

GORENJE GLOBALNE BIOMASE

Utjecaji na atmosferu, klimu i biosferu

GLOBAL BIOMASS BURNING

Atmospheric, climatic, and biospheric implications

Tomislav DIMITROV*

*Održivost svjetske šume ključna je
komponenta održiva razvitka
planeta Zemlje.*

Dr. Albert J. Simard
(Znanstveni koordinator kanadske šumske
službe u Otavi, Ontario, Kanada)

SAŽETAK: U ovom su članku prikazana novija istraživanja poznatih svjetskih znanstvenika o šumskim požarima, u kojima se analiziraju klimatske promjene i implikacije na šumske požare, požarne emisije i učinak na atmosferu, prognoze o katastrofičnoj situaciji na globalnoj razini spaljivanjem biomase, osobito u tropima i o Protokolu Međunarodne konferencije o klimatskoj promjeni održanoj u japanskom gradu Kyotu.

Značajna su istraživanja B. J. Stocks a i drugih, o promjenama klime i potencijalu šumskih požara u ruskim i kanadskim borealnim šumama, simulirajući važećim modelima opće cirkulacije scenarij udvostručena CO₂ (2 x CO₂) i implikacije na povećanje žestine požarna vremena, produljenje požarne sezone zatopljenjem pogođenih područja, te pomicanje šumske vegetacije prema sjeveru.

Ključne riječi: šumski požari, klimatske promjene, učinak na atmosferu, prognoze, spaljivanje biomase, istraživanja, produljenje požarne sezone.

1. UVOD – Introduction

Kanada je dugo bila vodeća u znanstveno utemeljenim pomagalima za odlučivanje u požarnom gospodarstvu (upravljanju). U kanadskoj šumskoj službi (Canadian Forest Service CFS) razvijeni kanadski sustav za ocjenjivanje opasnosti od šumskog požara (Canadian Forest Fire Danger Rating System CFFDRS) (Stocks i drugi 1989, Hawkes 1995a, Alexander, Stocks i Lawson 1996), jedan je od nekoliko takvih sustava koji su u službi za nacionalnu uporabu, a više ga je stranih zemalja prihvatilo u nekom obliku. Karte požarne opasnosti na razini države diseminiraju se dnevno tije-

kom požarne sezone, a njima se služe ustanove za upravljanje požarima kako bi odredile svoje potrebe u resursima za suzbijanje. CFS je nedavno reorganizirala svoje snage u "mrežu požarnog istraživanja" (Fire Research Network) sa 26 istraživača na četiri lokacije: Edmonton, Alberta (vodeći centar), Sault Ste. Marie, Ontario, Ste. Foy, Quebec i Victoria, British Columbia. Uspostavljeno je pet znanstvenih i tehnoloških programa: požarni okoliš, požarna ekologija, sustavi požarnog gospodarstva, požar i globalna promjena, i jedan program za integriranje koji prenosi rezultate istraživanja preko takvih mehanizama poput World Wide Weba. CFS služba njeguje istraživačko partnerstvo s mnogim drugim dionicima u kanadskoj i globalnoj požarnoj zajednici, uključujući sveučilišta, program modelnih šu-

* Tomislav Dimitrov, dipl. inž., Silvometeorolog, Vladimira Ruždjaka 9c
10000 Zagreb Hrvatska

ma, agencijama za požarno gospodarenje i kanadskim interagencijskim centrom za šumske požare (Canadian Interagency Forest Fire Centre – CIFFC), industrijom, istraživačkim agencijama u drugim zemljama, te međunarodnim znanstvenim programima i inicijativama.

Ocjnjivanje požarne opasnosti ključna je komponenta sustava za podržavanje odluka u požarnom upravljanju u Kanadi i nedavno ju je razmotrio i doradio Hawkes (1995a, b). Sada su to računalno temeljeni sustavi informacija koji prikupljaju i prikazuju podatke o vremenu, požaru i resursima, te pomažu požarnom upravitelju da donosi dnevne odluke o otkrivanju požara, planovima za spremnost i rasporedu početnog napada. Najnoviji razvoj u sustavima prostornog požarnog gospodarenja koji uključuju modele utemeljene na požarnoj znanosti s tehnologijom GIS-a (Geographic Information System) opisali su Lee, Todd i Suddaby (1997). Oni uključuju module pojavljivanja požara od groma i one kojima su uzrok ljudi, karte brzine širenja i požarnog intenziteta, modele požarnog rasta, modele prognoze disperzije (širenja) dima i zahtjeve početnog napada. U globalnom kontekstu, Kanada vodi demonstracijski projekt GEMINI (Global Emergency Management Information Network Initiative), tj. inicijativna mreža globalne informacije upravljanja u hitnim slučajevima, kako bi ilustrirala koristi požarno-informacijskog sustava temeljenog na internetu, da automatski nadzire, arhivira, predskazuje i diseminira stanje okoliša svjetskih šumskih požara (Anderson i Lee 1997).

Kanada surađuje i u globalnim studijima o implikacijama politike upravljanja požarima na ugljikovu bilancu, ali ne samo politike nego i prakse u borealnim šumama u Kanadi, Aljasci i Rusiji. Preliminarno istra-

živanje predskazuje dulje požarne sezone, žešće požarno vrijeme, i raniji početak sezone (Simard 1997b). Prijeteća mogućnost globalnog zatopljenja koje se očekuje da će imati najviše utjecaja u sjevernim širinama, podigla je pravnu zabrinutost među državama jer će se i požarna aktivnost u sjevernoj zoni nastaviti povećavati. (Stocks, Lee i Martell 1996). Stocks (1996) i Stocks i drugi (1998) upozoravaju da bi topliji i malo suši uvjeti za borealnu zonu Sibira i sjeverne Kanade uzrokovali povećano opterećenje požarima.

Velika povećanja spaljena područja i kraći intervali povratka vatre mogli bi stvoriti pozitivno biosfersko povratno djelovanje na globalnu klimatsku promjenu, jer bi se ugljik oslobađao iz šuma koje gore mnogo brže nego što bi ga mogle akumulirati.

Drugim riječima, pozitivno biosfersko povratno djelovanje je proces kada se ono što se izgaranjem šuma dobiva (CO₂), vraća natrag ponovno u proces (fotosinteza), ali zbog manje šuma u atmosferi ostaje višak (pozitivno) CO₂, a to rezultira klimatskom zatopljenju.

Stocks i Kauffman (1997) uspoređuju potrošnju biomase u šumskim požarima borealnih, umjerenih i tropskih ekosustava, da bi dali uvid u povijesne požarne režime i važnost promjena upotreba tla i politika upravljanja požarima na sadašnje požarne režime. Potrošnja goriva varira 50-struko među ekosustavima (0,5 kg/m² u tropskim savanama, prema 23 kg/m² u oborenim/srušenom/gorivu u amazonskim kišnim šumama), a povratna razdoblja požara sežu od 1 godine u savanama, 50-150 godina u nezaštićenoj borealnoj zoni Kanade, 5-1000 godina u umjerenim šumama gdje prevladava površinska vatra.

2. ŠUMSKI POŽARI U SJEVERNIM CIRKUMPOLARNIM ZEMLJAMA, POŽARNE EMISIJE I UČINAK NA ATMOSFERU –

Forest fires in northern circumpolar countries, fire emissions and atmospheric impact

Posljednjih godina sve je veća pozornost znanstvenika usmjerena na utjecaj gorenja svjetske biomase na atmosfersku kemiju, fotokemiju, i klimatsko zatopljanje (Crutzen i drugi 1979; Academy of Science, 1984)². Javnost je o tome općenito obaviještena, a pozornost se posvećuje tropima gdje se ugljik oslobođen spaljivanjem biomase u zemljama u razvoju približava količini koja ulazi u atmosferu spaljivanjem fosilnih goriva u razvijenim zemljama (Crutzen i Andreae, 1990)². Istraživačka aktivnost o atmosferskorkom učinku spaljivanjem tropske biomase ubrzana je međunarodnom suradnjom i mnoga pitanja traže odgovor. Dok tropi ostaju najveći izvor emisija od spaljivanja biomase u atmosferu, sve je veća potreba da se kvantificira doprinos u globalnoj bilanci plinova u tragovima u at-

mosferi iz šumskih požara u sjevernoj hemisferi. Šumski su požari stalne i vidljive pojave u sjevernim zemljama, koje se pitaju kako to utječe na okoliš.

