Prediktabilne komponente sezonske atmosferske cirkulacije

Ivasić, Sara

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:433051

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

Sara Ivasić

PREDIKTABILNE KOMPONENTE SEZONSKE ATMOSFERSKE CIRKULACIJE

Diplomski rad

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

Sara Ivasić

PREDIKTABILNE KOMPONENTE SEZONSKE ATMOSFERSKE CIRKULACIJE

Diplomski rad

Voditeljica: doc. dr. sc. Ivana Herceg Bulić

Zagreb, 2018.

Sažetak

U ovom radu promatrano je koji se modovi sezonskog odziva geopotencijalne visine 200 hPa plohe (GH200) i ukupne oborine (RR) najučestalije javljaju unutar ansambla simulacija provedenih pomoću numeričkog modela opće cirkulacije atmosfere SPEEDY. Provedena je EOF analiza te analiza prediktabilnih komponenti, koja daje hijerarhiju modova koji optimiziraju omjer signala i šuma. Rezultat te metode su polja optimiziranog omjera signala i šuma, a vodeći mod u toj hijerarhiji ima najveći omjer signala i šuma, sljedeći mod ima drugi najveći omjer signala i šuma itd.

Analizirano je pet eksperimenata koji se temelje na ansamblima od 35 numeričkih simulacija, a razlikuju se po području forsiranja modela površinskim temperaturama mora (SST). Cilj ove analize bio je ispitati utječu li oceani (ili njihovi dijelovi) na pojavljivanje i karakteristike dobivenih modova sezonskog odziva i kakav je taj utjecaj.

Rezultati su pokazali da međugodišnja varijabilnost geopotencijalne visine i ukupne oborine, koja je prikazana poljima EOF1 i EOF2, ovisi o prinudnom djelovanju oceana samo u učestalosti pojavljivanja određenog polja (tj. atmosferskog režima). Pritom se u zimskom se dijelu godine polje EOF1 projicira na NAO, a EOF2 na polje atlantskog grebena. Analiza optimiziranih modova pokazala je da je omjer signala i šuma značajno uvjetovan prinudnim djelovanjem oceana.

Popis kratica

AMIP – eng. *Atmospheric Model Intercomparison Project*
AMJ – travanj, svibanj, lipanj (eng. *April, May, June*)
ECMWF – eng. *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*
EOF – Empirijska ortogonalna funkcija (eng. *Empirical Orthogonal Function)*
EOF1 – prvo EOF polje koje objašnjava najveći udio varijabilnosti promatranog parametra
EOF2 – drugo EOF polje
EOFOPT – optimizirano EOF polje
GH200 – geopotencijalna visina (eng. *geopotential height*) 200 hPa plohe
GrADS – eng. *The Grid Analysis and Display System*
i.g.d. – istočna geografska dužina
JAS – srpanj, kolovoz, rujan (eng. *July, August, September*)
JFM – siječanj, veljača, ožujak (eng. *January, February, March*)
j.g.š. – južna geografska širina
NAO – Sjeveroatlantska oscilacija (eng. *North Atlantic Oscillation*)
NAE – Sjeverni Atlantik – Europa (eng. *North Atlantic – European*)
NOAA – eng. *National Oceanic and Atmospheric Administration*
OND – listopad, studeni, prosinac (eng. *October, November, December*)
RR – ukupna oborina (eng. *rainfall rate*)
s.g.š. – sjeverna geografska širina
SPEEDY – eng. *Simplified Parametrizations, primitivE – Equation DYnamics*
SST – površinske temperature mora (eng. *sea surface temperature*)
SSTA – anomalije površinske temperature mora (eng. *sea surface temperature anomaly*)
z.g.d. – zapadna geografska dužina

Sadržaj

1. Uvod 1
   1.1. Klimatska varijabilnost 1
   1.2. EOF analiza 5
   1.3. Optimiziranje omjera signala i šuma 8
2. Podaci i metode 12
   2.1. Numerički model 12
   2.2. Metode 15
   2.3. Analiza prediktabilnih komponenti 17
3. Rezultati i rasprava 19
   3.1. Sezona JFM 20
   3.2. Sezona AMJ 34
   3.3. Sezona JAS 47
   3.4. Sezona OND 62
   3.5. Usporedba rezultata s vremenskim režimima u sjevernom Atlantiku 75
4. Zaključak 79
Literatura 82

1. Uvod

1.1. Klimatska varijabilnost

Klima se često definira kao prosječno stanje vremena nad nekim dijelom Zemljine površine, gdje je period usrednjavanja dovoljno dug da se „izgladi“ varijabilnost kratko-periodičkih vremenskih sustava koji predstavljaju neprediktabilnu klimatsku komponentu. Prema Svjetskoj meteorološkoj organizaciji, klimatske normale temelje se na instrumentalnim podacima koji su usrednjeni preko perioda od trideset godina. [1] Paleoklimatski, oceanografski i geološki podaci ukazuju na to se klima mijenjala i u prošlosti, a klimatske fluktuacije zabilježene su na svim promatranim vremenskim skalama. [2]

Klimatska varijabilnost ne može se povezati samo s jednom od komponenti klimatskog sustava, nego odražava njihovu interakciju. Glavne sastavnice klimatskog sustava Zemlje su atmosfera, hidrosfera, kriosfera, litosfera i biosfera i one su povezane nizom složenih uzajamno-povratnih procesa. [1]

Klimatska varijabilnost ovisi o unutarnjim i vanjskim mehanizmima prinudnog djelovanja. Vanjski (ili eksterni) mehanizmi utječu na klimatski sustav izvana i sam sustav na njih ne može povratno djelovati. Pod vanjske mehanizme prinudnog djelovanja pripadaju Sunčevo zračenje, promjene u Zemljinoj orbiti, asteroidi, tektonika ploča i erupcije vulkana. Unutrašnji (interni) mehanizmi prinudnog djelovanja su uzajamno – povratni procesi koji uključuju promjenu jedne ili više komponenti klimatskog sustava potaknutu nekom vrstom vanjskog prinudnog djelovanja. Promjena jedne od komponenti klimatskog sustava utječe na promjenu druge ili više od ostalih komponenti, što opet utječe na promjenu prve komponente itd. Takvi procesi mogu imati efekt amplifikacije ili efekt prigušenja.

Oceani su jedna od glavnih sastavnica klimatskog sustava, pogotovo na duljim vremenskim skalama koje su povezane s oceanskom cirkulacijom. Kopno i oceani apsorbiraju veći dio Sunčevog zračenja koje dopire do Zemlje, a to se zračenje akumulira blizu površine. Meridionalni transport topline putem oceanske cirkulacije daje važan doprinos održavanju temperaturnog gradijenta između polova i ekvatora. Smatra se da fluktuacije u termohalinoj cirkulaciji utječu na klimatsku varijabilnost na međugodišnjim, dekadskim, stoljetnim i duljim vremenskim skalama.

Zbog svojih fizikalnih karakteristika, oceani imaju mnogo veći toplinski kapacitet od atmosfere. Vremenske skale uspostave toplinske ravnoteže u ta dva fluida vrlo su različite. Atmosferi je potrebno oko mjesec dana da se uravnoteži, dok to vrijeme za ocean iznosi i do 1000 godina ako se uzme u obzir cijela njegova dubina. U odnosu na atmosferu koja brzo reagira na pobudu, ocean predstavlja tromu komponentu klimatskog sustava. Zbog tog svojstva oceani djeluju kao svojevrsni amortizer za promjene temperature u atmosferi.

Također, treba uzeti u obzir da oceani apsorbiraju i skladište više energije nego kopno koje ih okružuje. Iako je gustoća tla veća od gustoće vode, u toplinskom kontaktu s atmosferom se na sezonskoj skali nalazi tlo do dubine od otprilike jednog metra, a za ocean taj je sloj dubok oko 100 m. Specifična toplina tla je četiri puta manja od one za vodu, zbog toga neto toplina koju ocean izmjenjuje s atmosferom na sezonskoj skali do 100 puta nadmašuje toplinu koja se izmjeni između kopna i atmosfere u istom vremenskom razdoblju. Posljedično primjećujemo povećanje sezonskog raspona temperature zraka nad kopnom s povećanjem udaljenosti točke mjerenja od oceana. Na južnoj polutci, gdje ima mnogo manje kopna nego na sjevernoj, puno je slabije izražen sezonski ciklus površinske temperature zraka. [2]

U umjerenim geografskim širinama izravno prinudno djelovanje atmosferskih vremenskih sustava (ciklona i anticiklona) na ocean izaziva promjene SST-a preko promjena u prizemnom vjetru, temperaturi zraka i vlažnosti. Takvi kratko-periodički atmosferski sustavi relativno kratko egzistiraju u atmosferi, ali mogu dovesti do dugotrajnih anomalija u polju SST-a zbog toga što veliki toplinski kapacitet oceanu omogućava dugotrajno „pamćenje“. Anomalije SST-a koje se javljaju na taj način nemaju pravilni sezonski ciklus. [2]

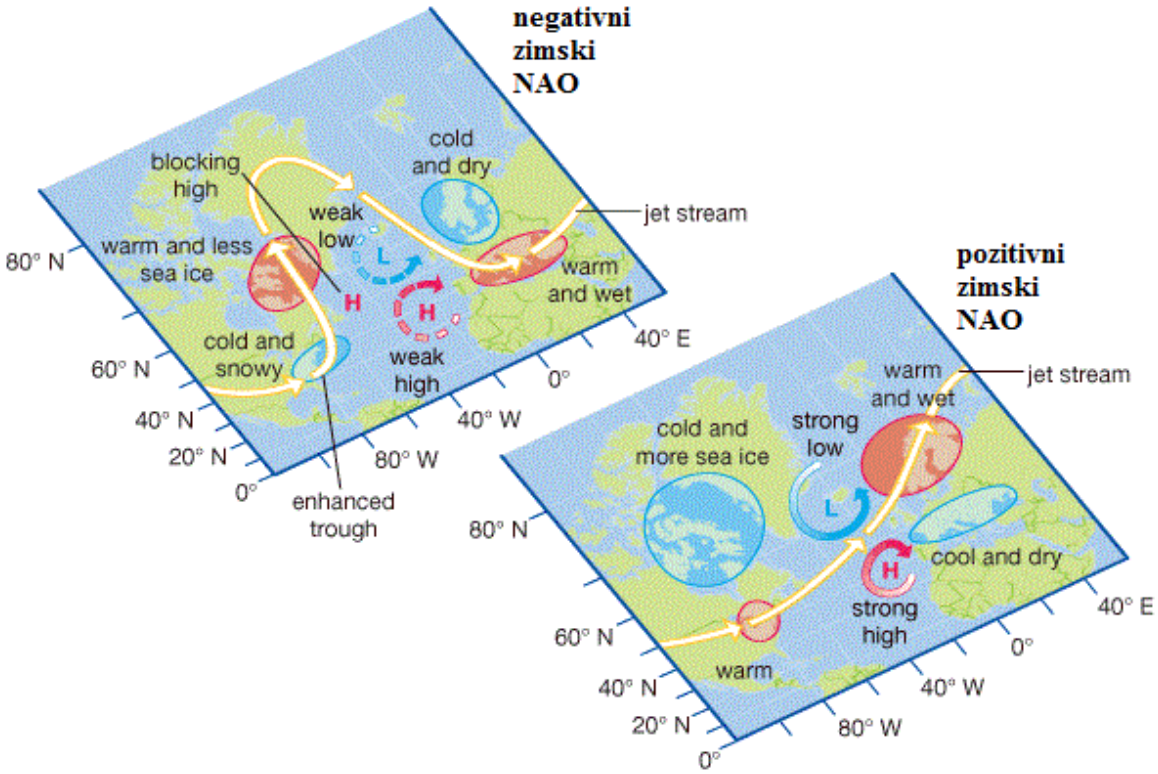
Numeričke simulacije dobivene združenim atmosfersko-oceanskom modelima gdje su modelirane interakcije između atmosfere i oceana pokazuju da promjene u atmosferi prethode promjenama u oceanu, što podupire pretpostavku da međugodišnja varijabilnost u umjerenim širinama primarno odražava spori odziv oceana na prinudno djelovanje atmosferskih vremenskih sustava čije se djelovanje događa na mnogo kraćim vremenskim skalama.[2] Takva bi se varijabilnost mogla okarakterizirati kao pasivna jer je u nju uključena modulacija „brzih“ komponenti klimatskog sustava (atmosfere) putem „sporijih“ komponenti klimatskog sustava (oceana). U tropima su promjene u SST-u, temperaturi zraka i vjetra približno u fazi jedna s drugom, što odražava osjetljivost atmosfere u tom području na mokru konvekciju koja je potaknuta odozdo. Ova osjetljivost atmosfere na tropske SST-ove može dovesti do tzv. aktivne varijabilnosti - združenog djelovanja između atmosfere i oceana u kojima promjene u jednom dijelu sustava pojačavaju promjene u drugom dijelu, što je definicija efekta amplifikacije.[2]

El Niño-Južna oscilacija je fenomen koji je posljedica združenog djelovanja atmosfere i oceana u tropskom području te uzrokuje klimatsku promjenjivost na globalnoj skali.[3] Postoje i drugi, unutarnji modovi varijabilnosti atmosfere (modovi koji bi postojali i kada ne bi bilo međudjelovanja s oceanom, tj. oni koji su posljedica unutarnje atmosferske dinamike). [2] U tu skupinu na sjevernoj polutci pripada i Sjevernoatlantska oscilacija (NAO). [4]

Sjeveroatlantska oscilacija

Vrijeme na području sjevernog Atlantskog oceana, posebice zimi, često je okarakterizirano snažnim zapadnim strujanjem zraka, pozitivnom anomalijom tlaka na području Azora i negativnom anomalijom tlaka zraka na Islandu te putanjom sinoptičkih sustava koji se kreću prema zapadnoj Europi. Sjevernoatlantska oscilacija važan je mod varijabilnosti globalne atmosfere i tijesno je povezana s položajem i intenzitetom sjevernoatlantske staze oluja (eng. *stormtrack*). [5] Pozitivna i negativna zimska faza NAO-a prikazana je na slici 1.1. [6]

NAO indeks temelji se na razlici tlaka zraka na razini mora između Islanda i Azora. Pozitivna faza NAO-a odražava se u sniženom tlaku nad sjevernim Atlantikom te povišenim tlakom i geopotencijalnoj visini iznad središnjeg sjevernog Atlantika, istoka SAD-a i zapadne Europe. Negativna NAO faza iznad istih područja daje obrnuti prostorni raspored anomalija tlaka i geopotencijalne visine. Obje faze NAO-a povezane su s promjenama u položaju i intenzitetu sjevernoatlantske mlazne struje, sjevernoatlantske staze oluja te modulacijama normalnih uzoraka zonalnog i meridionalnog transporta topline i vlage koje kao posljedicu imaju promjenu prostornih uzoraka temperature i oborine. [7]



Slika 1.1: Sjevernoatlantska oscilacija. Preuzeto iz [6]

Snažne pozitivne faze NAO-a često su povezane s povišenim temperaturama zraka na istoku SAD-a i sjeverne Europe te sniženim temperaturama na Grenlandu, južnoj Europi i Bliskom istoku. Za vrijeme pozitivne faze NAO-a izmjerene su povećane količine oborine u sjevernoj Europi i Skandinaviji, a manjak oborine zabilježen je u središnjoj i južnoj Europi. Obrnuti predznaci anomalija temperature i oborine javljaju se tijekom snažnih negativnih faza NAO-a. Za vrijeme duljih razdoblja kada prevladava jedna od faza NAO-a, anomalije geopotencijalne visine i temperature često se protežu i do središnjeg Sibira. NAO pokazuje varijabilnost na sezonskim i međugodišnjim skalama.[7]

O prediktabilnosti

Prediktabilnost na sezonskoj skali koja se javlja zbog prinudnog djelovanja (eng. *boundary-forced predictability*) na granici atmosfere s oceanom izravno ovisi o intenzitetu s kojim, primarno tropski, SST-ovi djeluju na atmosferu kao izvori anomalija topline i impulsa. Do povećane prediktabilnosti u umjerenim geografskim širinama dolazi samo kada je cirkulacija, koja se javlja zbog prinudnog djelovanja tih izvora topline i impulsa, dovoljno jaka i konzistentna da se može razaznati naspram unutarnje, kaotične varijabilnosti atmosfere – šuma. Ova unutarnja varijabilnost dovodi do nepouzdanosti u prognozi sezonskih srednjaka čak i u slučaju kada na granici atmosfere i oceana postoje značajne anomalije.

Modeli opće cirkulacije atmosfere koristan su alat za proučavanje karakteristika unutarnje varijabilnosti atmosfere i mogu poslužiti za analizu atmosferskog odziva na prinudno djelovanje. Ti modeli mogu dati procjenu signala i šuma putem ansambla sezonskih rješenja generiranih s identičnim rubnim uvjetima u obliku SST-a, ali uz različite početne uvjete. Ovisnost procjena signala i šuma o samom modelu jedna je od mana upotrebe modela opće cirkulacije. Istraživanje sezonske prediktabilnosti koja se javlja zbog prinudnog djelovanja SST-a najčešće je fokusirano na borealnu zimu, kada su jake SSTA u tropskom Pacifiku povezane s ENSO događajima, radijacijsko forsiranje opće cirkulacije gotovo konstantno, a odziv u umjerenim širinama sjeverne hemisfere dobro definiran. [8]

1.2. EOF analiza

Klimatska varijabilnost posljedica je kompleksnih nelinearnih veza između velikog broja stupnjeva slobode atmosfere. EOF analiza predstavlja jedan od načina smanjenja dimenzionalnosti sustava i pronalaska najvažnijih uzoraka koji objašnjavaju varijacije sustava. Ova vrsta analize podataka također se koristi za izdvajanje pojedinačnih modova varijabilnosti atmosfere i tzv. daljinskih veza (eng. *teleconnections*). [9]

Klimatski podaci raspoređeni na mreži najčešće dolaze u obliku polja koje za svaki vertikalni nivo ima dvije prostorne i jednu vremensku dimenziju. To je polje *F* funkcija vremena *t*, geografske širine φ i geografske dužine λ. Pretpostavlja se da su horizontalne koordinate diskretizirane na način da za geografsku širinu vrijedi zapis φ_j, $j = 1, \dots, p_1$, za geografsku dužinu λ_k, $k = 1, \dots, p_2$ te analogno za vrijeme t_i, $i = 1, \dots, n$. Ukupni broj točaka mreže iznosi $p = p_1 p_2$. Diskretizirano polje *F* ima oblik

$$F_{ijk} = F(t_i, \varphi_j, \lambda_k) \tag{1.1}$$

gdje $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq p_1,$ te $1 \leq k \leq p_2$.

Rad s trodimenzionalnim i višedimenzionalnim poljima kao što je *F*, općenito zahtjeva mnogo radne memorije računala i dosta je nespretno. Zbog toga želimo transformirati *F* u dvodimenzionalno polje, tj. matricu *X* gdje su dvije prostorne dimenzije ulančane.

Pretpostavimo da raspolažemo sa setom podataka koji se sastoji od prostorno-vremenskog polja *X(t,s)* koje predstavlja iznos određene meteorološke varijable *X* (npr. ukupne oborine) u vremenu *t*, na prostornom položaju *s*. Iznos tog polja u trenutku t_i, u točki mreže s_j označavamo kao x_{ij}, gdje $i = 1, \dots, n$ te $j = 1, \dots, p$. Matrica podataka tada predstavlja osmotreno polje odabrane varijable:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{np} \end{pmatrix}. \tag{1.2}$$

Označimo vremenski srednjak polja na *j*-tom mjestu mreže s $\bar{x}_j$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} x_{kj}, \tag{1.3}$$

tada je klimatski srednjak polja definiran kao

$$\bar{x} = (\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_p). \tag{1.4}$$

Polje anomalija, tj. odstupanje od klimatskog srednjaka, definirano je u trenutku *t* i na položaju *s* kao

$$x'_{ts} = x_{ts} - \bar{x}_s. \tag{1.5}$$

ili u matričnom obliku

$$X' = X - \mathbf{1}\bar{x} = \left(I - \frac{1}{n}\mathbf{1}\mathbf{1}^T\right)X, \tag{1.6}$$

gdje je $\mathbf{1} = (1, \dots, 1)^T$ vektor stupac koji sadrži *n* jedinica,dok *I* predstavlja $n \times n$ jediničnu matricu.

Jednom kad se odredi matrica anomalija iz prethodne relacije, definira se matrica kovarijance koja sadrži kovarijance između bilo koje dvije točke mreže:

$$\Sigma = \frac{1}{n-1}X'^T X'. \tag{1.7}$$

Cilj EOF analize je pronaći linearne kombinacije svih varijabli, tj. svih točaka mreže, koje objašnjavaju najveći postotak varijance. To znači da treba pronaći vektor $\boldsymbol{a} = \left(a_1, \dots, a_p\right)^T$ tako da $X'\boldsymbol{a}$ ima maksimalnu varijabilnost. Izraz za varijancu vremenskog niza $X'\boldsymbol{a}$ glasi:

$$Var(X'\boldsymbol{a}) = \frac{1}{n-1}\|X'\boldsymbol{a}\|^2 = \frac{1}{n-1}(X'\boldsymbol{a})^T(X'\boldsymbol{a}) = \boldsymbol{a}^T\Sigma\boldsymbol{a}. \tag{1.8}$$

Kako bi problem bio ograničen, obično zahtijevamo da je vektor $\boldsymbol{a}$ unitaran, stoga vrijedi:

$$\begin{aligned} &\max_{\boldsymbol{a}}(\boldsymbol{a}^T\Sigma\boldsymbol{a}) \\ &\text{t.d. } \boldsymbol{a}^T\boldsymbol{a} = 1. \end{aligned} \tag{1.9}$$

Rješenje se svodi na problem svojstvenih vrijednosti,

$$\Sigma a = \gamma a. \tag{1.10}$$

Matrica kovarijance Σ po definiciji je simetrična i može se dijagonalizirati. Nakon što se sve svojstvene vrijednosti i odgovarajući svojstveni vektori razvrstaju od najvećeg do najmanjeg po iznosu, *k*-to EOF polje odgovara *k*-tom svojstvenom vektoru $\boldsymbol{a}_k$ matrice kovarijance Σ. Matrica kovarijance je pozitivno definitna, stoga su i sve svojstvene vrijednosti pozitivne. Svojstvena vrijednost γ_k koja odgovara *k*-tom EOF polju daje mjeru objašnjene varijance preko $\boldsymbol{a}_k, k = 1, \dots, p$.

Uobičajeno je da se objašnjena varijanca izražava u postotcima

$$\frac{\gamma_k}{\sum_{k=1}^{p}\gamma_k}\cdot 100\%. \tag{1.11}$$

Projekcija polja anomalija X' na k-to EOF polje $\boldsymbol{a}_k$, tj. $c_k = X'\boldsymbol{a}_k$ je k-ta glavna komponenta (eng. *principal component - PC*)

$$c_k = \sum_{s=1}^{p} x'(t,s)a_k(s) \tag{1.12}$$

Zbog toga što je matricu kovarijance moguće dijagonalizirati, set njenih svojstvenih vektora čini ortogonalnu bazu p-dimenzionalnog Euklidskog prostora, definiranog sa skalarnim produktom. Dakle, po samom svom ustroju, EOF polja su ortogonalna u prostoru, a glavne komponente su ortogonalne u vremenu. Svojstvo ortogonalnosti daje potpunu bazu gdje se vremenski promjenljivo polje može rastaviti u obliku:

$$X'(t,s) = \sum_{k=1}^{M} c_k(t)a_k(s). \tag{1.13}$$

Glavne komponente kao funkcije vremena pridaju predznak i amplitudu pridruženom EOF polju. Dakle, EOF polja ne mijenjaju svoju strukturu u vremenu, nego mijenjaju svoj predznak i amplitudu kako bi opisali stanje atmosfere. Kada su svojstvene vrijednosti matrice kovarijance Σ različite, EOF polja mogu se promatrati pojedinačno.

Osim što je EOF analiza korisna za izdvajanje vremenskih nizova koji opisuju najveći dio varijabilnosti promatranog polja i što daje kompaktan prikaz podatka, ova analiza ima i određeni broj nedostataka. Najprije, tu je osjetljivost na izbor domene i vremenskog razdoblja. Zatim, može se dogoditi da su svojstvene vrijednosti od Σ slične, što otežava njihovo razdvajanje i razvrstavanje, bez obzira na to što su EOF polja ortogonalna i njihove glavne komponente nisu međusobno korelirane u vremenu.

Iako EOF polja predstavljaju uzorke koji sukcesivno objašnjavaju većinu varijabilnosti odabranog niza podataka, njihova interpretacija nije uvijek jednostavna. [10]

1.3. Optimiziranje omjera signala i šuma

Oznaka X_{imn} predstavlja promatranu varijablu X u točki mreže *i*, trenutku *n*, gdje je $1 \leq n \leq N$ za član *m*-ti ansambla, gdje je $1 \leq m \leq M$. Možemo napraviti razvoj varijable *X* na set prostornih uzoraka *P* i s njima povezanih vremenskih nizova α

$$X_{imn} = \sum_r P_i^r \alpha_{nm}^r, \tag{1.14}$$

gdje indeks *r* označava mod tj. uzorak. [8]

Vremenski niz α mora biti dobiven linearnom transformacijom početnih podataka

$$\alpha_{nm}^r = \sum_i e_i^r X_{inm}, \tag{1.15}$$

i to je jedino ograničenje koje stavljamo na oblik razvoja.

Definira se srednjak ansambla

$$\overline{A_n} = \frac{1}{M} \sum_m A_{nm}, \tag{1.16}$$

i vremenski srednjak

$$[A]_m = \frac{1}{N} \sum_n A_{nm}. \tag{1.17}$$

Uz pretpostavku da je od vrijednosti varijable oduzet klimatski srednjak (tj. da se promatraju odgovarajuće anomalije) tako da vrijedi $[\overline{X_{inm}}] = 0$ u svim točkama mreže *i*, tada također vrijedi $[\overline{\alpha_{nm}^r}] = [\bar{\alpha}_n^r] = 0$.

Signal $\mathcal{S}$ definira se kao kvadratno odstupanje srednjaka ansambla od klimatskog srednjaka. Ta veličina predstavlja odziv na prinudno djelovanje na promatrani sustav, na primjer na donjoj granici modela, kao što je slučaj u ovom radu. Šum $\mathcal{N}$ (eng. *noise*) je srednje kvadratno odstupanje pojedinih realizacija unutar ansambla od srednjaka ansambla. Obje su veličine definirane vremenskim nizom pojedinog moda ili uzorka. Zbog pretpostavke da je klimatski srednjak u ovom modelu nula, dobivamo oblik signala i šuma koji je opisan sljedećim izrazima:

$$\mathcal{S} = [(\bar{\alpha}_n^r)^2] \tag{1.18}$$

$$\mathcal{N} = [\overline{(\alpha_{nm}^r - \bar{\alpha}_n^r)^2}]. \tag{1.19}$$

Ako privremeno ispustimo indeks uzorka r i gledamo r-ti stupac od e_i^r kao vektor e_i, možemo drugačije zapisati definiciju signala:

$$\mathcal{S} = \left[\left(\sum_i e_i \bar{X}_{in}\right)^2\right] = \left[\left(\sum_i e_i \bar{X}_{in} \sum_j e_j \bar{X}_{jn}\right)\right] = \sum_i \sum_j e_i\left(\left[\bar{X}_{in}\bar{X}_{jn}\right]\right) e_j. \tag{1.20}$$

Definiramo matricu kovarijance srednjaka ansambla $A_{ij} = \left[\bar{X}_{in}\bar{X}_{jn}\right]$, pa za signal vrijedi relacija:

$$\mathcal{S} = \sum_i e_i A_{ij}\, e_j = \boldsymbol{e^T \cdot A \cdot e} \tag{1.21}$$

gdje mala masno otisnuta slova označavaju matrice, a velika masno otisnuta slova predstavljaju vektore. Indeks T je oznaka za transponiranu matricu.

Koristeći relaciju (1.15) definicija šuma može se zapisati u obliku:

$$\mathcal{N} = \left[\left(\sum_i e_i \left(X_{inm} - \bar{X}_{in}\right)\right)^2\right] = \frac{1}{N}\sum_n \overline{\left(\sum_\iota e_\iota X'_{\iota nm}\right)^2}, \tag{1.22}$$

gdje smo iskoristili definiciju anomalija kao odstupanja promatrane varijable X od srednjaka ansambla($X'_{inm} = X_{inm} - \bar{X}_{in}$).

Po početnim podacima postoji relacija vremenskog niza šuma koja se izvodi iz jednadžbe (1.15) oduzimanjem srednjaka ansambla:

$$\alpha'^r_{nm} = \sum_i e_i^r X'_{inm}. \tag{1.23}$$

Analogno postupku za signal i šum možemo zapisati u obliku:

$$\mathcal{N} = \sum_i e_i B_{ij}\, e_j = \boldsymbol{e^T \cdot B \cdot e}, \tag{1.24}$$

gdje je B_{ij} kvadratna, simetrična i pozitivno definitna matrica kovarijance odstupanja od srednjaka ansambla $B_{ij} = \left[\overline{X'_{inm}X'_{jnm}}\right]$.

Slijedi da je omjer signala i šuma, koji zovemo potencijalna prediktabilnost, jednak:

$$\mathcal{R} = \frac{S}{N} = \frac{\boldsymbol{e^T \cdot A \cdot e}}{\boldsymbol{e^T \cdot B \cdot e}}. \tag{1.25}$$

Nazivnik prethodne jednadžbe može se dijagonalizirati pomoću vektora $\boldsymbol{g}$ čija definicija glasi:

$$\boldsymbol{g} = \boldsymbol{B}^{1/2} \cdot \boldsymbol{e}. \tag{1.26}$$

Matrica $\boldsymbol{B}^{1/2}$ i njen inverz također su kvadratne, simetrične i pozitivno definitne matrice. Preko posljednje relacije slijedi da se potencijalna prediktabilnost $\mathcal{R}$ može zapisati u obliku Rayleighjevog kvocijenta uz korištenje još jedne kvadratne, simetrične i pozitivno definitne matrice $\boldsymbol{C} = \boldsymbol{B}^{-1/2} \cdot \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{B}^{1/2}$,

$$\mathcal{R} = \frac{\boldsymbol{g}^{\boldsymbol{T}} \cdot \boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{g}}{\boldsymbol{g}^{\boldsymbol{T}} \cdot \boldsymbol{g}}. \tag{1.27}$$

Prema teoremu Reyleighjevog kvocijenta, maksimalna vrijednost potencijalne prediktabilnosti $\mathcal{R}$ je također maksimalna svojstvena vrijednost od $\boldsymbol{C}$, a taj se maksimum postiže kada je $\boldsymbol{g}$ jednak odgovarajućem svojstvenom vektoru. Svojstveni vektori su ortogonalni,

$$(\boldsymbol{g}^r)^T \cdot \boldsymbol{g}^s = (\boldsymbol{e}^r)^T \cdot \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{e}^s = \delta_{r,s}. \tag{1.28}$$

Ovdje *r* i *s* označavaju se na modove u razvoju svojstvenih vektora. Uzmemo li u obzir definiciju matrice B_{ij} prethodna jednadžba može se raspisati u oblik

$$\sum_i \sum_j e_i^r B_{ij} e_j^s = \sum_i \sum_j e_i^r \left[\overline{X'_{inm} X'_{jnm}}\right] e_j^s = \left[\overline{\alpha'^r_{nm} \alpha'^s_{nm}}\right] = \delta_{r,s}. \tag{1.29}$$

Set modova dobivenih iz problema svojstvenih vrijednosti tj. vektora prepoznati su kao modovi koji optimiziraju omjer signala i šuma $\mathcal{R}$. Preko jednadžbi (1.14), (1.15), (1.23) i (1.26) ti modovi definiraju optimalne uzorke $\boldsymbol{P}^r$, koje zovemo fizikalni uzorci, i pripadne vremenske nizove signala i šuma ($\bar{\alpha}_n^r$ i α'^r_{nm}). Uzorci $\boldsymbol{e}^r$ korišteni za dobivanje vremenskih nizova zovu se filter uzorci. Iz jednadžbe (1.29) slijedi da su vremenski nizovi šuma koji odgovaraju različitim modovima nezavisni.

Fizikalni uzorak P_i^r može se dobiti direktno preko jednadžbe (1.14) za šum

$$X'_{inm} = P_i^r \alpha'^r_{nm}. \tag{1.30}$$

Množenjem posljednje relacije s α'^s_{nm} i usrednjavanjem u vremenu te po svim članovima ansambla uz jednadžbu (1.29) slijedi

$$\left[\overline{\alpha'^s_{nm} X'_{inm}}\right] = \sum_r P_i^r \left[\overline{\alpha'^s_{nm} \alpha'^r_{nm}}\right] = P_i^s. \tag{1.31}$$

Za s-ti mod preko jednadžbe (1.23) vrijedi

$$\alpha'^{s}_{nm} = \sum_j e^s_j X'_{jnm}, \tag{1.32}$$

tako da je

$$P^s_i = \sum_j e^s_j \left[\overline{X'_{jnm} X'_{inm}}\right] = \sum_j e^s_j B_{ij}. \tag{1.33}$$

Pomnoži li se prethodna relacija s e^r_i te zatim sumira po indeksu i, pomoću (1.29) slijedi

$$e^r_i P^s_i = \delta_{r,s}, \tag{1.34}$$

što pokazuje da fizikalni i filter uzorci zajedno formiraju biortogonalni set. [8]

2. Podaci i metode

2.1. Numerički model

Za numeričke simulacije u ovom je radu korišten numerički model opće cirkulacije atmosfere SPEEDY (eng. *Simplified Parametrizations, Primitive – Equation Dynamics).* Model je razvijen u Međunarodnom centru za teorijsku fiziku Abdus Salam u Trstu u Italiji, a temelj modela čini spektralno-dinamička jezgra razvijena u Laboratoriju za geofizičku dinamiku fluida koji se nalazi u sklopu NOAA-e. [11]

SPEEDY je hidrostatički model koji koristi σ-koordinatu za bolje praćenje karakteristika terena. Divergencija, vrtložnost, apsolutna temperatura i logaritam površinskog tlaka osnovne su prognostičke varijable modela. Unutar modela također postoji mogućnost izračuna drugih dijagnostičkih veličina čiji su izvori i ponori određeni putem ugrađenih fizikalnih parametrizacija.

