

UDK: 630*42:519.246(497.11)

Оригинални научни рад

DOI: 10.2298/GSF1614201R

КРЕТАЊЕ ОБИМА ШТЕТА ОД ПРИРОДНИХ НЕПОГОДА У ШУМАМА СРБИЈЕ И УТИЦАЈ ТЕМПЕРАТУРЕ И ПАДАВИНА

др Ненад Ранковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београд (nenad.rankovic@sfb.bg.ac.rs)

др Јелена Недељковић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београд

др Миодраг Златић, редовни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београд

др Мирјана Станишић, докторанд, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београд

др Драган Нонић, редовни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београд

Извод: У погледу видљивих последица климатских промена, у Србији је, као и у другим државама, присутно повећање средње годишње температуре, смањење количине падавина, појава поплава, суша, шумских пожара и ледолома. Циљ истраживања је утврђивање законитости у кретању обима штета од природних непогода у шумама Србије, затим учешћа у укупним шумским штетама и утицаја температуре и падавина на обим штета од природних непогода у шумама у посматраном периоду. Као основна научна метода, коришћена је метода моделовања, а примењене су и метода анализе тренда, регресиона и корелациона анализа, класичне методе закључивања (апстракција и конкретизација, анализа и синтеза, индукција и дедукција, итд.), као и друге методе и технике неопходне за добијање свих неопходних елемената за закључивање (просеци, апсолутни раст, стопе раста, итд.). Резултати истраживања, без обзира на изостанак сигнификантности код свих модела, указују да су штете од природних непогода у шумама Србије у порасту, да се увећава њихово учешће у укупним шумским штетама и да се оно може везати за ниже температуре и већу количину падавина (снеголоми, снегоизвале, ледоломи, ледоизвале, поплаве, итд.).

Кључне речи: шуме, штете, природне непогоде, температура, падавине

УВОД

Климатске промене и њихове последице значајно мењају стање животне средине и угрожавају амбијент у коме се људска врста развијала више миленијума (2011/а, 2014/а). Отуда и велико интересовање да се те појаве објасне, схвате механизми деловања свих утицајних фактора и учини напор да се стање промени и трајно обезбеде услови за опстанак људске врсте.

У складу са таквим кретањима, посебно су у фокусу интересовања шумски екосистеми и

њихово функционисање у измењеним климатским условима. При томе, треба знати да постоји међусобна интеракција у односу климе и шума, па колико клима утиче на шуме, скоро у истој мери и шуме обликују климу на копненим просторима (Vučković, Stajić, 2003, Bolte et al., 2009, Stajić et al., 2014, Baković et al., 2015, Sohngen, Tian, 2016). Та равнотежа утицаја веома је битна за животне процесе на копну, јер се шума смешта негде између глобалних климатских дејстава и свих других копнених

живих бића, ублажавајући ефекте падавина, температуре и кретања ваздуха (ветар). Ефекти утицаја климе на шуме се испољавају у виду ветролома, ветроизвала, ледолома, леодоизвала, поплава, клизишта, шумских пожара и сличних последица климатских промена. Сви ови фактори делују тако да умањују све бројне функције шума (производне, еколошке и социјалне), угрожавајући тиме шансе за опстанак бројних биљних и животињских врста, па и саме људске врсте (2011/а, 2012/а, Houghton et al., 1996).

Непогода представља „...ојасан феномен, људску активност или стање које може изазвати губиљак животиња, повреду или неки други здравствене утицаје, оштећење имовине, губиљак средстава за животињу и услуга, социјалне и економске поремећаје, или штете по животињу средину“ (2009).

Природна непогода је „...природни процес или појава која може довести до губиљка животиња, повреда или других здравствених утицаја, оштећење имовине, губиљак средстава за животињу и услуга, социјалних и економских поремећаја или штете по животињу средину“ (2009). Према §45 Закона о шумама (2010), природна непогода у шумама представља „...значајан поремећај биолошке равнотеже и настајанак озбиљних штета у шумским екосистемима изазваних пре свега пожарима, сушењем, биљним болестима и штеточинама, ветроломима и ветроизвалама, снејоломима и снејоизвалама, појавлама, бујинним поковима, клизиштима и другим нејредвиђеним чињоцима на великим површинама шума и шумској земљишти“ (2010).

Због тога, у свету се последњих година покрећу бројна истраживања везана за однос климе и шума, ради изналажења решења да се ретроградни процеси зауставе и спречи даље погоршање стања шума. У Србији се, такође, могу констатовати такве промене, а негативне последице су бројне (еколошке и економске). Посебно су последњих година учестале појаве поплава, клизишта и ледолома. Последице се мере хиљадама кубика дрвета које је оборено или је оштећено (а онда, силом прилика, и посечено), чија намена није била да се тако брзо укључи у токове промета дрветом. Без обзира што се пласманом таквог дрвета остварује извесна финансијска корист, изостанак свих оних

користи, које су таква стабла требала да обезбеде својим физиолошким процесима, несумњиво се категорише као штета (Baković, 2016).

За санирање последица таквих штета неопходно је време, али и велика финансијска средства да са оно скрати (вишеструко већа од оних остварених продајом оборених и оштећених стабала). Међу првим корацима у истраживању оваквих појава важно је констатовати смер и интензитет тих промена, као и идентификовати факторе који их проузрокују. У том смислу, у овим истраживањима се пошло од утврђивања тренда обима штета од природних непогода, мерено запремином посеченог¹ дрвета, и покушајем да се утврди деловање два основна климатска фактора (температура и падавине) на обим таквих штета. Трендови су рађени на четири нивоа²: а) цела Србија (укупно), б) Београдски регион, в) регион Шумадије и Западне Србије и г) регион Јужне и Источне Србије. Однос обима штета и температуре и падавина рађен је само за целу Србију. Овакав територијални оквир истраживања диктирала је структура прикупљених података (тако је организовано прикупљање, систематизација и чување података у надлежним институцијама).

У истраживању се оперише са два временска оквира - период који је обухваћен нумеричким подацима и период спровођења истраживања. Период обухваћен подацима обухвата информације које датирају 2010-2015. године. Само истраживање је обављено у периоду јун-август 2016. године. Припрема и обрада података, као и писање извештаја о обављеном истраживању, трајали су наредна три месеца.

Основни циљ ових истраживања је утврђивање законитости у кретању обима штета од

1 Према методолошким објашњењима Републичког завода за статистику, „...погади о штетама насталим у шумама прикупљају се по шетовима шума и по узроцима настанима штета, а исказују се у т³ за посечену дрвену масу и у ха за обухваћену површину. Под посеченом дрвеном масом подразумева се оштећена дрвена маса мерена на њању у дубећем стању, док се површина утврђује премером или (најчешће) проценом“ (2015).

2 Подручја АП Војводине и АП Косова и Метохије нису обухваћена, јер је на територији АП Војводине регистрован веома мали обим штета од природних непогода, а за АП Косово и Метохију нема података, због изостанка административних надлежности Републике Србије.

природних непогода у шумама Србије, затим учешћа у укупним шумским штетама и утицаја температуре и падавина на обим штета од природних непогода у шумама у посматраном периоду. Сврха истраживања је да се на бази тако стечених знања створи основа за предузимање одговарајућих мера и активности на сузбијању негативних ефеката утицаја климе на шумске екосистеме. Предмет истраживања су обим штета од природних непогода и обим укупних штета у шумама, просечна годишња температура и просечна количина падавина.

Основне хипотезе које се у вези ових односа могу поставити су следеће:

1. постоји изражен тренд кретања посматраних величина (обим штета од природних непогода у шумама у Србији, Београду, Шумадији и Западној Србији и Јужној и Источној Србији) током посматраног периода;
2. постоји изражен тренд кретања учешћа штета од природних непогода у укупним шумским штетама;
3. постоји изражена зависност обима штета од природних непогода у шумама од температуре и величине падавина.

