

GDK: 187:111.83(045)=163.6
Prispelo / *Received*: 16. 03. 2009
Sprejeto / *Accepted*: 21. 10. 2009

Izvirni znanstveni članek
Original scientific paper

VPLIV PODNEBNIH SPREMOMB NA PRIČAKOVANO PROSTORSKO PRERAZPOREDITEV TIPOV GOZDNE VEGETACIJE

Lado KUTNAR¹, Andrej KOBLER², Klemen BERGANT³

Izvleček

V raziskavi smo simulirali prostorsko prerazporeditev tipov gozdne vegetacije v Sloveniji, do katere bi lahko prišlo ob pričakovanih podnebnih spremembah. Potencialne prostorske spremembe gozdne vegetacije so bile analizirane v GIS okolju s pomočjo empiričnega modela, ki napoveduje prostorsko razporeditev gozdne vegetacije v odvisnosti od podnebnih in drugih parametrov. Rezultati simulacij na osnovi treh podnebnih scenarijev kažejo, da se bo vzorec razporeditve gozdne vegetacije menjal pod vplivom podnebnih sprememb. Po napovedih bi lahko do leta 2070 prišlo do sprememb vegetacijskega tipa na več kot 75 % vseh gozdnih površin. Danes prevladujoči, pretežno bukovi gozdovi bi lahko bili v spremenjenih okoljskih razmerah močno prizadeti. Model napoveduje padec deleža prevladujočih mezofilnih bukovih gozdov s sedanjih 57 % na samo 3 % po pesimističnem scenariju in do 29 % po optimističnem scenariju. V toplejšem podnebnju, ki ga predvidevajo vsi trije scenariji, bi se močno razširili različni termofilni gozdovi.

Ključne besede: podnebne spremembe, gozdna vegetacija, prostorska razporeditev, model, simulacija, podnebni scenariji

THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON THE EXPECTED SPATIAL REDISTRIBUTION OF FOREST VEGETATION TYPES

Abstract

The redistribution of forest vegetation types in Slovenia, driven by the expected climate change, has been simulated. The potential spatial changes of forest vegetation have been analyzed using empirical GIS model forecasting the spatial distribution of forest vegetation in relation to climate and other ecological parameters. Based on the three different climate scenarios, the simulations showed that the spatial pattern of forest vegetation will be altered under the impacts of climate change. According to the prediction in the year 2070, the vegetation type is likely to be changed on more than 75% of all forest sites. Nowadays dominant forests, mostly beech, may be affected by such changing environmental conditions. The decrease of the actual prevailing mesic beech forest share from the present 57% to only 3% under the pessimistic scenario and up to 29% under the optimistic scenario could be expected. In a warmer climate, predicted by all three future scenarios, different thermophilous forests will be expanded over larger area of the country.

Key words: climate change, forest vegetation, spatial distribution, model, simulation, climate scenarios

UVOD INTRODUCTION

V zadnjem obdobju so tudi na območju Slovenije že zaznali in potrdili vpliv podnebnih sprememb, ki se kaže predvsem v spremenjenem temperaturnem in padavinskem režimu (BERGANT 2007). Rezultati raziskav podnebnih sprememb nakazujejo, da se bo v prihodnosti še povečalo tveganje zaradi vremenskih ekstremov (IPCC 2001, 2007). Pričakovana so, da bo toplejše podnebje povzročalo vse pogostejše in dolgotrajnejše suše, s tem bo prihajalo do daljših obdobjih požarne nevarnosti, kar še posebej velja za Sredozemsko območje (IPCC 2007).

Poleg različnih območij Sredozemlja med najbolj občutljive v Evropi na podnebne spremembe uvrščajo tudi eko-

sisteme v Arktični regiji in gorske ekosisteme. Ekosistemi v teh območjih so ponekod že danes prizadeti zaradi naraščanja temperature in zmanjšanja količine padavin (WBGU 2003, IPCC 2007). Podnebni scenariji napovedujejo značilno segrevanje podnebnja, ki bo na severu Evrope izrazitejše v zimskem času, na jugu in osrednjem delu Evrope pa v poletnem času. Na južnem delu napovedujejo zmanjšanje količine padavin (IPCC 2007).

Pod vplivom podnebnih in drugih globalnih sprememb bodo po napovedih številnih študij močno prizadeti različni gozdni ekosistemi po Evropi (SHAYER *et al.* 2000, ASKEEV *et al.* 2005, KELLOMÄKI / LEINONEN 2005, MARACCHI *et al.* 2005, IPCC 2007). Po napovedih raziskav se bo povečal vpliv abiotičnih dejavnikov na gozdove, vendar pa naj bi bil ta vpliv regionalno specifičen in v veliki meri odvisen od

¹ dr. L. K., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, lado.kutnar@gozdis.si

² mag. A. K., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, andrej.kobler@gozdis.si

³ doc. dr. K. B., Urad za meteorologijo, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana
Center za raziskavo atmosfere, Univerza v Novi Gorici, Vipavska 13, 5000 Nova Gorica

obstoječega gozdnogospodarskega sistema (KELLOMÄKI / LEINONEN 2005). Gozdovi se bodo predvidoma širili proti severu (WHITE *et al.* 2000, KLJUEV 2001, MNRRF 2003, SHIYATOV *et al.* 2005), na jugu pa bi se močno skrčili (METZGER *et al.* 2004, IPCC 2007). V zahodni in srednji Evropi bo predvidoma prišlo do izmenjave naravnih gozdov iglavcev z gozdovi listavcev (MARACCHI *et al.* 2005, KOCA *et al.* 2006). V Sredozemskem območju se bo verjetno zmanjšal areal mnogih značilnih mediteranskih drevesnih vrst (SCHRÖTER *et al.* 2005).

V srednji Evropi so bile v zadnjem obdobju na osnovi različnih izhodišč že simulirane spremembe gozdne vegetacije in drevesnih vrst zaradi pričakovanih sprememb podnebja (npr. KIENAST *et al.* 1996, 1998 za Švico, LEXER *et al.* 2002 za Avstrijo, KUTNAR / KOBLER 2007, OGRIS / JURC M. 2007, OGRIS *et al.* 2008 za Slovenijo).

Namen te raziskave je oceniti prihodnjo razporeditev potencialnih rastišč gozdne vegetacije v Sloveniji v primeru spremenjenega podnebja. Na podlagi obstoječih scenarijev podnebnih sprememb za Slovenijo smo simulirali potencialne prerazporeditve tipov gozdne vegetacije. Simulacije bodočih porazdelitev vegetacijskih tipov temeljijo na (1) matematičnih modelih, ki za neko prostorsko celico na podlagi znanih vrednosti ekoloških parametrov napovedujejo obstoj določene vegetacijskega tipa, in (2) na scenarijih možnih bodočih sprememb v modelu uporabljenih ekoloških parametrov. Take modele je mogoče razviti na podlagi poznavanja ekoloških procesov – to so tako imenovani procesni modeli (WHITE *et al.* 2000) – ali pa na podlagi statističnih povezav med znano prostorsko porazdelitvijo vegetacijskih tipov in znanimi vrednostmi ekoloških parametrov – to so empirični modeli (FERRIER / GUIGAN 2006, GUIGAN *et al.* 2002, STEINMANN *et al.* 2009). Pri procesno orientiranih modelih je ozko grlo razpoložljivost vseh potrebnih podatkov o ekoloških parametrih, še posebej, če gre za modele na velikoprostorski ravni. V pričujoči študiji smo uporabili empirični model, saj je s tovrstnimi modeli mogoče omenjeno ozko grlo obiti. Odvisno od njihove oblike namreč empirični modeli lahko vključijo katerikoli podatek, ki je vsebinsko in statistično povezan s porazdelitvijo napovedovanih vegetacijskih tipov. Kakovost empiričnega modela (točnost, ločljivost) pa je odvisna od kakovosti in relevantnosti osnovnih podatkov, ki so bili podlaga za kalibracijo modela. Kakovost osnovnih podatkov poleg točnosti in ločljivosti določa tudi njihova ažurnost. Relevantnost osnovnih podatkov je odsev tega, kako dobro opisujejo ekološke niše napovedovanih vegetacijskih tipov.

