

BUDUĆI ŠUMSKI POŽARI U ODNOSU NA GLOBALNO ZATOPLJENJE

FUTURE WILDFIRES RELATED TO THE GLOBAL WARMING

Tomislav DIMITROV*

SAŽETAK: Kanada nastavlja s istraživanjima o budućim šumskim požarima u cirkumpolarnim šumama, u odnosu prema globalnom zatopljenju. Za razliku od istraživanja B. J. Stocks a i drugih (1996), u kojima se analiziraju klimatske promjene i odraz na šumske požare, požarne emisije i učinak na atmosferu primjenom mjesečnih podataka iz četiriju modela opće cirkulacije, u najnovijim istraživanjima Flanningana i drugih (1998) upotrijebljeni su dnevni podaci i samo jedan model opće cirkulacije (Canadian General Circulation Model - GCM). Dnevni podaci upotrijebljeni su prije nego mjesečni, jer se vrijeme i posljedično ponašanje vatre može dramatično mijenjati tijekom vremenskih razdoblja mnogo kraćih od mjeseca.

Rezultati simulacije i povijest požara upozoravaju da utjecaji globalnog zatopljanja na sjeverne šume putem šumskih požara mogu biti katastrofalni i da, suprotno očekivanjima općeg povećanja šumskih požara, može biti i velikih predjela sjeverne hemisfere sa smanjenom čestinom požara. U ovom će članku biti preneseni najbitniji dijelovi iz studije Flanningana i drugih: "Budući šumski požari u cirkumpolarnim šumama u odnosu prema globalnom zatopljenju", uz prikaz stanja nad područjima Hrvatske i Slovenije iz (prema simulacijama) priloženih karata, koje će predstavljati uvjete potkraj novog stoljeća (oko 2100-te).

Ključne riječi: borealna šuma, klimatski model, povijest požara, globalna promjena.

UVOD - Introduction

Jedni smatraju da će globalno zatopljenje uzrokovati to da će cirkumpolarne šume biti ireverzibilno oštećivane šumskim požarima koji se neće moći kontrolirati. Istina je da su šumski požari i klima intimno povezani (Sweetnam 1993) i da je tijekom prošlosti požarni režim reagirao na promjene u klimi. Prema simulacijama s različitim modelima opće cirkulacije (GCMs), Zemljina će klima biti nekoliko stupnjeva toplija potkraj ovog stoljeća zbog povećanja atmosferskih koncentracija aktivnih plinova na zračenje poput vodene pare, ugljikova dioksida, metana, dušikova dioksida i klorfluorouglijka. Promjena u požarnom režimu u reakciji na klimatsko zatopljenje mogla bi više utjecati na dinamiku šuma nego izravni učinci klimatskog

zatopljenja na šume poput cirkumpolarnih šuma, u kojima je požar veći poremećaj (Payette 1992). Na temelju rezultata modela opće cirkulacije (GCM), povećanja u čestini šumskih poremećaja, uključujući požar, potvrđuju pretpostavku. Ona mogu uzrokovati promjene u sastavu šume i ubrzati brzinu reagiranja šumske vegetacije (Overpeck i drugi 1990).

Da bismo razumijeli utjecaj globalnog zatopljenja na prostorno širenje i intenzitet šumskih požara, potrebno je verificirati kako su oni reagirali na zatopljenje u prošlosti. Srednja je temperatura sjeverne hemisfere tijekom ljeta – požarne sezone – i tijekom godine porasla od kraja malog ledenog doba (Little Ice Age), otprilike 1850 (Boden i drugi 1990). Međutim u Švedskoj, temperature su se vratile na vrijednosti iz 1860, pošto su rasle od 1860 do 1940 (Alexandersson i

*Dimitrov Tomislav, dipl. ing. silvometeorolog
Vladimira Ruždjaka 9c, 10000 Zagreb, Hrvatska

