

Шумски пожари и противпожарна заштита

Милан Миленковић

Сажетак: Према подацима Републичког завода за статистику Републике Српске за период 2000–2019. године, шумским пожарима у Републици Српској укупно је опожарено 144.006 ха. Од тога на државне шуме отпада 112.965 ха (78,44%), а на приватне 31.041 ха (21,56%). Највеће опожарене површине забиљежене су 2012. године (33.781 ха), а најмање 2018. године (166 ха). Тренд пораста опожарених површина није статистички значајан. Код састојина лишћара у државним шумама такође је утврђен тренд пораста опожарених површина који није статистички значајан. Максимум је забиљежен 2012. (21.226 ха), а минимум 2018. године (53 ха). Пораст опожарених површина састојина четинара у државним шумама нешто је израженији, али такође није статистички значајан. Максимална вриједност површине је забиљежена 2017. године и износила је 2.125 ха, а минимална 2014. године је износила 29 ха. Максимум је забиљежен 2001. године (3.180 ха), а минимум 2014. године (12 ха). У мјешовитим састојинама лишћара и четинара забиљежен је статистички значајан тренд смањења опожарених површина. Од укупно опожарене површине ниски пожари су захватају 95,81%, а високи 3,99%. Сматра се да је главни узрочник шумских пожара у Републици Српској човјек, а јављају се и пожари узроковани минско-експлозивним средствима заосталим из рата (1992–1995). У шумама на територији општине Хан

Пијесак (надморске висине од 762 до 1.537 м), у периоду 2003–2010. година забиљежен је 31 пожар, уз укупну опожарену површину од 137 ха. У 85% случајева узрочник је био човјек, минско-експлозивна средства у 3%, удари грома у 2%, док за 10% узрок није утврђен. У Републици Српској од шумских пожара најугроженији је јужни дио (односно мезорегија Требиње).

У бројним истраживањима утврђена је веза између климатских индекса и шумских пожара. У Сјеверној Америци углавном дјелују Ел Нињо јужна осцилација (*El Niño–Southern Oscillation, ENSO*), Пацифичка декадна осцилација (*Pacific Decadal Oscillation, PDO*) и Атлантска вишедеценијска осцилација (*Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO*). Утицај ENSO евидентан је у дијеловима Јужне Америке, као и у југоисточној Азији. У Европи је утврђен утицај AMO (Француска, Португалија), Индекса Медитеранске осцилације (*Mediterranean Oscillation Index, MOI*) (Румунија), Арктичке осцилације (*Arctic Oscillation, AO*) и Сјеверноатлантске осцилације (*North Atlantic Oscillation, NAO*) (Сјеверна Европа). Према хипотези о Сунчевом вјетру као узрочнику пожара, високоенергетске честице Сунчевог вјетра, које потичу из активних региона и короналних рупа на Сунцу, продиру кроз Земљину магнетну одбрану и доспијевају до њене површине, гдје изазивају пожаре вегетације. Ова хипотеза је потврђена за САД, Португалију и неке дијелове југоисточне Европе. Истраживања везе између климатских индекса и шумских пожара, као и тестирање хипотезе о Сунчевом вјетру као узрочнику пожара, требало би спровести и у Републици Српској, а добијени резултати могли би да се користе у прогнози шумских пожара. Да би се ова истраживања спровела, неопходна је израда јединствене базе података о шумским пожарима у Републици Српској.

Предложене мјере за унапређење стања заштите шума од пожара у Републици Српској обухватају: правилан избор врста дрвећа за пошумљавање, израда противпожарних просјека уз одржавање постојећих, подизање биолошких противпожарних појасева, побољшање набдијевања водом и изградња водоакумулација, унапређење пропагандних мјера, унапређење противпожарне опреме, побољшање безбједности учесника акција гашења пожара и локалног становништва и примјена резултата научних истраживања.

Кључне ријечи: Шумски пожари, Република Српска, климатски индекси, телеконекције, Сунчев вјетар

9.1. Увод

Пожари су један од најзначајнијих штетних фактора који дјелују на шумске екосистеме. Често се јављају као еколошке катастрофе и елементарне непогоде које трају данима, недјељама, па чак и мјесецима. Поред уништавања шумских екосистема, пожари се шире и на насељена мјеста, па чак и на веће градове. Штете од шумских пожара могу бити непосредне и посредне.

Непосредне штете настају као директна посљедица пожара:

- дјелимично или потпуно уништавање шумских екосистема, укључујући и оштећења земљишта,
- аерозагађење.

Посредне штете обухватају:

- промјене микроклиматских прилика, прије свега као посљедица потпуног или дјелимичног уништавања шума,
- деградацију земљишта (ерозија, клизишта и др.),
- масовне појаве штетних врста инсеката и фитопатогених гљива на стаблима која су захваћена пожаром, као и ширење непожељних биљних врста на опожареним површинама.

Шумски пожари узрокују и различите материјалне трошкове, као што су трошкови гашења пожара, чишћења терена, санације и поновног пошумљавања. Трагична посљедица шумских пожара су губици у људским животима. Најдрастичнији примјер посљедњих деценија забиљежен је у Аустралији (држава Викторија), фебруара и марта 2009. године (173 погинула и 414 повријеђених). Поред тога, шумски пожари узрокују и здравствене проблеме усљед изложености диму, што је била масовна појава у љето 2010. године у Русији. Ови пожари почели су крајем јула и били су праћени сушом и рекордно високим температурама. Многи градови били су угрожени, а дим је стигао и до Москве. Много становника напустило је градове, а забиљежена је и повећана смртност.

Утицај дима од шумских пожара на здравље становништва интересовао је бројне истраживаче. Kunii et al. (2000) вршили су истраживања стања плућа становника Индонезије који су били изложени диму током шумских пожара 1997. године. Око 99% прегледаних навело је најмање један симптом који је директна посљедица дима, а у 67% случајева тест респираторне функције указао је на рестриктивне промјене. До сличних резултата дошли су и други истраживачи (Ignotti et al. 2010). Miranda et al. (2010) утврдили су екстремно високе концентрације токсичних гасова којима су изложени професионални ватрогасци током шумских пожара.

Облаци дима који су посљедица шумских пожара могу прећи велика растојања. Forster et al. (2001) утврдили су да је аерозагађење, које је било посљедица шумских пожара у Канади у љето 1998. године, доспјело до Европе, гдје су повећане концентрације угљен-моноксида и других гасова трајале неколико недјеља.

Широко је прихваћено да шумске пожаре изазива човјек (намјерно и ненамјерно), као и да природне силе (удари грома) узрокују мали број пожара (Jurjević et al. 2009; Lovreglio et al. 2010). Lynch and Hessler (2010) наводе да је 99,9% шумских пожара у Западној Вирџинији (САД) у периоду 2001–2008. године изазвано антропогеним паљењем. Међутим, за око 43% шумских пожара није утврђен узрочник и постоји могућност да и Сунчев вјетар може бити узрочник ових пожара (Radovanović and Gomes 2009). Ради се о хипотези да шумске пожаре изазивају високоенергетске честице Сунчевог вјетра (Stevančević 2004) и томе ће у овом поглављу бити посвећена посебна пажња.

Размјере које шумски пожари могу имати виде се из сљедећих примјера из прошлости. У пожарима који су се јавили у САД у државама Висконсин и Мичиген (1871), Висконсин (1894) и Ајдахо и Монтана (1910), опожарене површине кретале су се око 17.000 км² (Luke and McArthur 1978). Пожари који су 8. октобра 1871. године захватили градић Пештиго (Peshtigo) однијели су највећи број људских живота, при чему се процјене броја жртава разликују (од 1.200 до 2.500). Интересантно је да се овај пожар јавио истог дана и готово истовремено када и много познатији велики пожар у Чикагу (Great Chicago Fire) National Weather Service (<http://www.peshtigofire.info/>). Што се тиче захваћене површине, највећи шумски пожари у новије време забиљежени су у Индонезији у сезони 1997/98. (преко 52.000 км²).

У Европи је проблем шумских пожара посебно изражен у области Медитерана, као и у Португалији. У љето 2003. године, у овој држави пожари су захватили око 4.500 км², што је готово 5% државне територије. Том приликом опожарено је око 2.800 км² шума.

У поређењу са најугроженијим државама Европе, Република Српска не може се сматрати посебно угроженом од шумских пожара. Ипак, шумарски стручњаци Републике Српске сваке године сусрећу се са озбиљним проблемима које доноси овај штетни фактор. Шумским пожарима би у будућности требало посветити посебну пажњу, прије свега због тога што није могуће предвидјети њихову појаву, као и размјере.

