања прилагођене технике гајења шума, којом би се садржајније остваривали тренутни и дугорочни газдински и други циљеви у састојинама у којима придолази амерички копривић. Такав приступ представља прелазно решење у успостављању шумског покривача на површинама, на које се субспонтано шири амерички копривић, као добро адаптирана врста у антропогено измењеним условима станишта у пешчари и све израженијим климатским променама.

Циљ рада је да се сагледа газдински значај субспонтаног ширења америчког копривића на примеру једне дозревајуће мешовите састојине багрема, у оквиру дефинисане планске опходње од 30 година, у којој је амерички копривић присутан у свим спратовима у структури састојине. На основу анализе квалитативне структуре и функционалних карактеристика стабала багрема и америчког копривића истражена је могућност њиховог гајења у дужој опходњи од плански одређене уз примену селективне прореде, а у циљу подржавања субспонтаног ширења америчког копривића и убрзања раста обе врсте дрвећа. При томе се анализирају три концепта у истраживаној, дозревајућој састојини: (1) задржавање досадашњег начина газдовања (контролна површина) који подразумева обнову састојине применом чисте сече после навршене опходње багрема 30 година; (2) примену селективне прореде уз избор стабала за негу којим би се у одређеном периоду, после навршене опходње багрема (30 година), задржао затечени однос заступљених врста дрвећа, багрема и америчког копривића, у надстојном спрату; (3) примену селективне прореде уз избор стабала за негу којим би се после навршене опходње багрема 30 година постепено смањивало учешће багрема, односно повећавало учешће стабала америчког копривића у односу на багрем у затеченом стању.

ОБЈЕКАТ ИСТРАЖИВАЊА И МЕТОД РАДА

Истраживања су обављена у састојини багрема и америчког копривића у ГЈ „Суботичке шуме”, одељење 59, која представља уобичајено састојинско стање у наведеној фази развоја састојина багрема и америчког копривића на Суботичко-Хоргошкој пешчари, где су састојине антропогеног порекла. У јесен 2014. године у састојини багрема и америчког копривића, старој 28 година, основане су три трајне огледне површине, свака величине $25 \times 25 \text{ m}$, међусобно одвојене рубним појасом ширине 5–10 *m*. Састојина је формирана после чисте сече у процесу редовног газдовања и багрем је у састоји-

ни претежно изданачког порекла, а субспонтано раширен амерички копривић претежно је семеног порекла. Проучавана састојина је са посебном наменом и има приоритетну функцију заштите земљишта I степена, јер се налази на станишту које је подложно ерозији. У досадашњем периоду у састојини је изведена само мера чишћења у старости до 10 година.

На огледним површинама сва стабла са пречником на прсној висини преко 5 *cm* су трајно обележена и измерен им је прсни пречник унакрсно са тачношћу од 1 *mm*. Висине су мерене на узорку стабала висиномером типа Vertex IV (Haglöf, Sweden) тако да је у сваком дебљинском степену, ширине 5 *cm*, мерено најмање 5 висина стабала. Сваком стаблу је оцењен биолошки положај по модификованој тростепеној класификацији (Assmann, 1970): (1) надстојно, (2) међустојеће и (3) подстојно. Сваком стаблу у надстојном спрату (доминантна стабла) оцењен је квалитет дебла по следећој класификацији: (I) квалитетно, право дебло са најмање једном трећином дужине чисте од грана; (II) дебло које услед мањих недостатака не припада првој квалитативној класи; које није сасвим право и чији је квалитет инфериоран услед присуства до три танке гране или једне дебље у доњој трећини дужине дебла; које има друге недостатке који умањују квалитет; закривљено дебло, али употребљиво које се може сматрати за дебло средњег квалитета; (III) дебло које је савијено или увијено или има превише грана са озбиљним техничким недостацима.

Стабла за негу су, примарно, бирана у надстојном спрату из категорије најдебљих стабала, са правилно формираном деблом и крошњом, без знакова обољење или оштећења и са равномерним распоредом по површини.

Примерени пречници и висине су послужили за конструкцију висинских крива (модел: $h = 1,3 + a \cdot e^{-b/dbh}$, *h* - висина, *dbh* - прсни пречник, *a*, *b* - параметри модела) за сваку огледну површину. Висинске криве су послужиле за добијање висина стабала која нису мерена висиномером, а за потребе утврђивања запремине. Запремина стабала багрема је добијена коришћењем двоулазних запреминских таблица за багрем по Cestar, Kovačić (1982), а запремина америчког копривића из локалних запре-

минских таблица, добијених на основу премера стабала посечених у прореди на истраживаним површинама.

У циљу стварања основе за пројекцију газдинског поступка са мешовитим састојинама багрема и америчког копривића на подручју Суботичко-Хоргошке пешчаре, а који подразумева гајење багрема и америчког копривића у дужој опходњи од предвиђене у планским документима уз постепено искључивање багрема из састојинске структуре, на свакој огледној површини извршена је процена бонитета станишта и у складу са њим број стабала по хектару на крају планиране опходње за багрем упоређен је са расположивим бројем стабала у надстојном спрату. Оцена бонитета станишта за багрем на сваком огледном пољу је извршена на основу поређења средњих висина по Лорају (h_L) са моделима раста средњих висина по Redei *et al.* (2014) за неговане (моделне) састојине багрема у Мађарској. По наведеним елементима на крају опходње, број стабала по хектару је био основ да се у истраживаној састојини изабере стабла за негу која ће бити предмет неге у предложеном концепту продужења опходње у циљу унапређења природно-одрживог процеса субспонтаног ширења америчког копривића.

У циљу подржавања субспонтаног ширења америчког копривића и сагледавања могућности убрзања раста заступљених врста дрвећа ради њиховог гајења у дужој опходњи од плански одређене на две трајне огледне површине извршена је селективна прореди, примарно усмерена на интензивирање раста стабала за негу и различито учешће багрема и америчког копривића у доминантном спрату (Т1 и Т2) према њиховом затеченом учешћу у надстојном спрату, док је једна површина била контролна (третман К).

На експерименталним површинама Т1 и Т2 сваком издвојеном стаблу за негу посечен је најмање један конкурент, а у састојини су уклоњена сува, суховрха и оштећена стабла.

Обрада података укључивала је исказивање елемената раста стабала – средњи и доминантни пречници и висине, као и темељница и запремина исказана сумарно по хектару на основу корекционог фактора површине оглед-

них поља. Укупно за сваку трајну огледну површину и различите колективе стабала (по врсти дрвећа, по биолошком положају и квалитету дебла, као и за различите узгојне категорије стабала), израчунати су параметри дескриптивне статистике који исказују нумеричке показатеље дебљинске структуре: аритметичка средина, стандардна девијација, коефицијент варијације, коефицијент асиметрије, коефицијент спљоштености. Показатељи дескриптивне статистике добијени су по познатим формулама из теорије статистике (Field *et al.*, 2012).

У циљу исказивања вероватноће уклањања стабала проредом у односу на њихов прсни пречник, сваком стаблу је додељен број 1 ако је оно уклоњено проредом и број 0 ако је преостало у састојини након сече. Коришћена је логистичка регресија (Kleinbaum, Klein, 2010) да се прикаже однос наведеног бинарног скорa стабла и његовог прсног пречника као независно променљиве:

$$p = \frac{e^x}{1 + e^x}$$

и

$$x = \text{logit}(p) = \ln \left[\frac{p}{1-p} \right] = a + b \cdot DBH$$

где су *DBH* прсни пречник стабла и *a* и *b* параметри модела.

Све статистичке анализе су извршене у R програмском језику, ver. 4.0.0, (R Core Team, 2022), а сви графикони израђени коришћењем *ggplot2* пакета у R окружењу (Wickham, 2016).

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Основни елементи структуре

На огледним површинама утврђено је 3.152–4.080 стабала по хектару прсних пречника преко 5 *cm*, са темељницом 27,2–30,7 $m^2 \cdot ha^{-1}$ и запремином 165–202 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Средњи прсни пречници су били у распону 9,8–10,5 *cm*, доминантни пречници 19,3–21,4 *cm*, а средња и доминантна висина биле су у распону 11,8–13

Табела 1. Основни елементи структуре

Третман	Врста	d_g	D_{100}	h_L	H_{100}	N	G		V		
		[cm]	[cm]	[m]	[m]	[ha ⁻¹]	[%]	[m ² ·ha ⁻¹]	[%]	[m ³ ·ha ⁻¹]	[%]
K	багрем	9,7		12,88		3.344	82,0	24,71	80,4	161,22	79,7
	амерички копривић	10,2		13,42		736	18,0	6,04	19,6	41,00	20,3
	укупно	9,8	20,1	12,99	16,42	4.080	100,0	30,74	100,0	202,22	100,0
T1	багрем	10,4		12,69		2.592	82,2	21,91	80,5	140,90	79,6
	амерички копривић	11,0		13,50		560	17,8	5,30	19,5	36,20	20,4
	укупно	10,5	21,4	12,85	15,36	3.152	100,0	27,21	100,0	177,10	100,0
T2	багрем	9,5		11,50		2944	84,0	20,99	76,3	122,56	74,2
	амерички копривић	12,2		12,91		560	16,0	6,51	23,7	42,60	25,8
	укупно	10,0	19,3	11,84	14,65	3.504	100,0	27,50	100,0	165,16	100,0

Легенда: d_g – средњи квадратни пречник; D_{100} – средњи квадратни пречник доминантних стабала; h_L – средња висина по Лорају; H_{100} – средња висина доминантних стабала; N – број стабала по хектару; G – темељница по хектару; V – запремина по хектару

m , односно 14,6–16,4 m (Табела 1). У састојини доминира багрем са 82–84% по броју стабала, 76,3–80,5% по темељници и 74,2–79,7% по запремини. Амерички копривић је постигао нешто веће средње прсне пречнике и висине у односу на багрем на свим огледним површинама. Док су утврђене разлике између багрема и америчког копривића у средњим пречницима и висинама на површинама K и T1, мање од 1 cm и 1 m , на површини T2 амерички копривић је

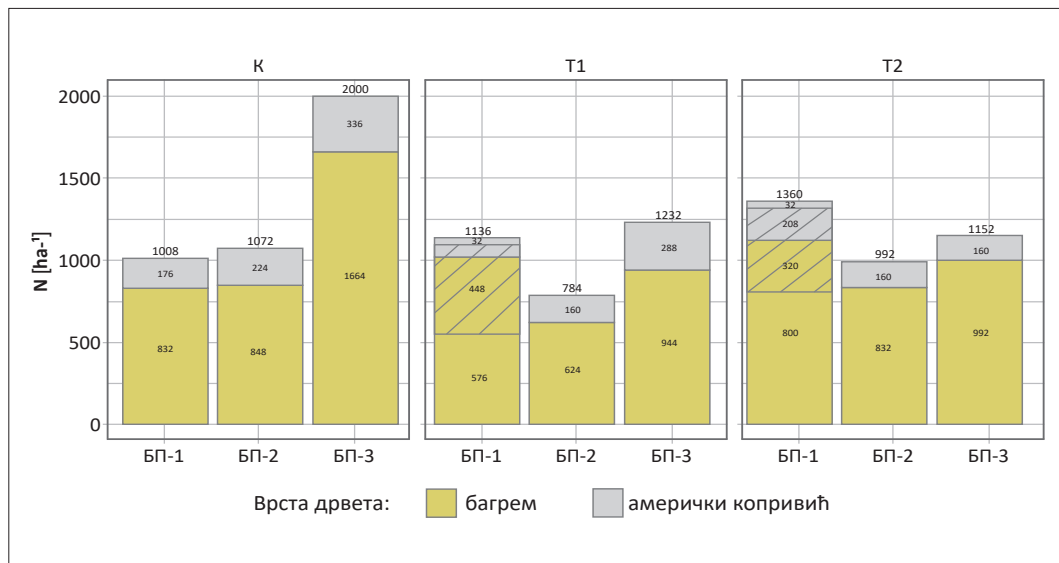
постигао за 2,7 cm већи средњи прсни пречник и за 1,4 m већу средњу висину у поређењу са багремом.