Eriksson 1989). Upozorenje o zatopljenju mnogo je jasnije u Kanadi u kojoj su temperature porasle od 1890. regionalno iznosom od 1.7 °C po stoljeću (statistički važno u razini od 95% za većinu Kanade – Gullett i Skinner 1992). Tijekom ovog razdoblja, kako je dokumentirano, čestina požara je u mnogim slučajevima opadala. Neka od tih opadanja mogla bi biti posljedica suzbijanja vatre, iako neki od tih predjela istraživanja nisu bili pod utjecajem ljudskih aktivnosti. Empirički rezultati ne slažu se s modelima koji sugeriraju općenite poraste čestine požara s klimatskim zatopljenjem (Overpeck i drugi 1990; Anon: 1996). Neslaganje je posljedica toga što je jedan požar rezultat kompleksnog niza međudjelovanja, koji uključuju čimbenike paljenja, uvjete goriva, topografiju i vrijeme, uključujući temperaturu, relativnu vlažnost, brzinu vjetra i količinu i čestinu oborina.

Hipoteza autora Flanningana i drugih je da je novije zatopljenje analog budućeg zatopljenja i da budući šumski požari mogu reagirati poput onih u novijoj

požarnoj povijesti. Da bismo to provjerili potrebno je modelirati sadašnje i buduće požarne režime, upotrebljavajući podatke (izlaze) modela opće cirkulacije (GCM) i uspoređivati ih s novijim trendovima u čestini požara prema studijama požarne povijesti tijekom ovog razdoblja zatopljanja od sredine 1800. Studija o sjevernim šumama posebno je važna u onoj klimatskoj promjeni koja bi vjerojatno najviše utjecala na borealne šume (Anon: 1996) i sjeverne bi šume bile jedno od prvih područja na kojemu se mogu otkriti klimatska promjena i njeni utjecaji.

Prijelazni uvjeti između sadašnjih i budućih simulacija nisu u ovoj studiji. Mnoga upozorenja prate uporabu modela opće cirkulacije (GCMs). Razlučivanje je grubo, parametrizacija kopnenih površina zahtijeva poboljšanja i aerosoli trebaju biti uključeni u modele. Ipak, modeli opće cirkulacije (GCMs) daju najbolja sredstva koja su na raspolaganju da bi se procijenio utjecaj promjena buduće klime na požarni režim u većem mjerilu.

MATERIJAL I METODE - Material and Methods

U modeliranju požarnih režima upotrijebljen je već ustaljen sustav požarne opasnosti. Kanadski sustav požarne opasnosti upotrebljava temperaturu, relativnu vlažnost, brzinu vjetra i oborinu kako bi se izračunao indeks požarnog vremena (Fire Weather Index - FWI), koji predstavlja intenzitet vatre što se širi. U ovoj je studiji upotrijebljen također kanadski model opće cirkulacije (Canadian General Circulation Model - GCM), kako bi se modelirali sadašnji i budući požarni režimi, koji će procijeniti učinak klimatske promjene na požarne režime. Kanadski je model opće cirkulacije povezani model atmosfera-ocean s mrežnom transformacijom na razmaku od 3.75° na 3.75° i puni dnevni i godišnji ciklus. Temperatura, specifična vlaga, oborina i brzina vjetra dobiveni su svakih 12 sati (0000 i 1200 GMT) za 9 godina (1980-1989) i za simulacije 1 x CO₂ i 2 x CO₂. Simulacija 1 x CO₂ rabi (koristi) 330 ppm CO₂ i aproksimira razdoblje 1960 - 1980, dok 2 x CO₂

simulacija koristi 660 ppm i mogla bi predstavljati uvjete koji će biti na kraju stoljeća (2100-te). Upotrijebljena je maksimalna dnevna temperatura, relativna vlažnost dobivena iz specifične vlage, 24-satnu oborinu i 12-satnu (12-00 GMT) srednju brzinu vjetra, da bi izračunali komponente kanadskog indeksa požarnog vremena (FWI) sustava, tijekom požarne sezone (Van Wagner 1987). Požarna je sezona definirana od 1. travnja do 30. rujna u Sjevernoj Americi i od 1. svibnja do 31. kolovoza u sjevernoj Europi. Intenzitet vatre koja se širi (indeks požarnog vremena - FWI) izračunat je za obje simulacije i uspoređen uzimajući odnos 2 x CO₂ naprema 1 x CO₂. Uz srednje vrijednosti za 9 godina, u ovoj su analizi upotrijebljeni i ekstremni maksimumi FWI. Ekstremi su upotrijebljeni zato što su samo nekoliko dana s ekstremnim požarnim vremenskim uvjetima odgovorni za većinu spaljenog područja šumskim požarima (Flanningan i Harrington 1988).

