

ZAKLJUČNO POROČILO
O REZULTATIH OPRAVLJENEGA RAZISKOVALNEGA DELA
NA PROJEKTU V OKVIRU CILJNEGA RAZISKOVALNEGA
PROGRAMA (CRP) »KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006 – 2013«

I. Predstavitev osnovnih podatkov raziskovalnega projekta

1. Naziv težišča v okviru CRP:

Povezovanje ukrepov za doseganje trajnostnega razvoja

2. Šifra projekta:

V4-0500

3. Naslov projekta:

Numerično modeliranje podnebja z visoko ločljivostjo za pripravo scenarijev podnebnih sprememb v Sloveniji za 21. stoletje

3. Naslov projekta

3.1. Naslov projekta v slovenskem jeziku:

Numerično modeliranje podnebja z visoko ločljivostjo za pripravo scenarijev podnebnih sprememb v Sloveniji za 21. stoletje

3.2. Naslov projekta v angleškem jeziku:

Numerical high-resolution climate modelling for climate change scenario development for Slovenia in the 21st Century

4. Ključne besede projekta

4.1. Ključne besede projekta v slovenskem jeziku:

podnebne spremembe, scenariji, regionalni model, visoka ločljivost

4.2. Ključne besede projekta v angleškem jeziku:

climate change, scenarios, regional model, high resolution

5. Naziv nosilne raziskovalne organizacije:

Univerza v Ljubljani (Fakulteta za matematiko in fiziko)

5.1. Seznam sodelujočih raziskovalnih organizacij (RO):

Univerza v Novi Gorici

6. Sofinancer/sofinancerji:

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano

7. Šifra ter ime in priimek vodje projekta:

03162

prof. dr. Jože Rakovec

Datum: 10.09.2010

Podpis vodje projekta:

prof. dr. Jože Rakovec

Podpis in žig izvajalca:

Prof. dr. Radovan Stanislav
Pejovnik

II. Vsebinska struktura zaključnega poročila o rezultatih raziskovalnega projekta v okviru CRP

1. Cilji projekta:

1.1. Ali so bili cilji projekta doseženi?

- a) v celoti
 b) delno
 c) ne

Če b) in c), je potrebna utemeljitev.

1.2. Ali so se cilji projekta med raziskavo spremenili?

- a) da
 b) ne

Če so se, je potrebna utemeljitev:

2. Vsebinsko poročilo o realizaciji predloženega programa dela¹:

Projekt sta izvajali Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko ter Univerza v Novi Gorici, Center za raziskave atmosfere, v tesnem sodelovanju z Uradom za meteorologijo na Agenciji RS za okolje. Obsežnejše poročilo s slikovnim in tabelarnim gradivom je v pripravi za objavo.

UVOD

Številne gospodarske in druge dejavnosti (npr. kmetijstvo, gradbeništvo, energetika, promet, turizem, zdravstvo) so odvisne od vremena in podnebja. Poznavanje vremenskih in podnebnih razmer ter njihovega vpliva na te dejavnosti nam omogoča, da naravne danosti čim bolj izkoristimo in ob težnji po izboljšanju življenjskih razmer poiščemo družbeno, gospodarsko ter okoljsko najprimernejše rešitve.

Podnebje pa ni stalnica, temveč se spreminja tako v času kot v prostoru. Hitrim spremembam podnebja, ki smo jim priča v zadnjih 150 letih, botruje predvsem človek. Ob predvidenem družbeno-gospodarskem razvoju bi lahko pričakovali, da se bo v 21. stoletju človekov vpliv in s tem intenzivnost podnebnih sprememb še povečal, na kar nakazujejo tudi rezultati zadnjega – četrtega poročila Medvladnega foruma za podnebne spremembe.

Da nam podnebne spremembe predstavljajo resno grožnjo za prihodnost, nas opozarjajo vse pogostejši ekstremni dogodki (poplave, suše, vročinski valovi, itd.), ter vztrajno dvigovanje temperature zraka in gladine morja. Vsemu temu smo priča tudi v Sloveniji, zato se bodo morale dejavnosti, ki igrajo pomembno vlogo v slovenskem gospodarstvu in so odvisne od podnebnih razmer, na pričakovane spremembe prilagoditi. Za izdelavo smiselnih strategij prilagajanja pa potrebujemo najprej realne ocene (scenarije) prihodnjih podnebnih sprememb v ustrezni časovni in prostorski ločljivosti.

Le na podlagi rezultatov podnebnih modelov, ki dovolj natančno opišejo podnebno raznolikost Slovenije, lahko izdelamo verodostojne scenarije podnebnih sprememb, ki predstavljajo ustrezno podlago za izpopolnjene strategije prilagajanja.