METODE METHODS

POTENCIALNI VEGETACIJSKI TIPI

Slovenija, ki je pod vplivom različnih podnebnih tipov na prehodu med Sredozemljem in srednjo Evropo, med Alpsko in Dinarsko gorsko verigo, je v fitogeografskem in fitoklimatskem pogledu zelo raznolika (WRABER 1969, ZUPANČIČ *et al.* 1987, KOŠIR 1994, ZUPANČIČ / ŽAGAR 1995, KUTNAR *et al.* 2002).

Slovenski gozdovi, ki prekrivajo 1,16 milijona hektarjev in predstavljajo 58 % površine države, so z okoli 300 milijoni m³ lesa pomemben obnovljivi naravni vir. Hkrati pa opravljajo pomembne ekološke in socialne funkcije (LESNIK / MATIJAŠIČ 2006).

Predmet raziskave ali ciljna spremenljivka modela je potencialna gozdna vegetacije, ki je bila opredeljena na osnovi predhodnih študij gozdnih združb (KOŠIR *et al.* 1974, 2003, ZORN 1975), in je opisana na nivoju odseka (najnižji hierarhični nivo gozdnogospodarskega sistema) v podatkovni bazi Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS 2006). Na osnovi podobnosti rastiščnih razmer, s posebnim poudarkom na podnebnih dejavnikih, in ob upoštevanju hierarhičnih klasifikacij habitatih tipov (DEVILLERS / DEVILLERS-TECHUREN 1996, JOGAN *et al.* 2004) smo potencialne gozdne združbe, opredeljene v bazi Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS 2006), združili v 13 skupin oz. vegetacijskih tipov (preglednica 2).

SCENARIJI PODNEBNIH SPREMENB

Za oceno temperaturnih in padavinskih razmer v Sloveniji do konca 21. stoletja so bili uporabljeni različni modeli splošne cirkulacije (CSIRO/Mk2, UKMO/HadCM3, DOE-NCAR/PCM in MPI-DMI/ECHAM4-OPYC3), projicirani na pet podnebno različnih regij v Sloveniji (BERGANT 2007). Pri tem je bilo upoštevanih šest različnih scenarijev emisij (SRES A1FI, A1T, A1B, A2, B1 in B2) (glej BERGANT 2003). Po teh scenarijih se bodo v prihodnosti najbolj ogrela poletja (3,5 °C do 8 °C), sledijo zime (3,5 °C do 7 °C), pomladi (2,5 °C do 6 °C) in jeseni (2,5 °C do 4 °C). V pomladnih in jesenskih mesecih se glede na opravljene projekcije ne pričakujejo izrazite spremembe v količini padavin, v zimskih mesecih je predviden porast količine padavin (do +30 %), v poletnih mesecih pa zmanjšanje količine padavin (do -20 %). Kakršnekoli projekcije podnebnih sprememb za prihodnost,

še posebej na lokalni ravni, pa spremljajo številne negotovosti, česar se moramo zavedati ob njihovi interpretaciji (BERGANT 2007).

Za simulacijo stanja gozdne vegetacije v prihodnosti smo uporabili obstoječe napovedi podnebnih sprememb (BERGANT 2007), ki napovedi podajajo v obliki intervalnih vrednosti za posamezno podnebno spremenljivko. Iz podanih intervalnih napovedi temperatur, padavin in evapotranspiracije smo oblikovali tri scenarije (preglednica 1, grafikon 1): i) srednji scenarij temelji na srednjih napovedih za temperaturo, evapotranspiracijo in padavine; ii) pesimistični scenarij predvideva maksimalne napovedane vrednosti za temperaturo in evapotranspiracijo ter minimalne napovedane vrednosti za

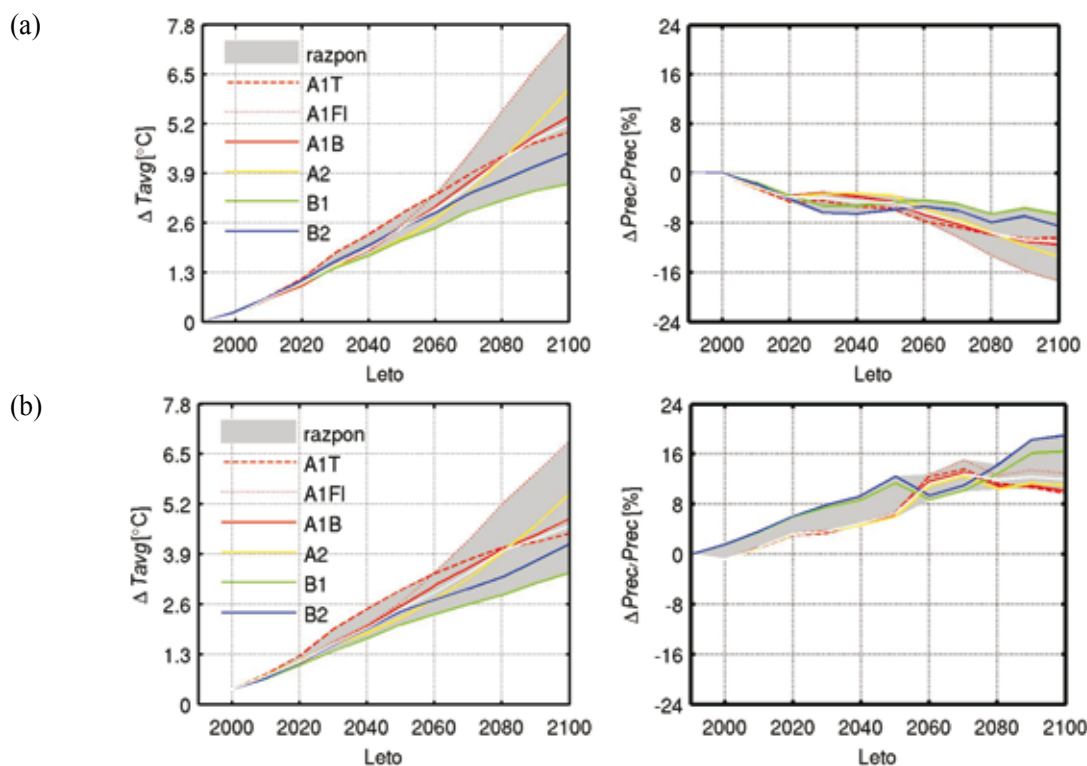
padavine; iii) optimistični scenarij predvideva maksimalne napovedane vrednosti za padavine ter minimalne napovedane vrednosti za temperaturo in evapotranspiracijo.

Napovedi podnebnih sprememb (BERGANT 2007) so podane točkovno za 9 mest v Sloveniji. Ker smo za delovanje modela potrebovali ploskovne napovedi, smo izdelali lastno podnebno regionalizacijo, ki po mejah občin razdeljuje Slovenijo na 7 regij, in sicer tako, da je v vsaki regiji vsaj eden izmed krajev z razpoložljivimi podnebnimi napovedmi. Za vsak kraj in za vsako podnebno spremenljivko smo izračunali razliko med sedanjim in napovedanim stanjem in jo prišteli sedanjemu stanju podnebnih kart znotraj vseh kilometrskih kvadrantov v pripadajoči regiji in tako dobili ploskovne napovedi.