REZULTATI - Results

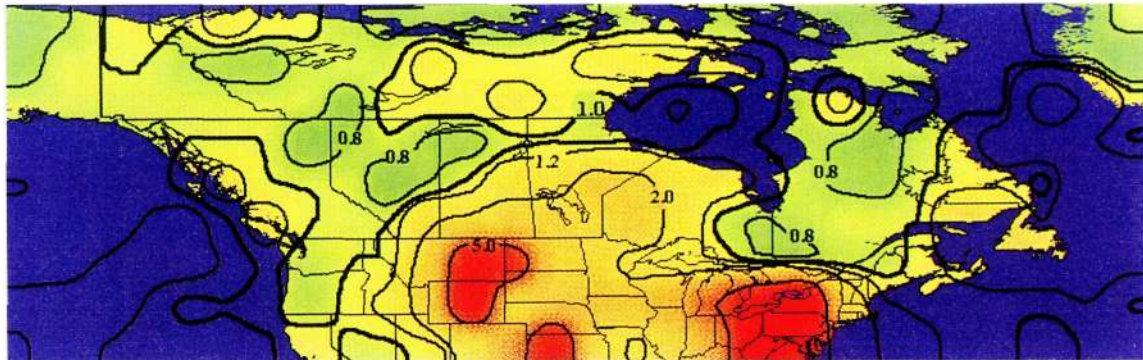
Simulacije po modelu opće cirkulacije (GCM) - GCM Simulations

Srednje vrijednosti FWI dobivene iz 1 x CO₂ scenarija uspoređene su prema srednjim vrijednostima izračunatim iz opažanja na 29 postaja širom Kanade i 11 švedskih postaja (Harrington i drugi 1983). Srednje vrijednosti dobivene iz 1 x CO₂ simulacije prilično su dobro korelirale s opaženim srednjim vrijednostima (f=0.66 za Kanadu i 0.70 za Švedsku) i smatra se da su FWI vrijednosti iz simulacije prilična aproksimacija novije prošlosti. Slika 1. pokazuje odnos 2 x CO₂ napre-

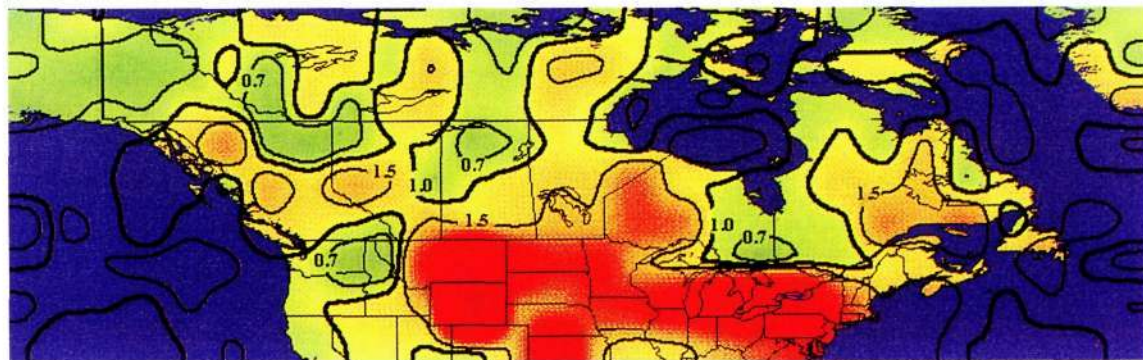
ma 1 x CO₂ vrijednosti za srednji FWI i maksimalni FWI za 9 godina simulacije za Sjevernu Ameriku i Europu. Postoji velik udio regionalne varijacije između područja gdje FWI opada u scenariju 2 x CO₂ (vrijednosti ispod 1.00), do područja gdje je FWI jako porastao u toplijoj klimi. Velik dio istočne Kanade i zapadne Kanade ima omjere ispod 1.00, upozoravajući da je FWI opadao usprkos toplijim temperaturama povezanim sa 2 x CO₂ klimom. Osjetna povećanja u FWI očita

su za dijelove središnje Sjeverne Amerike. Odnos ekstremnih maksimalnih vrijednosti za FWI za 9-godišnje razdoblje pokazuje sličan obrazac, s višim omjerima iznad središnjih kontinentalnih područja i nižim vrijed-