На све три истраживане огледне површине нумерички показатељи дебљинске структуре свих стабала показују изражену варијабилност од 35,7–39,5%, изражену десну асиметрију и лептокуртичну спљоштеност (Табела 2). Дебљинска структура нема типичну унимодалну расподелу (Графикон 3) због усвојене так-

Табела 2. Нумерички показатељи дебљинске структуре (почетно стање)

Третман	Врста	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
K	багрем	209	9,1	5,1	20,7	3,34	36,7	1,055	0,857
	амерички копривић	46	9,3	5,1	24,8	4,25	45,6	1,727	3,232
	укупно	255	9,2	5,1	24,8	3,51	38,4	1,278	1,831
T1	багрем	162	9,8	5,1	22,6	3,52	36,1	1,006	1,115
	амерички копривић	35	9,7	5,1	28,9	5,20	53,6	1,874	4,207
	укупно	197	9,8	5,1	28,9	3,85	39,5	1,380	2,998
T2	багрем	184	9,1	5,1	16,9	2,84	31,2	0,779	-0,031
	амерички копривић	35	11,1	5,2	21,8	5,05	45,5	0,636	-0,626
	укупно	219	9,4	5,1	21,8	3,36	35,7	1,097	1,162

Легенда: n – број мерених стабала на пољу; mean – аритметичка средина; min – минимум; max – максимум; s_d – стандардна девијација; c_v – коефицијент варијације (%); skew – Пирсонов коефицијент асиметрије; kurt – Пирсонов коефицијент спљоштености



Графикон 1. Укупан број стабала по хектару по биолошком положају и врсти дрвета (Шрафирано су обележена стабла за негу)

сационе границе од 5 *cm*. Амерички копривић је заступљен у свим дебљинским степенима, а појединачна стабла имају максималне прсне пречнике веће од багрема. Варијабилност дебљинске структуре стабала америчког копривића је већа у односу на стабла багрема. Елементи дескриптивне статистике дебљинске структуре стабала багрема и америчког копривића на огледним површинама К и Т1 су сличне, а на огледној површини Т2 је слабије изражена десна асиметрија и има мезокуртичну (багрем) или платикуртичну (амерички копривић) расподелу дебљинске структуре.

Биолошки положај стабала

Број стабала по хектару у надстојном спрату (БП-1) износи 1.008–1.360, што у укупном броју стабала износи 25–39%. Релативно учешће међустојећих стабала (БП-2) је уједначеније на огледним површинама и износи 25–28%, а учешће потиштених стабала (БП-3) варира од 33 до 49% (Графикон 1).

Надстојна стабла имају прсне пречнике у распону од 6,8–28,9 *cm*, просечно 12,2–13,8 *cm*, варијабилност од 24,2–26,9%, десну асиметрију

и лептокуртичну спљоштеност. Међустојећа стабла имају прсне пречнике у распону од 5,8–14,4 *cm*, просечно 8,9–9,3 *cm* и варијабилност од 17,0–18,7%. Подстојна стабла су прсних пречника у распону од 5,1–17,0 *cm*, просечно 6,4–6,9 *cm*, варијабилност од 16,0–24,8%, десну асиметрију и спљоштеност која варира у зависности од огледне површине и не показује јасне тенденције (Табела 3).

Број стабала багрема по хектару у доминантном спрату износи 832–1.120, или 25–39,5% укупног броја стабала багрема и најмањи је на површини К. Стабла америчког копривића се налазе у доминантном спрату у броју од 112–240 стабала по хектару, односно од 20–43% укупног броја стабала америчког копривића (Графикон 1).

Стабла багрема чине 82,4–90,1% укупног броја стабала надстојног спрата и имају прсне пречнике у распону од 6,8–22,6 *cm*, просечно 11,4–13,5 *cm*, варијабилност од 22,0–23,5% и десну асиметрију. Стабла америчког копривића надстојног спрата имају прсне пречнике у распону од 8,8–28,9 *cm*, просечно 15,1–17,4 *cm*, варијабилност од 24,6–32,8% и такође десну асиметрију (Табела 3).

Табела 3. Нумерички показатељи дебљинске структуре стабала различитих биолошких положаја

Третман	Врста	БП	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
К	багрем	1	52	13,5	6,8	20,7	2,97	22,0	0,241	-0,019
		2	53	9,0	5,9	12,5	1,59	17,7	-0,23	-0,641
		3	104	7,0	5,1	10,4	1,59	22,8	0,48	-0,986
	амерички копривић	1	11	15,1	8,8	24,8	4,65	30,8	0,689	0,322
		2	14	8,7	7,0	10,9	1,23	14,2	0,433	-0,756
		3	21	6,7	5,1	11,1	1,74	26,0	1,573	1,939
	укупно	1	63	13,8	6,8	24,8	3,34	24,2	0,619	0,835
		2	67	8,9	5,9	12,5	1,52	17,0	-0,12	-0,646
		3	125	6,9	5,1	11,1	1,61	23,2	0,663	-0,611
Т1	багрем	1	64	13,0	8,8	22,6	3,05	23,5	1,079	1,307
		2	39	9,3	6,1	13,5	1,45	15,7	0,421	1,278
		3	59	6,6	5,1	9,8	1,21	18,3	0,804	0,076
	амерички копривић	1	7	17,4	11,3	28,9	5,69	32,8	1,571	3,081
		2	10	9,4	6,2	14,4	2,38	25,5	0,929	0,978
		3	18	6,9	5,1	17,0	2,71	39,0	3,316	12,446
	укупно	1	71	13,4	8,8	28,9	3,59	26,8	1,617	4,202
		2	49	9,3	6,1	14,4	1,65	17,8	0,693	1,435
		3	77	6,7	5,1	17,0	1,66	24,8	3,35	18,411
Т2	багрем	1	70	11,4	6,8	16,9	2,59	22,7	0,454	-0,728
		2	52	9,2	5,8	13,4	1,68	18,3	0,703	0,052
		3	62	6,4	5,1	9,4	0,96	14,9	1,307	1,963
	амерички копривић	1	15	15,7	10,3	21,8	3,86	24,6	0,181	-1,441
		2	10	9,4	6,1	13,4	2,01	21,3	0,476	0,75
		3	10	6,0	5,2	9,7	1,35	22,7	2,721	7,822
	укупно	1	85	12,2	6,8	21,8	3,27	26,9	0,848	0,373
		2	62	9,2	5,8	13,4	1,72	18,7	0,653	0,055
		3	72	6,4	5,1	9,7	1,02	16,0	1,441	2,201

Легенда: n – број мерених стабала на пољу; mean – аритметичка средина; min – минимум; max – максимум; s_d – стандардна девијација; c_v – коефицијент варијације (%); skew – Пирсонов коефицијент асиметрије; kurt – Пирсонов коефицијент спљоштености

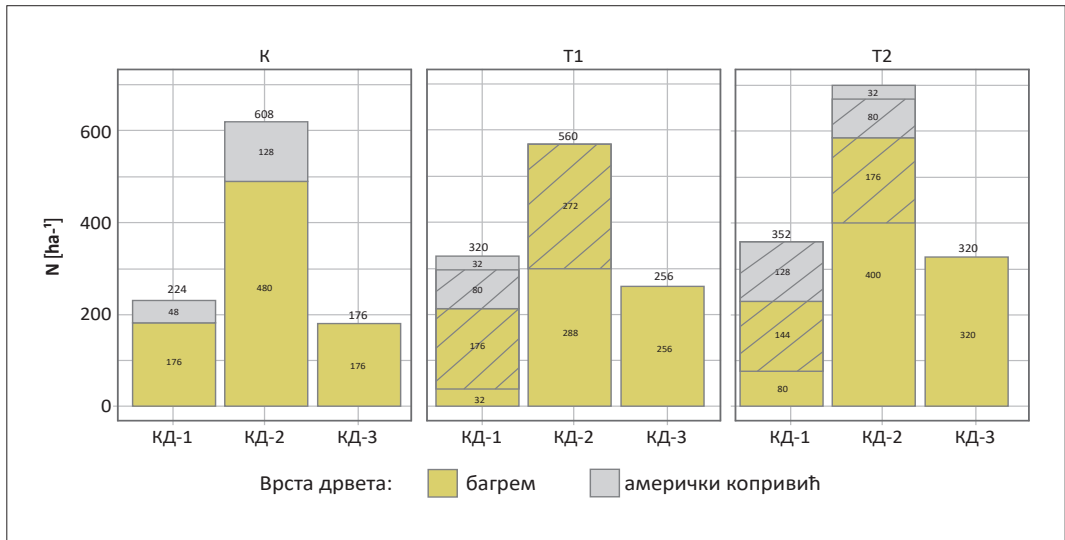
Квалитет дебла надстојних стабала

Број стабала по хектару у надстојном спрату (БП-1), која имају I квалитет дебла износи 224–352, односно њихово учешће је 22–28% од укупног броја стабала надстојног спрата. Међу најквалитетнијим стаблима, на свим огледним површинама највеће учешће заузима багрем

(176–224 стабала по хектару), док је учешће америчког копривића двоструко или троструко мање (48–128 стабала по хектару). Највише су заступљена стабла II квалитета дебла, 560–688 стабала по хектару или 49–60%, док стабала III квалитета, којих нема међу стаблима америчког копривића, има 17,5–23,5% од укупног броја стабала надстојног спрата (Графикон 2).

Колективи стабала копривића у надстојном спрату са квалитетом дебла I и II су по правилу

нешто већих димензија (1–4 cm) од упоредивих колектива стабала багрема (Табела 4).



Графикон 2. Број стабала по хектару у надстојном спрату (БП-1) по степенима квалитета дебла и врстама дрвета (Шрафирано су обележена стабла за негу)

Табела 4. Нумерички показатељи дебљинске структуре стабала различитих квалитета дебла надстојног спрата

Третман	Врста	КД	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
К	багрем	1	11	13,3	6,8	18,3	3,63	27,4	-0,363	-0,680
		2	30	13,9	9,0	20,7	3,16	22,8	0,306	-0,366
		3	11	12,8	10,5	16,0	1,38	10,8	0,977	2,586
	амерички копривић	1	3	16,3	12,1	19,2	3,71	22,8	-1,420	
		2	8	14,7	8,8	24,8	5,11	34,9	1,084	1,241
		3								
	укупно	1	14	13,9	6,8	19,2	3,73	26,8	-0,366	-0,708
		2	38	14,0	8,8	24,8	3,59	25,6	0,753	0,840
		3	11	12,8	10,5	16,0	1,38	10,8	0,977	2,586
Т1	багрем	1	13	14,3	10,0	22,6	3,63	25,3	0,849	0,630
		2	35	12,9	8,8	22,3	3,04	23,6	1,115	1,554
		3	16	12,1	9,4	15,7	2,22	18,4	0,430	-1,448
	амерички копривић	1	7	17,4	11,3	28,9	5,69	32,8	1,571	3,081
		2								
		3								
	укупно	1	20	15,4	10,0	28,9	4,55	29,6	1,444	2,917
		2	35	12,9	8,8	22,3	3,04	23,6	1,115	1,554
		3	16	12,1	9,4	15,7	2,22	18,4	0,430	-1,448

Третман	Врста	КД	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
Т2	багрем	1	14	13,1	7,9	16,9	2,73	20,9	-0,488	-0,698
		2	36	11,3	8,0	16,8	2,52	22,4	0,678	-0,678
		3	20	10,5	6,8	16,0	2,16	20,6	0,489	1,143
	амерички копривић	1	8	17,1	11,4	21,8	3,61	21,1	-0,403	-0,995
		2	7	14,1	10,3	20,9	3,73	26,5	1,123	0,581
		3								
	укупно	1	22	14,5	7,9	21,8	3,58	24,6	0,174	-0,339
		2	43	11,7	8,0	20,9	2,89	24,7	1,010	0,893
		3	20	10,5	6,8	16,0	2,16	20,6	0,489	1,143

Легенда: n – број мерених стабала на пољу; mean – аритметичка средина; min – минимум; max – максимум; s_d – стандардна девијација; c_v – коефицијент варијације (%); skew – Пирсонов коефицијент асиметрије; kurt – Пирсонов коефицијент спљоштености

Узгојне категорије стабала

Сјабла за негу

На огледним површинама изабрано је 528 стабала за негу по хектару, укупне темељнице $8,43\text{--}9,93\text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ и укупне запремине $56\text{--}72\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ (Табела 5).

Стабла за негу су бирана у оквиру надстојног спрата (Графикон 1) и приоритетно са I квалитетом дебла (Графикон 2). Међутим, имајући у виду недовољан број стабала по хектару I степена квалитета дебла, стабла за негу су бирана и у оквиру степена II квалитета дебла.

Стабла за негу имала су распон прских пречника $8,1\text{--}28,9\text{ cm}$, просечно $13,9\text{--}14,9\text{ cm}$, а варијабилност је износила $23,7\text{--}27,7\%$. Дебљинска структура стабала за негу има изражену

десну асиметрију, док је спљоштеност на Т1 изражено лептокуртична, а на Т2 мезокуртична (Табела 6, Графикон 3).