V okviru projekta smo želeli pridobiti ocene podnebnih sprememb na območju Slovenije v visoki prostorski ločljivosti, tako z vidika predvidenih sprememb povprečnih temperaturnih in padavinskih razmer kot tudi z vidika sprememb v pogostosti in intenziteti nekaterih izrednih vremenskih dogodkov, kot so intenzivni nalivi in suše.

Raziskovalne hipoteze so bile:

- da se modelski izračuni preteklega podnebja v visoki ločljivosti za območje Slovenije dobro ujemajo z izmerjenimi vrednostmi podnebnih spremenljivk;
- da primerjava modelskih izračunov za prihodnje obdobje v primerjavi s preteklimi/sedanji spremembami kaže na izrazite podnebne spremembe;
- da se podnebne spremembe ne odražajo z enako intenziteto na celotnem območju Slovenije, temveč se različne regije nanje odzivajo različno;
- da pridobljeni modelski izračuni predstavljajo dobro osnovo za pripravo scenarijev podnebnih sprememb za potrebe prilagajanja na podnebne spremembe.

¹ Potrebno je napisati vsebinsko raziskovalno poročilo, kjer mora biti na kratko predstavljen program dela z raziskovalno hipotezo in metodološko-teoretičen opis raziskovanja pri njenem preverjanju ali zavračanju vključno s pridobljenimi rezultati projekta.

PODATKI IN METODE

V okviru slovensko-češkega bilateralnega sodelovanja (CZ-SI-2007-2008 št. 17) z naslovom »Regionalno modeliranje podnebja z visoko ločljivostjo na območjih s kompleksnim terenom« smo pridobili rezultate simulacije podnebja Slovenije z modelom RegCM3 v ločljivosti 10×10 km. Simulacije so bile narejene na Karlovi univerzi v Pragi, Fakulteti za matematiko in fiziko, Oddelku za meteorologijo in varovanje okolja v okviru njihovega sodelovanja v evropskih projektih PRUDENCE in CECILIA. Na razpolago so nam bili rezultati simulacij za obdobja 1961–1990, 2021–2050 in 2071–2100. Simulacije so bile pripravljene s preходом na večjo ločljivost, tako da je bil regionalni podnebni model (RCM) RegCM3 gnezden v globalni cirkulacijski model (GCM) ECHAM4, ki je za simulacije prihodnjega podnebja upošteval scenarij emisij toplogrednih plinov in aerosolov SRES A1B. Prednost rezultatov čeških kolegov v primerjavi z rezultati razpoložljivimi v okviru projektov PUDENCE in CECILIA je višja ločljivost, saj so se v omenjenih projektih zadovoljili z ločljivostjo 25 km.

Sledila je temeljita primerjava rezultatov simulacij z modelom RegCM3 in izmerjenih vrednosti na območju Slovenije, da bi ovrednotili zanesljivost modela RegCM3. Pri tem smo za posamezne letne čase za leta od 1961 do 1990 primerjali povprečno temperaturo zraka, količino padavin, največje enodnevne padavine (indikator za hudourniške poplave) in največje petdnevne količine padavin (indikator za poplave v ravninskem delu), ter najdaljše trajanje obdobja brez padavin (indikator za sušo). Da je bila primerjava mogoča, so bile vse razpoložljive meritve navedenih spremenljivk v državni mreži meteoroloških postaj interpolirane v enako pravilno mrežo, kakršno uporablja model RegCM3, upoštevajoč odvisnost spremenljivk od nadmorske višine. V ta namen je bila uporabljena geostatistična metoda splošnega kriginga. Po ovrednotenju zanesljivosti modela RegCM3 smo na podlagi izračunov modela za obdobji 2021-2050 in 2071-2100 v primerjavi z izračuni modela za obdobje 1961-1990 pripravili okvirne scenarije podnebnih sprememb za območje Slovenije.

Zaradi pričakovane precenitve količine padavin v modelu RegCM3 in zaradi dobrih operativnih izkušenj z numeričnim modelom ALADIN, smo izvedli tudi testno simulacijo podnebja Slovenije s klimatski različico modela ALADIN. Model je bil gnezden v globalni cirkulacijski model ARPEGE/Clim, ki je pri izračunih prihodnjega podnebja upošteval scenarij emisij SRES A1B. Nastavitve modela ALADIN so temeljile na nastavitvah, ki se na Agenciji RS za okolje uporabljajo pri operativnem numeričnem napovedovanju vremena. Dodatno smo nekaterim fizikalnim konstantam ustrezno spremenili vrednosti na podlagi nastavitvev, ki jih je pri simulacijah podnebja z modelom ALADIN uporabil Češki hidrometeorološki inštitut. Modelske izračune smo pripravili za obdobji 2001–2009 in 2091–2100. Njihova ločljivost je bila 15 km x 15 km, kar je sicer slabše kot ločljivost izračunov RegCM3, vendar je v prihodnje predvideno dodatno, drugo gnezdenje modela ALADIN v ločljivosti 4,4 km x 4,4 km.