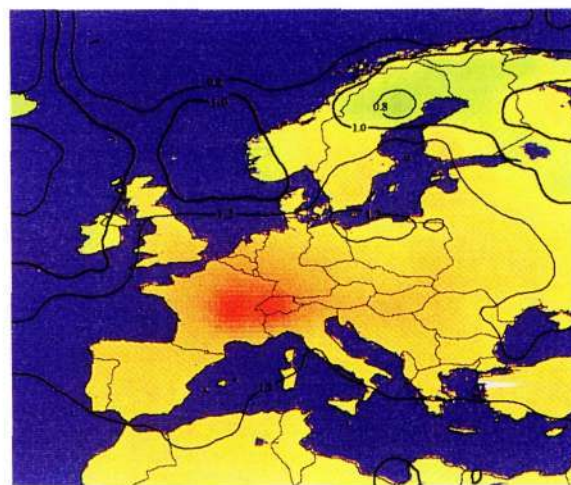
nostima nad dijelovima istočne Kanade. S druge strane, povećanja su u maksimalnom FWI nad dijelovima zapadne Kanade.



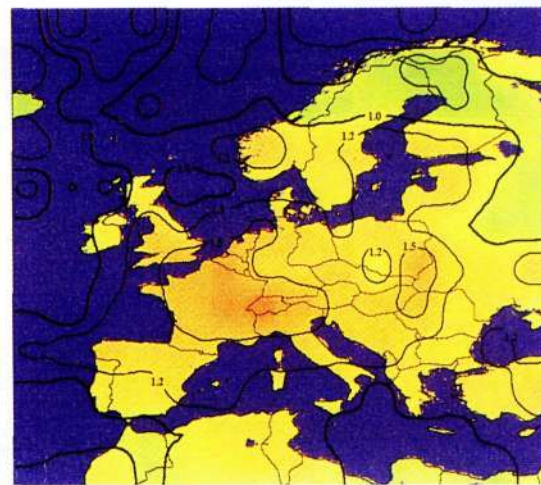
a.



b.



c.



d.

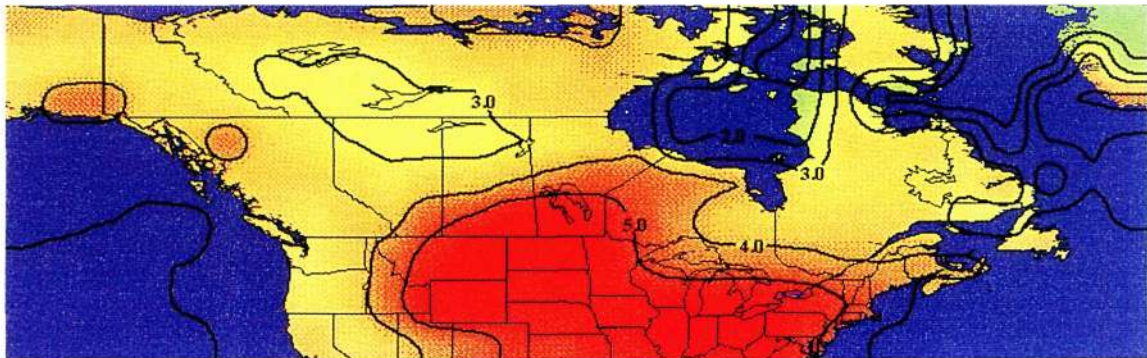
Slika 1. Srednji i maksimalni omjeri FWI ($2 \times \text{CO}_2 / 1 \times \text{CO}_2$) za Sjevernu Ameriku (a i b) i Europu (c i d).
Fig. 1. Mean and Maximum FWI Ratios ($2 \times \text{CO}_2 / 1 \times \text{CO}_2$) for North America (a,b) and Europe (c,d).