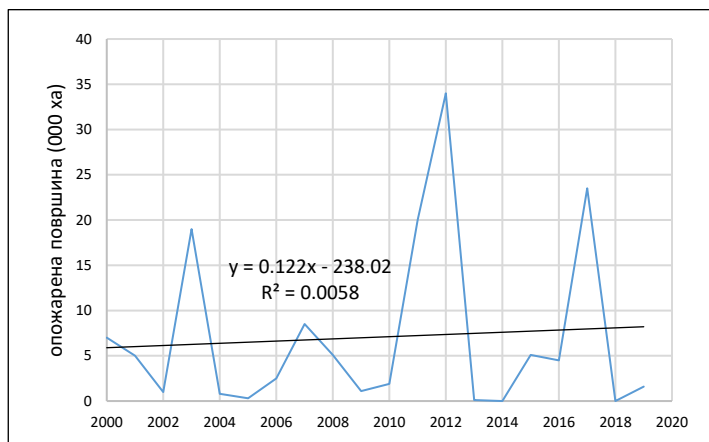
У овом поглављу приказани су основни подаци о шумским пожарима у Републици Српској, најзначајнија новија научна достигнућа из ове области и могућности за унапређење стања противпожарне заштите. Од научних

достигнућа, првенствено су приказана она која могу допринијети прогнози опасности од пожара. Према томе, у поглављу је посебна пажња посвећена могућности примјене резултата научних истраживања, док су техничка средства поменута само у најкраћим цртама.

9.2. Шумски пожари у Републици Српској

Према подацима Републичког завода за статистику Републике Српске (2005–2020) за истраживани двадесетогодишњи период (2000–2019), у шумским пожарима у Републици Српској забиљежена је укупна опожарена површина од 144.006 ха, док је дрвна маса посјечена након пожара износила 789.500 м³. Ови подаци односе се искључиво на шумске састојине, што значи да њима нису обухваћене површине без шуме (шумске просјеке, чистине и др.). Опожарена површина у државним шумама износи 112.965 ха, што чини 78,44% укупне опожарене површине, док су у приватним шумама пожари захватили 31.041 ха (21,56%).

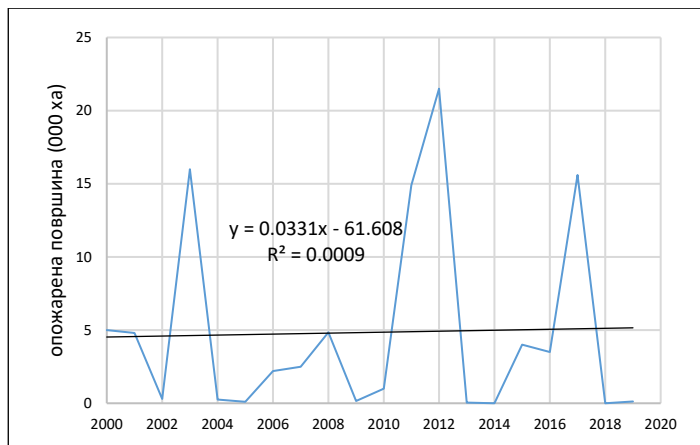
У анализираном периоду у Републици Српској забиљежен је тренд пораста опожарених површина државних шума који није статистички значајан (Граф. 9.1). Највеће опожарене површине забиљежене су 2012. године (33.781 ха), а најмање 2018. године (166 ха).



Граф. 9.1. Површине опожарене у шумским пожарима у Републици Српској у периоду 2000–2019. година са линијом тренда (подаци Републичког завода за статистику Републике Српске, прорачун аутора)

Graph 9.1. Areas burned in forest fires in the Republic of Srpska in the period 2000–2009 with the trendline (data from The the Republika Srpska Institute of Statistics, author's calculation)

Код састојина лишћара утврђен је тренд пораста опожарених површина који није статистички значајан (Граф. 9.2). И у овом случају максимум је забиљежен 2012. године (21.226 ха), а минимум 2018. године (53 ха).



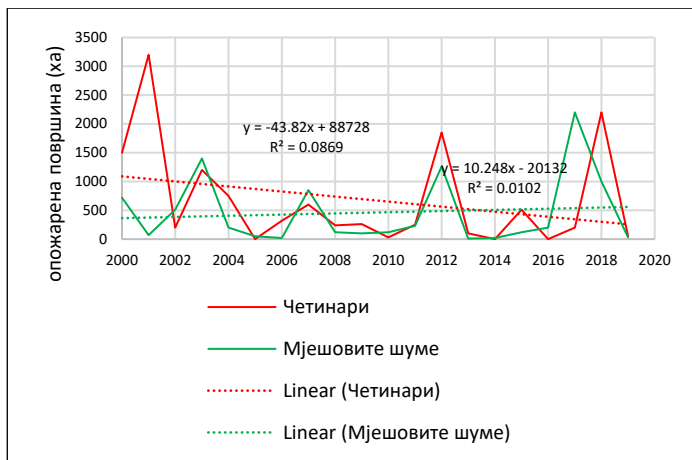
Граф. 9.2. Опожарене површине у састојинама лишћара у државним шумама Републике Српске у периоду 2000–2019. година са линијом тренда (подаци Републичког завода за статистику Републике Српске, прорачун аутора)

Graph 9.2. Areas burned in deciduous stands in state forests of the Republic of Srpska in the period 2000–2009 with the trendline (data from The Republika Srpska Institute of Statistics, author's calculation)

Пораст опожарених површина састојина четинара нешто је израженији у поређењу са састојинама лишћара, али такође није статистички значајан (Граф. 9.3). Максимална вриједност забиљежена је 2017. (2.125 ха), а минимална 2014. године (29 ха).

Приближно исте вриједности минимума утврђене су и за 2006. и 2013. годину. Једино код мјешовитих састојина лишћара и четинара забиљежен је тренд смањења опожарених површина. Овај тренд је статистички значајан (0,05) и у највећој мјери је посљедица израженог максимума из 2001. године (3.180 ха).

Најмања опожарена површина утврђена је за 2014. годину (12 ха), при чему је слично било и 2005. године (15 ха). Од укупне опожарене површине у Републици Српској у периоду 2000–2019. године (144.006 ха), на ниске пожаре отпада 137.966 ха, односно 95,8%, док је 5.750 ха (4,0%) било захваћено високим пожарима. Ако се узму у разматрање само лишћарске састојине у државним шумама, ниски пожари захватили су чак 98,5%.



Граф. 9.3. Опожарене површине под четинарима (плаво) и под мјешовитим састојинама лишћара и четинара (наранџасто) у државним шумама Републике Српске у периоду 2000–2019. године са линијама тренда (подаци Републичког завода за статистику Републике Српске, прорачун аутора)

Graph 10.3. Areas burned in coniferous stands (blue) and mixed deciduous-coniferous stands (orange) in state forests of the Republic of Srpska in the period 2000–2019 with the trendlines (data from The Republika Srpska Institute of Statistics, author's calculation)

У четинарским састојинама овај проценат је знатно нижи (75,2%), што је очекивано, прије свега због веће угрожености од пожара четинарских врста, као и бржег преласка ниског у високи пожар. Међутим, интересантно је да су у мјешовитим састојинама лишћара и четинара површине захваћене високим пожарима веће у поређењу са оним које су захваћене ниским. На високе пожаре отпада око 59% опожарене површине, а на ниске свега 41%.

Што се тиче узрочника пожара, за већи дио Републике Српске не постоји прецизна званична евиденција. Међутим, и овдје, као и у многим другим државама, доминира став да је главни узрочник шумских пожара човјек. Ипак, за један дио пожара узрочник увијек остаје непознат. Нажалост, за шумске пожаре у Републици Српској карактеристично је да су узроковани минско-експлозивним средствима. Govedar et al. (2014) наводе да је шумски фонд Републике Српске око 10% контаминиран минско-експлозивним средствима, чиме је нарушена и безбједност радника и становништва руралних подручја.

Што се тиче сезонске динамике шумских пожара, за Републику Српску има мало података, али је евидентно да се она разликује од подручја до

подручја и да у значајној мјери зависи од надморске висине. Пожарима у високопланинском подручју бавили су се Рејановић et al. (2014), који су истраживањима обухватили шуме на територији општине Хан Пијесак. Ове шуме су у саставу Шумско-привредног подручја „Ханпјесачко“, којим газдује Шумско газдинство „Височник“ из Хан Пијеска. Надморске висине крећу се од 762 до 1.537 м, тако да је клима изразито планинска, што подразумемијева велику количину падавина током највећег дијела године.

Према дрвној запремини, најзаступљеније врсте шумског дрвећа су јела (45%), смрча (37%) и буква (18%). На овом подручју до сада нису забиљежени већи шумски пожари. У периоду 2003–2010. године забиљежен је 31 пожар, уз укупну опожарену површину 137 ха. Највећи број пожара (7) забиљежен је 2003. године, а највећа опожарена површина (30 ха) 2004. године. Најмање пожара (2) било је 2007. и 2010. године, при чему је 2007. опожарена површина била најмања (11 ха). У овом периоду захваћени су различити типови вегетације, а 22% пожара имало је карактеристике високих. Главни узрочник шумских пожара на истраживаном подручју је човјек (85%). Минско-експлозивна средства заостала из рата (1992–1995) била су узрок у 3% случајева, удари грома у 2%, док за 10% узрочник није утврђен.