Analizirajući opseg i utjecaj šumskih požara u sjevernim cirkumpolarnim zemljama, važno je dokumentiranje požara u Kanadi, Rusiji, Finskoj, Švedskoj i Aljasci, područjima u kojima borealna šuma, ili tajga prevladavaju kao vegetacijski tip. Mnogi veliki požari događaju se u ovoj borealnoj šumskoj zoni koja se proteže u dva široka transkontinentalna pojasa preko sjeverne Amerike i Euroazije. Pokrivajući 12 milijuna km² i ležeći uglavnom između 45° i 70° sjeverne širine, borealna zona sadržava široke predjele šuma, četinjača, što su vitalan prirodni i ekonomski resurs za sjeverne cirkumpolarne zemlje.

Borealna šuma sastoji se od tvrdih vrsta bora (*Pinus*), smreke, (*Picea*), ariša (*Larix*), i jele (*Abies*), miješane, obično nakon poremećaja, s listopadnim drvećem poput breze (*Betula*), topole (*Populus*), vrbe (*Salix*), i johe (*Alnus*), i isprepletenim s prostornim jezerima i organskim terenima. Ta šuma zatvorene krošnje, sa svojom vlagom i šumskim tlom u dubokoj sjeni u kojoj prevladavaju mahovine, vezana je neposredno na sjeveru s otvorenom šumom ili šumskim zemljistem s pokrovom od lišajeva, koji pak postaju sve otvoreniji, a tundra prevladava s povećanjem geografske širine. Na jugu borealnu šumsku zonu smjenjuju šume umjerenih geografskih širina ili pašnjaci.

Utjecaj šumskih požara na razvoj ekosustava i sastav šume u borealnoj šumi lako se opaža i razumije. Široka neprekinuta prostranstva istodobnih sastojina smreke i bora dominiraju krajolikom u mozaiku nepravilnih krpica, a rezultat su periodičnih jakih godina sa šumskim požarima i dokaz prilagodbe vrsta borealne šume na prirodne požare tijekom tisućljeća. Posljedica je klasičan primjer ekosustava koji ovisi o požaru, sposobnog da se za razdoblja ekstremna požarna vremena odupre vrlo velikim šumskim požarima visokog intenziteta koji su ključni za njezino postojanje. Ta prirodna sila koegzistirala je, ne tako lako, s povećanim ljudskim naseljavanjem i uporabom borealne zone bogate resursima u prošleme stoljeću. Organizirano suzbijanje požara bilo je općenito uspješno većim dijelom, ali početni koncept da se svi požari trebaju suzbijati po svaku cijenu pokazao je da ekonomski nije posve provediv ili ekološki poželjan. Vatrom se sada upravlja, kao i mnogim drugim šumskim aktivnostima, višestruko, a pozornost se pridaje ekološkoj ulozi vatre, ekonomici suzbijanja požara i prioritetu resursa visoke vrijednosti.

Najnovije statistike o šumskim požarima iz sjevernih cirkumpolarnih zemalja prikazane su i analizirane u ovome poglavlju. Dopunjene su starijim podacima sakupljenim tijekom prijašnjih istraživanja (Stocks i Barney, 1981)². Iako su požarne statistike arhivirane po administrativnoj podjeli, a ne po šumskoj regiji, velika većina velikih požara u svakoj zemlji događa se u borealnim šumama. Kanada i Aljaska, usprkos tomu što imaju slične progresivne programe upravljanja požarom, još osjećaju velike probleme koji se često protežu po resursima. Skandinavske zemlje, nasuprot tom, nemaju veće požarne probleme, vjerojatno zbog lakog pristupa, a to je posljedica intenzivog upravljanja šumom u ovim zemljama. Požarne statistike za bivši Sovjetski savez slabe su i po prirodi kolokvijalne, ali indikacije su da veći požarni problemi postoje u Sibiru, gdje goleme udaljenosti, raspršeno pučanstvo i nedostatak djelotvorne strukture, po svemu sudeći su se urotili protiv uspješna upravljanja požarom. Kanada ima najdulji niz iscrpnih požarnih statistika i one se najviše preispituju u ovom poglavlju.

Posljednjih godina Kanada i SAD zajedno istražuju ponašanje i učinak na okoliš velikih požara, masovnog paljenja (Stocks, 1988; Stocks i McRae, 1991)² u borealnoj šumskoj zoni u Kanadi. Agencije koje su surađivale uključuju kanadsko šumarstvo, američku šumsku službu, NASA (National Aeronautics and Space Administration) i ministarstva prirodnih resursa i okoliša iz provincije Ontario. Jedan od rezultata ovog rada je karakterizacija kemije dima povezano sa šumskim požarima u borealnoj šumi (Coferi i drugi 1989, 1990; Hegg i drugi 1990)². Iako se taj rad nastavlja, određeni su činitelji emisije za ove požare, a kada se kombiniraju s najnovijim požarnim statistikama, omogućuju procjenu prinosa šumskih požara u sjevernoj hemisferi na globalnu bilancu atmosferskih plinova u tragovima. Približno 89% ugljika oslobođenog u atmosferu iz požara u borealnoj šumi je u obliku ugljičnog dioksida, 9% je ugljični monoksid, a ostali se ugljik ispušta kao metan ili nemetanski hidrokarboni (partikuli). Općenito, mogu se složiti ovi činitelji emisije za plinove u tragovima što rezultiraju iz požara borealnih šuma: 445 g/kg za ugljični dioksid, 45 g/kg za ugljični monoksid, i 4,55 g/kg za metan i ukupne nemetanske hidrokarbone (aerosola).

Statistike prosječnog godišnjeg spaljenog područja za Kanadu, Aljasku, Skandinaviju i bivši Sovjetski savez, prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Požarne statistike za sjeverne cirkumpolarne zemlje, za 1980. do 1989. (godišnji prosjek)
Table 1. Fire statistics for northern circumpolar countries, 1980 to 1989 (annual average)

Zemlja Country	Broj požara Number of fires	Spaljeno područje (ha) Area burned (ha)
Kanada	9618	2.437.717
Aljaska	588	198.883
Finska	470	326
Švedska ^a	2875	3.574
Norveška	462	850
bivši SSSR ^b	20000	3.000.000
Ukupno:	34013	5.641.350

a. Podaci od 1970 do 1979 - 1970 to 1979 data

b. Procijenjene brojke - Estimated figures

Ove su statistike srednje vrijednosti za osamdesete, prema najnovijim realističnim podacima koji su na raspolaganju. Zbog nedostataka službenih statistika za bivši Sovjetski savez, upotrijebljena je za ovu zemlju procjena od 20.000 požara i 3.000.000 ha spaljenoga područja godišnje.

Uzimajući da je ukupna potrošnja goriva (u tlu, na površini i u zračnim gorivima /krošnjama/) u prosjeku 2.5 kg/m^2 ili 25.000 kg/ha , za požare u borealnim šumama, da ugljik uzima 50% potrošene težine ovoga goriva, te uzimajući brojke o spaljenom području iz osamdesetih, mogu se procijeniti ukupne emisije plinova u tragovima iz šumskih požara u sjevernim cirkumpolarnim zemljama. Kombinirajući $5,64$ milijuna ha spaljenog s potrošnjom goriva od 25.000 kg/ha rezultira u godišnjem ukupnom iznosu od 141 megatona goriva ili približno 70 megatona potrošenog ugljika. Ovo se provodi u 62.3 megatona ugljičnog dioksida, 6.3 megatona ugljičnog monoksida, i 0.7 megatona i metana i ukupnih nemetanskih hidrokarbona.

Najnovija procjena spaljivanja biomase na globalnom mjerilu (Crutzen i Andreae, 1990)² upozorava da se ispušta između 4 i 6 gigatona ugljika godišnje, a tome najviše pridonosi spaljivanje savana i praksa uništavanja šuma u tropima. Dok je ove brojke teško dokazati, jasno je da je emisija iz biomase spaljivanjem i spaljivanjem iz fosilnih goriva grubo jednaka na globalnom mjerilu. Uzimajući da su ove procjene točne, na šumske se požare u sjevernim cirkumpolarnim zemljama odnosi od 1.2 do 1.8% ugljika u svjetskom gorenju biomase.