Kljub temu, da sta bili referenčni obdobji obdobji v primeru modela RegCM3 (1961-1990) in modela ALADIN (2001-2009) različni, smo skušali narediti primerjavo zanesljivosti obeh modelov. V ta namen smo modelske izračune za referenčni obdobji primerjali s homogeniziranimi arhivskimi podatki za isto obdobje iz opazovalnih postaj. Izbrali smo pet postaj, ki predstavljajo različne podnebne regije v Sloveniji: Rateče (gorsko podnebje SZ Slovenije in območja Snežnika), Portorož (submediteransko podnebje JZ Slovenije), Ljubljana in Novo mesto (celinsko podnebje osrednje in jugovzhodne Slovenije, kjer se še čutijo vplivi gorskega in mediteranskega podnebja) ter Murska Sobota (celinsko podnebje V Slovenije).

GLAVNI REZULTATI

Primerjava povprečnih dnevni temperatur med RegCM3 in meritvami v referenčnem obdobju 1961-1990 je pokazala, da model najslabše opiše temperaturne razmere pozimi. V tem letnem času je modelska napaka dokaj velika, saj so izračunane temperature za osrednjo, vzhodno ter jugovzhodno Slovenijo previsoke za približno 3°C. Za ostale letne čase so odstopanja manjša, saj povprečna razlika le poleti v nekaterih regijah preseže 1°C.

Za vse letne čase lahko rečemo, da je RegCM3 model občutno premoker na Primorskem. Jeseni in spomladi je model premoker za celotno Slovenijo. Največje neujemanje je na Primorskem in v okolici Snežnika, kjer so ponekod modelske napovedi celo dvakrat večje od meritev. Pozimi je slika nekoliko drugačna, saj je model presuh v osrednji in vzhodni Sloveniji in premoker v zahodi Slovenije. Padavine na zahodu so manj precenjene kot spomladi ali jeseni, padavine na vzhodu pa podcenjene ponekod tudi za polovico. Poleti RegCM3 v Alpah in na nekaterih delih Dinarske pregrade predvidi premalo padavin. Model RegCM3 za skoraj celotno Slovenijo preceni število padavinskih dni za faktor 2. Posledično so tudi podcenjena najdaljša obdobja brez padavin. V jugozahodnem delu Slovenije so največje enodnevne padavine močno precenjene, drugod pa se model v tej spremenljivki dokaj dobro ujema z opazovanji. Izven jugozahodne Slovenije je pojav za 10 do 20% podcenjen jeseni in poleti, pozimi in spomladi pa se ujema z opazovanji. Podobne rezultate dobimo v primeru analize največjih petdnevni padavin.

Projekcije podnebnih sprememb z modelom RegCM3 kažejo, da naj bi se v skladu s scenarijem emisij SRES A1B temperature v obdobju 2071-2100 po celotni Sloveniji dvignile za približno 3 °C. Najmanj naj bi se dvignila temperatura pozimi, kjer je ocena za osrednjo Slovenijo le okrog 2,5 °C, najbolj pa poleti, ko naj bi bil dvig temperature zraka na primorskem tudi 4 °C in več. Količina padavin poleti in spomladi naj bi se zmanjšala po celotni Sloveniji, bolj izrazito jugozahodno od Alpsko-Dinarske gorske pregrade in manj severozahodno od nje. Zmanjšanje količine padavin naj bi bilo še posebej izrazito poleti, ko naj bi na Primorskem znašalo tudi do 35%, drugod pa nekje od 10 do 15%. Jeseni naj bi območja severozahodno od Alpsko-Dinarsko gorske pregrade prejela nekaj več padavin, pozimi pa naj bi celotna Slovenija prejela več padavin, v osrednji Sloveniji in na vzhodu tudi do 30%. Zaradi slabše zanesljivosti modela RegCM3 pri opisu padavinskih dogodkov, so sicer projekcije podnebnih sprememb vezane na padavine posledično precej nezanesljive. Kljub temi lahko povzamemo glede na rezultate modela RegCM3, da jeseni in pozimi ne gre pričakovati izrazitih sprememb v dolžini obdobj brez padavin, poleti in spomladi pa gre trend v smeri vedno daljših obdobj brez padavin. Največje podaljšanje naj bi zajelo jugozahodno Slovenijo poleti, kjer se dolžina najdaljših suhih obdobj podaljša za 40%. V severozahodni Sloveniji, ki je najbolj izpostavljena močnim kratkotrajnim nalivom, v prihodnosti ne opazimo večjih sprememb v največji enodnevni količini padavin. Manjši premik v smeri močnejših enodnevnih padavin opazimo le poleti. Največje enodnevne padavine naj bi se nekoliko povečale predvsem v osrednji in vzhodni Sloveniji, vendar spremembe, ki jih kažejo rezultati modela RegCM3 niso velike. Do podobnih zaključkov lahko pridemo v primeru največjih pet dnevni padavin.