Preglednica 1: Shematska predstavitev treh uporabljenih scenarijev podnebnih sprememb

Table 1: Schematic presentation of the three climate-change scenarios

Scenarij		Podnebni parametri		
		Temperatura	Evapotranspiracija	Padavine
1	Srednji scenarij	Srednja napovedana	Srednja napovedana	Srednje napovedane
2	Pesimistični scenarij	Maksimalna napovedana	Maksimalna napovedana	Minimalne napovedane
3	Optimistični scenarij	Minimalna napovedana	Minimalna napovedana	Maksimalne napovedane



Grafikon 1: Projekcije sprememb temperature zraka (T_{avg} : levo) in količine padavin ($Prec$: desno) za območje Ljubljane do konca 21. stoletja; (a) projekcije za toplo polovico leta (april do september) so zgoraj, (b) za hladno polovico leta (oktober do marec) pa spodaj (povzeto po BERGANT 2007)

Graph 1: Projections of changes in air temperature (T_{avg} : left) and precipitation amount ($Prec$: right) for the Ljubljana region till the end of 21st century; (a) projections for the warm half of the year (April to September) are above and (b) for the cold half of the year (October to March) below (according to BERGANT 2007)

MODEL

Model prostorske porazdelitve vegetacijskih tipov (skupin podobnih gozdnih združb), ki smo ga izdelali za simuliranje prihodnjih razporeditev vegetacije, je empiričen. Odslikava povezave, ki jih implicitno vsebujejo vhodni podatki (sedanja geografska razporeditev vegetacijskih tipov pri danes veljavnih vrednostih ekoloških parametrov), in ne upošteva drugega splošnega vedenja o združbah in tudi ne sekundarnih učinkov podnebnih sprememb (npr. pojavi novih boleznih in škodljivcev, povečana pogostnost gozdnih požarov, spremenjeni načini rabe prostora).

Ciljno spremenljivko modela je predstavljala karta vegetacijskih tipov, ki je bila izdelana s tematsko agregacijo iz podatkov potencialne gozdne vegetacije na ravni gozdnih odsekov (ZGS 2006). Predmet modeliranja in simulacij je le gozdni prostor znotraj današnjega gozdnega roba, kar pomeni, da nismo modelirali in simulirali premikanja gozdnega roba, prav tako se nismo ukvarjali z negozdnimi površinami ter opuščeni kmetijskimi površinami v zaraščanju. Karte pojasnjevalnih spremenljivk prikazujejo vrednosti ekoloških parametrov, s katerimi model pojasnjuje vrednosti ciljne spremenljivke. Uporabili smo dve skupini pojasnjevalnih spremenljivk – podnebne in pomožne. Podnebne spremenljivke prikazujejo mesečna in letna povprečja temperatur, padavin in evapotranspiracije za zadnje 30-letno obdobje, to je med 1971 in 2000 (ARSO 2005, 2006a, 2006b). Ločljivost vseh podnebnih kart je 1 x 1 km². Pomožne spremenljivke vključujejo nadmorske višine digitalnega modela reliefa DMR-ločljivosti 100 x 100 m² (GURS 2006), iz DMR izpeljano karto naklonov in ekspozicij (slednja diskretizirana v 8 glavnih smeri neba) ter FAO-pedološki razred tal, tudi ločljivosti 100 x 100 m² (CPVO 1999).

Simulacije premikov gozdne vegetacije znotraj današnjega gozdnega roba temeljijo na empiričnem modelu prostorske porazdelitve vegetacijskih tipov (skupin podobnih gozdnih združb) ter na treh podnebnih scenarijih, izpeljanih iz napovedi bodočega podnebja (po BERGANT 2007). Empirični model v obliki odločitvenega drevesa je bil zgrajen iz učnih podatkov po metodi strojnega učenja (QUINLAN 1986) z orodjem See5 (www.rulequest.com). Učne podatke predstavlja iz rastrskih kart naključno izbranih 237.510 pikslov. Te karte prikazujejo vrednosti ciljne spremenljivke in pojasnjevalnih spremenljivk z geometrično ločljivostjo 100 x 100 m². Vsebinska ločljivost modela pa je enaka ločljivosti prostorsko najbolj grobih podatkov, to je 1 x 1 km². Nepriistranskost

učjenja je zagotovljena tako, da smo za vsak vegetacijski tip naključno izbrali enako število (po 18.270) učnih primerov oziroma pikslov.

Izdelali smo vrsto odločitvenih dreves različne kompleksnosti (merjeno s številom listov drevesa) in se na koncu odločili za tisto drevo, pri katerem je bil dosežen optimalen kompromis med kompleksnostjo in klasifikacijsko točnostjo. Točnost drevesnega modela smo ocenjevali z 10-kratnim navzkrižnim preverjanjem (angl. 10-fold cross-validation).

Napovedi verjetnega prihodnjega stanja smo nato po modelu izračunali za vsak piksel posebej z vstavitvijo lokalnih podatkov o prihodnjem podnebnju v model. Podatki o reliefu in pedologiji so ostali nespremenjeni. Simulacije prihodnjega stanja smo primerjali z modelnim današnjim stanjem (to je izračunanim z modelom iz danes veljavnih podnebnih vrednosti), ne z dejanskim. Tako smo zagotovili, da razlika med današnjim in prihodnjim stanjem ne vključuje napak modela.

REZULTATI RESULTS

Izbrani drevesni model obsega 980 listov (modela zaradi velikosti ne objavljamo in je na voljo pri avtorjih). Izbrane vrednosti učnih parametrov za See5 (QUINLAN 1986) so: najmanjše število primerov na vejo drevesa = 100, faktor obvejevanja = 25. Klasifikacijska točnost po oceni See5 znaša 73 % na trenajzih podatkih in 71 % pri 10-kratnem navzkrižnem preverjanju (tudi na trenajzih podatkih). Pri neposredni primerjavi karte 13 skupin združb ter karte sedanjega stanja (slika 1), izdelane na podlagi modela, znaša skupna klasifikacijska točnost (delež pravilno klasificiranih gozdnih pikslov glede na vse gozdne piksele) 64 %, kappa-točnost (indikator točnosti, ki upošteva dejstvo, da bi tudi povsem naključna klasifikacija prostora dala točnost, ki bi bila večja od 0), ocenjena z orodjem Idrisi-Crosstab (www.clarklabs.org), pa 60%. Slabši rezultati po zadnjih dveh metodah so posledica drugačnega načina ocenjevanja, saj pri primerjavi kart za oceno točnosti uporabimo vse piksele, pri oceni SEE5 pa nepriistranski slučajnostni vzorec. »Nepriistranski« pomeni, da je zastopanost vseh skupin združb v vzorcu enaka.

Ob upoštevanju pričakovanih podnebnih sprememb, ki smo jih opisali s tremi različnimi scenariji (srednji scenarij, pesimistični scenarij, optimistični scenarij), je simulacija prihodnje potencialne vegetacije z empiričnim modelom pokazala očitne spremembe v deležih posameznih tipov na ravni Slovenije in v njihovi razporeditvi. Model, ki napoveduje

sliko gozdne vegetacije v prihodnosti, kaže na to, da se bo v naslednjih desetletjih sedanji vegetacijski tip spremenil na večini gozdnih površin (preglednica 2, sliki 1 in 2).