Прикупљање података о шумским пожарима је од изузетног значаја за будућа истраживања. Због тога је и за Републику Српску потребно израдити јединствену базу података о шумским пожарима, која би обухватала сљедеће: мјесто (локалитет), вријеме појаве, ток, завршетак, активности на гашењу, ангажовано људство и опрема, опожарена површина и њена структура, узрочник (уколико је познат) и др. Оваква база података требало би да буде основа за даља истраживања, не само научна, већ би требало да обједињује искуства у борби против пожара, чиме би допринијела планирању стратегије противпожарне заштите.

Од посебног значаја је познавање локација пожара. Наиме, познато је да се на одређеним локалитетима пожари чешће јављају. Што се тиче Републике Српске, на основу сателитских снимака за 2019. годину (San-Miguel-Ayanz et al. 2020), као и за претходне године, јасно је да је најугроженији јужни (југоисточни) дио, односно мезорегија Требиње (према Просторном плану до 2025. године). Gigović et al. (2018) користили су комбинацију GIS (*Geographic information system*) и АНР (*Analytic Hierarchy Process*) МСДА (*Multicriteria Decision Making*) метода да утврде зоне ризика од шумских пожара у општини Невесиње. Приближно 13,2% територије општине спада у зону веома високог ризика, 29,3% у зону високог ризика, 31,1% умјереног, док преосталих 26,4% отпада на зоне ниског и веома ниског ризика.

9.3. Истраживања у области шумских пожара

У овом дијелу дат је преглед најзначајнијих истраживања која би могла имати примјену у прогнози опасности од шумских пожара. У пракси се ова прогноза заснива, прије свега, на временским приликама и стању горивог материјала. Тако се *Fire Weather Index* (FWI) свакодневно користи у Канади већ деценијама, а дио тог система је *Drought Code* (DC) који представља дневни индекс садржаја воде у земљишту (Girardin and Wotton 2009). FWI је првобитно коришћен само у Канади, али је временом усвојен и у другим државама, нпр. Италији и Грчкој (Good et al. 2008). Carvalho et al. (2008) утврдили су јаку статистички значајну везу између шумских пожара у Португалији, временских прилика и FWI система. Cruz et al. (2003) израдили су моделе за одређивање могућности настанка високих пожара на основу висине основе круне, брзине вјетра на 10 м висине на отвореном и FWI система.

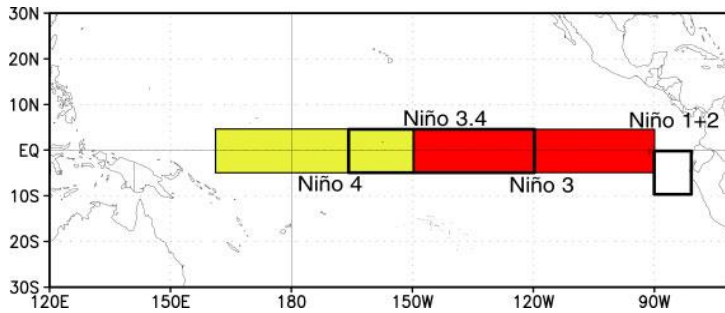
Међутим, шумски пожари јављају се и при ниским температурама, тако да су овдје свакако потребна шира и детаљнија истраживања. За дугорочнију прогнозу шумских пожара од посебног значаја су истраживања везе између климатских индекса, прије свега телеконекција и шумских пожара. Краткорочнија прогноза опасности могла би се заснивати на новим истраживањима која указују на везу између активности Сунца и шумских пожара.

9.3.1. Шумски пожари и климатски индекси

Климатски индекс је једноставна дијагностичка величина која се користи за карактеризацију аспекта геофизичког система, као што је образац циркулације. У прошлости коришћени су подаци о изабраној станици, тачки мреже или регионалном просјеку (Индекс јужне осцилације). Остали индекси углавном су засновани на емпиријским ортогоналним функцијама (Арктичка осцилација, Сјеверноатлантска осцилација). Већина индекса користи једну промјенљиву, као што су притисак на нивоу мора, аномалије температуре површине мора, падавине. Прегледом литературних извора утврђено је да се шумски пожари најчешће доводе у везу са сљедећим климатским индексима (осцилацијама):

- Ел Нињо јужна осцилација (*El Niño–Southern Oscillation*, ENSO) представља квазипериодични климатски образац који се јавља у Тихом океану приближно сваких 5 година, али може и сваких 3–7. Карактерише се варијацијама температуре површине Тихог океана у његовом источном тропском дијелу (*El Niño* – загријавање, *La Niña* – хлађење). Варијације ваздушног притиска јављају се и у тропском западном Пацифику. Такође се користи и Индекс јужне осцилације – (*Southern*

Oscillation Index, SOI). Подаци за *El Niño* дати су за тзв. *Niño* регионе (http://www.imd.gov.in/section/nhac/dynamic/FAQ_monsoon.htm) (Сл. 9.1).



Сл. 9.1. *Niño* региони (www.imd.gov.in)

Fig. 9.1. *Niño* regions (www.imd.gov.in)

- Пацифичка декадна осцилација (*Pacific Decadal Oscillation, PDO*) представља образац варијабилности климе на Пацифику, гдје се фазе смјењују најмање на међудеценијском нивоу, а обично на око 20 до 30 година. PDO је топла или хладна вода на површини Тихог океана, сјеверно од 20°N. Током топле (позитивне) фазе, западни дио Пацифика се хлади, а источни загријава. Током хладне (негативне) фазе је обрнуто.
- Атлантска вишедеценијска осцилација (*Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO*) показује варијабилност која се јавља у сјеверном дијелу Атлантског океана и првенствено се изражава у виду температуре површине мора.
- Арктичка осцилација (*Arctic Oscillation, AO*) дефинисана је као разлика у ваздушном притиску између око 45°N (висок) и изнад Арктика (низак).
- Сјеверноатлантска осцилација (*North Atlantic Oscillation, NAO*) представља климатски феномен у сјеверном дијелу Атлантског океана у виду флукуација у атмосферском притиску на нивоу мора између Исландског ниског и Азорског високог у корелацији је са АО.

Највећи дио литературних извора у којима су анализирани ове везе односе се на Сјеверну Америку. Norman and Taylor (2003) утврдили су да се пожари у шумама *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson (жути или пондероза бор) и *Pinus jeffreyi* Balf. (Џефријев бор) у јужним Каскадским планинама (сјевероисточна Калифорнија) јављају сваких 7–49 година. Поред суше, на њих дјелују и PDO и ENSO. Пожари су се најчешће јављали током сувљих и топлијих година које су слиједиле након влажнијих и хладнијих година. Највећа заступљеност пожара забиљежена је када је PDO био у топлој или нормалној фази.

Аутори су закључили да варијације на Пацифику представљају кључни регулатор режима пожара у сјевероисточној Калифорнији и то објаснили утицајем на локалну продукцију горивог материјала и сукцесиону динамику.

Román-Cuesta et al. (2003) констатовали су да се, током година без Ел Ниња, шумски пожари у држави Чијапас (Chiapas) у Мексику јављају углавном на локацијама са запаљивом вегетацијом, као што су заједнице борова и хростова. Насупрот томе, пожари у годинама Ел Ниња јављају се у свим типовима вегетације, укључујући и тропске шуме, што аутори објашњавају водним стресом.

Harrison and Meindl (2001) утврдили су да постоји статистички значајна веза између ENSO услова и годишње појаве пожара на Флориди. Све године класификовали су на основу ENSO статуса (Ел Нињо, Ла Ниња и неутралне године). Ако се одвојено анализирају подаци из категорија Ел Нињо и Ла Ниња (према ENSO статусу претходне године), статистички значајна веза постоји и са опожареном површином и са просјечном величином пожара. Harrison (2004) је утврдио да се активност пожара у југозападном дијелу Флориде повећава у годинама након Ла Ниња година, а смањује у годинама након Ел Ниња. У југоисточном дијелу Флориде повећање се јавља и након Ел Ниња и након Ла Ниња година, а до опадања долази након неутралних година.

Schoennagel et al. (2005) утврдили су да је комбинација топлих или хладних фаза ENSO и PDO у вези са повећањем броја пожара узрокованих сушом у Стјеновитим планинама. Schoennagel et al. (2007) наводе да прелазак у позитивну фазу АМО доноси већу учесталост пожара у шумама на већим надморским висинама у западном дијелу САД. Duffy et al. (2005) тврде да на основу PDO и индекса телеконеције источног Пацифика може да се процијени опожарена површина у наредној сезони за подручје Аљаске.

Taylor and Beaty (2005) утврдили су да су шумски пожари у мјешовитим шумама Џефријевог бора и дугоигличаве јеле (*Abies concolor* Gordon & Glend.) у сјеверном дијелу Сијера Неваде, у периоду 1650–1850. године, били широко распрострањени у вријеме фазних промјена PDO. Највећа заступљеност била је у вријеме фазне промјене из топле (позитивне) у хладну (негативну). Године у којима је активност пожара била велика долазиле су после 3 године са влажним условима. При томе, пожари су били шире распрострањени током декада када је било сувље (Ла Ниња и негативни PDO услови). Dixon et al. (2008) утврдили су да постоји значајна корелација између вриједности индекса ENSO, NAO, PDO и PNA (*Pacific-North American*) и пожарних варијабли за државу Мисисипи. Ови индекси могли би да представљају основу за одређивање степена ризика од пожара.