Goldammer smatra (Goldammer i drugi, 1997) da otprilike devet milijardi tona (9 gigatona) fitomase izgori godišnje. Prema tomu, promptni (bruto) otpust ugljika u atmosferu iz ovih požara dosezao bi oko 4.1 gigatona po godini. Iako količina ugljika koja ostaje u atmosferi (neto otpust) nije točno poznata, općenito se prihvaća da neto otpust ugljika u atmosferu iz stalnog pretvaranja tropske šume u druge uporabe zemljišta (de-

forestacija) iznosi otprilike 1 gigatonu godišnje. Iako u emisijama iz požara tropske vegetacije dominira ugljični dioksid, mnogi proizvodi nepotpunog sagorjevanja koji igraju važne uloge u atmosferskoj kemiji i klimi, isto se tako emitiraju. Fotokemijske reakcije, na primjer, u dimnim perjanicama od požara vegetacije mogu biti odgovorne čak za jednu trećinu globalnog ulaza ozona u troposferu. Drugi proizvodi koji emitiraju požari vegetacije poput produkata raspadanja metilnog bromida (CH_3Br) i metilnog klorida (CH_3Cl), – kao i drugi dugotrajni kloro-fluorokarboni (CFC) – poznati su da dovode do uništavanja stratosferskog ozona. Pirogenski aerosoli mogu utjecati na klimu izravno mijenjajući bilancu zemljine radijacije, na primjer, reflektirajući solarnu energiju natrag u svemir (efekt hlađenja). Aerosol crnog čađa (crnog ugljika), s druge strane, može absorbirati sunčevo svjetlo i rezultirati u zagrijavanju atmosfere. Crni ugljik je proizvod bilo kojeg nepotpunog sagorjevanja i relativno je inertan na degradaciju, što je pokazano njegovom prisutnošću u tlima, sedimentima i ledu. Isključujući ugljik iz bioatmosferskog ugljičnog ciklusa, stvaranje crnog ugljika otpušta kisik u atmosferu, stvarajući tako jedan atmosferski ponor za ugljik.

Potrebno je razumjeti i predskazati budući razvoj interakcije vegetacija-požar u jednoj antropogenoj promijenjenoj klimi. Najkritičniji razvoj dogodit će se u kontinentalnoj sjevernoj Euroaziji, gdje bi mogla predskazana promjena klime dovesti do neviđenog pojavljivanja požara, što bi moglo uzrokovati uništavanje šuma i organskih slojeva, otapanje vječnog mraza (ledenjaka) i otpuštanja radioaktivno aktivnih paleo-plinova u tragovima.

3. PROMJENA KLIME I POTENCIJAL ŠUMSKIH POŽARA U RUSKIM I KANADSKIM BOREALNIM ŠUMAMA

Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forests

Međuvladin panel o klimatskoj promjeni (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) nedavno je zaključio (IPCC, 1995)³, da je "opaženo povećanje u globalnoj srednjoj temperaturi tijekom proslog stoljeća (0.3 - 0.6 °C) nevjerojatno da bi bilo u cijelosti posljedica prirodnih uzroka, i da se obrazac klimatskog reagiranja na ljudske aktivnosti može identificirati u klimatološkim zapisima". Postoji naznaka nastajanja jednog obrasca klimatskog reagiranja na pritiske plinova staklenika i sulfatnih aerosola, i to se očituje po geografskom, sezonskom i vertikalnom ponašanju temperature. U Kanadi i Rusiji taj obrazac opaženih promjena uzeo je oblik većeg zimskog i proljetnog zatopljenja u zapadnosredišnjoj i sjeverozapadnoj Kanadi i praktički cijelom Sibiru u minula tri desetljeća, uzrokujući porast temperature od 2 - 3 °C u tom razdoblju (Environment Canada, 1995)³.

Brojni modeli opće cirkulacije (General Circulation Models - GCMs) projiciraju porast globalne srednje temperature od 0.8 - 3.5 °C do 2100 -te mnogo bržu promjenu nego bilo koju doživljenu u proteklih 10.000 godina. Najvažnije temperaturne promjene projiciraju se na višim geografskim širinama i na kopnu. Osim toga, najveće se zatopljenje očekuje zimi i u proljeće, slično trendovima koji su nedavno mjereni, iako se zatopljenje projicira za sve sezone. Dok projekcije po GCM-u variraju, očekuje se da će se zimske temperature povisiti 6 - 10 °C, a ljetne 4 - 6 °C u velikom dijelu Kanade i Rusije s udvostručivanjem atmosferskog ugljičnog dioksida ($2 \times \text{CO}_2$). Prognoze globalne oborine pod klimom udvostručenog CO_2 više su varijabilne za različite GCM-e, ali ima pokazatelja da će velik porast isparavanja nad kopnom zbog dizanja temperature zraka više nego ukloniti manje poraste u količinama oborina.

Osim toga, očekuju se promjene u regionalnim i vremenskim obrascima i u intenzitetu oborina, povećavajući tendenciju prema ekstremnim sušama i poplavama. Usprkos gruboj prostornoj i vremenskoj rezoluciji, GCM-i daju najbolja sredstva koja su sada na raspolaganju koji mogu projicirati buduću klimu i opasnost od šumskih požara na velikoj ljestvici. Međutim, regionalni klimatski modeli (Regional Climate Models - RCMs) koji su trenutačno u razvoju (e.g., Caya et al. 1995)³, s mnogo većom rezolucijom, omogućit će mnogo točnije projekcije klime na regionalnoj ljestvici.

Posljednih godina izlazi GCM-a upotrebljavali su se za procjenu veličine budućih problema zbog požara. Flannigan i Van Wagner (1991)³ upotrebljavali su rezultate od tri rana GCM-a kako bi usporedili žestinu sezonskog požarnog vremena pod klimom udvostručena CO₂ s povijesnim zapisima o klimi, i odredili da bi se požarna opasnost povećala gotovo 50% širom Kanade s klimatskim zatopljenjem. Wotton i Flannigan (1993)³ upotrijebili su kanadski globalni model cirkulacije (GCM) da predkažu kako bi se duljina požarne sezone širom Kanade povećala 30 dana u klimi udvostručena CO₂. Povećanje u čestini gromova po sjevernoj hemisferi također se očekuje pod scenarijem udvostručena CO₂ (Fosberg i drugi, 1990; Price i Rind, 1994)³. U novijoj studiji (Fosberg i drugi, 1996)³ upotrijebljen je kanadski GCM s novim meteorološkim podacima, radi procjene relativna pojavljivanja ekstremne požarne opasnosti širom Kanade i Rusije, i pokazao se osjetan porast u geografskom prostiranju najgorih uvjeta opasnosti od požara u obje zemlje pod klimom koja zatopljuje.

U ovom su istraživanju upotrijebljeni kanadski i ruski podaci o požarnom vremenu iz osamdesetih, najtoplijem desetljeću zabilježeno u Kanadi (Gullet i Skinner, 1992)³, u vezi s izlazima iz četiri novija GCM-a, da bi usporedili prostornu raspodjelu tekućih sezonskih razina žestina požarnog vremena u obje zemlje s onom koju projicira klima udvostručena CO₂. Osim toga, izlazi iz kanadskog modela globalne cirkulacije (GCM) upotrebljavaju se za praćenje mjesečne raspodjele žestine požarnog vremena u obje zemlje pod sadašnjim i "budućim" uvjetima. Ove projekcije razmatraju samo ravnotežnu klimu kad su jednom dosegnuti uvjeti udvostručena CO₂. Statička analiza ovoga tipa, iako informativna, ne odražava iznos promjene u požarnoj klimi i požarnim režimima kako se koncentracije atmosferskih plinova staklenika povećavaju prema razinama udvostručena CO₂. Prijelazne analize potrebne su da bi uputile buduće utjecaje požara na najrealističiji način (Kurz i Apps, 1995)³.

Temeljeno na projekcijama GCM-a u velikoj ljestvici očekuje se pomicanje šumske vegetacije prema sjeveru (Solomon i Leemans, 1989; Rizzo i Wilken, 1992; Smith i Shugart, 1993)³, brzina-

ma mnogo većim nego što su to iskusile tijekom ranijih klimatskih fluktuacija. Očekuje se da će biti ranijih šumskih požara i značajniji ishod trenda prema toplijim i sušim uvjetima (Stocks, 1993)³, ubrzavajući brzinu pomicanja vegetacije, a posljedica je opadanje zalihe biosferskog ugljika (Kasische i drugi, 1995; Kurz i Apps, 1995; Shvidenko i drugi, 1996; Stocks i drugi, 1996)³. To bi vjerojatno donijelo pozitivnu povratnu petlju između požara u borealnim ekosustavima i klimatske promjene, gdje biva otpušteno više ugljika iz borealnih ekosustava nego što ga se skladišti (Kurz i drugi, 1995a)³.