Po napovedih bi do leta 2070 prišlo do sprememb vegetacijskega tipa na več kot 75 % vseh gozdnih površin. Simulacija je pokazala, da bi bili močnejše prizadeti mezofilni gozdovi, ki sedaj prevladujejo (preglednica 2, slika 2). Delež acidofilnih bukovih gozdov, ki poraščajo 14,2 % celotne gozdne površine Slovenije in vključuje edafsko pogojene združbe *Luzulo-Fagetum*, *Castaneo-Fagetum* in *Blechno-Fagetum*, bi se do leta 2070 po napovedih modela zmanjšal na 0,5 % (pesimistični scenarij) do 5,7 % (optimistični scenarij). Vegetacijski tip 'predgorska bukovja', v katerega sta vključeni predvsem združbi *Hacquetio-Fagetum* in *Hedero-Fagetum*, v modelu sedanjega stanja porašča 13 % gozdnih površin. Simulacija je nakazala možnost, da bi se površinski delež teh gozdov celo po optimističnem scenariju zmanjšal na manj kot tretjino, saj naj bi bil predvidoma med 0,1 % in 3,8 %. Tudi 11,2 % delež (visoko)gorskih bukovij v (pred)dinarskem območju, med katerimi prevladuje dinarski jelovo-bukov gozd (*Abieti-Fagetum dinaricum*, sin. *Omphalodo-Fagetum*), naj bi bil v ciljnem letu 2070 le med 0,2 % (pesimistični scenarij) in 6,2 % gozdne površine (optimistični scenarij).

Na drugi strani pa bi ob uresničitvi predvidevanj podnebnih sprememb prišlo do razširitve termofilne gozdne vegetacije, ki je prilagojena na rast v toplejših razmerah z daljšimi obdobji suše. Po predvidevanjih modela bi se izrazito razširila vegetacija, uvrščena v skupino 10 (preglednica 2, slika 2). Ta

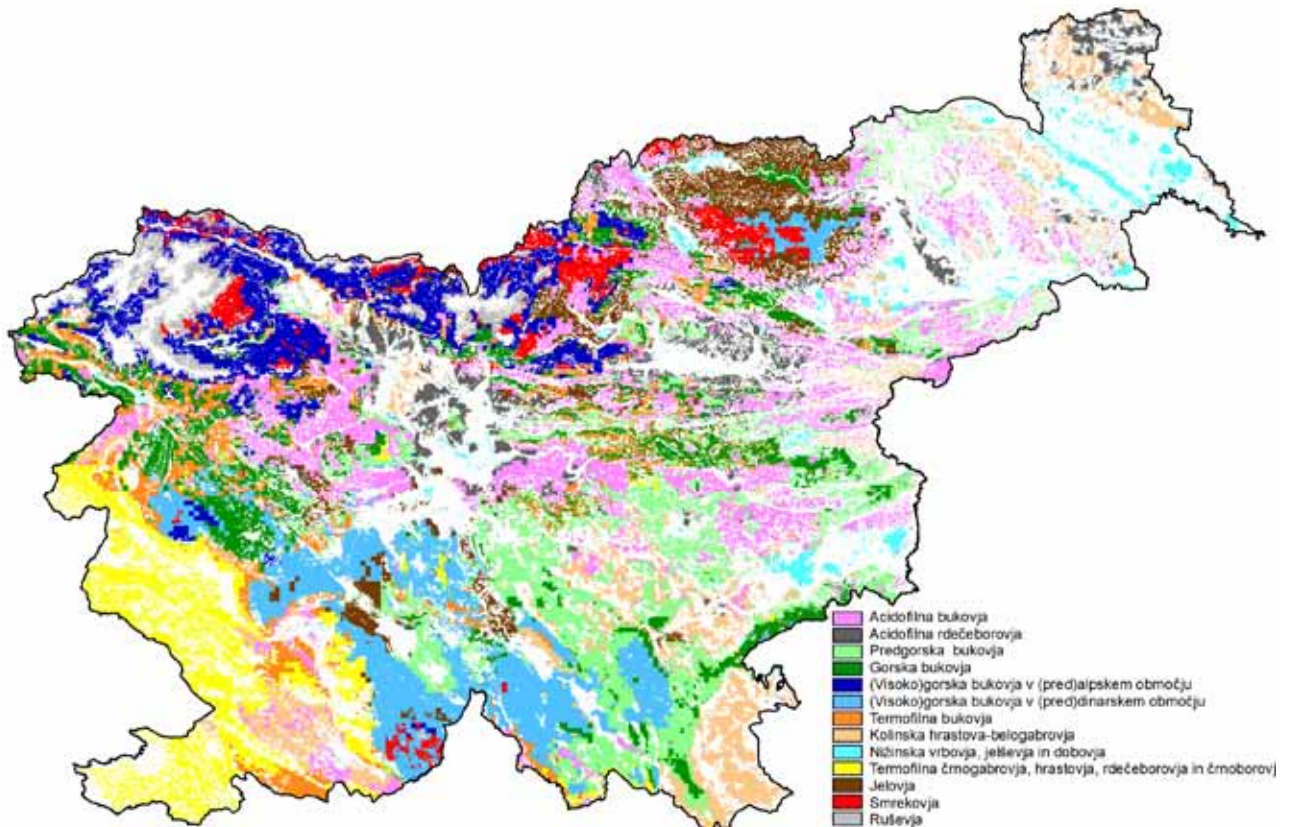
vegetacijski tip je razmeroma raznolik, saj vključuje tako različne gozdove in grmišča, v katerih prevladujejo listavci (npr. črni gaber (*Ostrya carpinifolia* Scop.), mali jesen (*Fraxinus ornus* L.), navadni mokovec (*Sorbus aria* (L.) Cr.), puhasti hrast (*Quercus pubescens* Willd.), cer (*Quercus cerris* L.), črničevje (*Quercus ilex* L.) in graden (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) ali iglavci (rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.) in črni bor (*Pinus nigra* Arnold)). Gozdovi vegetacijskega tipa 'termofilna črnogabrovja, hrastovja, rdečeborovja in črnoborovja', ki uspevajo na toplejših rastiščih, običajno na različnih karbonatnih matičnih podlagah, bi se do leta 2070 lahko razširili s sedanjih 7,7 % na 32,0 % (optimistični scenarij) do 79,7 % gozdnih površin (pesimistični scenarij).

Poleg teh pa bi s segrevanjem klime prišlo do razširitve vegetacijskega tipa 'kolinska hrastova-belogabrovja', ki ima prav tako poudarjen toplejši značaj (preglednica 2, slika 2). Ta vegetacijski tip, ki vključuje različne združbe s prevladujočima gradnom (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in belim gabrom (*Carpinus betulus* L.), porašča gričevje in njegovo vznožje od submediteranskega do predpanonskega območja, bi se lahko s sedanjih 8,6 % razrasel na 12,7 % (optimistični scenarij) do 20,0 % površine gozdov (pesimistični scenarij). Zaradi razmeroma ugodnih razmer se v tem vegetacijskem tipu, ki je bil v preteklosti označen kot združba *Quercus-Carpinetum* s. lat., poleg nosilnih dveh drevesnih vrst pojavljajo v primesi še številne druge vrste, kot na primer češnja (*Prunus avium* L.), maklen (*Acer campestre* L.), beli javor (*Acer pseudoplatanus* L.), navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.), lipovec