Neuerdahl et al. (2008) истраживали су климатске утицаје на регионално синхроне пожарне године у шумама жутог бора у сјеверном дијелу Стјеновитих планина (Ајдахо и западна Монтана), за период 1650–1990. године. Идентификоване су 32 пожарне године за које су била карактеристична топла прољећа и топла и сува лjeta. При томе, утврђено је 99 година током којих није било пожара на истраживаним локалитетима. У годинама које су претходиле пожарним и непожарним, клима није значајно утицала. Године за које пожари нису констатовани биле су Ла Ниња године, током којих је у истраживаној области било доста сњежних падавина. Аутори су закључили да ENSO није имао значајан утицај на регионалне пожарне године, као и да PDO, за разлику од садашњости, у прошлости није значајније утицао на појаву пожарних година. Macías Fauria and Johnson (2008) доводе у везу пожаре у бореалним шумама Сјеверне Америке и PDO, ENSO и АО, али такође помињу и могућност да је све узроковано глобалним загријавањем.

Morgan et al. (2008) истраживали су регионалну синхроност шумских пожара у сјеверном дијелу Стјеновитих планина у САД, у периоду 1900–2003. године. Аутори су издвојили 11 регионалних пожарних година (6 у периоду 1900–1934. и 5 у периоду 1988–2003). Током оба периода, регионалне пожарне године одликовале су се топлим прољећима и топлим и сувим лjetима. За ове периоде такође су карактеристичне позитивне вриједности PDO. Због смањене количине сњежних падавина дошло је и до продужења пожарне сезоне. У периоду 1935–1987. године прољећа су била хладнија, изостала су екстремно сува лjeta, док су вриједности PDO углавном биле негативне. Интересантно је да су током сваке од 11 регионалних пожарних година пожари захватили различите типове вегетације.

Vaillant and Stephens (2009) истраживали су историју пожара у мјешовитим четинарским шумама Џефријевог бора у источном дијелу Сијера Неваде (Калифорнија). Аутори су констатовали да су велики пожари у периоду 1925–2006. године у корелацији са Ел Нињо условима двије узастопне године раније. Миленковић и сар. (2016) истраживали су везу између шумских пожара у САД и PDO и утврдили статистички значајну антифазну корелацију за укупну годишњу опожарену површину. Највиши степен корелације утврђен је код PDO за мај, а на сезонском нивоу за прољеће и лjeta. При томе, утврђено је да PDO има знатно слабији утицај на годишњу опожарену површину у САД у поређењу са АО. Аутори сматрају да PDO дјелује у комбинацији са другим климатским индексима.

Wang et al. (2010) утврдили су статистички значајну корелацију између појава пожара у Британској Колумбији (Канада) и Niño3.4, PDO и АО уз одређена помјерања у фази. За велике површине Тихог океана утврђена је

веза, уз помјерање у фази 1–2 године, између аномалија температура површине океана и појава пожара узрокованих муњама. Аутори сматрају да би предвиђање појава и јачине пожара било могуће на основу температуре океана једну или више година унапријед. Веза између шумских пожара и ENSO утврђена је и за сјеверни дио Патагоније.

Kitzberger and Veblen (1997) утврдили су да ENSO има главни утицај на суптропски антициклон на југу Пацифика који утиче на вријеме у сјеверној Патагонији. Према подацима из историјских извора и на основу реконструкција прстенова прираста стабала, посматрано за периоде од 50 година, ENSO је утицао на појаву пожара. Kitzberger (2002) сматра да би на основу ENSO индекса могла да се врши прогноза пожарних година за област сјеверне Патагоније. Упозорење би могло да се објави три мјесеца прије почетка пуне пожарне сезоне, почетком септембра. Kitzberger et al. (2001), на основу докумената и реконструкција прстенова прираста, поредили су историје пожара током претходних неколико вијекова на југозападу САД и у сјеверној Патагонији. У ова два региона јављају се слични односи пожари-клима, као и слични односи климатских аномалија и ENSO. Ел Нињо догађаји коинцидирају са хладнијим временом и већом количином падавина од просјечне, тако да је биљкама на располагању повећана количина влаге током вегетационе сезоне. Супротно томе, Ла Ниња догађаји доносе сушу. Године са већим бројем пожара јављају се након смјене Ел Нињо – Ла Ниња. Ел Нињо услови погодни су за стварање горивог материјала, који доласком Ла Ниња услова омогућава појаву већих пожара. Chen et al. (2011) истичу утицај Ел Ниња на шумске пожаре у источном дијелу Амазоније, при чему наводе да у јужном и југоисточном дијелу већи значај има АМО. Roman-Cuesta et al. (2014) истичу утицај Ел Ниња и АМО на шумске пожаре у Боливији.

Такође је утврђена веза између ENSO и шумских пожара у југоисточној Азији. Истраживачи су се првенствено бавили катастрофалним пожарима у Индонезији 1997. године. Jim (1999) сматра да су до њих довели дуготрајна суша коју је покренуо Ел Нињо, као и навике становништва да користи ватру за чишћење терена за потребе пољопривреде. Аутор такође наводи да су се пожари јавили на стотинама локација у кратком периоду. Stolle and Tomich (1999) наводе да је 1997. године читав архипелаг Индонезије погођен сушом која је била повезана са ENSO. Током пожара, читава југоисточна Азија била је прекривена димом, који је проузроковао бројне проблеме и ограничио ваздушни, морски и копнени саобраћај. Током 12 мјесеци (од септембра 1997) NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) сателити забиљежили су око 31.500 тзв. „врућих тачака“ (*hot spots*) које

представљају појединачне пожаре. Интересантно је да је око трећине овог броја забиљежено током само једне недјеље (12–18. октобар 1997).

Пожари су највише захватили мочварну шумску вегетацију и секундарну вегетацију која се јавила послје сјече. Аутори наводе да су се узроци пожара разликовали у зависности од провинције, а као један од главних узрока помињу чишћење терена за плантаже. Fuller and Murphy (2006) утврдили су да су пожари у Индонезији у периоду од јула 1996. до децембра 2001. године у јакој корелацији са SOI и Niño3.4 индексом. И пожари у Индонезији 2015. године у значајној мјери повезани су са ENSO (Chen et al. 2016; Edwards et al. 2020). Утицај ENSO (Ла Ниња) значајан је и за појаву шумских пожара у бореалним шумама у Алтајским планинама у сјеверозападној Кини (Shi et al. 2020). ENSO се доводи у везу и са пожарима у Аустралији. Verdon et al. (2004) истраживали су утицај ENSO и Међудекадне Пацифичке осцилације (*Inter-decadal Pacific Oscillation*, IPO) на дугорочне временске прилике које изазивају велику опасност од шумских пожара у Новом Јужном Велсу. Током ENSO епизода значајно се увећава учешће дана са повећаном или знатно повећаном пожарном опасношћу. Овај утицај још више долази до изражаја када је IPO негативан. Аутори сматрају да добијени резултати могу бити од користи за предвиђање пожарне опасности.

Greenville et al. (2009), на основу резултата добијених за сјевероисточне дијелове Симпсонове пустиње у Аустралији, сматрају да би за прогнозу пожара требало да се користе укупне падавине претходне двије године, падавине током сезоне и средње вриједности SOI од јуна до новембра претходне године.

Значајно је поменути и истраживања режима пожара, којима се такође бави већи број истраживача. Balzter et al. (2007) истраживали су динамику шумских пожара у Сибиру осамдесетих и деведесетих година 20. вијека. Аутори су утврдили да је неколико пожарних година у централном дијелу Сибира било повезано са израженом позитивном фазом АО, док се неколико година са значајним штетама од пожара у источном дијелу Сибира поклапало са Ел Нињо годинама. Kim et al. (2020) утврдили су да до увећања годишње опожарене површине у југоисточном дијелу Сибира долази када се позитивне вриједности АО јаве почетком године.

Што се тиче Европе, истраживања су вршена за неколико држава. Milenković et al. (2016) утврдили су везу између АМО и шумских пожара у Француској за период 1980–2014. Статистички значајна антифазна корелација утврђена је за зимске и прољећне вриједности АМО и укупне годишње опожарене површине. Интересантно је да су за истраживани период забиљежени

силазни трендови, како броја пожара, тако и опожарене површине. Повезаност са АМО утврђена је и за шумске пожаре у Португалији у периоду 1980–2015. године. Код укупног годишњег броја пожара, највиши степен корелације утврђен је за љето, а на мјесечном нивоу за август.