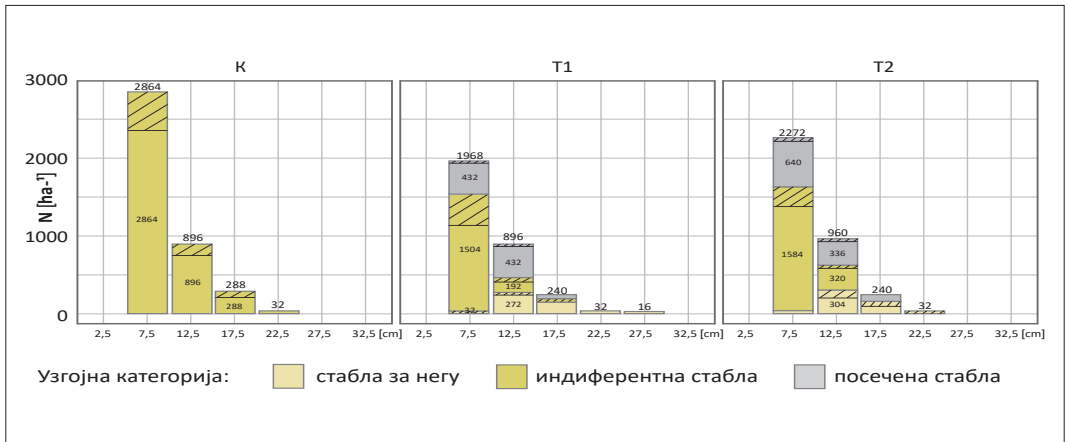
На површини Т1 издвојено је 448 (84,8%) стабала за негу багрема и 80 (15,2%) стабала америчког копривића, а на површини Т2 320 (60,6%) стабала багрема и 208 (39,4%) стабала америчког копривића по хектару. Стабла за негу америчког копривића била су дебља од стабала багрема за $3\text{--}5\text{ cm}$ и виша за 1 m (Табела 5).

Стабла багрема за негу су била у распону прских пречника од $8,1\text{--}22,6\text{ cm}$, просечно $12,7\text{--}14,2\text{ cm}$, а варијабилност је износила $20,1\text{--}23,8\%$. Стабла америчком копривића за негу су била у распону прских пречника од $11,4\text{--}28,9\text{ cm}$, просечно $15,7\text{--}19,1\text{ cm}$, а варијабилност је износила $22,8\text{--}30,2\%$ (Табела 6, Графикон 3).

Табела 5. Елементи раста стабала за негу по хектару

Третман	Врста	d_g	h_L	N	G	V			
		[cm]	[m]	[ha ⁻¹]	[%]	[m ² ·ha ⁻¹]	[%]	[m ³ ·ha ⁻¹]	[%]
Т1	багрем	14,6	14,19	448	84,8	7,47	75,2	53,57	73,9
	амерички копривић	19,8	15,22	80	15,2	2,47	24,8	18,95	26,1
	укупно			528	100,0	9,93	100,0	72,52	100,0
Т2	багрем	13,0	12,64	320	60,6	4,22	50,1	27,04	48,1
	амерички копривић	16,0	13,74	208	39,4	4,21	49,9	29,24	51,9
	укупно			528	100,0	8,43	100,0	56,28	100,0

Легенда: d_g – средњи квадратни пречник; h_L – средња висина по Лорају; N – број стабала по хектару; G – темељница по хектару; V – запремина по хектару



Графикон 3. Дебљинска структура стабала по узгојним категоријама (стабла за негу, индиферентна стабла и посечена стабла) (Шрафирано су обележена стабла америчког копривића)

Посечена сјабла у њореди

На површини T1 посечено је укупно 912 стабала по хектару, укупне темељнице $8,23 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ и укупне запремине $53,11 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Средњи пречник посечених стабала је износио $10,7 \text{ cm}$ и био је 2% већи од средњег пречника пре прореди, а средња висина од $12,7 \text{ m}$ је била 1% мања од средње висине стабала пре прореди. На површини T2 посечено је укупно 1.072 стабала по хектару, укупне темељнице $9,07 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ и укупне запремине $54,72 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Средњи пречник посечених стабала је износио $10,4 \text{ cm}$ или 4% више од средњег пречника пре прореди, а средња висина од $11,9 \text{ m}$ је била скоро идентична са средњом висином стабала пре прореди (Табела 7).

Посечена стабла на површини T1 су била у распону прских пречника од $5,1\text{--}19,2 \text{ cm}$, просечно $10,3 \text{ cm}$, а варијабилност је износила 30,6%. Посечена стабла на експерименталној површини T2 су била у распону прских пречника од $5,8\text{--}20,9 \text{ cm}$, просечно $9,9 \text{ cm}$, а варијабилност је износила 31,0% (Табела 8, Графикон 3). Модел логистичке регресије показује да су стабла уклоњена у свим дебљинама и да вероватноћа уклањања стабала постепено расте са повећањем прских пречника, интензивније на T2 у поређењу са T1 (Графикон 4).

Проредом на површинама T1 и T2 је посечено 29–31% почетног броја стабала, 30–33% укупне темељнице и запремине, те су по интензитету спроведене јаке прореди, а по карактеру високе прореди.

Табела 6. Нумерички показатељи дебљинске структуре стабала за негу

Третиња	Врста	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
T1	багрем	28	14,2	9,5	22,6	3,38	23,8	0,921	0,705
	амерички копривић	5	19,1	14,4	28,9	5,78	30,2	1,615	2,873
	укупно	33	14,9	9,5	28,9	4,13	27,7	1,413	2,9
T2	багрем	20	12,7	8,1	16,9	2,56	20,1	-0,087	-1,16
	амерички копривић	13	15,7	11,4	21,8	3,57	22,8	0,29	-1,257
	укупно	33	13,9	8,1	21,8	3,29	23,7	0,505	-0,158

Легенда: n – број мерених стабала на пољу; mean – аритметичка средина; min – минимум; max – максимум; s_d – стандардна девијација; c_v – коефицијент варијације (%); skew – Пирсонов коефицијент асиметрије; kurt – Пирсонов коефицијент спљоштености

Табела 7. Елементи раста посечених стабала по хектару

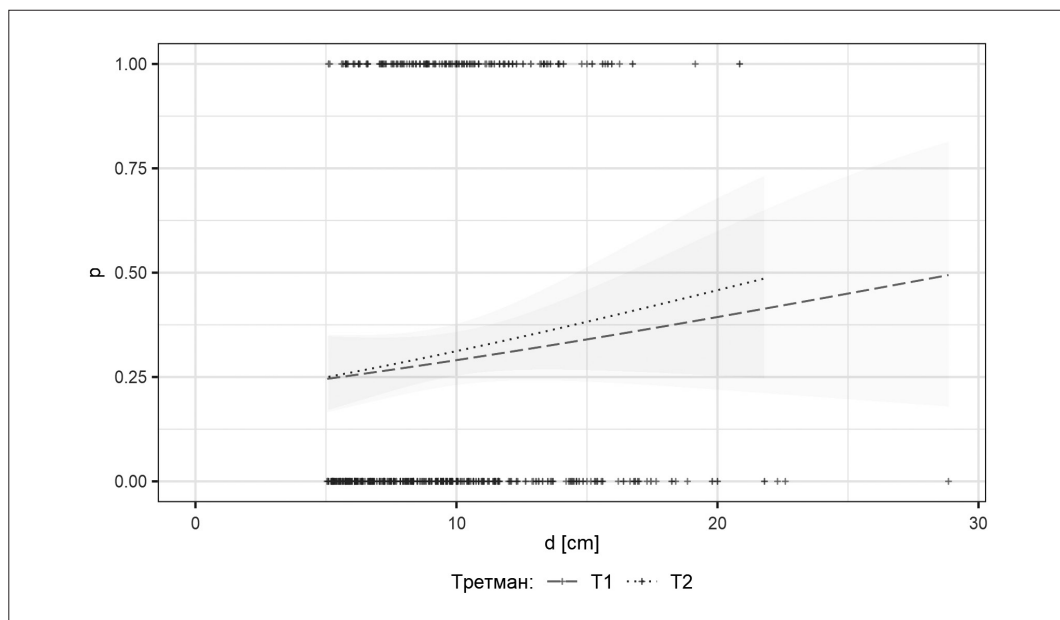
Третман	Врста	d_g	h_L	N	G		V		
		[cm]	[m]	[ha ⁻¹]	[%]	[m ² ·ha ⁻¹]	[%]	[m ³ ·ha ⁻¹]	[%]
T1	багрем	10,8	12,76	864	94,7	7,88	95,8	50,95	95,9
	амерички копривић	9,6	12,28	48	5,3	0,35	4,2	2,17	4,1
	укупно	10,7	12,74	912	100,0	8,23	100,0	53,11	100,0
T2	багрем	10,1	11,71	1.008	94,0	8,08	89,1	48,01	87,7
	амерички копривић	14,1	13,35	64	6,0	0,99	10,9	6,71	12,3
	укупно	10,4	11,89	1.072	100,0	9,07	100,0	54,72	100,0

Легенда: d_g – средњи квадратни пречник; h_L – средња висина по Лорају; N – број стабала по хектару; G – темељница по хектару; V – запремина по хектару

Табела 8. Нумерички показатељи дебљинске структуре посечених стабала

Третман	Врста	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
T1	багрем	54	10,3	5,1	19,2	3,18	30,8	0,266	-0,05
	амерички копривић	3	9,4	6,3	11,3	2,71	29,0	-1,603	
	укупно	57	10,3	5,1	19,2	3,14	30,6	0,271	-0,013
T2	багрем	63	9,7	5,8	16,8	2,81	28,9	0,753	-0,15
	амерички копривић	4	13,2	8,5	20,9	5,46	41,2	1,252	1,32
	укупно	67	9,9	5,8	20,9	3,08	31,0	1,087	1,319

Легенда: n – број мерених стабала на пољу; mean – аритметичка средина; min – минимум; max – максимум; s_d – стандардна девијација; c_v – коефицијент варијације (%); skew – Пирсонов коефицијент асиметрије; kurt – Пирсонов коефицијент спљоштености



Графикон 4. Модел логистичке регресије зависности вероватноће уклањања стабала проредом од њихових прсних пречника

Табела 9. Основни подаци на контролној површини и проређеним површинама

Третман	Врста	d_g	D_{100}	h_L	H_{100}	N	G		V		
		[cm]	[cm]	[m]	[m]	[ha ⁻¹]	[%]	[m ² ·ha ⁻¹]	[%]	[m ³ ·ha ⁻¹]	[%]
K	багрем	9,7		12,88		3.344	82,0	24,71	80,4	161,22	79,7
	амерички копривић	10,2		13,42		736	18,0	6,04	19,6	41,00	20,3
	укупно	9,8	20,1	12,99	16,42	4.080	100,0	30,74	100,0	202,22	100,0
T1	багрем	10,2		12,65		1.728	77,1	14,03	73,9	89,95	72,5
	амерички копривић	11,1		13,58		512	22,9	4,95	26,1	34,04	27,5
	укупно	10,4	21,2	12,90	15,34	2.240	100,0	18,98	100,0	123,99	100,0
T2	багрем	9,2		11,37		1.936	79,6	12,91	70,0	74,55	67,5
	амерички копривић	11,9		12,83		496	20,4	5,52	30,0	35,88	32,5
	укупно	9,8	18,7	11,81	14,39	2.432	100,0	18,43	100,0	110,44	100,0

Легенда: d_g – средњи квадратни пречник; D_{100} – средњи квадратни пречник доминантних стабала; h_L – средња висина по Лорају; H_{100} – средња висина доминантних стабала; N – број стабала по хектару; G – темељница по хектару; V – запремина по хектару

У проредном етату на површинама T1 и T2 стабла багрема су имала учешће 94–94,7% по броју стабала, 89,1–95,8% по темељници и 87,7–95,9 по запремини (Табела 7).

Стање после прореде

Проредом на експерименталним површинама T1 и T2 смањен је број стабала по хектару на 2.240–2.430, а укупна темељница на 18,4–19,0 m²·ha⁻¹ и укупна запремина на 110–124 m³·ha⁻¹. Пошто је средњи пречник и висина дозначених стабала била скоро идентична почетним вели-

чинама, то се ти елементи раста нису значајније изменили после спроведених прореда на експерименталним површинама T1 и T2 (Табела 9).

Учешће багрема на експерименталним површинама T1 и T2 је смањено за око 5% по броју стабала, 6,3–6,6% по укупној темељници и 6,7–7,1% по укупној запремини у односу на стање пре прореде.

Проредни етат на површинама T1 и T2 обухватио је стабла багрема и америчког копривића у свим дебљинским степенима, што је условило мале промене дебљинске структуре у односу на стање пре прореде (Табела 10).