Preglednica 2. Deleži vegetacijskih tipov v letu 2070 po napovedih modela

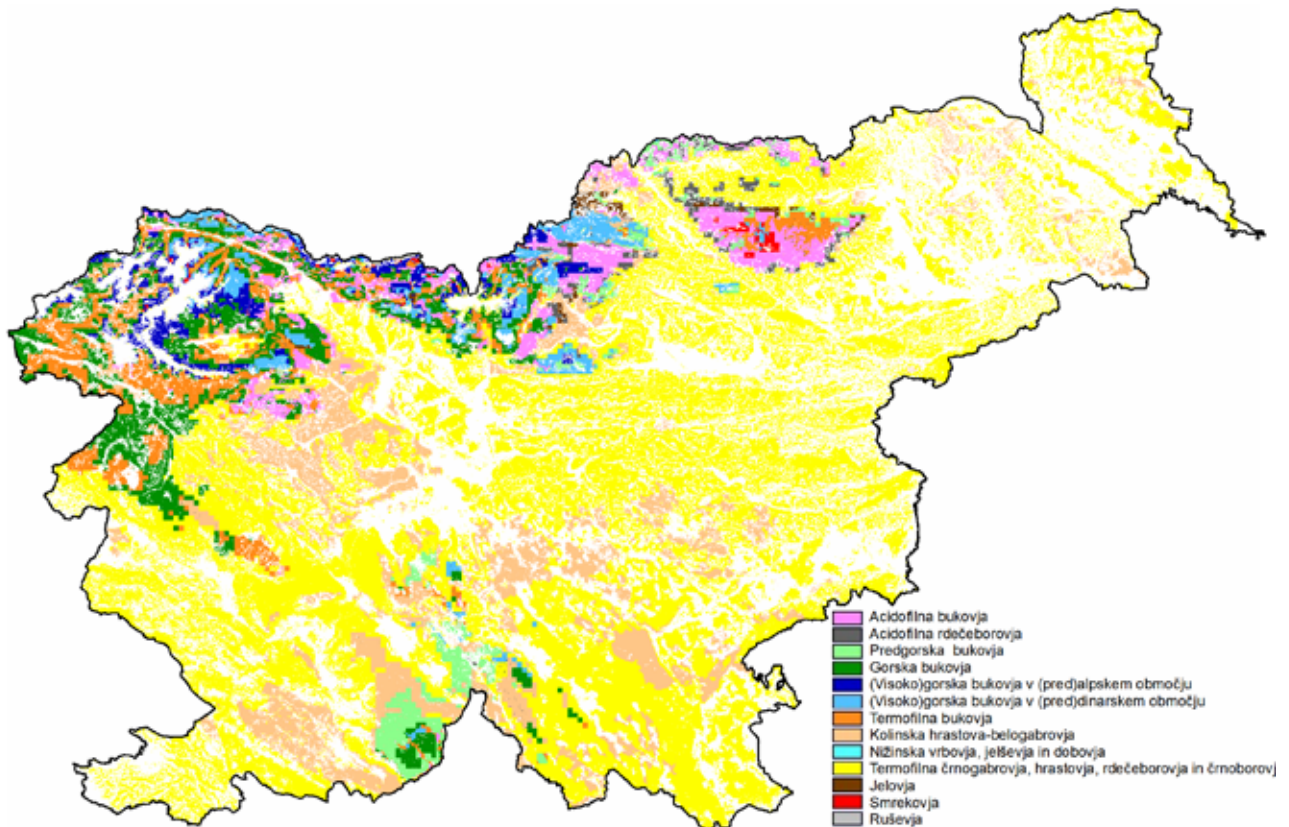
Table 2. Vegetation-type shares in the year 2070 according to the model forecast

Oznaka veg. tipa	Opis vegetacijskega tipa	Modelno stanje 2000 (%)	Srednji scenarij (%)	Pesimistični scenarij (%)	Optimistični scenarij (%)
1	Acidofilna bukovja	14,2	4,1	0,5	5,7
2	Acidofilna rdečeborovja	4,7	0,9	0,2	2,9
3	Predgorska bukovja	13,0	2,4	0,1	3,8
4	Gorska bukovja	9,5	6,6	2,5	9,8
5	(Visoko)gorska bukovja v (pred)alpskem območju	8,7	2,2	0,1	3,9
6	(Visoko)gorska bukovja v (pred)dinarskem območju	11,2	2,7	0,2	6,2
7	Termofilna bukovja	6,6	5,6	3,7	12,4
8	Kolinska hrastova-belogabrovja	8,6	13,7	12,7	20,0
9	Nižinska vrbovja, jelševja in dobovja	2,9	0,0	0,0	0,1
10	Termofilna črnogabrovja, hrastovja, rdečeborovja in črnoborovja	7,7	61,1	79,7	32,0
11	Jelovja	6,5	0,4	0,0	1,1
12	Smrekovja	3,6	0,3	0,0	1,2
13	Ruševja	2,9	0,01	0,0	0,9
SKUPAJ		100,0	100,0	100,0	100,0



Slika 1: Model sedanjega stanja gozdne vegetacije. Simulirana prihodnja stanja primerjamo z modelnim in ne z dejanskim sedanjim stanjem, s čimer preprečimo vključitev napak modela v razliko dveh kart.

Fig. 1: Model of the present forest vegetation state. Simulated future states are compared with the modelled present state instead of the actual present state. This prevents inclusion of model errors into the difference between the two maps.



Slika 2: Napoved razporeditve gozdne vegetacije za leto 2070 ob uresničitvi srednjega podnebnega scenarija.

Fig. 2: Forecast of forest-vegetation distribution in the year 2070 according to the mean climate scenario.

(*Tilia cordata* Mill.), veliki jesen (*Fraxinus excelsior* L.), bela jelka (*Abies alba* Miller), navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karsten). Na toplejših legah, v bolj odprtih sestojih, pa so lahko primešane tudi vrste z bolj termofilnim značajem (npr. črni gaber, mali jesen, cer, puhasti hrast).

Po vseh scenarijih bi se zmanjšali deleži gozdov in grmišč, v katerih prevladujejo iglavci (preglednica 2, slika 2).

RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Simulacija z empiričnim modelom, ki upošteva tri različne scenarije podnebnih sprememb (srednji scenarij, pesimistični scenarij, optimistični scenarij), je nakazala spremembe razporeditve gozdnih vegetacijskih tipov v prihodnosti. Na večini gozdnih rastišč v Sloveniji bo po predvidevanjih modela prišlo do zamenjave vegetacijskega tipa. V toplejših razmerah ob večji količini padavin, ki jih predvideva optimistični scenarij, bodo spremembe prostorske razporeditve gozdne vegetacije precej manj drastične kot v še bolj toplen in izrazito sušnem podnebjem (pesimistični scenarij).

Navadna bukev je najbolj razširjena in prevladujoča drevesna vrsta v srednji Evropi (*Fagus sylvatica*) (ELLENBERG 1996), hkrati pa je ena izmed ekološko in ekonomsko najpomembnejših drevesnih vrst (GESSLER *et al.* 2007). Bukve je ključna drevesna vrsta številnih gozdnih združb tudi v Sloveniji (LESNIK / MATIJAŠIČ 2006, DAKSKOBLER 2008, FICKO *et al.* 2008). Uporabljeni model kaže, da okoli 63 % slovenskih gozdov raste na potencialnih rastiščih bukovih, jelovo-bukovih in gradnovo-bukovih gozdov. Po predvidevanjih uporabljenega modela bi se lahko ta delež do leta 2070 zmanjšal na 7 % (pesimistični scenarij) do 42 % (optimistični scenarij). Bukve bi lahko bila ogrožena zaradi njene občutljivosti na nizko dostopnost vode (ELLENBERG 1996) in zaradi daljših obdobij suše (FOTELLI *et al.* 2002); poleg tega pa bi spremenjene podnebne razmere lahko vplivale na fiziološke značilnosti, rast in konkurenčno sposobnost bukve (PEUKE *et al.* 2002, GESSLER *et al.* 2007). V Sloveniji bi se stanje lahko še dodatno poslabšalo, saj bukov gozdovi poraščajo mnoga rastišča s plitvimi tlemi na dolomitu in apnencu, ki imajo nizko kapaciteto za vodo. Poleg abiotičnih dejavnikov pa bo bukev po ocenah strokovnjakov močno ogrožena tudi zaradi številnih biotičnih dejavnikov, kot npr. namnožitev žuželk in pojavi bolezni, ki jih povzročajo glive ali drugi patogeni organizmi (OGRIS *et al.* 2008).

