

UDK: 005.3+519.233.5:630*42/43
Оригинални научни рад
<https://doi.org/10.2298/GSF1919189R>

ТРЕНД ШТЕТА У ОДАБРАНИМ ШУМСКИМ ПОДРУЧЈИМА И ПРОГНОЗА ЗА НАРЕДНИ ПЕРИОД

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

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

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

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

Извод: До сада спроведеним истраживањима у Србији је утврђено увећање штета у шумама од природних непогода, као и увећање учешћа у укупним шумским штетама уз њихову територијалну неуједначеност. Циљ истраживања је утврђивање тренда кретања броја и површине штета, површине штета по једном штетном догађају, као и прогнозе кретања штета насталих услед штетног дејства воде, ветра и пожара у одабраним шумским подручјима у Србији. У истраживању је коришћена метода моделовања, а примењене су и метода анализе тренда, регресиона и корелациона анализа, као и посебне методе. Резултати истраживања указују да постоје разлике у трендовима кретања штета појединачних штетних фактора, уз углавном растући тренд кретања штета насталих услед дејства воде и ветра опадајући тренд кретања штета насталих услед дејства пожара, али и пораст обима штета насталих услед дејства сва три штетна фактора.

Кључне речи: штете у шумама, вода, ветар, пожари, тренд

УВОД

Климатске промене представљају глобални изазов, који се манифестује кроз пораст температуре, промене у падавинама и њиховом интензитету и појави екстремних временских услова (Seneviratne *et al.*, 2012). Утицај климатских промена непропорционално погађа како земље тако и различите секторе (Folke, 2006), укључујући и сектор шумарства. Очекивани ризици настали као последица утицаја различитих фактора, али и климатских промена су, када је сектор шумарства у питању, су: промена режима ветра и воде, увећање ризика од пожара (посебно у медитеранском региону), као и чешћи екстремни временски догађаји,

као што су поплаве и суше (2017). Промене у клими утичу на појаву биотичких (учесталост и последице појаве штеточина и болести) и абиотичких поремећаја (промене у појави пожара, учесталости и интензитету природних непогода појаве пожара, промене у учесталости и интензитету олује) (Lindner *et al.*, 2010), што може имати утицај на умањење производне, еколошке и социјалне функције шума.

Главни абиотички поремећаји у Европи су пожар, ветар, поплаве и суше (Flannigan *et al.*, 2000, Fuhrer *et al.*, 2006, Moriñdo *et al.*, 2006). У периоду 1950-2000. године, 53% од укупних штета у шумама је било узроковано

појавом олуја, а 16% појавом пожара (Schelhaas *et al.*, 2003). Србија се суочава са бржим порастом температуре у односу на пораст средњих глобалних вредности температуре, као и променама интензитета падавина нарочито појаву јаких киша, као и већег броја дана без падавина (2017). Претходна истраживања указују да промене температуре и падавина у Србији изазване климатским променама имају значајне ефекте на шуме, уз увећање учесталости појаве поплава, клизишта и ледолома (Ranković *et al.*, 2016), бујичних поплава (Ristić *et al.*, 2012), шумских пожара (Aleksić *et al.*, 2006) и других природних непогода у шумама¹. Иако је примећено увећање штета у шумама од природних непогода у Србији, као и увећање учешћа у укупним шумским штетама, запажена је и њихова територијална неуједначеност (Ranković *et al.*, 2016). Када је у питању кретање обима штета од природних непогода у шумама Србије и утицаја температуре и падавина, видљиво је да штете у статистичким регионима Шумадије и Западне Србије, као и Јужне и Источне Србије, учествују са 39,1% у укупном обиму штета у шумама (Ranković *et al.*, 2016).

Таква ситуација је проузроковала потребу да се таква и слична истраживања наставе и прошире. У складу с тим, процењено је да познавање обима и интензитета промена насталих услед дејства штетних утицаја воде², ветра и пожара има изражен значај. У овом истраживању је анализирано кретање броја таквих штета, величине површина на којима су се такве штете десиле и површине штета по једном штетном догађају. Уз то, извршена је прогноза кретања посматраних величина у наредном двогодишњем периоду (у односу на 2017. годину, која је

последња година са емпиријским подацима у коришћеним временским низовима).

Територијални оквир истраживања је обухватао одређена шумска подручја (ШП) у статистичким регионима Шумадије и Западне Србије, као и Јужне и Источне Србије. Пошто постоје извесне разлике између поделе на статистичке регионе и на ШП, урађен је преглед штета од посматраних узрочника за свако шумско подручје, при чему су одабрана шумска подручја са учешћем штета насталих услед дејства посматраних фактора, већим од 1% (по површини). Таквим поступком издвојена су следећа ШП: Тарско-златиборско, Подрињско-колубарско, Рашко, Тимочко, Јабланичко, Јужноморавско, Лимско, Шумадијско, Доњеибарско, Севернокучајско, Топличко, Голијско, Јужнокучајско, Горњеибарско, Моравско и Нишавско. Практично, може се говорити да су одабрана ШП најугроженија од посматраних штетних фактора и, у том смислу, представљају најугроженије просторе у шумама Републике Србије.

Истраживање се заснива на информацијама које датирају из периода 2011-2017. године. Припрема и обрада података, као и писање извештаја о обављеном истраживању, обухватају период од новембра 2018. год. до априла 2019. године.

Основни **циљ** овог истраживања је да се утврде и објасне основни трендови кретања броја и површина штета, површине штета по једном штетном догађају, као и да се изврши прогноза кретања у наредном периоду. Основна **сврха** је да се, на основу тако стечених знања, створи основа за предузимање одговарајућих мера и активности на сузбијању негативних ефеката (техничке, економске и социјалне природе) на шумске и друге повезане екосистеме. **Предмет** истраживања су број штета, површина штета, као и површина штета по једном штетном догађају од воде, ветра и пожара у шумама Републике Србије.

Основна хипотеза, која се у вези ових односа може поставити, је следећа:

- постоји изражен растући тренд броја штета, површина штета и површина по једном штетном догађају, насталих услед деловања воде, ветра и пожара у одабраним шумским подручјима.

¹ Термин „природна непогода у шуми“ представља „...значајан поремећај биолошке равнотеже и насљанак озбиљних штетних у шумским екосистемима изазваних пре свега пожарима, сушењем, биљним болесима и штеточинама, вејроломима и вејроизвалама, снејоломима и снејоизвалама, јойлавама, бујичним јоковима, клизишћима и друјим нејредвиђеним чиниоцима на великим јовршинама шума и шумској земљишћиа“ (2010).

² Под штетним утицајем воде подразумева се утицај кише, града, снега и леда.

МЕТОД РАДА И ОБРАДА ПОДАТАКА

Као опште научне методе, коришћене су статистичка и метода моделовања. Поред тога, коришћене су посебне научне методе (апстракција и конкретизација, анализа и синтеза, индукција и дедукција), као и друге методе и технике неопходне за добијање потребних елемената за закључивање (апсолутни раст, учешћа и односи, итд.). За обраду података, примењене су, анализа тренда (Ran ković, 2012) и регресиона и корелациона анализа (Jovičić, 1981, Petz, 1983).

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. Праг статистичке значајности у свим случајевима био је $\alpha=0,05$ (ниво дозвољене грешке је једнак или мањи од 5%).

Као основни елементи за анализу коришћени су просечни годишњи апсолутни раст (A_p) и просечна годишња експоненцијална стопа раста (I_s). Обе ове величине су деривирани на

основу параметра уз време (T) у линеарним и експоненцијалним регресионим моделима тренда.

Подаци се односе на број штетних догађаја (n), површине на којима су се десиле штете (P) и обим површине штете по једином штетном догађају (P/n). Основни подаци су прикупљени из интерне документација Републичког завода за статистику, односно Извештаја о штетама у шумама за период 2011-2017. године по статистичким регионима и шумским подручјима (2018/а). У наредном кораку је извршено сабирање података из одабраних ШП за број и површине штета. После тога, на бази тако формираних података, извршен је обрачун обима површине по штетном догађају (табела 1). Сва даља обрада (израда регресионих модела тренда и прогноза) и анализе базирани су на тако добијеним нумеричким информацијама.

Обрада података је извршена у одговарајућим статистичким програмима и програмима за унакрсна табеларна израчунавања, који су коришћени и за генерисање графичких приказа. Уз то, коришћена и техника графички оријентисаног предвиђања, уграђена у коришћени

Табела 1. Штете настале услед деловања воде, ветра и пожара на посматраним ШП у Србији, у периоду 2011-2017. године

T	VO			VE			PO			Σ		
	n	P	P/n	n	P	P/n	n	P	P/n	n	P	P/n
Њог.		ha	ha·n ⁻¹		ha	ha·n ⁻¹		ha	ha·n ⁻¹		ha	ha·n ⁻¹
2011.	78	288,30	3,70	15	35,00	2,33	55	693,52	12,61	148	1.016,82	6,87
2012.	100	772,85	7,73	134	69,55	0,52	191	4.842,64	25,35	425	5.685,04	13,38
2013.	174	924,70	5,31	66	412,50	6,25	39	288,30	7,39	279	1.625,50	5,83
2014.	297	1.361,37	4,58	132	1.080,36	8,18	6	47,99	8,00	435	2.489,72	5,72
2015.	426	3.540,85	8,31	34	274,64	8,08	47	684,06	14,55	507	4.499,55	8,87
2016.	203	1.393,46	6,86	275	1.479,59	5,38	26	126,64	4,87	504	2.999,69	5,95
2017.	106	455,50	4,30	308	1.460,18	4,74	60	291,98	4,87	474	2.207,66	4,66
Σ	1.384	8.737,03	6,31	964	4.811,82	4,99	424	6.975,13	16,45	2.772	20.523,98	7,40
Просек	198	1.248,15	0,90	138	687,40	0,71	61	996,45	2,35	396	2.932,00	1,06
Учешће	49,9	42,6	/	34,8	23,4	/	15,30	34,0	/	/	/	/

Легенда: n - број штета, P - површина, P/n - површина по штетном догађају, VO - вода, VE - ветар, PO - пожари и T - време

Извор: (2018/а) и калкулације аутора

Табела 2. Регресиони модели тренда посматраних штетних фактора у одабраним ШП у Србији, у периоду 2011-2017. године

Једначина	a	$t(a)$	b	$t(b)$	R^2	R	F	p
БРОЈ ШТЕТА								
Вода								
$VO=a+b \cdot T$	-3.878,8	1,10	19,36	0,79	0,11	0,33	0,62	0,47
Ветар								
$VE=a+b \cdot T$	-81.070,0	-0,34	40,32	2,61	0,58	0,76	6,83	0,05
Пожари								
$PO=a+b \cdot T$	22.143,0	2,03	-10,96	-0,95	0,15	0,39	0,91	0,38
Укупно								
$UK=a+b \cdot T$	-97.715	-2,62	48,71	2,84	0,62	0,79	8,07	0,04
ПОВРШИНА ШТЕТА (ha)								
Вода								
$VO=a+b \cdot T$	-312.286,0	-0,65	155,67	0,72	0,10	0,31	0,52	0,50
Ветар								
$VE=a+b \cdot T$	-499.744,0	-0,97	248,49	3,51	0,71	0,84	12,29	0,02
Пожари								
$PO=a+b \cdot T$	737.607,0	1,75	-365,75	-1,16	0,21	0,46	1,35	0,30
Укупно								
$UK=a+b \cdot T$	-74.454	-1,83	38,42	0,11	0,003	0,05	0,01	0,90
ПОВРШИНА ШТЕТЕ ПО ШТЕТНОМ ДОГАЂАЈУ								
Вода								
$VO=a+b \cdot T$	-215,2	-0,29	0,11	0,30	0,02	0,13	0,09	0,78
Ветар								
$VE=a+b \cdot T$	-1.345,2	-1,32	0,67	1,32	0,26	0,51	1,75	0,24
Пожари								
$PO=a+b \cdot T$	4.113,5	1,70	-2,04	-1,69	0,37	0,64	2,87	0,15
Укупно								
$UK=a+b \cdot T$	1.333,7	1,23	-0,66	-1,22	0,23	0,48	1,48	0,28

Легенда: VO - штете од воде, VE - штете од ветра, PO - штете од пожара, UK - укупне штете, T - време, a - слободни параметар, $t(a)$ - t -статистика слободног параметра, b - параметар уз време, $t(b)$ - t -статистика параметра уз време, R^2 - коефицијент детерминације, R - коефицијент корелације, F - F -статистика, p - вероватноћа грешке F -статистике

Извор: оригинал

програм за унакрсна табеларна израчунавања (опција „forecasting sheet“³).