МЕТОД РАДА И ОБРАДА ПОДАТАКА

У овим истраживањима, као основна научна метода, коришћена је метода моделовања,

док су као истраживачке методе коришћене метода анализе тренда (*Ranković, 2009, 2012*) и регресиона и корелациона анализа (*Jovičić, 1981, Petz, 1985*). Поред тога, коришћене су и класичне методе закључивања (апстракција и конкретизација, анализа и синтеза, индукција и дедукција, итд.), као и друге методе и технике неопходне за добијање свих неопходних елемената за закључивање (просеци, апсолутни раст, стопе раста, итд.). За процену значајности појединих елемената добијених регресионих модела тренда коришћени су коефицијент детерминације (R^2), коефицијент корелације (R), t -статистике добијених оцена параметара и F -статистика (тестира значајност коефицијента корелације). Праг статистичке значајности одабран је $\alpha=0,05$ (ниво дозвољене грешке је једнак или мањи од 5%), као уобичајени за овакву врсту истраживања.

Поред тога, за процену темпа промена посматраних величина коришћена је просечна годишња експоненцијална стопа раста (I), која је добијена из параметра уз време (t) у експоненцијалном регресионом моделу тренда.

Основни подаци су преузети из интерне документације Јавног предузећа „Србијашуме“ (2016/a) и из статистичке публикације „Саопштење - ШУ10“ Републичког завода за статистику (2011/c, 2012/b, 2013, 2014/b, 2015, 2016/b), за период 2010-2015. године (табела 1). Сви подаци се односе на државне шуме,

Табела 1. Обим штета од природних непогода у државним шумама у Србији и њихово учешће у укупним шумским штетама

Године	Укупне шумске штете		Штете од природних непогода							
			Србија		Београд		Шумадија и Западна Србија		Јужна и Источна Србија	
	Запремина	Површина	Обим	Учешће	Обим	Учешће	Обим	Учешће	Обим	Учешће
2010.	38.836,0	3.109	14.902,0	38,4	52,0	0,10	11.811,0	30,4	3.039,0	7,8
2011.	64.805,0	2.078	8.141,0	12,6	34,0	0,05	6.900,0	10,6	926,0	1,4
2012.	84.934,0	7.935	18.619,0	21,9	97,0	0,11	18.269,0	21,5	253,0	0,3
2013.	85.609,0	5.427	29.960,0	35,0	36,0	0,04	27.437,0	32,0	60,0	0,1
2014.	121.867,0	8.078	41.107,0	33,7	195,0	0,16	36.210,0	29,7	4.702,0	3,9
2015.	189.201,0	9.821	116.431,0	61,5	195,0	0,10	29.883,0	15,8	83.345,0	44,1
Σ	585.252,0	36.448	229.160,0	39,2	609,0	0,10	130.510,0	22,3	92.325,0	15,8

Извор: (2016/c), (2012/b), (2013), (2014/b), (2015), (2016/b) и калкулације аутора

јер постоје велике тешкоће да се штете у приватном сектору евидентирају и уклопе у консолидовани приказ ових података.

Табела 2. Просечна годишња температура (T) и падавине (P) у Србији

Година	T	P
	°C	mm·m ⁻²
2010.	11,03	847,71
2011.	10,93	474,67
2012.	11,59	528,24
2013.	11,67	673,94
2014.	11,79	1.000,30
2015.	11,77	690,63

Извор: (2011-2016)

Подаци о просечној годишњој температури ваздуха (T) и просечној годишњој суми падавина (P), који су мерени на 39 метеоролошких станица на територији Србије, преузети су из билтена „Метеоролошки годишњак 1. - Климатолошки подаци“, који сваке године објављује Републички Хидрометеоролошки завод (2011-2016). Да би се добио просек за Србију, подаци метеоролошких станица су коришћени за добијање простих аритметичких средина (табела 2), за свих шест посматраних година.

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Приказ резултата ових истраживања подељен је на три целине: а) трендови штета од природних непогода, б) тренд учешћа штета од природних непогода у укупним штетама и в) утицај температуре и падавина на обим штета од природних непогода. У првом случају, дати су регресиони модели трендова обима штета од природних непогода, праћени просечном годишњом експоненцијалном стопом раста (I). У другом случају, дат је регресиони модел учешћа штета од природних непогода у укупним шумским штетама. У трећем случају, дат је регресиони модел зависности обима штета од природних непогода у односу на промене температуре и падавина.

Трендови шумских штета од природних непогода

Обрадом прикупљених података добијени су следећи регресиони модели тренда (графикон 1):

– обим шумских штета од природних непогода у Србији (Q_s , у m^3)

$$Q_s = 17.653,83 \cdot t - 23.595,07$$

$$(2,91)^3 \quad (-1,00)$$

$$R^2 = 0,68 \quad R = 0,82 \quad F_{(6,4)} = 8,48 \quad (p = 0,04)$$

$$I_s = 56,2\%;$$

– обим шумских штета од природних непогода у Београду (Q_{Bgd} , у m^3)

$$Q_{Bgd} = 32,49 \cdot t - 12,20$$

$$(2,67) \quad (-0,26)$$

$$R^2 = 0,64 \quad R = 0,80 \quad F_{(6,4)} = 7,15 \quad (p = 0,06)$$

$$I_{Bgd} = 36,4\%;$$

– обим шумских штета од природних непогода у Шумадији и Западној Србији (Q_{SZS} , у m^3)

$$Q_{SZS} = 5.355,94 \cdot t + 3005,87$$

$$(3,83) \quad (0,55)$$

$$R^2 = 0,79 \quad R = 0,89 \quad F_{(6,4)} = 14,66 \quad (p = 0,02)$$

$$I_{SZS} = 33,2\%;$$

– обим шумских штета од природних непогода у Јужној и Источној Србији (Q_{JIS} , у m^3)

$$Q_{JIS} = 11.790,43 \cdot t - 25.879,00$$

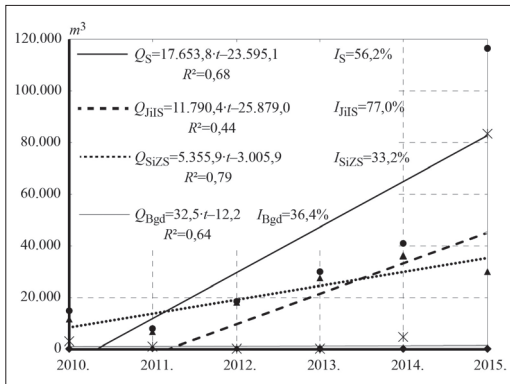
$$(1,76) \quad (-0,99)$$

$$R^2 = 0,44 \quad R = 0,66 \quad F_{(6,4)} = 3,11 \quad (p = 0,15)$$

$$I_{JIS} = 77,0\%.$$

Имајући у виду тестове статистичке значајности може се закључити да су коефицијенти корелације значајни у случају Србије (укупно) и Шумадије и Западне Србије (<5%), грешка је једва нешто већа у случају Београда (6%), док је у случају Јужне и Источне Србије нешто већа (15%). Сви параметри уз време су статистички значајни (t -тест), изузев у случају Јужне и Источне Србије, док су слободни параметри у

3 У загради су t -статистике параметара.



Графикон 1. Регресиони модели тренда обима штета од природних непогода

свим случајевима статистички несигнификантни. Оваква ситуација је последица релативно кратких низова и малог броја степени слободе, па се очекује да у будућности редовно праћење ових елемената омогући дуже низове информација и прецизније моделе.

Тумачење параметара уз време показује да се у просеку обим штета повећавао (потврђена хипотеза 1), и то:

- Србија (укупно): $17.653,83 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$;
- Београд: $32,49 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$;
- Шумадија и Западна Србија: $5.355,94 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$;
- Јужна и Источна Србија: $11.790,43 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$.

При томе, просечна годишња експоненцијална стопа раста износи:

- Србија (укупно) 56,2%;
- Београд 36,4%;
- Шумадија и Западна Србија 33,2%;
- Јужна и Источна Србија 77,0%.

Из ових информација се може запазити да се ради о великим обимима штета од природних непогода, којима је у највећој мери погођен јужни и источни део Србије, јер од укупног обима штета $\frac{2}{3}$ (66,8%) је у том региону. Такође, у том региону је и највећа просечна годишња експоненцијална стопа раста ових штета (77% годишње), што не обећава ништа добро овом крају Србије у наредном периоду. У том смислу, ове штете могу се сматрати правом

катастрофом за тај део Србије, али и за државу у целини.