Model kao ulazna polja, pomoću kojih se određuju rubni uvjeti, uzima površinsku temperaturu mora, temperaturu tla, udio prekrivenosti morske površine ledom, količinu vlage u gornjem sloju tla i vegetaciji, debljinu snježnog pokrova, udio tla prekrivenog vegetacijom i albedo površine koja nije pokrivena snijegom ili ledom. Ta su klimatološka polja nužna za pokretanje modela, a SPEEDY ih dobiva usrednjavanjem podataka iz ERA Interim reanalize Europskog centra za srednjoročnu prognozu vremena (ECMWF) za razdoblje od 1979. do 2008. godine.

Anomalije površinske temperature mora (SSTA) u razdoblju od 1854. do 2010. godine dobivaju se iz seta podataka NOAA_ERSST_V3 koje NOAA objavljuje na svojoj web stranici. [12]

Za račun vremenskog koraka SPEEDY koristi preskočnu shemu (eng. *leapfrog scheme*) uz Robert–Asselin–Williams vremenski filtar. Standardna horizontalna rezolucija odgovara trokutastom odsijecanju horizontalnih spektralnih polja pri valnom broju 30 (T30). Mreža modela je standardna Gaussova mreža od 96 sa 48 točaka, što odgovara koraku od 3.75° geografske širine i geografske dužine.

Atmosfera je u modelu podijeljena na osam vertikalnih nivoa. Sve su prognostičke varijable, osim logaritma površinskog tlaka, određene na tzv. cijelim nivoima za vrijednosti σ-koordinate od 0.025, 0.095, 0.20, 0.34, 0.51, 0.685, 0.835 i 0.95. U praksi se najniži nivo modela koristi kao gruba aproksimacija atmosferskog graničnog sloja, a dva nivoa na vrhu predstavljaju stratosferu. Izlazni se podaci u završnoj obradi (eng. *post-processing*) svrstavaju na izobarne plohe od 30, 100, 200, 300, 500, 700, 850 i 925 hPa.

Model koristi pojednostavljene sheme fizikalnih parametrizacija koje su prilagođene modelu relativno grube rezolucije. U osnovne sheme parametrizacija pripadaju sheme za konvekciju, kondenzaciju na velikoj skali, naoblaku, kratkovalno i dugovalno zračenje, vertikalnu difuziju te površinske tokove energije i količine gibanja. [13]

Pojednostavljena shema toka mase koji simulira konvekciju aktivira se u područjima uvjetne nestabilnosti i područjima gdje vlažnost u atmosferskom graničnom sloju nadmašuje određenu kritičnu vrijednost. Izvlačenje zraka (eng. *detrainment*) dopušteno je samo na nivou gdje se nalazi vrh oblaka, a uvlačenje zraka (eng. *entrainment*) u donjoj polovici troposfere. Pretpostavlja se da je zrak u uzlaznoj struji oblaka (eng. *updraft*) zasićen.

Shema parametrizacije za kondenzaciju na velikoj skali temelji se na iznosu relativne vlažnosti. Kada relativna vlažnost prijeđe kritičnu vrijednost koja ovisi o σ-koordinati, specifična se vlažnost iterativnim postupkom približava odgovarajućoj kritičnoj vrijednosti. Količina latentne topline koja se oduzima od atmosfere u tom postupku pretvara se u suhu statičku energiju.

Naoblaka i debljina sloja oblaka definirani su dijagnostički iz vrijednosti relativne vlažnosti u stupcu zraka koji sadrži sve troposferske slojeve osim atmosferskog graničnog sloja i ukupne količine oborine. Sa stratokumulusima se postupa na temelju statičke stabilnosti atmosferskog graničnog sloja.

Sheme za kratkovalno zračenje koriste dva spektralna pojasa od kojih jedan predstavlja bliski infracrveni dio spektra. Zračenje se reflektira na vrhovima oblaka i blizu površine. Albedo oblaka proporcionalan je ukupnoj naoblaci. Kratkovalne transmitivnosti slojeva modela funkcije su mase sloja, specifične vlažnosti i naoblake.

Sheme dugovalnog zračenja koriste četiri spektralna pojasa od kojih se jedan nalazi u području atmosferskog „prozora“, pojasu valnih duljina u kojima atmosferski plinovi vrše minimalnu apsorpciju. Preostala tri pojasa nalaze se u području apsorpcijskih vrpca vodene pare i ugljikovog dioksida. Za svaki od slojeva unutar četiri pojasa transmitivnosti su definirane kao funkcije mase sloja i vlažnosti. Dugovalno zračenje oblaka uvaženo je kao funkcija naoblake i putem smanjenja transmitivnosti u području atmosferskih „prozora“. Emisija zračenja svakog sloja usmjerena prema dolje računa se kao težinska funkcija temperature u tom sloju i interpolirane temperature na sredini sloja ispod promatranog. Za uzlaznu emisiju koristi se temperatura u promatranom sloju i interpolirana temperatura na polovici sloja iznad.

Površinski tokovi impulsa i energije definirani su *bulk* formulama s različitim koeficijentima razmjene između kopna i mora. Koeficijenti za senzibilne i latentne tokove topline također ovise o jednostavnom indeksu stabilnosti, dok je koeficijent za tok impulsa iznad kopna funkcija visine topografije. Površinska temperatura kopna definira se iz površinske bilance energije.

Shema parametrizacije vertikalne difuzije sastoji se od tri člana, od kojih prvi predstavlja redistribuciju suhe statičke energije i vlažnosti između dva najniža nivoa u modelu, što simulira plitku konvekciju u područjima uvjetne nestabilnosti. Drugi član predstavlja difuziju vodene pare u stabilnim uvjetima i taj je član aktivan u donjoj troposferi, ovisno o vertikalnom profilu relativne vlažnosti. Treći član opisuje difuziju suhe statičke energije ($s = c_p T + gz$) u slučaju da se stopa ohlađivanja atmosfere približava suho-adijabatičkoj granici.

2.2. Metode

Tijekom izrade rada pomoću numeričkog modela SPEEDY provedeno je pet različitih eksperimenata:

- eksperiment Ctrl
- eksperiment Clim
- eksperiment TroAtl
- eksperiment TroPac
- eksperiment Tropics.

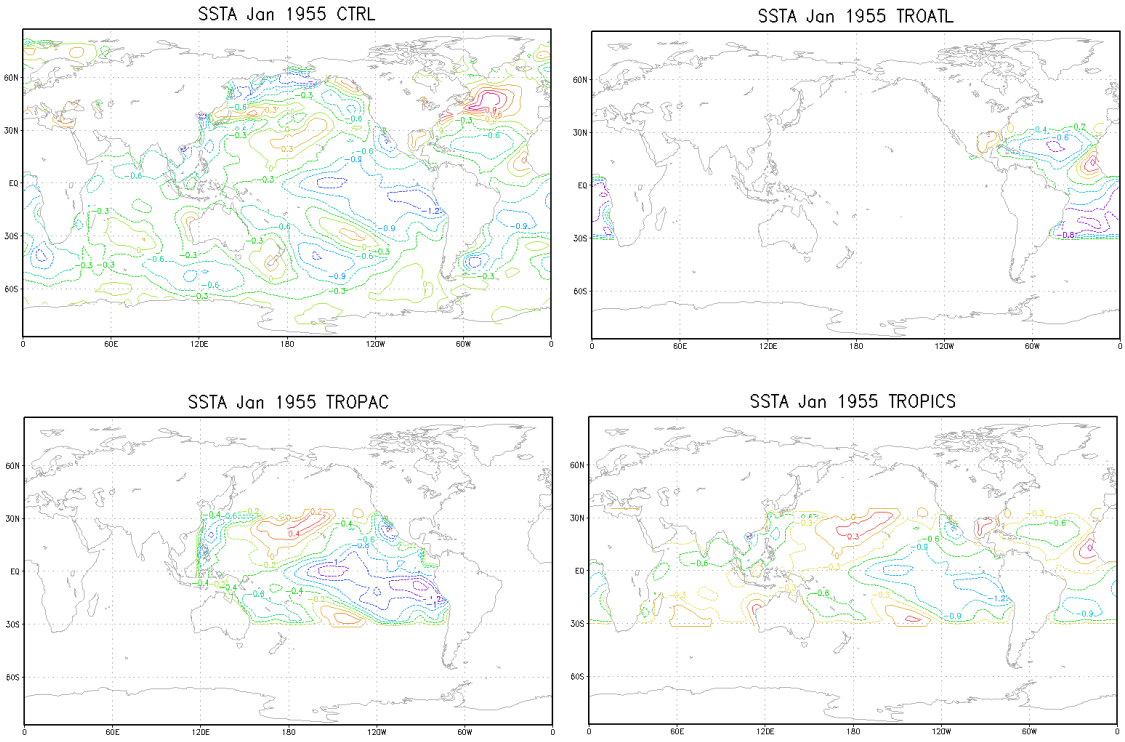
Početni set podataka svakog eksperimenta sastoji se od ansambla s 35 članova AMIP-tipa simulacija. Promatrano vremensko razdoblje traje od 1854. do 2010. godine, ali je prva godina integracije izostavljena zbog stabilizacije modela, pa se analiza provodi od 1855. do 2010. godine. Svaki član ansambla u pojedinom eksperimentu kao donji rubni uvjet ima postavljeno identično polje mjesečnih SST-a, a pojedini se članovi međusobno malo razlikuju u početnim uvjetima.

U postavkama svakog od pet eksperimenata određeno je područje na kojem su zadane SST anomalije (SSTA), dok su u ostatku domene modela zadane klimatološke vrijednosti SST-a. Na taj je način ograničeno područje s prinudnim djelovanjem mora. Unutar kontrolnog eksperimenta Ctrl nalaze se simulacije u kojima je kao donji rubni uvjet postavljeno polje izmjerenih SST-ova od 1854. do 2010. godine za sve oceane. U eksperimentu TroAtl, SSTA su zadane samo u tropskom Atlantiku, a izvan tog područja postavljene su klimatološke vrijednosti SST-a. Anomalije SST-a u eksperimentu TroPac zadane su samo u tropskom Pacifiku, dok su u eksperimentu Tropics SSTA zadane u cijelom tropskom pojasu (od 30° s.g.š. do 30° j.g.š.).

U eksperimentu Clim postavljene su klimatološke vrijednosti SST-a u svim oceanima, dakle to je eksperiment u kojem nema prinudnog djelovanja mora, dakle SSTA su svugdje jednake nuli, a svake se godine ponavlja isti godišnji hod mjesečnih klimatoloških temperatura mora. Na slici 2.1 prikazane su SSTA za siječanj 1955. godine zbog ilustracije područja u kojima su zadržane SSTA u eksperimentima Ctrl, TroAtl, TroPac i Tropics.

Kako bismo ispitali koji se modovi tj. polja sezonskog odziva najučestalije javljaju unutar ansambla simulacija numeričkog modela SPEEDY, najprije su za sve članove ansambla izračunate sezonske anomalije za geopotencijalnu visinu 200 hPa plohe i anomalije za ukupnu oborinu. Zatim je provedena EOF analiza, pa analiza prediktabilnih komponenti prema teorijskoj podlozi opisanoj u uvodnim potpoglavljima.

Prostorno područje na kojem je provedena EOF analiza i analiza prediktabilnih komponenti zadano je od 20° do 80° s.g.š. te od 90° z.g.d. do 60° i.g.d. U analizi prediktabilnih komponenti iskorišteno je prvih 20 EOF polja.



Slika 2.1: SSTA za siječanj 1955. kao ilustracija područja prinudnog djelovnja oceana u provedenim eksperimentima

Za izračun polja sezonskih odziva promatranih parametara odabrane su četiri tromjesečne sezone (JFM, AMJ, JAS i OND) koje predstavljaju četiri godišnja doba i pokrivaju raspon od 12 mjeseci.

2.3. Analiza prediktabilnih komponenti

Zadatak analize prediktabilnih komponenti je pronaći hijerarhiju prostornih uzoraka i pripadnih vremenskih nizova (tzv. prediktabilnih komponenti) tako da se najprije odredi hijerarhija prostornih uzoraka (ili modova). Pomoću vremenskog niza prediktabilnih komponenti računaju se pripadni signal, šum i njihov omjer. Modovi su poredani tako da vodeći mod ima najveći omjer signala i šuma, drugi mod po redu ima drugi najveći omjer signala i šuma itd. Ova analiza koristi informacije o svim članovima ansambla. Matematički pristup je objašnjen u uvodnom potpoglavlju o metodi optimiziranja signala i šuma. [8]

Rezultati EOF analize služe kao ulazni podaci za analizu prediktabilnih komponenti, stoga se najprije u cijelom promatranom vremenskom razdoblju i za sve članove ansambla provodi EOF analiza. Kao rezultat EOF analize dobivaju se bezdimenzionalna polja EOF-a i glavne komponente - dimenzionalni vremenski nizovi. EOF-ovi služe kao ortonormirana baza vektora za N-dimenzionalni prostor, gdje tih N koordinata odgovara svakom od članova ansambla i vremenu koje je zadano glavnim komponentama.

Set Fortran programa sastoji se od UNIX c-shell skripte za izračun prediktabilnih komponenti. Program radi izravno s anomalijama. Svaka od ulaznih datoteka sadrži niz od Ny sezonskih anomalija za svaki od članova ansambla, gdje Ny označava broj godina. Svaki član ansambla ima svoju zasebnu datoteku. Zbog jednostavnosti, program računa s globalnim poljima uz naznačeno područje interesa, određeno pomoću odgovarajućih koordinata mreže.

Područje interesa, broj polja EOF-a koje treba izračunati i broj polja EOF-a koja su uključena u izračun prediktabilnih komponenti određuju se upisivanjem unutar skripte. Prostorna polja povezana s optimalnim modovima koji daju najveći omjer signala i šuma $\mathcal{R}$ (koji je zadan pomoću svojstvenih vrijednosti) i pripadni vremenski nizovi su izlazni podaci programa. Ispisuje se postotak varijance koji je objašnjen svakim od polja EOF-a i akumulirana varijanca.

Program proizvodi podatkovne datoteke izlaznih podataka koje su u formatu prikladnom za vizualizaciju softverskim paketom GrADS. Prostorna polja zapisana su kao globalna polja gdje su sve vrijednosti osim onih u području interesa maskirane pomoću parametra koje GrADS koristi za nedefinirane vrijednosti *(undef)*.

Za pokretanje ovog seta programa potreban je paket za linearnu algebru. Koriste se dva standardna „LAPACK“ potprograma. Potprogram DSYEVX traži svojstvene vrijednosti (λ) i svojstvene vektore ($\mathbf{e}$) simetrične matrice $\boldsymbol{A}$, na primjer:

$$\boldsymbol{A}\boldsymbol{e} = \lambda \boldsymbol{e}. \tag{2.3.1}$$

Potprogram DSYGVX traži generalizirane svojstvene vrijednosti (λ) i svojstvene vektore (**e**) za koje vrijedi:

$$\boldsymbol{Ae} = \lambda \boldsymbol{Be}, \tag{2.3.2}$$

gdje su matrice $\boldsymbol{A}$ i $\boldsymbol{B}$ simetrične.

Oba potprograma računaju set svojstvenih vrijednosti i ortonormiranih svojstvenih vektora. Generalizirane svojstvene vrijednosti daju omjer signala i šuma za svaki mod.

3. Rezultati i rasprava

Rezultati koji su dobiveni numeričkom simulacijom modela opće cirkulacije SPEEDY te provedbom EOF analize i analize prediktabilnih komponenti prikazani su u ovom poglavlju. Napravljena je raspodjela rezultata prema sezonama i promatranom parametru.

Geopotencijalna visina 200 hPa plohe (skraćeno: GH200) i ukupna oborina (RR) su odabrane meteorološke varijable. Promatrano je vremensko razdoblje od 1855. do 2010. godine.

Prema EOF analizi naziv EOF1 se odnosi na prostorno polje kojem pripada najveći udio objašnjene varijance promatrane meteorološke varijable, a EOF2 označava polje kojem pripada drugi po redu najveći postotak objašnjene varijance. Polja EOF1 i EOF2 koja opisuju najveći udio varijance promatranih varijabli su bezdimenzionalne veličine.

Polja EOFOPT dobivena su analizom prediktabilnih komponenti i predstavljaju prostorni raspored polja s optimiziranim omjerom signala i šuma na promatranom području (tzv. optimizirana polja). Polja EOFOPT imaju dimenzije originalnih polja promatranih meteoroloških varijabli.

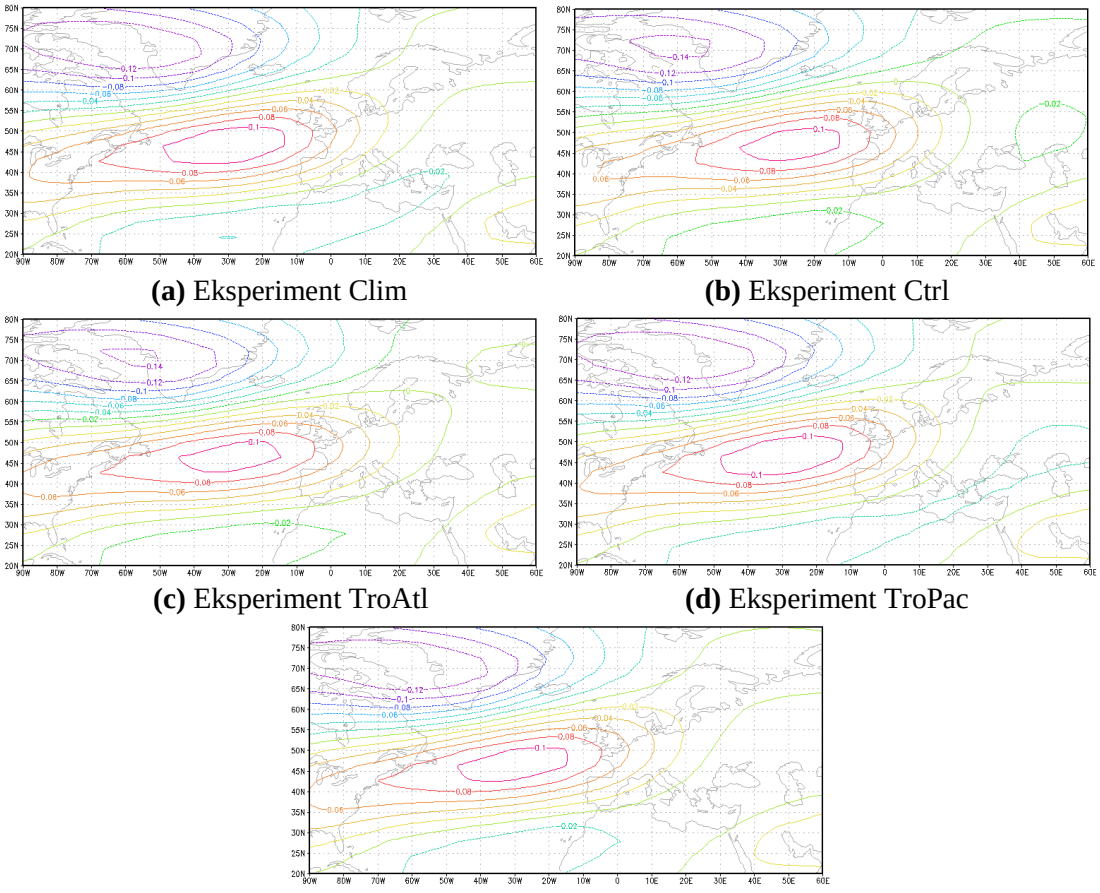
U svim su sezonama izolinije za vodeća EOF polja od GH200 nacrtane s korakom 0.02, a za polje EOFOPT odabran je korak od 1.5 m. Za ukupnu oborinu izolinije polja EOF1 i EOF2 nacrtane su svakih 0.03, a za polje EOFOPT svakih 0.05 mm/dan.

3.1. Sezona JFM

Sezona JFM predstavlja zimsko tromjesečno razdoblje, od siječnja do ožujka.

Geopotencijalna visina

Na slici 3.1 (a) prikazano je vodeće EOF polje za GH200 za eksperiment Clim. Ovo EOF1 polje objašnjava 33.5 % varijance. Vidljiva su dva akcijska centra, jedan iznad sjevernog Atlantika sa središtem oko 45° s.g.š. te drugi sa središtem na 70° s.g.š., između Grenlanda i Sjeverne Amerike. Izolinije geopotencijalne visine gusto su raspoređene između dvaju centara u sjevernom Atlantskom oceanu.



(a) Eksperiment Clim **(b)** Eksperiment Ctrl

(c) Eksperiment TroAtl **(d)** Eksperiment TroPac

(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.1: Polje EOF1 za GH200 u sezoni JFM

Polje EOF1 za eksperiment Ctrl koje objašnjava 31.6 % varijance od GH200 u ovoj sezoni prikazano na slici 3.1 (b). sličnog je izgleda kao i ono za Clim eksperiment. Postoje dva akcijska centra, iznad sjevernog Atlantika te između Grenlanda i Sjeverne Amerike. Amplituda tog drugog centra za 0.02 veća nego u eksperimentu Clim i vidimo da je njegovo središte iznad Baffinovog zaljeva. U odnosu na Clim eksperiment, javlja se i slab odziv sjeverno od Kaspijskog jezera.

Na slici 3.1 (c) nalazi se polje EOF1 za eksperiment TroAtl koje je skoro jednako EOF1 polju kontrolnog eksperimenta, uz izostanak odziva sjeverno od Kaspijskog jezera. Ovo polje opisuje 30.9 % varijabilnosti promatranog parametra.

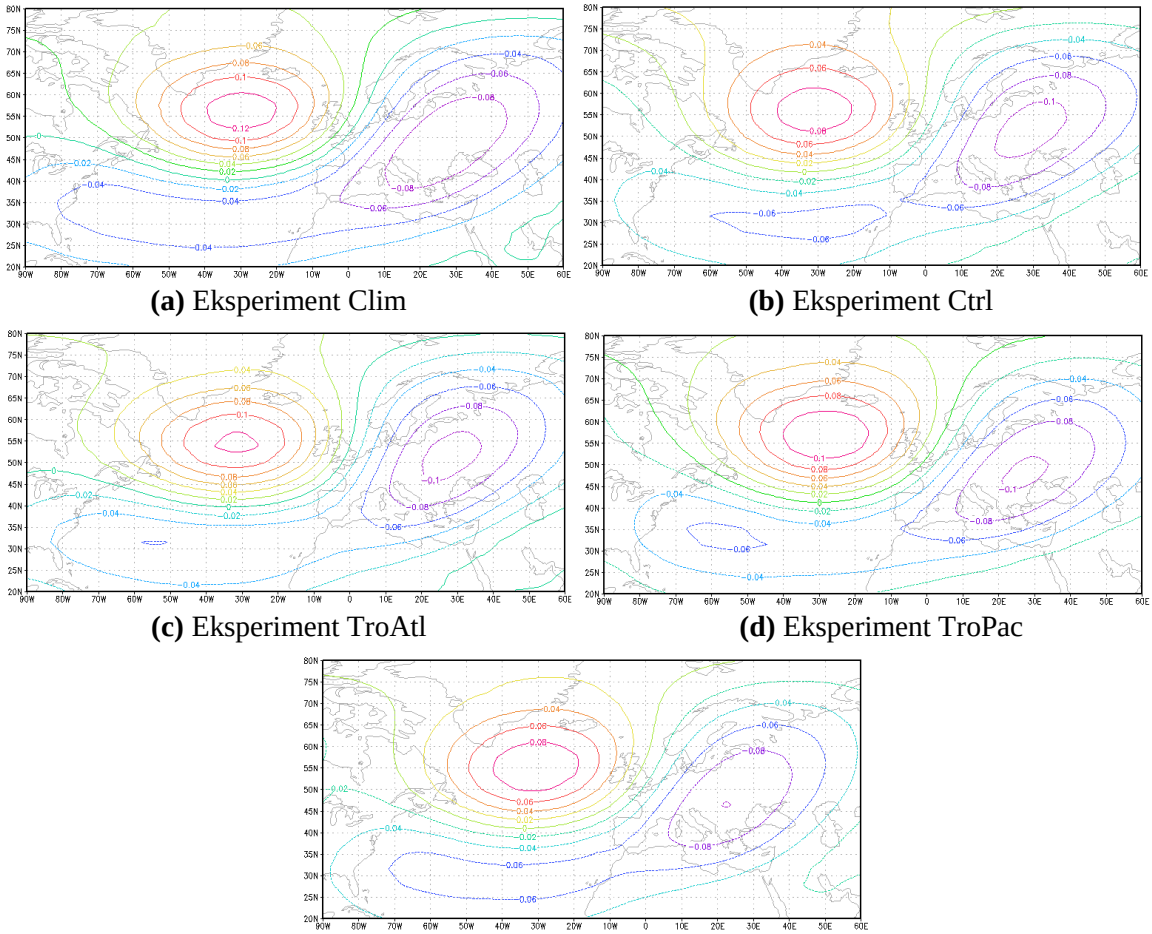
Amplitude i položaj glavnih akcijskih centara polja EOF1 za eksperimente TroPac i Tropics, koje vidimo na slikama 3.1 (d) i 3.1 (e), gotovo sasvim odgovaraju polju iz eksperimenta Clim. Jedine uočljive razlike su izduženi oblik izolinije -0.02 tako da uključuje područje južnog dijela Crnog mora i sjeverni dio Kaspijskog jezera za TroPac eksperiment, te skraćeni oblik iste izolinije za Tropics eksperiment, tako da obuhvaća manji dio sjeverozapadne Afrike. Polje EOF1 za TroPac eksperiment opisuje 31.8 % varijance, a EOF1 polje za Tropics eksperiment 30.2 %.

Na temelju prikazanih slika za odgovarajuća polja EOF1 dobivena pojedinim eksperimentima, uočavamo da ne postoji značajna razlika u njihovom prostornom izgledu. Postotak varijance koji je opisan prvim EOF modom donekle se razlikuje između pojedinih eksperimenata i to tako da je najveći za Clim (33.5 %), a najmanji za Tropics (30.2 %).

Na slici 3.2 (a) prikazano je polje EOF2 za eksperiment Clim. Ovo polje objašnjava 15.2 % varijance. Izražena su dva glavna akcijska centra. Prvi, koji ima veću amplitudu, nalazi se u sjevernom Atlantiku, sa središtem između 55° i 60° s.g.š. te 20° i 40° z.g.d. Drugo područje povećane gustoće izolinija ima središte koje se prostire od Apeninskog poluotoka, preko zapadnog dijela Crnog mora do ruba Skandinavskog poluotoka na sjeveroistoku.

Polje EOF2 za eksperiment Ctrl nalazi se na slici 3.2 (b). To polje opisuje 17.4 % varijance, a po rasporedu i amplitudi izolinija slično je prethodno opisanom polju za eksperiment Clim. Vidljiva su dva glavna akcijska centra, jedan iznad sjevernog Atlantika, koji ovdje ima nešto manju amplitudu, te drugi iznad euroazijskog kopna. Unutar tog drugog akcijskog centra javlja se novi maksimum sa središtem sjeverno od Crnog mora, između 40° i 60° s.g.š. te 20° i 40° i.g.d. U Atlantskom oceanu pojavljuje se novo područje povećane amplitude koje se proteže između 25° i 35° s.g.š. te 10° i 60° z.g.d.

Na slici 3.2 (c) prikazano je polje EOF2 za eksperiment TroAtl koje objašnjava 17.2 % varijance promatranog parametra. Kao i dva prethodno opisana eksperimenta, vidljiva su dva glavna akcijska centra, jedan veće amplitude iznad sjevernog Atlantika i drugi, s manjom amplitudom, iznad Euroazijskog kontinenta. U usporedbi s eksperimentom Clim, ovaj akcijski centar nad kopnom ima veću amplitudu, sa središtem između 45° i 55° s.g.š. te 20° i 35° i.g.d. Javlja se i manji maksimum u Atlantskom oceanu oko 30° s.g.š. te 50° i 60° z.g.d.



(a) Eksperiment Clim **(b)** Eksperiment Ctrl

(c) Eksperiment TroAtl **(d)** Eksperiment TroPac

(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.2: Polje EOF2 za GH200 u sezoni JFM

Polje EOF2 za eksperiment TroPac prikazano je na slici 3.2 (d). Ovo polje opisuje 18.0 % varijance od GH200. Usporedimo li ovo polje s pripadnim EOF2 iz eksperimenta Clim možemo vidjeti da akcijski centar nad sjevernim dijelom Atlantskog oceana ima manju amplitudu, ali je njegov položaj nepromijenjen. Drugi akcijski centar nad Euroazijskim kontinentom ima povećanu amplitudu sa središtem između 45° i 50° s.g.š. te 20° i 35° i.g.d. Područje povećane amplitude u Atlantiku, koje je bilo prisutno i u TroAtl eksperimentu, ovdje se nalazi između 30° i 35° s.g.š. te 45° i 65° z.g.d.

Za eksperiment Tropics polje EOF2 nalazi se na slici 3.2 (e). Vidljiva su dva akcijska centra. Prvi u sjevernom Atlantiku, koji u usporedbi s eksperimentom Clim ima manju amplitudu. Drugi akcijski centar nalazi se iznad Euroazije i sjevernog dijela Afrike, s time da se u ovom eksperimentu javlja novi maksimum oko 45° s.g.š. i 25° i.g.d. Atlantski ocean između 25° i 50° s.g.š. također pripada području povećane gustoće izolinija. Ovo polje EOF2 objašnjava 18.3 % varijance.

Ovi rezultati pokazuju da se ni drugi EOF mod ne razlikuje bitno između eksperimenata, slično kao što je pokazano za mod EOF1. Prostorna polja su vrlo slična, nema značajnog pomaka akcijskih centara, a razlike u amplitudama su relativno male. Postotak varijance opisan drugim modom najmanji je za eksperiment Clim (15.5 %), a najveći za Tropics (18.3 %).

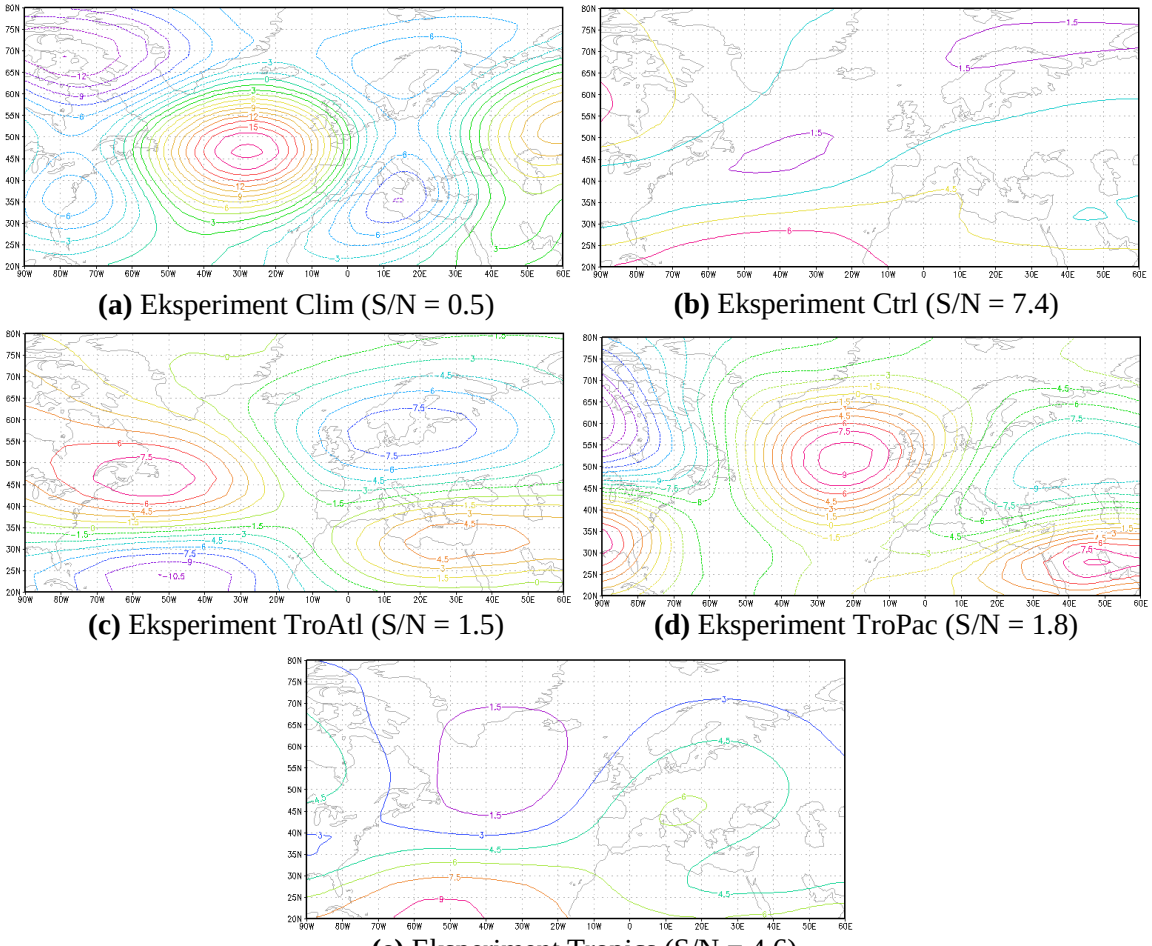
Međutim, usporedi li se postotak varijance prvog i drugog moda za pojedine eksperimente, uočava se da je za prvi mod najveći postotak dobiven za eksperiment Clim (dakle za eksperiment bez forsiranja na donjoj granici), a najmanji za Tropics. Za drugi mod situacija je obrnuta, najveći udio varijance opisan je upravo u eksperimentu Tropics, a najmanji u eksperimentu Clim (tablica 3.1).

Tablica 3.1: Postotak varijance opisan prvim (EOF1) i drugim (EOF2) modom za JFM GH200

Eksperiment	EOF1 Var (%)	EOF2 Var (%)
Clim	33.5	15.2
Ctrl	31.6	17.4
TroAtl	30.9	17.2
TroPac	31.8	18.0
Tropics	30.2	18.3

Dakle, rezultati pokazuju da je prostorni oblik polja za EOF1 isti za sve eksperimente, ali se postotak varijance opisan tim modom donekle mijenja ovisno o postavkama eksperimenata. Isto vrijedi i za EOF2, ali s tom razlikom da je postotak varijance opisan tim modom najveći za Tropics, a najmanji za Clim eksperiment (tablica 3.1). Ovaj rezultat ukazuje na to da prostorna raspodjela varijabilnosti GH200 ne ovisi značajno o prinudnom djelovanju mora, ali je učestalost pojavljivanja odgovarajućeg moda modificirana tim djelovanjem. Tako je dominantno polje klimatske varijabilnosti u području Europe i Atlantika (EOF1) jednako za sve eksperimente, ali je njegova učestalost donekle prigušena prinudnim djelovanjem mora i ovisi o tome koji je dio svjetskog mora aktivan (najveći utjecaj ima cijeli tropski pojas, što je vidljivo iz rezultata za eksperiment Tropics). Drugi mod klimatske varijabilnosti (EOF2) također ima oblik koji se bitno ne mijenja s postavkama eksperimenata, ali izgleda da se postotak varijance opisane tim modom povećava kad je uključeno forsiranje morem. Najveći doprinos dobiva se kad je uvaženo djelovanje cijelog tropskog pojasa (eksperiment Tropics).