Табела 10. Нумерички показатељи дебљинске структуре на контролној површини и проређеним површинама

Третман	Врста	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
K	багрем	209	9,1	5,1	20,7	3,34	36,7	1,055	0,857
	амерички копривић	46	9,3	5,1	24,8	4,25	45,6	1,727	3,232
	укупно	255	9,2	5,1	24,8	3,51	38,4	1,278	1,831
T1	багрем	108	9,5	5,1	22,6	3,66	38,6	1,323	1,807
	амерички копривић	32	9,7	5,1	28,9	5,4	55,4	1,833	3,81
	укупно	140	9,6	5,1	28,9	4,1	42,9	1,636	3,523
T2	багрем	121	8,8	5,1	16,9	2,81	32,0	0,844	0,122
	амерички копривић	31	10,8	5,2	21,8	5,02	46,4	0,655	-0,614
	укупно	152	9,2	5,1	21,8	3,46	37,6	1,164	1,265

Легенда: n – број мерених стабала на пољу; mean – аритметичка средина; min – минимум; max – максимум; s_d – стандардна девијација; c_v – коефицијент варијације (%); skew – Пирсонов коефицијент асиметрије; kurt – Пирсонов коефицијент спљоштености

ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧЦИ

Анализа структуре истраживане састојине багрема са америчким копривићем у старости 28 година на подручју Суботичко-Хоргошке пешчаре, која се у складу са плански дефинисаном опходњом багрема (30 година) може сматрати дозревајућом састојином, омогућава сагледавање елемената за предлог различитих опредељења у процесу газдовања, у односу на постојећа. Елементи структуре су указали на потенцијалне могућности за примену различитих концепата газдовања, а који за разлику од досадашњег приступа има у виду процес субспонтаног ширења америчког копривића.

Субспонтано ширење америчког копривића је доминантан процес што потврђују плански документи за подручје Суботичко-Хоргошке пешчаре, јер је у просеку површина шума у којој је евидентиран амерички копривић дуплирана сваких 10 година. У складу са тим, доминантним процесом, потребно је разматрати и усмерити истраживачке активности ка дефинисању елемената за пројекцију мера гајења шума у циљу унапређења и убрзања овог природно-одрживог процеса.

У истраживаној састојини, на основу премера свих стабала, амерички копривић има просечно учешће 33% (Andrašev *et al.*, 2016) и представља реалан потенцијал за доминацију у састојини у сва три разматрана сценарија (К, Т1, Т2) у овом раду.

Са становишта разматрања сценарија Т1 и Т2 у истраживаној састојини структура стабала (>5 cm) по биолошком положају последица је биолошких потенцијала анализираних врста да подносе конкуренцију суседних стабала, а везана је за димензије и старост стабала. Обрнуто пропорционална зависност броја стабала по хектару у надстојном спрату са доминантним висином, потврђује одсуство мера неге у састојини и може да буде поуздана основа за оцену потенцијала доминантне врсте (багрема) о максималом броју стабала по хектару као последици диференцирања стабала услед компетицијских утицаја стабала у састојини. У надстојном спрату затечено је од 1.000–1.350 стабала по хектару у старости 28 година што је за 40–50% више у поређењу са циљним бројем

стабала багрема по хектару за планирану опходњу од 30 година на V–VI бонитету по мађарским таблицама приноса и прираста (Redei *et al.*, 2014). Међутим, стабла надстојног спрата имају изражен варијабилитет прсних пречника (24–27%), изражену десну асиметрију и лептокуртичност распореда уз широк распон прсних пречника, свега 22–28% стабала надстојног спрата има I квалитет дебла, са потенцијално вреднијим сортиментима, па се може закључити да нема много простора за унапређење затеченог стања састојине са угодног аспекта.

Избор стабала за негу заснивао се на оствареним средњим и доминантним висинама стабала у истраживаној састојини и таблицама приноса и прираста састојина багрема у Мађарској (Redei *et al.*, 2014). Према наведеним таблицама истраживана састојина багрема са америчким копривићем припада V–VI бонитету за багрем, где број стабала у старости планиране опходње (30 година) износи 732–907 стабала по хектару. Циљни број стабала за истраживану састојину је одређен на основу наведених таблица приноса и прираста и предвиђену старост 45 година, и износи 580–720 стабала по хектару, имајући у виду пројекцију гајења шума у дужој опходњи од плански дефинисане за багрем 30 година. На трајним огледним површинама изабрано је 528 стабала за негу по хектару са значајним варијабилитетом у погледу прсних пречника, у распону од 8,1–28,9 cm и коефицијентом варијабилитета 23,7–27,7%. Стабла I квалитета дебла су доминантно била укључена у колектив стабала за негу, али услед неповољне квалитетне структуре била су укључена и стабла II квалитета дебла.

Иако је на огледним површинама Т1 и Т2 утврђено 560 стабала америчког копривића по хектару, прсних пречника већих од 5 cm, њихова дистрибуција била је различита. На огледној површини Т1 утврђен је већи распон прсних пречника (5,1–28,9 cm) у поређењу са распоном на површини Т2 (5,1–21,8 cm), али су прсни пречници америчког копривића били у просеку већи за 1,4 cm, са платикуртичном, слабо израженом десном асиметријом у поређењу са Т1, где је она била лептокуртична и изражено десна асиметрија. Наведено указује да је на површини Т2 било више стабала аме-

ричког копривића са већим прсним пречницима и већим висинама, у односу на површину Т1. Услед разлика у затеченој структури на огледним површинама Т1 и Т2 дефинисани су колективи стабала за негу, са различитим уделом стабала багрема и америчког копривића. На површинама Т1 и Т2 дефинисано је 528 стабала за негу, од чега је стабала америчког копривића на Т1 било 80 по хектару или 15%, а на Т2 208 стабала по хектару или 40% укупног броја стабала за негу.

На овај начин су имплементирана узгојна решења рационализоване технике неге шума за убрзање природно-одрживог процеса субспонтаног ширења америчког копривића у састојинама који укључује: задржавање затеченог различитог учешћа америчког копривића у мешовитој састојини са багретом у процесу неге и очекивано повећање његовог учешћа у односу на багрет, у складу са досадашњим трендом ширења. Оба наведена модалитета укључују пројекцију гајења багрема и копривића у дужој опходњи од пројектоване опходње за састојине багрема (30 година). Такав приступ представља прелазно решење у успостављању шумског покривача на антропогено утицаним површинама, које је условљено интензитетом субспонтаног ширења америчког копривића и које је добро адаптирано антропогено измењеним условима станишта у пешчари и све израженијим климатским променама.

Очекује се да увођење рационализоване и прилагођене технике гајења шума у састојине са субспонтаним ширењем америчког копривића, примарно засноване на селективној прореди, и усклађивање приступа гајења шума са природним процесима на истраживаном подручју допринесе унапређењу газдовања шумама, а тиме и њиховог екосистемског утицаја за унапређење животне средине на подручју Суботичко-Хоргошке пешчаре. Примена прилагођене технике гајења шума субспонтаном ширењу америчког копривића представља интензивни и рационализовани приступ гајења шума, што је у значајној мери дивергентан приступ састојинском газдовању заснованом на чистој сечи у састојинама багрема на истраживаном подручју. Због евидентираног ширења различитих инвазивних врста у структурно нестабилне

и антропогено нарушене састојине, прилагођена техника гајења шума има различите видове примене (Bobinaс *et al.*, 2020, 2021), са интенцијом одређене интеграције инвазивних врста у прелазном периоду до формирања стабилних састојина у складу са природним потенцијалима станишта. Амерички копривић, као инвазивна врста у заштићеном подручју Суботичко-Хоргошке пешчаре, поред багрема представља јединствен пример могуће и одрживе интеграције у процесу газдовања шумама.

Даљи развој стабала за негу у састојини под утицајем селективне прореди треба да омогући елементе за потврду наведеног концепта.

Очекивани ефекти примењене прилагођене технике гајења шума субспонтаном ширењу америчког копривића манифестовали би се у виду постепене ревитализације састојина, унапређењу структуре и стабилности успостављеног шумског покривача на пешчарском станишту и тиме би се унапредиле и бројне функције шума на подручју Суботичко-Хоргошке пешчаре у будућности.

Прореди су биле високе, са јаким интензитетом, а остварен етат је износио од 50–55 $m^3 \cdot ha^{-1}$ и налази се у категорији огревног дрвета. Добијени резултати омогућавају објективизирање сазнања о потенцијалном етату и његовој структури, који са економског становишта омогућава материјалну основу сектору шумарства за процес ревитализације састојинама.

Ако би се потврдила наведена очекивања предложеног приступа у гајењу шума то би значило да би амерички копривић добио газдински значај, што би био први научно заснован резултат о газдовању са копривићем у шумским састојинама и екосистемима у којима се субспонтано шири у Европи. На тај начин би се отвориле могућности за примену нових и рационализованих технолошких решења у формирању састојина у којима субспонтано придолази. Природна вредност подручја Суботичко-Хоргошке пешчаре је условљена карактером и мозаичношћу станишта, међу којима пешчарска, степска и мочварна, дају основни печат високом степену екосистемског биодиверзитета, а природна шумска вегетација је очувана у фрагментима и значајно антропогено измењена. Подржавање субспонтаног ши-

рења америчког копривића, као доминантног процеса на подручју Суботичко-Хоргошке пешчаре, и пројекција гајења шума без чисте сече и са опходњом нпр. 80 и више година за амерички копривић представља могући прилаз на успостављању стабилнијег, прелазног, шумског покривача на пешчарском станишту у односу на екстензивно гајење састојина багрема у пројектованој опходњи (30 година).

Напомена: Рад је реализован у оквиру пројеката [451-03-68/2022-14/200197; 451-03-9/2022-14/200169; 451-03-68/2022-14/200053] финансираних од стране Министарства просвете, науке технолошког развоја.

RESEARCH OF BLACK LOCUST AND COMMON HACKBERRY STANDS' STRUCTURE IN SUBOTICA-HORGOŠ SANDS AND PROPOSED SILVICULTURAL MEASURES AIMED AT THEIR IMPROVEMENT

Dr. Siniša Andrašev, Senior Research Associate, University of Novi Sad, Institute of Lowland Forestry and Environment
Dr. Martin Bobinac, Full Professor, University of Belgrade - Faculty of Forestry
MSc Nikola Šušić, Research Assistant, University of Belgrade, Institute for Multidisciplinary Research

Abstract: The paper analyzes the elements of the stand structure and proposes silvicultural measures to improve conditions in the stand of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and common hackberry (*Celtis occidentalis* L.) aged 28 years in Subotica-Horgoš sands. The research was performed on three permanent experimental plots on which selective thinning (T1 and T2) was performed experimentally in two plots, while one was left as a control plot (C). Initially, 528 trees for tending per hectare were selected in the studied age, of which 448 black locust and 80 common hackberry trees per hectare were selected on T1, and 320 black locust and 208 common hackberry trees per hectare on T2. In experimental plots T1 and T2 at least one competing tree was cut down to each tree for tending, and a total of 912 and 1072 trees were cut down per hectare with a total volume of 53–55 $m^3 \cdot ha^{-1}$. In this way, a basis was created for the assessment of the growth response of trees to selective thinning in the upcoming period.

Keywords: selective thinning, trees for tending, non-native tree species, subspontaneous spread of common hackberry

INTRODUCTION

The area of Subotica-Horgoš sands, in the territory of Subotica municipality, is characterized by unique ecological conditions. The sandy bedrock, wavy dunne relief, a variety of soil types and a specific underground water regime, which are the main causes of high biodiversity in terms of plant communities and fauna, so it represents an outstanding natural landscape. The largest part of forest complex originated after direct anthropogenic influence aimed at protecting the inhabitants and

arable land of this area from Aeolian erosion during the last two centuries (Pavićević, Stankević 1962, Šijak 1980). Sandy soil is considered unstable, so it is stabilized only after the use of a plant cover. However, only when climax vegetation is established, the protective, social and productive functions of forests will be fulfilled.

The work on the stabilization of moving sands using the fast-growing tree species such as willows, poplars, limes, black locust and tree-of-heav-

en started at the end of 18th century. The initial establishment of the stands was carried out more or less successfully because of the inadequate selection of tree species and establishment techniques. The turning point was 1870 when black locust was used after deep tillage mostly on greyish-yellow sand where other tree species hadn't survived. After World War I, the advantage was given to Austrian pine in the afforestation of the sands (Peruničić, 1956).

In 1969, black locust was the most represented tree species in the area of Subotica-Horgoš sands and covered the area of 2450 *ha* out of 3500 *ha* of forests and forest cultures. Other tree species included poplars (470 *ha*), Austrian pine (around 500 *ha*), pedunculate and Turkey oak (42 *ha*) and other broadleaves on 140 *ha* (Šijak, 1980).