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У првом кораку, извршена је анализа кретања броја штетних догађаја, затим величине површина захваћених штетама, површине захваћене штетама по једном штетном догађају, као

³ Базира се на линеарној функцији тренда.

и укупних штета за сва три посматрана елемента⁴. За потребе ових анализа, формиран су одговарајући линеарни модели тренда (табела 2, графикони 1-3).

На бази добијених модела и оцена статистичке значајности њихових елемената, може

⁴ Када је у питању износ укупне површине по штетном догађају (P/n), он је добијен као количник збира површина све три врсте штета у датој години са збиром броја штетних догађаја све три врсте штета у датој години.

се запазити модели тренда да имају следеће карактеристике:

- углавном ниске вредности R^2 , уз изузетак код броја штета од ветра (0,58), укупног броја штета (0,62) и површина штета од ветра (0,71);
- нема пожељног нивоа статистичке значајности R ($\alpha \leq 0,05$), изузев у већ поменутиим случајевима са већим вредностима R^2 ;
- статистичка значајност параметара уз време (T) понаша се на исти начин, као и у случају R^2 и R (постигнута је само код броја штета од ветра, укупног броја штета и површина штета). Оваква ситуације је последица, пре свега, релативно кратких низова полазних података. То сугерише да се поузданост закључивања на бази добијених модела ограничава само на три издвојена случаја. Међутим, и поред тога, остали модели заслужују да се прокоментаришу, јер се из њих може сагледати макар груба слика тока датих појава.

Прва јасно видљива карактеристика кретања посматраних штетних појава јесте да по броју расту, изузев кад је реч о пожарима (графикон 1). Ако се погледају показатељи, као што су просечни годишњи апсолутни раст и просечна годишња експоненцијална стопа раста (табела 3), видљиво је да број штета од воде расте за око 19 штетних догађаја годишње (12,2%), од ветра за око 40 (42,1%), укупних штета за око 49 (17,1%), а једино опада код пожара за око 11 (-11,8%).

Када су упитању оштећене површине, видљиво је да имају сличан тренд као и код броја штетних догађаја (графикон 2), јер оштећена површина расте код свих посматраних штетних фактора, изузев пожара. Тако, оштећена површина од дејства воде расте за око 155,68 $ha \cdot god^{-1}$ (14,9%), од ветра за око 248,49 $ha \cdot god^{-1}$ (82,9%) и укупна оштећена површина за око 38,42 $ha \cdot god^{-1}$ (7,7%), док код пожара опада за око 365,75 $ha \cdot god^{-1}$ (-27,5%).

Нешто другачија ситуација је код површине штета по једном штетном догађају (графикон 3), где ова појава расте код воде и ветра, а опада код пожара и на укупном нивоу. Површина по једном штетном догађају расте код воде за око 0,11 $ha \cdot n^{-1} \cdot god^{-1}$ (2,4%), а ветра за око 0,67 $ha \cdot n^{-1} \cdot god^{-1}$ (28,7%). Са друге стране, код пожара опадају за око 2,04 $ha \cdot n^{-1} \cdot god^{-1}$ (-17,8%), а на укупном нивоу за око 0,66 $ha \cdot n^{-1} \cdot god^{-1}$ (-8,1%).

Табела 3. Просечни годишњи апсолутни раст и просечна годишња експоненцијална стопа раста

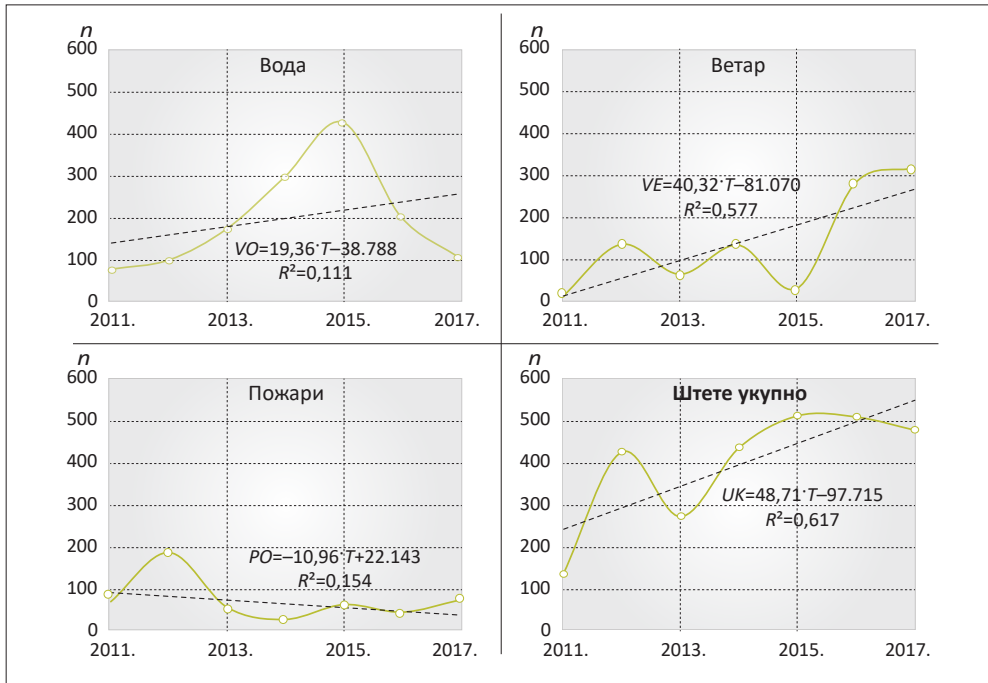
Показатељ и израз штете	Штетни фактор				
	VO	VE	PO	Σ	
n	A_p $n \cdot god^{-1}$	19	40,32	-10,96	48,71
	I_s %	12,2	42,1	-11,8	17,1
P	A_p $ha \cdot god^{-1}$	155,68	248,49	-365,75	38,42
	I_s %	14,9	82,9	-27,5	7,7
P/n	A_p $ha \cdot n^{-1} \cdot god^{-1}$	0,11	0,67	-2,04	-0,66
	I_s %	2,4	28,7	-17,8	-8,1

Легенда: n - број штета, P - површина, VO - вода, VE - ветар, PO - пожари, A_p - апсолутни годишњи раст и I_s - просечна годишња експоненцијална стопа раста

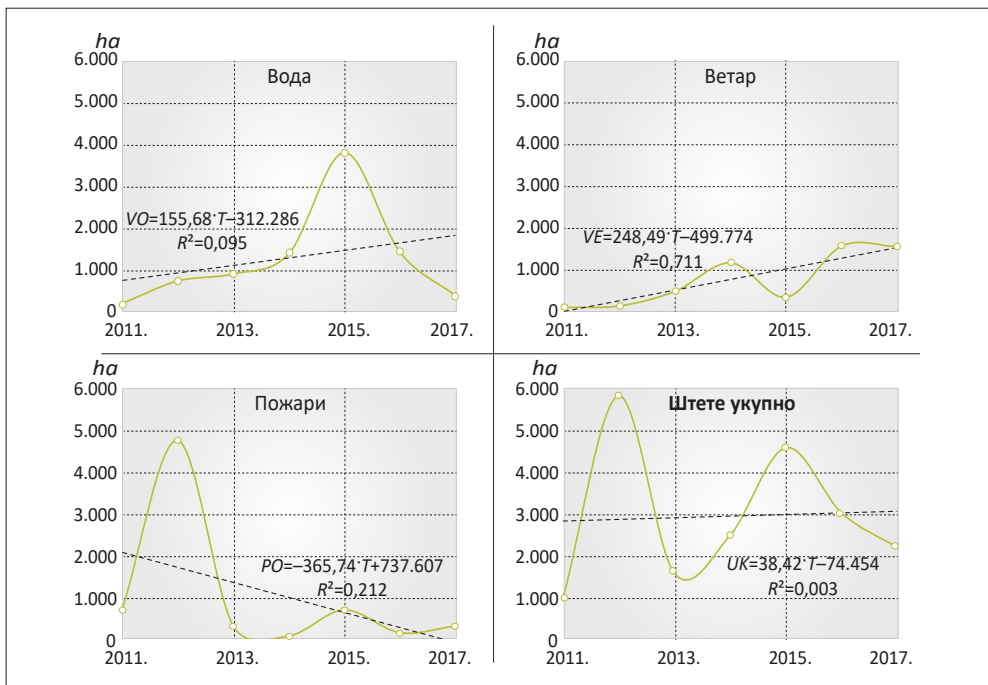
Извор: оригинал

Ако би се посматрао међусобни однос посматраних штетних елемената (табела 4), може запазити да се учешће воде, ветра и пожара код броја штета креће у односу 3,3:2,3:1 ($VO:VE:PO$), а код површине штета у односу 1,8:1:1,4 ($VO:VE:PO$). То значи да су, према броју штета, пожари најмање бројни, при чему је број штета од воде више него троструко већи, а број штета од ветра нешто више него двоструко. Сасвим је другачија ситуација када се посматра обим оштећених површина, где су штете од ветра најмање, док су штете од пожара за око 40% веће, а штете од воде за 80% веће.