Za sjevernu Europu slika 1 pokazuje povećane srednje vrijednosti FWI nad južnom polovicom Švedske i ekstremnog jugoistoka Finske za toplije uvjete, dok ostatak sjeverne Europe pokazuje opale srednje vrijed-

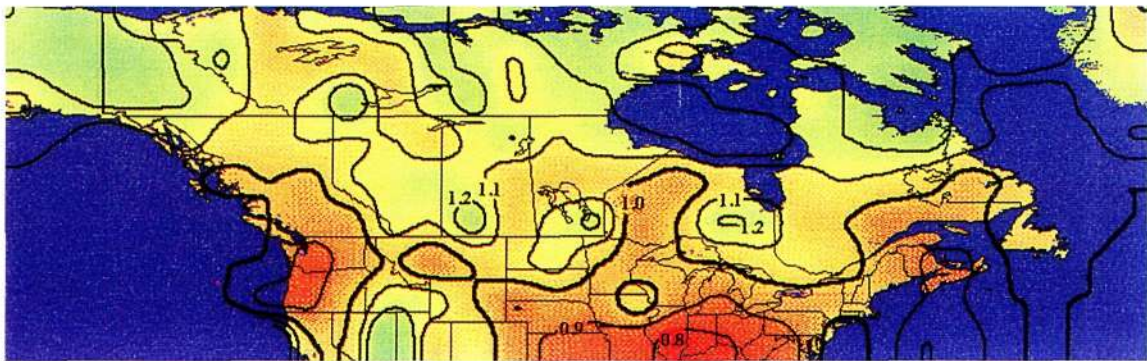
nosti FWI. Rezultati za maksimalne vrijednosti FWI pokazuju sličan obrazac kada se usporede sa srednjim FWI, s iznimkom južne Norveške u kojoj se FWI povećao.

Slika 2. pokazuje povećanje ljetnih temperatura 2-6 °C za Sjevernu Ameriku i Europu. **Povećanje samo u temperaturi uzrokovalo bi viši FWI i odatle do oštrijeg požarnog režima. Međutim, to vrijedi samo ako sve ostale varijable ostanu nepromijenjene.** FWI je osjetljiv na relativnu vlažnost, brzinu vjeta i

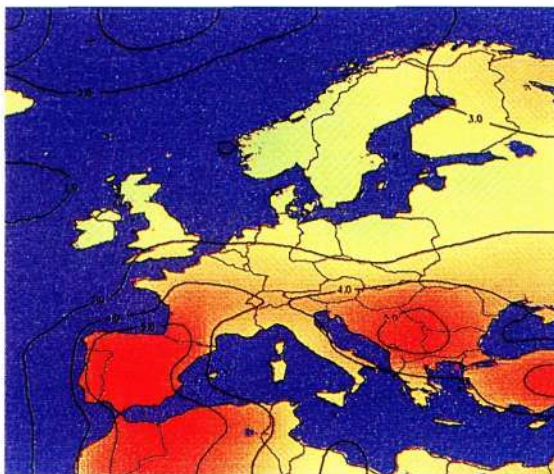
oborinu. Količine oborine, koje su više za neke od regija za 2 x CO₂ simulaciju, kada se usporede s 1 x CO₂, mogu eliminirati bilo kakvo povećanje u FWI zbog povećane temperature. Osim toga, ima područja u kojima se relativna vlažnost povećava u toplijoj klimi, što će također pridonijeti opadanju FWI.



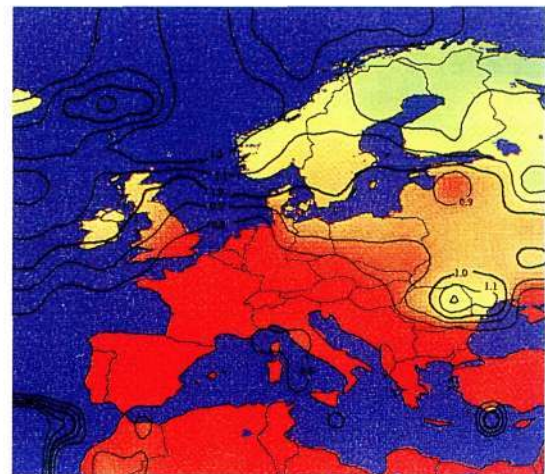
a.



c.



b.



d.

Slika 2. Promjena srednje temperature (2 x CO₂ - 1 x CO₂) za (a) Sjevernu Ameriku i (b) Europu. Omjer oborine (2 x CO₂ / 1 x CO₂) za (c) Sjevernu Ameriku i (d) Europu.