According to the available literature, there is no data about planned introduction of common hackberry in the area of Subotica-Horgoš sands. Common hackberry (*Celtis occidentalis* L.) is a non-native tree species in Serbia that comes from North America. The tree species was introduced to Europe in 1636 and presumably in the first half of the 19th century in the area of the Pannonian Basin (Hungary), primarily as a park tree species for settlements. In the natural range of the species, it is usually found in mixtures with *Juglans nigra* L., *Populus deltoides* Bartr. ex Marshall, *Fraxinus pennsylvanica* Marsh. and other tree species are only rarely found in pure stands in small areas (Burns, 1983). To our knowledge, there are no relevant data about silviculture and management of this species in its natural range (Krajicek, Williams, 1990). At the beginning of the 20th century, common hackberry was widely used for afforestation in present-day Hungary (Bartha, Csiszar, 2008). Having in mind that the area of Subotica-Horgoš sands belonged to Hungary (Austro-Hungarian Empire) at the beginning of the 20th century, it can be presumed that common hackberry was used for afforestation in the sands as well, given that the species was quite drought-tolerant (Tiborc *et al.*, 2011). Outside Subotica-Horgoš sands, common hackberry was mostly cultivated in Serbia as a park tree species and in tree alleys (Sombor, Subotica, Novi Sad, Kikinda), as well as in the whole of Europe.

Subspontaneous spread of common hackberry in the area of Subotica-Horgoš sands was noted on the basis of citations of several authors in the earlier period (Peruničić, 1956, Pavičević, Stankević, 1962, Šijak, 1980, Gajić, 1984) as well as on the basis of forest inventories in the previous 20 years (1999, 2009, 2019). Based on the forest inventory in the MU „Subotike šume”, planning documents determined that in 1999, common hackberry was found on over 500 *ha*, and 1277 *ha* in 2009. Stands with a dominant share of common hackberry by the number of trees (over 50%) in 1999 covered an area of 101 *ha*, and 271 *ha* in 2009, while pure stands of common hackberry (share of common hackberry greater than 90% by a number of trees) occupied an area of 15 *ha* in 1999, and in 2009 they occupied an area of 29 *ha*. The inventory in 2019 for MU (Management Unit) „Subotičke šume” (2019), in a period of 10 years, determined the trend of doubling the area under common hackberry compared to the previous period (Andrašev *et al.*, 2020).

As a unique example of an invasive process in Europe observed in connection with common hackberry, the subspontaneous spread of this allochthonous forest tree species in the area of MU „Subotičke šume”, requires solutions to support the established trend of spreading, as well as in the process of creating sustainable stands that take over protective, social, and productive functions (Andrašev *et al.*, 2016, 2020). These solutions are of a silvicultural nature and can be subsumed under the need to define an adapted forest cultivation technique, which would more effectively achieve current and long-term management and other goals in stands where common hackberry spreads. Such an approach represents a transitional solution in the establishment of forest cover in areas to which common hackberry subspontaneously spreads, as a well-adapted species in anthropogenically changed sandstone habitat conditions and increasingly pronounced climate change.

The purpose of this article is to examine the management significance of common hackberry's subspontaneous spread on the example of one pre-maturing mixed black locust stand that is present on all storeys in the stand structure, with-

in the defined 30-year planned rotation. Based on the analysis of the qualitative structure and functional characteristics of black locust and common hackberry trees, the possibility of growing them in a longer rotation than planned with the use of selective thinning was researched, to support the spontaneous spread of common hackberry and accelerate the growth of both tree species. In doing so, three concepts in the researched, pre-maturing stand are analyzed: (1) maintaining the current management method (control area), which includes restoration of the stand by applying clean felling after black locust rotation has been completed for 30 years; (2) the application of selective thinning with the selection of trees for tending which would maintain the current ratio of tree species in the upper storey following the black locust rotation (30 years); (3) the application of selective thinning with the selection of trees for tending, which would gradually reduce the share of black locust after 30 years of rotation, *i.e.* increase the share of common hackberry trees in relation to black locust in its current state.

OBJECT OF RESEARCH AND WORK METHOD

The research was conducted in a black locust and common hackberry stand in MU „Subotičke šume“, representing the typical stand condition in the stated phase of black locust and common hackberry stands development in Subotica-Horgoš sands, consisting entirely of anthropogenic stands. In the autumn of 2014, three permanent experimental plots were established, each measuring 25 × 25 m and separated from each other by a 5–10 m wide border strip, in a 28 year old stand of black locust and common hackberry. The studied stand has a special purpose and a priority function of soil protection of the first degree, because it is situated in a site that is susceptible to erosion. So far, only the cleaning measure has been performed in the stand up to the age of 10.

In the experimental plots, all trees with a diameter at the breast height of over 5 cm were permanently marked and their diameter at breast height was measured crosswise with an accuracy

of 1 mm. Heights were measured on sample trees with a Vertex IV hypsometer (Haglöf, Sweden), so that at least five tree heights were measured at each 5 cm width diameter class. The crown class of each tree, also known as the biological position, was assessed according to a modified three-level classification (Assmann, 1970): (1) tree crown is in the upper storey, (2) tree crown is in the middle storey and (3) tree crown is in the lower storey. For each tree in the upper storey, the quality of the stem was assessed according to the following classification: (1) evidently straight, smooth utilizable stem, at least one-third of the tree length being free from branches, (2) a bole which, owing to minor faults, does not entirely fulfil the stipulations made for the 1st class, being not entirely straight or slightly inferior in quality owing to a maximum of three thin branches or one thicker branch within the lower one-third of the tree length or some other defect slightly spoiling the quality of the stem, and a curved but utilizable bole of medium quality; (3) a bole which is bent or coarse or has too many branches and with fairly serious technical faults.

The trees for tending were primarily selected in the upper storey from the category of the thickest trees, with a properly formed stem and canopy, without signs of disease or damage and with an even distribution in the experimental area.

The measured diameters and heights were used for the construction of height curves (model: $h = 1.3 + a \cdot e^{-b/dbh}$, h — height, dbh — breast height diameter, a , b — model parameters) for each experimental plot. The height curves were used to obtain the heights of trees that were not measured with a hypsometer but for the purpose of determining the volume. The volume of black locust trees was obtained using two-entry volume tables for black locust according to Cestar, Kovačić (1982), and the volume of common hackberry from local volume tables, obtained based on the measurement of trees cut in thinning on the researched plots.

To create a basis for the projection of the management procedure with mixed stands of black locust and common hackberry in the area of Subotica-Horgoš sands, which involves growing black locust and common hackberry in a longer rotation than defined in the planning documents with the

gradual exclusion of black locust from the stand structure, in each experimental plot, the site quality was assessed and, by it, the number of trees per hectare at the end of the planned black locust rotation was compared with the available number of trees on the upper storey. A comparison of mean height according to Lorey (h_L) with a growth model of mean height according to Redei *et al.* (2014) for cultivated (modelled) black locust stands in Hungary was used to estimate site quality for black locust in each experimental plot. According to the above elements, at the end of the rotation, the number of trees per hectare was the basis for selecting trees for tending in the researched stand, which will be the subject of tending in the proposed concept of rotation extension in order to improve the natural-sustainable process of spontaneous spread of common hackberry.

To support the spontaneous spread of common hackberry and consider the possibility of accelerating the growth of the present tree species for their cultivation in a longer rotation than planned, selective thinning was performed in two permanent experimental plots, primarily aimed at intensifying the growth of trees for tending and different participation of black locust and common hackberry in the upper storey (T1 and T2) according to their initial participation in the upper storey, while one plot was the control.

At least one competing tree was cut down for each of the selected trees for tending in experimental plots T1 and T2, and dead, dead-topped, and damaged trees were removed from the stand.

Data processing included expressing the elements of tree growth — mean and dominant diameters and heights, as well as total basal area and volume per hectare based on the correction factor of the area of the experimental plots. In total, for each permanent experimental plot and different tree collectives (by tree species, by crown classes and stem quality, as well as for different tree silvicultural categories), descriptive statistics parameters were calculated that show numerical indicators of diameter structure: arithmetic mean, standard deviation, coefficient of variation, skewness and kurtosis. Indicators of descriptive statistics were obtained according to the common formulas from the theory of statistics (Field *et al.*, 2012).

To examine the probability of death (p) in relation to the size of individual trees (DBH), each tree was assigned a score of 1 if it was dead in 2019 and a score of 0 otherwise. Logistic regression (Kleinbaum and Klein 2010) was then used to relate the binary response to diameters as the independent variable:

$$p = \frac{e^x}{1 + e^x}$$

and

$$x = \text{logit}(p) = \ln \left[\frac{p}{1-p} \right] = a + b \cdot \text{DBH}$$

where DBH is diameter at breast height and a and b are parameters.

All statistical analyses were performed using R version 4.0.0 (R Core Team 2022) and all figures were produced using the *ggplot2* package in the R environment (Wickham, 2016).

RESULTS

Basic stand structure elements

The number of recorded trees with diameters at breast height higher than 5 cm in the sample plots was 3152–4080. The total basal area was 27.2–30.7 $m^2 \cdot ha^{-1}$ and stand volume 165–202 $m^3 \cdot ha^{-1}$. The quadratic mean diameter was 9.8–10.5 cm, dominant diameter 19.3–21.4 cm, and the mean Lorey's and dominant height 11.8–13.0 m and 14.6–16.4 m, respectively (Table 1). Black locust dominates in the stand in terms of the number of trees (82–84%), basal area (76.3–80.5%) and stand volume (74.2–79.7%). Common hackberry attained higher mean quadratic diameter and Lorey's mean height compared to black locust in all sample plots. Recorded differences between black locust and common hackberry in the Control and T1 sample plots are less than 1 cm (mean quadratic diameter) and 1 m (mean Lorey's height). However, in sample plot T2 common hackberry attained a 2.7 cm higher mean quadratic diameter value and 1.4 m higher mean Lorey's height value compared to black locust.

Table 1. Basic elements of stand structure

Treatment	Species	d_g	D_{100}	h_L	H_{100}	N	G		V		
		[cm]	[cm]	[m]	[m]	[ha ⁻¹]	[%]	[m ² ·ha ⁻¹]	[%]	[m ³ ·ha ⁻¹]	[%]
C	Black locust	9.7		12.88		3344	82.0	24.71	80.4	161.22	79.7
	Common hackberry	10.2		13.42		736	18.0	6.04	19.6	41.00	20.3
	In total	9.8	20.1	12.99	16.42	4080	100.0	30.74	100.0	202.22	100.0
T1	Black locust	10.4		12.69		2592	82.2	21.91	80.5	140.90	79.6
	Common hackberry	11.0		13.50		560	17.8	5.30	19.5	36.20	20.4
	In total	10.5	21.4	12.85	15.36	3152	100.0	27.21	100.0	177.10	100.0
T2	Black locust	9.5		11.50		2944	84.0	20.99	76.3	122.56	74.2
	Common hackberry	12.2		12.91		560	16.0	6.51	23.7	42.60	25.8
	In total	10.0	19.3	11.84	14.65	3504	100.0	27.50	100.0	165.16	100.0

Legend: d_g – mean quadratic diameter; D_{100} – mean quadratic diameter of dominant trees; h_L – mean Lorey's height; H_{100} – mean height of dominant trees; N – number of trees per hectare; G – basal area per hectare; V – volume per hectare

The numerical parameters of the diameter structure of all trees show a well expressed variability ($C_v = 35.7\text{--}39.5\%$), right-skewed and leptokurtic distribution (Table 2). The diameter structure is not typically unimodal (Figure 3), because of the adopted 5 cm measuring diameter threshold. Common hackberry is represented in all diameter classes and some of the trees have maximal values of diameter at breast height higher than those of black locust. The variability of the diame-

ter structure of common hackberry trees is higher than that of black locust trees. The elements of descriptive statistics of the diameter distributions of both species in the Control and T1 plots are similar. The diameter distributions of both species are somewhat different in plot T2, having a less pronounced right-skewed distribution in both species and a mesokurtic (black locust) and platykurtic (common hackberry) diameter distribution.