Тренд учешћа штета од природних непогода у укупним шумским штетама

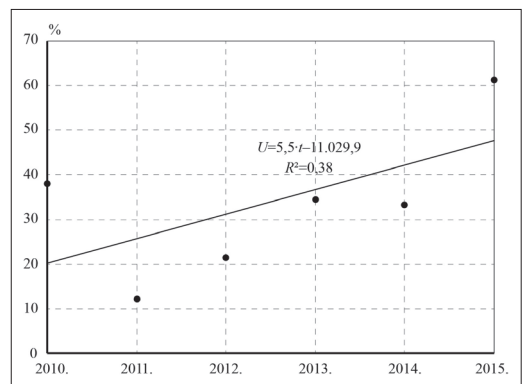
Кретање учешће штета од природних непогода у укупним шумским штетама у Србији (U , у %), посматрано је преко регресионог модела тренда који има следећи изглед (графикон 2):

$$U = 5,50 \cdot t - 11,029,95$$

$$(1,57) \quad (-1,57)$$

$$R^2 = 0,38 \quad R = 0,62 \quad F_{(6,4)} = 2,47 \quad (p = 0,19).$$

Иако је сигнификантност коефицијента корелације и параметара на nižем нивоу од претпостављене (грешке су веће од 5%, али мање од 20%), што је последица нешто краћих низова података, може се рећи да је основни ток учешћа штета од природних непогода у укупним шумским штетама растући (потврђена хипотеза 2), а то се дешава по стопи од 5,5% годишње. Ово довољно говори да овим врстама штета треба поклонити већу пажњу него до сада и непрекидно вршити стручни мониторинг (праћење и контрола), да би се стекле информације које би послужиле као стручна основа за предузимање одговарајућих мера и активности на сузбијању негативних последица природних непогода по шумске екосистеме.



Графикон 2. Регресиони модел тренда учешћа штета од природних непогода у укупним шумским штетама у Србији

Утицај температуре и падавина на обим шумских штета од природних непогода

Утицај два најважнија климатска елемента, температуре и падавина, на обим шумских штета од природних непогода посматран је путем формирања и анализе одговарајућег регресионог модела. У регресионом моделу је обим штета од природних непогода зависна променљива (Q_s), док су независне променљиве температура (T), падавине (P) и време⁴ (t). Сам модел има следећи изглед:

$$Q_s = 658.864,06 - 63.407,61 \cdot T + 6,55 \cdot P + 29.040,45 \cdot t$$

$$(0,74) \quad (-0,76) \quad (0,09) \quad (1,74)$$

$$R^2 = 0,75 \quad R = 0,87 \quad F_{(6, 2)} = 2,03 \quad (p = 0,35).$$

На бази добијених елемената за процену статистичке значајности, може се запазити да није остварена сигнификантност на нивоу дозвољене грешке од 5%. То је вероватно последица релативно кратких низова података и, због више независних варијабли, малог броја степени слободе. Ово упућује на даље праћење и оперисање са већим бројем полазних података, а, у складу с тим, и ажурирање овако формираног модела, са већим степеном сигнификантности.

Ипак, из добијених модела се може запазити да је утицај независних варијабли у складу са неким унапред датим очекивањима (потврђена хипотеза 3). Тако са порастом температуре опада обим штета од природних непогода (или, другим речима, са опадањем температуре обим штета расте), док са порастом падавина обим штета расте. То говори да се у посматраном периоду у већој мери⁵ дешавале штете од падавина (нпр. поплаве, снеголоми, снегоизвале, итд.), а мање од оних чији је узрочник висока температура⁶ (нпр. пожари). Параметар уз време (t) показује да су се шумске штете од

4 Додатна варијабла, ради отклањања штетне појаве аутокорељације.

5 У просеку расте за око 6,6 m^3 при повећању нивоа падавина за 1 $mm \cdot m^{-2}$.

6 Са смањењем температуре за 1°C расте обим штета за око 63.407,61 m^3 .

природних непогода просечно годишње повећавале за око 29.040,45 m^3 . С обзиром на не-сигнификантне параметре, наведене износе треба посматрати са извесном дозом резерве.

ДИСКУСИЈА

Претходна истраживања указују да су промене температуре и падавина изазване климатским променама имале значајне ефекте на шуме током прошлог века. На пример, постоји више доказа да су пожари контролисани, барем делимично, климом (Sohnngen, Tian, 2016). Исто тако, истраживања показују да у будућности треба очекивати смањење вредности шумског земљишта у Европи, „...због смањења економски вредних врста у одсуству ефикасних њојивмера“ (Hanewinkel et al., 2013). Наиме, утврђено је да ће до 2100. године, „...у зависности од камајних сценоја и њимењених климајских сценарија, њубијак да варира између 14 и 50% (средња вредност 28% за камајну сценоја од 2%) од садашње вредности шумској земљишта у Европи, не рачунајући Русију, и да ће укључно износити неколико сценоја милијарду EUR“ (Hanewinkel et al., 2013).

Овде представљеним истраживањима је утврђена просечна годишња експоненцијална стопа раста шумских штета од природних непогода виша од 50%. Слично томе, у Националној стратегији заштите и спасавања у ванредним ситуацијама, истакнуто је да се број природних катастрофа у Србији знатно повећао у последњих 100 година (1900-2000. год.). У периоду 1900-1940. године регистровано је 100 природних катастрофа, а након тога, број се стално повећавао: са 650 (1960-1970. год.) на 2.000 (1980-1990. год.) и 2.800 (1990-2000. год.) природних катастрофа. Тако је само током 2007. године, регистровано 258 шумских пожара, при чему је опожарен простор од 33.000 ha растиња, а од тога 16.000 ha под шумама. У Србији се и у будућности очекује да ће климатски екстреми све чешће долазити до изражаја (2011/b). У Европи је, од половине 20. века, забележено од 130 олуја сваке године, од којих су, у просеку биле две деструктивне олује годишње, које су изазивале значајане штете у

шумама. Најдеструктивније до сада забележене олује у Европи (*Лојтар и Марјин*), догодиле су се 1999. године. Причињена штета је износила више од 240 мил. m^3 дрвета у преко 15 земаља⁷ (*Schuck, Schelhaas, 2013*).

Евидентиране штете су имале и значајне економске последице. Тако су олује, које су 2007. године погодиле скандинавске земље и централну Европу, изазвале штете, чији су „...осијурани губици (...) износили 4,5 милијарде €, од чега око 2,4 милијарде € у Немачкој“ (*Schuck, Schelhaas, 2013*). Шумарска индустрија у Немачкој је пријавила изгубљени приход од око 1 млрд. €, поред директне штете проузроковане олујом (*Schuck, Schelhaas, 2013*). После поплава које су погодиле Србију 2014. године, „...укупно евидентирана финансијска штета у ЈП „Србијашуме“ процењена је на укупно 269.987.832 RSD“ (*Baković, 2016*). Те штете су груписане у три категорије: гајења шума (саднице на новооснованим шумама су се искривиле, извалиле или су потпуно уништене, а износ штета је процењен на 27.497.080 RSD); расадници (штете на сетвеном и садном материјалу, инфраструктури, објектима, опреми и сл., штета је процењена на 22.912.297 RSD), коришћење шума (штете на шумским саобраћајницама - путеви, мостови, пропусти, произведени дрвни сортименти, са евидентираном штетом од 219.578.455 RSD) (*Baković, 2016*). Шумски пожари су, само током 2007. године, изазвали штету од око 40 мил. €. Само за санацију је било потребно 24 мил. €, а индиректна штета није процењивана (2011/b).

У односу на укупан обим штета, више од $\frac{2}{3}$ се догодило у региону јужне и источне Србије. Овакви резултати делимично су последица и катастрофалних ледолома, који су погодили ово подручје. Наиме, током 2014. године, „...легени љалас који је захвајио целу источну Србију (у висинском дијапазону од 300 до 1000 м н.в.) проузроковао је појаву великих ледолома, ледозвала и нанео незабележене штете на државним и приватним љоседима. Сјрадале су шуме, воњаци, елекјироводови, куће, љушеви (јавни и шумски), дивљач и др. ЈП „Србијашуме - Беојраг је љрејрјело енормне штете

на љодручју Шумских љаздинсјава из Бољевца, Ниша, Кучева, Десјојовца и Крушевца. Нишја мање шјеее нису ни на имањима и шумама љривајних сјосјевеник (...) У државним шумама је евидентирано 1.607.981 m^3 одумирујућих и ошјееених сјаабала. Најеее шјеее на државним шумама ледни љалас је љрично на љерисјорији шумској љаздинсјава „Тимочке шуме“, Бољевац, љде се налази чак 61% од укупно евидентираних ошјееених сјаабала, од чега је 53% одумирујућих и 47% ошјееених сјаабала. Када је у љишјау узјојни облик, у укупим шјеејама љрема дрвној зајремјни најеее учешје имају изданачке шуме са 46%, зајим високе са 37%“ (*Baković, 2016*) Према подацима из Акционог плана санације оштећених шума у државном и приватном власништву за период 2015.-2018. године, „...љојребна средсјава за санцију насјалних шјееја које је изазвао ледни љалас у источној Србији износе 438.306.043 RSD односно 3.652.550 €“ (*Baković, 2016*).