Dok sagorijevanje fosilnih goriva najviše utječe na povećanje koncentracije atmosferskog stakleničkog plina, emisije iz spaljene biomase svjetske vegetacije (šume, savane, i poljoprivredna zemljišta) nedavno su prepoznate kao dodatni veći izvor emisija stakleničkog plina (Crutzen i Andreae, 1990)³. Noviji kooperativni međunarodni eksperimenti (e.g., Andreae et al. 1994; FIRESCAN Science Team 1994)³ potvrdili su da spaljivanje biomase proizvodi do 40% bruto ugljičnog dioksida i 38% troposferskog ozona, s nizom manje uobičajenih, ali podjednako važnih stakleničkih plinova (Levine i drugi, 1995)³. Dok većina emisija spaljivanja biomase potiče iz savana i spaljivanje šuma radi pretvaranja tla u druge svrhe u tropima, sve je češće uvjerenje da emisije od sjevernih (borealnih) i šumskih požara umjerenih geografskih širina, vjerojatno igra mnogo veću ulogu pod klimom koja zatopljava. Coferr i drugi (1996)³ nedavno je iznio niz razloga zašto bi važnost atmosferskih emisija iz borealnih požara mogla biti podcijenjena; goleme fluktuacije u godišnjem spaljenom području u borealnoj zoni je činjenica da su borealni požari locirani u klimatski osjetljivim sjevernim širinama, potencijal su za pozitivan povrat između klimatskog zatopljenja i aktivnosti borealnih požara, i visoka energetska razina borealnih požara koja tipično proizvodi stupove dima što dosežu u gornju troposferu.

Šumski su požari bili prirodni i dominantni režim poremećaja u globalnim borealnim šumama tisućljećima, i novije statistike iz Kanade, Aljaske i Rusije to potkrepljuju, usprkos razmjerno uspješnim strategijama požarnog upravljanja u ovim zemljama, šumski požari još osjetno utječu na dinamike borealnog ekosustava (Stocks, 1991; Kurz i drugi, 1995b)³. Dok je intenzivno gospodarenje šumama uklonilo velike požare u Skandinaviji, sadašnje su procjene da je 5-10 milijuna hektara u godini izgorjelo u cirkumpolarnoj borealnoj zoni (Stocks, 1991; Cahoon i drugi, 1994)³. Požarna je aktivnost rasla u prošla tri desetljeća u Kanadi, s prosjekom od 2.8 milijuna hektara na godinu od 1980. (Stocks i drugi, 1996)³, ali nedostatak podataka prije pokrivanja satelitima u ranim sedamdesetim, onemogućuje usporedbu sa statistikama o požarima iz ranijeg

doba ovoga stoljeća. Usprkos novijim poboljšanjima zbog satelitskog praćenja, ruske požarne statistike prije ranijih devedesetih potcijenjene su zbog političkih razloga. Međutim, istina je da su godine većih šumskih požara više slučajne i obično nastaju u kratkoročnim situacijama ekstremno požarnog vremena, u kojem brojni požari nadvladavaju resurse požarnog gospodarenja. Osim toga, agencije požarnog upravljanja Kanade, Aljaske i Rusije uvijek su prakticirale jedan oblik "modificirane zaštite" u svojim udaljenijim predjelima, prilagođavajući reagiranje u zaštiti putem vrijednosti na

riziku. Takvom se politikom borealnim požarima omogućivalo da djelotvorno poprime svoju prirodnu ulogu u tim područjima, pridonoseći bitno brojkama spaljena državnog područja. Osim toga, agencije za upravljanje šumskim požarima u tim se zemljama suočavaju s oštrim i rastućim ograničenjima proračuna u vrijeme kada su troškovi zaštite sve veći. Svi ti kombinirani činitelji sugeriraju da će aktivnost borealnih požara eskalirati u bliskoj budućnosti, podređujući potrebu da se točno projiciraju budući režimi borealnog požara.

METODE – Methods

Za ova su istraživanja izabrana četiri sadašnja atmosferska modela globalne cirkulacije (GCM) jer sadržavaju relativno jednostavne do vrlo kompleksne veze atmosfere, biosfere i oceana, s različitom parametrizacijom procesa ispod mjerila mreže, i daju robusni opseg klimatskih prognoza. To su modeli kanadskog klimatskog centra (Canadian Climate Centre GCM) (Boer i dr., 1992; McFarlane i dr., 1992)³, Hedley centar Ujedinjenog kraljevstva (United Kingdom Hadley Centre GCM) (Wilson i Mitchell, 1987)³, Maks Plank instituta za meteorologiju (Njemačka) (Max Planck Institute for Meteorology /Germany/ GCM) (Cubasch i dr., 1990)³, i Nacionalnog centra za atmosferska istraživanja (SAD) (National Centre for Atmospheric Research (U.S.A.) GCM) (Mehl i dr., 1993)³.

Dnevni meteorološki podaci od svibnja do kolovoza skupljani su za osamdesete sa 224 ruske i 191 kanadske klimatološke postaje. Lokalna podnevna mjerenja temperature, relativne vlažnosti, brzine vjetra i oborine upotrijebljena su za računanja šifri komponenata i indikatora kanadskog sustava požarnog vremena FWI (Fire Weather Index) (Van Wagner, 1987)³ za svaku postaju. Dnevne su vrijednosti FWI zatim konvertirane u dnevne ocjene žestine (Daily Severity Rating – DSR) vrijednosti, upotrebljavajući tehniku koju je razvio Williams (1959)³ i modificirao Wan, Wagner (1970)³. Ova tehnika ocjenjivanja žestine omogućuje integraciju požarne žestine u razdobljima različite duljine, od dnevnih (DSR) preko mjesečnih (Monthly Severity Rating – MSR) do sezonskih (Seasonal Severity Rating – SSR) vrijednosti. U ovoj su analizi upotrijebljene obje vrijednosti i MSR i SSR. FWI sustav daje procjenu relativna potencijala požara zasnovanu isključivo na meteorološkim opažanjima, i ne uzima u obzir tip šume. Prosječna mjesečna temperatura,

relativna vlažnost, brzina vjetra, i anomalije oborina (razlike između 1 x CO₂ kontrole i 2 x CO₂ izlaza) određeni su za svaku točku mreže u modelu za svaki od četiri modela globalne cirkulacije (GCM). Relativna vlažnost i brzina vjetra pokazali su minimalnu promjenu između kontrolnog i udvostručenog CO₂ niza, a značajne su anomalije opažene i za temperaturu i oborinu. Prosječna mjesečna temperaturna anomalija za svaku točku mreže pribrojena je opaženoj dnevnoj temperaturi (iz podataka za osamdesete) na najbližoj meteorološkoj postaji, dok je mjesečna anomalija oborine napravljena faktorom kao postotak (pozitivni ili negativni) svakog oborinskog događaja u tomu mjesecu. Ovo je rezultiralo dvama nizovima podataka: osmotreni podaci osnovice iz osamdesetih, i onaj niz podataka povećan s temperaturnom i oborinskom anomalijom, koji služi kao surogat za klimu udvostručena CO₂. MSR i SSR izlazi su zatim kartirani za oba scenarija, upotrebljavajući sustav geografske informacije (Geographic Information System – GIS), i određena je prostorna raspodjela razine požarne opasnosti.

Iako se klase požarne opasnosti ne mogu odrediti kad se srednjače mjesečni indikatori požarne opasnosti, studij klimatologije požarnog vremena u Kanadi i Rusiji tijekom osamdesetih (Stocks i Lynham, 1996)³ dao je raspodjelu čestina MSR vrijednosti u obje zemlje. Iako postoje jake regionalne razlike, općenito, MSR vrijednosti manje od 1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-6 i preko 6, događaju se s čestinama od 40%, 28%, 14%, 7%; i 4%. Općenito, MSR ili SSR vrijednosti iznad 7 predstavljaju ekstremni potencijal ponašanja požara, vrijednosti između 3 i 7 predstavljaju visoki do vrlo visoki potencijal, vrijednosti između 1 i 3 čine umjereni potencijal požara, a vrijednosti manje od 1 jednake su niskom požarnom potencijalu.