Table 2. Numerical parameters of diameter structure (initial state)

Treatment	Species	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
C	Black locust	209	9.1	5.1	20.7	3.34	36.7	1.055	0.857
	Common hackberry	46	9.3	5.1	24.8	4.25	45.6	1.727	3.232
	In total	255	9.2	5.1	24.8	3.51	38.4	1.278	1.831
T1	Black locust	162	9.8	5.1	22.6	3.52	36.1	1.006	1.115
	Common hackberry	35	9.7	5.1	28.9	5.20	53.6	1.874	4.207
	In total	197	9.8	5.1	28.9	3.85	39.5	1.380	2.998
T2	Black locust	184	9.1	5.1	16.9	2.84	31.2	0.779	-0.031
	Common hackberry	35	11.1	5.2	21.8	5.05	45.5	0.636	-0.626
	In total	219	9.4	5.1	21.8	3.36	35.7	1.097	1.162

Legend: n – number of trees measured in the field; mean – arithmetic mean; min – minimum; max – maximum; s_d – standard deviation; c_v – coefficient of variation (%); skew – Pearson's Coefficient of Skewness; kurt – Pearson's Coefficient of Kurtosis

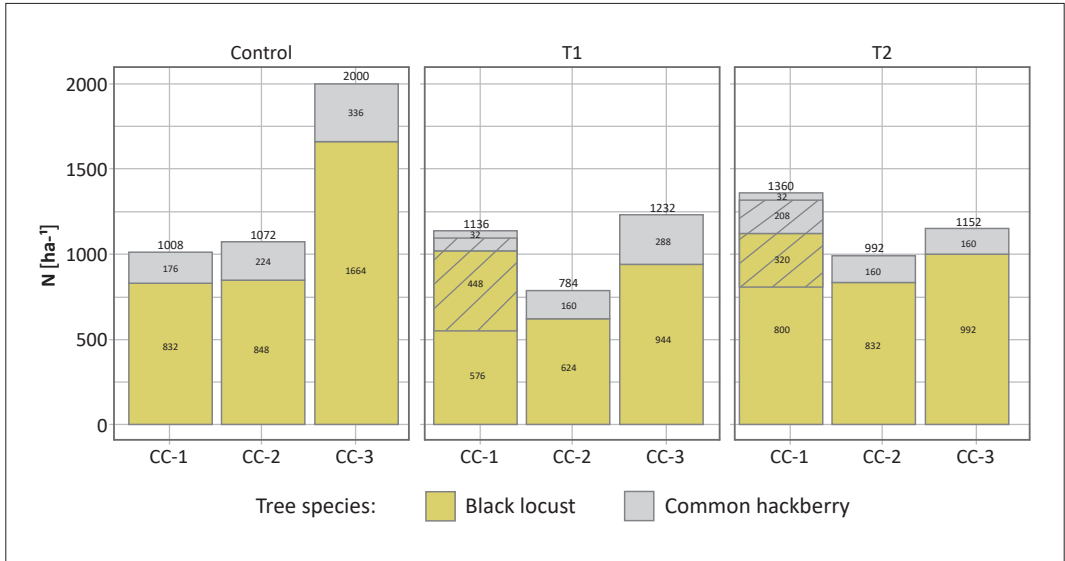


Figure 1. The number of trees per hectare by different crown classes and tree species (trees for tending are cross hatched)

Crown classes

The number of trees in the upper storey (CC-1) is 1008–1360, that is 25–39% of the total number of trees. The relative share of the mid storey trees (CC-2) is more even in the sample plots and amounts to 25–28%, while for the lower storey trees (CC-3) it varies between 33 and 49% (Figure 1).

The diameter range of the upper storey trees is 6.8–28.9 *cm*, with average values of 12.2–13.8

cm, variability of 24.2–26.9%, and a right-skewed and leptokurtic distribution. In the mid storey trees, the diameter range is 5.8–14.4 *cm*, with average values of 8.9–9.3 *cm*, and a variability of 17.0–18.7%. The lower storey trees’ diameters are between 5.1 and 17.0 *cm*, with average values of 6.4–6.9 *cm*, and a variability of 16.0–24.8%, with a right-skewed distribution that varies between the sample plots and does not show any specific tendency (Table 3).

Table 3. Numerical parameters of diameter structure of trees from different crown classes

Treatment	Species	CC	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
C	Black locust	1	52	13.5	6.8	20.7	2.97	22.0	0.241	-0.019
		2	53	9.0	5.9	12.5	1.59	17.7	-0.23	-0.641
		3	104	7.0	5.1	10.4	1.59	22.8	0.48	-0.986
	Common hackberry	1	11	15.1	8.8	24.8	4.65	30.8	0.689	0.322
		2	14	8.7	7.0	10.9	1.23	14.2	0.433	-0.756
		3	21	6.7	5.1	11.1	1.74	26.0	1.573	1.939
	In total	1	63	13.8	6.8	24.8	3.34	24.2	0.619	0.835
		2	67	8.9	5.9	12.5	1.52	17.0	-0.12	-0.646
		3	125	6.9	5.1	11.1	1.61	23.2	0.663	-0.611

Treatment	Species	CC	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
T1	Black locust	1	64	13.0	8.8	22.6	3.05	23.5	1.079	1.307
		2	39	9.3	6.1	13.5	1.45	15.7	0.421	1.278
		3	59	6.6	5.1	9.8	1.21	18.3	0.804	0.076
	Common hackberry	1	7	17.4	11.3	28.9	5.69	32.8	1.571	3.081
		2	10	9.4	6.2	14.4	2.38	25.5	0.929	0.978
		3	18	6.9	5.1	17.0	2.71	39.0	3.316	12.446
	In total	1	71	13.4	8.8	28.9	3.59	26.8	1.617	4.202
		2	49	9.3	6.1	14.4	1.65	17.8	0.693	1.435
		3	77	6.7	5.1	17.0	1.66	24.8	3.35	18.411
T2	Black locust	1	70	11.4	6.8	16.9	2.59	22.7	0.454	-0.728
		2	52	9.2	5.8	13.4	1.68	18.3	0.703	0.052
		3	62	6.4	5.1	9.4	0.96	14.9	1.307	1.963
	Common hackberry	1	15	15.7	10.3	21.8	3.86	24.6	0.181	-1.441
		2	10	9.4	6.1	13.4	2.01	21.3	0.476	0.75
		3	10	6.0	5.2	9.7	1.35	22.7	2.721	7.822
	In total	1	85	12.2	6.8	21.8	3.27	26.9	0.848	0.373
		2	62	9.2	5.8	13.4	1.72	18.7	0.653	0.055
		3	72	6.4	5.1	9.7	1.02	16.0	1.441	2.201

Legend: n – number of trees measured in the field; mean – arithmetic mean; min – minimum; max – maximum; s_d – standard deviation; c_v – coefficient of variation (%); skew – Pearson's Coefficient of Skewness; kurt – Pearson's Coefficient of Kurtosis

The number of black locust trees per hectare in the upper storey is 832–1120 (25.0–39.5% of the total number of black locust trees) and is the smallest in the control plot. The number of common hackberry trees represented in the upper storey is 112–240 trees per hectare that is 20–43% of the total number of common hackberry trees (Figure 1).

The share of black locust trees in the total number of all upper storey trees is 82.4–90.1%. Their diameter range is 6.8–22.6 cm, with average values of 11.4–13.5 cm, variability of 22.0–23.5% and right-skewed distribution. The common hackberry trees in the upper storey are in the diameter range of 8.8–28.9 cm, with average values of 15.1–17.4 cm, variability of 24.6–32.8% and right-skewed distribution as well (Table 3).

Stem quality of the upper storey trees

The number of trees per hectare that have the best ranked stem quality (rank I) in the upper storey is 224–352 (22–28% of the total number of upper storey trees). Out of all the best ranked trees in terms of stem quality, the highest share belongs to black locust (176–224 trees per hectare) in all sample plots, while the share of common hackberry is two to three times lower (48–128 trees per hectare). The most common are stem quality II ranked trees (560–688 trees per hectare or 49–60%). Stem quality III ranked trees constitute 17.5–23.5% of the total number of upper storey trees and none are recorded among the common hackberry trees (Figure 2).

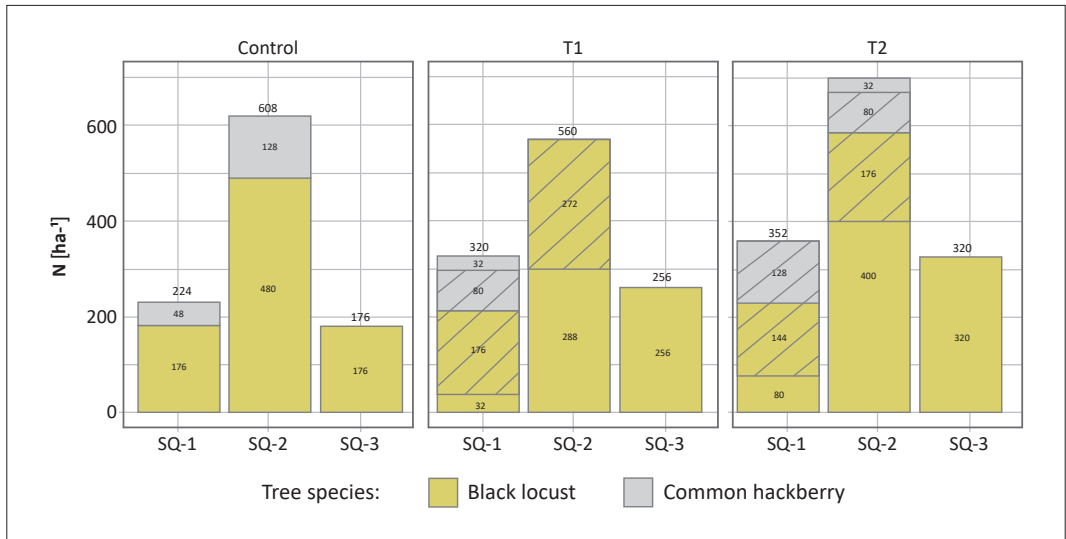


Figure 2. The number of trees per hectare of the upper storey trees (CC-1) by stem quality ranks and tree species (trees for tending are cross hatched)

Common hackberry tree collectives in the upper storey that have stem quality I and II ranks are usually of somewhat larger diameter dimension (1–4 cm) compared to the comparable collectives of black locust trees (Table 4).

Table 4. Numerical parameters of diameter structure of different stem quality ranked trees in the upper storey

Treatment	Species	SQ	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
C	Black locust	1	11	13.3	6.8	18.3	3.63	27.4	-0.363	-0.680
		2	30	13.9	9.0	20.7	3.16	22.8	0.306	-0.366
		3	11	12.8	10.5	16.0	1.38	10.8	0.977	2.586
	Common hackberry	1	3	16.3	12.1	19.2	3.71	22.8	-1.420	
		2	8	14.7	8.8	24.8	5.11	34.9	1.084	1.241
		3								
	In total	1	14	13.9	6.8	19.2	3.73	26.8	-0.366	-0.708
		2	38	14.0	8.8	24.8	3.59	25.6	0.753	0.840
		3	11	12.8	10.5	16.0	1.38	10.8	0.977	2.586
T1	Black locust	1	13	14.3	10.0	22.6	3.63	25.3	0.849	0.630
		2	35	12.9	8.8	22.3	3.04	23.6	1.115	1.554
		3	16	12.1	9.4	15.7	2.22	18.4	0.430	-1.448
	Common hackberry	1	7	17.4	11.3	28.9	5.69	32.8	1.571	3.081
		2								
		3								
	In total	1	20	15.4	10.0	28.9	4.55	29.6	1.444	2.917
		2	35	12.9	8.8	22.3	3.04	23.6	1.115	1.554
		3	16	12.1	9.4	15.7	2.22	18.4	0.430	-1.448

Treatment	Species	SQ	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
T2	Black locust	1	14	13.1	7.9	16.9	2.73	20.9	-0.488	-0.698
		2	36	11.3	8.0	16.8	2.52	22.4	0.678	-0.678
		3	20	10.5	6.8	16.0	2.16	20.6	0.489	1.143
	Common hackberry	1	8	17.1	11.4	21.8	3.61	21.1	-0.403	-0.995
		2	7	14.1	10.3	20.9	3.73	26.5	1.123	0.581
		3								
	In total	1	22	14.5	7.9	21.8	3.58	24.6	0.174	-0.339
		2	43	11.7	8.0	20.9	2.89	24.7	1.010	0.893
		3	20	10.5	6.8	16.0	2.16	20.6	0.489	1.143

Legend: n – number of trees measured in the field; mean – arithmetic mean; min – minimum; max – maximum; s_d – standard deviation; c_v – coefficient of variation (%); skew – Pearson's Coefficient of Skewness; kurt – Pearson's Coefficient of Kurtosis

Silvicultural categories of trees

Trees for tending

The number of trees selected for tending is 528 in both sample plots T1 and T2. Their total basal area is 8.43–9.93 $m^2 \cdot ha^{-1}$ and total volume is 56–72 $m^3 \cdot ha^{-1}$ (Table 5).

The trees for tending were selected among the upper storey trees (Figure 1), with a priority given to trees ranked I in terms of stem quality (Figure 2). Having in mind the insufficient number of trees that are ranked with stem quality I, the trees for tending were selected among the trees with stem quality rank II as well.

The trees for tending were in the diameter range of 8.1–28.9 cm , with average values of 13.9–14.9 cm , and a variability of 23.7–27.7%. The diameter distribution of trees for tending had a

well expressed right-skewed distribution that was leptokurtic on T1 and mesokurtic on T2 (Table 6, Figure 3).