Резултати истраживања указују да се учешје штета од природних непогода у укупним штетама у шумским екосистемима у Србији повећава за око 5% на годишњем нивоу. Претходним истраживањима, која су обухватила 30 земаља Европе, утврђен је растући тренд штета које настају као последица природних непогода (шумски пожари, олујни ветрови, снеголоми и сл.). Око 0,15% укупне дрвне запремине (око 35 мил. m^3) годишње бива оштећено од природних непогода (просек за период 1950-2000. год.). Ако се узме у обзир да укупна сеча у одабраним државама износи око 430 милиона m^3 , штета представља око 8,1% етата. Нешто више од половине штете (53% од укупног броја) је узрокован олујним ветровима, 16% пожарима и око 3% су штете од снега. Укупно, „...шјеее од абјојичких факјора износе 77%“ (*Schelhaaset al., 2003*).

Локалне, регионалне, али и глобалне промене у температури и падавинама могу утицати на појаву, учесталост, трајање, обим, и интензитет поремећаја у шумским екосистемима (*Dale et al., 2001; Hanewinkel et al., 2013*). Овде приказана истраживања указују да се може очекивати повећање штета изазваних природним непогодама са падом температуре и порастом

7 Француска је била највише погођена са штетом од 176 мил. m^3 , а следе је Немачка са 34 мил. m^3 и Швајцарска са 14 мил. m^3 (*Schuck, Schelhaas, 2013*).

падавина. Претходна истраживања (Lindner, Rummukainen, 2013) такође указују да температура и падавине критични фактори, који утичу на појаву природних непогода. Климатски модели указују на промене у учесталости, интензитету и трајању екстремних догађаја, укључујући и више топлих дана и више обилних падавина током 21. века (Lindner, Rummukainen, 2013). Пројектоване климатске промене подразумевају „...не само промену у њемператури или њадавинама, већ и да ће њаква промена довести до промена у учесталости и величине екстремних временских њрилика“ (Schlyter et al., 2006).

Повезаност временских услова са абиотичким оштећењима шумских екосистема (нпр. снеголоми и ледоломи) је важна како би се уочили могући негативни ефекти климатских промена на шуме и утврдили најприкладнији начини газдовања у будућности (Kilpeläinen et al., 2010). Активности у газдовању шумама могу имати запажен утицај на осетљивост шумских екосистема на природне непогоде. Претходна истраживања показују да начини газдовања шумама могу у истој мери допринети повећању штета од природних непогода као и климатске промене (Schuck, Schelhaas, 2013). Неки од алтернативних начина газдовања, који укључују „...краћу њиходњу и њрилагођавање сасњава сасњојина њим врсиама за које се очекује да се боље њрилагоде климатским променама“, воде ка „...смањењу њрирасња, али не уњичу на количину која може бињи њосечена“ (Schelhaaset al., 2015).

ЗАКЉУЧАК

На бази добијених регресионих модела може се закључити следеће:

- просечни апсолутни раст шумских штета од природних непогода у Србији (укупно) износи око $17.653,83 \text{ m}^3 \cdot \text{год}^{-1}$, а просечна годишња експоненцијална стопа раста је 56,2%;
 - просечни апсолутни раст шумских штета од природних непогода у Београду износи око $32,49 \text{ m}^3 \cdot \text{год}^{-1}$, а просечна годишња експоненцијална стопа раста је 36,4%;
 - просечни апсолутни раст шумских штета од природних непогода у Шумадији и Западној Србији износи око $5.355,94 \text{ m}^3 \cdot \text{год}^{-1}$, а просечна годишња експоненцијална стопа раста је 33,2%;
 - просечни апсолутни раст шумских штета од природних непогода у Јужној и Источној Србији износи око $11.790,43 \text{ m}^3 \cdot \text{год}^{-1}$, а просечна годишња експоненцијална стопа раста је 77,0%;
 - учешће штета од природних непогода у укупним шумским штетама у Србији се повећава у просеку за око 5,5% годишње;
 - утицај температуре и падавина је такав да се може очекивати да штете порасту са падом температуре за 1°C за око $63.407,61 \text{ m}^3$, са порастом падавина за $1 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2}$ за око $6,6 \text{ m}^3$, а утицај свих осталих фактора (необухваћених моделом) проузрокује повећање од приближно $29.040,45 \text{ m}^3 \cdot \text{год}^{-1}$.
- Овако наведене информације, без обзира на изостанак сигнификантности код свих модела, говори да се шумске штете од природних непогода у Србији увећавају, да се увећава њихово учешће у укупним шумским штетама и да се такво увећање ових штета може везати за ниже температуре и већу количину падавина (снеголоми, снегоизвале, ледоломи, ледоизвале, поплаве, итд.). При томе, подручје Јужне и Источне Србије се може издвојити као посебно погођено (највећа просечна годишња експоненцијална стопа раста ових штета), па у свим наредним истраживањима посебно треба посматрати овај крај и радити на расветљавању могућих узрока таквог стања.
- Пошто се све наведено односи на државне шуме, било би потребно да се утврђивање, исказивање и консолидовање свих информација везаних за штете од природних непогода обави и за приватне шумске поседе. Требало би радити на дефинисању методологије за обављање тог посла, док би за успешно спровођење законских решења требало сачинити и одговарајуће протоколе, где би се јасно одредили сви поступци и актери (до нивоа појединаца) на предвиђеним пословима. Постојање таквих протокола би омогућило једнообразно и лако прикупљање, систематизацију и чување свих потребних информација, које би се даље користиле у аналитичке сврхе.

Такође, ради добијања модела веће поузданости, а располагајући релативно кратким низовима података, потребно је применити алтернативне економетријске методе, које су посебно развијене за такве случајеве (Hsiao, 2007), када се комбинују временске серије и упоредни подаци (анализа панел података). За такав приступ потребно је постојеће податке допунити и припремити за такву специфичну врсту обраде.

Напомена: Истраживање је реализовано у оквиру пројекта „Истраживања климатских

промена и њиховог утицаја на животну средину - праћење утицаја, адаптација и ублажавања“, подпројекат „Социо-економски развој, ублажавање и адаптација на климатске промене“ (ев. бр. 43007, ев. бр. подпројекта 43007/16-III), финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја и пројекта „Истраживање социо-економских аспеката ризика услед климатских промена у шумским подручјима“ (бр. 401-00-1457/2015-10), финансираног од стране Министарства пољопривреде и заштите животне средине - Управе за шуме.

TRENDS IN THE EXTENT OF DAMAGES FROM NATURAL HAZARDS IN FORESTS IN SERBIA AND THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION

dr Nenad Ranković, full professor, University of Belgrade - Faculty of Forestry, Belgrade (nenad.rankovic@sfb.bg.ac.rs)

dr Jelena Nedeljković, assistant professor, University of Belgrade - Faculty of Forestry, Belgrade

dr Miodrag Zlatić, full professor, University of Belgrade - Faculty of Forestry, Belgrade

MSc Mirjana Stanišić, PhD candidate, University of Belgrade - Faculty of Forestry, Belgrade

dr Dragan Nonić, full professor, University of Belgrade - Faculty of Forestry, Belgrade

Abstract: In terms of the visible effects of climate change, in Serbia as well as in other countries is present an increase of average annual temperature, reduced amount of precipitation, the occurrence of floods, droughts, forest fires and ice breakage. The aim of the research is to determine the pattern of the trends in the extent of damages from natural hazards in the forests in Serbia, their share in the total forest damage and the impact of temperature and precipitation on the extent of damage from natural hazards in the forests during the researched period. A modelling method was used as a basic scientific method, with an application of trend, regression and correlation analysis, methods of reasoning (abstraction and concretization, analysis and synthesis, induction and deduction, etc.), along with other methods and techniques necessary for obtaining all needed elements (processes, absolute growth, growth rate, etc.). Regardless of the lack of significance in all models, the research results indicate that the damages from natural hazards in the forests in Serbia are expanding, with increased share in total forest damages, which might be related to significantly lower temperatures and higher rainfall (snow-breaks, snow uprooting, ice-breaks, ice uprooting, floods, etc.).