Код укупне годишње опожарене површине највише вриједности коефицијента корелације добијене су за љето. За оба параметра вриједности коефицијента корелације биле су позитивне (Milenković et al. 2017b). За шумске пожаре у Румунији (1986–2014) утврђена је веза са Индексом Медитеранске осцилације (*Mediterranean Oscillation Index*, MOI). Коришћена су два сета података: MOI-1 (Алжир и Каиро) и MOI-2 (Израел и Гибралтар). Виши степен корелације утврђен је за MOI-2, и код годишњег броја пожара и код годишње опожарене површине (љето, јун) (Milenković et al. 2016a). За шумске пожаре у Литванији (1992–2015) највиши степен корелације утврђен је за NAO, и то код годишњег броја пожара и NAO индекса за љето, односно на мјесечном нивоу за јун. Нешто ниже вриједности коефицијента корелације утврђене су за АО индекс, такође за јун (Milenković et al. 2017a). Што се тиче шумских пожара у Финској, истраживања су вршена са нешто краћим низом података (1996–2017). Утврђена је антифазна корелација између NAO и АО за поједине мјесеце и годишње опожарене површине, односно просјечне величине пожара (Milenković et al. 2019). Drobyshev et al. (2016) утврдили су да су ниске температуре површине мора (*енглески назив*, SST) у сјеверном дијелу Атлантског океана повезане са интензивнијом динамиком пожара у Скандинавији. Kitenberga et al. (2018) указују на то да су опожарена површина у Естонији и број пожара у Летонији у позитивној корелацији са љетним SST Балтичког, Сјеверног и Средоземног мора.

9.3.2. Сунчев вјетар као узрочник шумских пожара

Према овој хипотези, високоенергетске честице Сунчевог вјетра доспијевају до површине Земље, при чему изазивају пожаре. Извори ових честица налазе се на Сунцу и то су активни региони и короналне рупе. Честице Сунчевог вјетра великом брзином крећу се кроз међупланетарни простор и под одређеним условима продиру кроз Земљину магнетну одбрану. Након тога, оне могу изазвати паљење вегетације. Први истраживач који је поменуо могућност да је Сунчев вјетар узрочник шумских пожара, био је Stevančević (2004). Он је анализирао појаву већих шумских пожара током 2002. године, за које наводи да су се прво појавили у Сибиру у фебруару, да би почетком марта доспјели и до Балканског полуострва. У овом случају, температура честица Сунчевог вјетра кретала се у распону 200.000–450.000

К, док је њихова брзина на уласку у магнетосферу достигла вриједност од 510 km s^{-1} . Током марта уследио је поновни продор честица Сунчевог вјетра изнад Русије, при чему је њихова температура била у распону $350.000\text{--}585.000 \text{ K}$. Већ сљедећег мјесеца (19. април 2002), температура је достигла $4.000.000 \text{ K}$, док је брзина честица била 950 km s^{-1} . Аутор такође износи мишљење да снажни вјетрови, који се јављају током пожара, настају због хидродинамичког притиска честица Сунчевог вјетра.

Ускоро су истраживањем могућности да је Сунчев вјетар узрочник шумских пожара почели да се баве и други аутори (Todorović et al. 2005; Radovanović et al. 2007; Gomes and Radovanovic 2008). На различитим локацијама у свијету у периоду од новембра 2002. до августа 2005. године, анализирано је 11 случајева пожара (Radovanović and Gomes 2009). Брзина честица Сунчевог вјетра кретала се у распону од 550 km s^{-1} до преко 1.000 km s^{-1} , док је температура прелазила $1.000.000 \text{ K}$. Аутори су такође утврдили да су у свим истраживаним случајевима пожарима претходиле сличне ситуације на Сунцу. Наиме, у геоефективној позицији налазили су се активни региони, који су емитовали снажне електромагнетне таласе. У свим случајевима радило се о садејству енергетских региона са короналним рупама.

Stevančević and Todorović (2010) сматрају да кретање честица Сунчевог вјетра представља конвекциону електричну струју. Пошто је електрична струја кретање елементарних слободних електричних оптерећења (електрони или јони), тако се оне и дијеле на електронске и јонске. Stevančević (2010) је подијелио шумске пожаре на протонске и електронске. Протонски шумски пожари јављају се непосредно пред наилазак метеоролошког фронта и могу настати и при релативно ниским дневним температурама. Истовремено се јављају на више локација и имају кружни облик. Електронски пожари настају дејством високотермалних електрона и јављају се у виду линије дуге више десетина, па чак и стотина километара. Radovanović (2010) је истраживао шумске пожаре у Европи у периоду 22–25. јул 2009. године и утврдио повезаност временског слиједа догађаја између процеса на Сунцу и њихове појаве. Аутор је изнио мишљење да хипотеза захтијева додатна истраживања, као и разраду модела који разматрају дејство протона и електрона у доњим дијеловима тропосфере.

Gomes et al. (2009) показали су везу између Сунчевог вјетра и великог шумског пожара у Делиблатској пјешчари 2007. године. Milenković et al. (2011) указали су на могућност да су и претходни катастрофални пожари на овом подручју (1973, 1990. и 1996) настали на исти начин.

Radovanović et al. (2015б) и Radovanović et al. (2015в) истраживали су везу између активности Сунца и шумских пожара у САД. При томе, развијени су

ANFIS модели на основу којих се може предвидјети 79 *Arctic Oscillation* 93% појава пожара. Radovanović et al. (2015a) износе доказе у прилог тврдњи да су шумски пожари у јужној Европи средином јула 2012. године проузроковани електронима из Сунчевог вјетра.

Radovanović et al. (2017, 2019) анализирали су шумске пожаре у Португалији јуна 2017. године, у којима су забиљежене 64 људске жртве, као и огромна материјална штета. И у овим истраживањима коришћени су ANFIS модели који су показали висок степен везе између протока протона и анализираних метеоролошких елемената.

На основу приказаних досадашњих истраживања, произилази да пожари узроковани Сунчевим вјетром обично захватају велике површине и трају више дана. У том смислу, интересантна су истраживања Stocks et al. (2003) који су урадили Базу података великих пожара (*Large Fire Database*) за Канаду (период 1959–1997). Ова база садржи информације о локацији пожара, датуму почетка, коначном обиму, узроку, као и о акцији гашења, за све пожаре који су захватили преко 200 ха. База обухвата свега 3,1% укупног броја пожара у Канади, што значи да је 96,9% пожара угашено прије него што захвати 200 ха. Међутим, на велике пожаре отпада око 97% укупне опожарене површине. Они просјечно годишње захвате око 2.000.000 ха (појединих година и преко 7.000.000 ха). Највећи пожари јављају се у екозонама у бореалном региону и региону тајге, гдје просјечно годишње захвате 0,7% земљишта под шумом. Пожари проузроковани муњама доминирају у сјеверној Канади (80% укупне површине коју захвате велики пожари). Сезона пожара у Канади је од краја априла до краја августа, а највише их је у јуну и јулу. Аутори наводе да је скоро 50% укупне опожарене површине у Канади резултат пожара који се не гасе због њихове удаљености, ниске вриједности захваћеног горивог материјала, а води се рачуна и о природној улози пожара у екосистему.

Миленковић и сар. (2018) наводе да је у Делиблатској пјешчари у периоду 1948–2017. године забиљежено 267 шумских пожара уз укупну опожарену површину од готово 12.000 ха. Интересантан је податак да на четири највећа шумска пожара у истраживаном периоду отпада преко половине укупне опожарене површине, као и преко двије трећине укупне опожарене површине шума. Према томе, са једне стране су катастрофални пожари који захватају више стотина, па и хиљада хектара, и за њих се сматра да су узроковани честицама Сунчевог вјетра. Са друге стране су мањи пожари, углавном од неколико хектара до неколико десетина хектара, за које се претпоставља да је узрочник углавном човјек.

Утицај активности Сунца на динамику пожара на сјеверу Азије истраживали су Solovyev et al. (2004). Аутори су добили антифазну корелацију (-0,83) између активности муња и броја Сунчевих пјега током једанаестогодишњег циклуса. На основу биолошких истраживања старијих стабала, као и података противпожарне службе, утврђено је да су се шумски пожари у прошлости јављали периодично на приближно 10 и 22 године. Сличну периодичност добили су Ivanova et al. (2010) за састојине бијелог бора код Балгазина (Тува, Русија). Средњи пожарни интервал у овим састојинама је 10,4 године, док је за читаво подручје 22,4 године. Добијени резултати указују на везу са циклусима активности Сунца.

Од природних узрока пожара, углавном се наводе муње, односно удари грома, при којима се јавља висока температура, неопходна за настанак пожара. Fauria and Johnson (2006) наводе да на велике пожаре изазване муњама отпада већи дио опожарене површине у Канади и на Аљасци. На основу њихове појаве одређено је осам центара велике варијабилности пожара за период 1959–1999. године. Интеракције PDO-ENSO-AO са тзв. активним пожарним временским приликама дају објашњење за промјене учесталости великих пожара у овој области током посљедњих вијекова. Tian et al. (2009) наводе да је у региону Daxing'anling у Кини, од укупно 591 шумског пожара у периоду 1990–2006. године, чак 359 пожара (60,7%) било узроковано муњама. Vilar et al. (2010) наводе да муње представљају значајан узрок шумских пожара у неким дијеловима европског Медитерана.