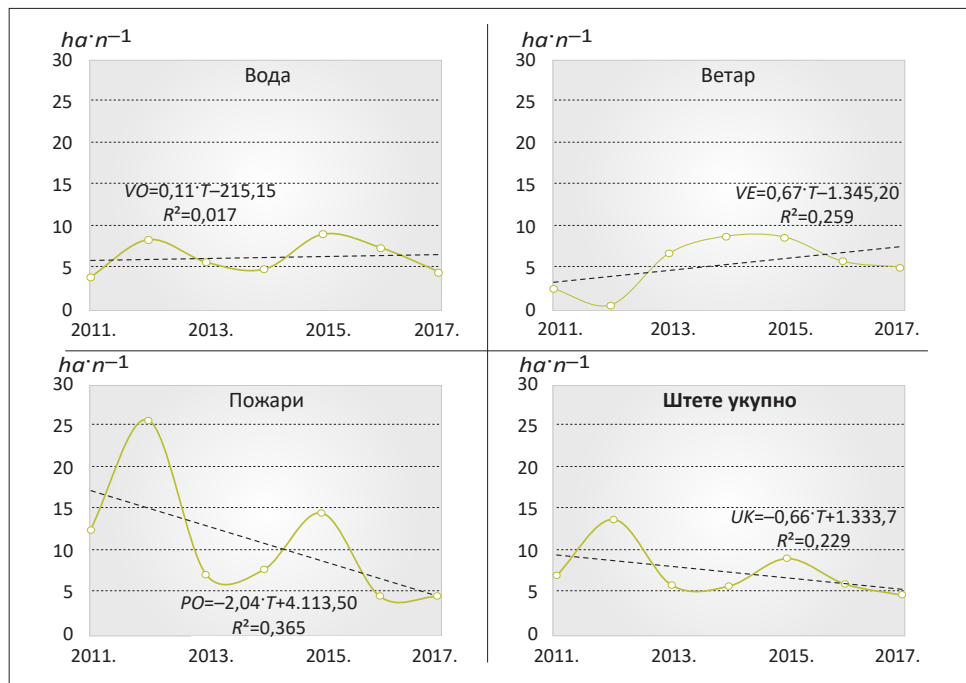
Узимајући све наведено у обзир, јасно се испољава штетни утицај воде, као најизразитијег штетног фактора од сва три посматрана, који показује раст и по броју и по површини. Ветар, такође, показује раст штета и по броју и по површини, али, и поред тога што су те штете нешто мање изражене, њихов узлазни ток опомиње и налаже појачан стручни рад на спречавању деловања овог штетног фактора у шумама Србије. Код пожара се запажа да су мање бројни, али се дешавају на већим површинама. Иако се констатовани пад свих посматраних показатеља штета од пожара, може сматрати последицом повећаних напора последњих година на њиховом сузбијању, ипак, на њима се и даље мора да буде задржан фокус стручног интересовања при заштити шумских комплекса.



Графикон 1. Регресиони модели тренда броја штета у периоду 2011-2017. године



Графикон 2. Регресиони модели тренда површине штета у периоду од 2011-2017. године



Графикон 3. Регресиони модели тренда површине штета по штетном догађају у периоду од 2011-2017. године

Табела 4. Однос учешћа посматраних штетних фактора у укупним штетама

	Показатељ штета	Штетни фактор		
		VO	VE	PO
n	Учешће	49,9%	34,8%	15,3%
	Однос	3,3	2,3	1
P	Учешће	42,6%	23,4%	34,0%
	Однос	1,8	1	1,4

Легенда: n - број штета, P - површина, VO - вода, VE - ветар, PO - пожари

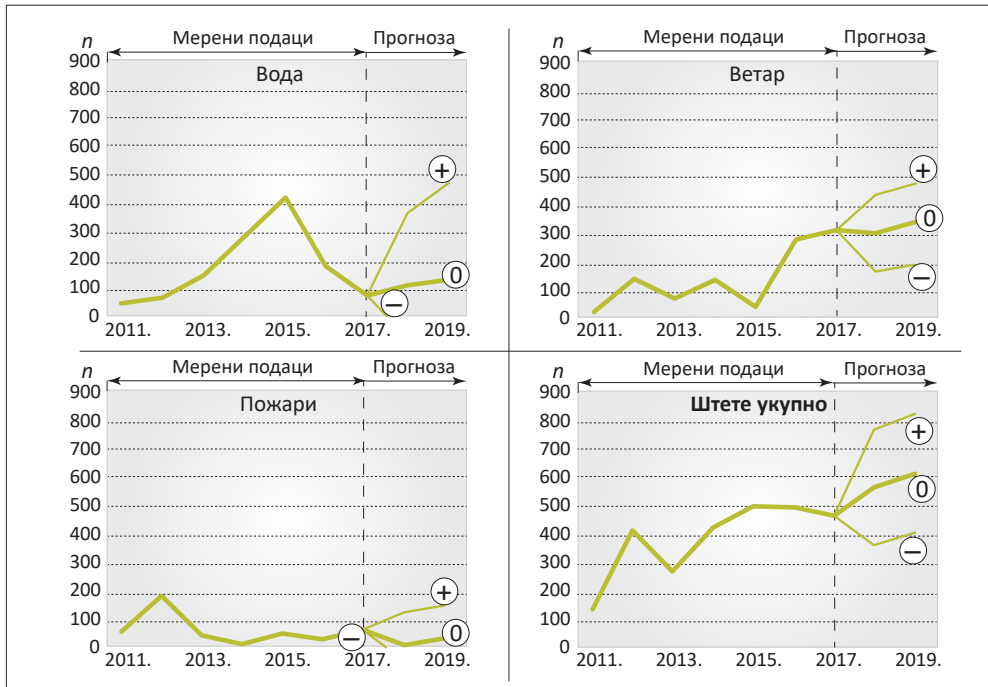
Извор: оригинал

Укупне штете посматрано по броју приметно расту, док је по површини тај раст значајно спорији. Супротно се понаша површина по једном штетном догађају, која опада. То је, пре свега, последица утицаја значајног смањења површине под пожарима. Таква ситуација налаже да се кумулативно посматрање мора рашчланити на штетне факторе, да се не би десило

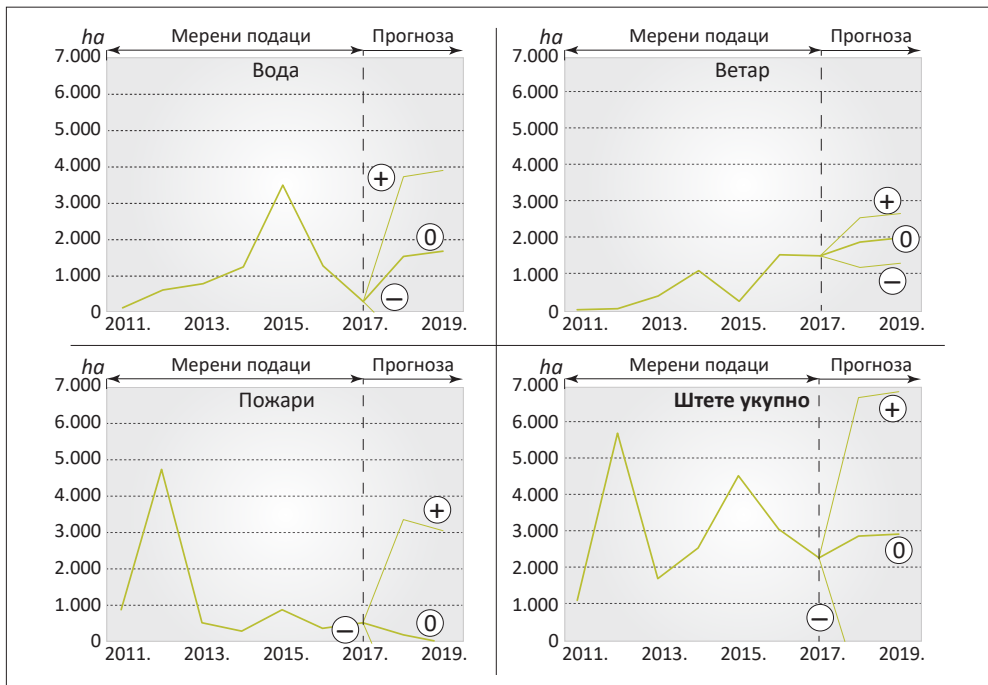
да умањење једног од њих (у овом случају пожари) не прикрије дејство оних других који расту, јер у случају њиховог занемаривања могу да ескалирају и начине штете катастрофалних размера.

У наредном кораку су урађене прогнозе будућег кретања броја и површине штета (графикони 4-6), као и површине штета по једном штетном догађају. При томе је коришћена техника предвиђања на бази линеарног тренда, са растућом (+), вероватном (0) и опадајућом (-) варијантом.

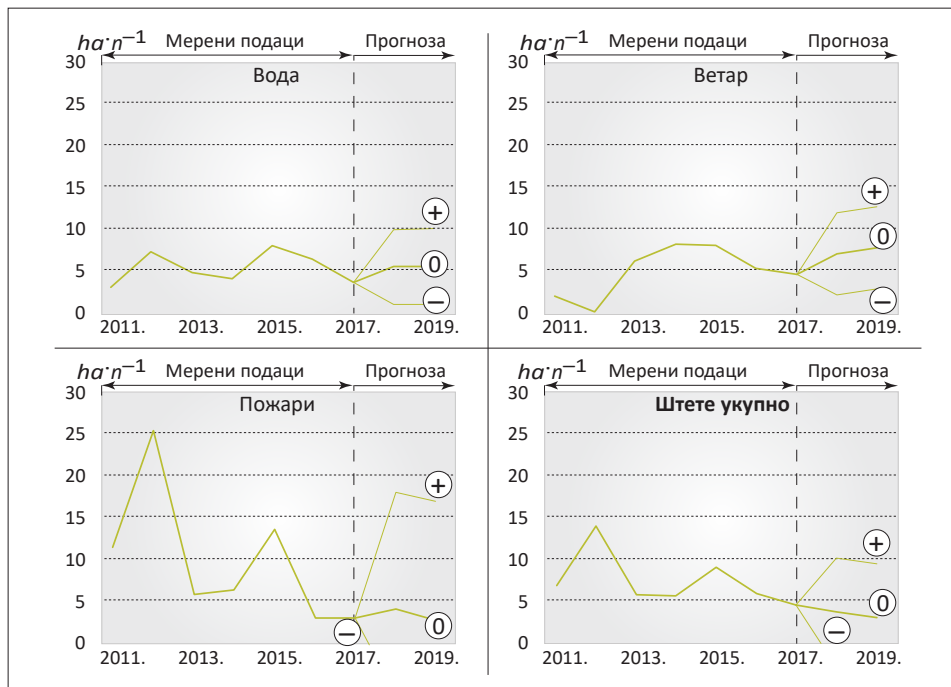
Према растућој варијанти, прогнозира се раст броја штета свих посматраних штетних фактора, као и укупног броја штета (графикон 4). Вероватна варијанта прогнозе указује на растући тренд броја штета од воде, ветра и укупног броја штета, док се у случају броја штета насталих услед деловања пожара, раст предвиђа у периоду после 2018. године. Према опадајућој варијанти, број штета сва три фактора, као и броја укупних штета, опада, уз могући благи раст после 2018. године.



Графикон 4. Прогноза кретања броја штета на бази периода од 2011-2017. године



Графикон 5. Прогноза кретања површине штета на бази периода од 2011-2017. године



Графикон 6. Прогноза кретања површине штета по штетном догађају на бази периода од 2011-2017. године

Према растућој и вероватној варијанти, прогнозира се растући тренд површина штета насталих услед деловања воде и ветра, као и укупних површина штета (графикон 5), уз приметан опадајући тренд површина штета насталих услед деловања пожара (и у вероватној и у опадајућој варијанти). Опадајућа варијанта предвиђа константно смањење сва три посматрана фактора после 2017. године, при чему се код површина штета насталих услед деловања ветра после 2018. године може очекивати благ пораст.