Tako kot že v predhodni raziskavi (KUTNAR / KOBLER 2007) smo tudi v tej ugotovili, da bo po napovedih modela prišlo do izrazitega zmanjšanja dinarskih jelovo-bukovih gozdov (*Omphalodo-Fagetum*). Tovrstni gozdovi, ki so med najbolj razširjenimi pri nas (DAKSKOBLER 2008), bodo po predvidevanjih različnih scenarijev najbolj ogroženi. Dinarski jelovo-bukovi gozdovi, ki imajo pomembno gozdnogospodarsko vlogo, so bogat vir lesne mase, imajo pomembno vlogo tudi z ekološkega in naravovarstvenega aspekta. Območje teh gozdov predstavlja osrednji del habitata treh velikih evropskih zveri, rjavega medveda (*Ursus arctos* L.), risa (*Lynx lynx* L.), in volka (*Canis lupus* L.). Poleg tega so habitat številnih gozdnih ptic in rastišče mnogih ogroženih rastlinskih vrst (npr. ÓDOR / van DOORT 2002). Zaradi tega je bila večina teh gozdov zajeta v omrežje območij Nature 2000 (Habitatna direktiva 1992, SKOBERNE 2004). Potencialna izguba habitata dinarskih jelovo-bukovih gozdov bi lahko posledično pomenila tudi izginjanje določenih ključnih vrst, pretežno vezanih na te gozdove. Tako kot ugotavljajo tudi za druga območja (npr. LASCH *et al.* 2002), lahko tudi pri nas pričakujemo, da podnebne spremembe ne bodo vplivale samo na vegetacijsko sliko gozdov in vrstno sestavo, temveč bodo verjetno povzročile tudi zmanjšanje števila vrst in degradacijo habitatov. Podnebne spremembe so v zadnjih 50 letih že povzročile številne spremembe v obilju oz. številčnosti vrst in njihovi razporeditvi (PARMESAN / YOHE 2003), in kot predvidevajo, bodo v prihodnosti tudi glavni vzrok za izumiranje vrst (THOMAS *et al.* 2004).

Različni termofilni gozdovi, ki so manj gospodarsko zanimivi in hkrati bolj požarno ogroženi, bodo po napovedih uporabljenega modela postopoma zamenjali prevladujoče mezofilne gozdove v sedanjem obdobju. Že v nekaj desetletjih bi lahko prišlo do zamenjave razmeroma dobro ohranjenih, sonaravno gospodarjenih gozdov, ki pripadajo redu *Fagetalia sylvaticae*, z bolj presvetljenimi gozdovi in grmišči, ki jih uvrščamo v redova *Quercetalia pubescentis* in *Erico-Pinetalia*, ali pa z vednozeleno mediteransko gozdno vegetacijo reda *Quercetalia ilicis*. Podobno kot v Sredozemlju (SANTOS *et al.* 2002, PAUSAS 2004, PEREIRA *et al.* 2005, MORIONDO *et al.* 2006) lahko v prihodnosti pričakujemo, da se bo s toplejšo klimo in sušami povečala pogostost in trajanje gozdnih požarov. Že sedaj pa so slovenski gozdovi, še posebej v submediteranskem območju, močno požarno ogroženi (JAKŠA 2006, 2007).

Gospodarsko zanimivi iglavci, kot sta smreka in jelka, imajo razmeroma velik delež v lesni zalogi zelo različnih gozdnih združb. Vendar pa je površinski delež potencialnih združb, v katerih so iglavci prevladujoči, razmeroma majhen. Kot kažejo napovedi modela, se bo verjetno ta delež še dodatno zmanjšal. Tako kot ugotavljajo za zahodno in srednjo Evropo (KIENAST *et al.* 1998, LEXER *et al.* 2002, MARACCHI *et al.* 2005, KOCA *et al.* 2006), lahko pričakujemo tudi pri nas, da bo prišlo do izrazite zamenjave primarnih in sekundarnih gozdov iglavcev z gozdovi listavcev. Kot napoveduje najbolj »črni« podnebni scenarij za Slovenijo, ki predvideva izrazito naraščanje temperature in zmanjšanje količine padavin, bi gozdovi iglavcev, ki sicer uspevajo pretežno v razmerah z nekoliko nižjimi temperaturami in višjo stopnjo vlažnosti, lahko povsem izginili.

Potencialna razširitev termofilnih gozdov na območju celotne države na račun sedanjih gozdov bi imela dramatične posledice, saj bi to neposredno vplivalo na gospodarjenje z gozdom, povečala bi se potreba po aktivnosti gozdnega varstva. Poleg tega pa bi se spremenili celotna strategija in gozdnogospodarska politika, saj bi bile poleg spremenjene lesnosortimentne strukture močno prizadete tudi mnoge splošne koristne funkcije, kar bi imelo pomemben vpliv na celotno okolje in družbo.

Vendar pa so napovedi vpliva podnebnih sprememb na gozdno vegetacijo, čeprav podprte z mnogimi raziskavami (glej IPCC 2007), še vedno precej nezanesljive (npr. RIAL *et al.* 2004, von STORCH *et al.* 2004), kar je povezano z nepopolnim razumevanjem podnebja kot sistema in nezadostnim poznavanjem kompleksnih interakcij med biosfero in oceani. V raziskavi smo uporabili razmeroma enostaven model sprememb, v katerem ni bilo mogoče upoštevati potencialnih sprememb ekološke niše gozdnih združb in drevesnih vrst. Prav tako z modelom ni mogoče predvideti možnosti in omejitve za disperzijo rastlinskih vrst (npr. s semeni) v nova okolja, na nova rastišča. V model nismo vključili različnih možnosti za sukcesijski razvoj posameznih tipov vegetacije in potencialne omejitve pri tem. Poleg tega pa nismo predvideli vpliva različnih sekundarnih učinkov (npr. pojavljanje in širjenje novih bolezni in škodljivcev, povečanje pogostosti gozdnih požarov, spremembe rabe prostora), ki bi lahko odločilno sooblikovali vegetacijsko podobo in vplivali na razporeditev slovenskih gozdov v prihodnosti.

ZAHVALA ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskavo je v okviru projektov »Rastiščni, gozdno-gospodarski in politični vidiki odzivanja gozdov na pričakovane podnebne spremembe, V4-0347« in »Prilagajanje gospodarjenja z gozdovi podnebnim spremembam glede na pričakovane spremembe značilnosti in prostorske razporeditve gozdov, V4-0494« podprlo Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS.

Zahvaljujemo se recenzentoma, prof. dr. Juriju Diaciju in dr. Nikici Ogris, za temeljiti pregled besedila, popravke in dopolnila.

POVZETEK SUMMARY

Forest ecosystems in Europe are likely to be strongly influenced by climate change and other global changes (SHAMVER *et al.* 2000, ASKEEV *et al.* 2005, KELLOMÄKI / LEINONEN 2005, MARACCHI *et al.* 2005, IPCC 2007).

This study is focused on the expected changes of the potential forest vegetation in Slovenia in the future. For these purposes, the detailed potential-forest-community types (KOŠIR *et al.* 1974, 2003) have been aggregated in 13 group or vegetation types (table 2). For simulation of changes of potential forest vegetation, the existing climate-change predictions for Slovenia (BERGANT 2007) have been used to create three different scenarios: i) the mean scenario; ii) the pessimistic scenario; iii) the optimistic scenario (table 1).

Taking into consideration the future climate change, defined by three different climate scenarios, the simulation of the future potential forest vegetation showed significant alteration (share and distribution) of the spatial pattern of 13 vegetation types (groups of similar forest communities) in Slovenia.

According to the prediction in the year 2070, the vegetation type is likely to be changed on more than 75% of all forest sites. The mesic forest vegetation, mostly beech forests, may be adversely affected by such changing environmental conditions. The decrease of share of actual prevailing beech vegetation types, for example groups of Acidophilic *Fagus sylvatica* forests (from 14.2% to range between 0.5% under the pessimistic scenario and 5.7% under the optimistic scenario), of Submontane *Fagus sylvatica* forests (from 13.0 % to

range between 0.1% and 3.8%), and (Alti-) montane *Fagus sylvatica* forest in (Pre-) Dinaric region, including Dinaric fir-beech forests (*Abieti-Fagetum dinaricum*, sin. *Omphalodo-Fagetum*), (from 11.2% to range between 0.2% and 6.2%), could be expected.