Досадашња истраживања указују на то да би за краткорочне прогнозе опасности од шумских пожара могли да се израде модели на бази активности Сунца. Прогнозу би требало организовати тако да обухвати праћење више параметара: на Сунцу, у интерпланетарном простору, у Земљиној атмосфери и на Земљиној површини.

9.4. Могућности за унапређење заштите од шумских пожара у Републици Српској

Стање противпожарне заштите у Републици Српској је у многим елементима неповољно. У том смислу, требало би поменути недостатак и застарјелост противпожарне опреме и средстава, недовољну обученост људства које се ангажује у гашењу пожара и др., а главни узрок за то су недовољна материјална улагања.

San-Miguel-Ayanz et al. (2020) наводе примјере организације заштите шума од пожара у неким државама Европе. Аустрија има више од 300.000

добровољних ватрогасаца у око 4.500 ватрогасних јединица. Ове јединице су веома ефикасне, средње вријеме првог напада је око 20 минута, а пожари се обично угасе у року од једног сата. У Италији Национална флота за гашење шумских пожара има 19 авиона *Canadair CL-415* и четири тешка хеликоптера *Ericson S64*, а током љетне сезоне укључују се и неки војни хеликоптери. Користе се и мањи пик-ап камионети са резервоарима од 400–600 литара, који се успјешно крећу по уским планинским путевима. Добру организацију противпожарне заштите имају и Француска и Шпанија, које су међу најугроженијим од шумских пожара у Европи.

Према томе, за унапређење стања противпожарне заштите у Републици Српској, поред неупоредиво већих материјалних улагања, неопходно би било и коришћење искустава држава које су оствариле значајне резултате у заштити шума од пожара. Мјере за унапређење стања противпожарне заштите у Републици Српској су:

Правилан избор врста дрвећа за пошумљавање. Пошумљавање четинарима, прије свега боровима, повећава опасност од шумских пожара. У условима велике угрожености од пожара предлаже се интензивирање пошумљавања лишћарским врстама дрвећа.

Израда противпожарних просјека уз одржавање постојећих. Противпожарне просјеке спречавају ширење пожара и омогућавају његово гашење. Димензије просјека зависе од многих фактора (врсте дрвећа, висине стабала, конфигурације терена и др). Просјеке би требало да се налазе на мјестима веће угрожености од пожара, као и у зонама у којима су се пожари већ јављали.

Подизање биолошких противпожарних појасева. Биолошки противпожарни појасеви састоје се од лишћарских врста које су мање угрожене од пожара. Ови појасеви могу се користити за пресијецање већих површина под четинарима, а могу бити и уз просјеке. Посебну пажњу потребно је обратити на избор врста дрвећа за формирање ових појасева. Миленковић и сар. (2008) утврдили су да се врсте *Paulownia elongata* и *P. fortunei* одликују особинама на основу којих би могле да се користе у биолошким противпожарним појасевима. То су, прије свега, брз раст, способност генеративног и вегетативног размножавања, могућност опстанка и на неквалитетним земљиштима и велика лисна маса. *Paulownia* врсте послје десете године могу да достигну висину 15–20 м и пречник дебла 30–40 цм, а у плантажном узгоју у првој години могу да буду високе 4–6 м, уз пречник 5–7 цм. Да би могле да се користе за противпожарне појасеве, потребно је спровести и еколошка истраживања.

Побољшање снабдијевања водом и изградња водоакмулација. Снабдијевање водом је једно од стратешких питања приликом планирања

противпожарне заштите. При томе, неопходно је водити рачуна о доступности воде, тако да је нпр. потребно изградити прилазе за возила са цистернама за гашење пожара. Спровођењем мјера за побољшање снабдијевања водом, она се може учинити доступнијом и за локално становништво.

Унапређење пропагандних мјера. Ове мјере до сада нису довољно примјењиване, тако да би им у будућности требало посветити више пажње. То се првенствено односи на васпитно-образовне мјере.

Унапређење противпожарне опреме. Једна од најзначајнијих мјера за унапређење противпожарне опреме била би шири примјена савремених електронских система видео-надзора.

Побољшање безбједности учесника акција гашења пожара и локалног становништва. Из искуства је познато да се код већих пожара често јавља већи број жаришта. Другим ријечима, до избијања пожара долази на више мјеста истовремено, што може представљати велику опасност за људе ангажоване на гашењу, пошто се тако могу наћи окружени ватром. При томе, веће пожаре увијек прате јаки вјетрови промјенљивог правца. Због тога су и брзина и правац кретања фронта пожара непредвидиви, што додатно повећава опасност за раднике на терену. Познато је да се велики шумски пожари најефикасније гасе коришћењем авиона и хеликоптера. Гашење пожара из ваздуха до посебног изражаја долази на непроходним теренима. Међутим, управо при коришћењу авиона и хеликоптера јављају се проблеми због слабе видљивости усљед дима и присуства већег броја летилица на релативно малом простору. Поред тога, у опасности су и радници ангажовани на гашењу пожара.

Примјена резултата научних истраживања. У овом поглављу приказани су резултати научних истраживања каква би се могла спровести и за Републику Српску. У том смислу, требало би истражити везе између шумских пожара и различитих климатских индекса. Резултати ових истраживања могли би се користити за дугорочнију прогнозу шумских пожара у Републици Српској. Такође би требало истражити хипотезу о Сунчевом вјетру као узрочнику шумских пожара. Да би ова истраживања била могућа, неопходно је прикупити што више података о шумским пожарима у Републици Српској.

9.5. Закључак

Према подацима Републичког завода за статистику, у периоду 2000–2019. године у шумским пожарима у Републици Српској забиљежена је укупна

опожарена површина од 144.006 ха, док је дрвна маса посјечена након пожара износила 789.500 м³. Такође је забиљежен тренд благог пораста површине захваћене пожаром, који није статистички значајан. Опожарена површина у државним шумама износи 78,4% укупне опожарене површине. У лишћарским састојинама у државним шумама на ниске пожаре отпада 98,5% опожарене површине, у четинарским 75,2%, а у мјешовитим састојинама лишћара и четинара свега 41%.

У овом поглављу приказана су бројна истраживања везе између климатских индекса и шумских пожара у многим дијеловима свијета. Оваква истраживања требало би спровести и у Републици Српској, а добијени резултати могли би да се користе у дугорочној прогнози шумских пожара.

Такође је разматрана и хипотеза о Сунчевом вјетру као узрочнику шумских пожара. Према овој хипотези, високоенергетске честице Сунчевог вјетра доспијевају до површине Земље и изазивају пожаре вегетације. За детаљнија истраживања шумских пожара у Републици Српској неопходно је израдити базу података са што је могуће већим бројем различитих података.

Предложене мјере за унапређење стања противпожарне заштите у Републици Српској су: правилан избор врста дрвећа за пошумљавање, израда противпожарних просјека уз одржавање постојећих, подизање биолошких противпожарних појасева, побољшање снабдијевања водом и изградња водоакумулација, унапређење пропагандних мјера, унапређење противпожарне опреме, побољшање безбједности учесника акција гашења пожара и локалног становништва и примјена резултата научних истраживања.

Литература

- Balster H, Weedon G, Grey W, Los S, Gerard F, Combal B, Bartholomé E, Bartalev S (2007) Climate, vegetation phenology and forest fires in Siberia. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp 3843–3846. 10.1109/IGARSS.2007.4423682
- Vaillant NM, Stephens SL (2009) Fire history of a lower elevation Jeffrey pine-mixed conifer forest in the eastern Sierra Nevada, California, USA. *Fire Ecology* 5(3):4–19
- Verdon DC, Kiem AS, Franks SW (2004) Multi-decadal variability of forest fire risk – Eastern Australia. *International Journal of Wildland Fire* 13(2):165–171
- Vilar L, Nieto H, Martín MP (2010) Integration of lightning- and human-caused wildfire occurrence model. *Human and Ecological Risk Assessment* 16(2):340–364
- Gigović Lj, Jakovljević G, Sekulović D, Regodić M (2018) GIS Multi-Criteria Analysis for Identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. *Tehnički vjesnik* 25(3):891–897