Key words: forest, damage, natural hazards, temperature, precipitation

INTRODUCTION

Climate changes and their consequences significantly influence the state of the environment and endanger the surroundings in which the hu-

man species are evolved over millennia (2011/a, 2014/a). Hence, there is the great interest in explaining these phenomena, understanding the

mechanisms of action of all influencing factors and efforts to change the situation and permanently provide conditions for the survival of the human species.

In line with such developments, particular focus is on the forest ecosystems and their functioning in the changed climatic conditions. Thereby, one should know that there is a mutual interaction between climate and forests, whereas climate affects the forest, but almost to the same extent forests shape the climate of the land areas (Vučković, Stajić, 2003, Bolte et al., 2009, Stajić et al., 2014, Baković et al., 2015, Sohngen, Tian, 2016). Mentioned influence balance is very important for land life processes, because the forest is positioned somewhere between global climate influence and all other terrestrial creatures, mitigating the effects of precipitation, temperature and air movement (wind). The effects of climate impacts on forests are manifested in the form of storm breaks and uprooting, ice breaks and uprooting, floods, landslides, forest fires and other similar effects of climate change. All these factors act to reduce the number of all forest functions (production, environmental and social), thus jeopardizing the chances of survival of many plant and animal species, including the human race (2011/a, 2012/a, Houghton et al., 1996).

Hazard represents “...a dangerous phenomenon, substance, human activity or condition that may cause loss of life, injury or other health impacts, property damage, loss of livelihoods and services, social and economic disruption, or environmental damage” (2009). According to §45 of the Law on Forests (2010), natural hazard in forests represents “...a significant disturbance to the biological balance and serious damage to forest ecosystems primarily by fires, drying, plant diseases and pests, storm-breaks and storm uprooting, snow-breaks and snow uprooting, floods, torrential flows, landslides and other unforeseen factors over large areas of forests and forest lands” (2010).

Therefore, in recent years many studies related to connections between climate and forests have been initiated, with an aim to find solutions which will hold up the retrograde processes and prevent further deterioration of forests. In Serbia, the changes are also detected, whilst the negative

consequences are numerous (environmental and economic). Especially in recent years, there are frequent occurrences of floods, landslides and ice breakage. The consequences are measured in thousands of cubic meters of felled or damaged wood (which has been, forced by circumstances, harvested), which were originally not yet intended for a timber market. Despite the fact that the selling of such wood is bringing financial profit, the absence of all other type of benefits provided by such trees through their physiological processes undoubtedly is categorized as damage (Baković, 2016).

A time is needed to rehabilitate forest damaged in such way. The process might be shorted by great financial means (significantly higher than those gained through sales of uprooted and damaged trees). As one of the first steps in studying these phenomena, it is important to ascertain the direction and intensity of these changes, as well as to identify the factors that cause them. Respectively, this research started by determining trends of the extent of damage from natural hazards, measured by volume of logged timber¹, and attempts to determine the influence of the two main climate factors (temperature and precipitation) on the damage extent. Trends were conducted at four levels²: a) the whole of Serbia (total), b) the Belgrade region, c) the region of Šumadija and Western Serbia, d) the region of Southern and Eastern Serbia. The ratio of damage volume and temperature and precipitation was carried out only for the whole territory of Serbia. Such territorial research framework was influenced by the structure of the collected data (the manner of organization of data collection, systematization and storage in relevant institutions).

1 According to methodological explanation of the Statistical Office of the Republic of Serbia, „...data on forest damage are collected by types of forests and by causes, and are expressed in m³ of the logged timber and in ha for the surface area. Logged timber includes damaged mass of standing tree measured on the stump, while the area is determined by inventory, or (most often) assessment” (2015).

2 Autonomous province (AP) Vojvodina and AP Kosovo and Metohija were not included, because in the territory of a very small volume of damages caused by natural hazards was recorded in AP Vojvodina, and there are no data for AP Kosovo and Metohija due to lack of administrative jurisdiction of the Republic of Serbia.

The research operates with two time frames - the period covered by the numerical data and the period when it was conducted. The period covered by the data includes information dating from 2010 to 2015. The research was conducted in the period June-August 2016. Preparation and processing of data and writing a report on the conducted research lasted for the next three months.

The **aim** of the research is to determine the pattern of the trends in the extent of damages from natural hazards in the forests in Serbia, their share in the total forest damage and the impact of temperature and precipitation on the extent of damage from natural hazards in the forests during the researched period. The **purpose** is to create the basis to undertake appropriate measures and activities to combat the negative effects of climate impacts on forest ecosystems, based on the acquired knowledge. The **subject** of research are the extent of damage from natural hazards in the forests, the total extent of forest damages, the average annual temperature and average precipitation.

Basic hypotheses can be set as follows:

1. there is a growing trend in the observed variables (extent of damage from natural hazards in forests in Serbia, Belgrade, Šumadija and Western Serbia Southern and Eastern Serbia) during the research period;
2. there is a growing trend in the share of damage from natural hazards in the total forest damage extent;

3. there is a strong dependence of the extent of damage from natural hazards in the forests on the temperature and size of precipitation.

METHOD AND DATA ANALYSIS

In the research were used following methods: a modelling method, trend analysis (*Ranković, 2009, 2012*), regression and correlation analysis (*Jovičić, 1981, Petz, 1985*). In addition, classical methods of reasoning were used (induction and deduction, analysis and synthesis, abstraction and concretization, etc.), along with other methods and techniques needed for obtaining all the necessary elements for drawing conclusions (averages, absolute growth, growth rate, etc.). In assessing the significance of individual elements of obtained regression models, the coefficient of determination (R^2), the correlation coefficient (R), t -statistics and F -statistic (tests the significance of the correlation coefficient) have been used. The chosen significance threshold is $\alpha=0.05$ (the level of error is equal to or less than 5%), as common for this type of research.

In addition, exponential growth rate (I) has been used for the assessment of the pace of the observed variables variation. The exponential growth rate was derived from the parameter with time (t) in exponential regression model.

The basic data (Table 1) are taken from internal documents of Public enterprise "Srbijašume"

Table 1. Damage extent of natural hazards in state forests in Serbia and their share in total forest damage

Year	Total forest damage		Damages from natural hazards							
			Serbia		Belgrade		Šumadija and Western Serbia		Southern and Eastern Serbia	
	Volume m^3	Area ha	Extent m^3	Share %	Extent m^3	Share %	Extent m^3	Share %	Extent m^3	Share %
2010	38,836.0	3,109	14,902.0	38.4	52.0	0.10	11,811.0	30.4	3,039.0	7.8
2011	64,805.0	2,078	8,141.0	12.6	34.0	0.05	6,900.0	10.6	926.0	1.4
2012	84,934.0	7,935	18,619.0	21.9	97.0	0.11	18,269.0	21.5	253.0	0,3
2013	85,609.0	5,427	29,960.0	35.0	36.0	0.04	27,437.0	32.0	60.0	0.1
2014	121,867.0	8,078	41,107,0	33.7	195.0	0.16	36,210.0	29.7	4,702.0	3.9
2015	189,201.0	9,821	116,431.0	61.5	195.0	0.10	29,883.0	15.8	83,345.0	44.1
Σ	585,252.0	36,448	229,160.0	39.2	609.0	0.10	130,510.0	22.3	92,325.0	15.8

Source: (2016/c), (2012/b), (2013), (2014/b), (2015), (2016/b) and authors calculations

(2016/a) and the statistical publications of “State-ment - ŠU10” (published by the Statistical Office of the Republic of Serbia) for the period from 2010 to 2015 (2011/c, 2012/b, 2013, 2014/b, 2015, 2016/b). All data are related to state forests, because of the difficulties in recording the damages in the private sector and fitting them into a consolidated data overview.