Када је у питању прогноза кретања површине штета по штетном догађају, растућа и вероватна варијанта показују да ће штете расти кад су у питању вода, ветар и укупне штете, док се код пожара примећује тренд опадања после 2018. године (графикон 6). Према оптимистичној варијанти, прогнозира се пад површине штета по штетном догађају сва три штетна фактора и укупних површина штета, уз прогнозу растућег тренда површине штета по штетном догађају од воде и ветра.

Ако би могао да се извуче неки збирни (сводни) коментар оваквих прогноза, он би имао, пре

свега, упозоравајући карактер, јер већина посматраних фактора показује углавном растуће тенденције (ветар чак и у опадајућој варијанти). Ту штете од пожара у извесној мери одударају, јер се запажа извесно опадање и у растућој варијанти прогнозе после 2018. године, али таква прогноза ће се испунити само уз наставак стручног ангажовања на њиховом сузбијању.

ДИСКУСИЈА

Многи аутори су се последњих пар деценија бавили истраживањима разумевања утицаја климатских промена на екосистеме (R и m t i - kainen, 2012, Lindner *et al.*, 2010, 2014, Seneviratne *et al.*, 2012), али и прогнозом утицаја климатских промена на европске шуме и шумарство (Schelhaas *et al.*, 2003, Lindner *et al.*, 2010, Ranković *et al.*, 2012, Ranković *et al.*, 2016). Очекиване пројекције климатских промена указују на могућности повећања учесталости, али и интензитета

природних непогода, како у обиму тако и у дужини њиховог трајања (2018/b).

Иако „...їосїоїи неизвесносї у їроїнозама климаїских ексірема” (L i n d n e r *et al.*, 2014), чиме се ограничава добијање комплетне слике о томе на који начин ће климатске промене утицати на појаву природних непогода, на основу добијених резултата овог рада може се са великом вероватноћом тврдити да ће, уколико се констатовани трендови наставе, доћи до пораста броја и површина штета насталих под дејством воде и ветра. Претходним истраживањима у Србији је утврђено да просечна годишња експоненцијална стопа раста шумских штета (мерено у m^3 посеченог дрвета) од природних непогода износи 56,2% (R a n k o v i ć *et al.*, 2016). На територији Чешке републике, штете настале услед ветра, леда и снега чиниле су 43,8% санитарне сече у периоду 1900–1950, а чак 73% у периоду 1951–1980. Штете од суше и загађења ваздуха порасле су са 1,8% на 18,1% у посматраном периоду. У периоду 1963–1999. године, абиотички фактори су одговорни за 75% обима санитарних сеча, са следећим учешћем: ветар 46,3%, снег 11,5%, суша 7,2%, загађење ваздуха 7,0%, наслага леда 3,0% (B r á z d i l *et al.*, 2018). Обим и интензитет тих штета могу имати утицаја на комплетан ланац снабдевања у сектору шумарства. Губитак настао услед непогода се не састоји само од трошкова обнове и смањења вредности дрвне грађе, већ и од смањења будуће вредности оштећених или не-оштећених (али дестабилизованих) састојина (H a n e w i n k e l, P e y r o n, 2013).

У Европи се јављају бар две деструктивне олује годишње (G a r d i n e r *et al.*, 2010), при чему је утврђен и пораст њиховог интензитета нарочито у деловима западне, централне и северне Европе (G r e g o w *et al.*, 2017). Ветар, као један од најзначајнијих чинилаца поремећаја у шумским екосистемима у Европи (S e i d l *et al.*, 2014), узрочник је више од 50% забележених примарних оштећења у шумама Европе насталих услед природних непогода (S c h e l h a s *et al.*, 2003).

Тренд раста броја штета насталих услед деловања ветра је, такође, приметан и у Србији (графикон 1), уз апсолутни годишњи раст од 40 годишње, што је двоструко више у односу на раст штета насталих услед дејства воде. Према

прогнози будућег кретања штета (графикони 4-6) насталих услед деловања ветра једино према опадајућој варијанти се може очекивати привремени пад броја, површина и штета према штетном догађају насталих услед деловања ветра, док друге две варијанте прогнозирају стални раст.

Промене у падавинама представљају један од узрочника поремећаја у шумским екосистемима, као што су појава, учесталост, трајање, обим и интензитет поремећаја (D a l e *et al.*, 2001). Обилне падавине у комбинацији са другим факторима (промена температуре, кретање ваздушних маса и сл.) су се манифестовале у виду поплава, и 2014. год. у Србији нанеле велике економске штете, процењене на више од 2,7% бруто националног дохотка (Ђ e k o v i ć *et al.*, 2014). Поред поплава, исте године је цело подручје источне Србије (висински распон 300-1.000 m н.в.) било погођено леденим таласом које је проузроковало појаву ледолома, ледоизвала и нанело штете на површини од 43.305,78 ha (B a k o v i ć *et al.*, 2015). Иако су очекивања да ће се учесталост појаве ледених таласа умањити, постоје индикације да ће доћи до увећања њиховог интензитета, али и дужине трајања (R u t m u k a i n e n, 2012).

Према прогнози будућег кретања штета (графикони 4-6) насталих услед деловања воде, а према растућој и вероватној варијанти, може се очекивати пораст, како броја тако и површина штета насталих услед деловања воде. Такође, видљив је и нагли раст, како броја, тако и површина штета насталих услед деловања воде, што може потврдити могућност појаве умањене учесталости, али и већег интензитета појава броја и површина штета насталих услед деловања воде. С обзиром да вода представља најизразитији штетни фактор од сва три посматрана (табела 3), потребно је посветити посебну пажњу у праћењу штета у шумама, нарочито оних насталих од деловања воде.

Шумски пожари представљају један од главних економских проблема шумарства у Србији (A l e k s i ć *et al.*, 2009), али и претњу шумским еко-системима и различитим реликтним, ендемичним, и заштићеним врстама дрвећа и жбуња (B a n k o v i ć *et al.*, 2009). Појава пожара изузетно великог обима у последње две деценије у Европи се доводи у везу и са појавом

различитих екстремних догађаја (Barriopedro *et al.*, 2011, Rahmstorf, Comou, 2011), као што су дуги сушни периоди праћени високим температурама, али и интензивним ветром на подручју Медитерана (San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2013, Koutsias *et al.*, 2012).

Иако регресиони модели тренда приказују пад броја, површине штета и површине штета по штетном догађају насталих услед деловања пожара, према прогнози будућег кретања штета (графикони 4-6) насталих услед деловања пожара, према растућој варијанти, може се очекивати њихов раст. Ова разлика у приказаним резултатима се делимично може објаснити коришћењем кратког низа података, али не треба занемарити ни утицај различитих узрочника пожара, како климатских (нпр. падавине, температура, итд.), тако и демографских промена (миграције из села у град), који могу имати позитиван, али и негативан утицај на трендове посматраних величина.

Због потешкоћа у обради велике количине оштећене дрвне масе одмах након непогоде, оштећена стабла „...моју љосцају база од које се љосцају шире, а зајим најдају здраве љосцају“ (Brázdil *et al.*, 2018). Штета настала услед природних непогода, нема само еколошки и економски утицај (Schuck, Schellhas, 2013), већ изискује и промену и „...љосцају љосцају од врста љосцају и начина и обима на који је захваћена шумска љосцају“. Криза настала после природне непогоде, као и секундарни утицаји на читав сектор шумарства, могу бити ограничени одговарајућим „...мерама јавне љосцају“, које укључују „...љосцају реакције за обнављање љосцају ошљосцају љосцају, љосцају за уклањање ошљосцају дрвета из шуме, (...), јачање љосцају особља и љосцају, љосцају за санацију“ (Hanelwinkel, Peyron, 2013).

ЗАКЉУЧЦИ

На основу резултата спроведених истраживања, могу се извући следећи закључци:

- трендови два посматрана показатеља штета (n и P), код штета од воде и ветра, као и укупних штета, имају растући смер (потврда постављене хипотезе);

- трендови сва три посматрана показатеља штета (n , P и P/n), код штета од пожара, имају опадајући смер (оповргнута постављена хипотеза);
- трендови површине штета по једном штетном догађају (P/n), код укупних штета, такође, имају опадајући смер (оповргнута постављена хипотеза);
- тестови статистичке значајности су задовољени код три модела (број штета од ветра, укупан број штета и површина штета од ветра), а пошто су сва три растуће оријентисана, са поузданошћу се могу тумачити њихови елементи (по свим критеријумима потврђена постављена хипотеза);
- штете од вода су најизраженије и на њих треба обратити посебну пажњу;
- прогнозе које се односе на посматране факторе и показатеље штета упућују на опрез, јер скоро све прогнозе указују на пораст обима штета;
- штетни фактори морају да се посматрају редовно појединачно, јер збирно посматрање, услед њиховог неједнаког кретања, може да доведе до неадекватног сагледавања опасности за повећање неког од њих, што ствара претпоставке за појаву негативних физичких, економских и социјалних последица.

Овакви закључци упућују на сталан опрез, када су ове врсте шумских штета у питању, јер је очито да оне показују тенденцију раста (без обзира што то није случај код пожара). То подразумева стално праћење обима штета за све посматране узрочнике, анализирање њиховог кретања и утврђивање периодичности појављивања. Последње није било могуће спровести, због релативно кратких низова, али се препоручује као обавезни део будућих истраживања овог проблема, када буду доступни дужи низови информација о шумским штетама.

Напомена: Истраживање је реализовано у оквиру пројекта „Истраживања климатских промена и њиховог утицаја на животну средину - праћење утицаја, адаптација и ублажавање“, 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.

DAMAGE TRENDS IN SELECTED FOREST REGIONS AND A FUTURE PERIOD FORECAST

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

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

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

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

Abstract: The research carried out in Serbia so far revealed an increase in forest damages from natural hazards, as well as increased share in total forest damages with their territorial inequality. This research aims to determine the trend in the number and area of damages, the area of damages per one harmful event, and the prognosis of damages caused by the harmful effects of water, wind and fire in selected forest regions of Serbia. A modelling method was used as a basic scientific method, with an application of trend regression and correlation analysis and other specific methods. The results of the research indicate that there are differences in the trends per harmful factor. An increasing trend is visible with the damages caused by the effects of water and wind but also in the extent of damages caused by all three detrimental factors. A decreasing trend is noticeable only for the damages caused by fire.

Keywords: forest damages, water, wind, fire, trend

INTRODUCTION

Climate change is a global challenge, manifested through temperature increase, changes in precipitation and their intensity, and the occurrence of extreme weather conditions (Seneviratne *et al.*, 2012). The impact of climate changes disproportionately affects countries and different sectors (Folke, 2006), including the forestry sector. The expected risks, in the case of the forestry sector are a result of the influence of different factors, including climate change. They vary from changes in wind and water regimes, an increase in the risk of forest fires (especially in the Mediterranean region), to more frequent extreme weather events, such as floods and droughts (2017). Climate changes are affecting the occurrence of biotic (frequency and consequences of the occurrence of pests and diseases) and abiotic disorders (changes in the occurrence of fires, frequency and intensity of natural hazards, changes in the frequency and intensity of storms) (Lindner *et al.*, 2010), with possible impact on the reduction of productive, ecological and social functions of forests.