- Girardin M, Wotton B (2009) Summer Moisture and Wildfire Risks across Canada. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 48(3):517–533
- Govedar Z, Stanivuković Z, Keren S, Marković B (2014) Mine i požari-faktori ugrožavanja bezbjednosti šumskih ekosistema u Republici Srpskoj. Međunarodna naučno-stručna konferencija "Suzbijanje kriminala i evropske integracije, s osvrtom na ekološki kriminal". Zbornik radova, str 245–255
- Gomes JFP, Radovanović M (2008) Solar activity as a possible cause of large forest fires – A case study: Analysis of the Portuguese forest fires. *Science of the Total Environment* 394(1):197–205
- Gomes JFP, Radovanovic M, Ducic V, Milenkovic M, Stevancevic M (2009) Wildfire in Deliblatska pescara (Serbia) – Case Analysis on July 24th 2007. In: Gomez E, Alvarez K (eds) *Forest Fires: Detection, Suppression and Prevention* Nova Science Publishers, pp 89–140
- Good P, Moriondo M, Giannakopoulos C, Bindi M (2008) The meteorological conditions associated with extreme fire risk in Italy and Greece: Relevance to climate model studies. *International Journal of Wildland Fire* 17(2):155–165
- Greenville AC, Dickman CR, Wardle GM, Letnic M (2009) The fire history of an arid grassland: The influence of antecedent rainfall and ENSO. *International Journal of Wildland Fire* 18(6):631–639
- Dixon PG, Goodrich GB, Cooke WH (2008) Using teleconnection to predict wildfires in Mississippi. *Monthly Weather Review* 136(7):2804–2811
- Drobyshev I, Bergeron Y, Vernal A, Moberg A, Ali AA, Niklasson M (2016) Atlantic SSTs control regime shifts in forest fire activity of Northern Scandinavia. *Sci Rep* 6:22532
- Duffy PA, Walsh JE, Graham JM, Mann DH, Rupp TS (2005) Impacts of large-scale atmospheric-ocean variability on Alaskan fire season severity. *Ecological Applications* 15(4):1317–1330
- Edwards RB, Naylor RL, Higgins MM, Falcon WP (2020) Causes of Indonesia's forest fires. *World Development*, Elsevier 127(C) 104717
- IMD http://www.imd.gov.in/section/nhac/dynamic/FAQ_monsoon.htm. 15.03.2021
- Ignotti E, Valente JG, Longo KM, Freitas SR, de Souza Hacon S, Netto PA (2010) Impactos na saúde humana de partículas emitidas por queimadas na Amazônia Brasileira. *Revista de Saude Publica* 44(1):121–130
- Ivanova GA, Ivanov VA, Kukavskaya EA, Soja AJ (2010) The frequency of forest fires in Scots pine stands of Tuva, Russia. *Environmental Research Letters* 5(1):015002
- Jim CY (1999) The forest fires in Indonesia 1997–98: Possible causes and pervasive consequences. *Geography* 84(3):251–260
- Jurjević P, Vuletić D, Gračan J, Seletković G (2009) Šumski požari u republici Hrvatskoj (1992–2007). *Šumarski list* 133(1–2):63–72
- Kim JS, Kug JS, Jeong SJ, Park H, Schaepman-Strub G (2020) Extensive fires in southeastern Siberian permafrost linked to preceding Arctic Oscillation. *Science Advances* 6(2):[eaax3308]

- Kitenberga M, Matisons R, Jansons Ā, Donis J (2018) Teleconnection between the Atlantic sea surface temperature and forest fires in Latvia and Estonia. *Silva Fennica* 52(1):7771
- Kitzberger T (2002) ENSO as a forewarning tool of regional fire occurrence in northern Patagonia, Argentina. *International Journal of Wildland Fire* 11(1):33–39
- Kitzberger T, Veblen TT (1997) Influences of humans and ENSO on fire history on *Austrocedrus chilensis* woodlands in northern Patagonia, Argentina. *Ecoscience* 4(4):508–520
- Kitzberger T, Swetnam TW, Veblen TT (2001) Inter-hemispheric synchrony of forest fires and the El Niño-Southern Oscillation. *Global Ecology and Biogeography* 10(3):315–326
- Kunii O, Kanagawa S, Hojo M, Yajima I, Hisamatsu Y, Yamamura S, Amagai T, Ismail ITS (2000) Assessment of lung health among the inhabitants exposed to haze from the 1997 forest fire in Indonesia. *Respirology* 5(2):167
- Lovreglio R, Leone V, Giaquinto P, Notarnicola A (2010) Wildfire cause analysis: Four case-studies in southern Italy. *Forest* 3:8–15
- Luke RH, McArthur AG (1978) Bushfires in Australia. Department of Primary Industry Forestry and Timber Bureau, CSIRO Division of Forest Research, 359, Canberra
- Lynch C, Hessl A (2010) Climatic controls on historical wildfires in West Virginia, 1939–2008. *Physical Geography* 31(3):254–269
- Macias Fauria M, Johnson EA (2008) Climate and wildfires in the North American boreal forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363(1501):2317–2329
- Миленковић М, Вилотић Д, Радошевић Г (2008) Могућности примене врста *Paulownia elongata* и *P. fortunei* у биолошким противпожарним појасевима. 1. међународна научна конференција „Безбедносни инжењеринг“ и 11. међународна конференција Заштите од пожара и експлозије, Нови Сад, 7–11. октобар 2008, Зборник радова, стр 268–273
- Milenković M, Radovanović M, Ducić V (2011) The impact of solar activity on the greatest forest fires of Deliblatska peščara (Serbia). *Forum Geografic* X(1):107–116
- Миленковић М, Дуцић В, Бабић В (2016) Пацифичка декадна осцилација и шумски пожари у САД у периоду од 1983. до 2015. године. *Шумарство* 68(1–2):91–100
- Milenković M, Ducić V, Babić V (2016a) The Mediterranean Oscillation (MOI) and the forest fires in Romania in the period 1986–2014. *Forum Geografic* XV(2):126–132
- Milenković M, Ducić V, Burić D, Lazić B (2016b) The Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) and the forest fires in France in the period 1980–2014. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA* 66(1):35–44
- Milenković M, Babić V, Krstić M, Jojić Glavonjić T, Denda S (2017a) The North Atlantic Oscillation (NAO), the Arctic Oscillation (AO) and forest fires in Lithuania. *Proceedings / XXV International Conference "Ecological Truth", Eco-Ist '17, 12–15 June 2017, Vrnjačka Banja, Serbia, pp 589–596*

- Milenković M, Yamashkin AA, Ducić V, Babić V, Govedar Z (20176) Forest fires in Portugal - the connection with the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO). *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA* 67(1):27–35
- Миленковић М, Мунђан С, Бабић В (2018) Два века пошумљавања Делиблатске пешчаре: Проблем шумских пожара. *Шумарство* 70(3–4):1–24
- Milenković M, Ducić V, Mihajlović J, Burić D, Babić V (2019) Forest fires in Finland - the influence of atmospheric oscillations. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA* 69(1):75–82
- Miranda AI, Martins V, Cascão P, Amorim JH, Valente J, Tavares R, Borrego C, Tchepel O, Ferreira AJ, Cordeiro CR, Viegas DX, Ribeiro LM, Pita LP (2010) Monitoring of firefighters exposure to smoke during fire experiments in Portugal. *Environment International* 36(7):736–745
- Morgan P, Heyerdahl EK, Gibson CE (2008) Multi-season climate synchronized forest fires throughout the 20th century, northern Rockies, USA. *Ecology* 89(3):717–728
- National Weather Service <http://www.peshtigofire.info/> 15.02.2021
- Norman SP, Taylor AH (2003) Tropical and north Pacific teleconnections influence fire regimes in pine-dominated forests of north-eastern California, USA. *Journal of Biogeography* 30(7):1081–1092
- Pejanović V, Radovanović M, Kopčić K, Milenković M (2014) The problem of forest fires in the area of Han Pijesak municipality (Bosnia and Herzegovina). 1st Online International Conference on forest and agricultural fires as one of the important causes of climate change. Bihać (B&H), April 28–29, 2014
- Radovanović M (2010) Forest fires in Europe from July 22–25, 2009. *Archives of Biological Sciences* 62:419–424
- Radovanović M, Ducić V, Luković J (2007) Šumski požari u Srbiji – analiza slučaja 13–19. marta 2007. godine. Zbornik radova sa naučnog skupa „Srbija i Republika Srpska u regionalnim i globalnim procesima“, Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjaluci, str 275–280
- Radovanović M, Gomes JFP (2009) Solar activity and forest fires. Nova Science Publishers, New York, pp 1–139
- Radovanović MM, Pavlović TM, Stanojević GB, Milanović MM, Pavlović MA, Radivojević AR (2015a) The influence of solar activities an occurrence of the forest fires in South Europe. *Thermal Science* 19(2):435–446
- Radovanović MM, Vyklyuk Y, Malinović-Milićević SB, Jakovljević DM, Pecelj MR (2015b) Modelling of forest fires time evolution in the USA on the basis of long term variations and dynamics of the temperature of the solar wind protons. *Thermal Science* 19(suppl. 2):437–444