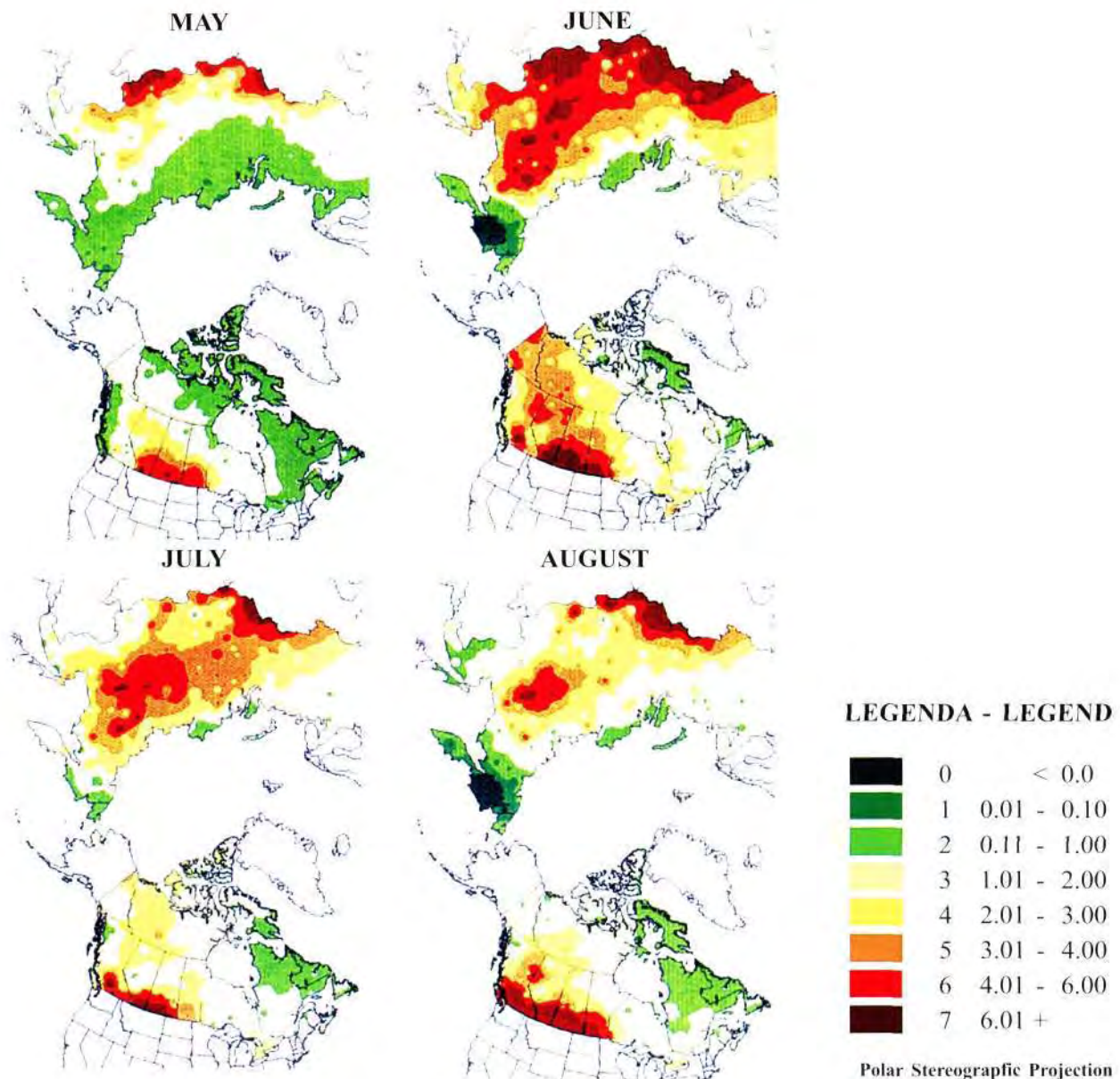
REZULTATI – Results

MSR karte za mjesece požarne sezone od svibnja do kolovoza, temeljene na odmotrenom vremenu iz os-

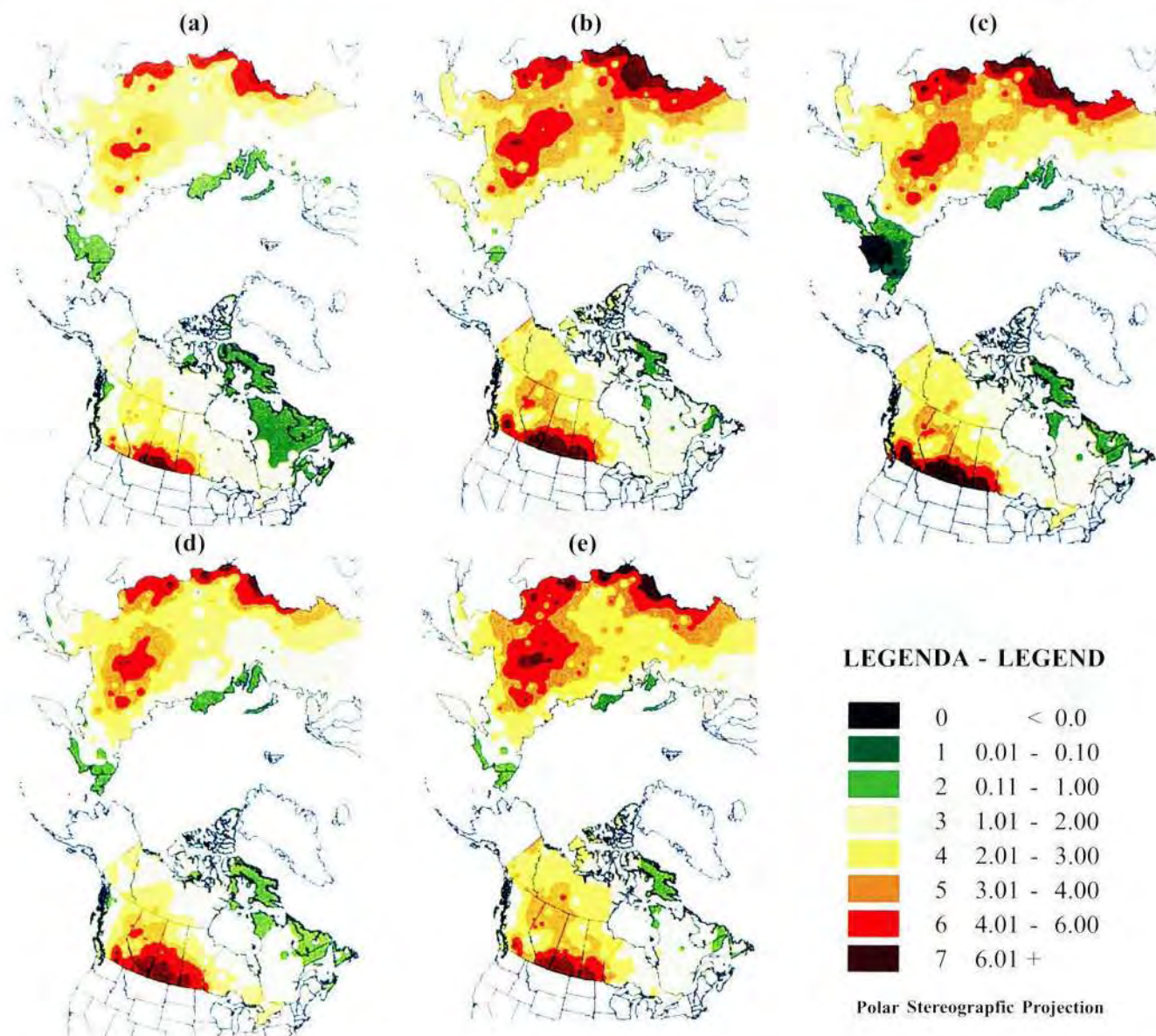
amdesetih, prikazane su na slici 1. Općenito, uvjeti požarne opasnosti najviši su u zapadno-središnjoj

Kanadi i Sibiru, u predjelima obiju zemalja za koji trpe najkontinentalniju klimu. Napredovanje požarne opasnosti od juga na sjever s razvojem požarne sezone očigledno je i u Rusiji i Kanadi. Ekstremna požarna opasnost ograničena je na južno-središnje predjele obiju zemalja u svibnju, ali se širi da bi pokrila velike dijelove obiju zemalja, posebno Sibira i zapadno-središnje Kanade u lipnju. Ovaj se obrazac nastavlja u srpnju, ali s kolovozom požarna opasnost za obje zemlje ostaje umjerenom, iako istočno-središnji Sibir nastavlja trpjeti od visoke do ekstremne požarne opasnosti.