Fig. 2. Mean Temperature Change (2 x CO₂ - 1 x CO₂) for (a) North America and (b) Europe. Precipitation Ratio (2 x CO₂ / 1 x CO₂) for (c) North America and (d) Europe.

DISKUSIJA – Discussion

Stocks i drugi (1998)* nedavno su upotrijebili mjesečne podatke iz četiriju modela opće cirkulacije (uključujući i kanadski GCM), da bi ispitali klimatsku promjenu i potencijal šumskih požara u ruskim i kanadskim sjevernim šumama. Njihovi rezultati pokazuju isti opći trend u ocjenjivanju mjesečne žestine širom Kanade i slični su rezultatima iz studije Flanningana i drugih. Flannigan i drugi vjeruju da su njihovi rezultati točniji jer su konzistentniji s novijom požarnom poviješću i jer su upotrebljavani dnevni podaci, čak iako su upotrebljavali samo jedan model opće cirkulacije.

Ako se režim poremećaja mijenja kako rezultati Flanningana i drugih sugeriraju, onda bi to moglo znatno utjecati na bilancu globalnog ugljika. U predjelima u kojima požari rastu, raspodjela po klasama šumske starosti uključivat će mlade sastojine, a povijesna uloga sjeverne šume, kako opada ugljik, bit će smanjena (Kurz i Apps 1993). Međutim, ondje gdje požarna čestina opada, krajolik će biti sastavljen od starijih sastojina, koje će omogućavati da borealne šume nastave i dalje trajati, kako ugljik opada.

Klimatsko zatopljanje u Sjevernoj Americi omogućilo bi mnogim vrstama da se prostiru prema sjeveru (Solomon 1986; Liu 1990). Mijenjanje požarne čestine moglo bi ubrzati ili usporiti to gibanje i odrediti koje će vrste biti favorizirane u novom režimu poremećaja (Suffling 1995).

Teško je uopćavati utjecaj požarnog režima koji se mijenja na sastav vegetacije i brzinu promjene vegetacije. To ovisi o sadašnjem sastavu vegetacije i nastavku migratornih vrsta koje stoje na raspolaganju i njihovim međudjelovanjima. Studije iz Europe i Sjeverne Amerike sugeriraju da povećana požarna čestina ubrzava promjenu vegetacije (Green 1982; Zandhauser i Wein 1993). Povećana požarna čestina nad južnim borealnim šumama u središnjoj Kanadi (kako je simulirano) bi vjerojatno ubrzale promjenu vegetacije za sadašnje miješane šume jasike, topole, breze, smreke i bora do mozaika jasika/travnjak koji sada graniči s ovom šumom. Istraživanje na međudjelovanja između klime poremećaja i vegetacije zahtijeva se, kako bi se procijenilo budući sastav i strukturu buduće šume. Ta međudjelovanja mogla bi donijeti vrlo promijenjen šumski ekosustav, koji bi mogao predstavljati nove sastojine što nemaju prošlih analog (Martin 1993).

Dva stajališta regionalne varijacije u FWI upadaju u oči. Prvo, postoji dramatičan porast u FWI s klimatskim promjenama nad središnjom Sjevernom Amerikom. Drugo, postoje važna područja Sjeverne Amerike i sjeverne Europe, u kojima je FWI opao. Vrijedno je pažnje područje reduciranog FWI nad zapadnim i sjeverozapadnim dijelovima Kanade, u kojemu su, povijesno, veliki dijelovi krajolika bili spaljeni.

Drugo je stajalište, da će, prema simulacijama Flanningana i drugih, opasnost opadati u sjevernim dijelovima sjeverne Europe, u kojima su tradicionalno šumski požari bili veliki i česti, dok će požarna opasnost rasti nad južnom Švedskom u kojoj šumski požari obično nisu žestoki. Posljedice klimatske promjene na požarni poremećaj moraju se gledati u prostorno ovisnom kontekstu.