On the contrary, the warmer climate predicted by all three future scenarios, will favour drought tolerant forest species and vegetation types. It could be expected that different thermophilous forests, which are partly dominated by beech trees, but mostly by different drought tolerant tree species, such as *Ostrya carpinifolia* Scop., *Fraxinus ornus* L., *Sorbus aria* (L.) Cr., *Quercus pubescens* Willd., *Q. cerris* L., *Q. ilex* L. and *Q. petraea* (Matt.) Liebl., and also *Pinus sylvestris* L. and *P. nigra* Arnold, will be expanded over a larger area of the country.

VIRI

REFERENCES

- ARSO – Agencija RS za okolje, 2005. Podnebne karte povprečnih mesečnih in letnih temperatur 1971-2000.
- ARSO – Agencija RS za okolje, 2006a. Podnebne karte povprečnih mesečnih in letnih padavin 1971-2000.
- ARSO – Agencija RS za okolje, 2006b. Podnebne karte povprečnih mesečnih in letnih evapotranspiracij 1971-2000.
- ASKEEV, O.V. / TISCHIN, D. / SPARKS T.H. / ASKEEV, I.V., 2005. The effect of climate on the phenology, acorn crop and radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur*) in the middle Volga region, Tatarstan, Russia.- Int. J. Biometeorol. 49: 262-266.
- BERGANT, K., 2003. Projekcije simulacij globalne klime na lokalni nivo in njihova uporaba v agrometeorologiji.- doktorska disertacija, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.
- BERGANT, K., 2007. Projekcije podnebnih sprememb za Slovenijo.- In: JURC, M., (ed.), Podnebne spremembe – Vpliv na gozd in gozdarstvo. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire, Ljubljana, Strokovna in znanstvena dela 130: 67-86.
- CPVO – Center za pedologijo in varstvo okolja, 1999. Digitalna pedološka karta Slovenije 1:25000.
- DAKSKOBLER, I., 2008. Pregled bukovih rastišč v Sloveniji.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 87: 3-14.
- DEVILLERS, P. / DEVILLERS-TECHUREN, J., 1996. A classification of Palearctic habitats.- Nature and environment 78, 194 s.
- ELLENBERG, H., 1996. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen, 5th edn.- Ulmer, Stuttgart, Germany.
- FERRIER, S. / GUIGAN, A., 2006. Spatial modelling of biodiversity at the community level.- Journal of Applied Ecology (Vol. 43) 3: 393-404.
- FICKO, A. / KLOPČIČ, M. / MATIJAŠIČ, D. / POLJANEC, A. / BONČINA, A., 2008. Razširjenost buke in strukturne značilnosti bukovih sestojev v Sloveniji.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 87: 45-60.
- FOTELLI, N. M. / RENNENBERG, H. / GESSLER, A., 2002. Effects of drought on the competitive interference of an early successional species (*Rubus fruticosus*) on *Fagus sylvatica* L. seedlings: ¹⁵N uptake and partitioning, responses of amino acids and other N compounds.- Plant Biol 4: 311-320.
- GESSLER A. / KEITEL, C. / KREUZWIESER, J. / MATYSSEK, R. / SEILER, W. / RENNENBERG, H., 2006. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate.- Trees 21: 1-11.
- GUIGAN, A. / EDWARDS, T. C. / HASTIE, T., 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene.- Ecological Modelling (Vol. 157) 2-3: 89-100.
- GURS – Geodetska uprava RS, 2006. Digitalni model reliefa DMR100.
- Habitatna direktiva, 1992. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora.- <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31992L0043:EN:HTML>
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: impacts, adaptation and vulnerability.- In: McARTHUR, J. J. / CANZIANI, O. F. / LEARY, N. A. / DOKKEN, D. J. / WHITE, K. S., (eds.), Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability.- In: PARRY, M. L. / CANZIANI, O. F. / PALUTIKOF, J. P. / VAN DER LINDEN, P. J. / HANSON, C. E., (eds.), Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- JAKŠA, J., 2006. Gozdni požari.- Gozdarski vestnik 64: 97-112.
- JAKŠA, J., 2007. Gozdni požari.- Proteus 69: 301-315.
- JOGAN, N. / KALIGARIČ, M. / LESKOVAR, I. / SELIŠKAR, A. / DOBRAVEČ, J., 2004. Habitatski tipi Slovenije HTS 2004: tipologija.- Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- KELLOMÄKI, S. / LEINONEN, S., (eds.), 2005. Management of European Forests under Changing Climatic Conditions. Final Report of the Project Silvistrat.- University of Joensuu, Research Notes 163, Joensuu, Finland.
- KIENAST, F. / BRZEZIECKI, B. / WILDI, O., 1996. Long-term adaptation potential of Central European mountain forests to climate change: a GIS-assisted sensitivity assessment.- Forest Ecology and Management 80: 133-153.
- KIENAST, F. / BRZEZIECKI, B. / WILDI, O., 1998. Potential impacts of climate change on species richness in mountain forests an ecological risk assessment.- Biological Conservation 83: 291-305.
- KLJUEV, N. N., 2001. Russia and its Regions.- Nauka, Moscow. (v ruščini).
- KOCA, D. / SMITH, S. / SYKES, M. T., 2006. Modelling regional climate change effects on potential natural ecosystems in Sweden.- Climatic Change 78: 381-406.
- KOŠIR, Ž., 1994. Ekološke in fitocenološke razmere v gorskem in hribovitem jugozahodnem obrobju Panonije.- Zveza gozdarskih društev Slovenije, Ministrstvo za kmetijstvo in gozdarstvo, Ljubljana.
- KOŠIR, Ž. / ZORN-POGORELC, M. / KALAN, J. / MARINČEK, L. / SMOLE, I. / ČAMPA, L. / ŠOLAR, M. / ANKO, B. / ACCETTO, M. / ROBIČ, D. / TOMAN, V. / ŽGAJNAR, L. / TORELLI, N., 1974. Gozdnovegetacijska karta Slovenije, M 1:100.000.- Biro za gozdarsko načrtovanje, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana
- KOŠIR, Ž. / ZORN-POGORELC, M. / KALAN, J. / MARINČEK, L. / SMOLE, I. / ČAMPA, L. / ŠOLAR, M. / ANKO, B. / ACCETTO, M. / ROBIČ, D. / TOMAN, V. / ŽGAJNAR, L. / TORELLI, N. / TAVČAR, I. / KUTNAR, L. / KRALJ, A., 2003. Gozdnovegetacijska karta Slovenije, digitalna verzija.- Biro za gozdarsko načrtovanje, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana
- KUTNAR L. / KOBLER, A., 2007. Potencialni vpliv podnebnih sprememb na gozdno vegetacijo v Sloveniji.- In: JURC, M., (ed.), Podnebne spremembe – Vpliv na gozd in gozdarstvo. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire, Ljubljana, Strokovna in znanstvena dela 130: 289-304.
- KUTNAR, L. / ZUPANČIČ, M. / ROBIČ, D. / ZUPANČIČ, N. / ŽITNIK, S. / KRALJ, T. / TAVČAR, I. / DOLINAR, M. / ZRNEC, C. / KRAIGHER, H., 2002. Razmejitev provenienčnih območij gozdnih drevesnih vrst v Sloveniji na osnovi ekoloških regij.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 67: 73-117.
- LASCH, P. / LINDNER, M. / ERHARD, M. / SUCKOW, F. / WENZEL, A., 2002. Regional impact assessment on forest structure and functions under climate change - the Brandenburg case study.- Forest Ecology and Management, 162(1): 73-86.
- LESNIK, T. / MATIJAŠIČ, D., 2006. Wälder Sloweniens.- Forst und Holz 61: 168-172.
- LEXER, M. J. / HÖNNINGER, K. / SCHEIFINGER, H. / MATULLA, CH. / GROLL, N. / KROMP-KOLB, H. / SCHADAUER, K. / STARLINGER, F. / ENGLISCH, M., 2002. The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climatic change: a large-scale risk assessment based on a modified gap model and forest inventory data.- Forest Ecology and Management 162: 53-72.