Na slici 3.3 (a) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Clim. Izolinije su nacrtane s korakom od 1.5 m, kao i kod ostalih EOFOPT polja, ali je zbog njihove gustoće brojem označena svaka druga izolinija. U ovom polju koje prikazuje polje s optimiziranim omjerom signala i šuma vidljivo je šest akcijskih središta različitih amplituda. Prostorno najveći centar koji ujedno ima i najveću amplitudu nalazi se iznad Atlantskog oceana, sa središtem oko 45° s.g.š., između 25° i 35° z.g.d. Taj najveći akcijski centar okružen je s četiri manja. Od tih četiri, jedan se nalazi nad polarnim predjelima Sjeverne Amerike, sa središtem iznad Baffinove zemlje. Drugi je smješten iznad istočne obale Sjeverne Amerike, a treći koji ima jednaku amplitudu iznad Skandinavskog poluotoka. Četvrti od tih manjih akcijskih središta nalazi se iznad Sredozemnog mora i sjeverne Afrike. Na desnom rubu domene, iznad Azije, nalazi se još jedan veći akcijski centar, čije je središte izvan promatranog područja.



(a) Eksperiment Clim (S/N = 0.5)

(b) Eksperiment Ctrl (S/N = 7.4)

(c) Eksperiment TroAtl (S/N = 1.5)

(d) Eksperiment TroPac (S/N = 1.8)

(e) Eksperiment Tropics (S/N = 4.6)

Slika 3.3: Polje EOFOPT za GH200 u sezoni JFM i pripadajući omjer signala i šuma (S/N)

Polje EOFOPT za eksperiment Ctrl prikazano je na slici 3.3 (b). Jedan akcijski centar nalazi se iznad Atlantskog oceana, prekrivajući površinu između 40° i 50° s.g.š. te 25° i 55° z.g.d. Drugi akcijski centar jednake amplitude smješten je u polarnom području sjeverno od Euroazije, od 65° do 75° s.g.š. te od 5° do 60° i.g.d. Treći i prostorno najmanji akcijski centar nalazi se na Bliskom istoku, između 30° i 35° s.g.š. te 40° i 50° i.g.d. Na lijevom rubu domene, iznad najsjevernijeg dijela Sjeverne Amerike nazire se još jedno područje povećane gustoće izolinija čije se središte nalazi izvan promatranog područja. U pojasu između 20° i 40° s.g.š. izolinije su paralelne i zonalno položene.

Za eksperiment TroAtl polje EOFOPT s četiri izražena akcijska centra prikazano je na slici 3.3 (c). Akcijsko središte najveće amplitude nalazi se iznad Atlantskog oceana oko 25° s.g.š. i 50° z.g.d. Sjeverno od tog centra nalazi se drugi s manjom amplitudom, čije je središte smješteno između 45° i 50° s.g.š. te 45° i 70° z.g.d. Sljedeće područje povećane gustoće izolinija, jednake amplitude kao i prethodno, obuhvaća prostor iznad Islanda i sjeverni dio Euroazije, sa središtem koje se proteže od 50° do 65° s.g.š. te od 0° do 35° i.g.d. Četvrti akcijski centar s najmanjom amplitudom , nalazi se iznad sjeverozapadne Afrike i Arapskog poluotoka, a njegovo je središte između 30° i 35° s.g.š. te 15° i 50° i.g.d.

Na slici 3.3 (d) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment TroPac. Ovo je polje donekle slično onom za Clim (posebno se ističe akcijski centar nad Atlantikom). U promatranom području vidljivo je pet područja povećane gustoće izolinija. Središnje i prostorno najveće takvo područje nalazi se iznad Atlantika, sa središtem između 50° i 55° s.g.š. te 15° i 30° z.g.d. Drugi akcijski centar smješten je iznad euroazijskog kopna, sa središtem koje obuhvaća područje od 45° do 60° s.g.š. te od 25° do 60° z.g.d. Južno od tog akcijskog centra nalazi se još jedan čije je središte iznad Arapskog poluotoka oko 30° s.g.š., od 45° do 50° i.g.d. Sva tri do sada opisana akcijska centra imaju središnje izolinije jednakog apsolutnog iznosa. Posljednja dva akcijska središta nalaze na lijevom rubu domene, jedno iznad najsjevernijih predjela Sjeverne Amerike, a drugo iznad južne polovice istog kontinenta, protežući se nad Meksički zaljev i Zapadno indijsko otočje.

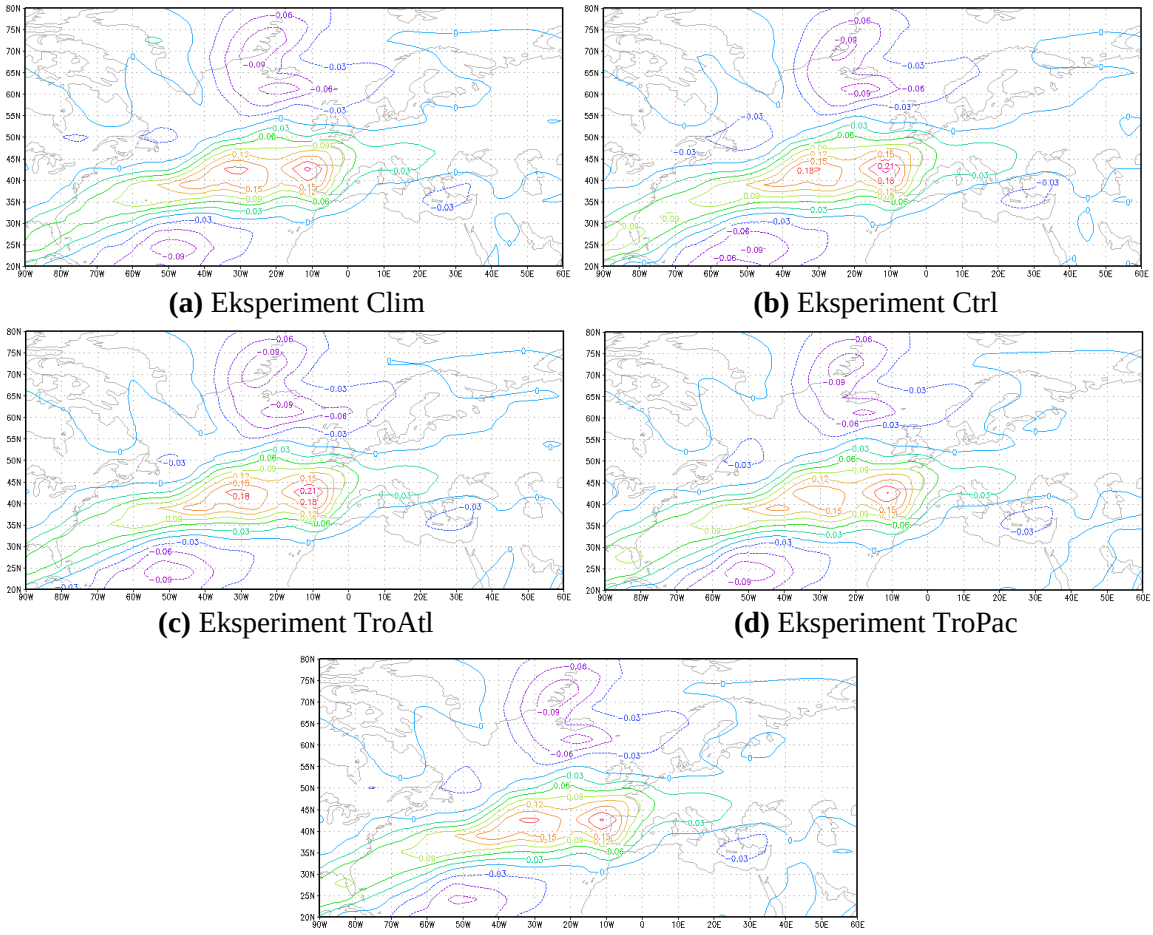
Polje EOFOPT za eksperiment Tropics prikazano je na slici 3.3 (e). U usporedbi s eksperimentima Clim, TroPac i TroAtl smanjena je gustoća izolinija na cijelom promatranom području. Središnji akcijski centar koji zauzima najveću površinu, ali ima i najmanju amplitudu, nalazi se nad sjevernim Atlantikom te obuhvaća dio južnog Grenlanda i zapadnu polovicu Islanda. Drugi akcijski centar koji zauzima veliko područje iznad Euroazije i sjeveroistočne Afrike ima svoje središte između 45° i 50° s.g.š. te 10° i 20° i.g.d. Akcijski centar najveće amplitude smješten je iznad Atlantskog oceana na donjem dijelu domene, s vidljivim dijelom svog središta između 20° i 25° s.g.š. te 40° i 65° z.g.d. Na lijevom rubu domene naziru se još dva potencijalna akcijska središta nad sjevernoameričkim kopnom.

Rezultati pokazuju da se polja EOFOPT značajno razlikuju između svih pet eksperimenata. Različiti su položaji akcijskih središta, gustoća izolinija i njihova amplituda. Najveći omjer signala i šuma (S/N) dobiven je za Ctrl eksperiment, a najmanji omjer za Clim eksperiment. Iz toga slijedi da prinudno djelovanje mora utječe na odnos signala i šuma tako da se njihov omjer u promatranoj sezoni povećava s povećanjem područja u kojem je uključeno forsiranje na donjoj granici modela u obliku SST anomalija.

Nakon opisa svih polja za GH200 u JFM sezoni, možemo vidjeti da je prostorni izgled polja EOF1 (slika 3.1) sličan za sve eksperimente, a to vrijedi i za EOF2 (slika 3.2). Ovaj rezultat ukazuje na to da međugodišnja varijabilnost prostorne raspodjele GH200 u ovoj sezoni ne ovisi značajno o prinudnom djelovanju oceana. Međutim, postotak varijance objašnjen tim modovima se razlikuje među eksperimentima, što ukazuje na to da prinudno djelovanje oceana utječe na učestalost pojavljivanja određene prostorne raspodjele promatrane varijable. S druge strane, optimizirana polja EOFOPT (slika 3.3) značajno se razlikuju između svih pet eksperimenata, a to nam pokazuje da prinudno djelovanje mora utječe na njih. Posebno, ako uzmemo u obzir navedene omjere signala i šuma, uočava se da je najveći omjer dobiven upravo za eksperiment koji uvažava prinudno djelovanje svih mora (Ctrl eksperiment; S/N = 7.4), a omjer S/N se smanjuje kako se smanjuje i površina mora koja forsira atmosferu. Tako je najmanji omjer signala i šuma dobiven za Clim eksperiment (S/N = 0.5). Iz toga slijedi da je u tom eksperimentu signal bitno manji od unutrašnje atmosferske promjenjivosti (tj. šuma). Posljedično, takvi procesi nisu prediktabilni. Usporedimo li to s TroAtl eksperimentom, koji uključuje prinudno djelovanje mora samo u dijelu tropskog Atlantika, dobivamo omjer signala i šuma veći od jedinice, a to ukazuje na potencijalnu prediktabilnost.

Ukupna oborina

Na slici 3.4 (a) prikazano je polje EOF1 za Clim eksperiment koje opisuje 32.7 % varijance. Na sredini promatranog područja, iznad Atlantika, nalazi se veliki akcijski centar koji ima dva središta između 40° i 45° s.g.š. Prvo je smješteno oko 30° z.g.d., a drugo oko 10° z.g.d. Južno od tog područja postoji drugi akcijski centar, sa središtem oko 25° s.g.š. te između 45° i 55° z.g.d. Zona povećane gustoće izolinija koja obuhvaća Island i dio Grenlanda ima svoje središte oko 60° s.g.š. te između 15° i 25° z.g.d. Postoje i tri akcijska centra s manjom amplitudom: jedan u Sredozemnom moru (oko 35° s.g.š.), drugi u sjevernom Atlantiku (oko 50° s.g.š.) i treći na području Sjeverne Amerike (oko 50° s.g.š.).



(a) Eksperiment Clim

(b) Eksperiment Ctrl

(c) Eksperiment TroAtl

(d) Eksperiment TroPac

(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.4: Polje EOF1 za RR u sezoni JFM

Na slici 3.4 (b) prikazano je vodeće EOF polje za eksperiment Ctrl koje opisuje 30.7 % varijance ukupne oborine u sezoni JFM. Akcijski centar središtu domene na prostoru Atlantika ima dva središta u pojasu između 40° i 45° s.g.š. Prvo je smješteno oko 30° z.g.d., a drugo oko 10° z.g.d. Južno od tog područja postoji drugi akcijski centar, sa središtem oko 25° s.g.š. te između 45° i 50° z.g.d. Zona povećane gustoće izolinija koja obuhvaća Island i dio Grenlanda ima svoje središte oko 60° s.g.š. te između 15° i 25° z.g.d. Dva akcijska centra s manjom amplitudom nalaze se u Sredozemnom moru (oko 35° s.g.š.) i u sjevernom Atlantiku (oko 50° s.g.š.).

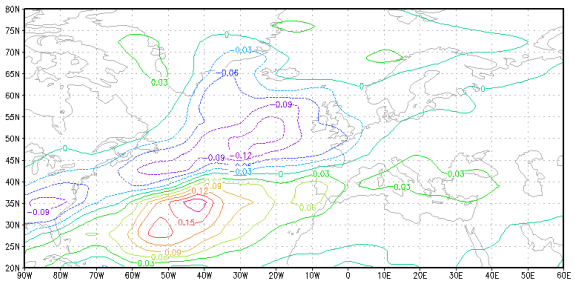
Na slici 3.4 (c) prikazano je polje EOF1 za TroAtl eksperiment, koje opisuje 28.3 % varijance od JFM RR. Na sredini promatranog područja, iznad Atlantika, nalazi se akcijski centar s dva središta između 40° i 45° s.g.š. Prvo se središte nalazi oko 10° z.g.d., a drugo oko 30° z.g.d. Jugozapadno od tog područja nalazi se drugi akcijski centar, sa središtem oko 25° s.g.š. i 50° z.g.d. Postoje i dva akcijska centra s manjom amplitudom: prvi u Sredozemnom moru (oko 35°- 40° s.g.š.) te drugi na sjeveru Atlantika (50° s.g.š. i 50° z.g.d.). Posljednje područje povećane gustoće izolinija obuhvaća Island i dio Grenlanda, a ima dva središta jednake amplitude. Prvo je smješteno oko 60° s.g.š. te između 15° i 25° z.g.d., a drugo između 65° i 75° s.g.š. te između 20° i 30° z.g.d.

Vodeće EOF polje za eksperiment TroPac prikazano je na slici 3.4 (d). Ovo polje objašnjava 32.2 % varijance. Slično kao u prethodno promatranim eksperimentima i ovdje postoji akcijski centar na sredini domene, s tri središta u pojasu između 40° i 45° s.g.š. Prvo je središte smješteno oko 10° z.g.d., drugo oko 30° z.g.d., a treće oko 40° z.g.d. Drugi akcijski centar nalazi se južno od prvog, sa središtem oko 25° s.g.š. te između 45° i 55° z.g.d. Zona povećane gustoće izolinija koja obuhvaća Island i dio Grenlanda ima svoje središte oko 60° s.g.š. i 20° z.g.d. Dva akcijska centra s manjom amplitudom nalaze se u Sredozemnom moru (oko 40° s.g.š.) i u sjevernom Atlantiku (između 50° i 55° s.g.š.).

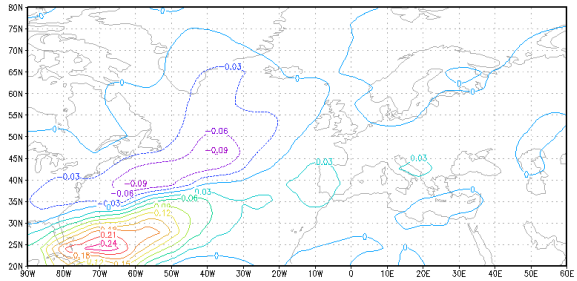
Polje EOF1 za eksperiment Tropics, koje opisuje 30.6 % varijance, prikazano je na slici 3.4 (e). Na sredini promatranog područja, iznad Atlantika, nalazi se akcijski centar s dva središta između 40° i 45° s.g.š. Prvo se središte nalazi oko 10° z.g.d., a drugo oko 30° z.g.d. Južno od tog područja nalazi se drugi akcijski centar, sa središtem oko 25° s.g.š. i 50° z.g.d. Postoje i dva akcijska centra s manjom amplitudom: jedan u Sredozemnom moru (oko 35° s.g.š.) i drugi na sjeveru Atlantskog oceana (između 50° i 55° s.g.š.). Posljednje područje povećane gustoće izolinija obuhvaća Island i dio Grenlanda, a ima svoje središte oko 60° s.g.š. te između 15° i 20° z.g.d.

Na temelju prikazanih slika za odgovarajuća polja EOF1 dobivena pojedinim eksperimentima, uočavamo da ne postoji značajna razlika u njihovom prostornom izgledu. Postotak varijance koji je opisan prvim EOF modom razlikuje se između eksperimenata, tako da je najveći za eksperiment Clim (32.7 %), a najmanji za TroAtl (28.3 %). Udio varijance ukupne oborine opisan pojedinim EOF poljima dan je u tablici 3.2.

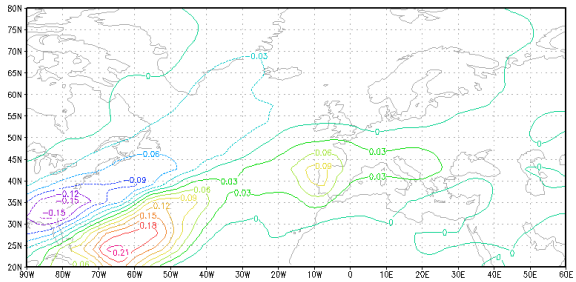
Polje EOF2 za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.5 (a). Vidljiva su tri glavna područja povećane gustoće izolinija. Prvi akcijski centar ima središte u Sjevernoj Americi (35° s.g.š., od 80° do 90° z.g.d.), drugom je središte nad Atlantikom (između 45° i 60° s.g.š. i između 20° i 30° z.g.d.). Treći akcijski centar nalazi se na području Atlantskog oceana, a ima dva središta (30° s.g.š. i 55° z.g.d. te 35° s.g.š. i 40° z.g.d.). Postoje i manji akcijski centri na području zapadnog Grenlanda (između 65° i 75° s.g.š. i između 50° i 65° z.g.d.), istočno od Grenlanda (75° s.g.š., od 10° do 20° z.g.d.), zapadno od Skandinavskog poluotoka (70° s.g.š., od 5° do 15° i.g.d.), zapadno od Pirinejskog poluotoka (35°- 40° s.g.š., od 5° do 15° z.g.d.) i na Sredozemlju (između 35° i 45° s.g.š. te između 5° i 40° i.g.d.). Ovo polje objašnjava 10.4 % varijance.



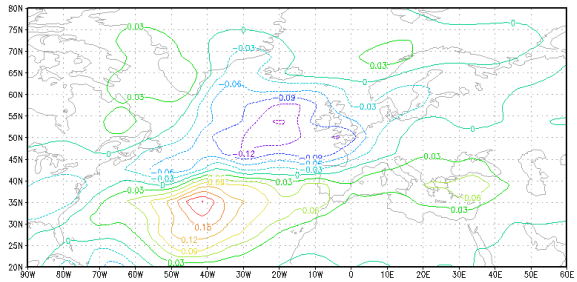
(a) Eksperiment Clim



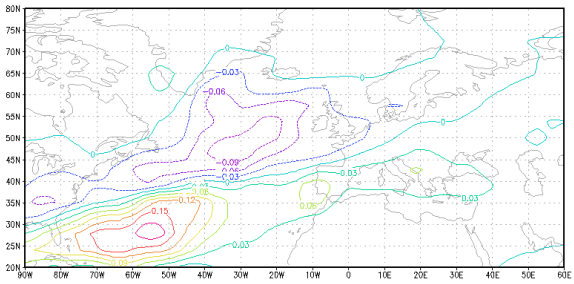
(b) Eksperiment Ctrl



(c) Eksperiment TroAtl



(d) Eksperiment TroPac



(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.5: Polje EOF2 za RR u JFM sezoni

Za eksperiment Ctrl polje EOF2 prikazano je na slici 3.5 (b). To polje opisuje 11.6 % varijance ukupne oborine. Akcijski centar najveće amplitude nalazi se na području Atlantika sa središtem oko 25° s.g.š. i između 65° i 75° z.g.d. Drugi akcijski centar na Atlantskom oceanu smješten je između 35° i 50° s.g.š. te između 30° i 65° z.g.d. Dva amplitudom manja akcijska centra, jedan na zapadu Pirinejskog poluotoka (između 35° i 45° s.g.š. i između 5° i 15° z.g.d.) te drugi u jugoistočnoj Europi (između 40° i 45° s.g.š. i između 15° i 20° i.g.d.).

Na slici 3.5 (c) prikazano je polje EOF2 za eksperiment TroAtl koje opisuje 11.0 % varijance. Akcijski centar najveće amplitude nalazi se iznad Atlantika, sa središtem oko 25° s.g.š. i 65° z.g.d. Središte drugog akcijskog centra smješteno je nad Sjevernom Amerikom, između 30° i 35° s.g.š. te oko 80° z.g.d. Treći i posljednji akcijski centar na promatranom području nalazi se na području iznad zapadne obale Pirinejskog poluotoka, sa središtem između 40° i 45° s.g.š. te oko 10° z.g.d.

Na slici 3.5 (d) prikazano je polje EOF2 za eksperiment TroPac. Dva glavna akcijska centra nalaze se na području Atlantskog oceana, prvo sa središtem oko 35° s.g.š. i između 40° i 45° z.g.d., a drugo sa središtem blizu 55° s.g.š. i 20° z.g.d. Postoje i manji akcijski centri između Grenlanda i Sjeverne Amerike, sjeverno od Skandinavskog poluotoka te na području Male Azije. Ovo polje opisuje 11.3 % varijance.

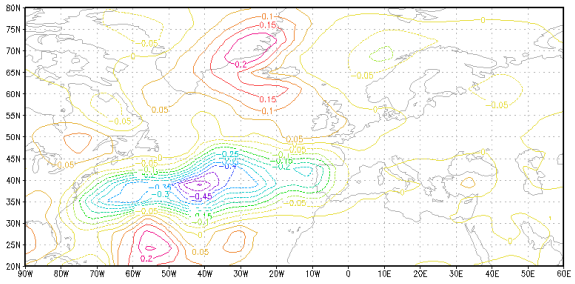
Na slici 3.5 (e) prikazano je polje EOF2 za eksperiment Tropics. Akcijski centar nad Atlantskim oceanom sa središtem oko 30° s.g.š. i 55° z.g.d. ima najveću amplitudu. Drugi akcijski centar nad Atlantikom ima središte između 45° i 55° s.g.š. i između 20° i 40° z.g.d. Jedan akcijski centar smješten je na području Sjeverne Amerike, na 35° s.g.š. i 85° z.g.d. Manji akcijski centri nalaze se na zapadnom Grenlandu (između 60° i 65° s.g.š. i između 50° i 55° z.g.d.), zapadno od Pirinejskog poluotoka (od 35° i 40° s.g.š. i između 5° i 15° z.g.d.), u jugoistočnoj Europi (blizu 45° s.g.š. i 20° i.g.d.) te na Skandinavskom poluotoku (blizu 55° s.g.š. i 15° i.g.d.). Ovo polje opisuje 11.4% varijance.

Tablica 3.2: Postotak varijance opisan prvim (EOF1) i drugim (EOF2) modom za JFM RR

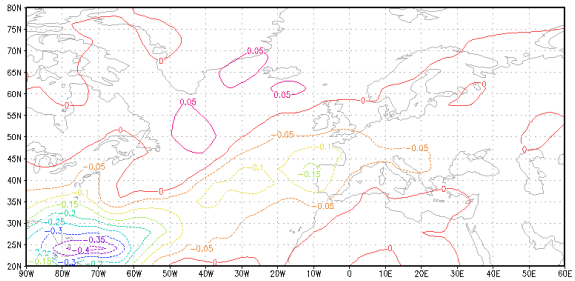
Eksperiment	EOF1 Var (%)	EOF2 Var (%)
Clim	32.7	10.4
Ctrl	30.7	11.6
TroAtl	28.3	11.0
TroPac	32.2	11.3
Tropics	30.6	11.4

Rezultati pokazuju da nema značajnih odstupanja u izgledu polja EOF2, osim za TroAtl eksperiment kod kojeg je izostao akcijski centar oko 50° s.g.š. u Atlantiku. Najmanji postotak varijance opisan EOF2 poljem je 10.4 % za eksperiment Clim, a najveći je 11.6 % za eksperiment Ctrl.

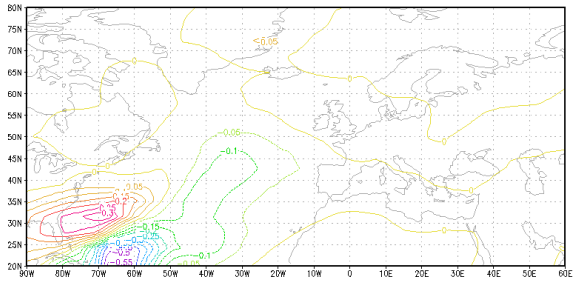
Polje EOFOPT za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.6 (a). Akcijski centar s najvećom amplitudom po apsolutnom iznosu ima svoje središte na području Atlantika, na 40° s.g.š. i 40° z.g.d. Na prostoru Atlantskog oceana postoje još dva manja akcijska centra, sa središtima oko 25° s.g.š. i 55° z.g.d. te 25°- 30° s.g.š. i 35° z.g.d. Na sjeveroistoku Sjeverne Amerike dva akcijska centra manje amplitude imaju središta oko 50° s.g.š. i 75° z.g.d. te 55°- 60° s.g.š. i 65° z.g.d. Na području Grenlanda nalaze se dva akcijska centra, prvi od 70° do 80° s.g.š. i 55° - 70° z.g.d., a drugi 65°- 75° s.g.š. i 20°- 35° z.g.d. Akcijski centar sjeverno od Skandinavskog poluotoka ima središte na 70° s.g.š i 10° i.g.d. Južno od Crnog mora postoji manji akcijski centar, na 40° s.g.š. i 35° i.g.d. Posljednji akcijski centar unutar promatranog područja nalazi se između 55° i 65° s.g.š. te od 35° do 45° i.g.d.



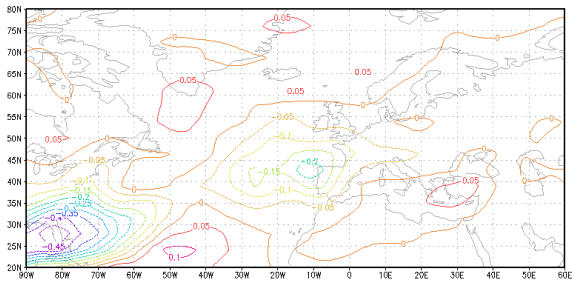
(a) Eksperiment Clim (S/N = 0.5)



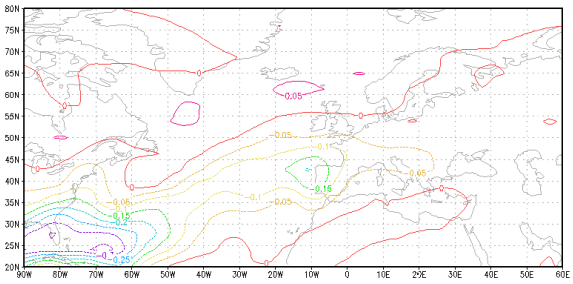
(b) Eksperiment Ctrl (S/N = 3.2)



(c) Eksperiment TroAtl (S/N = 1.0)



(d) Eksperiment TroPac (S/N = 2.8)



(e) Eksperiment Tropics (S/N = 2.5)

Slika 3.6: Polje EOFOPT za RR u sezoni JFM i pripadajući omjer signala i šuma (S/N)

Na slici 3.6 (b) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Ctrl. Područje najveće gustoće izolinija nalazi se nad Atlantikom, sa središtem oko 25° s.g.š. između 70° i 80° z.g.d. Na prostoru Atlantskog oceana postoji drugi akcijski centar čije je središte smješteno blizu 45° s.g.š. i 10° z.g.d. Akcijski centri manje amplitude nalaze se između 45° i 55° s.g.š. i 40°- 50° z.g.d., drugi između 60° i 70° s.g.š., od 25° do 35° z.g.d. te treći oko 60° s.g.š. i 15°- 20° z.g.d.

Na slici 3.6 (c) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment TroAtl. Akcijski centar s najvećom amplitudom po apsolutnom iznosu nalazi se na području Atlantika i ima svoje središte između 20° i 25° s.g.š., od 60° do 70° z.g.d. Iduće područje povećane gustoće izolinija također se nalazi na području Atlantskog oceana, sa središtem oko 30° s.g.š. i od 65° do 75° z.g.d. Još jedan akcijski centar manje amplitude (0.05) nalazi se na istoku Grenlanda, između 70° i 75° s.g.š. i 25° z.g.d.

Za eksperiment TroPac polje EOFOPT prikazano je na slici 3.6 (d). Akcijski centar s najvećom amplitudom po apsolutnom iznosu ima svoje središte između 25° i 30° s.g.š., oko 85° z.g.d. Iduće područje povećane gustoće izolinija nalazi se zapadno od Pirinejskog poluotoka, sa središtem između 40° i 45° s.g.š. te oko 10° z.g.d. Akcijski centri manje amplitude nalaze se na području Male Azije (35°- 40° s.g.š. i 20°- 45° i.g.d.), južnog Grenlanda (50°- 65° s.g.š. i 40°-55° z.g.d.), istočnog Grenlanda (75° s.g.š. i 10°- 25° z.g.d.), suptropskog Atlantika (25° s.g.š. i 45°- 50° z.g.d.) i Sjeverne Amerike (50° s.g.š. i 80° z.g.d.).

Na slici 3.6 (e) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Tropics. Akcijski centar najveće amplitude po apsolutnom iznosu ima središte smješteno na 25° s.g.š., oko 70° z.g.d. Iduće područje povećane gustoće izolinija nalazi se zapadno od Pirinejskog poluotoka, sa središtem blizu 45° s.g.š. i 10° z.g.d. Akcijski centri manje amplitude nalaze se južno od Islanda (60°- 65° s.g.š. i 10°- 20° z.g.d.), južno od Grenlanda (oko 55° s.g.š. i 40°- 50° z.g.d.), sjeverozapadno od Skandinavskog poluotoka (65° s.g.š. i 5° i.g.d.) i Sjeverne Amerike (50° s.g.š. i 80° z.g.d.).

Poslije analize svih polja ukupne oborine u JFM sezoni, možemo reći da su polja EOF1 (slika 3.4) vrlo slična za svih pet eksperimenata, a polja EOF2 (slika 3.5) slična su za sve osim eksperimenta TroAtl. Iz toga slijedi da međugodišnja varijabilnost prostorne raspodjele ukupne oborine u zimskoj sezoni ne ovisi značajno o prinudnom djelovanju mora. Općenito, polja EOF1 pokazuju tripolnu strukturu. Područje izrazite varijabilnosti se proteže od jugozapadnog Atlantika prema Pirinejskom poluotoku. Polja EOF2 imaju dipolnu strukturu s pozitivnim anomalijama u suptropskom dijelu sjevernog Atlantika do otprilike 40° s.g.š i negativnim vrijednostima u umjerenim i višim geografskim širinama sjevernog Atlantika. Najveći postotak varijabilnosti prvim EOF modom je dobiven za eksperiment Clim, a najmanji za Tropics (tablica 3.2). Za drugi EOF mod, najveći udio varijabilnosti opisan je poljem EOF2 za eksperiment Ctrl, a najmanji za Clim (tablica 3.2).

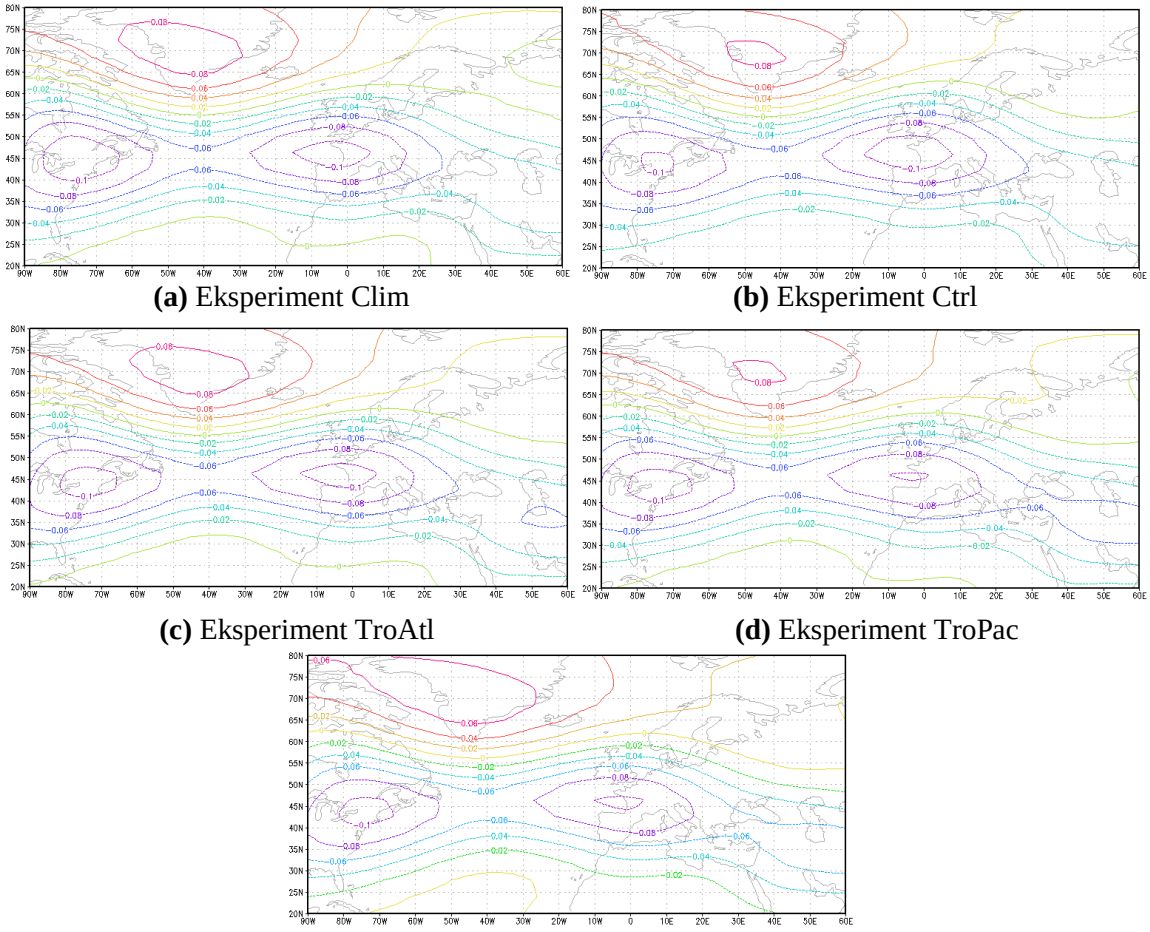
Kod polja EOFOPT (slika 3.6) eksperimenti Ctrl, TroPac i Tropics imaju sličan raspored izolinija. Najveći omjer signala i šuma (S/N) ima eksperiment Ctrl, a najmanji eksperiment Clim. Slično kao što je pokazano i za GH200, omjer signala i šuma za RR povećava se povećanjem površine oceana uključenog u simulaciju. Ovaj rezultat ukazuje na to da oceani pridonose prediktabilnosti oborine na promatranom području.