Ovaj se obrazac nastavlja u rujnu (nije prikazano) kad uvjeti niske požarne opasnosti prevladavaju nad većinom Kanade i Rusije, s iznimkama na južnim, nepošumljenim predjelima obiju zemalja. Iz slike 1 također je očito da je golem sibirski prostor izložen ekstremnoj požarnoj opasnosti tijekom ljetnih mjeseci, a to je područje možda triput veće od slično pogođenog predjela u zapadno-središnjoj Kanadi. Osim toga, postoji jako račvanje u razinama požarne opasnosti između istočne i zapadne Kanade, odražavajući značajno različite klimatske režime.



Slika 1. Karte ocjenjivanja mjesečne prosječne žestine (MSR) za Kanadu i Rusiju, bazirane na dnevnom mjerenju vremena od 1980. do 1989. *Figure 1. Average Monthly Severity Rating (MSR) maps for Canada and Russia, based on measured 1980-1989 daily weather.*



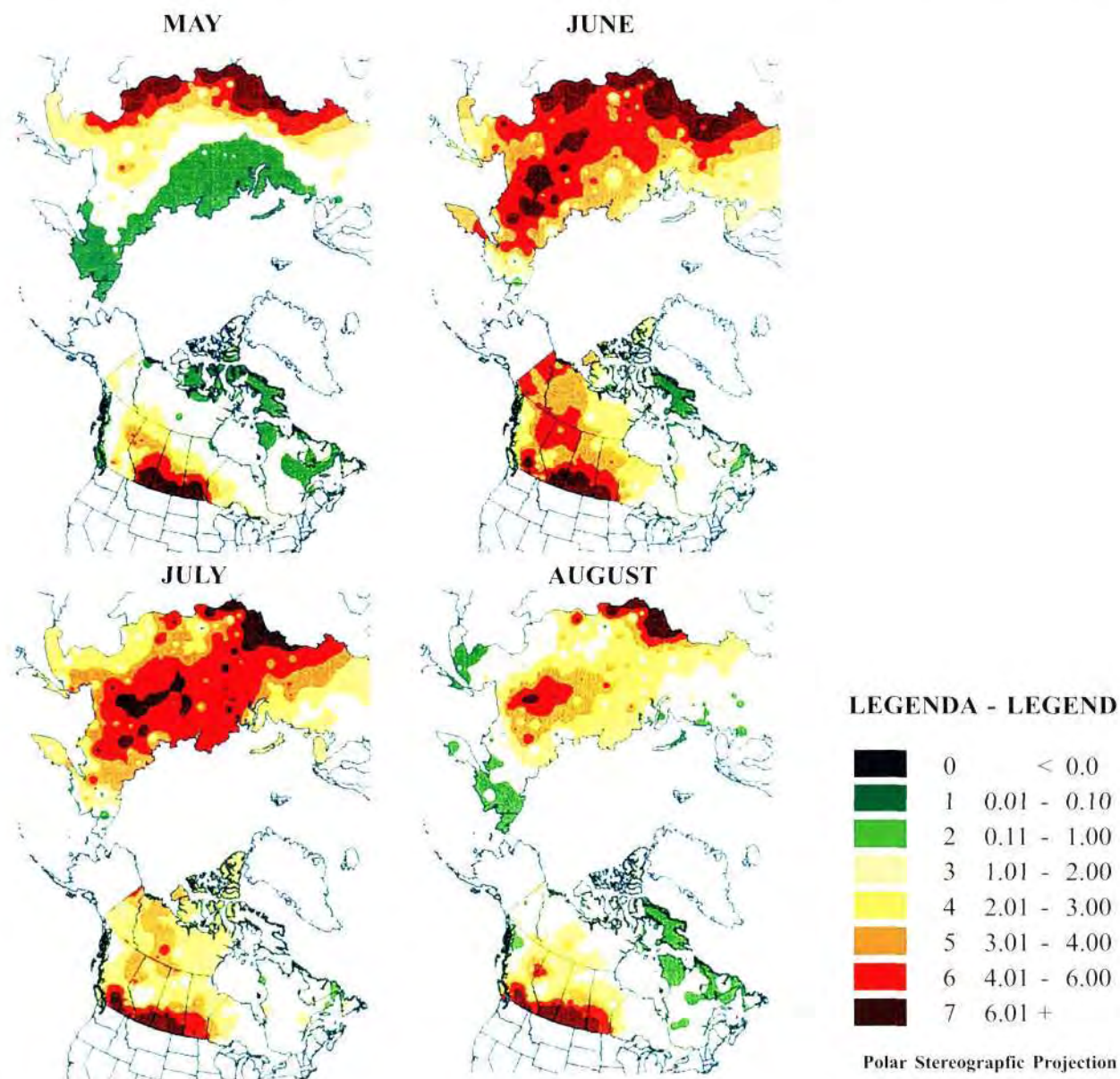
Slika 2. Karte ocjenjivanja prosječne sezonske žestine za Kanadu i Rusiju koje pokazuju (a) osnovne SSR podatke od 1980. do 1989., i projicirane karte SSRa za udvostručeni CO₂ upotrebljavajući (b) kanadski, (c) britanski, (d) njemački i (e) američki GCM.

Figure 2. Average Seasonal Severity Rating (SSR) maps for Canada and Russia, showing (a) the 1980-1989 baseline SSR data, and projected 2 x CO₂ SSR maps using the (b) Canadian, (c) United Kingdom, (d) German, and (e) United States GCMs.

SSR karte temeljene na podacima osamdesetih za scenarij udvostručena CO₂ za četiri GCM-a, prikazane su na slici 2. Postoji jaka sličnost u geografskom obrascu žestine požara za sve modele pod klimom udvostručena CO₂, upozoravajući da se može imati nešto povjerenja u predskazanu promjenu. Općenito, svi modeli pokazuju značajan porast u području pod visokom do ekstremnom požarnom opasnošću, posebno u središnjoj Kanadi i Sibiru.

MSR karte udvostručena CO₂ od svibnja do kolovoza, koje se koriste izlazima iz GCM modela kanadskog klimatskog centra, ilustrirane su na slici 3. Uspo-

rede li se s mjesečnim podacima s osnovicom iz osamdesetih, mjesečni napredak pod klimom udvostručenog CO₂ pokazuje raniji početak požarne sezone, sa značajnim povećanjima u geografskom prostiranju ekstremne opasnosti u svibnju. U lipnju je najznačajniji porast s praktički čitavim Sibiru i zapadnom Kanadom pod ekstremnim uvjetima požarne opasnosti tijekom toga razdoblja. Umjereniji se porast opaža u srpnju i kolovozu. Sezonske promjene obrasca pokazuju raniji godišnji početak visoke do ekstremne žestine požara, i kasniji kraj požarne sezone širom Kanade i Rusije kao cjeline, iako postoje važne regionalne različitosti prema ovom



Slika 3. Karte ocjenjivanja mjesečne prosječne žestine (MSR) za Kanadu i Rusiju pod klimom udvostručena CO_2 , upotrebljavajući kanadski GCM.