- MARACCHI, G. / SIROTENKO, O. / BINDI, M., 2005. Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe.- *Climatic Change* 70: 117-135.
- METZGER, M. J. / LEEMANS, R. / SCHRÖTER, D. / CRAMER W. & the ATEAM consortium, 2004. The ATEAM Vulnerability Mapping Tool.- *Quantitative Approaches in System Analysis* No. 27. Wageningen, C.T. de Witt Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, CD ROM.
- MNRRF, 2003. Forest Fund of Russia (according to State Forest Account by state on January 1, 2003).- Ministry of Natural Resources of Russian Federation, Moscow.
- MORIONDO, M. / GOOD, P. / DURAO, R. / BINDI, M. / GIANAKOPOULOS, C. / CORTE-REAL, J., 2006. Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area.- *Clim. Res.* 31: 85-95.
- ÓDOR, P. / VAN DOORT, K., 2002. Beech dead wood inhabiting bryophyte vegetation in two Slovenian forest reserves.- *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 69: 155-169.
- OGRIS, N. / JURC, M., 2007. Potencialne spremembe v razširjenosti samoniklih vrst javorov (*Acer pseudoplatanus*, *A. compestre*, *A. platanoides*, *A. obtusatum*) zaradi podnebnih sprememb v Sloveniji.- V: JURC, M. (ur.). Podnebne spremembe : vpliv na gozd in gozdarstvo, Studia forestalia Slovenica, št. 130. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, s. 317-334.
- OGRIS, N. / JURC, M. / JURC, D., 2008. Varstvo bukovih gozdov - danes in jutri.- V: BONČINA, A. (ur.). Bukovi gozdovi-ekologija in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov predavanj. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, s. 36-39.
- PARMESAN, C. / YOHE, G. A., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- PAUSAS, J.G., 2004. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin).- *Climatic Change* 63: 337-350.
- PEREIRA, M. G. / TRIGO, R. M. / DA CAMARA, C. C. / PEREIRA, J. M. C. / LEITE, S. M., 2005. Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal.- *Agric. For. Meteorol.* 129: 11-25.
- PEUKE A. D. / SCHRAML, C. / HARTUNG, W. / RENNENBERG, H., 2002. Identification of drought-sensitive beech ecotypes by physiological parameters.- *New Phytol* 154: 373-387.
- QUINLAN, J. R., 1986. Induction of decision trees.- *Machine Learning* (Vol. 1) 1: 81-106.
- RIAL, J. A. / PIELKE, S. R. A. / BENISTON, M. / CLAUSSEN, M. / CANADELL, J. / COX, P. / HELD, H. / DE NOBLET-DUCOUDR'E, N. / PRINN, R. / REYNOLDS, J. F. / SALAS, J. D., 2004. Nonlinearities, feedbacks and critical thresholds within the earth's climate system.- *Clim Change* 65: 11-38.
- SANTOS, F. D. / FORBES, K. / MOITA, R., (eds.), 2002. Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures.- SIAM project report, Gradiva, Lisbon.
- SCHRÖTER, D. / CRAMER, W. / LEEMANS, R. / PRENTICE, I. C. / ARAÚJO, M. B. / ARNELL, N. W. / BONDEAU, A. / BUGMANN, H. / CARTER, T. R. / GRACIA, C. A. / DE LA VEGA-LEINERT, A. C. / ERHARD, M. / EWERT, F. / GLENDINING, M. / HOUSE, J. I. / KANKAANPÄÄ, S. / KLEIN, R. J. T. / LAVORELL, S. / LINDER, M. / METZGER, M. J. / MEYER, J. / MITCHELL, T. D. / REGINSTER, I. / ROUNSEVELL, M. / SABATÉ, S. / SITCH, S. / SMITH, B. / SMITH, J. / SMITH, P. / SYKES, M. T. / THONICKE, K. / THULLER, W. / TUCK, G. / ZAEHLE, S. / ZIERL, B., 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe.- *Science* 310: 1333-1337.
- SHAVER, G. R. / CANADELL, J. / CHAPIN III, F. S. / GUREVITCH, J. / HARTE, J. / HENRY, G. / INESON, P. / JONASSON, S. / MELLILO, J. / PITELKA L. / RUSTAD, L., 2000. Global warming and terrestrial ecosystems: a conceptual framework for analysis.- *Bioscience* 50: 871-882.
- SHIYATOV, S. G. / TERENT'EV, M. M. / FOMIN, V. V., 2005. Spatiotemporal dynamics of forest tundra communities in the polar Urals.- *Russian J. Ecol.* 36: 69-75.
- SKOBERNE, P., 2004. Strokovni predlog za omrežje Natura 2000.- *Proteus* 66: 400-406.
- STEINMANN, K. / LINDER, H. P. / ZIMMERMANN, N. E., 2009. Modelling plant species richness using functional groups.- *Ecological Modelling* (vol. 220) 7: 962-967.
- THOMAS, C. D. / CAMERON, A. / GREEN, R. E. / BAKKENES, M. / BEAUMONT, L. J. / COLLINGHAM, Y. C. / ERASMUS, B. F. N. / DE SQUEIRA, M. F. / GRAINIGER, A. / HANNAH, L. / HUGHES, L. / HUNTLEY, B. / VAN JAARSFELD, A. S. / MIDGLEY, G. F. / MILES, L. / ORTEGA-HUERTA, M. A. / PETERSON, A. T. / PHILLIPS, O. L. / WILLIAMS, S. E., 2004. Extinction risk from climate change.- *Nature* 427:145-148.
- VON STORCH, H. / ZORITA, E. / JONES, J. / DIMITRIEV, Y. / GONZ'ALEZ-ROUCO, F. / TETT, S., 2004. Reconstructing past climate from noisy data.- *Science* 306: 679-682.
- WBGU, 2003. Climate Protection Strategies for the 21st Century.- Kyoto and Beyond. ISBN, Berlin.
- WHITE, A. / CANNEL, M. G. R. / FRIEND, A. D., 2000. The high-latitude terrestrial carbon sink: a model analysis.- *Glob. Change Biol.* 6: 227-246.
- WHITE, M. A. / THORNTON, P. E. / RUNNING, S. W. / NEMANI, R. R., 2000. Parameterization and sensitivity analysis of the BIOME-BGC terrestrial ecosystem model: net primary production controls.- *Earth Interactions* (vol. 4) 3: 1-85.
- WRABER, M., 1969. Pflanzengeographische Stellung und Gliederung Sloweniens.- *Vegetatio*, The Hague 17: 176-199.
- ZGS - Zavod za gozdove, 2006. Digitalna baza gozdnih odsekov - stanje 2006.
- ZORN, M., 1975. Gozdnovegetacijska karta Slovenije.- Opis gozdnih združb. Biro za gozdarsko načrtovanje, Ljubljana.
- ZUPANČIČ, M. / ŽAGAR, V., 1995. New views about the phytogeographic division of Slovenia.- *Razprave IV razreda SAZU* 26: 3-30.
- ZUPANČIČ, M. / MARINČEK, L. / SELIŠKAR, A. / PUNCER, I., 1987. Considerations on the phytogeographic division of Slovenia.- *Biogeographia - Biogeografia delle Alpi Sud-Orientali* 13: 89-98.