3.2. Sezona AMJ

AMJ sezona traje od travnja do lipnja i predstavlja proljetno razdoblje.

Geopotencijalna visina

Polje EOF1 za GH200 u Clim eksperimentu prikazano je na slici 3.7 (a), pokazuje tripolnu strukturu s tri glavna akcijska centra. Dva su jednakog iznosa i nalaze se oko 45° s.g.š. iznad istočnog dijela Sjeverne Amerike i drugi iznad zapadne Europe. Treći centar neznatno je slabije amplitude te obuhvaća područje nad Grenlandom. Izolinije su najgušće na prostoru između ta tri centra od otprilike 50° do 75° s.g.š. Ovo polje opisuje 31.6 % varijance.



(a) Eksperiment Clim **(b)** Eksperiment Ctrl

(c) Eksperiment TroAtl **(d)** Eksperiment TroPac

(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.7: Polje EOF1 za GH200 u sezoni AMJ

.

Na slici 3.7 (b) nalazi se polje EOF1 za eksperiment Ctrl koje opisuje 26.1 % varijance. Raspored izolinija uz tri jasno izražena akcijska centra jednak je onome za Clim eksperiment s prethodne slike. Jedino veće odstupanje vidljivo je u smanjenom opsegu izolinije najvećeg (najmanjeg) iznosa nad Grenlandom (istočnim dijelom Sjeverne Amerike).

Proljetno EOF1 polje za GH200 u eksperimentu TroAtl nalazi se na slici 3.7 (c). Uz iste položaje glavnih akcijskih centara i njihove amplitude kao u prethodno promotrena dva eksperimenta, ovdje se javlja još jedan manje amplitude nad južnim dijelom Kaspijskog jezera. Ovo polje objašnjava 29.2 % varijance.

Vodeće EOF polje za GH200 u eksperimentu TroPac prikazano je na slici 3.7 (d). To polje opisuje 28.8 % varijance promatranog parametra. Vidljiv je jedan akcijski centar nad Grenlandom, drugi nad istočnim dijelom Sjeverne Amerike i treći iznad zapadne Europe. Izolinija iznosa -0.06 obuhvaća područje oko akcijskih centara iznad istočnog dijela Sjeverne Amerike i zapadne Europe te nastavlja dalje prolazeći sa svojom sjevernom granom preko jugoistočnog dijela Crnog mora i juga Kaspijskog jezera, a s južnom granom presijecajući Sredozemno more i granicu Arapskog poluotoka.

Na slici 3.7 (e) nalazi se polje EOF1 za eksperiment Tropics koje opisuje 28.7 % varijance te pokazuje slične karakteristike kao i do sada promatrana EOF1 polja. Akcijski centar nad Grenlandom ima za 0.02 manju amplitudu nego u ostalim eksperimentima. Prostorni raspored ostalih izolinija i njihove amplitude poklapaju se s onima na slici 3.2.1 (d) iz TroPac eksperimenta.

Rezultati pokazuju da ne postoje značajne razlike u izgledu polja EOF1 dobivenih pojedinim eksperimentima. Postotak varijance koji je opisan prvim EOF modom donekle se razlikuje između pojedinih eksperimenata i to tako da je najveći za Clim (31.6 %), a najmanji za eksperiment Ctrl (26.1 %).

Polje EOF2 za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.8 (a) te objašnjava 13.5 % varijance od GH200. Prvi akcijski centar najveće amplitude nalazi se nad najsjevernijim dijelom Sjeverne Amerike, sa središtem iznad Baffinove zemlje, između 65° i 70° s.g.š. Idući akcijski centar nalazi se u sjevernom Atlantiku nad Britanskim otočjem i zapadnim dijelom Skandinavskog poluotoka. Treći akcijski centar obuhvaća veliko područje iznad Sredozemnog mora, Balkanskog poluotoka, Crnog mora, Anatolije, Kaspijskog jezera sve do Aralskog jezera na rubu domene.

Na slici 3.8 (b) prikazano je polje EOF2 za eksperiment Ctrl. Opet su vidljiva tri glavna akcijska centra. Izolinija najvećeg iznosa u prvom akcijskom centru obuhvaća šire područje nego u Clim eksperimentu, iznad Baffinove zemlje i Grenlanda. Druga dva akcijska centra imaju manje amplitude u usporedbi s eksperimentom Clim i njihova su središta pomaknuta prema jugozapadu. Ovo polje opisuje 16.4 % varijance.

Na slici 3.8 (c) nalazi se polje EOF2 za eksperiment TroAtl koje objašnjava 13.1 % varijance od GH200. Položaji i amplitude izolinija sva tri akcijska centra vrlo su slični onima u eksperimentu Clim, osim što se u središnjem akcijskom centru pojavio novi maksimum iznad Škotske.

U polju EOF2 za eksperiment TroPac prikazanom na slici 3.8 (d) vidljiva su tri glavna akcijska centra. U usporedbi s poljem EOF2 iz eksperimenta Clim izolinija maksimalnog iznosa (-0.1) u akcijskom centru iznad Baffinove zemlje obuhvaća šire područje, dok se izolinije najvećeg iznosa u druga dva akcijska centra nalaze nad manjom površinom. Ovo polje opisuje 13.2 % varijance.

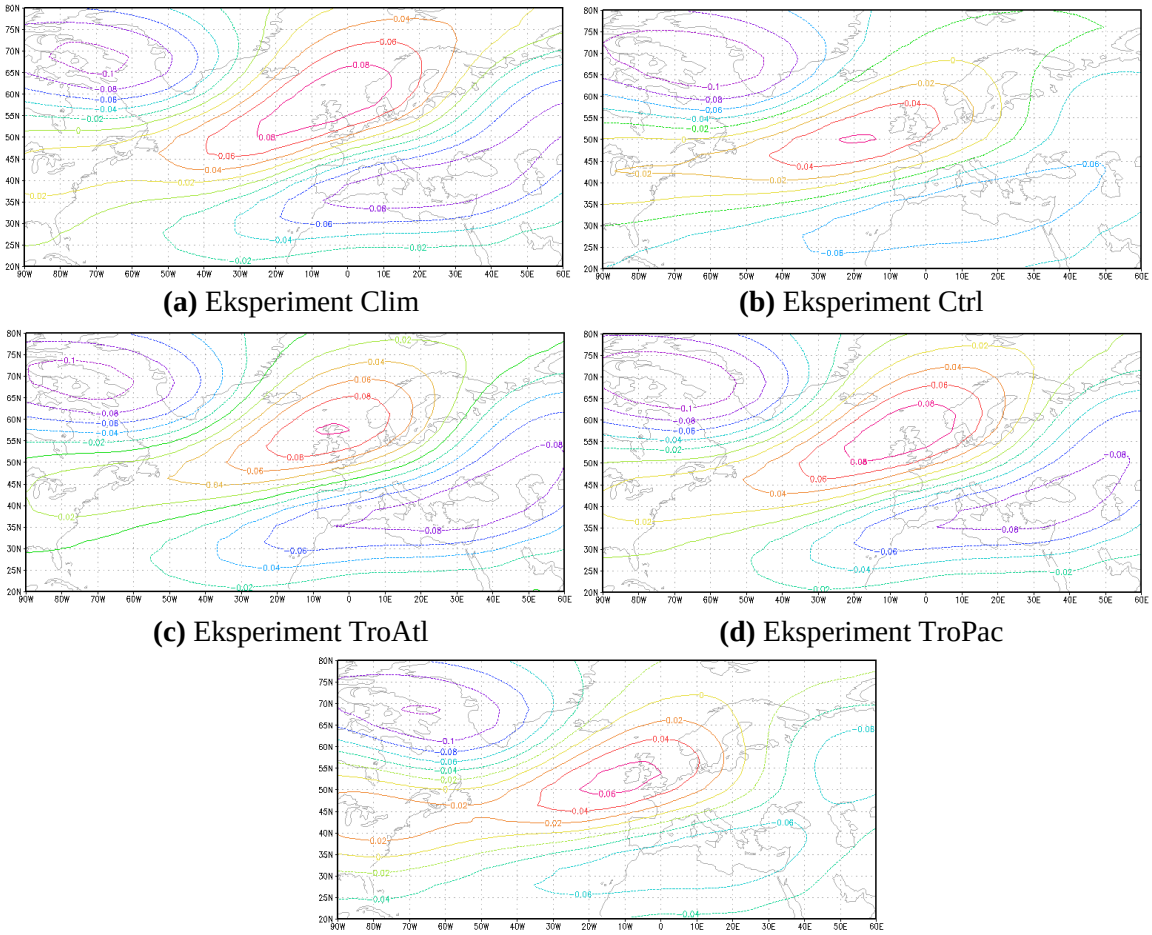
Polje EOF2 za eksperiment Tropics prikazano je na slici 3.8 (e). To polje EOF-a opisuje 13.6 % varijance od GH200. Unutar akcijskog centra nad Baffinovom zemljom, javlja se novi maksimum veće amplitude nego u ostalim eksperimentima. Središnji akcijski centar nad Britanskim otočjem i sjeverom Europe ima manju amplitudu od ostalih eksperimenata. Akcijski centar nad Sredozemnim morem u usporedbi s Clim eksperimentom pomaknut je prema jugozapadu, tako da obuhvaća područje iznad sjeverne Afrike i zapadne obale Atlantskog oceana te ima manju amplitudu.

Drugi EOF mod također se značajno ne razlikuje između provedenih eksperimenata, što odgovara rezultatima za prvi EOF mod. Prostorna polja sličnog su izgleda, a razlike u amplitudama su relativno male. Postotak varijance opisan drugim modom najmanji je za eksperiment TroAtl (13.1 %), a najveći za Ctrl (16.4 %).

Ako usporedimo postotak varijance prvog i drugog moda za pojedine eksperimente, vidimo da je za prvi mod najveći postotak dobiven za eksperiment Clim, a najmanji za Ctrl. Za drugi mod situacija je drugačija, najveći udio varijance opisan je upravo u eksperimentu Ctrl, a najmanji u eksperimentu TroAtl. Utjecaj prinudnog djelovanja mora u drugom EOF modu uočava se jedino za eksperiment Ctrl za koji je zabilježeno povećanje postotka opisane varijance u odnosu na druge eksperimente. Rezultati se nalaze u tablici 3.3.

Tablica 3.3: Postotak varijance opisan prvim (EOF1) i drugim (EOF2) modom za AMJ GH200

Eksperiment	EOF1 Var (%)	EOF2 Var (%)
Clim	31.6	13.5
Ctrl	26.1	16.4
TroAtl	29.2	13.1
TroPac	28.8	13.2
Tropics	28.7	13.6



(a) Eksperiment Clim **(b)** Eksperiment Ctrl

(c) Eksperiment TroAtl **(d)** Eksperiment TroPac

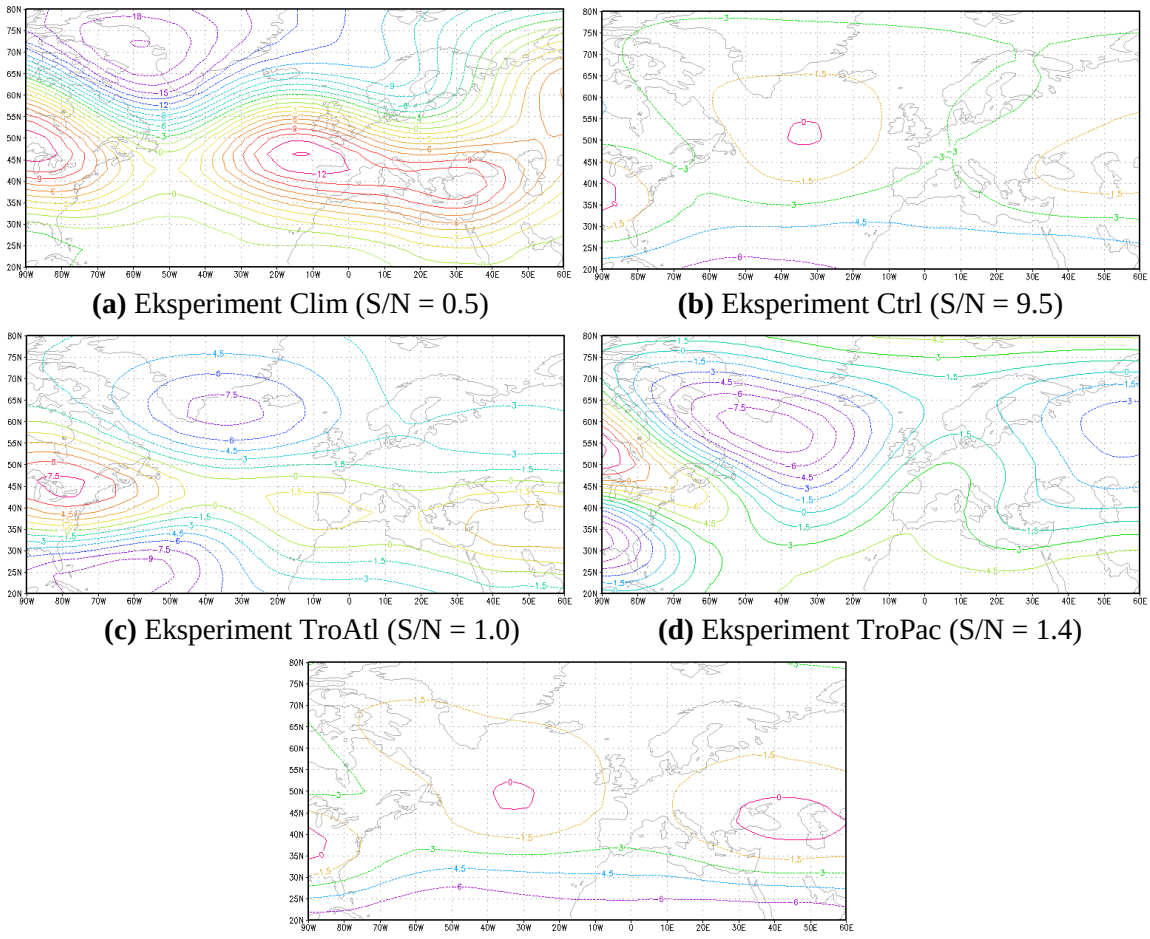
(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.8: Polje EOF2 za GH200 u sezoni AMJ

Rezultati pokazuju da je i za ovu sezonu prostorni oblik dobivenog polja za EOF1 vrlo sličan za sve eksperimente, ali se postotak varijance opisan tim modom mijenja ovisno o postavkama eksperimenata. Isto vrijedi i za polje EOF2, uz razliku da je postotak varijance opisan tim modom najveći za eksperiment Ctrl, a najmanji za TroAtl (tablica 3.3). Iz toga slijedi da prostorna raspodjela varijabilnosti GH200 ne ovisi značajno o prinudnom djelovanju mora, ali je učestalost pojavljivanja odgovarajućeg polja modificirana djelovanjem mora. Tako je dominantno polje klimatske varijabilnosti na području Europe i Atlantika (EOF1) jednako u svim eksperimentima, ali njegova učestalost donekle je prigušena prinudnim djelovanjem mora i ovisi o tome na kojem su području uključene SST anomalije. Drugi mod klimatske varijabilnosti (EOF2) također ima oblik koji se bitno ne mijenja s postavkama eksperimenata, ali se mijenja postotak varijance opisan tim modom povećava kad je uključeno forsiranje morem. Najveći doprinos dobiva se kad je uvaženo djelovanje svih oceana.

Na slici 3.9 (a) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Clim. Izolinije su nacrtane s korakom od 1.5 m, ali je zbog njihove gustoće označena svaka druga. Na promatranom području uočljiva su tri akcijska centra. Centar s najvećom amplitudom nalazi se iznad područja između Grenlanda i Sjeverne Amerike, sa središtem oko 70° s.g.š. i 55° z.g.d. Drugi akcijski centar nalazi se jugozapadno od prvog, na rubu domene sa središtem iznad Velikih jezera u Sjevernoj Americi. Treće područje povećane gustoće izolinija obuhvaća područje od 40° z.g.d. do 65° i.g.d. te između 30° i 55° s.g.š. Središte tog trećeg akcijskog centra smješteno je u Atlantiku oko 45° s.g.š. i 15° z.g.d.

EOFOPT polje za eksperiment Ctrl prikazano je na slici 3.9 (b). S istim korakom crtanja izolinija ovdje su zabilježene manje vrijednosti nego u Clim eksperimentu. U sjevernom Atlantiku izolinije su zatvorene oko središta koje je smješteno između 50° i 55° s.g.š. te 30° i 40° z.g.d. Nazire se jedan akcijski centar na donjem lijevom rubu domene između 30° i 45° s.g.š. te drugi na desnom rubu, koji obuhvaća područje iznad istočnog dijela Crnog mora i Kaspijsko jezero. Iznad Atlantskog oceana i sjeverne Afrike, između 20° i 30° s.g.š. izolinije su gotovo zonalno položene.



(a) Eksperiment Clim (S/N = 0.5)

(b) Eksperiment Ctrl (S/N = 9.5)

(c) Eksperiment TroAtl (S/N = 1.0)

(d) Eksperiment TroPac (S/N = 1.4)

(e) Eksperiment Tropics (S/N = 6.2)

Slika 3.9: Polje EOFOPT za GH200 u sezoni AMJ i pripadajući omjer signala i šuma (S/N)

U polju EOFOPT za eksperiment TroAtl, koji je prikazan na slici 3.9 (c), vidljiva su četiri akcijska centra. Akcijski centar najveće amplitude nalazi se na donjem lijevom rubu promatranog područja, a svoje središte ima između 20° i 25° s.g.š. te između 50° i 80° z.g.d. Iduće područje povećane gustoće izolinija smješteno je nad sjeverom Sjeverne Amerike sa središtem iznad Velikih jezera, oko 45° s.g.š. i između 75° i 85° z.g.d. Treći akcijski centar, s jednakim iznosom maksimalne amplitude kao u prethodnom, nalazi se u sjevernom Atlantiku između Grenlanda i Islanda. Akcijski centar najmanje amplitude vidljiv je na desnom rubu domene, sa središtem od 30° do 40° s.g.š. te između 35° i 60° i.g.d. Izolinije iznad Sjeverne Afrike i Arapskog poluotoka položene su zonalno.

Na slici 3.9 (d) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment TroPac. Polje ima četiri akcijska centra od kojih se jedan nalazi na donjem lijevom rubu domene, a samo njegovo središte se nalazi izvan promatranog područja. Iznad njega smješten je drugi akcijski centar koji ima najveću amplitudu te obuhvaća prostor iznad najsjevernijeg dijela Sjeverne Amerike. Treći akcijski centar je u sjevernom Atlantiku sa središtem položaja od 55° do 65° s.g.š. te od 30° do 60° z.g.d. Posljednje i amplitudom najmanje područje s povećanom gustoćom izolinija nalazi se na desnom rubu domene, iznad euroazijskog kopna.

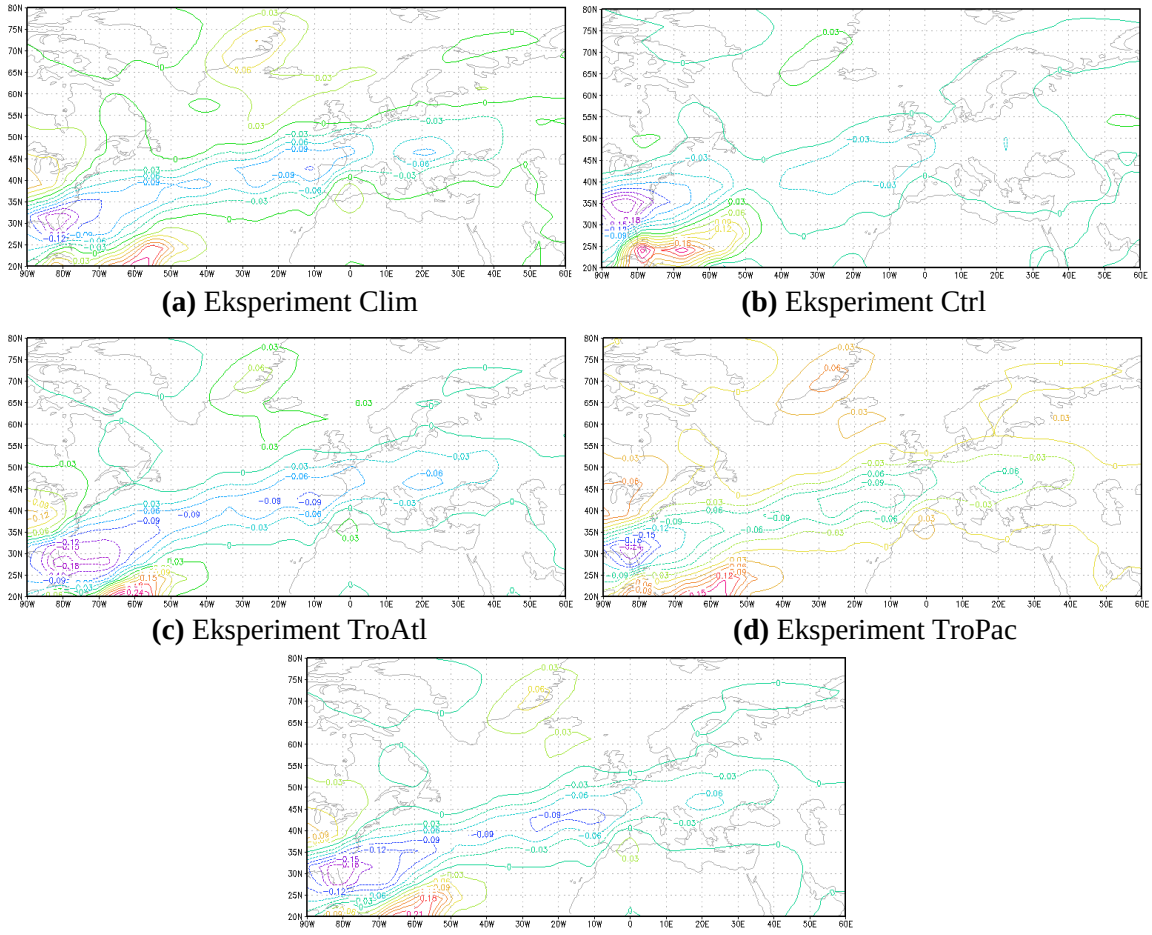
Na slici 3.9 (e) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Tropics. Izolinije su rijetke u usporedbi s Clim, TroPac i TroAtl eksperimentom. Mogu se razaznati tri akcijska centra relativno male amplitude. Jedan se akcijski centar nalazi na lijevom rubu domene, iznad kopnenog dijela Sjeverne Amerike. Sljedeći je akcijski centar svoje središte ima u Atlantskom oceanu između 45° i 50° s.g.š. te između 30° i 40° z.g.d. Treći od centara smješten je iznad Euroazije, sa središtem od 40° do 50° s.g.š. te od 30° i 60° i.g.d. Izolinije su položene zonalno u pojasu između 20° i 35° s.g.š.

Rezultati pokazuju da postoji sličnost između Clim i TroAtl polja EOFOPT-a, te da su polja EOFOPT za eksperimente Ctrl i Tropics međusobno slična. Iz toga slijedi da uključivanje SSTA u tropskom Atlantiku ne utječe značajno na odnos signala i šuma u usporedbi s klimatološkim eksperimentom. Najveći omjer signala i šuma (S/N) dobiven je za eksperiment Ctrl, a najmanji omjer za eksperiment Clim. Omjer signala i šuma ukazuje na potencijalnu prediktabilnost promatranog parametra, pa možemo reći da prinudno djelovanje oceana povećava potencijalnu prediktabilnost GH200 u ovoj sezoni.

Nakon opisa svih polja za GH200 u AMJ sezoni, možemo vidjeti da su polja EOF1 (slika 3.7) slična u svim eksperimentima, što ukazuje da međugodišnja varijabilnost prostorne raspodjele GH200 ne ovisi o prinudnom djelovanju oceana. Isto vrijedi i za EOF2 polja (slika 3.8) koja također pokazuju zajedničke karakteristike s poljima EOF1 u JFM (slika 3.1) i OND sezoni (slika 3.19). Za polja EOFOPT vrijedi da se mijenja prostorni raspored omjera signala i šuma kada se uključi prinudno djelovanje tropskog pojasa za sva svjetska mora, no dodavanje SST anomalija u izvantropskim širinama ne donosi dodatne promjene polja EOFOPT.

Ukupna oborina

Na slici 3.10 (a) nalazi se vodeće EOF polje za eksperiment Clim koje opisuje 18.2 % varijance. Najveće amplitude, po apsolutnom iznosu, nalazimo u suptropskom području. Prvi akcijski centar nalazi se na jugoistoku Sjeverne Amerike, sa središtem oko 30° s.g.š. i 85° z.g.d. Sjeverno od njega nazire se još jedna zona povećane gustoće izolinija, ali nije potpuno vidljiva unutar promatranog područja. Treći akcijski centar zauzima područje unutar domene između 20° i 30° s.g.š. te između 40° i 85° z.g.d. Još jedno područje povećane gustoće izolinija nalazi se iznad Atlantskog oceana i obuhvaća dio zapadne Europe. Peti akcijski centar ima svoje središte u središnjoj Europi, oko 45° s.g.š. i 20° i.g.d. Na području jugoistočnog Grenlanda nalazi se još jedan akcijski centar, sa središtem smještenim između 65° i 75° s.g.š. te između 20° i 35° z.g.d.



(a) Eksperiment Clim

(b) Eksperiment Ctrl

(c) Eksperiment TroAtl

(d) Eksperiment TroPac

(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.10: Polje EOF1 za RR u sezoni AMJ

Na slici 3.10 (b) prikazano je polje EOF1 za eksperiment Ctrl. Kao i u prethodnom eksperimentu, najveće amplitude promatranog polja nalaze se u suptropskom području. Prvi akcijski centar nalazi se u Atlantiku i ima dva odvojena središta oko 25° s.g.š, prvo blizu 65° z.g.d., a drugo oko 80° z.g.d. Sjeverno od toga, na jugoistoku Sjeverne Amerike imamo još jedan akcijski centar, sa središtem oko 35° s.g.š. te između 80° i 85° z.g.d. U ostatku domene zabilježene su mnogo manje amplitude. Treba spomenuti područje jugoistočnog Grenlanda, zapadne Azije (oko 55° s.g.š., od 50° do 60° i.g.d.) i područje na Atlantiku (između 40° i 50° s.g.š. te između 0° i 40° z.g.d.) kao zone koje također utječu na varijabilnost oborine. Ovo polje opisuje 15.3 % varijance.

Na slici 3.10 (c) prikazano je polje EOF1 za TroAtl eksperiment koje opisuje 17.3 % varijance. Najveće amplitude, po apsolutnom iznosu, nalazimo u suptropskom području. Prvi akcijski centar nalazi se na jugoistoku Sjeverne Amerike, sa središtem blizu 25° s.g.š. i 80° z.g.d. Sjeverno od njega nazire se još jedna zona povećane gustoće izolinija, ali ne nalazi se unutar domene. Treći akcijski centar zauzima područje unutar domene između 20° i 25° s.g.š. te od 50° do 70° z.g.d. Još jedno područje povećane gustoće izolinija nalazi se iznad Atlantskog oceana i obuhvaća dio zapadne Europe. Peti akcijski centar ima svoje središte u središnjoj Europi, između 45° i 50° s.g.š. i između 15° i 25° i.g.d. Na području jugoistočnog Grenlanda nalazi se još jedan akcijski centar, sa središtem smještenim između 70° i 75° s.g.š. te između 20° i 30° z.g.d.

Polje EOF1 za eksperiment TroPac, koje opisuje 17.7 % varijance, prikazano je na slici 3.10 (d). Na lijevom rubu promatranog područja nalaze se tri različita područja povećane gustoće izolinija. Prvo na središnjem dijelu Sjeverne Amerike, drugo na jugoistočnom dijelu Sjeverne Amerike sa središtem kod Floride i treće na Atlantiku, koje obuhvaća prostor između 20° i 25° s.g.š. te između 50° i 85° z.g.d. U pojasu između 35° i 50° s.g.š. unutar promatranog područja vidljivo je nekoliko akcijskih zona: u središnjem Atlantiku (oko 45° z.g.d.), u istočnom Atlantiku (između 5° i 30° z.g.d.), u sjevernoj Africi (oko 0° s.g.š.) te u Europi (između 15° i 25° i.g.d.). Kod jugoistočnog dijela Grenlanda i južno od Islanda smještena su još dva akcijska centra.

Vodeće polje EOF za eksperiment Tropics prikazano je na slici 3.10 (e). Kao i u prethodnom eksperimentu, ovdje na lijevom rubu domene nalazimo tri akcijska centra koji imaju i najveće amplitude. Prvi od njih nalazi se u Sjevernoj Americi između 35° i 55° s.g.š. Drugi je smješten na jugoistočnom dijelu Sjeverne Amerike sa središtem oko 30° s.g.š. i 85° z.g.d., a treći na Atlantiku te obuhvaća prostor između 50° i 85° z.g.d. Analogno eksperimentu TroPac i ovdje se u pojasu između 35° i 50° s.g.š. nalaze akcijska područja: u istočnom Atlantiku (između 10° i 25° z.g.d.), u sjevernoj Africi (oko 0° s.g.š.) te u Europi (između 15° i 25° i.g.d.). Još dva akcijska centra nalaze se južno od Islanda i na istoku Grenlanda, sa središtem oko 70° s.g.š. i 25° z.g.d. Ovo polje opisuje 16.4 % varijance ukupne oborine u promatranoj sezoni.

Na temelju prikazanih slika za odgovarajuća polja EOF1 dobivena pojedinim eksperimentima, vidljivo je da ne postoji značajna razlika u prostornom rasporedu akcijskih središta niti njihovoj amplitudi. Postotak varijance koji je opisan prvim modom razlikuje se između pojedinih eksperimenata, tako da je najveći za Clim (18.2 %), a najmanji za Ctrl (15.3 %).

Polje EOF2 za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.11 (a). To polje opisuje 13.1 % varijance. Dva akcijska centra najveće amplitude nalaze se na donjem lijevom rubu promatranog područja. Prvi ima svoje središte oko 35° s.g.š., između 80° i 90° z.g.d., a drugi oko 25° s.g.š. i 80° z.g.d. Iznad Europe postoje još dva manja akcijska centra, između 0° i 10° i.g.d. te između 10° i 20° i.g.d.

Polje EOF2 za eksperiment Ctrl prikazano je na slici 3.11 (b). U donjem lijevom rubu promatranog područja nalaze se tri akcijska centra. Prvi ima središte smješteno oko 45° s.g.š., između 80° i 90° z.g.d. Središte drugog akcijskog centra nalazi se između 25° i 30° s.g.š. te između 65° i 80° z.g.d. Nad Atlantikom postoji još jedno područje povećane gustoće izolinija koje je povezano s ovim drugim akcijskim centrom, a obuhvaća prostor iznad zapadne Europe. Središte trećeg akcijskog centra smješteno je oko 20° s.g.š., od 55° do 75° z.g.d. Sljedeći akcijski centar nalazi se na istočnim dijelom Grenlanda, sa središtem između 65° i 70° s.g.š. te između 25° i 35° z.g.d. Ovo polje opisuje 14.4 % varijance.

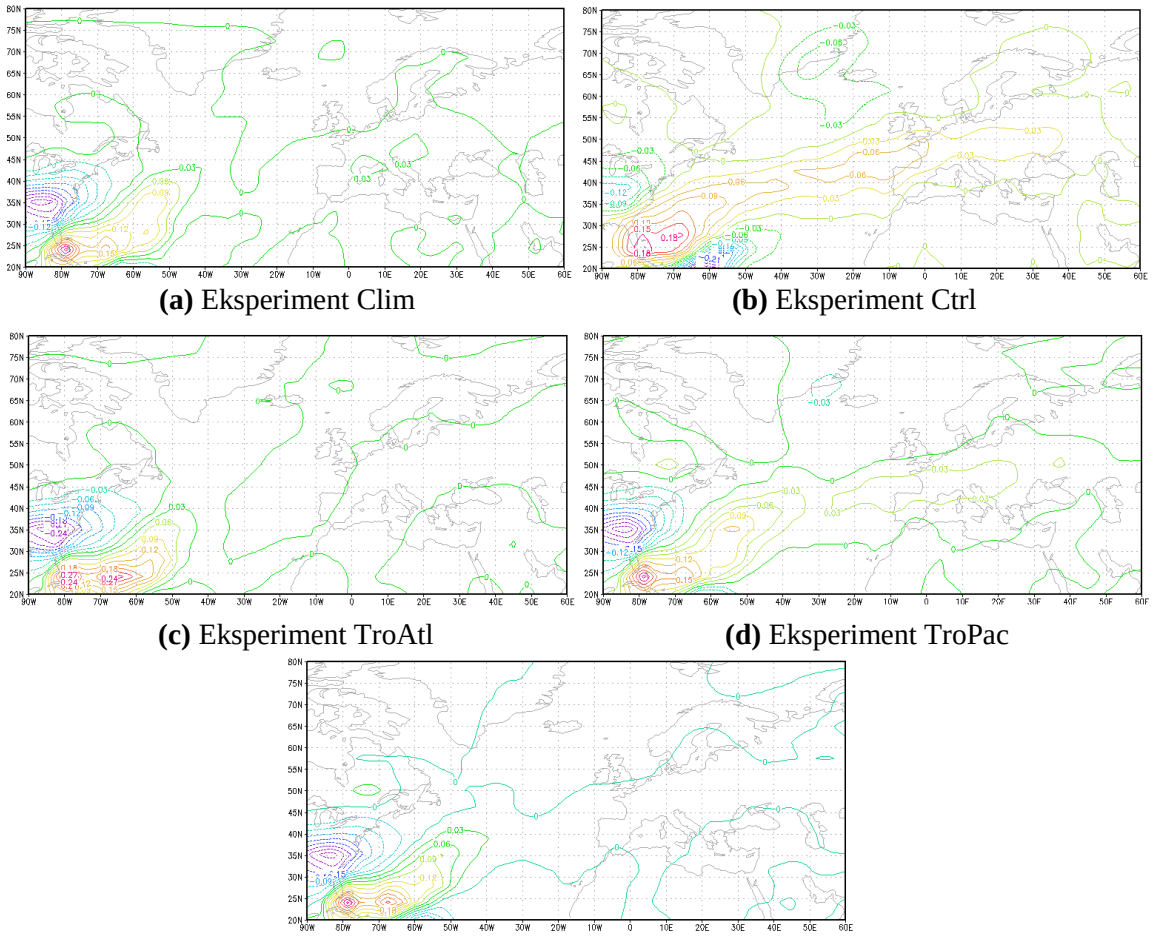
Na slici 3.11 (c) prikazan je drugi EOF mod za eksperiment TroAtl kojim je opisano 14.6 % varijance. Unutar promatranog područja vidljiva su dva akcijska centra. Prvi se nalazi na području Atlantika te ima dva središta oko 25° s.g.š. Prvo je središte smješteno oko 80° z.g.d., a drugo između 65° i 70° z.g.d. Sljedeće područje povećane gustoće izolinija nalazi se na području Sjeverne Amerike, sa središtem na 35° s.g.š. i 80° z.g.d.