The main abiotic disorders in Europe are fire, wind, floods, and droughts (Flanigan *et al.*,

2000, Fuhrer *et al.*, 2006, Moriondo *et al.*, 2006). In the period 1950-2000, 53% of the total forest damages were caused by storms, and 16% by fires (Schelhaas *et al.*, 2003). Serbia faces a faster temperature increase compared to the mean global temperature increase, and is subject to changes in precipitation intensity, especially the occurrence of heavy rains, as well as more days without precipitation (2017). Previous research indicates that changes in temperature and precipitation in Serbia, caused by climate changes, have significant effects on forests. It is reflected through an increase in the occurrence of floods, landslides and ice breakages (Ranković *et al.*, 2016), torrential floods (Ristić *et al.*, 2012), forest fires (Aleksić *et al.*, 2006) and other natural hazards in forests¹. Despite the increase in forest damages

¹ Term "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).

from natural hazards in Serbia, as well as the share increase in total forest damage, their territorial inequality has been noticed (R a n k o v i ć *et al.*, 2016). When it comes to the extent of the damages from natural hazards in Serbia's forests and the impact of temperature and precipitation, it is evident that the damages in the statistical regions of Šumadija and Western Serbia, as well as South and Eastern Serbia, account for 39.1% of the full extent of damages (R a n k o v i ć *et al.*, 2016).

Such a situation triggered off a continuation and expansion of current and similar research. Accordingly, it is estimated that the knowledge on the extent and intensity of changes caused by the harmful effects² of water, wind, and fire is of considerable significance. This study analysed the trends in the number of damages, the area of damages and the area of damages per harmful event. In addition, the trend forecast of the observed variables in the next two-year period (compared to 2017, as the last year with used empirical data in the time series), was carried out.

In terms of territory, in research were included particular forest regions (FRs) in the statistical regions of Šumadija and Western Serbia, as well as Southern and Eastern Serbia. Due to the differences in division into statistical regions and the FRs, a review of the damages has been done for each FR per harmful factor. FRs with the damage share per harmful factor exceeding 1% (per area) have been selected, and these are: Tarsko-Zlatiborsko, Podrinjsko-Kolubarsko, Raško, Timočko, Jablaničko, Južnomoravsko, Limsko, Šumadijsko, Donjeibarsko, Severnokučajsko, Topličko, Golijsko, Južnokučajsko, Gornjeibarsko, Moravsko, and Nišavsko. Practically, the selected FRs are the most vulnerable to the observed disturbances and, in this sense, represent the most endangered areas in the forests of the Republic of Serbia.

The research is based on information dating from the period 2011-2017. The preparation and data processing, as well as the research report writing, cover the period from November 2018 until April 2019.

This research aims to determine and explain the basic trends in the number and area of damages, the area of damages per harmful event, and

the trend forecast in the upcoming period. The purpose is to create a foundation for implementation of appropriate measures and activities to suppress negative effects (technical, economic and social) on forest and other related ecosystems. The subject of research is the number of damages, area of damages, as well as the area of damages per harmful event from water, wind and fire in the forests of the Republic of Serbia.

The basic hypothesis about these relations can be set as follows:

- there is a growing trend in the number of damages, area of damages and area of damages per harmful event, caused by the effect of water, wind, and fire in the selected FRs.

METHODS AND DATA PROCESSING

Statistical and modelling methods were used as the general scientific method. In addition, special scientific methods (abstraction and concretization, analysis and synthesis, induction and deduction) were used, as well as other methods and techniques needed to obtain the necessary elements for concluding (absolute growth, shares, and relations, etc.). For data processing, the trend analysis (R a n k o v i ć , 2012), regression and correlation analysis were applied (J o v i č i ć , 1981, P e t z , 1983).

In assessing the significance of individual elements of derived regression models, the coefficient of determination (R^2), the correlation coefficient (R), t -statistics of obtained parameters and F -statistic were used. The used statistical significance threshold was $\alpha=0.05$ (the level of error is equal to or lower than 5%).

The average annual absolute growth (A_p) and average annual exponential growth rate (I_s) were used as the basic elements for the analysis. Both dimensions have been derived based on the time parameter (T) in linear and exponential regression models.

The data refers to the number of damaging events (n), the areas on which the damages occurred (P), and the extent of the damaged area per harmful event (P/n). The basic data are collected from the internal documentation of the Statistical Office of the Republic of Serbia, i.e. the Report on

² Harmful effects of water implies impact of rain, hail, snow and ice.

Table 1. Damages caused by water, wind and fires in selected FRs in Serbia, in the period 2011-2017

<i>T</i>	<i>WA</i>			<i>WI</i>			<i>FI</i>			TD		
	<i>n</i>	<i>P</i>	<i>P/n</i>	<i>n</i>	<i>P</i>	<i>P/n</i>	<i>n</i>	<i>P</i>	<i>P/n</i>	<i>n</i>	<i>P</i>	<i>P/n</i>
<i>year</i>		<i>ha</i>	<i>ha·n⁻¹</i>		<i>ha</i>	<i>ha·n⁻¹</i>		<i>ha</i>	<i>ha·n⁻¹</i>		<i>ha</i>	<i>ha·n⁻¹</i>
2011	78	288.30	3.70	15	35.00	2.33	55	693.52	12.61	148	1,016.82	6.87
2012	100	772.85	7.73	134	69.55	0.52	191	4,842.64	25.35	425	5,685.04	13.38
2013	174	924.70	5.31	66	412.50	6.25	39	288.30	7.39	279	1,625.50	5.83
2014	297	1,361.37	4.58	132	1,080.36	8.18	6	47.99	8.00	435	2,489.72	5.72
2015	426	3,540.85	8.31	34	274.64	8.08	47	684.06	14.55	507	4,499.55	8.87
2016	203	1,393.46	6.86	275	1,479.59	5.38	26	126.64	4.87	504	2,999.69	5.95
2017	106	455.50	4.30	308	1,460.18	4.74	60	291.98	4.87	474	2,207.66	4.66
Σ	1,384	8,737.03	6.31	964	4,811.82	4.99	424	6,975.13	16.45	2,772	20,523.98	7.40
Average	198	1,248.15	0.90	138	687.40	0.71	61	996.45	2.35	396	2,932.00	1.06
Share	49.9	42.6	/	34.8	23.4	/	15.30	34.0	/	/	/	/

Legend: *n*- number of damages, *P*- area, *P/n*- area of damage per harmful event, *WA* - water, *WI* - wind, *FI* - fires и *T* - time

Source: (2018/a) and authors' calculations

forest damages in the period 2011-2017 by statistical regions and FR (2018/a). In the next step, the number and area of damages on which damage occurred from selected FRs have been calculated. Subsequently, the calculation of the extent of the damaged area per harmful event was provided (Table 1). All further processing (development of regression models and forecast) and analysis are based on the derived numerical information.

Data processing was performed using appropriate statistical programs and programs for cross-tabulation calculations, which were also used for generating graphical representations. In addition, the graphically orientated forecasting technique, incorporated in cross-tabulation calculation program (option "forecasting sheet"³), was used.

RESULTS

In the first step, the analysis was conducted for the trends in the number of damages, then the size of the areas of damages, the area of damages per harmful event, as well as the total damages

caused by all three monitored elements⁴. For these analyses, the corresponding linear model was formed (Table 2, Graphs 1-3).

Based on the obtained models and estimates of the statistical significance of their elements, characteristics of the trend models are:

- mostly low values of R^2 , with the exception of a number of wind damages (0.58), the total number of damages (0.62) and the areas of wind damages (0.71);
- lack of desirable level of statistical significance R ($\alpha \leq 0.05$), except in the cases, with higher values of R^2 (as mentioned above);
- the statistical significance of the parameters in time (T) has the same appearance in the case of R^2 and R (achieved only in the number of damages from the wind, the total number of damages and areas of damages).

First of all, such a situation is the result of the relatively small sample size of the data. This suggests that the reliability of the conclusion based on the derived models is limited to only three isolated cases. However, other models also need to

⁴ The total area per harmful event (P/n) is derived by dividing the areas of all three types of damages in a given year with a sum of all harmful events in a given year.

³ Based on linear function

Table 2. Regressions model of harmful factors in the selected FRs in Serbia, in the period 2011-2017

Equatation	<i>a</i>	<i>t(a)</i>	<i>b</i>	<i>t(b)</i>	<i>R</i> ²	<i>R</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
NUMBER OF DAMAGES (<i>n</i>)								
Water								
$WA=a+b\cdot T$	-3,878.8	1.10	19.36	0.79	0.11	0.33	0.62	0.47
Wind								
$WI=a+b\cdot T$	-81,070.0	-0.34	40.32	2.61	0.58	0.76	6.83	0.05
Fires								
$FI=a+b\cdot T$	22,143.0	2.03	-10.96	-0.95	0.15	0.39	0.91	0.38
Total								
$TD=a+b\cdot T$	-97,715	-2.62	48.71	2.84	0.62	0.79	8.07	0.04
AREA OF DAMAGES(<i>ha</i>)								
Water								
$WA=a+b\cdot T$	-312,286.0	-0.65	155.67	0.72	0.10	0.31	0.52	0.50
Wind								
$WI=a+b\cdot T$	-499,744.0	-0.97	248.49	3.51	0.71	0.84	12.29	0.02
Fires								
$FI=a+b\cdot T$	737,607.0	1.75	-365.75	-1.16	0.21	0.46	1.35	0.30
Total								
$TD=a+b\cdot T$	-74,454	-1.83	38.42	0.11	0.003	0.05	0.01	0.90
AREA OF DAMAGES PER HARMFUL EVENT (<i>ha·n</i> ⁻¹)								
Water								
$WA=a+b\cdot T$	-215.2	-0.29	0.11	0.30	0.02	0.13	0.09	0.78
Wind								
$WI=a+b\cdot T$	-1,345.2	-1.32	0.67	1.32	0.26	0.51	1.75	0.24
Fires								
$FI=a+b\cdot T$	4,113.5	1.70	-2.04	-1.69	0.37	0.64	2.87	0.15
Total								
$TD=a+b\cdot T$	1,333,7	1,23	-0,66	-1,22	0,23	0,48	1,48	0,28

Legend: *WA* - damages caused by water, *WI* - damages caused by wind, *FI* - damages caused by fires, *TD* - total damages, *T* - time, *a* - free parametar, *t(a)* - *t*-statistics of a free parametar, *b* - parametar to time, *t(b)* - *t*-statistics of parametar to time, *R*²-coefficient of determination, *R* - coefficient of corelation, *F* - *F*-statistics, *p* - probability of error of *F*-statistics

Source: original

be commented on, as they can provide a rough trend indication of observed phenomena.

The first visible feature of the observed harmful events is their increase in numbers, except for fires (Graph 1). The number of damages caused by

water is increasing by about 19 harmful events per year (12.2%), by wind by approximately 40 (42.1%), total damages by about 49 (17.1%). A decrease in the number of damages is visible only if they are caused by fire, namely about 11 (-11.8%) (Table 3).