- Radovanović MM, Vyklyuk Y, Milenković M, Vuković DB, Matsiuk N (2015в) Application of adaptive neuro-fuzzy interference system models for prediction of forest fires in the USA on the basis of solar activity. *Thermal Science* 19(5):1649–1661
- Radovanović M, Gomes JFP, Yamashkin AA, Milenković M, Stevančević M (2017) Electrons or protons: What is the cause of forest fires in western Europe on June 18, 2017? *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA* 67(2):213–218
- Radovanović MR, Vyklyuk Y, Stevančević MT, Milenković M, Jakovljević DM, Petrović MD, Malinović Milićević SB, Vuković N, Vujko AĐ, Yamashkin A, Sydor P, Vuković DB, Škoda M (2019) Forest fires in Portugal - case study, 18 June 2017. *Thermal Science* 23(1):73–86
- Републички завод за статистику Републике Српске (2005–2020) Статистика шумарства. Статистички билтен бр 5–20
- Román-Cuesta RM, Gracia M, Retana J (2003) Environmental and human factors influencing fire trends in ENSO and non-ENSO years in tropical Mexico. *Ecological Applications* 13(4):1177–1192
- Roman-Cuesta RM, Rejalaga-Noguera L, Pinto-García C, Retana J (2014) Pacific and Atlantic oceanic anomalies and their interaction with rainfall and fire in Bolivian biomes for the period 1992–2012. *Climatic Change* 127:243–256
- San-Miguel-Ayanz J, Durrant T, Boca R, Maianti P, Libertà G, Artes-Vivancos P, Oom D, Branco A, de Rigo D, Leray T (2020) Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2019. JRC Publication No. JRC122115
- Solovyev VS, Kozlov VI, Kershengoltz SZ (2004) The influencing of solar-terrestrial connections on dynamics of wildfires in the North-Asian region. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering* 5397, pp 310–314
- Stevančević M (2004) *Tajne Sunčevog vetra*. Milan T. Stevančević, Beograd, str 1–160
- Stevančević M (2010) *Šumski požari 2009. godine*. Beogradska škola meteorologije, sveska treća, izdavač: Milan T. Stevančević, Beograd, str 107–118
- Stevančević M, Todorović N (2010) *Električne munje*. Beogradska škola meteorologije, sveska treća, izdavač: Milan T. Stevančević, Beograd, str 13–106
- Stocks BJ, Mason JA, Todd JB, Bosch EM, Wotton BM, Amiro BD, Flannigan MD, Hirsch KG, Logan KA, Martell DL, Skinner WR (2003) Large forest fires in Canada, 1959–1997. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres* 108(1) FFR 5–1 FFR 5–12
- Stolle F, Tomich TP (1999) The 1997–1998 fire event in Indonesia. *Nature and Resources* 35(3):22–30
- Shi C, Liang Y, Gao C, Wang Q, Shu L (2020) Drought-Modulated boreal forest fire occurrence and linkage with La Nina events in Altai Mountains, Northwest China. *Atmosphere*, 11 pp 956
- Schoennagel T, Veblen TT, Romme WH, Sibold JS, Cook ER (2005) ENSO and PDO variability affect drought-induced fire occurrence in Rocky Mountain subalpine forests. *Ecological Applications* 15(6):2000–2014

- Schoennagel T, Veblen TT, Kulakowski D, Holz A (2007) Multidecadal climate variability and climate interactions affect subalpine fire occurrence, western Colorado (USA). *Ecology* 88:2891–2902
- Taylor AH, Beaty RM (2005) Climatic influence on fire regimes in the northern Sierra Nevada mountains, Lake Tahoe Basin, Nevada, USA. *Journal of Biogeography* 32(3):425–438
- Tian XR, Shu LF, Wang MY, Zhao FJ (2009) Spatial and temporal distribution of lightning fire and forecastig model for daxing'anling region. *Forest Research* 22(1):14–20
- Todorovic N, Stevancevic M, Radovanovic M (2005) Solar activity – possible cause of large forest fires. The Sixth European Meeting on Environmental Chemistry, Belgrade, December, 6V10th, Book of Abstracts, pp 139
- Fauria MM, Johnson EA (2006) Large-scale climatic patterns control large lightning fire occurrence in Canada and Alaska forest regions. *Journal of Geophysical Research G: Biogeosciences* 111(4):G04008
- Forster C, Wandinger U, Wotawa G, James P, Mattis I, Althausen D, Simmonds P, O'Doherty S, Jennings SG, Kleefeld C, Schneider J, Trickl T, Kreipl S, Jäger H, Stohl A (2001) Transport of boreal forest fire emissions from Canada to Europe. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres* 106(D19):22887–22906
- Fuller DO, Murphy K (2006) The ENSO-Fire Dynamic in Insular Southeast Asia. *Climatic Change* 74(4):435–455
- Harrison M (2004) ENSO-based spatial variability of Florida wildfire activity. *Southeastern Geographer* 44(2):141–158
- Harrison M, Meindl CF (2001) A statistical relationship between El-Niño-Southern Oscillation and Florida wildfire occurrence. *Physical Geography* 22(3):187–203
- Heyerdahl EK, Morgan P, Riser II JP (2008) Multi-season climate synchronized historical fires in dry forests (1650–1900), northern Rockies, USA. *Ecology* 89(3):705–716
- Carvalho A, Flannigan MD, Logan K, Miranda AI, Borrego C (2008) Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System. *International Journal of Wildland Fire* 17(3):328–338
- Climate Data Guide <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/overview-climate-indices>. 29.01.2021.
- Cruz MG, Alexander ME, Wakimoto RH (2003) Assessing the probability of crown fire initiation based on fire danger indices. *Forestry Chronicle* 79(5), pp 976–983
- Chen Y, Randerson JT, Morton DC, DeFries RS, Collatz GJ, Kasibhatla PS, Giglio L, Jin Y, Marlier ME (2011) Forecasting Fire Season Severity in South America Using Sea Surface Temperature Anomalies. *Science* 334(6057):787–791
- Chen CC, Lin HW, Yu JY, Lo MH (2016) The 2015 Borneo fires: What have we learned from the 1997 and 2006 El Niños? *Environmental Research Letters* 11(10):104003
- Wang Y, Flannigan M, Anderson K (2010) Correlations between forest fires in British Columbia, Canada, and sea surface temperature of the Pacific Ocean. *Ecological Modelling* 221(1):122–129

Forest fires and fire protection

Milan Milenković

Summary

According to the data of the Republic Statistical Office of the Republic of Srpska for the period 2000–2019, forest fires in the Republic of Srpska burned a total of 144,006 ha. Of that, state forests account for 112,965 ha (78.44%) and private forests for 31,041 ha (21.56%). The largest burned areas were recorded in 2012 (33,781 ha), and the lowest in 2018 (166 ha). The growth trend of burned areas is not statistically significant. In the case of deciduous stands in state forests, an increasing trend of burned areas was also found, which is not statistically significant. The maximum was recorded in 2012 (21,226 ha), and the minimum in 2018 (53 ha). The increase in the burned areas of coniferous stands in state forests is somewhat more pronounced, but it is also not statistically significant. The maximum value was recorded in 2017 (2,125 ha) and the minimum in 2014 (29 ha).

In mixed stands of deciduous and coniferous forests (state forest), a statistically significant (0.05) trend of decreasing burned areas was recorded. The maximum was recorded in 2001 (3,180 ha) and the minimum in 2014 (12 ha). Of the total burned area in Republika Srpska, low fires account for 95.81% and high fires for 3.99%. It is considered that the main cause of forest fires in Republika Srpska is man, and there are also fires caused by mines left over from the war (1992–1995). In the forests on the territory of the municipality of Han Pijesak (altitude 762 to 1,537 m) in the period 2003–2010 total 31 fires were recorded in 2006, with a area of 137 ha burned. In 85% of cases, the cause was man, mines and explosives in 3%, lightning strikes in 2%, while in 10% the cause was not determined. In the Republic of Srpska, the southern part (i.e. the mesoregion of Trebinje) is the most endangered by forest fires.

Numerous studies have established a link between climate indices and forest fires. In North America, the El Niño Southern Oscillation (ENSO), the Pacific Decadal Oscillation (PDO), and the Atlantic Decade Oscillation (AMO) operate mainly. The influence of ENSO is evident in parts of South America as well as in Southeast Asia. In Europe, the influence of AMO (France, Portugal), the Mediterranean Oscillation Index (MOI) (Romania), the Arctic Oscillation (AO) and the North Atlantic Oscillation (NAO) (Northern Europe) has been determined. According to the hypothesis of the solar wind as the cause of fire, high-energy particles of the solar wind, originating from active regions and coronal holes on the Sun, penetrate the Earth's magnetic defenses and reach its surface where they cause vegetation fires.

This hypothesis has been confirmed for the United States, Portugal, and some parts of Southeast Europe.

Research on the relationship between climate indices and forest fires, as well as testing the hypothesis of the solar wind as the cause of fires should be conducted in the Republic of Srpska, and the obtained results could be used in the forecast of forest fires. In order to conduct this research, it is necessary to create a single database on forest fires in the Republic of Srpska. This database should contain the following data: location, time of occurrence, course, completion, extinguishing activities, engaged personnel and equipment, burned area and its structure, causative agent (if known), etc.

Proposed measures for improving the state of forest fire protection in the Republic of Srpska include: proper selection of tree species for afforestation, development of fire averages while maintaining existing ones, raising biological fire zones, improving water supply and construction of water reservoirs, improving propaganda measures, improving fire safety equipment, improving fire safety equipment. participants in firefighting actions and the local population and the application of the results of scientific research.

Keywords: Forest fires, Republic of Srpska, climate indices, telecommunications, solar wind