Na slici 3.11 (d) prikazano je polje EOF2 za eksperiment TroPac. To polje opisuje 13.3 % varijance. Kao i u prethodno promatranim poljima EOF1 za ovu sezonu, akcijski centri najveće amplitude nalaze se na donjem lijevom rubu domene. Prvi akcijski centar ima svoje središte oko 35° s.g.š. te između 80° i 90° z.g.d. Iduće područje povećane gustoće izolinija ima dva središta, jedno oko 25° s.g.š. i 80° z.g.d., a drugo oko 35° s.g.š. i 55° z.g.d. Na prostoru između 65° i 70° s.g.š. te između 25° i 30° z.g.d. nalazi se akcijski centar manje amplitude (-0.03). Još jedan akcijski centar manje amplitude obuhvaća područje između 40° i 50° s.g.š., od 25° z.g.d. do 25° i.g.d.

Polje EOF2 za eksperiment Tropics prikazano je na slici 3.11 (e). U ovom polju postoje dva izražena akcijska centra. Prvi od njih se nalazi na području Sjeverne Amerike, sa središtem oko 35° s.g.š. te između 80° i 90° z.g.d. Drugi akcijski centar nalazi se na području Atlantskog oceana te ima dva izražena središta oko 25° s.g.š. Jedno od središta smješteno je oko 80° z.g.d. , a drugo blizu 65° z.g.d. Na preostalom dijelu domene izolinije su male amplitude i njihova je gustoća mala. Ovo polje opisuje 15.1 % varijance.

Tablica 3.4: Postotak varijance opisan prvim (EOF1) i drugim (EOF2) modom za AMJ RR

Eksperiment	EOF1 Var (%)	EOF2 Var (%)
Clim	18.2	13.1
Ctrl	15.3	14.4
TroAtl	17.3	14.6
TroPac	17.7	13.3
Tropics	16.4	15.1



(a) Eksperiment Clim **(b)** Eksperiment Ctrl

(c) Eksperiment TroAtl **(d)** Eksperiment TroPac

(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.11: Polje EOF2 za RR u sezoni AMJ

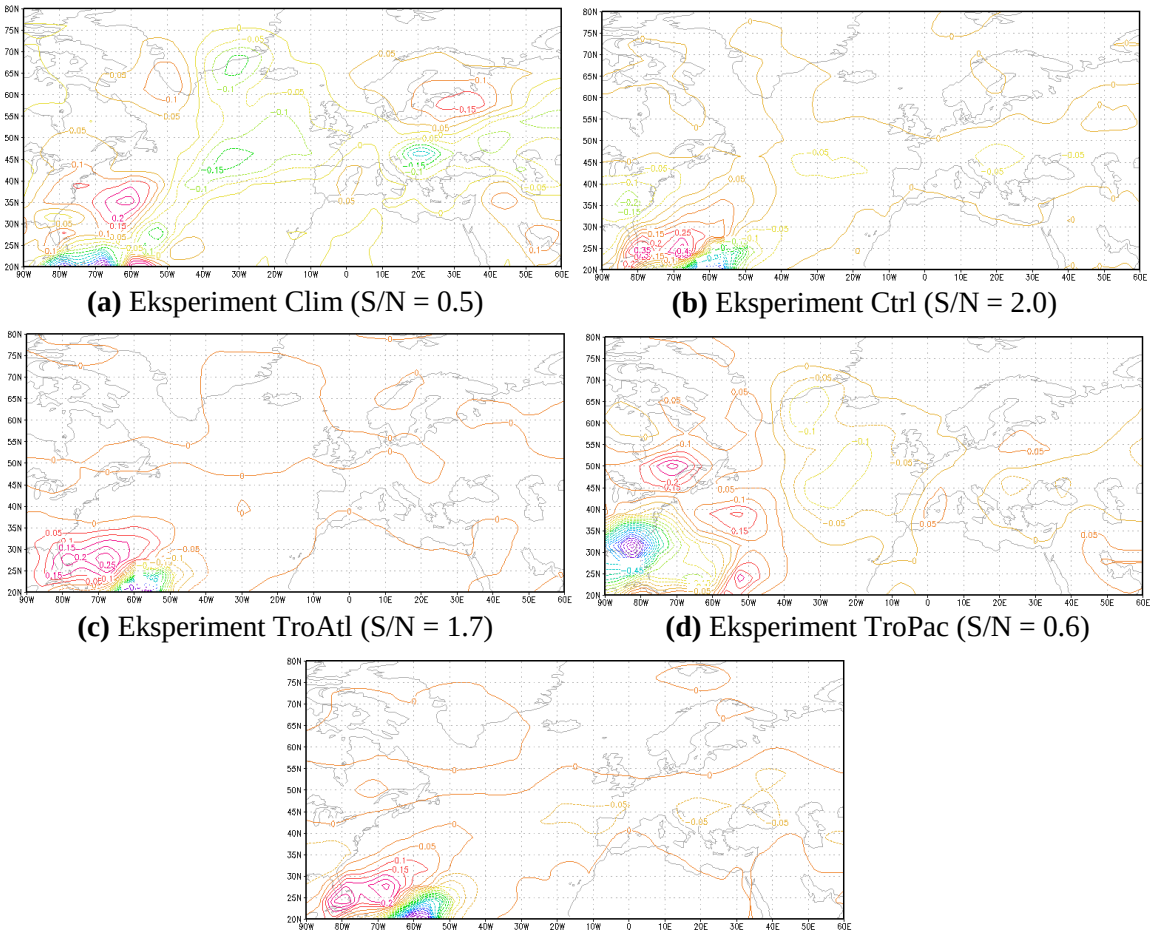
Polje EOF2 za eksperiment Ctrl pokazuje dodatne karakteristike kojih nema u poljima ostalih eksperimenata. Druga su EOF2 polja slična, kod njih nema značajnog pomaka akcijskih centara, a razlike u amplitudama su relativno male. Postotak varijance opisan drugim modom najmanji je za eksperiment Clim (13.1 %), a najveći za Tropics (15.1 %).

Napravimo li usporedbu udjela varijance opisanog prvim i drugim EOF modom za pojedine eksperimente, uočava se da je za prvi mod najveći postotak dobiven u eksperimentu Clim (gdje nema forsiranja na donjoj granici), a najmanji u eksperimentu Ctrl (gdje su uključene SSTA u svim morima). Za drugi mod najveći udio varijance opisan je u eksperimentu Tropics, a najmanji u eksperimentu Clim (tablica 3.4). Pritom se pripadajuća prostorna polja ne mijenjaju značajno s različitim postavkama modela, tj. prinudno djelovanje mora ne mijenja oblik ni raspored izolinija.

Polje EOFOPT za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.12 (a). Područje najveće gustoće izolinija nalazi se na donjem desnom rubu domene, u pojasu od 20° do 25° s.g.š., između 50° i 85° z.g.d. Akcijski centri na području Atlantika: prvi sa središtem 25° s.g.š. i između 40° i 50° z.g.d., drugi ima središte oko 30° s.g.š i 55° z.g.d., treći na 35° s.g.š. i oko 60° z.g.d., četvrti oko 45° s.g.š. i između 25° i 40° z.g.d. U Sjevernoj Americi nalaze se tri manja središta, prvo je na jugu Floride, drugo odmah sjevernog od prvog i treće blizu 40° s.g.š. i 75° z.g.d. Na prostoru Grenlanda postoje dva akcijska centra. Prvi od njih ima svoje središte između 60° i 70° s.g.š. te između 45° i 25° z.g.d., a drugi ima središte između 65° i 70° s.g.š. te oko 30° z.g.d. Na prostoru istočne Europe nalazi se akcijski centar sa središtem blizu 45° s.g.š. i 20° i.g.d. U sjevernoj Europi smješten je akcijski centar između 55° i 60° s.g.š. te između 25° i 40° i.g.d. Akcijski centri manje amplitude nalaze se na: istoku Pirinejskog poluotoka (35°- 45° s.g.š., oko nultog meridijana) sjeveroistočno od Crnog mora (45°- 50° s.g.š., oko 50° i.g.d.), u Aziji (50° s.g.š., 50°- 60° i.g.d.), na području Kaspijskog jezera (40°- 45° s.g.š. i 25° i.g.d.), na Bliskom istoku (35° s.g.š., 40°- 50° i.g.d.), na području Perzijskog zaljeva (25°- 30° s.g.š. i 50°- 60° i.g.d.).

Na slici 3.12 (b) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Ctrl. Područje gdje su izolinije najgušće raspoređene nalazi se između 20° i 25° s.g.š., od 50° do 80° z.g.d. Akcijski centar na Atlantiku ima dva središta na 25° s.g.š., prvo oko 80° z.g.d., a drugo blizu 70° z.g.d. Akcijski centar u Sjevernoj Americi ima središte smješteno na 35° s.g.š. i 85° z.g.d. Još jedan akcijski centar na području Atlantskog oceana postoji oko 45° s.g.š. te od 15° do 45° z.g.d. Posljednji akcijski centar unutar promatranog područja nalazi se u Europi, između 45° i 50° s.g.š., od 15° do 25° i.g.d.

Polje EOFOPT za eksperiment TroAtl prikazano je na slici 3.12 (c). Područje najveće gustoće izolinija nalazi se na prostoru Atlantskog oceana, između 20° i 25° s.g.š. te od 50° do 70° z.g.d. Drugi i posljednji akcijski centar unutar promatranog područja također se nalazi na području Atlantika, sa središtem blizu 25° s.g.š. i 70° z.g.d.



(a) Eksperiment Clim (S/N = 0.5)

(b) Eksperiment Ctrl (S/N = 2.0)

(c) Eksperiment TroAtl (S/N = 1.7)

(d) Eksperiment TroPac (S/N = 0.6)

(e) Eksperiment Tropics (S/N = 1.4)

Slika 3.12: Polje EOFOPT za RR u sezoni AMJ i pripadajući omjer signala i šuma (S/N)

Na slici 3.12 (e) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Tropics. Područje najveće gustoće izolinija nalazi se između 20° i 30° s.g.š., od 50° do 70° z.g.d. Akcijski centar na Atlantiku ima dva središta. Prvo je smješteno na 25° s.g.š. i 80° z.g.d., a drugo blizu 30° s.g.š. i 65° z.g.d. Akcijski centri manje amplitude nalaze se na području središnje Sjeverne Amerike (između 30° i 40° s.g.š.), na sjeveroistoku Sjeverne Amerike (oko 50° s.g.š., 70°- 75° z.g.d.), na istočnom Atlantiku (40°- 45° s.g.š., 0°- 25° z.g.d.), u Europi (oko 45° s.g.š., 15°- 30° i.g.d.), sjeverno od Crnog mora (45°- 55° s.g.š. i 30°- 40° i.g.d.), istočno od Kaspijskog jezera (oko 40° s.g.š., 55°- 60° i.g.d.).

Za eksperiment TroPac, polje EOFOPT prikazano je na slici 3.12 (d). Najveću amplitudu po apsolutnom iznosu ima akcijski centar sa središtem blizu 30° s.g.š. i 80° z.g.d. Još jedno područje velike gustoće izolinija nalazi se na donjem lijevom rubu domene u pojasu od 20° do 25° s.g.š. Na području Sjeverne Amerike nalazi se akcijski centar sa središtem smještenim na 50° s.g.š. i 70° z.g.d. Na području Atlantskog oceana postoje dva akcijska centra velike površine, oba imaju po dva središta. Prvi akcijski centar ima središta blizu 25° s.g.š. i 50° z.g.d. te blizu 40° s.g.š. i 55° z.g.d. Središta drugog akcijskog centra smještena su na 40°-55° s.g.š. i 15°-35° z.g.d. te od 45° do 45° s.g.š. i od 60° do 70° z.g.d. U Euroaziji postoji pet akcijskih područja manje amplitude: u sjevernoj Europi (55° s.g.š., 20°- 30° i.g.d.), na sjeveroistoku Sredozemnog mora (35°- 45° s.g.š., 0°-5° i.g.d.), zapadno od Crnog mora (oko 45° s.g.š., 20°- 30° i.g.d.), na sjeveroistočnom dijelu Crnog mora (45° s.g.š. i 35° i.g.d.), kod Perzijskog zaljeva (blizu 30° s.g.š., 50°- 60° i.g.d.).

Rezultati pokazuju da su polja EOFOPT za Ctrl, TroAtl i Tropics eksperiment međusobno slična, a pripadajuće polje za Clim eksperiment pokazuje zajedničke karakteristike s poljem EOFOPT za eksperiment TroPac. Omjer signala i šuma je relativno malen za sve eksperimente, ali se i ovdje uočava da je najmanja vrijednost dobivena za Clim eksperiment (0.5), a najveća za Clim (2.0). Iz toga slijedi da prinudno djelovanje mora pojačava signal i tako utječe na prediktabilnost.

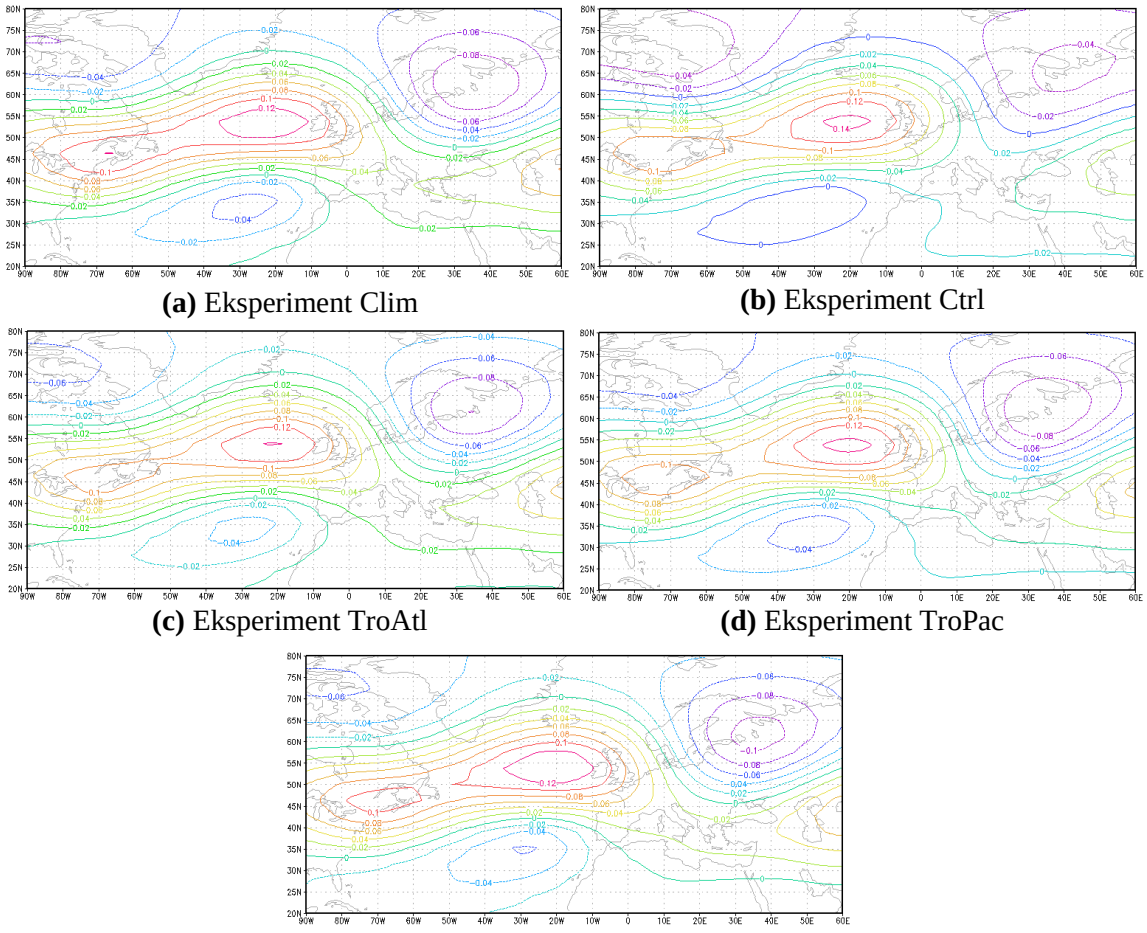
Nakon opisa svih polja za ukupnu oborinu u AMJ sezoni, možemo vidjeti da su polja EOF1 (slika 3.10) slična u svim eksperimentima, što ukazuje da prostorna komponenta međugodišnje varijabilnosti ne ovisi bitno o prinudnom djelovanju oceana. Isto vrijedi i za polja EOF2 sa slike 3.11. Ipak, utjecaj oceana donekle se očituje u postotku varijance objašnjenom tim modovima, ukazujući na promjenu učestalosti pojavljivanja odgovarajućeg prostornog polja. Oblik polja EOFOPT (slika 3.12) međusobno su slični Ctrl, TroPac i Tropics eksperimenti, dok izgled polja odstupa za Clim eksperiment. Iz toga slijedi da uključivanje SST anomalija u izračun mijenja odnos signala i šuma u usporedbi s klimatološkim eksperimentom gdje su SSTA jednake nuli (dakle, nema prinudnog djelovanja mora).

3.3. Sezona JAS

Sezona JAS odabrana je kao predstavnik ljetnog razdoblja, a obuhvaća tromjesečno razdoblje od srpnja do rujna.

Geopotencijalna visina

Na slici 3.13 (a) prikazano je polje EOF1 za eksperiment Clim. Vidljiva su četiri akcijska centra. Prvi, centar s najvećom amplitudom, nalazi se nad sjevernim Atlantikom sa središtem između 50° i 55° s.g.š. te između 10° i 40° z.g.d. Po amplitudi manji, drugi akcijski centar nalazi se istočnije od prvog nad područjem gdje se Skandinavski poluotok sastaje s europskim kontinentom. Treći akcijski centar nalazi se nad sjevernim, otočnim područjem Sjeverne Amerike. Posljednji i po amplitudi najmanji akcijski centar ima svoje središte u Atlantiku između 30° i 35° s.g.š. Ovo polje opisuje 29.1 % varijance od GH200.



(a) Eksperiment Clim

(b) Eksperiment Ctrl

(c) Eksperiment TroAtl

(d) Eksperiment TroPac

(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.13: Polje EOF1 za GH200 u sezoni JAS

Polje EOF1 za eksperiment Ctrl prikazano je na slici 3.13 (b). To polje opisuje 24.0 % varijance Središnji akcijski centar ima za korak veću amplitudu nego u eksperimentu Clim. Akcijski centri istočno i zapadno od središnjeg imaju međusobno jednaku amplitudu. Iznad Atlantika, u usporedbi s eksperimentom Clim, više nije vidljiv akcijski centar koji je bio smješten između 30° i 35° s.g.š.

Na slici 3.13 (c) prikazano je polje EOF1 za eksperiment u kojem su uključene SSTA u tropskom Atlantiku, a to polje opisuje 28.2 % varijance. Izražena su četiri akcijska centra s položajem i amplitudama jednakim onima sa slike 3.13 (a) za eksperiment Clim.

Za eksperiment TroPac polje EOF1 nalazi se na slici 3.13 (d). Središnji se akcijski centar podijelio na dva dijela gdje se dio s većom amplitudom nalazi nad područjem između 50° i 55° s.g.š., a dio s manjom amplitudom iznad kopna Sjeverne Amerike između Newfoundlanda i Velikih jezera. U usporedbi s Clim eksperimentom, preostali akcijski centri imaju isti prostorni položaj i amplitudu. Ovo polje opisuje 30.1 % varijance.

Na slici 3.13 (e) nalazi se polje EOF1 za eksperiment Tropics koje opisuje 25.5 % varijance. Slično kao kod eksperimenta TroPac, središnji je akcijski centar podijeljen na dva dijela, ali ovdje dio između 50° i 55° s.g.š. ima za 0.02 amplitudu. Ostali akcijski centri imaju isti položaj kao u eksperimentu TroPac, ali imaju za 0.02 veću amplitudu (po apsolutnoj vrijednosti).

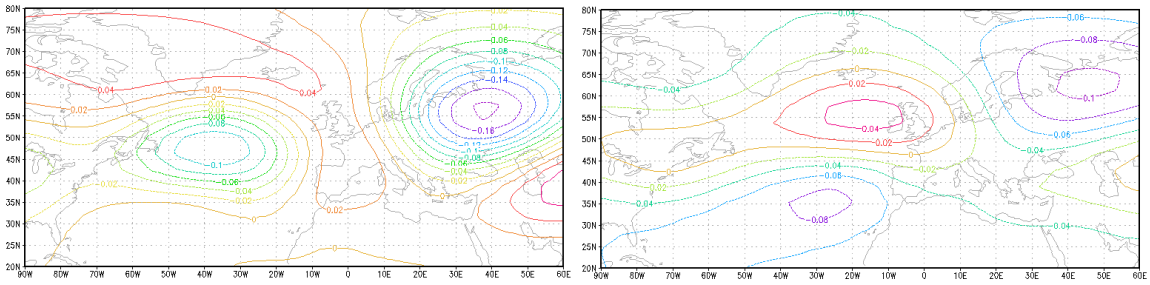
Na temelju prikazanih polja EOF1 za sve provedene eksperimente, uočavamo da ne postoji značajna razlika u prostornom rasporedu ni amplitudi. Postotak varijance opisan prvim EOF modom razlikuje se između pojedinih eksperimenata, tako da je najmanji za eksperiment Ctrl (24.0 %), a najveći za TroPac (30.1 %). Podaci su navedeni u tablici 3.5.

Polje EOF2 za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.14 (a) gdje su vidljiva dva veća akcijska centra koje odvaja područje smanjene gustoće izolinija. Prvi akcijski centar nalazi se u sjevernom Atlantiku, sa središtem između 45° i 50° s.g.š. te 30° i 50° z.g.d. Drugo područje povećane gustoće izolinija smješteno je nad sjeveroistočnom Europom sa središtem oko 55° s.g.š. i 35° i.g.d. Ovo polje opisuje 14.2 % varijance.

Za eksperiment Ctrl pripadno polje EOF2 koje objašnjava 20.5 % varijance nalazi se na slici 3.14 (b). Za razliku od eksperimenta Clim, ovdje su jasno definirana tri akcijska centra. Jedan se nalazi u sjevernom Atlantiku, sa središtem zapadno od Britanskog otočja oko 55° s.g.š. Drugi akcijski centar smješten je iznad sjeveroistočne Europe, a njegovo je središte između 55° i 60° s.g.š. te 40° i 50° i.g.d. Treći centar, koji nije bio vidljiv na slici 3.14 (a), nalazi se u Atlantskom oceanu, sa središtem na 35° s.g.š. te između 20° i 40° z.g.d.

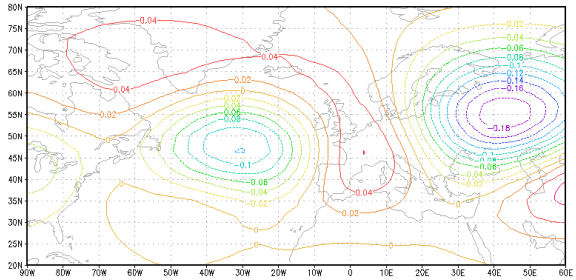
Na slici 3.14 (c) prikazano je polje EOF2 za eksperiment TroAtl koje je položajem i amplitudom izolinija slično polju EOF2 iz eksperimenta Clim. Prvo se područje povećane gustoće izolinija nalazi u sjevernom Atlantiku, sa središtem između 45° i 55° s.g.š. te 25° i 45° z.g.d. Drugi je akcijski centar na području istočne Europe, a središte mu se nalazi oko 55° s.g.š. te 35° i 50° i.g.d. Treći akcijski centar smješten je između dva već opisana te se proteže iznad zapadne Europe, preko Britanskog otočja, Islanda, sve do područja nad Grenlandom i Baffinovom zemljom. Ovo polje opisuje 12.5 % varijance.

Polje EOF2 za eksperiment TroPac prikazano je na slici 3.14 (d). To polje opisuje 12.2 % varijance. Vidljiva su tri akcijska centra. Centar s najmanjom amplitudom od ta tri, nalazi se iznad područja između Grenlanda i Sjeverne Amerike, sa središtem između 65° i 75° s.g.š. te 45° i 80° z.g.d. Drugi akcijski centar smješten je iznad Atlantskog oceana, a njegovo središte se nalazi između 45° i 50° s.g.š. te 30° i 45° z.g.d. Iznad sjeveroistočne Europe vidi se treći i najveći akcijski centar. Njegovo je središte smješteno između 55° i 60° s.g.š. te 30° i 40° i.g.d.

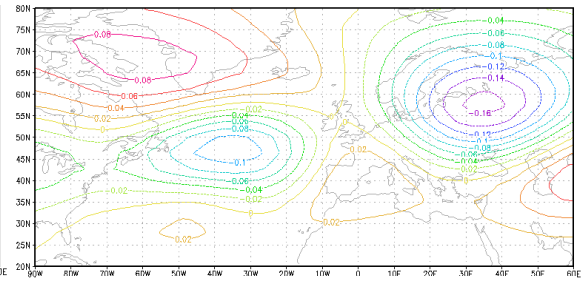


(a) Eksperiment Clim

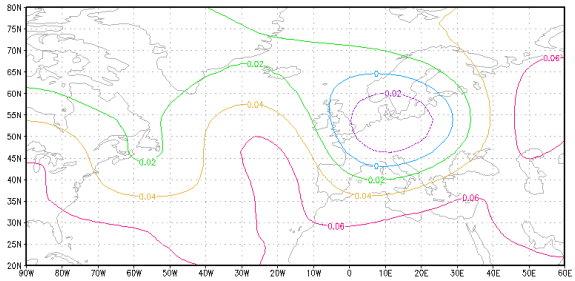
(b) Eksperiment Ctrl



(c) Eksperiment TroAtl



(d) Eksperiment TroPac



(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.14: Polje EOF2 za GH200 u sezoni JAS

Na slici 3.14 (e) prikazano je polje EOF2 za eksperiment Tropics koje opisuje 17.0 % varijance. Zbog smanjene amplitude odziva u odnosu na ostale eksperimente, ovdje se može uočiti samo jedno područje povećane gustoće izolinija. Taj se akcijski centar nalazi nad sjevernom Europom, sa središtem između 45° i 60° s.g.š. te između 0° i 20° i.g.d.

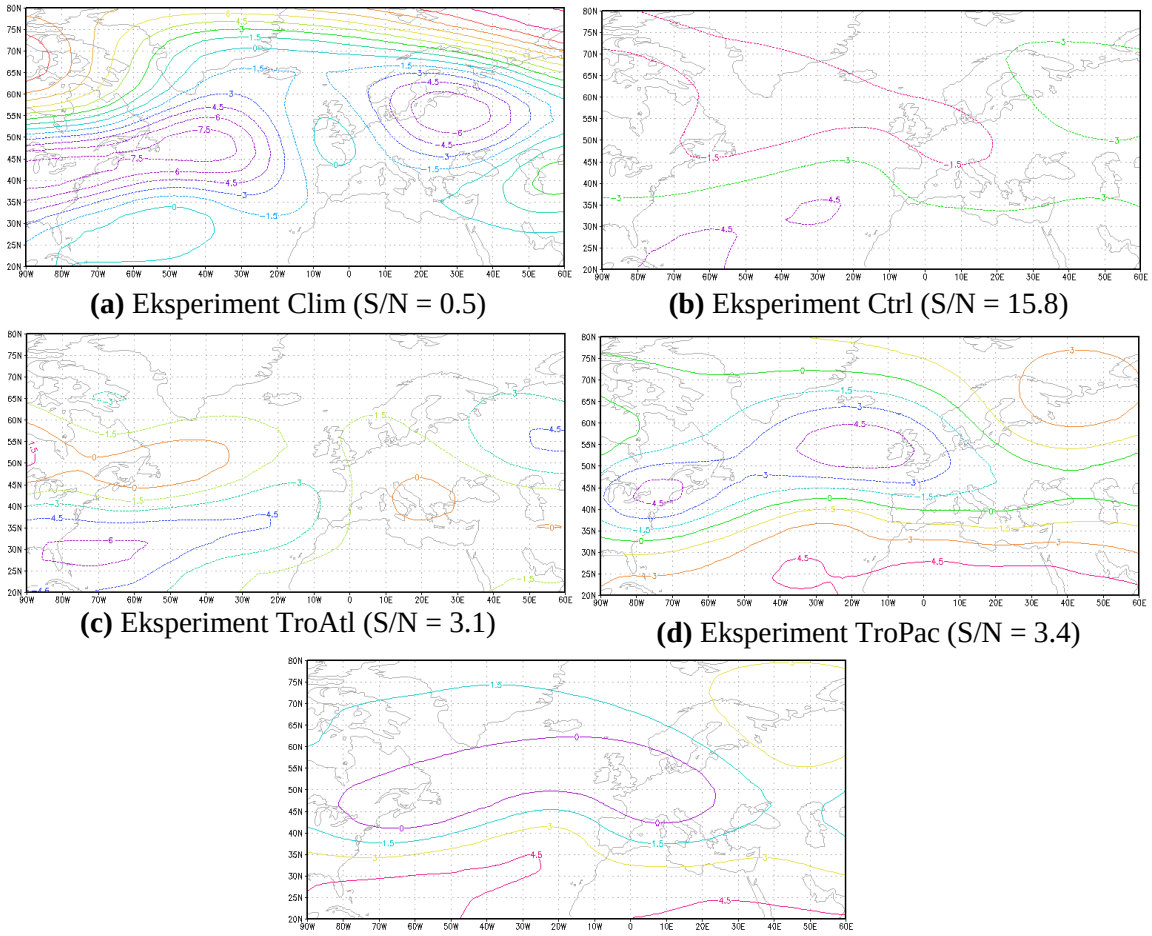
Rezultati pokazuju da se drugi EOF mod razlikuje između eksperimenata. Zajedničke karakteristike pokazuju polje EOF2 za eksperimente Clim, TroAtl i TroPac. Polje za eksperiment Ctrl pokazuje veća odstupanja u položaju i amplitudi akcijskih središta, a EOF2 polje za Tropics eksperiment s ostalima dijeli samo položaj akcijskog centra na sjeveru Europe. Postotak varijance opisan drugim modom najmanji je za eksperiment TroPac (12.2 %), a najveći za Ctrl (20.5 %), što je obrnuto u odnosu na prvi EOF mod.

Dakle, rezultati pokazuju da je prostorni oblik polja prvog moda (EOF1) isti za sve eksperimente, ali se postotak varijance opisan tim modom donekle mijenja ovisno o postavkama eksperimenata. Iz toga slijedi da prostorna raspodjela varijabilnosti GH200 opisana prvim EOF modom ne ovisi bitno o prinudnom djelovanju mora, ali je učestalost pojavljivanja odgovarajućeg polja modificirana njegovim djelovanjem Tako je dominantno polje klimatske varijabilnosti u području Europe i Atlantika (EOF1) isto u svim eksperimentima, ali njegova učestalost donekle je prigušena prinudnim djelovanjem mora i ovisi o tome koji je dio svjetskog mora aktivan. Drugi mod klimatske varijabilnosti (EOF2) ima prostorni oblik koji se mijenja s postavkama eksperimenata, a najveći postotak objašnjene varijance dobiva se kad je uvaženo djelovanje svih svjetskih mora (za Ctrl eksperiment).

Tablica 3.5: Postotak varijance opisan prvim (EOF1) i drugim (EOF2) modom za JAS GH200

Eksperiment	EOF1 Var (%)	EOF2 Var (%)
Clim	29.1	14.2
Ctrl	24.0	20.5
TroAtl	28.2	12.5
TroPac	30.1	12.2
Tropics	25.5	17.0

Polje EOFOPT za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.15 (a). Na slici su vidljiva dva akcijska centra od koji jedan pokriva područje iznad kopna Sjeverne Amerike i dio Atlantskog oceana, sa središtem smještenim između 40° i 50° s.g.š. te između 30° i 90° z.g.d. Drugi akcijski centar manje amplitude nalazi se iznad sjeveroistoka Europe i proteže se nad Aziju. Izolinija najveće amplitude tog centra zauzima prostor od 50° do 60° s.g.š. te od 20° i 40° i.g.d. Na rubovima promatranog područja naziru se još dva akcijska centra, iznad polarnih predjela Sjeverne Amerike te iznad Bliskog istoka. Izolinije su paralelne i položene zonalno u pojasu između 65° i 80° s.g.š.