Table 3. Average annual absolute growth and average annual exponential growth rate

Indicator and unit of measurement of damage		Harmful factor			
		WA	WI	FI	TD
n	A _p n·year ⁻¹	19	40.32	-10.96	48.71
	I _s %	12.2	42.1	-11.8	17.1
P	A _p ha·year ⁻¹	155.68	248.49	-365.75	38.42
	I _s %	14.9	82.9	-27.5	7.7
P/n	A _p ha·n ⁻¹ ·year ⁻¹	0.11	0.67	-2.04	-0.66
	I _s %	2.4	28.7	-17.8	-8.1

Legend: n- number of damages, P- area, WA - water, WI - wind, FI - fires, TD - total damages, A_p - absolute annual growth, I_s - average annual exponential growth rate

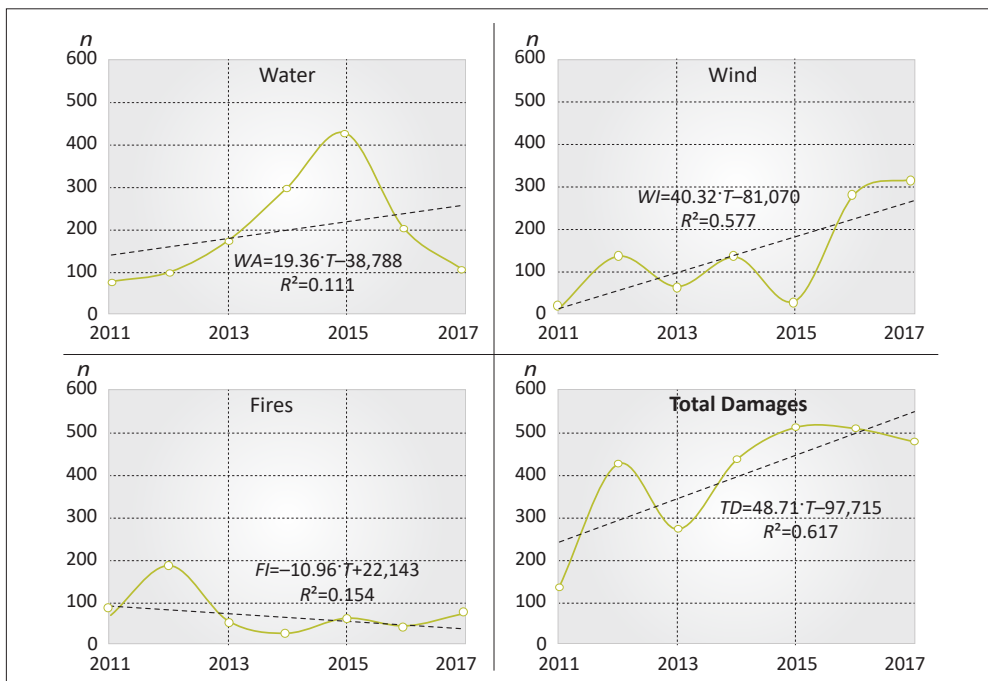
Source: original

Damaged areas have a similar trend as at the number of harmful events (Graph 2), because the area damaged by all harmful factors, except fire, is growing. Thus, the damaged area caused by water

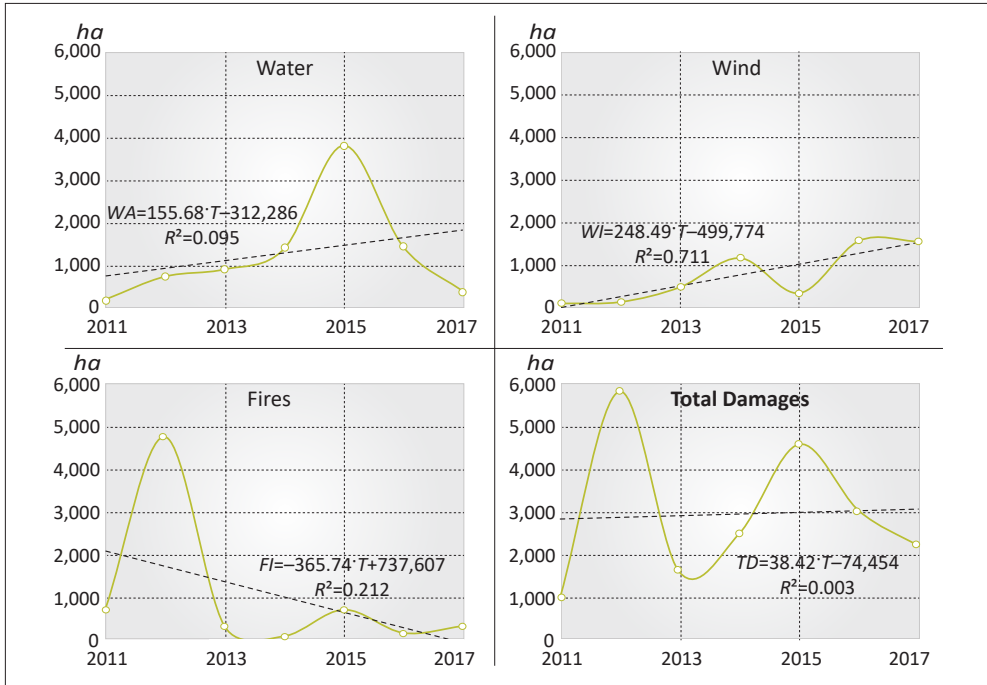
increases by around 155.68 ha·year⁻¹ (14.9%), caused by the wind by around 248.49 ha·year⁻¹ (82.9%) and the total damaged area around 38.42 ha·year⁻¹ (7.7%), while the area damaged by fire is decreasing by around 365.75 ha·year⁻¹ (-27.5%).

A somewhat different situation was recorded in the damaged areas per one harmful event (Graph 3), where this occurrence is increasing for water and wind, and decreasing for fire and at the total level. The area per harmful event is growing by 0.11 ha·n⁻¹·year⁻¹ (2.4%) when caused by water, wind by 0.67 ha·n⁻¹·year⁻¹ (28.7%). On the other hand, in the case of fire, they decline by 2.04 ha·n⁻¹·year⁻¹ (-17.8%), and at the total level by 0.66 ha·n⁻¹·year⁻¹ (-8.1%).

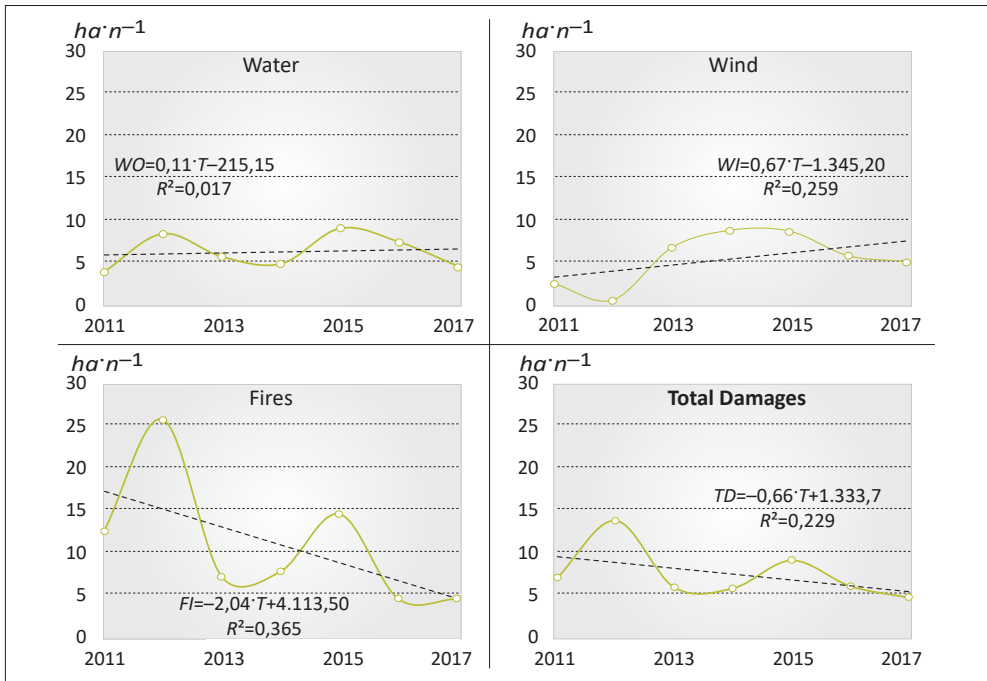
The interaction between the observed harmful elements (Table 4) shows that the share of water, wind, and fire in the number of damages is in the ratio 3.3:2.3:1 (WA:WI:FI), and by the area of damages in the ratio 1.8:1:1.4 (WA:WI:FI). This means that, according to the number of damages, those caused by fire are the least numerous, caused by water are more than tripled, and caused by wind are more than double. A completely different



Graph 1. Regression models of the number of damages in the period 2011-2017



Graph 2. Regression models of the area of damages in the period 2011-2017



Graph 3. A regression model of areas of damages per harmful event from 2011-2017

Table 4. Extent ratio of harmful factors in total damages

Indicator of damage	Harmful factor		
	WA	WI	FI
<i>n</i> Share	49.9%	34.8%	15.3%
	3.3	2.3	1
<i>P</i> Share	42.6%	23.4%	34.0%
	1.8	1	1.4

Legend: *n*- number of damages, *P* - area, WA - water, WI - wind, FI - fires

Source: original

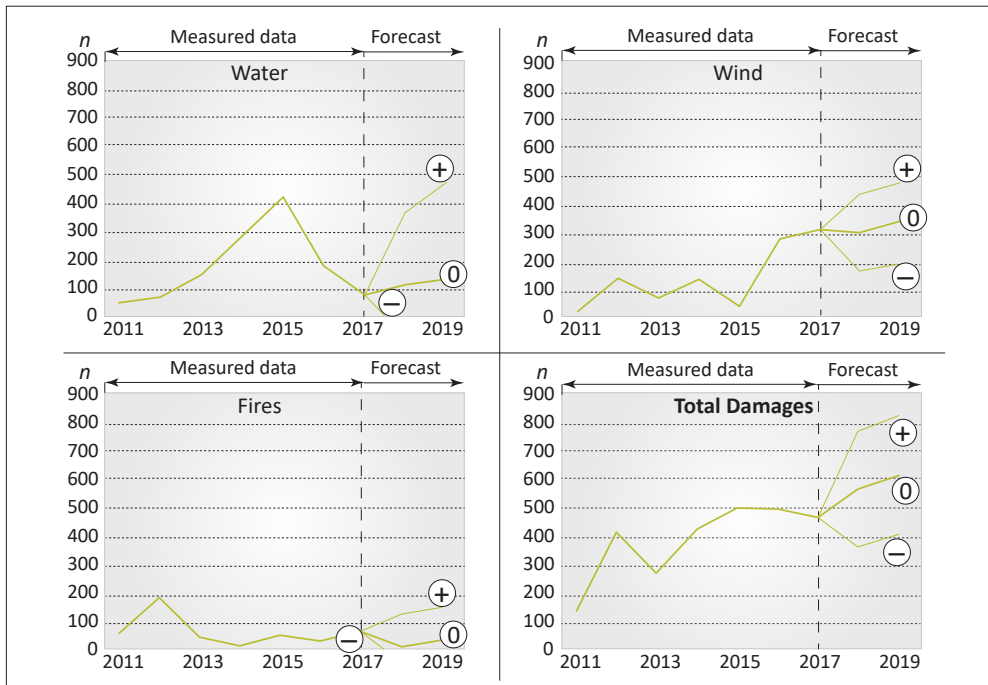
picture is when looking at the extent of damaged areas, where damages caused by wind are the lowest, while damages caused by fire are about 40% larger and damages caused by water by 80% larger.