On the T1 sample plot, 448 (84.8%) black locust trees were selected for tending and 80 (15.2%) common hackberry trees per hectare. In sample plot T2, 320 (60.6%) of black locust trees and 208 (39.4%) of common hackberry trees were selected per hectare. The common hackberry trees for tending were thicker than those of black locust by 3–5 cm and taller by 1 m (Table 5).

Black locust trees selected for tending had a diameter range between 8.1 and 22.6 cm , with average values of 12.7–14.2 cm , and a variability of 20.1–23.8%. The common hackberry trees selected for tending had a diameter range of 11.4–28.9 cm , with average values of 15.7–19.1 cm , and a variability of 22.8–30.2% (Table 6, Figure 3).

Table 5. Growth elements of trees for tending expressed per hectare

Treatment	Species	d_g	h_L	N	G	V			
		[cm]	[m]	[ha^{-1}]	[%]	[$m^2 \cdot ha^{-1}$]	[%]	[$m^3 \cdot ha^{-1}$]	[%]
T1	Black locust	14.6	14.19	448	84.8	7.47	75.2	53.57	73.9
	Common hackberry	19.8	15.22	80	15.2	2.47	24.8	18.95	26.1
	In total			528	100.0	9.93	100.0	72.52	100.0
T2	Black locust	13.0	12.64	320	60.6	4.22	50.1	27.04	48.1
	Common hackberry	16.0	13.74	208	39.4	4.21	49.9	29.24	51.9
	In total			528	100.0	8.43	100.0	56.28	100.0

Legend: d_g – mean quadratic diameter; h_L – mean Lorey's height; N- number of trees per hectare; G – basal area per hectare; V – volume per hectare

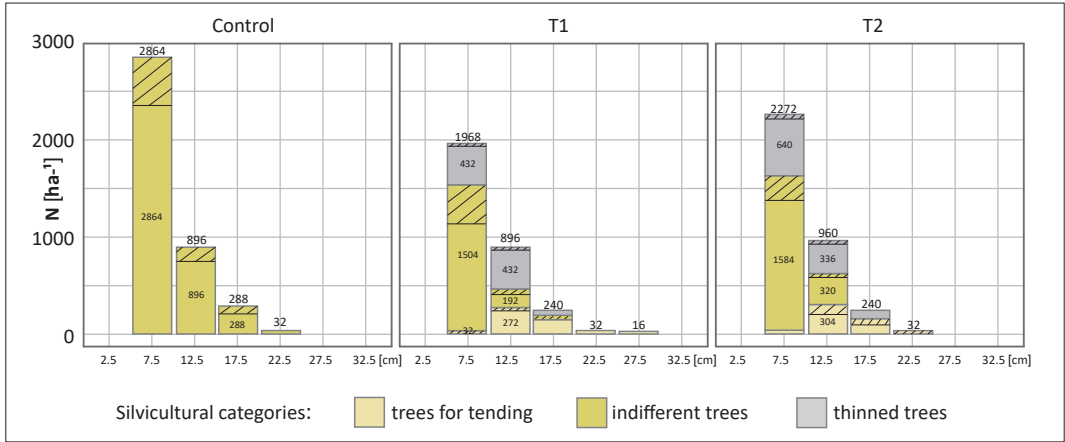


Figure 3. Diameter distribution of trees according to their silvicultural categories (trees for tending, indifferent trees and thinned trees) (common hackberry trees are cross hatched)

Table 6. Numerical parameters of diameter distribution of trees for tending

Treatment	Species	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
T1	Black locust	28	14.2	9.5	22.6	3.38	23.8	0.921	0.705
	Common hackberry	5	19.1	14.4	28.9	5.78	30.2	1.615	2.873
	In total	33	14.9	9.5	28.9	4.13	27.7	1.413	2.9
T2	Black locust	20	12.7	8.1	16.9	2.56	20.1	-0.087	-1.16
	Common hackberry	13	15.7	11.4	21.8	3.57	22.8	0.29	-1.257
	In total	33	13.9	8.1	21.8	3.29	23.7	0.505	-0.158

Legend: n – number of trees measured in the field; mean – arithmetic mean; min – minimum; max – maximum; s_d – standard deviation; c_v – coefficient of variation (%); skew – Pearson’s Coefficient of Skewness; kurt – Pearson’s Coefficient of Kurtosis

Thinned trees

In sample plot T1, 912 trees per hectare were cut in the thinning, with a total basal area of $8.23 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ and a total volume of $53.11 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. The mean quadratic diameter of the thinned trees was 10.7 cm , so it was by 2% higher after the thinning compared to the initial conditions. The mean Lorey’s height was 12.7 m after the thinning and was by 1% lower than that before the thinning. In sample plot T2, 1072 trees were cut per hectare, with basal area of $9.07 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ and a total volume of $54.72 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. The mean quadratic diameter of the thinned trees was 10.4 cm , which is by 4% higher than that before thinning. The mean Lorey’s height was 11.9 m and was almost identical to that before thinning (Table 7).

The thinned trees in sample plot T1 had a diameter range of $5.1\text{--}19.2 \text{ cm}$, with an average value of 10.3 cm and variability of 30.6%. The thinned trees in experimental sample plot T2 had a diameter range of $5.8\text{--}20.9 \text{ cm}$, with an average value of 9.9 cm , and a variability of 31.0% (Table 8, Figure 3). The model of logistic regression shows that the trees were removed in all diameter classes and that the probability of removal of trees gradually increases following the increase of diameter at breast height, with a more intensive growth in plot T2 compared to T1 (Figure 4).

In experimental sample plots T1 and T2, a total of 29–31% of the initial number of trees were cut in the thinning. That is 30–33% of the total basal area and volume. According to its intensity, the

Table 7. Growth elements of the thinned trees per hectare

Treatment	Species	d_g	h_L	N	G		V		
		[cm]	[m]	[ha ⁻¹]	[%]	[m ² ·ha ⁻¹]	[%]	[m ³ ·ha ⁻¹]	[%]
T1	Black locust	10.8	12.76	864	94.7	7.88	95.8	50.95	95.9
	Common hackberry	9.6	12.28	48	5.3	0.35	4.2	2.17	4.1
	In total	10.7	12.74	912	100.0	8.23	100.0	53.11	100.0
T2	Black locust	10.1	11.71	1008	94.0	8.08	89.1	48.01	87.7
	Common hackberry	14.1	13.35	64	6.0	0.99	10.9	6.71	12.3
	In total	10.4	11.89	1072	100.0	9.07	100.0	54.72	100.0

Legend: d_g – mean quadratic diameter; h_L – mean Lorey's height; N- number of trees per hectare; G – basal area per hectare; V – volume per hectare

Table 8. Numerical parameters of the diameter distribution of thinned trees

Treatment	Species	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
T1	Black locust	54	10.3	5.1	19.2	3.18	30.8	0.266	-0.05
	Common hackberry	3	9.4	6.3	11.3	2.71	29.0	-1.603	
	In total	57	10.3	5.1	19.2	3.14	30.6	0.271	-0.013
T2	Black locust	63	9.7	5.8	16.8	2.81	28.9	0.753	-0.15
	Common hackberry	4	13.2	8.5	20.9	5.46	41.2	1.252	1.32
	In total	67	9.9	5.8	20.9	3.08	31.0	1.087	1.319

Legend: n – number of trees measured in the field; mean – arithmetic mean; min – minimum; max – maximum; s_d – standard deviation; c_v – coefficient of variation (%); skew – Pearson's Coefficient of Skewness; kurt – Pearson's Coefficient of Kurtosis

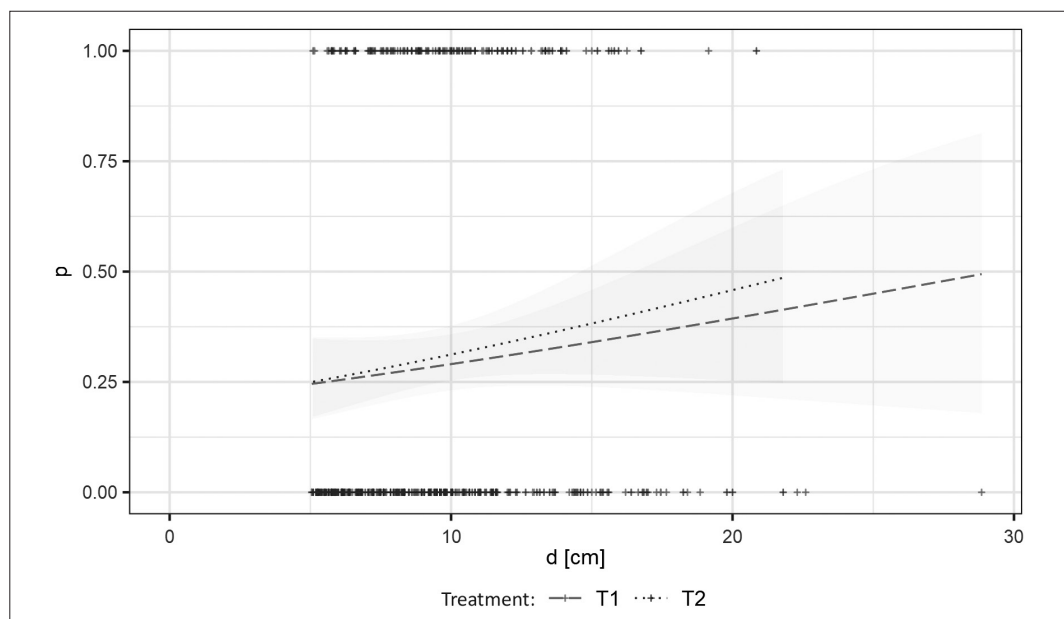

Figure 4. Model of logistic regression that shows dependence of the probability of removal of trees by thinning on the trees' diameter at breast height

Table 9. The basic data from the control plot and thinned plots

Treatment	Species	d_g	D_{100}	h_L	H_{100}	N	G		V		
		[cm]	[cm]	[m]	[m]	[ha ⁻¹]	[%]	[m ² ·ha ⁻¹]	[%]	[m ³ ·ha ⁻¹]	[%]
C	Black locust	9.7		12.88		3344	82.0	24.71	80.4	161.22	79.7
	Common hackberry	10.2		13.42		736	18.0	6.04	19.6	41.00	20.3
	In total	9.8	20.1	12.99	16.42	4080	100.0	30.74	100.0	202.22	100.0
T1	Black locust	10.2		12.65		1728	77.1	14.03	73.9	89.95	72.5
	Common hackberry	11.1		13.58		512	22.9	4.95	26.1	34.04	27.5
	In total	10.4	21.2	12.90	15.34	2240	100.0	18.98	100.0	123.99	100.0
T2	Black locust	9.2		11.37		1936	79.6	12.91	70.0	74.55	67.5
	Common hackberry	11.9		12.83		496	20.4	5.52	30.0	35.88	32.5
	In total	9.8	18.7	11.81	14.39	2432	100.0	18.43	100.0	110.44	100.0

Legend: d_g – mean quadratic diameter; D_{100} – mean quadratic diameter of dominant trees; h_L – mean Lorey's height; H_{100} – mean height of dominant trees; N – number of trees per hectare; G – basal area per hectare; V – volume per hectare

thinning can be considered as heavy, and according to its type as crown thinning.

In the thinning yield in sample plots T1 and T2, the black locust trees accounted for 94–94.7% of the total number of thinned trees and 89.1–95.8% share in the basal area, *i.e.* 87.7–95.9% in the total volume (Table 7).

Stand condition after thinning

On the experimental plots T1 and T2, the number of trees per hectare was reduced by thinning to 2240–2430. Basal area was reduced to 18.4–19 $m^2 \cdot ha^{-1}$ and total volume to 110–124 $m^3 \cdot ha^{-1}$. As

the mean quadratic diameter and mean Lorey's height of the thinned trees was almost identical to that before thinning, these elements have not changed much after thinning in experimental plots T1 and T2 (Table 9).

The share of black locust in experimental plots T1 and T2 was reduced to 5% in terms of the number of trees, 6.3–6.6% in terms of basal area and 6.7–7.1% in terms of the total volume compared to the conditions before the thinning.

Thinning yield in sample plots T1 and T2 encompassed black locust and common hackberry trees in all diameter classes so the changes in the diameter structure were small compared to the initial diameter structure before the thinning (Table 10).