Table 2. Average annual temperature (*T*) and precipitation (*P*) in Serbia

Year	<i>T</i>	<i>P</i>
	°C	mm·m ⁻²
2010	11.03	847.71
2011	10.93	474.67
2012	11.59	528.24
2013	11.67	673.94
2014	11.79	1,000.30
2015	11.77	690.63

Source: (2011-2016)

Data on the average annual air temperature (*T*) and the average annual sum of precipitation (*P*), which were measured at 39 weather stations on the territory of Serbia, are taken from the bulletin “Meteorological Yearbook 1 - Climatological Data”, annually published by the Republic Hydro-meteorological service of Serbia (2011-2016). In order to calculate the average for Serbia, the data of meteorological stations were used for obtaining arithmetic mean (Table 2) for the six observed years.

RESULTS

The research results are divided into three parts: a) trends of damages from natural hazards, b) trend of a share of damage from natural hazards in total damages and c) the impact of temperature and precipitation on the extent of damage from natural hazards. In the first case, the regression models of damages from natural hazards are shown, followed by average annual exponential growth rate (*I*). In the second case is given the regression model of a share of damages

from natural hazards in the total forest damage. In the third case, the regression model of dependency of the extent of damage from natural hazards on changes in temperature and precipitation is shown.

Trend in forest damages from natural hazards

Following regression models were obtained by processing the collected data (Figure 1):

- the extent of forest damages from natural hazards in Serbia (Q_s , in m^3)

$$Q_s = 17,653.83 \cdot t - 23,595.07$$

$$(2.91)^3 \quad (-1.00)$$

$$R^2 = 0.68 \quad R = 0.82 \quad F_{(6,4)} = 8.48 \quad (p = 0.04)$$

$$I_s = 56.2\%;$$

- the extent of forest damages from natural hazards in Belgrade (Q_{Bgd} , in m^3)

$$Q_{Bgd} = 32.49 \cdot t - 12.20$$

$$(2.67) \quad (-0.26)$$

$$R^2 = 0.64 \quad R = 0.80 \quad F_{(6,4)} = 7.15 \quad (p = 0.06)$$

$$I_{Bgd} = 36.4\%;$$

- the extent of forest damages from natural hazards in Šumadija and Western Serbia (Q_{SZS} , in m^3)

$$Q_{SZS} = 5,355.94 \cdot t + 3,005.87$$

$$(3.83) \quad (0.55)$$

$$R^2 = 0.79 \quad R = 0.89 \quad F_{(6,4)} = 14.66 \quad (p = 0.02)$$

$$I_{SZS} = 33.2\%;$$

- the extent of forest damages from natural hazards in Southern and Eastern Serbia (Q_{JIS} , in m^3)

$$Q_{JIS} = 11,790.43 \cdot t - 25,879.00$$

$$(1.76) \quad (-0.99)$$

$$R^2 = 0.44 \quad R = 0.66 \quad F_{(6,4)} = 3.11 \quad (p = 0.15)$$

$$I_{JIS} = 77.0\%.$$

3 The t-statistic parameters are in parentheses.

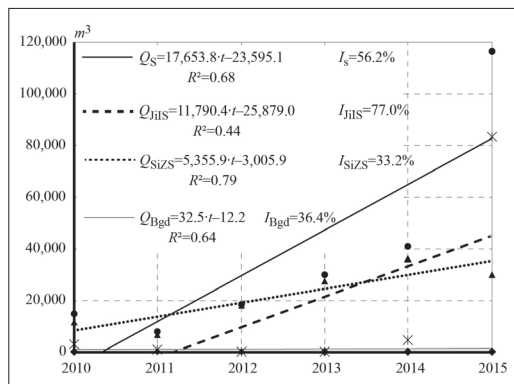


Diagram 1. Regression models of extent of damages from natural hazards

Bearing in mind the tests of statistical significance, one can conclude that the correlation coefficients are significant in the case of Serbia (total) and Šumadija and Western Serbia (<5%). The error is only slightly higher in the case of Belgrade (6%), while in the case of South and Eastern Serbia is somewhat higher (15%). All parameters with time are statistically significant (*t*-test), except in the case of Southern and Eastern Serbia, while the other parameters in all cases are statistically insignificant. This situation is due to relatively short series and a small number of degrees of freedom. It is expected that the future regular monitoring of these elements will enable longer series of information and more precise models.

Interpretation of parameters with time shows that in the average, damage extent has been increased (confirmed hypothesis 1), as follows:

- Serbia (total):
 $17,653.83 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$;
- Belgrade:
 $32.49 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$;
- Šumadija and western Serbia:
 $5,355.94 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$;
- Southern and Eastern Serbia:
 $11,790.43 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$.

Thereby, the average annual exponential growth rate is:

- Serbia (total) 56.2%;
- Belgrade 36.4%;
- Šumadija and Western Serbia 33.2%;
- Southern and Eastern Serbia 77.0%.

There is a high volume of damages from natural hazards, whereas southern and eastern parts of Serbia are largely affected. Around $\frac{2}{3}$ (66.8%) of total damage extent is in this region. In this region is the largest average annual exponential growth rate of damages (77% annually), which is not comforting for the upcoming period. Hence, the damage can be considered a real catastrophe for that part of Serbia, but also for the country as a whole.

Trend in share of damages from natural hazards in the total forest damage

Trends in share of forest damages from natural hazards in the total forest damage in Serbia (*U*, in %) were observed by using the following regression model (Figure 2):

$$U = 5.50 \cdot t - 11,029.95$$

$$(1.57) \quad (-1.57)$$

$$R^2 = 0.38 \quad R = 0.62 \quad F_{(6,4)} = 2.47 \quad (p = 0.19).$$

The significance of the correlation coefficient and parameters is at a lower level than assumed (errors are higher than 5%, but less than 20%), due to slightly shorter data series. Despite that, it can be stated that the main trend of the share of damages from natural hazards in the total forest damages is increasing (confirmed hypothesis 2), occurring at a rate of 5.5% per year. This indicates that

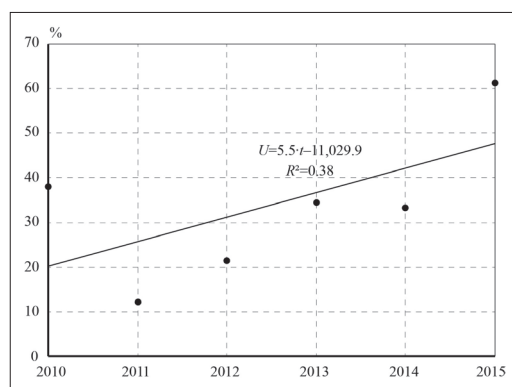


Diagram 2. Regression model of share of damage from natural hazards in the total forest damage in Serbia

these types of damages should receive more attention than before and that continuous performance of technical monitoring is needed. In such way, information which would serve as a professional basis for taking appropriate measures and activities to combat the negative consequences of natural hazards on forest ecosystems will be acquired.

Influence of temperature and precipitation on the extent of forest damages from natural hazards

The impact of the two most important climate elements (temperature and precipitation), on the extent of forest damages from natural hazards, was observed through the development and analysis of the corresponding regression model. In the regression model, the extent of damages from natural hazards is dependent variable (Q_s), while independent variables are temperature (T), precipitation (P) and time (t). The model looks like the following:

$$Q_s = 658,864.06 - 63,407.61 \cdot T + 6.55 \cdot P + 29,040.45 \cdot t$$

(0.74) (-0.76) (0.09) (1.74)

$$R^2 = 0.75 \quad R = 0.87 \quad F_{(6, 2)} = 2.03 \quad (p = 0.35).$$

Based on obtained elements for assessing the statistical significance, it can be noted that the significance on the error level of 5% is not achieved. This is probably due to the relatively short data series, the number of independent variables and a small number of degrees of freedom. Hence, further monitoring and operation with a higher number of initial data, frequent update of newly formed models, with a greater degree of significance are suggested.