Taking all of this into account, the harmful effect of water is clearly manifested, being the most prominent detrimental factor of all three observed, increasing in both number and area. The wind also shows the growth of damages both in terms of number and area. Although being less manifested, their upward course is alarming,

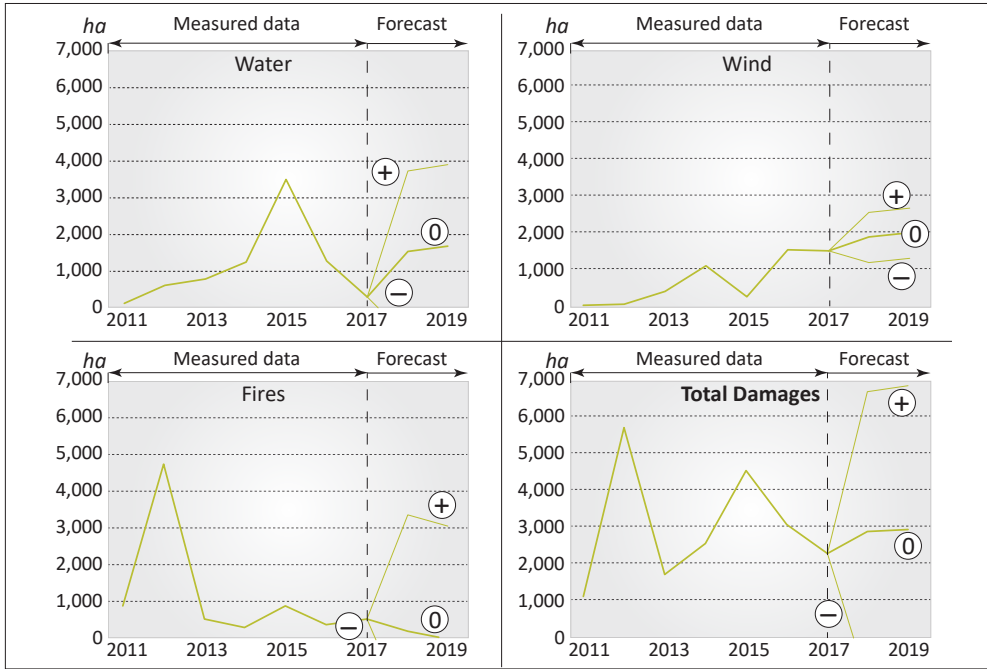
indicating a need for additional attention concerning preventive activities in the forests of Serbia. The number of forest fires is lower but they occur in larger areas. Increased efforts in suppression of all observed indicators of fire damages in recent years might have influenced their decline. However, there is still a need to retain professional interest in protecting forests.

Total damages are noticeably increasing in number, while their increase is significantly slower in terms of area. On the other hand, damage areas per harmful event are declining. This is primarily due to the significant reduction in the damaged areas caused by fires. This implies that cumulative observations must be split per harmful factor, so that the reduction of one of them (in this case fires) does not dissimulate the effects of others which grow. In case they get neglected, the damages can escalate to catastrophic proportions.

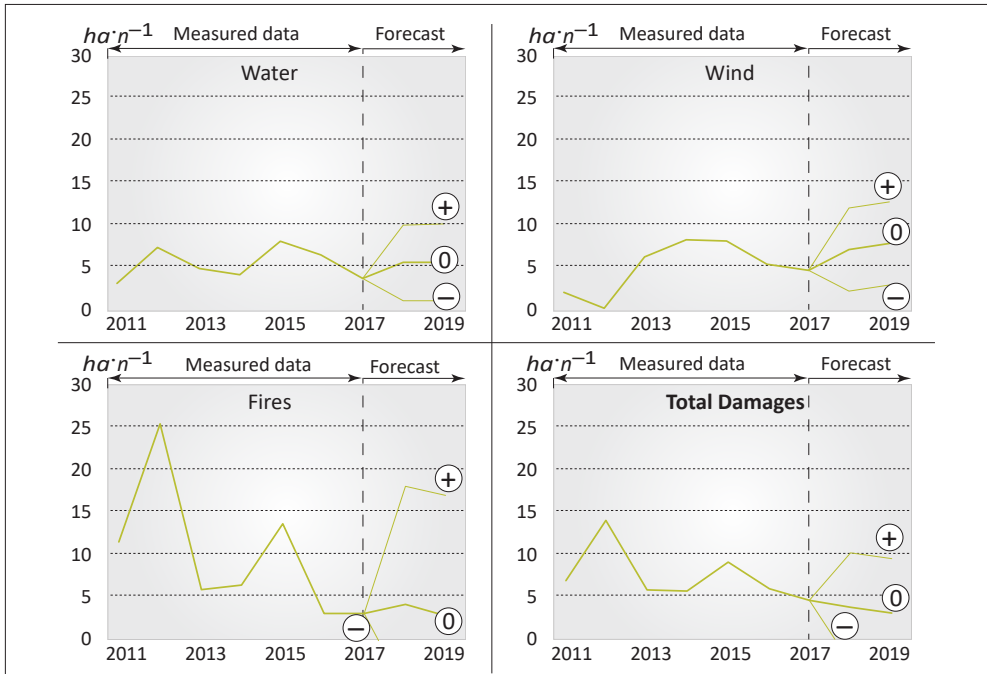
In the next step prognoses were made for the future trend of the number and area of damage (Graph 4-6), as well as the damage areas per harmful event. In this case, a prediction technique based on a linear trend, with growing (+), probable (0) and declining (-) variant have been used.



Graph 4. A trend prognoses of the number of damages based on the period 2011-2017



Graph 5. A trend prognoses of the area of damages based on the period 2011-2017



Graph 6. A trend prognoses for the area of damages per harmful event based on the period 2011-2017

According to the growing variant, an increase in the number of damages caused by all harmful factors was forecasted, as well as in the total number of damages (Graph 4). A forecast of probable variant indicates a growing trend of damages caused by water, wind and the total number of damages. In the case of damages caused by fire, an increase is predicted after 2018. According to the declining variant, the number of damages caused by all three factors, as well as the number of total damages, is decreasing with a slight increase after 2018.

According to the growing and probable variant, the growing trend of areas of damage caused by the water and wind, as well as the total areas of damage (Graph 5), is forecasted, with a noticeable decline trend in the areas of damage caused by fires (also in probable and declining variants). The declining variant envisages a constant reduction of all three factors observed after 2017, with a slight increase in the damaged areas caused by wind after 2018.

The forecast of trends in the area of damages per harmful event, the growing and probable variant are showing an increase of damages caused by water, wind, and total damages. In case of fires, there is a visible decrease after 2018 (Graph 6). According to the growing variant, a decrease in the areas of damages per harmful effect of all three harmful elements and the total areas of damage is forecasted, as well as the growing trend of areas of damage per harmful event caused by water and wind.

A summary of derived prognoses should be taken into consideration as a warning since most of the observed factors show a generally growing tendency (even in the declining variant). Damages caused by fire are somewhat different, as there is a decrease also in the growing variant forecasts after 2018. This forecast can be realized only with continuation of professional engagement in this field.

DISCUSSION

In the last few decades, many authors have dealt with research on climate change impacts on ecosystems (Rummiakainen, 2012, Lindner

et al., 2010, 2014, Seneviratne et al., 2012), but also the prognosis of climate change impacts on European forests and forestry (Schelhaas et al., 2003, Lindner et al., 2010, Ranković et al., 2012, Ranković et al., 2016). The expected climate change projections indicate the possibility of increasing the frequency, as well as the intensity of natural hazards, both in extent and in the length of their duration (2018/b).

The "...uncertainties in the projections of climate extremes..." (Lindner et al., 2014), are limiting a complete picture of how climate change will affect the occurrence of natural hazards. Based on derived results and continuation of the observed trends, there is a probability of an increase in the number and areas of damage caused by water and wind. Previous researches in Serbia found that the average annual exponential rate of growth of forest damage (measured in m³ of felled tree) from natural hazards is 56.2% (Ranković et al., 2016).

In the territory of the Czech Republic, damages caused by wind, ice and snow accounted for 43.8% of salvage felling in the period 1900-1950, and even 73% in the period 1951-1980. The damages from drought and air pollution increased from 1.8% to 18.1% in the observed period. In the period 1963-1999, abiotic factors were responsible for 75% of salvage felling with the following share: wind 46.3%, snow 11.5%, drought 7.2%, air pollution 7.0%, ice deposits 3.0% (Brazdil et al., 2018). The extent and intensity of such damages may have an impact on the complete supply chain in the forestry sector. Loss due to hazards involves not only the costs of restoring and reducing the value of timber, but also reducing the future value of damaged or undamaged (but destabilized) stands (Hanelinkel, Peyron, 2013).

In Europe, at least two destructive storms occur annually (Gardiner et al., 2010), with an increase in their intensity especially in part of Western, Central and Northern Europe (Regow et al., 2017). Wind, as one of the most significant disruptors in forest ecosystems in Europe (Seidl et al., 2014), causes more than 50% of primary damages to Europe's forests caused by natural hazards (Schelhaas et al., 2003).

The growing trend in the number of damages caused by the wind is also visible in Serbia (Graph 1), with an absolute annual growth of 40 per year,

which is twice as high as the growth of damages caused by water. According to the forecast of future damages (Graphs 4-6) caused by wind, temporarily decrease in the number, area, and area of damages per harmful event can be expected by the declining variant, while the other two variants forecast a steady growth.

Precipitation variations are one of the causes of forest ecosystem disorders, such as the occurrence, frequency, duration, extent, and intensity of disorders (Dale *et al.*, 2001). Heavy rainfalls in combination with other factors (temperature change, air mass movement, etc.) were manifested in the form of floods in Serbia, and in 2014, caused major economic losses, estimated at more than 2.7% of gross national income (Đeković *et al.*, 2014). In addition to the floods, in the same year, the whole area of eastern Serbia (altitude 300-1,000 m above sea level) was hit by an ice wave that caused the appearance of ice-breakages and damage in the area of 43,305.78 ha (Baković *et al.*, 2015). Although the expectations are that the frequency of increased ice waves will decline, there are indications that they will grow in their intensity and duration (Rumunkainen, 2012).

According to the forecast of future trends of damages (Graphs 4-6) caused by water, and according to the growing and probable variant, it is possible to expect an increase in both the number and areas of damages. In this case, there is a rapid increase in both the number and the areas of damages caused by water, which can confirm the possibility of reduced frequency, as well as a greater intensity in occurrence of the number and areas of damages caused by water. Given that water represents the most prominent detrimental factor of all three observed (Table 3), special attention should be paid to the monitoring of forest damages, especially those caused by water activity.