(a) Eksperiment Clim (S/N = 0.5)

(b) Eksperiment Ctrl (S/N = 15.8)

(c) Eksperiment TroAtl (S/N = 3.1)

(d) Eksperiment TroPac (S/N = 3.4)

(e) Eksperiment Tropics (S/N = 13.2)

Slika 3.15: Polje EOFOPT za GH200 u sezoni JAS i pripadajući omjer signala i šuma (S/N)

Za eksperiment Ctrl polje EOFOPT prikazano je na slici 3.15 (b). U usporedbi s prethodnim eksperimentom uz jednak interval crtanja izolinije su vrlo rijetke. Izolinija najvećeg apsolutnog iznosa (-4.5) vidljiva je u donjem dijelu domene, u području između 20° i 30° s.g.š. te između 65° i 80° z.g.d. Ista se izolinija javlja na području Atlantskog oceana, od 30° do 35° s.g.š. te između 25° i 40° z.g.d. Sjeverno od tog područja, preko cijele domene proteže se nova izolinija manjeg iznosa (-3), koja se također pojavljuje iznad Euroazije, od 50° do 70° s.g.š. te od 25° i 60° i.g.d. Posljednja izolinija najmanjeg apsolutnog iznosa (-1.5) obuhvaća polarno područje iznad Sjeverne Amerike, južnog Grenlanda, Islanda te se proteže preko Atlantika i Britanskog otočja do središnje Europe.

Na slici 3.15 (c) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment TroAtl. Gustoća izolinija je veća nego u eksperimentu Ctrl, ali još uvijek mnogo manja nego u eksperimentu Clim. Na zapadnom dijelu promatranog područja nalaze se dva akcijska centra, jedan iznad drugoga. Prvi sa središtem smještenim između 25° i 30° s.g.š. te 60° i 85° z.g.d. te drugi sa središtem na samom rubu domene između 50° i 55° s.g.š. te oko 90° z.g.d. Još jedna zatvorena izolinija (-3) nalazi se iznad Baffinove zemlje, oko 65° s.g.š. te od 60° do 70° z.g.d. Premještajući se prema desnoj strani ukupnog promatranog područja iznad jugoistoka Europe nailazimo na zatvorenu nultu izoliniju, koja se ponovno pojavljuje južno od Kaspijskog jezera. Na prostoru Azije nalazi se još jedan akcijski centar, čije je središte na položaju oko 55° s.g.š. te od 50° do 60° i.g.d.

Polje EOFOPT za eksperiment TroPac prikazano je na slici 3.15 (d). Vidljiva su dva akcijska centra jednakih amplituda. Prvi se nalazi iznad sjevernog dijela Sjeverne Amerike, čije je središte između 40° i 45° s.g.š. te 70° i 80° z.g.d., te drugi u Atlantiku, zapadno od Britanskog otočja. Još jedan akcijski centar nalazi se na sjeveru Euroazije, sa središtem koje obuhvaća područje iznad 60° do 75° s.g.š. te između 30° i 60° i.g.d. U pojasu od 25° do 40° s.g.š. izolinije su paralelne i njihova je gustoća povećana.

Za eksperiment Tropics polje EOFOPT prikazano je na slici 3.15 (e). Jedan veliki akcijski centar proteže se preko područja od 40° do 60° s.g.š. te od 20° i.g.d. do 80° z.g.d. U gornjem desnom dijelu domene nalazi se zatvorena izolinija (-3), između 55° do 80° s.g.š. te između 20° do 80° i.g.d. U pojasu između 25° i 45° s.g.š. izolinije su paralelne i postavljene su gušće.

Kod polja EOFOPT postoji sličnost za eksperimente TroPac i Tropics, dok ostala tri pokazuju značajne razlike. Omjer signala i šuma u ovoj sezoni značajno se razlikuje između eksperimenata. Najmanji omjer zabilježen je eksperimentu Clim (0.5) i nalazi se ispod praga potencijalne prediktabilnosti. Najveći omjer signala i šuma dobiven je za eksperiment Ctrl (15.8), zatim za Tropics (13.2). Dakle, u ovoj sezoni značajno se mijenja omjer signala i šuma kad se uključi prinudno djelovanje mora.

Nakon opisa svih polja za GH200 u JAS sezoni, možemo vidjeti da su polja EOF1 (slika 3.13) međusobno vrlo slična za svih pet eksperimenata, što ukazuje da na to da prostorna raspodjela anomalija GH200 ni u ovoj sezoni ne ovisi značajno o prinudnom djelovanju oceana. Kod polja EOF2 (slika 3.14) eksperimenti Clim i TroAtl daju sličan prostorni raspored izolinija, polja za Ctrl i TroPac pokazuju neke zajedničke karakteristike, dok polje EOF2 za Tropics eksperiment odstupa od svih ostalih. Postoji mogućnost da tropski Pacifik donekle utječe i na prostorni raspored GH200 u ovoj sezoni. Kod EOFOPT polja (slika 3.15) postoji sličnost kod eksperimenta TroPac i Tropics, dok se ostala tri razlikuju. Ipak, kao što je već pokazano i za prethodne sezone, najznačajniji se utjecaj mora očituje u omjeru signala i šuma, na način da more i s njim povezani procesi prinudnog djelovanja i odziva atmosfere povećavaju potencijalnu prediktabilnost.

Ukupna oborina

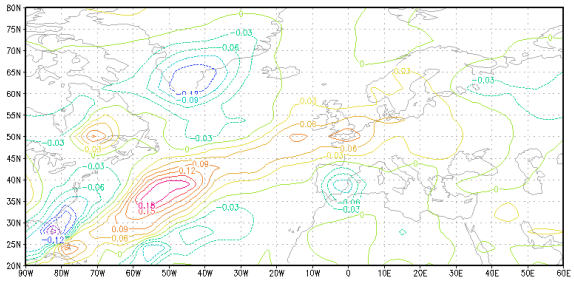
Na slici 3.16 (a) nalazi se vodeće polje EOF analize za eksperiment Clim koje opisuje 17.9 % varijance. U donjem lijevom rubu domene, oko 80° z.g.d. nalaze se dva akcijska centra. U sjeveroistočnom dijelu Sjeverne Amerike smješten je treći akcijski centar, sa središtem oko 50° s.g.š. i 70° z.g.d. Četvrti akcijski centar nalazi se na južnom Grenlandu, čije je središte na prostoru između 60° i 65° s.g.š. te između 40° i 50° z.g.d. Nad Atlantikom su vidljiva dva područja povećane gustoće izolinija, sa središtima između 40° i 60° z.g.d., oko 25° s.g.š. i 35°-40° s.g.š. Na području oko nultog meridijana nalaze se još dva akcijska centra, prvi sa središtem oko 50° s.g.š. te drugi sa središtem oko 40° s.g.š.

Na slici 3.16 (b) prikazano je polje EOF1 za eksperiment Ctrl. Počevši s lijeve strane promatranog područja, prvi akcijski centar ima središte oko 30° s.g.š. i 80° z.g.d. Istočno od tog područja, nad Atlantikom se nalaze iduća dva akcijska centra. Jedan ima središte oko 40° s.g.š. i 50° z.g.d., a drugi ima dva središta: oko 25° s.g.š. i 55° z.g.d. te oko 30° s.g.š. i 45° z.g.d. Na sjeveroistoku Sjeverne Amerike, sa središtem oko 50° s.g.š. i 70° z.g.d, nalazi se još jedno područje povećane gustoće izolinija. Akcijski centar postoji i nad Grenlandom, a njegovo je središte smješteno između 60° i 65° s.g.š. te oko 40° z.g.d. Posljednji akcijski centar nalazi se na prostoru Pirinejskog poluotoka, u blizini nultog meridijana. Ovo polje opisuje 15.3 % varijance.

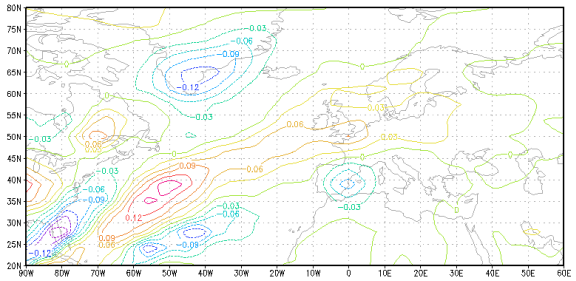
Na slici 3.16 (c) prikazano je polje EOF1 za eksperiment TroAtl koje opisuje 16.0 % varijance. Na donjem lijevom rubu domene, oko 80° z.g.d. nalaze se dva akcijska centra. U sjeveroistočnom dijelu Sjeverne Amerike smješten je treći akcijski centar, sa središtem oko 50° s.g.š. i 70° z.g.d. Četvrti akcijski centar nalazi se na južnom Grenlandu, sa središtem na prostoru između 60° i 65° s.g.š. te oko 45° z.g.d. Nad Atlantikom vidljiva su dva područja povećane gustoće izolinija, sa središtima između 40° i 60° z.g.d., oko 35° s.g.š. i 25°- 30° s.g.š. Na području oko nultog meridijana nalazi se još jedan akcijski centar, sa središtem između 35° i 40° s.g.š. U središnjoj Europi smješten je akcijski centar sa središtem oko 25° i.g.d. i 45°- 50° s.g.š. Akcijski centri manjih amplituda nalaze se u sjevernoj Africi (25° s.g.š. i 15° z.g.d.), Arapskom poluotoku (30° s.g.š. i 40°- 45° i.g.d), Perzijskom zaljevu (25° s.g.š. i 50°- 60° i.g.d), između Crnog mora i Kaspijskog jezera (40° s.g.š. i 45° i.g.d), sjeveroistočnoj Europi (60° s.g.š. i 40° i.g.d) i Skandinavskom poluotoku (65° s.g.š. i 10°- 20° i.g.d).

Polje EOF1 za eksperiment TroPac prikazano je na slici 3.16 (d). To polje objašnjava 16.1 % varijance. Položaj, amplituda i raspored akcijskih središta ovog polja sasvim odgovaraju već opisanom polju EOF1 iz eksperimenta Clim.

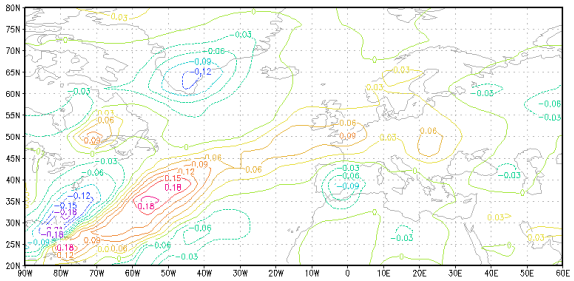
Vodeće EOF polje za eksperiment Tropics prikazano je na slici 3.16 (e). Akcijski centar u donjem lijevom rubu domene ima svoje središte oko 30° s.g.š. i 80° z.g.d. Istočno od područja, iznad Atlantskog oceana nalaze se iduća dva akcijska centra. Prvi ima središte oko 35° s.g.š. i 55° z.g.d., a drugi ima dva središta: oko 25° s.g.š. i 55° z.g.d. te oko 25° s.g.š. i 45° z.g.d. Na sjeveroistoku Sjeverne Amerike, sa središtem oko 50° s.g.š. i 70° z.g.d, također se nalazi jedno područje povećane gustoće izolinija. Akcijski centar postoji i nad Grenlandom, a njegovo je središte smješteno između 60° i 65° s.g.š. te između 35° i 50° z.g.d. Oko nultog meridijana, na prostoru Pirinejskog poluotoka nalazi se još jedan akcijski centar. Ovo polje opisuje 14.4 % varijance.



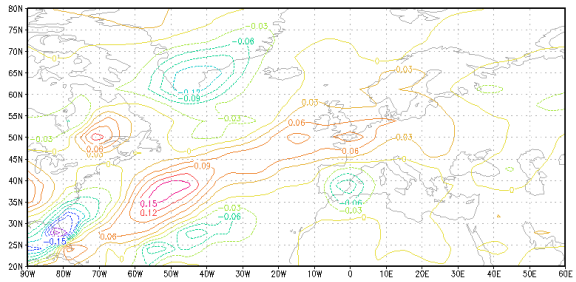
(a) Eksperiment Clim



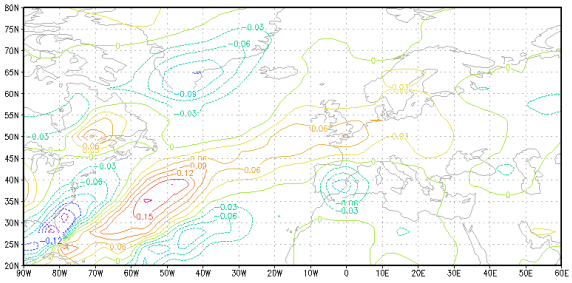
(b) Eksperiment Ctrl



(c) Eksperiment TroAtl



(d) Eksperiment TroPac

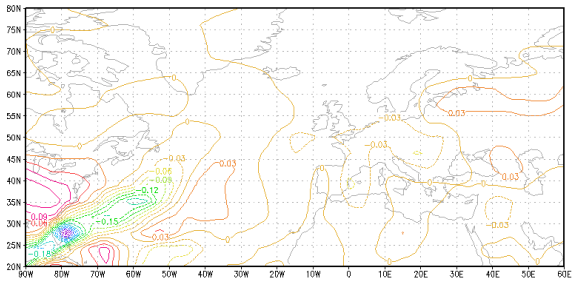


(e) Eksperiment Tropics

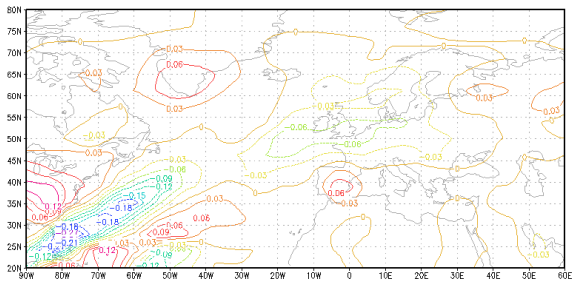
Slika 3.16: Polje EOF1 za RR u sezoni JAS

Na temelju prikazanih slika za odgovarajuća polja EOF1 dobivena pojedinim eksperimentima, uočavamo da ne postoji značajna razlika u njihovom prostornom izgledu. Postotak varijance koji je opisan prvim EOF modom donekle se razlikuje između pojedinih eksperimenata i to tako da je najveći za Clim (17.9 %), a najmanji za Tropics (14.4 %).

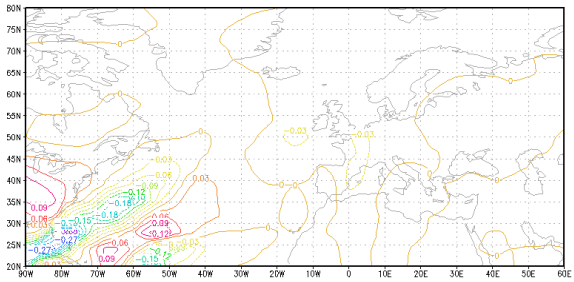
Polje EOF2 za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.17 (a). Akcijski centar najveće amplitude po apsolutnom iznosu nalazi na području Atlantskog oceana, sa središtem između 25° i 30° s.g.š. te oko 80° z.g.d. Akcijska središta manje amplitude u Atlantiku, smještena su u pojasu između 20° i 25° s.g.š., prvo u blizini 65° z.g.d. i drugo između 45° i 60° z.g.d. Na prostoru Sjeverne Amerike postoji još jedan akcijski centar, sa središtem između 35° i 40° s.g.š. U ostatku promatranog područja nalazi se nekoliko akcijskih središta manje amplitude: na sjeveru Euroazije (između 55° i 60° s.g.š. te od 25° do 60° i.g.d.), na jugu Francuske (40° s.g.š i 0° z.g.d.), u Europi (blizu 45° s.g.š i 20° i.g.d.), između Crnog mora i Kaspijskog jezera (između 40° i 50° s.g.š. te od 40° do 50° i.g.d.) i u Maloj Aziji (između 30° i 35° s.g.š. te oko 45° i.g.d.). Ovo polje opisuje 11.7 % varijance.



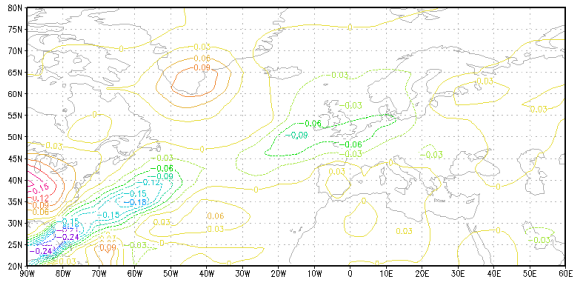
(a) Eksperiment Clim



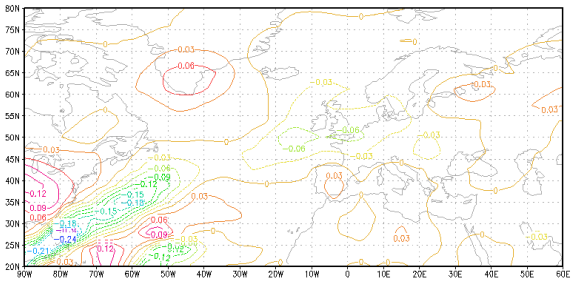
(b) Eksperiment Ctrl



(c) Eksperiment TroAtl



(d) Eksperiment TroPac



(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.17: Polje EOF2 za RR u sezoni JAS

Za eksperiment Ctrl polje EOF2 prikazano je na slici 3.17 (b). Na donjem lijevom rubu domene nalaze akcijski centri najveće amplitude. Njihova središta smještena su: na prostoru Sjeverne Amerike (između 35° i 40° s.g.š. te od 80° do 90° z.g.d.) te iznad Floride (između 25° i 30° s.g.š., oko 80°z.g.d.). U Atlantiku postoje još tri akcijska centra, prvi čije se središte nalazi u blizini 30° s.g.š., između od 45° i 55° z.g.d., a preostala dva imaju središte između 20° i 25° s.g.š., oko 65° i 55° z.g.d. Akcijski centri umjerene amplitude (0.06) nalaze se na području južnog Grenlanda, Pirinejskog poluotoka te dijela Britanskog otočja i sjeverne Europe. Akcijski centri male amplitude (0.03) nalaze se na području Sjeverne Amerike (oko 50° s.g.š. i oko 65° s.g.š.), u sjevernoj Europi (oko 60° s.g.š., između 35° i 45° i.g.d. te oko 60° s.g.š. i između 50° do 60° i.g.d.), na Arapskom poluotoku (oko 25° s.g.š. i 50° i.g.d.). Ovo polje opisuje 10.7 % varijance.

Na slici 3.17 (c) prikazano je polje EOF2 za eksperiment TroAtl koje opisuje 11.2 % varijance. U Atlantskom oceanu nalaze se akcijski centri s najvećim amplitudama. Prvi takav centar ima dva središta (30° s.g.š. i 80° z.g.d. te 35° s.g.š. i 60° z.g.d.). Drugi akcijski centar u Atlantiku također ima dva središta, ali manje amplitude (25° s.g.š. i 65° z.g.d. te oko 30° s.g.š. i 55° z.g.d.). Središte trećeg akcijskog centra u Atlantiku nalazi se blizu 25° s.g.š. i 55° z.g.d. Sljedeći akcijski centar nalazi se na području Sjeverne Amerike, te unutar domene zauzima prostor između 35° i 40° s.g.š. te od 80° do 90° z.g.d. Manji akcijski centri amplitude -0.03 smješteni su u Atlantiku (oko 50° s.g.š. i 15° z.g.d.) i zapadnoj Europi (između 40° i 50° s.g.š. te oko 5° i.g.d.). Ovo polje opisuje 12.5 % varijance.

Na slici 3.17 (d) prikazano je polje EOF2 za eksperiment TroPac koje opisuje 14.5 % varijance. Na prostoru Atlantskog oceana nalazi se akcijski centar s najvećom amplitudom po apsolutnom iznosu koji ima tri odvojena središta. Prvo je smješteno na 25° s.g.š. i 85° z.g.d.,drugo blizu 30° s.g.š. i 80° z.g.d. te treće na 35° s.g.š. i 60° z.g.d. U Atlantskom oceanu postoje i druga akcijska područja: jedno oko 25° s.g.š. i 70° z.g.d., drugo blizu 50° s.g.š. i 15°z.g.d. te treće oko 30° s.g.š. i 40° z.g.d. Na jugu Grenlanda također se nalazi jedan akcijski centar. Akcijski centri manje amplitude (0.03) smješteni su u sjevernoj Europi (oko 60° s.g.š., između 30° i 45° i.g.d. te oko 60° s.g.š. i između 50° do 60° i.g.d.), na Pirinejskom poluotoku (između 35° i 40° s.g.š. te 5° z.g.d.) i na području Perzijskog zaljeva (oko 30° s.g.š. i 55° i.g.d.). Akcijski centar u Sjevernoj Americi svoje središte ima izvan promatranog područja.

Polje EOF2 za eksperiment Tropics prikazano je na slici 3.17 (e). U Atlantskom oceanu nalaze se akcijski centri s najvećim amplitudama. Prvi takav akcijski centar ima dva središta (30° s.g.š. i 80° z.g.d. te 35° s.g.š. i 60° z.g.d.). Drugi akcijski centar u Atlantiku također ima dva središta, ali manje amplitude (20°- 25° s.g.š. i 65° z.g.d. te oko 25° s.g.š. i 55° z.g.d.). Središte trećeg akcijskog centra u Atlantiku nalazi se na 25° s.g.š. i 50° z.g.d. Akcijski centri amplitude 0.06 nalaze se na južnom Grenlandu (između 60° i 65° s.g.š. te između 40° i 50° z.g.d.), zapadno od Britanskog otočja (50° s.g.š., od 10° do 20° z.g.d.) te između Francuske i Engleske (50° s.g.š., između 5° z.g.d. i 5° i.g.d.). Akcijski centri manje amplitude smješteni su na: Pirinejskom poluotoku (od 35° do 40° s.g.š. i 5° z.g.d.), u istočnoj Europi (45° s.g.š. i 25° i.g.d.), sjeveroistočnoj Europi (60° s.g.š., od 30° do 40° i.g.d.), sjevernoj Africi (blizu 25° s.g.š. i 15° i.g.d.), Perzijskom zaljevu (blizu 25° s.g.š. i 55° i.g.d.) te u Aziji (60° s.g.š., od 50° do 60° i.g.d.). Ovo polje opisuje 12.5 % varijance.

Rezultati pokazuju da se i drugi EOF mod ne razlikuje bitno između eksperimenata (kao što je pokazano za mod EOF1). Prostorna polja su sličnog izgleda, nema značajnog pomaka akcijskih centara, a razlike u amplitudama su relativno male. Postotak varijance opisan drugim modom najveći je za eksperiment TroPac (14.5 %), a najmanji za Ctrl (10.7 %). Za prvi mod najveći je postotak dobiven za eksperiment Clim (eksperiment bez forsiranja na donjoj granici), a najmanji za Tropics.

Slijedi da je prostorni oblik EOF1 polja isti za sve eksperimente, ali se postotak varijance opisan tim modom mijenja ovisno o postavkama eksperimenata. Isto vrijedi i za EOF2, ali su kod drugog moda različiti eksperimenti kod kojih je najveći i najmanji postotak opisane varijance. Rezultati su navedeni u tablici 3.6.

Tablica 3.6: Postotak varijance opisan prvim (EOF1) i drugim (EOF2) modom za JAS RR

Eksperiment	EOF1 Var (%)	EOF2 Var (%)
Clim	17.9	11.7
Ctrl	15.3	10.7
TroAtl	16.0	11.2
TroPac	16.1	14.5
Tropics	14.4	12.5

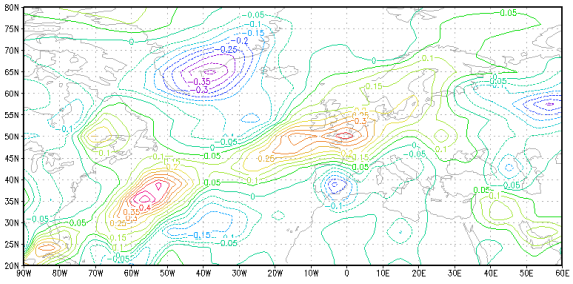
Ovaj rezultat ukazuje na to da prostorna raspodjela varijabilnosti ukupne oborine ne ovisi značajno o prinudnom djelovanju mora, ali je učestalost pojavljivanja odgovarajućeg polja modificirana tim prinudnim djelovanjem. Tako je dominantno polje klimatske varijabilnosti u području Europe i Atlantika (EOF1) isto u svim eksperimentima, ali njegova učestalost donekle je prigušena prinudnim djelovanjem mora i ovisi o tome koji je dio svjetskog mora aktivan (najveći utjecaj ima cijeli tropski pojas, što je vidljivo iz rezultata za eksperiment Tropics). Drugi mod klimatske varijabilnosti (EOF2) također ima oblik koji se bitno ne mijenja s postavkama eksperimenata.

Polje EOFOPT za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.18 (a). Krenemo li od desnog ruba domene prvi akcijski centar nalazi se na području Azije, sa središtem u blizini 60° s.g.š. i 55° i.g.d. Idući, manji akcijski centar smješten je između Crnog mora i Kaspijskog jezera, oko 45° i.g.d. Prema jugu, na području Bliskog istoka, nalazi se akcijski centar s dva središta. Prvo je središte između 30° i 35° s.g.š., od 40° do 45° i.g.d., a drugo blizu 30° s.g.š. te 50°- 60° i.g.d. U Europi postoje tri akcijska centra. Prvi, s najvećom amplitudom od ta tri centra, nalazi se na jugu Britanskog otočja oko nultog meridijana i 50° s.g.š., drugi na jugu Pirinejskog poluotoka (40° s.g.š. i 5° z.g.d.), a treći u istočnoj Europi (50° s.g.š. i 25° i.g.d.). Područje povećane gustoće izolinija nalazi se na jugu Grenlanda, sa središtem na 65° s.g.š. i 40° z.g.d. Postoji i akcijski centar na sjeveroistoku Sjeverne Amerike (50° s.g.š. i 70° z.g.d.). Na prostoru Atlantika nalaze se tri akcijska centra sa središtima: prvi u Meksičkom zaljevu (25° s.g.š. i 85° z.g.d.), drugi na 35° s.g.š. i 55° z.g.d. te treći oko 30° s.g.š., između 30° i 50° z.g.d. Manji akcijski centri postoje nad Crvenim morem (20°- 25° s.g.š. i 40° i.g.d.), u sjevernoj Africi (25°- 30° s.g.š. i 15° i.g.d.), na području Atlantika (30° s.g.š. i 20° z.g.d. te oko 55° s.g.š. i 25° z.g.d.), u Sjevernoj Americi (50°- 60° s.g.š. i 75°- 85° z.g.d.).

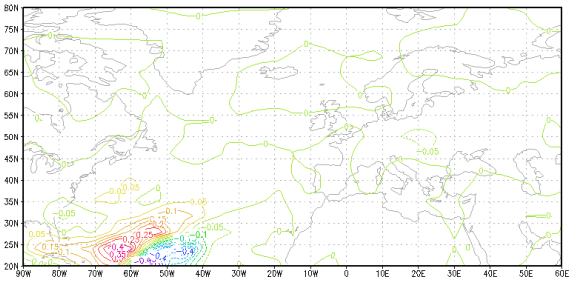
Na slici 3.18 (b) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Ctrl. Područja povećane gustoće izolinija nalaze se na donjem rubu domene, na prostoru Atlantika, sa središtima između 20° i 25° s.g.š., u pojasu od 40° do 70° z.g.d. Manji akcijski centri imaju svoja središta oko 30° s.g.š. i 80° z.g.d., 35° s.g.š. i 55° z.g.d., 40° s.g.š. i 60° z.g.d. te u Europi oko 50° s.g.š. te između 15° i 25° i.g.d.

Na slici 3.18 (c) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment TroAtl. Akcijski centar najveće amplitude po apsolutno iznosu nalazi se na području Atlantika, sa središtem između 20° i 25° s.g.š. te 50° i 60° z.g.d. Drugi akcijski centar smješten je sjeverozapadno od prvog, sa središtem od 30° do 35° s.g.š. i između 70° i 80° z.g.d. Još jedan akcijski centar manje amplitude (0.05) nalazi se oko nultog meridijana, između 35° i 40° s.g.š.

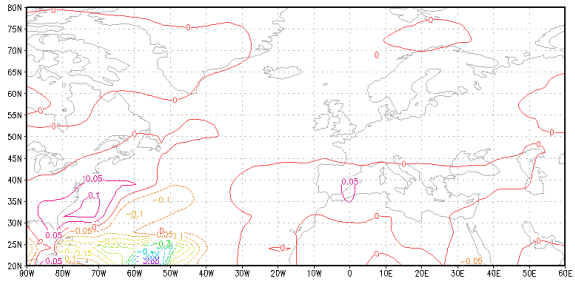
Za eksperiment TroPac polje EOFOPT prikazano je na slici 3.18 (d). Akcijski centri najveće amplitude nalaze se na lijevom rubu domene. Prvi ima središte na 40° s.g.š. i 90° z.g.d., a drugi na 25° s.g.š i 85° z.g.d. Na području Atlantskog oceana postoje tri akcijska centra sa središtima u pojasu od 20° do 25° s.g.š., prvi blizu 70° z.g.d., drugi oko 60° z.g.d. te treći oko 50° z.g.d. Na Atlantiku imamo još tri manja akcijska centra, prvi blizu 40° s.g.š. i 55° z.g.d., drugi između 30° i 35° s.g.š. te od 30° do 50° z.g.d. , a treći na 50° s.g.š. i 15° z.g.d. Na jugu Grenlanda također postoji akcijski centar, sa središtem između 60° i 65° s.g.š. te od 40° do 55° z.g.d. Manji akcijski centri nalaze se na jugu Pirinejskog poluotoka (40° s.g.š. i 5° z.g.d.), na sjeveru Euroazije (60°- 65° s.g.š. te 30°- 60° i.g.d.), u sjevernoj Africi (25°- 30° s.g.š. i 15° i.g.d.) i na jugoistoku Arapskog poluotoka (25° s.g.š. i 55° i.g.d.).



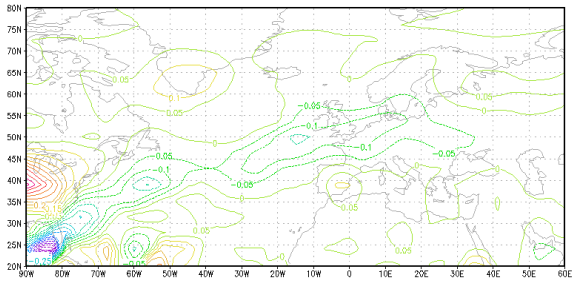
(a) Eksperiment Clim (S/N = 0.5)



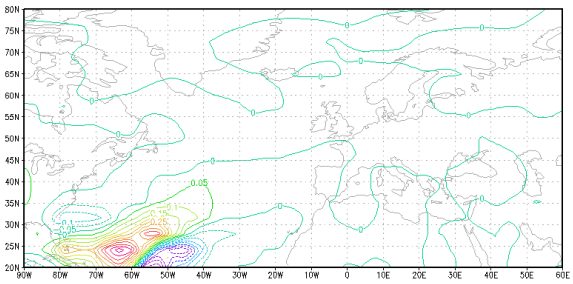
(b) Eksperiment Ctrl (S/N = 4.2)



(c) Eksperiment TroAtl (S/N = 4.5)



(d) Eksperiment TroPac (S/N = 1.1)



(e) Eksperiment Tropics (S/N = 2.9)

Slika 3.18: Polje EOFOPT za RR u sezoni JAS i pripadajući omjer signala i šuma (S/N)

Na slici 3.18 (e) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Tropics. Područja velike gustoće izolinija nalaze se na prostoru Atlantskog oceana. Oba akcijska centra imaju po dva središta. Središta prvog akcijskog centra nalaze se na 25° s.g.š. i 65° z.g.d. te na 30° s.g.š. i 55° z.g.d., a središta drugog na 25° s.g.š. i 45° z.g.d. te 20° s.g.š. i 55° z.g.d. Još jedan akcijski centar manje amplitude nalazi se na Atlantiku, sa središtem oko 30° s.g.š. između 70° i 80° z.g.d. U ostatku promatranog područja pojavljuje se samo nulta izolinija.

Rezultati pokazuju da se polja EOFOPT značajno se razlikuju između provedenih eksperimenata, s tim da polja za eksperimente Ctrl i Tropics pokazuju zajedničke karakteristike. Najveći omjer signala i šuma (S/N) dobiven je za eksperiment TroAtl, a najmanji za Clim. Slijedi da prinudno djelovanje mora utječe na odnos signala i šuma. Također možemo zaključiti da u ovoj sezoni prinudno djelovanje mora u tropskom Atlantiku najviše doprinosi tome da signal nadvlada šum.

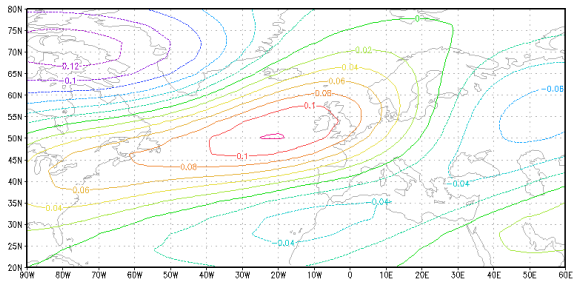
Nakon analize svih polja ukupne oborine sezoni JAS, vidljivo je da su polja EOF1 (slika 3.16) vrlo slična za sva četiri eksperimenta, a to pokazuje da međugodišnja varijabilnost prostorne raspodjele ukupne oborine u promatranoj sezoni ne ovisi o SST forsiranju. Isti zaključak vrijedi za EOF2 polja (slika 3.17). Kod polja EOFOPT (slika 3.18) primjećuje se sličnost između eksperimenta Ctrl i Tropics. Kao i kod prethodno promatranih sezona, omjer signala i šuma značajno ovisi o tome je li u model uključeno prinudno djelovanje mora i koji dio svjetskog mora uključen. Najveći omjer signala i šuma dobiva se za eksperiment Ctrl, dok je omjer za eksperiment Clim ispod praga potencijalne prediktabilnosti.

3.4. Sezona OND

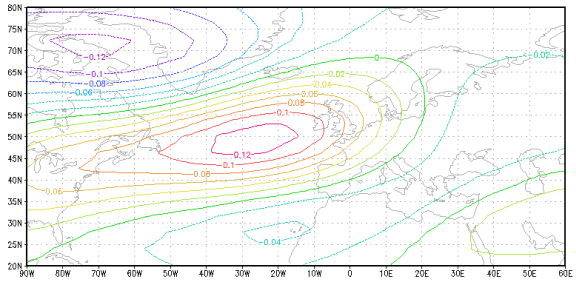
Sezona OND predstavlja jesensko tromjesečno razdoblje, a uključuje listopad, studeni i prosinac.