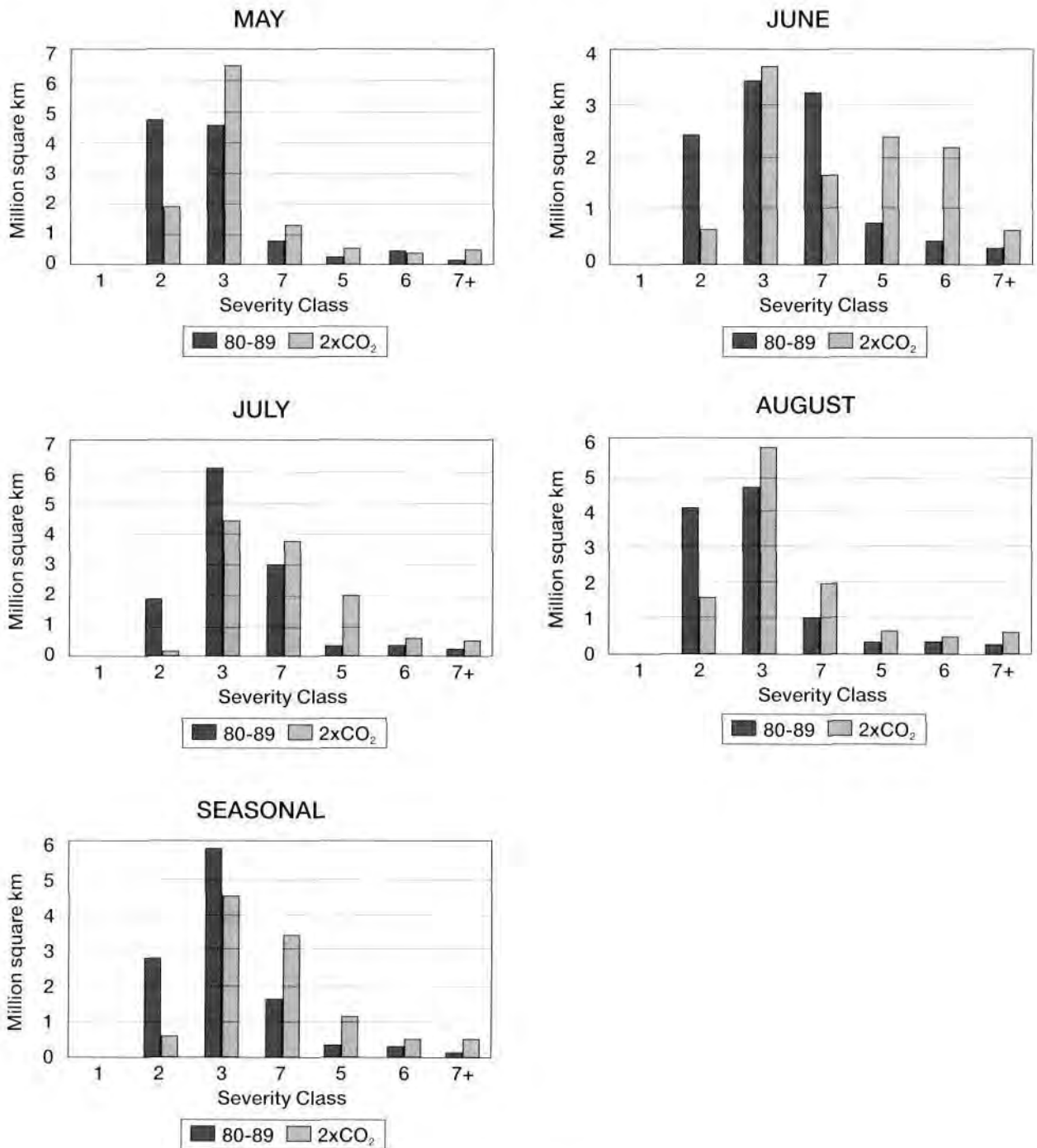
Figure 3. Average Monthly Severity Rating (MSR) maps for Canada and Russia, under a $2 \times \text{CO}_2$ climate using the Canadian GCM.

obrascu. Promjene u području u svakoj klasi požarne opasnosti možda su važnije nego apsolutne promjene vrijednosti u MSR-u. Slike 4a i 4b ilustriraju dramatične promjene u prostiranju visoke do ekstremne požarne opasnosti u obje zemlje pod klimom udvostručena CO_2 . Općenito, postoji opadanje u umjerenim razinama MSR i SSR, i značajan porast u području koje je izloženo visokoj do ekstremnoj MSR i SSR razini pod toplijom klimom. To je posebno točno u lipnju i srpnju, ali porasti u području pod ekstremnom požarnom opasnošću (i stoga najvećim požarnim potencijalom) zajednički su za sve mjeseci. Značajno, dvostruki do trostruki porasti projiciraju se za Rusiju tijekom lipnja i srpnja.

Iako ponešto nedorečeni zbog gruba prostornog i vremenskog razlučivanja, četiri GCM-a upotrijebljena u ovom istraživanju pokazuju slične poraste u razinama požarne opasnosti širom velikog dijela zapadno-središnje Kanade i Sibira pod toplijom klimom. Dok pomaci u tipovima šuma asocirani s klimatskom promjenom nisu razmatrani u ovoj analizi, povećanja u samoj požarnoj opasnosti gotovo sigurno će se prevesti u povećanu požarnu aktivnost, i, budući da ustanove za upravljanje požarima trenutačno rade s malenim ili nikakvim viškom na račun pogreške, posljedica će biti veliki porast spaljena područja. **Rezultat će biti češći i žešći požari, kraći povratni intervali požara, kliza-**

a)

CANADA

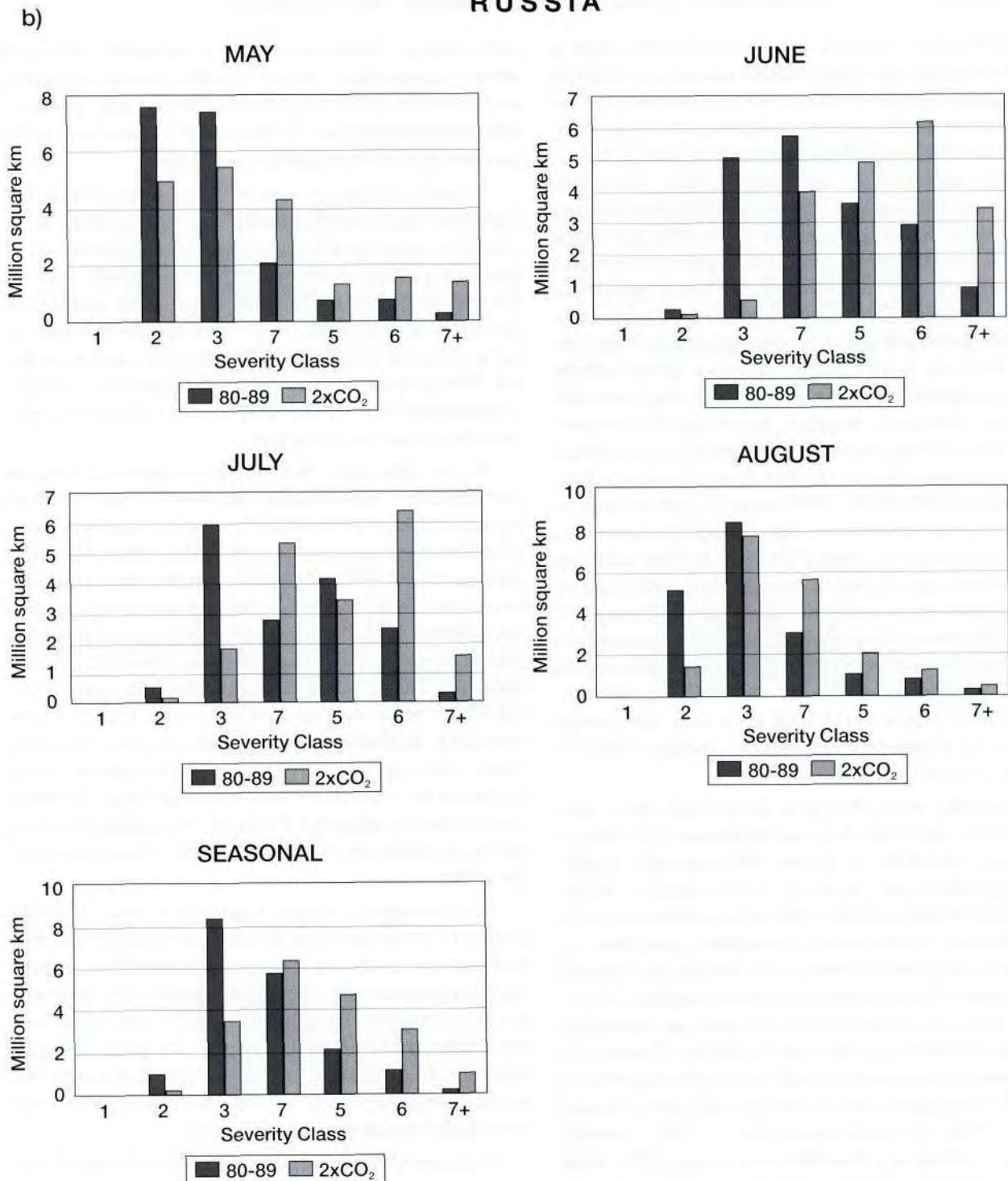


Slika 4a - Figure 4a

nje raspodjele klasne starosti šuma prema mladim sastojinama i rezultatnim opadanjem u zalihi ugljika u sjevernim šumama (cf. Kurz et al. 1995).