Forest fires represent one of the main economic problems of forestry in Serbia (Aleksić *et al.*, 2009), but also a threat to forest ecosystems and various relict, endemic, and protected species of trees and shrubs (Baković *et al.*, 2009). The occurrence of large-scale fires in the last two decades in Europe is also linked to the emergence of various extreme events (Barriopedro *et al.*, 2011, Rahmstorf, Comou, 2011), such as

long periods of drought followed by high temperature, but also with intense winds in the Mediterranean (San-Miguel-Ayán *et al.*, 2013, Koutsias *et al.*, 2012).

Although regression models show a decrease in the number, area of damages, and area of damages per harmful event caused by fire, according to the forecast of future damage (Graphs 4-6) caused by fire, and based on the forecast by growing variant, their increases till may be expected. This difference in presented results can be partly explained by the use of a small sample size. However, the influence of various causes of fires, both climatic (e. g. precipitation, temperature, etc.) and demographic changes (migration from village to town) should not be neglected. They can have a positive, but also a negative effect on the trends of the observed parameters.

Due to the difficulty in treating a large amount of damaged wood immediately after the calamity, the damaged trees present “...a base from which bark beetles propagate prodigiously and then invade healthy trunks” (Brazdil *et al.*, 2018). The damage caused by natural hazards has not only an environmental and economic impact (Schuck, Schelhaas, 2013) but also requires a change and “...increase in business activity...”, which “...can vary according to the type of company/sector involved and in the way that the forest area has been affected”. The crisis after the natural disaster, as well as secondary impacts on the entire forestry sector, may be limited by the appropriate “...public policy measures...”, which include “...emergency responses to restore access and minimize accidents, incentives for wind damage removal, (...), the strengthening of staff and budgets, aid for cleaning and restoration” (Hanewinkel, Peyron, 2013).

CONCLUSIONS

Based on the results of the conducted research, the following conclusions can be drawn:

- the trends of the two observed indicators of damage (n and P), on the damages caused by water and wind, as well as the total damage, have an upward direction (confirmation of hypothesis);

- the trends of all three observed indicators of damage (n , P and P/n), in case of fire damage, have a downward direction (hypothesis is rejected);
- the trends of the area of damages per harmful event (P/n), in the case of total damage, also have a downward direction (hypothesis is rejected);
- statistical significance tests are satisfactory in three models (number of damages caused by wind, the total number of damages and areas of damages caused by wind). Due to the upward orientation of all three models reliably interpretation is possible (the hypothesis has been confirmed by all criteria);
- damages caused by water are the most pronounced and should be treated with special care;
- forecasts relating to the observed factors and indicators of damages are raising caution, as almost all forecasts indicate an increase in the extent of damages;
- harmful factors must be observed on a regular basis, but also apart in order to avoid inadequate perception of possible danger. If observed together, growth of one factor can create the preconditions for the appearance of negative physical, economic and social consequences.

Such conclusions point to constant caution concerning these types of forest damages, due to the obvious growing tendency (although this is not the case with fire). This implies constant monitoring of the extent of damages for all observed factors, analyzing their movement and determining the period of occurrence. The latter could not be implemented, due to relatively short sequences, but is recommended as a compulsory part of future research on this issue, when a larger sample size of forest information becomes available.

Acknowledgment: The research was conducted within the project “Studies of climate changes and their impact on the environment - monitoring impacts, adaptation and mitigation” (no. 43007), sub-project “Socio-economic development, mitigation and adaptation to climate change” (no. 43007/16- III), funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Aleksić P., Krstić M., Jančić G. (2009): *Forest fires - ecological and economic problem in Serbia*, Botanica Serbica vol. 33 (2), Institute of Botany and Botanical Garden „Jevremovac“, Belgrade (169-176)
- Baković Z., Stajić B., Janković V., Janjatović Ž., Kazimirović M. (2015): *Aktivnosti JP „Srbijašume“ nasanacijenegativnihfekataledenogtalasa u 2014. godini, na šume i životnu sredinu u istočnoj Srbiji*, Zbornik radova sa međunarodne naučno-stručne konferencije „Upravljanje kriznim i vanrednim situacijama - teorija i praksa“, Babić, B., Komazec N. (ured.), Kurjak Copy, Vranje (115-124)
- Banković S., Medarević M., Pantić D., Petrović N. (2009): *Nacionalna inventura šuma Republike Srbije - Šumski fond Republike Srbije*, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede - Uprava za šume, Beograd (244)
- Barriopedro D., Fischer E. M., Luterbacher J., Trigo R., Garcia-Herrera R. (2011): *The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe*, Science 332, American Association for the Advancement of Science, Washington DC (220-224)
- Brázdil R., Stucki P., Szabó P., Řezníčková L., Dolák L., Dobrovolný P., Tolasz R., Kotyza O., Chromá K., Suchánková S. (2018): *Windstorms and forest disturbances in the Czech Lands: 1801–2015*, Agricultural and Forest Meteorology, Volumes 250–251, Elsevier B.V. (47-63)
- (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge
- (2011): *Climate change for forest policy-makers - An approach for integrating climate change into national forest programmes in support of sustainable forest management*, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome
- Dale V., Joyce L., McNulty S., Nelson 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), BioONE, Washington (723-734)

- Deković, V., Anđelković, A., Janić, M., Spalević, V. (2016): *Analiza poplava u Kolubarskom regionu u Srbiji tokom maja 2014. godine*, Šumarstvo 1-2, Udruženje šumarskih inženjera i tehničara Srbije, Beograd (55-77)
- (2017): *Drugi izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime*, Ministarstvo zaštite životne sredine, Beograd
- Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M. (2000): *Climate change and forest fires*, Science of the Total Environment 262, Elsevier B. V., Amsterdam (221-229)
- Folke C. (2006): *Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses*. Global Environmental Change 16 (3), Elsevier B. V., Amsterdam (253-267)
- Fuhrer J., Beniston M., Fischlin A., Frei C., Goyette S., Jasper K., Pfister C. (2006): *Climate risks and their impact on agriculture and forests in Switzerland*, Climatic Change 79, Springer, Berlin & Heidelberg (79-102)
- Gardiner B., Blennow K., Carnus J., Fleischer P., Ingemarson F., Landmann G., Lindner M., Marzano M., Nicoll B., Orazio C., Peyron J., Schelhaas M., Schuck A., Spielmann M., Usbeck T. (2010): *Destructive Storms in European Forests: Past and Forthcoming Impacts*, European Forest Institute - Atlantic European Regional Office (EFIATLANTIC), Bordeaux
- Gregow H., Laaksonen A., Alper M. E. (2017): *Increasing large scale windstorm damage in western, central and northern European forests, 1951-2010*, Scientific Reports 7, Nature Research, London (1-7)
- Hanewinkel M., Peyron J. C. (2013): 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 (55-63)
- (2018/a): *Izveštaj o štetama u šumama za period 2011-2017. godine*, interna dokumentacija, Republički zavod za statistiku, Beograd
- Jovičić M. (1981): *Ekonometrijski metodi*, Savremena administracija, Beograd
- Koutsias N., Arianoutsou M., Kallimanis A. S., Mallinis G., Halley J. M., Dimopoulos P. (2012): *Where did the fires burn in Peloponnisos, Greece the summer of 2007?*, Evidence for a synergy of fuel & weather, Agric. For. Meteorol. 156, Elsevier B. V., Amsterdam (41-53)
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolstrom M., Lexer M. J., Marchetti M. (2010): *Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems*, For. Ecol. Manag. 259 Elsevier B. V., Amsterdam (698-709)
- Lindner M., Fitzgerald J. B., Zimmermann N. E., Reyer C., Delzon S., van der Maaten E., Schelhaas M. J., Lasch P., Eggers J., van der Maaten-Theunissen M., Suckow F., Psomas A., Poulter B., Hanewinkel M. (2014): *Climate Change and European Forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management?* Journal of Environmental Management 146, Elsevier B. V., Amsterdam (69-83)
- Moriondo M., Good P., Durao R., Bindi M., Giannakopoulos C., Corte-Real J. (2006): *Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area*, Climate Research 31, Inter-Research Science Center, Oldendorf/Luhe (85-95)
- Petz B. (1983): *Osnovne statističke metode za nematematičare*, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb
- Rahmstorf S., Comou D. (2011): *Increase of extreme events in a warming world*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 108 (44), National Academy of Sciences, Washington DC (17905-17909)
- Ranković N. (2012): *Trendovi šumske površine i broja stanovnika i uticaja broja stanovnika na šumsku površinu po hektaru u Srbiji bez AP*, Glasnik Šumarskog fakulteta 106, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd (183-196)
- Ranković N., Nedeljković J., Zlatić M., Stanišić M., Nonić D. (2016): *Kretanje obima šteta od prirodnih nepogoda u šumama Srbije i uticaj temperature i padavina*, Glasnik Šumarskog fakulteta 114, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd (201-218)
- Ristić R., Kostadinov S., Abolmasov B., Dragičević S., Trivan G., Radić B., Trifunović M., Radosavljević Z. (2012): *Torrential floods and town and country planning in Serbia*, Natural Hazard & Earth System Sciences 12, Copernicus Publications, Gottingen (12-35)

- Rummukainen M. (2012): *Changes in climate and weather extremes in the 21st century*, WIREs Clim. Change 3, John Wiley & Sons Inc., Hoboken (115-129)
- San-Miguel-Ayanz J., Moreno J. M., Camia A. (2013): *Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: lessons learned and perspectives*, Forest Ecology and Management 294, Elsevier B. V., Amsterdam (11-22)
- Schuck A., Schelhaas M. J. (2013): *Storm damage in Europe - an overview*, Gardiner B., Schuck A., Schelhaas M. J., Orazio C., Blennow K., Nicoll B. (Eds.), Living with Storm: Damage to Forests, EFI Series What Science Can Tell Us 3, European Forest Institute, Joensuu (15-23)
- Seidl R, Schelhaas M-J, Rammer W, Verkerk PJ. (2014): *Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage*, Nature Climate Change 4, Springer Nature Publishing AG, London (806-810)
- Sekulić G., Dimović D., Kalmar Z., Krnajski J., Todorović N. (2012): *Assessing vulnerability to climate change - Serbian*, World Wide Fund for Nature (WWF), Center for the Advancement of Environment, Belgrade
- Sneviratne S. I., Nicholls N., Easterling D., Goodess C. M., Kanae S., Kossin J., Luo Y., Marengo J., McInnes K., Rahimi M., Reichstein M., Sorteberg A., Vera C., Zhang X. (2012): *Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment*. A Special Report of Working Groups I & II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge (109-230)
- Schelhaas M. J., Nabuurs G., Schuck A. (2003): *Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries*, Global Change Biology 9(11), John Wiley & Sons Inc., Hoboken (1620-1633)
- (2018/b): *Sveobuhvatna analiza sistema smanjenja rizika i upravljanja rizicima od katastrofa u poljoprivrednom sektoru - Republika Srbija*, Izveštaj Organizacije Ujedinjenih nacija za poljoprivredu i hranu, Beograd
- (2015): *Zagrevanje useva - kako odgovoriti?*, Uticaji promene klime na srpsku poljoprivredu, Izveštaj Programa Ujedinjenih nacija za razvoj (UNDP), Beograd
- (2010): *Zakon o šumama*, Službeni glasnik RS 30/10, 93/12, 89/15, 95/18-dr. zakon, Službeni glasnik, Beograd