Geopotencijalna visina

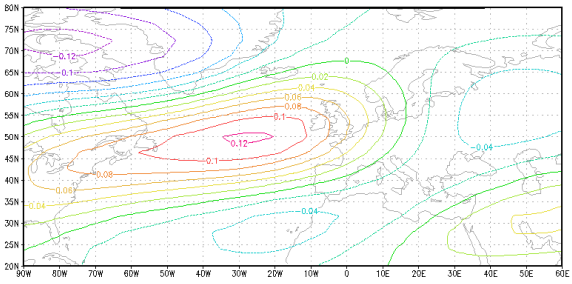
Na slici 3.19 (a) prikazano je polje EOF1 za eksperiment Clim koje je vrlo slično polju EOF1 za JFM sezonu sa slike 3.1. Prisutna su dva akcijska centra, prvi u sjevernom Atlantiku s najvećom amplitudom oko 50° s.g.š., a drugi s maksimalnom amplitudom iznad sjevera Sjeverne Amerike. Izolinije su najgušće u dva pojasa: od 30° do 40° s.g.š. te od 50° do 60° s.g.š. U usporedbi sa zimskom sezonom javlja se odziv nezanemarive amplitude iznad granice Europe i Azije te područja iznad sjeverozapadne Afrike i Kanarskog otočja. Ovo polje opisuje 26.1 % varijance.



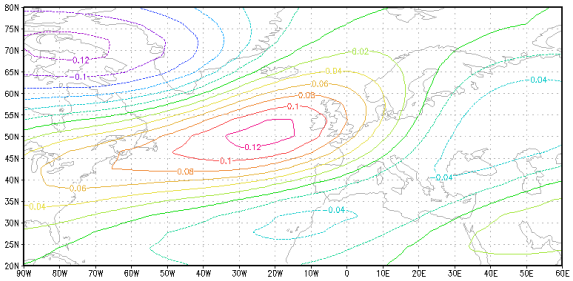
(a) Eksperiment Clim



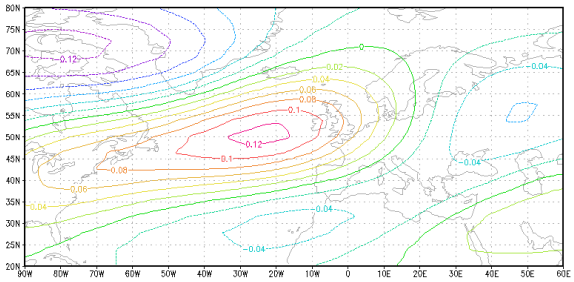
(b) Eksperiment Ctrl



(c) Eksperiment TroAtl



(d) Eksperiment TroPac



(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.19: Polje EOF1 za GH200 u sezoni OND

Polje EOF1 za eksperiment Ctrl prikazano na slici 3.19 (b) veoma je slično polju iz Clim eksperimenta. Vidljiva su dva glavna akcijska centra iznad sjevernog Atlantika i sjeverne Amerike, ali u usporedbi s Clim eksperimentom izostaje odziv na području granice europskog i azijskog dijela kontinenta. Ovo polje opisuje 23.4 % varijance.

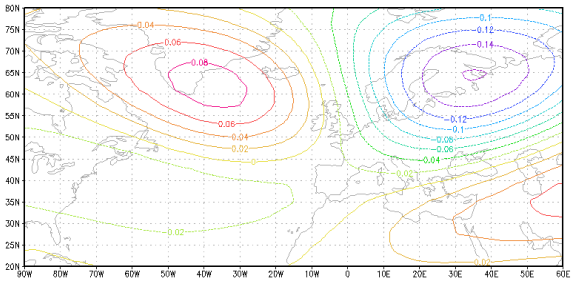
Polje EOF1 za eksperiment TroAtl sa slike 3.19 (c) i polje EOF1 za eksperiment TroPac sa slike 3.19 (d) gotovo je identična polju iz eksperimenta Clim, uz malo slabiju amplitudu odziva iznad granice Europe i Azije. Polje za eksperiment TroAtl objašnjava 24.8% varijance, a polje za TroPac 26.3 % varijance od GH200.

Vodeće EOF polje za eksperiment Tropics nalazi se na slici 3.19 (e) i opisuje 22.9 % varijance. Kao i u slučaju prethodnih eksperimenata nema značajnih odstupanja u izgledu ovog EOF1 polja. Par glavnih akcijskih centara nad sjevernim Atlantikom i sjeverom Sjeverne Amerike ima jednaku maksimalnu amplitudu, a vidljivi su i manji centri oko 55° s.g.š. iznad euroazijskog kopna i oko 30° s.g.š. iznad Kanarskog otočja.

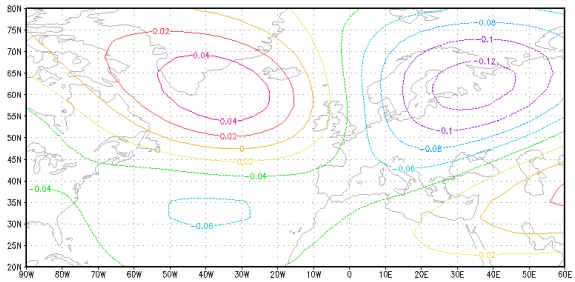
Na temelju prikazanih rezultata za polja EOF1, uočavamo da ne postoji značajna razlika u njihovom izgledu i amplitudi. Postotak varijance koji je opisan prvim EOF modom razlikuje se između pojedinih eksperimenata i to na način da je taj postotak najveći za TroPac (26.3 %), a najmanji za Tropics (22.9 %).

Na slici 3.20 (a) prikazano je polje EOF2 za Clim eksperiment koje opisuje 17.1 % varijance. Jasno su izražena dva akcijska centra u gornjem dijelu domene. Prvo područje povećane gustoće izolinija nalazi se u sjevernom Atlantskom oceanu, sa središtem između 55° i 65° s.g.š. te 30° i 50° z.g.d. Drugi akcijski centar, dvostruko veće amplitude, smješten je iznad Euroazijskog kopna te ima svoje središte oko 65° s.g.š. i 35° i.g.d. Na donjem desnom rubu domene, iznad sjeveroistoka Afrike i Arapskog poluotoka, također postoji područje gdje se izolinije zatvaraju oko nekog središta, ali se to središte nalazi izvan promatranog područja.

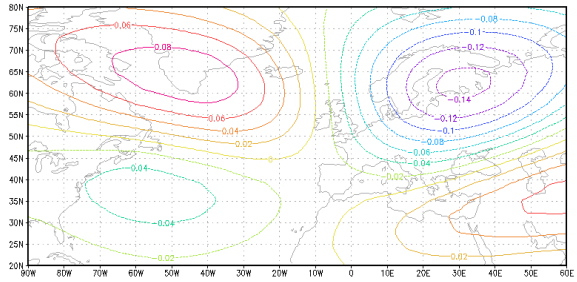
Polje EOF2 za eksperiment Ctrl prikazano je na slici 3.20 (b). Uz dva glavna akcijska centra nad sjevernim Atlantikom i Euroazijom, koji su manje amplitude nego u eksperimentu Clim, javlja se i jedan manji u Atlantskom oceanu, između 30° i 35° s.g.š. te 30° i 50° z.g.d. Izolinije nad Arapskim poluotokom pomaknute su prema istoku u usporedbi s eksperimentom Clim. Ovo polje opisuje 15.6 % varijance.



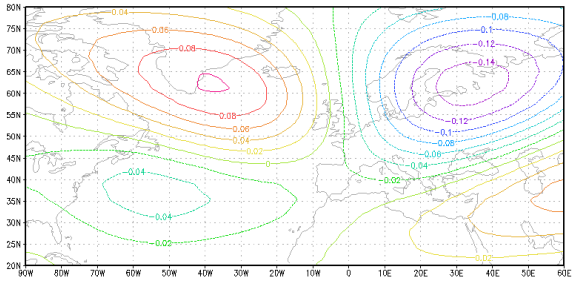
(a) Eksperiment Clim



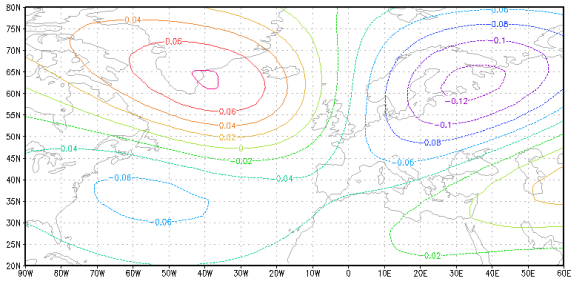
(b) Eksperiment Ctrl



(c) Eksperiment TroAtl



(d) Eksperiment TroPac



(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.20: Polje EOF2 za GH200 u sezoni OND

Za eksperiment TroAtl, polje EOF2 prikazano je na slici 3.20 (c). To polje opisuje 16.6 % varijance Ovdje su izolinije podijeljene između četiri akcijska centra. Prvi obuhvaća područje iznad južnog Grenlanda, Islanda i sjeverozapada Sjeverne Amerike. Drugi akcijski centar, koji ima najveću amplitudu, nalazi se iznad Euroazije, sa središtem na Skandinavskom poluotoku između 60° i 65° s.g.š. te 25° i 40° i.g.d. Treći je akcijski centar iznad Atlantika, a njegovo se središte nalazi pored istočne obale Sjeverne Amerike. Također postoji područje povećane gustoće izolinija iznad sjeverne Afrike i Arapskog poluotoka, ali se središte tog akcijskog centra nalazi izvan granica promatranog područja.

Na slici 3.20 (d) prikazano je polje EOF2 za eksperiment TroPac koje opisuje 15.6 % varijance. Moguće je raspoznati četiri akcijska centra, čiji su položaji i raspored jednaki kao u eksperimentu TroAtl. U akcijskom centru nad sjevernim Atlantikom javlja se novi maksimum iznad juga Grenlanda, između 60° i 65° s.g.š. te 35° i 40° z.g.d.

Polje EOF2 za eksperiment Tropics prikazano je na slici 3.20 (e). Vidljiva su dva glavna akcijska centra, jedan iznad sjevernog Atlantika i Grenlanda, sa središtem između 60° i 65° s.g.š. te 40° z.g.d., a drugi iznad Euroazije, sa središtem između 65° i 65° s.g.š. te 25° i 45° i.g.d. Postoji i treći, po amplitudi manji akcijski centar u Atlantskom oceanu, čije je središte između 30° i 40° s.g.š. te 40° i 70° z.g.d. Nazire se i četvrti akcijski centar čije se središte nalazi na Bliskom istoku negdje izvan promatranog područja. Ovo polje opisuje 15.5 % varijance.

Ovi rezultati pokazuju da se ni polje EOF2 značajno ne razlikuje između provedenih eksperimenata, slično kao što je pokazano za prvi mod (EOF1). Prostorna polja su vrlo slična, nema značajnog pomaka akcijskih centara, a razlike u amplitudama su relativno male. Postotak varijance opisan drugim modom najmanji je za eksperiment Tropics (15.5 %), a najveći za Clim (17.1 %).

Napravimo li usporedbu postotaka varijance opisane prvim i drugim modom za pojedine eksperimente, vidimo da je za prvi mod najveći postotak dobiven za TroPac eksperiment (s forsiranjem u tropskom Pacifiku), a najmanji za Tropics (s forsiranjem u svim tropskim morima). U slučaju drugog moda, najveći je udio varijance opisan u polju za eksperiment Clim, a najmanji opet za eksperiment Tropics (tablica 3.7).

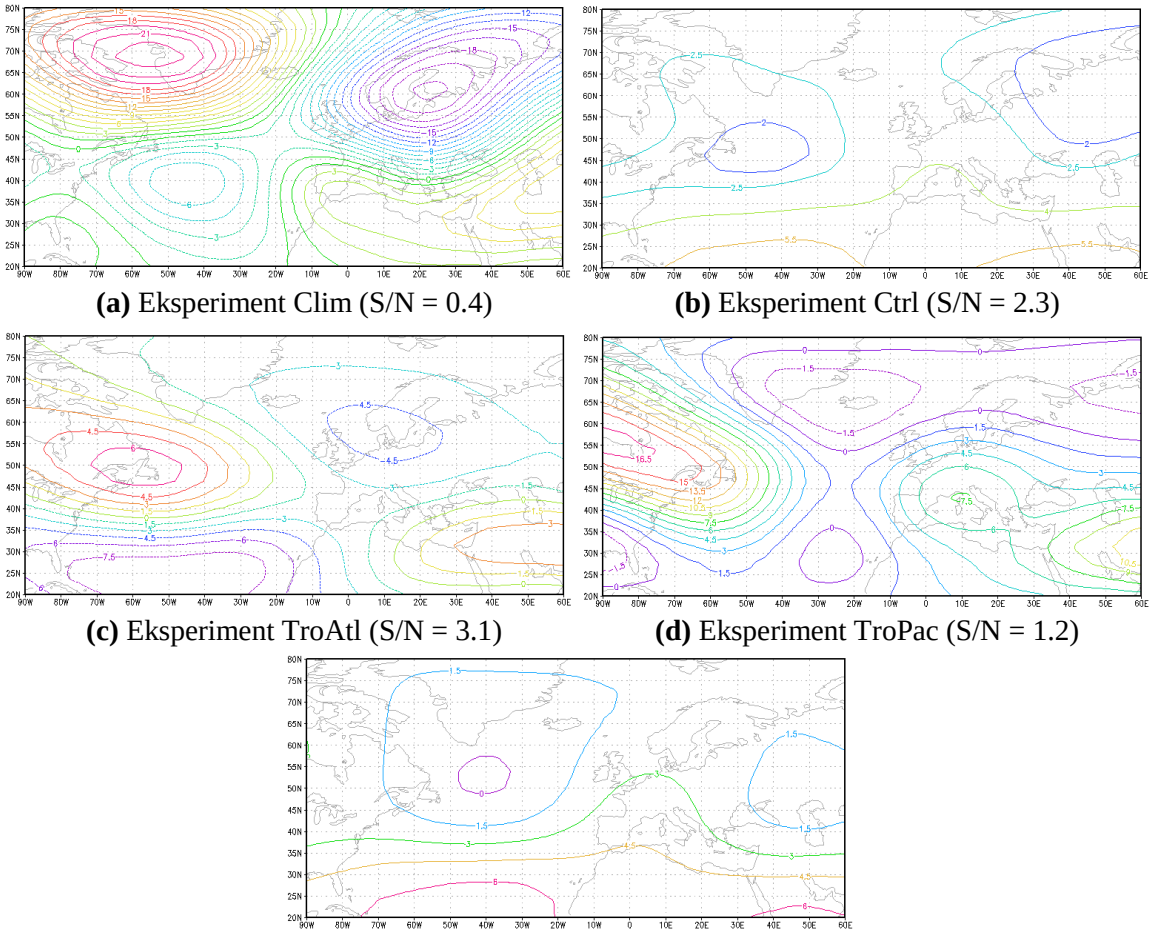
Dakle, rezultati i za ovu sezonu pokazuju da je prostorni oblik polja za EOF1 sličan za sve eksperimente, ali se postotak varijance opisan tim modom donekle mijenja ovisno o postavkama eksperimenata. Isto vrijedi i za polja EOF2. Ovaj rezultat ukazuje na to da prostorna raspodjela varijabilnosti GH200 ne ovisi značajno o prinudnom djelovanju mora, ali je učestalost pojavljivanja odgovarajućeg polja modificirana zbog tog djelovanja.

Tablica 3.7: Postotak varijance opisan prvim (EOF1) i drugim (EOF2) modom za OND GH200

Eksperiment	EOF1 Var (%)	EOF2 Var (%)
Clim	26.1	17.1
Ctrl	23.4	15.6
TroAtl	24.8	16.6
TroPac	26.3	15.6
Tropics	22.9	15.5

Polje EOFOPT za eksperiment Clim nalazi se na slici 3.21 (a). Zbog velike gustoće brojčano je označena svaka druga izolinija. Akcijski centar najveće amplitude nalazi se u polarnom području iznad Grenlanda i Sjeverne Amerike sa središtem smještenim između 65° i 75° s.g.š. te 45° i 65° z.g.d. Drugi akcijski centar manje amplitude po apsolutnom iznosu nalazi se iznad Euroazije, a njegovo je središte iznad Skandinavskog poluotoka, oko 60° s.g.š., od 20° i 25° i.g.d. Treći područje povećane gustoće izolinija najmanje amplitude smješteno je iznad Atlantika, sa središtem između 35° i 45° s.g.š. te između 35° i 55° z.g.d. Na desnom rubu domene, iznad Bliskog istoka nalazi se još jedan akcijski centar, ali je njegovo središte negdje izvan promatranog područja.

Na slici 3.21 (b) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Ctrl. Moguće je razabrati dva akcijska centra, iako je gustoća izolinija mnogo manja nego u klimatološkom eksperimentu s istim razmakom pri crtanju izolinija. Jedan akcijski centar obuhvaća područje iznad Atlantskog oceana, južni dio Grenlanda i sjeveroistočni dio Sjeverne Amerike, sa središtem između 40° i 55° s.g.š. te 35° i 60° z.g.d. Drugi se nalazi iznad istočno dijela Europe i Azije te ima jednaku amplitudu kao i prvi akcijski centar. Izolinija iznosa 4 prolazi pojasom između 30° i 40° s.g.š. kroz cijelo promatrano područje. Izolinija najveće apsolutne vrijednosti (5.5) pojavljuje se na donjem rubu domene, između 20° i 70° z.g.d. te između 15° i 60° i.g.d.



(a) Eksperiment Clim (S/N = 0.4)

(b) Eksperiment Ctrl (S/N = 2.3)

(c) Eksperiment TroAtl (S/N = 3.1)

(d) Eksperiment TroPac (S/N = 1.2)

(e) Eksperiment Tropics (S/N = 9.8)

Slika 3.21: Polje EOFOPT za GH200 u sezoni OND i pripadajući omjer signala i šuma (S/N)

Polje EOFOPT za eksperiment TroAtl prikazano je na slici 3.21 (c). Karakteriziraju ga četiri akcijska centra od kojih se prvi, s najvećim apsolutnim iznosom amplitude, nalazi iznad Atlantskog oceana i zauzima područje između istočne obale Sjeverne Amerike i zapadne obale Afrike. Drugo područje povećane gustoće izolinija nalazi se iznad sjeveroistočnog dijela Sjeverne Amerike te zahvaća dio Atlantskog oceana i jug Grenlanda. Njegovo je središte smješteno između 45° i 55° s.g.š. te između 45° i 70° z.g.d. Treći akcijski centar zauzima područje iznad sjeverne Europe, Islanda i zapadnog dijela Azije, sa središtem od 50° do 65° s.g.š. te od 5° z.g.d. do 25° i.g.d. Posljednji vidljivi akcijski centar s najmanjom amplitudom nalazi se iznad sjeveroistočne Afrike i Bliskog istoka, a njegovo je središte između 25° i 30° s.g.š. te između 30° i 60° i.g.d.

Na slici 3.21 (d) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment TroPac. Amplitudom i površinom najveći akcijski centar nalazi se iznad Sjeverne Amerike te obuhvaća i dio područja nad Atlantskim oceanom, a središte je smješteno između 50° i 60° s.g.š. te između 75° i 90° z.g.d. Idući je akcijski centar mnogo manje amplitude smješten iznad Islanda i Grenlanda. Jedan manji akcijski centar nalazi se zapadno od Kanarskog otočja u Atlantiku. Još jedno veće područje povećane gustoće izolinija obuhvaća prostor iznad Europe, sjeverne Afrike i Bliskog istoka. Ovo područje ima dva odvojena središta, prvo iznad Ligurskog mora i drugo iznad Irana. Iznad Meksičkog zaljeva, na donjem lijevom rubu domene nalazi se posljednji, manji akcijski centar.

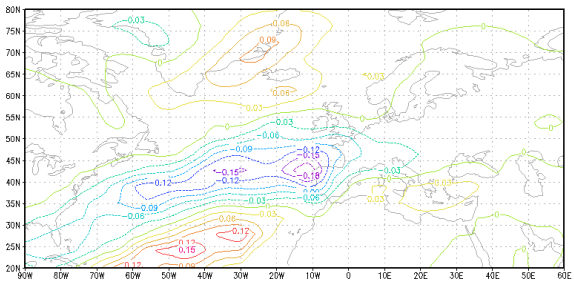
Na slici 3.21 (e) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Tropics. Prvi akcijski centar obuhvaća područje iznad sjevernog Atlantika, jug Grenlanda, Island i sjeveroistočni vrh sjevernoameričkog kontinenta. Njegovo je središte smješteno između 50° i 55° s.g.š. te između 35° i 45° z.g.d. Drugi se akcijski centar nalazi iznad Azije te pokriva područje od 40° do 60° s.g.š. te od 35° do 60° i.g.d. Izolinije iznosa 3 i 4.5 su paralelne i prolaze područjem u pojasu između 30° i 50° s.g.š. kroz cijelu duljinu domene. Na donjem rubu promatranog područja pojavljuje se izolinija iznosa 6, u području nad Atlantikom i iznad Arapskog poluotoka.

Kod polja EOFOPT unutar ove sezone vidljive su veće razlike u položajima akcijskih središta i njihovoj amplitudi. Najveći omjer signala i šuma (S/N) ima eksperiment Tropics, a najmanji eksperiment Clim. Iz toga slijedi da prinudno djelovanje mora utječe na odnos signala i šuma u OND sezoni, tako da SST anomalije u cijelom tropskom pojasu najviše utječu na potencijalnu prediktabilnost. EOFOPT polja za eksperimente TroAtl (slika 3.21 (c)), Tropics (3.21 (e)) te donekle za Ctrl (3.21 (b)) pokazuju sličnost s poljima EOFOPT dobivena za sezonu JFM za iste te eksperimente (slike 3.1 (a), 3.1 (b) i 3.1 (e)).

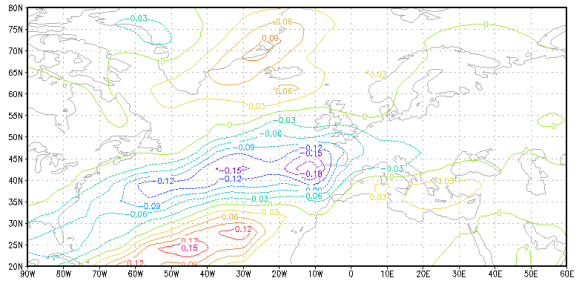
Zaključujemo da su polja EOF1 (slika 3.19) međusobno slična u svim eksperimentima, a pokazuju sličnost i s poljima EOF1 za sezonu JFM (slika 3.1). Slijedi da međugodišnja varijabilnost prostorne raspodjele GH200 u promatranoj sezoni ne ovisi značajno o prinudnom djelovanju oceana. Isto vrijedi i za polja EOF2 (slika 3.20). Kod polja EOFOPT (slika 3.21) vidljive su veće razlike, a to ukazuje da prinudno djelovanje SSTA utječe na omjer signala i šuma u sezoni OND.

Ukupna oborina

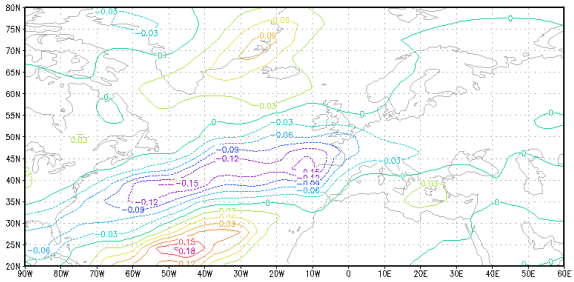
Na slici 3.22 (a) prikazano je vodeće polje (EOF1) za eksperiment Clim koje objašnjava 20.2 % varijance ukupne oborine. Na gornjem dijelu promatranog područja nalazi se akcijski centar koji obuhvaća istočni dio Grenlanda i Island, sa središtem oko 70° s.g.š. i 25° z.g.d. Prostorno najveće područje povećane gustoće izolinija, koje ujedno ima i najveću amplitudu po apsolutnom iznosu, nalazi se nad Atlantskim oceanom. Ovaj akcijski centar ima dva odvojena središta, prvo se nalazi oko 40° s.g.š. i između 45° i 55° z.g.d., a drugo oko 45° s.g.š. i 10° z.g.d. Idući akcijski centar također je smješten iznad Atlantika, sa središtem oko 25° s.g.š., između 40° i 50° z.g.d. Jedan akcijski centar manje amplitude nalazi se iznad Sredozemnog mora, između 5° i 30° i.g.d.



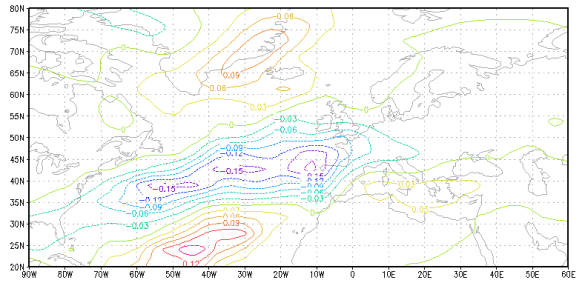
(a) Eksperiment Clim



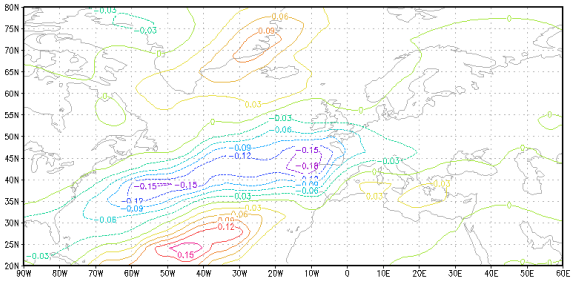
(b) Eksperiment Ctrl



(c) Eksperiment TroAtl



(d) Eksperiment TroPac



(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.22: Polje EOF1 za RR u sezoni OND

Na slici 3.22 (b) prikazano je polje EOF1 za eksperiment Ctrl. Akcijski centar koji zahvaća istočni dio Grenlanda i Island ima središte oko 70° s.g.š., između 20° i 30° z.g.d.Prostorno najveći akcijski centar koji postoji iznad Atlantika ima i najveću amplitudu po apsolutnom iznosu. Ovo područje povećane gustoće izolinija ima dva odvojena središta u pojasu između 40° i 45° s.g.š., gdje je prvo smješteno između 30° i 40° z.g.d., a drugo oko 10° z.g.d. Drugi akcijski centar iznad Atlantika, također ima dva središta, prvo oko 25° s.g.š., između 40° i 55° z.g.d., a drugo oko 30° s.g.š. i 30° z.g.d. Dva akcijska centra s manjom amplitudom nalaze se iznad Sredozemnog mora, oko 10° i.g.d., te između 15° i 35° i.g.d. Ovo polje opisuje 19.5 % varijance.

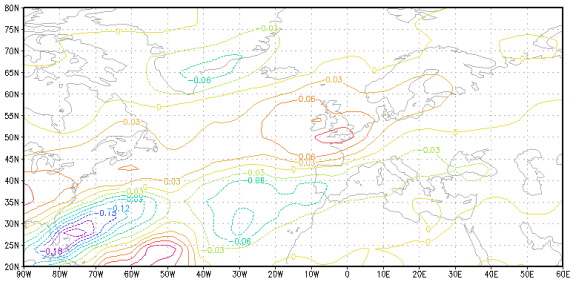
Na slici 3.22 (c) prikazano je polje EOF1 polje za eksperiment TroAtl koje opisuje 19.9 % varijance. Na gornjem dijelu promatranog područja nalazi se akcijski centar koji obuhvaća istočni dio Grenlanda i Island, sa središtem od 70° do 75° s.g.š. te između 20° i 30° z.g.d. Prostorno najveće područje povećane gustoće izolinija, koje ujedno ima i najveću amplitudu po apsolutnom iznosu, nalazi se nad Atlantskim oceanom. Ovaj akcijski centar ima središte oko 45° s.g.š. i 10° z.g.d. Idući akcijski centar također je smješten iznad Atlantika, sa središtem oko 25° s.g.š., između 40° i 50° z.g.d. Akcijski centri manje amplitude (0.03) nalaze se iznad Sredozemnog mora (između 15° i 25° i.g.d.) i na području zapadnog Grenlanda (75°- 80° s.g.š. i 55°- 65° z.g.d.).

Polje EOF1 za eksperiment TroPac prikazano je na slici 3.22 (d), a opisuje 22.0 % varijance. Na gornjem dijelu domene smješten je jedan akcijski centar koji obuhvaća istočni dio Grenlanda i Island. Drugi akcijski centar s najvećom amplitudom po apsolutnom iznosu nalazi se nad Atlantskim oceanom te akcijski centar ima tri središta u pojasu između 40° i 45° s.g.š. Prvo središte je smješteno između 45° i 55° z.g.d., drugo između 25° i 40° z.g.d. te treće oko 10° z.g.d. Sljedeće područje povećane gustoće izolinija također postoji iznad Atlantika, sa središtem oko 25° s.g.š. i 45° z.g.d. Još jedan akcijski centar manje amplitude nalazi se iznad Sredozemlja, između 5° i 35° i.g.d.

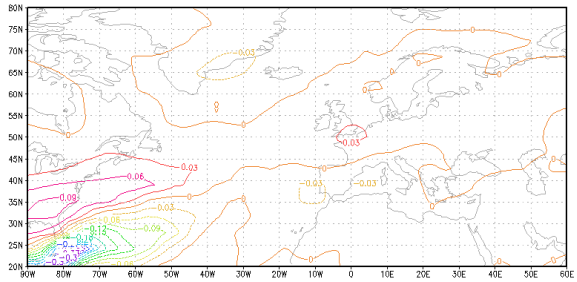
Vodeći mod (EOF1) za eksperiment Tropics prikazano je na slici 3.22 (e). Akcijski centar koji zahvaća istočni dio Grenlanda i Island ima središte između 70° i 75° s.g.š. te između 20° i 30° z.g.d. Prostorno najveći akcijski centar nalazi se iznad Atlantika, a ima i najveću amplitudu po apsolutnom iznosu. Ovo područje povećane gustoće izolinija ima dva odvojena središta između 40° i 45° s.g.š., gdje je prvo smješteno oko 10° z.g.d., a drugo između 50° i 55° z.g.d. Postoji još jedan akcijski centar iznad Atlantika, a njegovo se središte nalazi oko 25° s.g.š., između 40° i 50° z.g.d. Dva akcijska centra s manjom amplitudom nalaze se iznad Sredozemnog mora: prvi između 5° i 10° i.g.d., a drugi između 15° i 30° i.g.d. Ovo polje opisuje 19.4 % varijance.

Rezultati pokazuju da ne postoji značajna razlika između polja EOF1 dobivenih provedenim eksperimentima, jedino se razlikuje postotak varijance koji je opisan prvim modom EOF1. Najveći postotak dobiven je za eksperiment TroPac (22.0 %), a najmanji za Tropics (19.4 %).

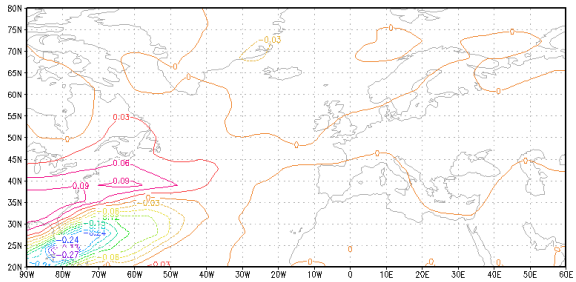
Polje EOF2 za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.23 (a) te objašnjava 10.1 % varijance. Nad Atlantikom, u blizini 30° s.g.š. i 75° z.g.d. nalazi se središte prostorno najvećeg akcijskog centra koji ima i najveću amplitudu po apsolutnom iznosu. Na prostoru Atlantskog oceana smješteno je još nekoliko dinamičnih zona: prva između 20° i 25° s.g.š. te 50°- 60° z.g.d., druga oko 30° s.g.š. i 30° z.g.d. i treća u blizini 45° s.g.š. i 60° z.g.d. Područje povećane gustoće izolinija koje obuhvaća dio sjeverne Europe i Britansko otočje ima središte smješteno oko 50° s.g.š. te od 0° do 10° z.g.d. Prostor između 65° i 70° s.g.š. te između 30° i 45° z.g.d. pripada središtu akcijskog centra na jugoistoku Grenlanda. Postoji još jedan akcijski centar na samom lijevom rubu domene, na području Sjeverne Amerike.



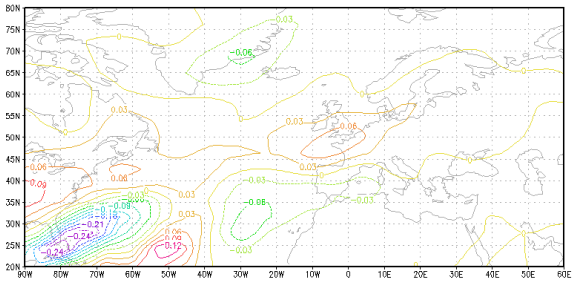
(a) Eksperiment Clim



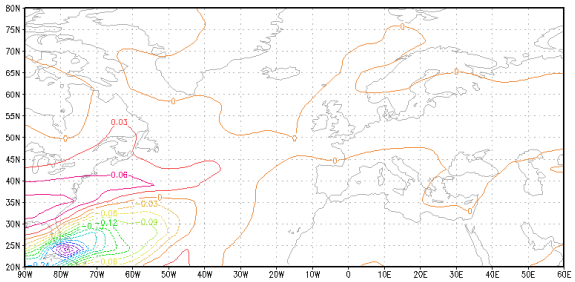
(b) Eksperiment Ctrl



(c) Eksperiment TroAtl



(d) Eksperiment TroPac



(e) Eksperiment Tropics

Slika 3.23: Polje EOF2 za RR u sezoni OND

Za eksperiment Ctrl polje EOF2 prikazano je na slici 3.23 (b). Po apsolutnom iznosu amplitude i prostorno najveće područje povećane gustoće izolinija obuhvaća vidljivi dio Meksičkog zaljeva, Floridu i dio zapadnog Atlantika, sa središtem na 25° s.g.š. i 80° z.g.d. Jedan akcijski centar smješten je na području Sjeverne Amerike, a njegovo središte prekriva prostor između 30° i 35° s.g.š. te između 80° i 90° z.g.d. Dva akcijska centra manje amplitude (±0.03) nalaze se kod jugoistočnog Grenlanda (65°- 70° s.g.š., 30°- 40° z.g.d.) i između Engleske i Francuske (30° s.g.š., 5° z.g.d. - 5° i.g.d.). Ovo polje opisuje 13.3 % varijance.

Na slici 3.23 (c) prikazano je polje EOF2 za eksperiment TroAtl koje opisuje 11.3 % varijance ukupne oborine. Područje najveće gustoće izolinija s najvećim iznosom amplitude po apsolutnom iznosu ima svoje središte na 25° s.g.š. i 80° z.g.d. Drugi akcijski centar ima svoje središte oko 40° s.g.š. i između 60° i 70° z.g.d. Posljednji akcijski centar unutar promatranog područja smješten je na Grenlandu, sa središtem oko 70° s.g.š. i od 20° do 30° z.g.d.