Drugi čimbenici poput posrednika paljenja, duljine požarne sezone i politike upravljanja (gospodarenja) vatrom, mogu imati, uz klimatske promjene, velik utjecaj na požarni režim. Vjerojatnosti paljenja mogu se povećati u toplijim dijelovima zbog povećanja izbijanja gromova iz oblaka na tlo sa zatopljenjem (Price i Rind 1994). Požarna sezona počet će ranije u proljeće i produžiti će se dulje u jesen (Wotton i Flannigan 1993), a politike upravljanja (gospodarenja) vatrom i učinkovitost nastaviti će se mijenjati. To su sve suosnivački učinci koji mogu smanjiti ili povećati utjecaj klime koja se mijenja na požarni režim.

Ovo istraživanje ističe veliku regionalnu varijaciju u reakciji požarnog režima na klimatsku promjenu, jer se predjeli reducirane žestine požara mogu naći čak ondje gdje je nastalo zatopljenje. Ove su simulacije u općem slaganju sa studijama novije povijesti požara, koje dokumentiraju opadanje požarne čestine, usprkos povećanju temperatura, jer promjene u oborinskom režimu nisu bile sinkrone s temperaturnim promjenama. Očito je da je režim oborine prevladavajući čimbenik koji reducira čestinu požara.

Napokon, u područjima znatnog povećanja požarnog poremećaja rezultati ne moraju biti katastrofalni, u najmanju ruku i s ekološkoga gledišta, čak na lokacijama na kojima se vegetacija može mijenjati iz šume u travnjak. Nakon svega, takve su se promjene događale prirodno u prošlosti (Ritchie 1983).

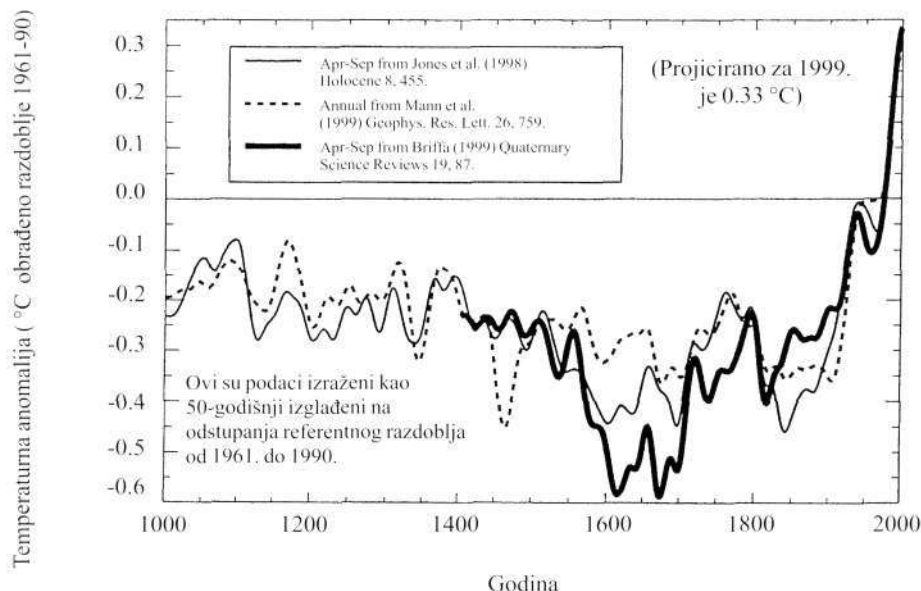
Interpretacije simulacija po modelu GCM-a za Hrvatsku i Sloveniju
Interpretation GCM simulations over area of Croatia and Slovenia

Prema preliminarnom godišnjem izvješću Svjetske meteorološke organizacije (World Meteorological Or-

ganization – WMO) o globalnoj klimi, godine 1999. završava najtoplija dekada i minulo stoljeće najtoplije u posljednjem tisućljeću (vidi priloženi grafikon i reference). 1999-te globalna srednja kombinirana temperatura zraka nad kopnom površinom i morske

* Šumarski list br. 9-10/1998: Gorenje globalne biomase - utjecaji na atmosferu, klimu i biosferu.