However, from the obtained models it can be seen that the influence of the independent variables is in accordance with a pre-given expectation (confirmed hypothesis 3). With increasing temperature, the extent of damages from natural hazards decreases (in other words, with decreasing temperature share of the damages grows), while with increasing precipitation the extent of damages is increasing. This indicates that the extent of damage caused by precipitation (e.g. flood,

snow-breaks, snow uprooting, etc.) in the reporting period has been higher than the extent of damages caused by the high temperatures (e.g. fires). The parameter with time (t) shows that forest damages from natural hazards on annual average have increased by approximately 29,040.45 m^3 . Given the values of insignificant parameters, these amounts should be considered with retention.

DISCUSSION

Previous studies are indicating that changes in temperature and precipitation from climate change might have significant effects on forests over the past century. For example, there is more evidence that the fires are controlled, at least partly, by climate (Sohnngen, Tian, 2016). Also, research indicates a future reduction of the forest land values in Europe, because of "...the decline of economically valuable species in the absence of effective countermeasures" (Hanewinkel et al., 2013). Specifically, it was found that by 2100, "...depending on the interest rate and climate scenario applied - this loss varies between 14 and 50% (mean: 28% for an interest rate of 2%) of the present value of forest land in Europe, excluding Russia, and may total several hundred billion Euros" (Hanewinkel et al., 2013).

The average annual exponential growth rate of forest damages from natural hazards determined in this research is higher than 50%. Similarly, in the National Strategy for protection and rescue in emergency situations was noted that the number of natural hazards in Serbia increased considerably in the last 100 years (1900-2000). From 1900 to 1940 100 natural hazards were registered, continuing by the increase in the following years: 650 (1960 in 1970) to 2,000 (1980 to 1990) and 2,800 (1990-2000.) Only in 2007, 258 forest fires were registered, with the burned vegetation area of 33,000 ha, of which 16,000 ha of forests. It is expected that in the future, Serbia will be more often exposed to climate extremes (2011/b). In Europe, from the mid-20th century, 130 storms per year have been recorded, with, in average, two destructive storms per year, causing considerable forest damages. The most destructive storms in

Europe, so far recorded (Lothar and Martin), occurred in 1999. The damage costs were estimated at more than 240 million m^3 of wood in over 15 countries⁴ (Schuck, Schelhaas, 2013).

The recorded damage had significant economic consequences. A series of storms affected the Scandinavian countries and Central Europe in 2007 and caused damage, which "...insured losses (...) were calculated at €4.5 billion with about €2.4 billion in Germany alone" (Schuck, Schelhaas, 2013). In addition to direct damage from the storm, the Germany forestry industry reported a revenue loss of about 1 billion € (Schuck, Schelhaas, 2013). After the floods in Serbia in 2014, "...the total recorded financial loss in the Public enterprise "Srbijašume" is estimated at a total of 269,987,832 RSD" (Baković, 2016). These damages are split into three categories: silviculture (forest seedlings in the newly established forests were uprooted or completely destroyed, with the damage estimated at 27,497,080 RSD); nurseries (damage to the seeding and planting material, infrastructure, facilities, equipment, etc., with the damage estimated at 22,912,297 RSD), forest harvesting (damage to forest roads, bridges, manufactured wood products, with recorded damage of 219,578,455 RSD) (Baković, 2016). Forest fires from 2007 caused damage of approx. 40 million €. Only the recovery amounted 24 million €, whilst the indirect damage was not estimated (2011/b).

In relation to the total extent of damages, more than ⅓ occurred in the region of Southern and Eastern Serbia. These results are partly originating from catastrophic ice breaks, which occurred in the region. In fact, in 2014 "...the ice wave that swept across Eastern Serbia (in altitude range of 300 to 1000 meters above sea level) caused the appearance of large ice breaks and uprooting, making the unprecedented damages to public and private property. Forests, orchards, electrical lines, homes, roads (public and forest), venison, etc. were damaged. Public enterprise "Srbijašume" has suffered enormous damage in the area of the Forest estates of Boljevac, Niš, Kučevo, Despotovac and Kruševac. No less damage

occurred on private farms and forests. (...) In state forests amount of 1,607,981 m^3 of dying and damaged trees have been noted. The greatest damage from the ice wave in the state-owned forests was recorded in the territory of forest estate "Timočke šume", Boljevac, with 61% of the total registered damaged trees, of which 53% are dying and 47% are damaged trees. In relation to the silvicultural form, the share of coppice forests in the total damages is the largest with 46%, followed by the high forests with 37%" (Baković, 2016). According to the Action Plan for the recovery of damaged forests in state and private ownership for 2015-2018 "...the necessary resources for recovery of losses by ice wave in eastern Serbia are estimated to 438,306,043 RSD or € 3,652,550 €" (Baković, 2016).

The research results indicate that the share of damage from natural hazards in total damage in forest ecosystems in Serbia is increasing by approx. 5% annually. Previous studies, which included 30 countries in Europe, concluded a growing trend of damages as a result of natural hazards (forest fires, storms, snow-breaks etc.). Approximately 0.15% of the total timber volume (about 35 mill. m^3) per year is damaged by natural hazards (average for the period 1950-2000). By taking into account the total felling in selected countries of around 430 million m^3 , the damage represents around 8.1% of the felling volume. Slightly more than half of the damage (53%) is from storms, 16% is from fires and about 3% of the damage originates from the snow. Overall, "...the total abiotic component is 77%" (Schelhaas et al., 2003).

Local, regional, and global changes in temperature and precipitation can affect the occurrence, frequency, duration, scope, and intensity of disturbances in forest ecosystems (Dale et al., 2001; Hanewinkel et al., 2013). This research indicates that one can expect an increase in the damages from natural hazards with a decrease in temperature and an increase in precipitation. Previous studies also indicate that temperatures and rainfall are critical factors influencing the occurrence of natural hazards (Lindner, Rummukainen, 2013). Climate models indicate changes in the frequency, intensity and duration of extreme events, including more hot days and more heavy precipitation

4 France was the mostly affected, with damages of 176 mill. m^3 , followed by Germany with 34 mill. m^3 and Switzerland with 14 mill. m^3 (Schuck, Schelhaas, 2013).

events during the 21st century (Lindner, Rumukainen, 2013). Projected climate changes imply “...not only a change in mean climate parameters, such as temperature or precipitation, but also that such a change will result in changes in the frequency and magnitude of extreme weather events” (Schlyter et al., 2006).

The interconnection between climate conditions and abiotic damage of forest ecosystems (e.g. snow and ice breaks) is important in order to identify the possible negative effects of climate change on forests and determine the most appropriate forest management approach in the future (Kilpeläinen et al., 2010). Activities in forest management can have a noticeable impact on the vulnerability of forest ecosystems to natural hazards. Previous studies have shown that forest management practices can equally contribute to increasing damages from natural hazards as climate change (Schuck, Schelhaas, 2013). Some of the alternative ways of management “...reduction in the rotation length of harvesting and adaptation of species composition to those species that are expected to perform better under a changed climate” are leading to “...some reduction in increment, but does not influence the amount of wood removed from the forest” (Schelhaas et al., 2015).

CONCLUSIONS

Based on the obtained regression model, the following can be concluded:

- the absolute average increase of forest damages from natural hazards in Serbia (total) is about 17,653.83 $m^3 \cdot year^{-1}$, and the average annual exponential growth rate is 56.2%;
- the absolute average increase of forest damages from natural hazards in Belgrade is around 32.49 $m^3 \cdot year^{-1}$, and the average annual exponential growth rate is 36.4%;
- the absolute average increase of forest damages from natural hazards in Šumadija and Western Serbia is around 5,355.94 $m^3 \cdot year^{-1}$, and the average annual exponential growth rate is 33.2%;
- the absolute average increase of forest damages from natural hazards in Southern and Eastern Serbia is around 11,790.43 $m^3 \cdot year^{-1}$,

and the average annual exponential growth rate is 77.0%;

- the share of damages from natural hazards in the total forest damage in Serbia increases by an average of around 5.5% per year;
- it can be expected that the damage will increase with temperature decrease by 1°C for about 63,407.61 m^3 , with an increase in rainfall of 1 $mm \cdot m^{-2}$ for about 6.6 m^3 , and the impact of other factors (not included in the model) causes an increase of approximately 29,040.45 $m^3 \cdot year^{-1}$.