Table 10. Numerical parameters of the diameter structure in the control and thinned plots

Treatment	Species	n	mean	min	max	s_d	c_v	skew	kurt
C	Black locust	209	9.1	5.1	20.7	3.34	36.7	1.055	0.857
	Common hackberry	46	9.3	5.1	24.8	4.25	45.6	1.727	3.232
	In total	255	9.2	5.1	24.8	3.51	38.4	1.278	1.831
T1	Black locust	108	9.5	5.1	22.6	3.66	38.6	1.323	1.807
	Common hackberry	32	9.7	5.1	28.9	5.4	55.4	1.833	3.81
	In total	140	9.6	5.1	28.9	4.1	42.9	1.636	3.523
T2	Black locust	121	8.8	5.1	16.9	2.81	32.0	0.844	0.122
	Common hackberry	31	10.8	5.2	21.8	5.02	46.4	0.655	-0.614
	In total	152	9.2	5.1	21.8	3.46	37.6	1.164	1.265

Legend: n – number of trees measured in the field; mean – arithmetic mean; min – minimum; max – maximum; s_d – standard deviation; c_v – coefficient of variation (%); skew – Pearson's Coefficient of Skewness; kurt – Pearson's Coefficient of Kurtosis

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The analysis of the stand structure of the investigated black locust and common hackberry stand at age 28 years in the area of Subotica-Horgoš sands, that can be considered as a maturing stand (rotation period is 30 years according to management plans), enables a perception of elements that can be utilized for different management recommendations compared to the present ones. The stand structure elements have pointed to the potentials of different management concepts, that consider the process of spontaneous expansion of common hackberry which was not recognized in the concept applied so far.

The spontaneous expansion of common hackberry is a dominant process. This is confirmed by the forest management documentation in the area of Subotica-Horgoš sands as the forest area, where the presence of common hackberry is recorded, is doubled every 10 years. In accordance with this dominant process, there is a need for the consideration and direction of research activities towards the definition of the elements that would give the silvicultural projection with the goal of improving and accelerating this naturally sustainable process.

The share of common hackberry is 33%, according to the measurements of all the trees (Andrašev *et al.*, 2016) and represents a real potential for its domination in the stand in all three considered scenarios in this study (Control, T1 and T2).

From the scenarios T1 and T2 perspective, the structure of trees (>5 cm) according to their crown classes is the consequence of biological potentials of the analyzed species to endure the competition of the surrounding trees, and is related to dimensions and age of the trees. The inversely proportional dependence of the number of trees per hectare in the upper storey on the dominant height, confirms the absence of tending measures in the stand. This may be a reliable basis for the assessment of the potentials of the dominant species (black locust) regarding the maximal number of trees per hectare that is the consequence of self-thinning due to competition in the stand. The number of trees in the upper storey was initially 1000–1350 trees per hectare at age 28 years, which is by 40–50% more compared to the target

number of black locust trees per hectare for a 30-year rotation of site quality V–VI according to Hungarian yield tables (Redei *et al.*, 2014). However, the upper storey trees have a well expressed variability of diameters (24–27%), right-skewed and leptokurtic distribution with a wide range of diameters. Only 22–28% of the upper storey trees are ranked with the best quality stem that potentially have more valuable assortments. According to this, it may be concluded that there is not much room for the improvement of the current state of the stand from the silvicultural aspect.

The selection of trees for tending is based on the mean Lorey's and dominant heights of the trees in the researched stand and yield tables for black locust in Hungary (Redei *et al.*, 2014). According to these tables, the researched stand of black locust with common hackberry belongs to site quality V–VI where the projected number of trees per hectare is 732–907 at the rotation age of 30 years. The number of target trees for the investigated stand is defined on the basis of these tables and a projected longer rotation age of 45 years and amounts 580–720 trees per hectare. In the permanent sample plots, 528 trees for tending per hectare were selected with significant variability of diameters (range 8.1–28.9 cm and coefficient of variation of 23.7–27.7%). The trees ranked with the best stem quality were dominantly included in the tending collective, but due to the unfavourable stem quality structure, the trees with rank II stem quality were included as well.

Although 560 common hackberry trees per hectare (> 5 cm diameter at breast height) were recorded in plots T1 and T2, their distribution was different. In plot T1, there was a bigger diameter range (5.1–28.9 cm) compared to the range in plot T2 (5.1–21.8 cm), but the diameters at breast height of common hackberry were by 1.4 cm higher on average, with a platikurtic distribution and weakly pronounced right asymmetry compared to plot T1 where the distribution was leptokurtic and with well expressed right-skewness. This indicates that there were more common hackberry trees in plot T2 with higher values of diameter at breast height and mean heights compared to plot T1. Due to the differences in the initial conditions in plots T1 and T2, the tending collectives were defined with different shares of black locust and common

hackberry. In plots T1 and T2, 528 trees for tending were defined — out of that number, common hackberry was represented by 80 trees per hectare in T1 (or 15%) and 208 trees per hectare in T2 (or 40% of the total number of trees for tending).

In this way, rationalized silvicultural solutions were implemented to accelerate the naturally sustainable process of subspontaneous expansion of common hackberry. This includes keeping the present share of common hackberry in the mixed stand with black locust in the tending process. Having in mind the expansion trend recorded so far, the expected increase of the common hackberry share is also considered in the stated solutions. Both modalities include growing black locust and common hackberry in longer rotations compared to the projection for black locust (30 years). Such an approach represents a transitional solution for establishing a forest cover on anthropogenically influenced areas, which is conditioned by the intensity of subspontaneous common hackberry spread and which is well adapted to anthropogenically changed habitat in sands conditions and increasingly pronounced climate change.

The introduction of a rationalized and adapted silvicultural technique in stands with a subspontaneous spread of common hackberry, primarily based on selective thinning, and harmonization of silvicultural approaches with natural processes in the study area are expected to contribute to better forest management and thus their ecosystem impact on the environment in the Subotica-Horgoš sands area. The application of the adapted silvicultural technique for the subspontaneous expansion of common hackberry represents an intensive and rationalized approach to silviculture. This is significantly divergent to the approach aimed at stand management based on clear cuts in black locust stands in the investigated area. Because of the recorded expansion of different invasive species in the structurally unstable and anthropogenically deteriorated stands, the adapted silvicultural technique has different ways of application (Bobinac *et al.*, 2020, 2021) with an intention to integrate the invasive species in an intermediary period to a certain extent until stable stands are formed and in accordance with the potentials of the habitat. Besides black locust, common hackberry as invasive species in the protected area of Subotica-Hor-

goš sands represents a unique example of possible and sustainable integration in the forest management process.

Further development of trees for tending in the stand under the influence of the selective thinning should provide the elements that would confirm this concept.

The expected effects of the applied adapted silvicultural technique on the subspontaneous expansion of common hackberry would be manifested in a gradual revitalisation of the stands, improvement of the stand structure and stability of the established forest cover in the sandy habitat. In this way, many forest functions would improve in the area of Subotica-Horgoš sands in the future.

The thinning type was crown thinning, with a strong intensity and yield of 50–55 $m^3 \cdot ha^{-1}$ that can be used as firewood. The acquired results enable the objectification of knowledge about the potential yield and its structure. From the economic perspective, this provides a material basis for the forestry sector in the process of stand revitalization.

If the stated expectations from the proposed silvicultural approach would be confirmed, it would mean that common hackberry would gain forest management significance, which would be the first scientifically based result in the management of common hackberry in forest stands and ecosystems where this species expands subspontaneously in Europe. In that way, possibilities would be open for the application of new and rationalized technological solutions in the formation of stands in which common hackberry occurs subspontaneously. The natural value of the Subotica-Horgoš sands depends on the mosaic of habitats, where sands, steppe and swamp habitats give the main mark to the high level of ecosystem diversity. Natural forest vegetation is preserved only in fragments and is significantly anthropogenically changed. Supporting the subspontaneous expansion of common hackberry as the dominant process in the area of Subotica-Horgoš sands and projecting silviculture without clear cuts with a rotation of 80 years or more for common hackberry represents a possible approach in order to establish a more stable, transitional forest cover in the sand habitat compared to the extensive silviculture of black locust in the 30-year projected rotation.

Acknowledgements: This work was funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia [451-03-68/2022-14/200197; 451-03-9/2022-14/200169; 451-03-68/2022-14/200053].

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Andrašev S., Bobinac M., Redei K. (2016): Contribution to knowledge of structure of mixed black locust and common hackberry stands in the area of Subotica-Horgos sands (Serbia), In: Kovačević D (ed.) Book of Proceedings of VII International Scientific Agriculture Symposium „Agrosym 2016”, Jahorina, 6–9 October 2016, Faculty of Agriculture, East Sarajevo, Bosnia and Hercegovina, pp 2862–2867.
- Andrašev S.A., Bobinac M., Dubravac T., Šušić N. (2020): Diameter Structure Changes in the Pre-Maturing Black Locust and Common Hackberry Stand in the Subotica-Horgoš Sands under the Influence of a Late Thinning, *South-east Eur for* 11(2): 111–126 <https://doi.org/10.15177/see-for.20-13>.
- Assmann E. (1970): *The principles of forest yield study*, Pergamon Press, Oxford, New York, 506 pp.
- Bartha D., Csiszár Á. (2008): Common hackberry (*Celtis occidentalis* L.), In: Botta-Dukát Z., Balogh L. (eds) *The most invasive plants in Hungary*, Institute of Ecology and Botany, Hungarian Academy of Sciences, Vácrátót, Hungary, pp 95–102.
- Bobinac M., Šijačić-Nikolić M., Andrašev S., Bauer-Živković A., Šušić N. (2020): Novi tehnološki postupak u gajenju šuma za biološku kontrolu širenja pajasena, U Lazarević R. (ur.): „Značaj razvojnih istraživanja i inovacija u funkciji unapređenja poljoprivrede i šumarstva Srbije”, Zbornik radova sa nužnog skupa održanog 04.11.2020. godine (rad po pozivu). Akademija inženjerskih nauka Srbije – AINS, Odeljenje biotehničkih nauka, Akademski misao, Beograd, 129–140.
- Bobinac M., Andrašev S., Šušić N. (2021): Prilagođena tehnika gajenja šuma za biološku kontrolu širenja invazivnih drvenastih neofita u šumarstvu, XI kongres o korovima i savetovanje o herbicidima i regulatorima rasta, Palić 20–23. septembar 2021. godine (Uvodno predavanje po pozivu), Herbološko društvo Srbije, Zbornik rezimea, 42–43.
- Burns R.M. (1983): *Silvicultural Systems for the Major Forest Types of the United States*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D.C. Agriculture Handbook No. 445. 191 p. https://www.fs.fed.us/rm/pubs_series/wo/wo_ah445.pdf
- Cestar D., Kovačić Đ. (1982): *Zapreminske tablice za crnu johu i bagrem*. Šumarski institut Jastrebarsko, Radovi 49, Zagreb.
- Field A.P., Miles J., Field Z. (2012): *Discovering statistics using R*, SAGE Publications Ltd, London, UK.
- Gajić M. (1984): *Flora i vegetacija Subotičko-horgoške peščare*, Šumarski fakultet Beograd — Šumsko gazdinstvo Subotica.
- Kleinbaum D.G., Klein M., (2010): *Logistic Regression — A Self-Learning Text*, Third Edition, Springer-Verlag New York, USA <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1742-3>.
- Krajčec J.E., Williams R.D. (1990): *Celtis occidentalis* L. Hackberry, In: Burns R.M., Honkala B.H., (Eds), *Silvics of North America: 2. Hardwoods*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. Agriculture Handbook No. 654: 262–265 <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/1548>.
- Pavićević N., Stankević P. (1962): *Pedološke osobine Subotičko-Horgoške peščare*. Institut za šumarstvo i drvnu industriju NR Srbije. Posebno izdanje br. 17. Beograd.
- Peruničić B. (1956): Šume u okolini Subotice, njihov postanak i razvitak. *Šumarstvo*, IX(1-2): 86-88.
- R Core Team (2022): *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rédei K., Csiha I., Keserű Z., Rásó J., Kamandiné Végh Á., Antal B. (2014): Growth and Yield of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Stands in Nyírség Growing Region (North-East Hungary), *South-east Eur for* 5 (1): 13–22 <https://doi.org/10.15177/see-for.14-04>.
- Šijak M. (1980): Prilog poznavanju dendroflora Subotičko-Horgoške peščare. *Šumarstvo*, XXXII(3): 39-46.

- Tiborcz V, Zagyvai G, Korda M, Schmidt D, Csiszár Á, Šporčić D, et al. (2011) Distribution and significance of some invasive alien woody plant species in Hungary. In: 3rd International Symposium on Environmental Weeds and Invasive Plants, October 2nd to 7th, 2011, Monte Verità, Switzerland.
- Wickham H. (2016): ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis, Second Edition, Springer-Verlag New York, USA, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>.
- *** (1999): Forest management plan for the Management unit „Subotičke šume” for period of 2000–2009, Public Company „Vojvodinašume”, Forest Holding Sombor [in Serbian].
- *** (2009): Forest management plan for the Management unit „Subotičke forest” for period of 2010–2019, Public Company „Vojvodinašume”, Forest Holding Sombor [in Serbian].
- *** 2019. Forest management plan for the Management unit „Subotičke šume” for period of 2020–2029, Public Company „Vojvodinašume”, Forest Holding Sombor. [in Serbian].