Toplija klima u kombinaciji s ostrim ekonomskim ograničenjima i smanjivanjem infrastrukture, koja će smanjivati djelotvornost a i područja koja štite požarne

RUSSIA



Slika 4b - Figure 4b

Slika 4. Usporedba protezanja područja ocjenjivanja mjesečne žestine (MSR) i klase sezonskih žestina (SSR) u (a) Kanadi i (b) Rusiji upotrebljavajući osnovne meteorološke podatke iz 1980. do 1989. i projicirane klime udvostručena CO₂ kanadskim GCM-om.
 Figure 4. Comparison of the areal extent of Monthly Severity Rating (MSR) and Seasonal Severity Rating (SSR) classes in (a) Canada, and (b) Russia, using the 1980-1989 baseline weather data and the 2 x CO₂ climate projected by the Canadian GCM.

agencije, znači da je na pomolu nova realnost u silini udara šumskih požara. Postoji jaka potreba da se nastavi modeliranje budućih klima, upotrebljavajući mod-

ele više rezolucije kako će postojati raspoloživim, tako da bi se moglo ispuniti buduće planiranje upravljanja požarima na najinformiraniji način koji je moguć.

4. IZGLEDI I ZAKLJUČAK – Outlooks and conclusion

Sagledavajući razvitak nakon prve konferencije o globalnom gospodarenju šumskim požarima, održanoj 1989. godine, za pozdraviti je što su međunarodna zajednica znanstvenika požarne znanosti, upravljači (menadžeri) i državne politike, prihvatili stvaranje instrumentarija (regulative), upućenog novim izazovima šumskih požara na globalnoj ljestvici. **Ni jedna agencija ili država ne može više biti sama sebi dovoljna.** Mreža za istraživanje požara (Fire Research Network) unapređivat će partnerstvo među svim globalnim požarnim zajednicama. **Bit će to okvir za integriranje različitih požarnih modela, razumijevanje uloge vatre u održivu šumarstvu i prijenos istraživačkih produkata preko svjetske WEB mreže.** Međunarodni geosferski biosferski program (International Geosphere Biosphere Programme IGBP) operira 6 posljednjih godina i usredotočuje se na atmosfersku kemiju požara. Regionalni IGBP (1990-2000) zasad je pokrio tropsku zonu, provodit će borealno istraživanje na sjeverozapadnom teritoriju u Kanadi i Sibiru, a osvrnut će se i na jugoistočnu Aziju. Kasnih osamdesetih znanstvenici su pronašli visoku koncentraciju ozona u južnoj hemisferi, tijekom njezine suhe sezone, s koncentracijama usporedivim s onima u industrijskim područjima. One su bile osobito visoke na razinama od 300 do 600 m. Znanstvenici pretpostavljaju da je to zbog spaljivanja biomase, pa je počelo istraživanje u istočnoj Africi i u Brazilu pod nazivom SAFARI.

Sve zemlje potpisnice prve konvencije UN o promjeni klime, kao i one koje su aktivno sudjelovale pri donošenju Protokola iz Kyota (Međunarodna konferencija o klimatskoj promjeni, Kyoto, Japan, 1997) o smanjenju emisija plinova staklenika, dužne su sa svojim stručnim institucijama pokrenuti procedure za ugradnju preporuka iz konvencija i protokola u vlastiti pravni sustav. Kyoto protokol dopušta zemljama da procijene kako će stanje šuma utjecati na smanjenje ugljičnog dioksida, a koje same emitiraju. Protokol je veliki posao za šumarstvo i neki je stupanj inicijative za šumarske programe, što će uklanjati ugljični dioksid između 1990. (kao polazne razine) i 2012. godine. Svaka će zemlja u jednadžbi za izračunavanje svoje emisije ugljičnog dioksida kako iz različitih industrij-

skih sektora i prijevoza, tako i iz spaljenih, uništenih šuma i raslinja (kao izvora), uvrstiti i smanjenje ugljičnog dioksida od novih površina drveća (kao ponora), tako da koncentracija CO₂ mora biti razmjerna mogućnostima njihova razlaganja u atmosferi.

Protokol uključuje i to da se u projektima šumarstva uspostavi i režim međunarodne razmjene emisija, pa će zemlje moći jedna od druge kupovati i prodavati višak prava na emisiju. Tako npr. ako u našoj regiji Bosna i Hercegovina ima manje emisija ugljičnog dioksida, a Hrvatska ili Slovenija zbog industrijskog razvitka ne mogu smanjiti emisiju, od BiH će kupiti određen postotak. Više je nego vjerojatno da će plaćanje tih postotaka u budućnosti biti veoma skupo, jer je atmosferin sigurnosni prostor već popunjen.

Što se tiče naše šire regije mediterana, tijekom osamdesetih i devedesetih zabilježen je porast broja šumskih požara uz neznatan porast spaljene površine, osobito u njegovom zapadnom dijelu – Portugal i Španjolska (Velez, 1997). Situacija s mediteranskim požarima isto se tako globalizira. Međunarodnu kooperaciju u upravljanju šumskim požarima unutar mediteranskog područja, sačinjavaju nekoliko tijela: FAO/Silva Mediterranean, Stalni šumski komitet Europske unije, i CIHEAM (Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes). Jedno od glavnih postignuća bilo je uspostavljanje decentralizirane baze podataka za statistiku o šumskim požarima. Sadašnja baza podataka uključuje Portugal, Španjolsku, Italiju i Grčku, a uskoro će uključivati Tursku, Tunis, Maroko i Hrvatsku.

Rast temeljnog znanja o globalnoj ulozi šumskih požara u održivosti šuma je bitna za zemlje poput Kanade, da bi razvile zdrave strategije i politiku o upravljanju (gospodarenju) požarima u scenariju u kojem se smanjuju budžeti i povećava aktivnost vatre. Kako je to zajedničko većini zemalja svijeta u kojima je požar značajna snaga u krajoliku, prikladno je da Kanada ima vodeću ulogu koja raste u kooperativnoj požarnoj znatnosti u globalnom upravljanju vatrom.

Ovaj rast iz devedesetih bez sumnje će se nastaviti i širiti u novom tisućljeću.

5. LITERATURA – References

- Ghannam, J.: Climate Change Treaty Signed, The Forestry Source, Society of American Foresters, January 1998, Vol.3, No. 1.
- Goldammer, G.J., P. Crutzen, M. O. Andreae, G. Helas, J-P. Lacaux, T. Kuhlbusch, D. Cahoon and B. J. Stocks: 1997, Atmospheric Emissions/Climate Change, 2nd International Wildland Fire Conference, Conference papers, May 25-30, 1997, Vancouver, B.C., Canada.
- Lawson, B.D.: 1998, Wildland Fire and Fire Management in Canada, Presented at the PROFOR '98, First Argentine-Canadian Symposium and First Argentine Congress on Forest Protection, April 13-14, 1998, Faculty of Agronomy,

- University of Buenos Aires, Argentina. Napomena: Citirana literatura pod fusnotom (1), navedena je u gorecitanom radu.
- Simard, A.: 1997, Towards Criteria and Indicators for Wildland Fire: A Canadian Example, 2nd International Wildland Fire Conference '97, Conference papers, May 25-30, 1997, Vancouver, B.C., Canada.
- Stocks, B.J.: 1996, The Extent and Impact of Forest Fires in Northern Circumpolar Countries, edited by Joel S. Levine, Vols. 1&2, the MIT Press, Cambridge, Mass. & London, England. Napomena: Citirana literatura pod fusnotom (2), navedena je u gorecitanom radu.
- Stocks, B. J., M. A. Fosberg, T. J., Lynham, L. Mearns, B. M. Wotton, Q., Jang, J-Z, Jin, K. Lawrence, G. R. Hartley, J. A. Mason and D. W. McKenney: 1998, Climate Change and Forest Fire Potential in Russian and Canadian Boreal Forests, *Climate Change* 38: 1-13. Napomena: Citirana literatura pod fusnotom (3), navedena je u gorecitanom radu.
- Velez, R.: 1997, FAO Silva Mediterranean Forest Fire Network, 2nd International Wildland Fire Conference '97, Conference papers, May 25-30, 1997, Vancouver, B.C., Canada.

SUMMARY: In this paper the most recent research on forest fires made by renown scientists in the world are presented, where the climate change and its implications on forest fire, fire emissions and their impact on the atmosphere, catastrophic situation predictions on the global level caused by biomass burning particularly in Tropics, and on the Protocol of the International Conference on the climate change, held in Kyoto, Japan, are analyzed.

There is very important research B. J. Stocks and others on the climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forests by simulating through current general circulation models scenario of doubled C_0_2 ($2 \times C_0_2$) and its implications on the fire weather severity increase, extending the fire season by warming up of struck regions and shifting forest vegetation northward.