Above mentioned information, regardless the lack of significance in all models, indicate increase of forest damages from natural hazards in Serbia, increase of their share in total forest damages and that the increase of these damages can be connected with the lower temperatures and greater precipitation (snow and ice breaks, snow and ice uprooting, floods, etc.). At the same time, the region of Southern and Eastern Serbia can be marked as particularly affected (the largest average annual exponential growth rate of the damages). All subsequent research should focus on this region of Serbia and work on finding possible causes of such a state.

Since all of the above apply to state-owned forests, it would be necessary to include determination, reporting and consolidation of all information related to the damage from natural hazards for private forests. Defining the right methodology for work performance would be needed, whilst for successful implementation of legislative solutions appropriate protocols should be developed, with clear task division for all the actions and actors (to the level of individuals). The existence of such a protocol would provide a uniform and easy collection, systematization and storage of all necessary information, which could be further used for analytical purposes.

Also, in order to obtain a model with higher reliability, while having relatively short data series, it is necessary to implement alternative econometric methods, specifically developed for such cases (Hsiao, 2007). Such methods combine time series and comparative data (panel data analysis). For such an approach, it is necessary to supplement and prepare existing data to be suitable for specific kind of processing.

Acknowledgement: The research was conducted within the project “Studies of climate changes and their impact on the environment - monitoring impacts, adaptation and mitigation” (№ 43007), sub-project “Socio-economic development, mitigation and adaptation to climate change” (№ 43007/16- III), funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development and project “Research of socio-economic aspects of risk due to climate change in forest areas” (№ 401-00-1457 / 2015-10), financed by the Ministry of Agriculture and Environmental Protection - Directorate for Forests.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Baković Z. (2016): *Ranjivost prirodnih sistema (šume) pod uticajem klimatskih promena kroz prizmu pojave i efekata vremenskih ekstrema*, Zbornik radova: 11. Međunarodno savetovanje „Rizik i bezbednosni inženjering“, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Novi Sad (320-331)
- Baković Z., Stajić B., Janković V., Janjatović Ž., Kazimirović M. (2015): *Aktivnosti JP „Srbijašume“ na sanaciji negativnih efekata ledenog talasa u 2014. godini na šume i životnu sredinu u istočnoj Srbiji*, Babić B., Komazec N. (ured.), Zbornik radova: 1. Međunarodna naučno-stručna konferencija „Upravljanje kriznim i vanrednim situacijama - teorija i praksa“, Kurjak Copy, Vranje (115-124)
- Bolte A., Ammer C., Löf M., Madsen P., Nabuurs G.J., Schall P., Spathelf P., Rock J. (2009): *Adaptive forest management in central Europe: Climate change, impacts, strategies and integrative concept*, Scandinavian Journal of Forest Research 24 (6), Taylor & Francis AS, Oslo (473-482)
- (2014/a): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global & Sectoral Aspects*, Field C.B., Barros V.R., Dokken D.J., Mach K.J., Mastrandrea M.D., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., MacCracken S., Mastrandrea P.R., White L.L. (Eds.), Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge (113)
- (2011/a): *Climate Change for Forest Policy-Makers (An approach for integrating climate change into national forest programmes in support of sustainable forest management)*, FAO, Rome (50)
- Dale V., Joyce L., McNulty S., Neilson R., Ayres M., Flannigan M., Hanson P., Irland L., Lugo A., Peterson C., Simberloff D., Swanson F., Stocks B., Wotton B.M. (2001): *Climate Change and Forest Disturbances*, BioScience 51(9), Bio-ONE, Washington (723-734)
- (2012/a): *Forest Management and Climate Change: A literature review*, Forests and Climate Change Working Paper 10, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (45)
- Hsiao C. (2007): *Panel Data Analysis - Advantages and Challenges*, TEST № 1, Vol. 16, An Official Journal of the Spanish Society of Statistics & Operations Research, Springer International, Cham
- Hanewinkel M., Cullmann D.A., Schelhaas M.J., Nabuurs G.J., Zimmermann N.E. (2013): *Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land*, Nature Climate Change 3(3), Springer Nature (203-207)
- Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Maskell K. (1996): *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge (588)
- Jovičić M. (1981): *Ekonometrijski metodi*, Savremena administracija, Beograd (126-127)
- Kilpeläinen A., Gregow H., Strandman H., Kellomäki S., Venäläinen A., Peltola H. (2010): *Impacts of climate change on the risk of snow-induced forest damage in Finland*, Climatic Change 99(21), Springer (193-209)
- Lindner M., Rummukainen M. (2013): *Climate change and storm damage risk in European forests*, 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 (109-115)

- (2011-2016): *Meteorološki godišnjak 1. - Klimatološki podaci*, za period od 2010.-2015. godine, Republički Hidrometeorološki zavod, Beograd
- (2011/b): *Nacionalna strategija zaštite i spasavanja u vanrednim situacijama*, Službeni glasnik RS, br. 86/2011, Službeni glasnik, Beograd
- Petz B. (1985): *Osnovne statističke metode za nematematičare*, SNL, Zagreb
- Ranković N. (2009): *Pošumljavanje u Srbiji u periodu od 1961-2007. godine sa posebnim osvrtom na crni i beli bor*, Glasnik Šumarskog fakulteta 99, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd (115-134)
- Ranković N. (2012): *Trendovi šumske površine i broja stanovnika i uticaj broja stanovnika na šumsku površinu po hektaru u Srbiji bez AP*, Glasnik Šumarskog fakulteta 106, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd (183-196)
- Schelhaas M.J., Nabuurs G.J., Hengeveld G., Reyer C., Hanewinkel M., Zimmermann N., Cullmann D. (2015): *Alternative forest management strategies to account for climate change-induced productivity and species suitability changes in Europe*, Regional Environmental Change 15(8), Springer (1581-1594)
- Schelhaas M.J., Nabuurs G.J., Schuck A. (2003): *Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries*, Global Change Biology 9, John Wiley & Sons (1620-1633)
- Schlyter P., Stjernquist I., Bärning L., Jönsson AM., Nilsson C. (2006): *Assessment of the impacts of climate change and weather extremes on boreal forests in northern Europe, focusing on Norway spruce*, Climate Research 31, Inter-Research Science Center, Oldendorf/Luhe (75-84)
- Schuck A., Schelhaas M.J. (2013): *Storm damage in Europe - an overview*, In: Gardiner B., Schuck A., Schelhaas M.J., Orazio C., Blenow K., Nicoll B. (Eds.), *Living with Storm: Damage to Forests*, EFI Series What Science Can Tell Us 3, European Forest Institute, Joensuu (15-23)
- Sohngen B., Tian X. (2016): *Global climate change impacts on forests and markets*, Forest Policy and Economics 72, Elsevier (18-26)
- Stajić B., Baković Z., Kisin B. (2014): *Zalihe ugljenika u šumama Javnog preduzeća „Srbijašume“ - Važan činilac zaštite i unapređenja životne sredine*, Zbornik radova sa 9. Međunarodnog savetovanja „Rizik i bezbednosni inženjering“, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Novi Sad (419-427)
- (2016/a): *Štete od elementarnih nepogoda u periodu 2010-2015. godine*, Interna dokumentacija JP „Srbijašume“, Beograd
- (2011/c): *Štete u šumama 2010*, Saopštenje ŠU10 br. 148, Republički zavod za statistiku, Beograd
- (2012/b): *Štete u šumama 2011*, Saopštenje ŠU10 br. 156, Republički zavod za statistiku, Beograd
- (2013): *Štete u šumama 2012*, Saopštenje ŠU10 br. 156, Republički zavod za statistiku, Beograd
- (2014/b): *Štete u šumama 2013*, Saopštenje ŠU10 br. 155, Republički zavod za statistiku, Beograd
- (2015): *Štete u šumama 2014*, Saopštenje ŠU10 br. 147, Republički zavod za statistiku, Beograd
- (2016/b): *Štete u šumama 2015*, Saopštenje ŠU10 br. 143, Republički zavod za statistiku, Beograd
- (2009): *UNISDR terminology on disaster risk reduction*, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva (30)
- Vučković M., Stajić B. (2003): *Uticaj promena klime na rast i vitalnost šuma*, Zaštita životne sredine gradova i prigradskih naselja, monografija, Ekološki pokret grada Novog Sada, Novi Sad (227-232)
- (2010): *Zakon o šumama*, Službeni glasnik RS br. 30/10, 93/12, 89/15, Službeni glasnik, Beograd