TISUĆLJETNE TEMPERATURE



Izvori podataka:

PD. Jones, K.R. Briffa and T.J. Osborn, University of East Anglia, UK ; M.E. Mann, University of Virginia, USA; R.S. Bradley, University of Massachusetts, USA ; M.K. Hughes, University of Arizona, USA.

površine, procjenjuje se da je reda 0.3 do 0.4 °C iznad normale niza 1961-1990, koja će biti peta najtoplija u 140-godišnjem zapisu. Četiri najtoplije godine bile su 1998. (0.58 °C iznad normale), 1997. (+ 0.44), 1995. (+ 0.38) i 1990. (+ 0.35). Globalne srednje godišnje temperature na kraju 20. stoljeća gotovo su 0.7 °C iznad onih na kraju 19. stoljeća.

Na temelju rezultata simulacije globalnog zatopljanja prikazanih na kartama autora Flanningana i drugih, interpolacijom iz slike 1. (c, d) može se zaključiti da će područja Hrvatske i Slovenije u toplijoj klimi (2 x CO₂) biti pod povećanim srednjim, vrijednostima FWI od 1.2 i pod povećanim maksimalnim vrijednostima FWI od 1.4.

Iz slike 2. (b, d) može se iščitati da će promjena (povećanje) srednje temperature potkraj novog stoljeća (oko 2100-te) nad Hrvatskom i Slovenijom biti oko 4.5 °C, a omjer oborine 0.8, što znači da će nad ovim područjima u toplijoj klimi (2 x CO₂) pasti 20% manje oborina nego u klimi 1 x CO₂.

Koliki je manjak oborina od samo 3% u jednom razdoblju, može se vidjeti iz izvješća WMO-a. Razdoblje srpanj 1998. do srpanj 1999. u istočnim dijelovima SAD bilo je najsušnije razdoblje otkako su počela bilježenja u 1895-oj. Na kraju 1999., razine vode u Velikim jezerima bile su ispod 80-godišnjeg prosjeka, a za jezera Michigan i Huron pad u razini vode bio je najveći otkako su počela bilježenja 1860-te. Zbog suše i vrućine izbili su brojni šumski požari. Nedostatak oborine oštetio je žetvu i prisilio uspostavljanje značajnih ograničenja u uporabi vode.

Klimatska promjena kako je predskazana ovim simulacijama ozbiljno će utjecati na požarni režim, a time i na gospodarenje šumskim požarima u obje zemlje. Povećanja u požarnoj opasnosti (povećanja FWI vrijednosti) gotovo sigurno će se odraziti kao povećana požarna aktivnost. Razinu požarne aktivnosti, koja će se vjerojatno produljiti oko 30 dana (kako je već diskutirano u ovom članku) kao i njene rezultate, diktirat će ekonomije požarnog upravljanja Hrvatske i Slovenije.

LITERATURA – References

Flanningan, M. D., Bergeron, Y., Engelmark, O., Wotton, B. M.: 1998, Future wildfire in circum-boreal forests in relation to global warming,

Journal of vegetation Science 9:469-476, Printed in Sweden.

- 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.
- Stocks et al.: 1998, Climate Change and Forest Fire Potential in Russian and Canadian Boreal Forests, *Climate Change* 38:1-13.
- Al-Ghaneim, T.- World Meteorological Organization: 16 December 1999, Global temperatures and other global highlights (WMO-No. 644), 1211 Geneva 2, Switzerland

SUMMARY: Canada is continuing research on future wildfires in circumpolar forests related to the global warming. In contrast to the research of B. J. Stocks and others (1996) in which climatic change and their impact on wildfires, fire emission and effects on the atmosphere was analyzed by use of monthly data from four models of the general circulation, in the most recent research of Flannigan and others (1998) daily data and just one model of the general circulation (Canadian General Circulation Model - GCM) were used.

Daily data, rather than monthly data, were used because the weather and, consequently, fire behavior can change dramatically over time periods much shorter than a month. The simulation and fire history results suggest that the impact of global warming on northern forests through forest fires may not be disastrous and that, contrary to the expectation of an overall increase in forest fires, there may be large regions of the Northern Hemisphere with a reduced fire frequency.

In this paper the most essential parts from the study of Flannigan and others, titled "Future wildfire in circumboreal forests in relation to global warming" will be presented together with an insight into the situation over area of Croatia and Slovenia based on the enclosed maps simulating conditions by the end of the new century (about A.D. 2100).

Key words: Boreal forest, Climate model, Fire history, Global change.