Rezultati testne simulacije z modelom ALADIN za obdobje 2001-2009 kažejo, da ta model bolj realno opiše padavinske razmere v Sloveniji kot RegCM3, predvsem z vidika števila padavinskih dni in posledično najdaljših obdobj brez padavin. Tudi z vidika

povprečne količine padavin ni zaslediti sistematičnega odstopanja v smeri precenitve izmerjenih vrednosti. Z vidika temperaturnih razmer pozimi ni zaslediti izrazitega odstopanja v smeri previsokih temperatur, kot v primeru RegCM, temveč je ALADIN celo večinoma nekoliko prehladen. Prav tako je ob uporabi modela ALADIN nekoliko boljše ujemanje temperatur za poletno obdobje, ter primerljivo za pomlad in jesen. Vzorci projekcij podnebnih sprememb so podobni v primeru obeh modelov. Model ALADIN kaže celo na intenzivnejše ogrevanje kot model RegCM3, še posebej v poletnem času.

ZAKLJUČKI

Z vidika postavljenih raziskovalnih hipotez lahko ugotovimo:

- Vnaprej smo prepostavili večjo sposobnost regionalnih podnebnih modelov glede ujemanja njihovih izračunov z izmerjenimi vrednostmi podnebnih spremenljivk v Sloveniji, še posebej v primeru modela RegCM3, kot se je dejansko pokazala v raziskavi. Boljše je skladanje rezultatov testne simulacije z modelom ALADIN;
- Zavedajoč se omejene zanesljivosti oz. nezanesljivosti podnebnih modelov, rezultati simulacij z modeloma RegCM3 in ALADIN svseeno nakazujejo dokaj izrazite podnebne spremembe na območju Slovenije tako z vidika temperaturnih kot padavinskih razmer.
- Glede na rezultate modelov RegCM3 in ALADIN se podnebne spremembe ne bodo odražale z enako intenziteto na celotnem območju Slovenije, temveč se različne podnebne regije odzivajo na spremembe različno. Te razlike niso tako očitne v primeru projekcij sprememb temperature zraka, kot so pri padavinah.
- Pri uporabi izračunov z modeloma RegCM3 in ALADIN za pripravo scenarijev podnebnih sprememb na območju Slovenije je potrebno obdržati veliko mero previdnosti, saj so v nekaterih primerih rezultati dokaj nezanesljivi.

3. Izkoriščanje dobljenih rezultatov:

3.1. Kakšen je potencialni pomen² rezultatov vašega raziskovalnega projekta za:

- a) odkritje novih znanstvenih spoznanj;
- b) izpopolnitev oziroma razširitev metodološkega instrumentarija;
- c) razvoj svojega temeljnega raziskovanja;
- d) razvoj drugih temeljnih znanosti;
- e) razvoj novih tehnologij in drugih razvojnih raziskav.

3.2. Označite s katerimi družbeno-ekonomskimi cilji (po metodologiji OECD-ja) sovpadajo rezultati vašega raziskovalnega projekta:

- a) razvoj kmetijstva, gozdarstva in ribolova - Vključuje RR, ki je v osnovi namenjen razvoju in podpori teh dejavnosti;
- b) pospeševanje industrijskega razvoja - vključuje RR, ki v osnovi podpira razvoj industrije, vključno s proizvodnjo, gradbeništvom, prodajo na debelo in drobno, restavracijami in hoteli, bančništvom, zavarovalnicami in drugimi gospodarskimi dejavnostmi;
- c) proizvodnja in racionalna izraba energije - vključuje RR-dejavnosti, ki so v funkciji dobave, proizvodnje, hranjenja in distribucije vseh oblik energije. V to skupino je treba vključiti tudi RR vodnih virov in nuklearne energije;
- d) razvoj infrastrukture - Ta skupina vključuje dve podskupini:
 - transport in telekomunikacije - Vključen je RR, ki je usmerjen v izboljšavo in povečanje varnosti prometnih sistemov, vključno z varnostjo v prometu;
 - prostorsko planiranje mest in podeželja - Vključen je RR, ki se nanaša na skupno načrtovanje mest in podeželja, boljše pogoje bivanja in izboljšave v okolju;
- e) nadzor in skrb za okolje - Vključuje RR, ki je usmerjen v ohranjanje fizičnega okolja. Zajema onesnaževanje zraka, voda, zemlje in spodnjih slojev, onesnaženje zaradi hrupa, odlaganja trdnih odpadkov in sevanja. Razdeljen je v dve skupini:
- f) zdravstveno varstvo (z izjemo onesnaževanja) - Vključuje RR - programe, ki so usmerjeni v varstvo in izboljšanje človekovega zdravja;
- g) družbeni razvoj in storitve - Vključuje RR, ki se nanaša na družbene in kulturne probleme;
- h) splošni napredek znanja - Ta skupina zajema RR, ki prispeva k splošnemu napredku znanja in ga ne moremo pripisati določenim ciljem;
- i) obramba - Vključuje RR, ki se v osnovi izvaja v vojaške namene, ne glede na njegovo vsebino, ali na možnost posredne civilne uporabe. Vključuje tudi varstvo (obrambo) pred naravnimi nesrečami.

² Označite lahko več odgovorov.

3.3. Kateri so **neposredni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

* ovrednotenje zanesljivosti dveh regionalnih podnebnih modelov (ALADIN / Climate in RegCM3) pri opisu podnebnih razmer na območju Slovenije

* projekcije podnebnih sprememb na območju Slovenije tako z vidika povprečnih podnebnih razmer kot z vidika nekaterih izrednih dogodkov (nalivi in suše)

3.4. Kakšni so lahko **dolgoročni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

* pridobitev novih znanj na področju numeričnega modeliranja podnebja v visoki ločljivosti

* smernice za nadaljnje študije podnebne spremenljivosti z uporebo podnebnih modelov visoke ločljivosti

3.5. Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- a) v domačih znanstvenih krogih;
- b) v mednarodnih znanstvenih krogih;
- c) pri domačih uporabnikih;
- d) pri mednarodnih uporabnikih.

3.6. Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih?

Interes po scenarijih podnebnih sprememb je zelo velik in ga izraža tako splošna javnost, politika, kot tudi specializirani uporabniki (kmetijstvo, turizem, energetika, vodno gospodarstvo, ipd.)

3.7. Število diplomantov, magistrstov in doktorjev, ki so zaključili študij z vključenostjo v raziskovalni projekt?

1 diplomant

4. Sodelovanje z tujimi partnerji:

4.1. Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujimi raziskovalnimi inštitucijami.

Del vhodnih podatkov za raziskavo je bil pridobljen na podlagi preteklega sodelovanja z Karlovo Univerzo v Pragi, Fakulteto za matematiko in fiziko, Oddelkom za meteorologijo in varovanje okolja.

Sodelovanje je bilo v preteklosti formalizirano v okviru bilaterale "Regionalno

modeliranje podnebja z visoko ločljivostjo na območjih s kompleksnim terenom", CZ-SI-2007-2008 št. 17.

4.2. Kakšni so rezultati tovrstnega sodelovanja?

Izmenjava vhodnih podatkov in rezultatov.

5. Bibliografski rezultati³ :

Za vodjo projekta in ostale raziskovalce v projektni skupini priložite bibliografske izpise za obdobje zadnjih treh let iz COBISS-a) oz. za medicinske vede iz Inštituta za biomedicinsko informatiko. Na bibliografskih izpisih označite tista dela, ki so nastala v okviru pričujočega projekta.

6. Druge reference⁴ vodje projekta in ostalih raziskovalcev, ki izhajajo iz raziskovalnega projekta:

* vzpostavitev okolja za simulacije podnebnih razmer z regionalnim podnebnim modelom za omejeno območje, ALADIN / Climate, na Agenciji RS za okolje

³ Bibliografijo raziskovalcev si lahko natisnete sami iz spletne strani: <http://www.izum.si/>

⁴ Navedite tudi druge raziskovalne rezultate iz obdobja financiranja vašega projekta, ki niso zajeti v bibliografske izpise, zlasti pa tiste, ki se nanašajo na prenos znanja in tehnologije.

Navedite tudi podatke o vseh javnih in drugih predstavitev projekta in njegovih rezultatov vključno s predstavitevami, ki so bile organizirane izključno za naročnika/naročnike projekta.