Na slici 3.23 (d) prikazano je polje EOF2 za eksperiment TroPac koje opisuje 10.1 % varijance. Akcijski centar na području Atlantskog oceana s najvećom amplitudom po apsolutnom iznosu ima dva središta, prvo oko 25° s.g.š. i 80° z.g.d., a drugo blizu 30° s.g.š. i 75° z.g.d. Sljedeći akcijski centar na Atlantiku ima središte oko 25° s.g.š. i 50° z.g.d. Središte trećeg akcijskog centra na području Atlantskog oceana smješteno je između 25° i 35° s.g.š. te između 20° i 30° z.g.d. Na samoj istočnoj obali Sjeverne Amerike nalazimo još jedan akcijski centar, blizu 45° s.g.š., između 60° i 65° z.g.d. U Sjevernoj Americi, na samom rubu promatranog područja, nalazi se još jedan akcijski centar. Jedno područje povećane gustoće izolinija obuhvaća dio Britanskog otočja i sjeverozapad Europe, sa središtem od 45° do 50° s.g.š. te od 10° z.g.d. do 5° i.g.d. Posljednji akcijski centar unutar domene nalazi se nad istočnim Grenlandom, sa središtem oko 70° s.g.š. i 30° z.g.d.

Polje EOF2 za eksperiment Tropics prikazano je na slici 3.23 (e). Unutar cijelog promatranog područja postoje samo dva izražena područja povećane gustoće izolinija. Prvi akcijski centar nalazi se na području Sjeverne Amerike, sa središtem između 30° i 35° s.g.š. te između 80° i 90° z.g.d. Drugi akcijski centar obuhvaća dio zapadnog Atlantika, Meksički zaljev i jug Floride, a središte mu je smješteno na 25° s.g.š. i 80° z.g.d. Ovo polje opisuje 11.3 % varijance.

Rezultati pokazuju da nema bitnih razlika između polja EOF2 po eksperimentima, slično kao što je pokazano za prvi EOF mod. Prostorna polja su slična, nema značajnog pomaka akcijskih centara, a razlike u amplitudama su relativno male. Postotak varijance opisan drugim modom najveći je za eksperiment Ctrl (13.3 %), dok najmanji postotak dijele eksperimenti Clim i TroPac (10.1 %). Svi udjeli varijance objašnjene vodećim EOF poljima dani su u tablici 3.8.

Dakle, prostorni oblik polja EOF1 isti je za sve eksperimente, ali se postotak varijance opisan tim modom donekle mijenja ovisno o postavkama eksperimenata. Ovaj rezultat ukazuje na to da prostorna raspodjela varijabilnosti GH200 ne ovisi značajno o prinudnom djelovanju mora, ali je učestalost pojavljivanja odgovarajućeg polja modificirana djelovanjem mora. Jednak zaključak vrijedi i za drugi mod klimatske varijabilnosti (EOF2).

Tablica 3.8: Postotak varijance opisan prvim (EOF1) i drugim (EOF2) modom za OND RR

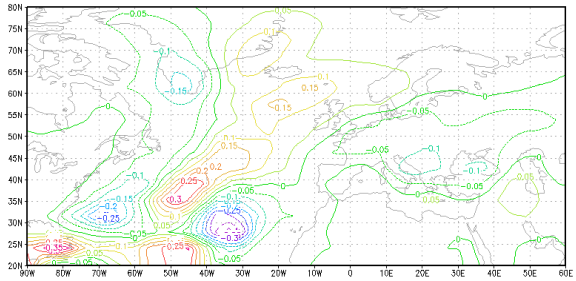
Eksperiment	EOF1 Var (%)	EOF2 Var (%)
Clim	20.2	10.1
Ctrl	19.5	13.3
TroAtl	19.9	11.3
TroPac	22.0	10.1
Tropics	19.4	11.3

Polje EOFOPT za eksperiment Clim prikazano je na slici 3.24 (a). Na području od 20° do 40° s.g.š. nalazi se pet akcijskih centara. Prvi ima središte na 25° s.g.š. i 75° z.g.d., drugi na 25° s.g.š. i 45° z.g.d., treći oko 30° s.g.š. i 70° z.g.d., četvrti od 35° do 40° s.g.š. i od 40° do 50° z.g.d. te peti oko 30° s.g.š. i 35° z.g.d. Na jugu Grenlanda postoji akcijski centar sa središtem između 60° i 65° s.g.š. i 45° z.g.d. Na jugoistoku Grenlanda se nalazi akcijski centar manje amplitude čiji centar obuhvaća područje od 65° do 75° s.g.š. i 15°- 30° z.g.d. Akcijski centar u Atlantiku južno od Islanda ima središte između 55° i 60° s.g.š. i 20° z.g.d. Na području Euroazije postoje tri manja akcijska centra. Prvi ima središte oko 45° s.g.š. i 15°- 25° i.g.d., drugi iznad Crnog mora (oko 45° s.g.š. i 35° i.g.d.) te treći jugozapadno od Kaspijskog jezera (30°- 40° s.g.š. i 40°- 50° i.g.d.).

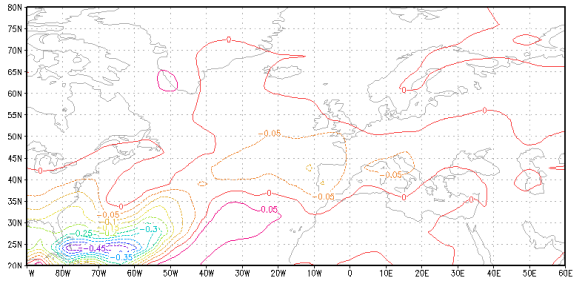
Na slici 3.24 (b) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Ctrl. Područje najveće gustoće izolinija na promatranom području nalazi se na području Atlantskog oceana, sa središtem oko 25° s.g.š. i od 60° do 80° z.g.d. Akcijski centri manje amplitude na Atlantiku nalaze se na 40° s.g.š. i 40° z.g.d. te 45° s.g.š. i 10° z.g.d. Na području Europe postoji jedan akcijski centar, sa središtem između 40° i 45° s.g.š. te 5° i 20° i.g.d. Akcijski centar na jugozapadu Grenlanda obuhvaća prostor od 60° do 65° s.g.š., oko 50° z.g.d.

Na slici 3.24 (c) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment TroAtl. Područje najveće gustoće izolinija na nalaze se na području Atlantika. Prvo sa središtem oko 25° s.g.š. i od 40° do 50° z.g.d. Drugi akcijski centar manje amplitude nalazi se blizu 30° s.g.š. i 55° z.g.d. Treći akcijski centar na Atlantiku nalazi se između 40° i 50° s.g.š. te od 30° do 60° z.g.d. Akcijski centar na jugu Grenlanda obuhvaća prostor od 60° do 65° s.g.š. te od 35° do 45° z.g.d. Još jedan akcijski centar nalazi se južno od Britanskog otočja između 45° do 50° s.g.š. te između 10° z.g.d. i nultog meridijana.

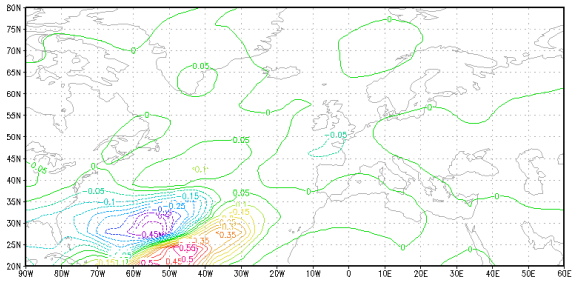
Za eksperiment TroPac polje EOFOPT prikazano je na slici 3.24 (d). Središte akcijskog centra najveće amplitude po apsolutnom iznosu nalazi se na 30° s.g.š., od 75° do 85° z.g.d. Na području Atlantika nalaze se akcijski centri sa središtima na 25° s.g.š. i 45° z.g.d. te na 40° s.g.š. i 50°-60° z.g.d. Kod Grenlanda nalaze se dva akcijska centra, čija su središte smještena na 60° s.g.š. i 45° z.g.d. te 70° s.g.š. i 25° z.g.d. Na području Europe postoje tri akcijska centra manje amplitude. Središte prvog od njih obuhvaća Irsku (50°-55° s.g.š. i 5°- 15° z.g.d.), drugi južni dio Skandinavskog poluotoka (55°- 60° s.g.š. i 10°-20° i.g.d.), a treći pokriva južni dio Sardinije (40° s.g.š. i 10°- 15° i.g.d). Jedan manji akcijski centar nalazi se na i području Sjeverne Amerike (50° s.g.š. i 80° z.g.d.).



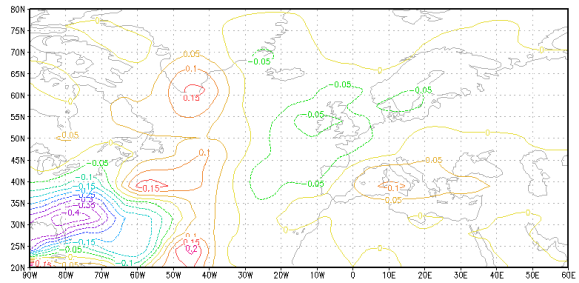
(a) Eksperiment Clim (S/N = 0.5)



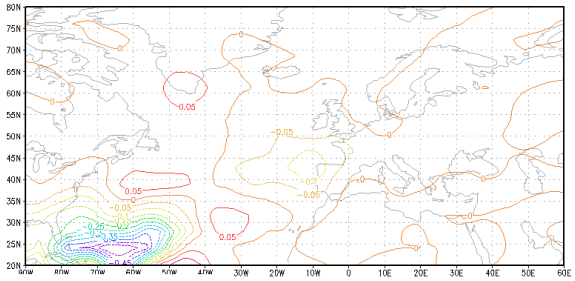
(b) Eksperiment Ctrl (S/N = 2.3)



(c) Eksperiment TroAtl (S/N = 0.9)



(d) Eksperiment TroPac (S/N = 0.9)



(e) Eksperiment Tropics (S/N = 1.8)

Slika 3.24: Polje EOFOPT za RR u sezoni OND i pripadajući omjer signala i šuma (S/N)

Na slici 3.24 (e) prikazano je polje EOFOPT za eksperiment Tropics. Područje najveće gustoće izolinija na promatranom području nalazi se na prostoru Atlantika sa središtem oko 25° s.g.š. i od 60° do 70° z.g.d. Akcijski centri manje amplitude na Atlantiku nalaze se na 30° s.g.š. i 30°- 40° z.g.d., zatim oko 40° s.g.š. i 45°- 65° z.g.d. te posljednji sa središtem između 40° i 45° s.g.š. te 5° i 15° z.g.d. Akcijski centar na jugu Grenlanda obuhvaća prostor od 55° do 65° s.g.š., te od 40° do 50° z.g.d.

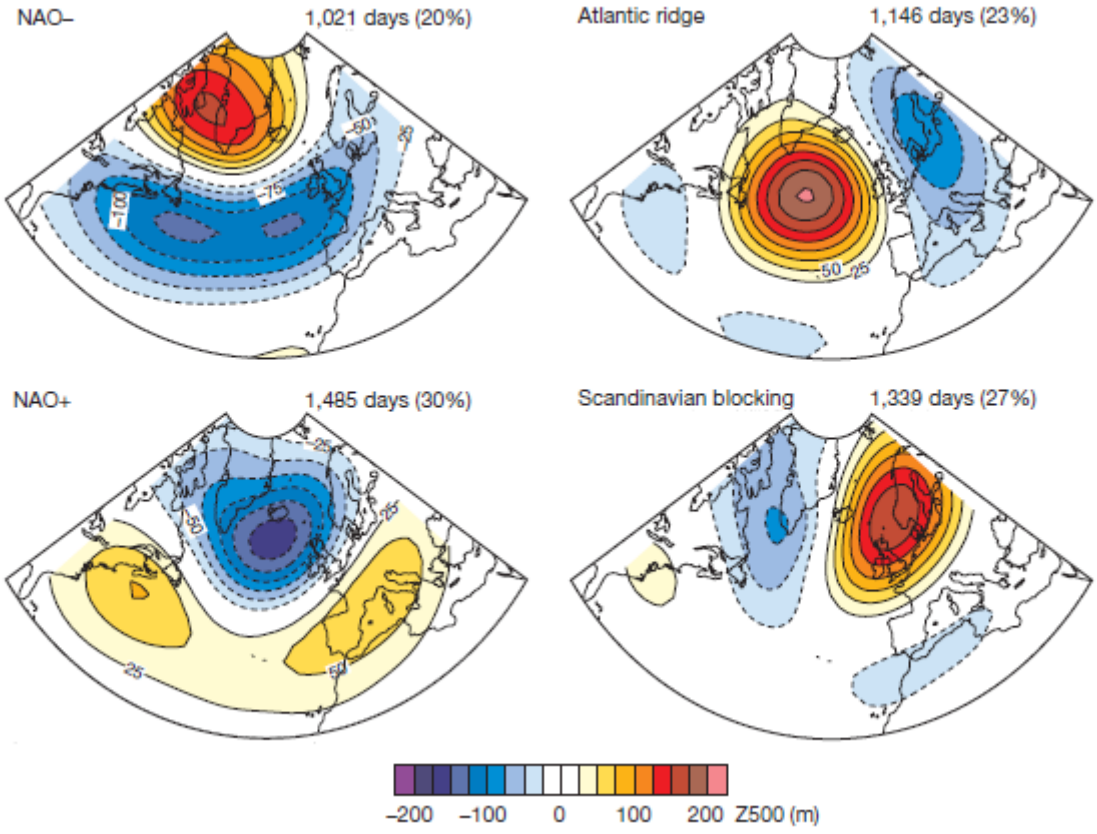
Kod polje EOFOPT u ovoj sezoni izgledom su slični rezultati za Ctrl i Tropics te donekle TroPac eksperiment. Najveći omjer signala i šuma (S/N) dobiven je za Ctrl eksperiment, a najmanji omjer za Clim eksperiment. Iz toga slijedi da prinudno djelovanje mora utječe na odnos signala i šuma tako da se njihov omjer u promatranoj sezoni povećava s povećanjem područja na kojem je uključeno forsiranje na donjoj granici modela u obliku SST anomalija.

Poslije opisa svih polja za ukupnu oborinu u ovoj sezoni, vidimo da su polja EOF1 (slika 3.22) slična u svim eksperimentima te pokazuju zajedničke karakteristike s poljima EOF1 iz sezone JFM (slika 3.1). Iz toga slijedi da veći dio međugodišnje varijabilnosti prostorne raspodjele ukupne oborine u sezoni OND ne ovisi o prinudnom djelovanju mora. Sva polja EOF2 (slika 3.23) također pokazuju neke zajedničke karakteristike. Kod polja EOFOPT (slika 3.24) izgledom su slični rezultati za eksperimente Ctrl i Tropics te donekle TroPac, dok polje za eksperiment Clim pokazuje veća odstupanja. To nam pokazuje da uključivanje SST anomalija mijenja odnos signala i šuma u odnosu na eksperiment Clim gdje su SSTA izostavljene. Omjer signala i šuma je u ovoj sezoni relativno malen, ali ipak ukazuje na doprinos mora prediktabilnosti atmosferskih procesa.

3.5. Usporedba rezultata s vremenskim režimima u sjevernom Atlantiku

Geopotencijalna visina

Na slici 3.25 nalaze se zimski vremenski režimi u sjevernom Atlantiku. Prikazana su četiri različita režima koji su dobiveni iz dnevnih anomalija geopotencijalne visine 500 hPa plohe iz NCEP/NCAR reanaliza, a preuzeti su iz [14]. Postotak u zagradi odgovara naznačenom broju dana i predstavlja frekvenciju pojavljivanja pojedinog vremenskog režima u razdoblju između 1974. i 2007. godine, od 1. studenog do 31. ožujka. Izolinije geopotencijalne visine nacrtane su svakih 25 m.



Slika 3.25: Zimski vremenski režimi u sjevernom Atlantiku. Preuzeto iz [14]

Režimi pod nazivom NAO- i NAO+ odnose se na negativnu i pozitivnu fazu Sjevernoatlantske oscilacije, koja se smatra mjerom varijabilnosti zonalnog strujanja iznad sjevernog Atlantika. Treći režim je tzv. atlantski greben (eng. *Atlantic ridge*), a četvrti se često naziva skandinavsko blokiranje (eng. *Scandinavian blocking*).

S obzirom da se gore prikazani režimi odnose na zimsku sezonu (NDJFM), usporedit ćemo ih s rezultatima koji su prikazani u ovom radu, a odnose se na zimsku (JFM) i jesensku (OND) sezonu.

Kada usporedimo polje EOF1 za GH200 iz JFM sezone (slika 3.1) i OND sezone (slika 3.19) s uzorkom za NAO- možemo uočiti određene sličnosti. Središte prvog akcijskog centra geopotencijalne visine za negativni NAO nalazi se na području između Grenlanda i Sjeverne Amerike, a središta drugog akcijskog centra smještena su iznad Atlantika u umjerenim širinama.

Uzorak atlantskog grebena, sa središtem akcijskog centra velikog intenziteta na području Atlantika, jugoistočno od Grenlanda, dijeli karakteristike s EOF2 poljem iz JFM sezone. U oba polja također je vidljiv i drugi akcijski centar manje amplitude koji obuhvaća područje iznad Europe.

U prostornom rasporedu i amplitudi akcijskih centara polja EOF2 za GH200 u sezoni OND javljaju se karakteristike slične uzorku skandinavskog blokiranja. Akcijski centar s najvećom amplitudom u tom vremenskom režimu nalazi se iznad sjeverne Europe. Drugi akcijski centar manjeg intenziteta ima svoje središte na području između Grenlanda i Sjeverne Amerike. Također, javlja se prostorno manje područje smanjene (povećane) geopotencijalne visine južno od prvog (drugog) akcijskog centra.

Pri usporedbi polja EOF-a dobivenih u ovom radu i zimskih vremenskih režima sa slike 3.25 treba uzeti u obzir da se radi o različitoj geopotencijalnoj visini (GH500) te da su za dobivanje prostornih uzoraka tih režima korištene dnevne, a ne sezonske anomalije unutar perioda od studenog do kraja ožujka. Ipak, možemo reći da eksperimenti prikazani u ovom radu imaju polje EOF1 koje se u zimskom dijelu godine projicira na polje NAO-a, dok se polje EOF2 projicira na polje atlantskog grebena. Pritom, svi eksperimenti, bez obzira na postavke forsiranja na donjoj granici, imaju slična polja EOF1 i EOF2. Ipak, postotak varijance opisan tim poljem je različit. Dakle, učestalost pojavljivanja NAO-a i atlantskog grebena zimi ovisi o prinudnom djelovanju mora.

Ukupna oborina

Shematski prikazi karakterističnih polja temperature i oborine tijekom pojave NAO-a, preuzeti iz [15], prikazani su na slikama 3.26 i 3.27. Korišteni su podaci za zimsku (siječanj – veljača) i ljetnu (srpanj – kolovoz) sezonu, za pozitivnu i negativnu fazu NAO-a.

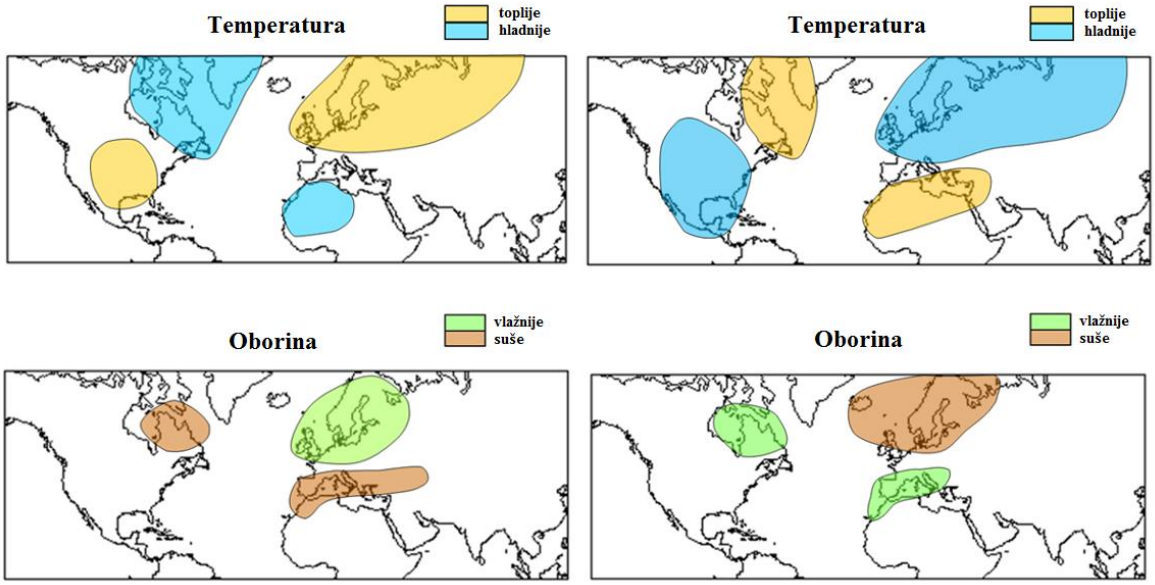
Zimi, za vrijeme pozitivne faze NAO-a povećana je vjerojatnost da sezonske temperature budu veće od prosjeka u sjevernoj Europi, sjevernoj Aziji i na jugoistoku Sjeverne Amerike. Tada se očekuju temperature niže od prosjeka u sjevernoj Africi, sjeveroistočnoj Kanadi i na jugu Grenlanda (slika 3.26 (a)). Također, postoji povećana vjerojatnost za veće količine oborine u sjeverozapadnoj Europi te manjak oborine u južnoj Europi. Kada je zimi faza NAO-a negativna uočeni su suprotni predznaci anomalija temperature i oborine (slika 3.26 (b)).

Za vrijeme trajanja pozitivne NAO faze ljeti povećana je vjerojatnost da sezonske temperature budu veće od prosjeka iznad sjeverozapadne Europe, središnje Kanade i dijelova sjeverne Afrike, a niže od prosjeka na Sredozemlju, jugu SAD-a i na području Grenlanda. Povećana je vjerojatnost negativnih anomalija oborine u sjeverozapadnoj Europi, sjeveroistočnoj Kanadi i Sahelu. Istovremeno se javljaju pozitivne anomalije oborine na Sredozemlju i dijelovima južnog Grenlanda i Islanda (slika 3.27 (a)). Kada je ljetni NAO indeks negativan, uvjeti su većinom suprotni uz povećanu vjerojatnost da u sjeverozapadnoj Europi temperatura bude niža i da bude više oborine (slika 3.27 (b)).

Napravimo li usporedbu ovih shematskih prikaza s poljem EOF1 za JFM sezonu (slika 3.4), vidljivo je da postoje sličnosti sa zimskom negativnom NAO fazom (slika 3.26 (b)). Imamo područje negativnog odziva nad Grenlandom, Islandom i sjeverozapadnom Europom, a područje pozitivnog odziva u jugozapadnoj Europi. Ista područja vidljiva su u EOF2 RR polju u JFM sezoni (slika 3.5).

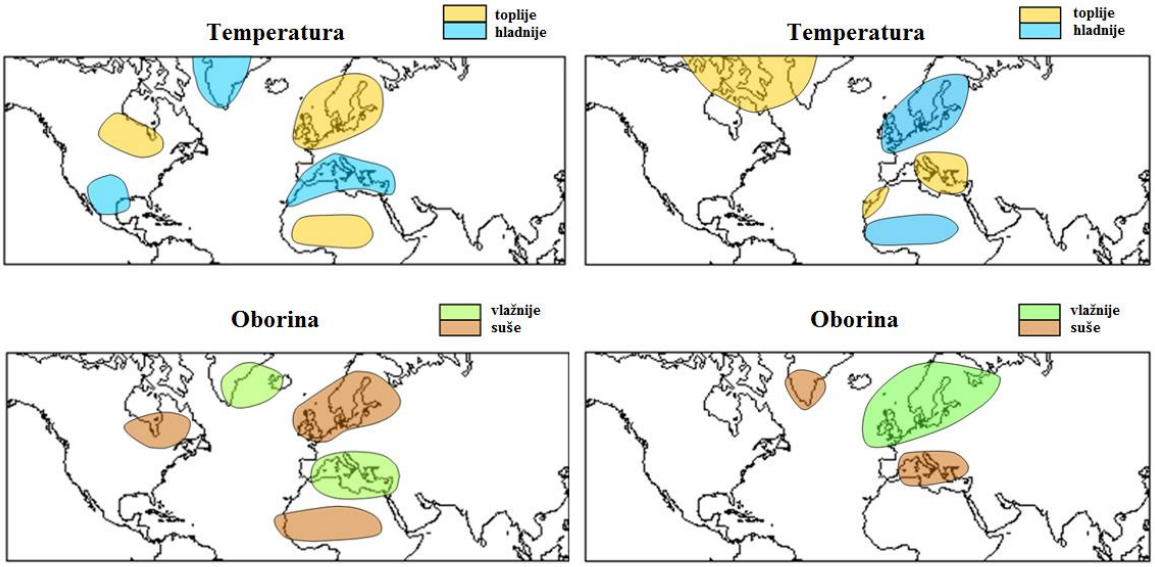
Polje EOF1 za oborinu sezoni JAS (slika 3.16) pokazuje zajedničke karakteristike s poljem negativnog ljetnog NAO-a (slika 3.27 (b)). Postoji područje negativnog odziva nad Grenlandom i Sredozemljem, a područje pozitivnog odziva u sjeverozapadnoj Europi. Suprotno vrijedi za RR polje EOF2 u istoj sezoni (slika 3.17) koje je slično ljetnoj pozitivnoj fazi NAO-a (slika 3.27 (a)).

Treba naglasiti da su za sva polja ukupne oborine rezultati dali najveće amplitude odziva u Atlantiku gdje je lošija pokrivenost mjerenjima nego na kopnu, pa usporedba nije sasvim potpuna.



(a) pozitivna NAO faza **(b)** negativna NAO faza

Slika 3.26: Shematski prikaz prostorne raspodjele anomalija temperature i oborine za vrijeme zimskog NAO-a. Preuzeto iz [15].



(a) pozitivna NAO faza **(b)** negativna NAO faza

Slika 3.27: Shematski prikaz prostorne raspodjele anomalija temperature i oborine za vrijeme ljetnog NAO-a. Preuzeto iz [15].

4. Zaključak

U ovom smo radu pokušali dati odgovor na pitanje koji se modovi sezonskog odziva geopotencijalne visine 200 hPa plohe i ukupne oborine najučestalije javljaju unutar ansambla simulacija numeričkim modelom opće cirkulacije atmosfere SPEEDY. Proveden je i postupak analize prediktabilnih komponenti kojim je dobivena hijerarhija modova tako da vodeći mod ima najveći omjer signala i šuma, idući mod ima po iznosu drugi najveći omjer signala i šuma itd. U različitim eksperimentima odabirom područja na kojima su zadane anomalije površinske temperature mora unutar domene modela pokušali smo provjeriti utječu li oceani na pojavljivanje i karakteristike dobivenih modova sezonskog odziva.

Za geopotencijalnu visinu pokazno je da su unutar promatranih sezona polja EOF1 međusobno slična za sve eksperimente. Iz toga slijedi da veliki dio međugodišnje varijabilnosti prostorne raspodjele GH200 ne ovisi značajno o prinudnom djelovanju oceana na atmosferu. Ipak, uočava se određeni utjecaj na postotak varijance koji je prikazan pripadajućim modom, stoga možemo reći da prinudno djelovanje oceana donekle utječe na karakteristike polja dobivenih EOF analizom. Najveći postotak varijance u sezonama JFM i AMJ opisan je poljem EOF1 za eksperiment Clim, a u sezonama JAS i OND za eksperiment TroPac. Najmanji postotak varijance opisan je u sezonama JFM i OND poljem EOF1 za eksperiment Tropics, a u sezonama AMJ i JAS za eksperiment Ctrl.

Polja EOF2 koja opisuju manji dio varijabilnosti GH200, međusobno su slična za sve eksperimente za sezone JFM, AMJ i OND, pa i za njih vrijedi isti zaključak. Za sezonu JAS rezultati pokazuju da se drugi EOF mod razlikuje između eksperimenata. Zajedničke karakteristike pokazuju polja EOF2 za eksperimente Clim, TroAtl i TroPac. Polje za eksperiment Ctrl pokazuje veća odstupanja u položaju i amplitudi akcijskih središta, a polje EOF2 za eksperiment Tropics s ostalima dijeli samo položaj akcijskog centra na sjeveru Europe. Dakle, drugi mod klimatske varijabilnosti u sezoni JAS ima prostorni oblik koji se mijenja s postavkama eksperimenata, a najveći postotak objašnjene varijance dobiva se kad je uvaženo djelovanje svih svjetskih mora (za eksperiment Ctrl).

Rezultati pokazuju da se GH200 polja EOFOPT značajno se razlikuju između svih pet eksperimenata u sezonama JFM i OND. Iz toga slijedi da prinudno djelovanje mora u tim sezonama utječe na odnos signala i šuma.

Rezultati za EOFOPT polja u sezoni AMJ pokazuju da postoji sličnost između Clim i TroAtl polja, te da su Ctrl i Tropics polja međusobno slična. Iz toga slijedi da uključivanje SSTA u tropskom Atlantiku u sezoni AMJ ne utječe na odnos signala i šuma u usporedbi s klimatološkim eksperimentom. Bitna razlika opet se uočava u omjeru signala i šuma, na način da uvažavanje prinudnog djelovanja oceana povećava taj omjer.

U sezoni JAS slična su TroPac i Tropics EOFOPT polja, dok se ostali eksperimenti razlikuju. Omjer signala i šuma za ta polja bitno ovisi o utjecaju oceana i najveći je za eksperiment Ctrl.

Kod svih polja EOFOPT za GH200, eksperiment Clim daje najmanji omjer signala i šuma, ispod praga prediktabilnosti, što znači da je u tom eksperimentu najizraženija unutarnja klimatska varijabilnost, tj. šum. Eksperiment Ctrl ima najveći omjer signala i šuma u sezonama JFM, AMJ i JAS, pa slijedi da prinudno djelovanje mora utječe na odnos signala i šuma tako da se njihov omjer u te tri sezone povećava s povećanjem područja na kojem je uključeno forsiranje na donjoj granici modela u obliku SST anomalija. U sezoni OND najveći omjer ima eksperiment Tropics, što ukazuje na to da u ovoj sezoni prinudno djelovanje mora u tropskom pojasu najviše doprinosi tome da signal nadvlada šum.

Kod ukupne oborine, polja EOF1 međusobno su slična unutar promatrane sezone za sve eksperimente, što znači da dio međugodišnje varijabilnosti opisane prvim EOF modom tog parametra ne ovisi o prinudnom djelovanju mora na atmosferu, ali je postotak varijance opisane poljem EOF1 pod utjecajem tog prinudnog djelovanja. Najveći postotak varijance u sezonama JFM, AMJ i JAS opisan je poljem EOF1 za eksperiment Clim, a u sezoni OND za eksperiment TroPac. Najmanji postotak varijance opisan je u sezonama JAS i OND poljem EOF1 za eksperiment Tropics, u sezoni AMJ za eksperiment Ctrl, a u sezoni JFM za eksperiment TroAtl.

U svim sezonama polja EOF2 za ukupnu oborinu ne pokazuju značajna odstupanja u prostornom položaju akcijskih središta i njihovoj amplitudi. Udio varijance opisane poljem EOF2 razlikuje se po eksperimentima. Iz toga slijedi da dio međugodišnje varijabilnosti od RR koji je opisan drugim EOF modom ne ovisi o prinudnom djelovanju mora na atmosferu, ali je postotak varijance opisane poljem EOF2 pod utjecajem tog prinudnog djelovanja.

Rezultati pokazuju da su polja EOFOPT za ukupnu oborinu u sezoni JFM slična za eksperimente Ctrl, TroPac i Tropics. U sezoni AMJ polja EOFOPT za eksperimente Ctrl, TroAtl i Tropics međusobno su slična, a isto polje za eksperiment Clim pokazuje zajedničke karakteristike s poljem EOFOPT za eksperiment TroPac. Polja EOFOPT za sezonu JAS značajno se razlikuju između provedenih eksperimenata, s tim da polja za eksperimente Ctrl i Tropics pokazuju zajedničke karakteristike. Kod RR EOFOPT polja u sezoni OND izgledom su slični rezultati za eksperimente Ctrl i Tropics.

Kod svih RR EOFOPT polja eksperiment Clim ima najmanji omjer signala i šuma, što ukazuje na to da je u tom eksperimentu najizraženija unutarnja klimatska varijabilnost, tj. šum. Eksperiment Ctrl ima najveći omjer signala i šuma u sezonama JFM, AMJ i OND, što znači da prinudno djelovanje mora utječe na odnos signala i šuma tako da se njihov omjer u promatranoj sezoni povećava s povećanjem područja na kojem je uključeno forsiranje na donjoj granici modela u obliku SST anomalija. U sezoni JAS najveći omjer ima eksperiment TroAtl, pa možemo zaključiti da u ovoj sezoni prinudno djelovanje mora u tropskom Atlantiku najviše doprinosi tome da signal nadvlada šum.

U ovom je radu pokazano da međugodišnja varijabilnost GH200 i ukupne oborine, a koja je prikazana poljima EOF1 i EOF2, ovisi o prinudnom djelovanju oceana samo u učestalosti pojavljivanja određenog polja (tj. atmosferskog režima), dok se sam oblik polja ne mijenja bitno s različitim postavkama eksperimenta. U zimskom se dijelu godine polje EOF1 projicira na NAO, a EOF2 na polje atlantskog grebena, koji su u literaturi poznati kao učestali modovi klimatske varijabilnosti na području sjevernog Atlantika i Europe tijekom zime. Pritom, najveći udio varijabilnosti pripada prvom modu koji se projicira na NAO, a najveća vrijednost opisane varijance dobiva se za eksperiment Clim. Taj je rezultat u skladu s činjenicom da je NAO unutrašnji mod klimatske varijabilnosti i nije uvjetovan prinudnim djelovanjem na donjoj granici. Iz rezultata za polja EOF2 koji pokazuje da se udio varijance opisan tim modom povećava kako se povećava površina mora koja sudjeluje u prinudnom djelovanju, možemo zaključiti da djelovanje tropskih oceana povećava vjerojatnost pojavljivanja polja koje odgovara atlantskom grebenu.

Analiza optimiziranih modova pokazuje da je omjer signala i šuma značajno uvjetovan prinudnim djelovanjem oceana. Taj se omjer povećava što je veći dio svjetskog mora aktivan u smislu prinudnog djelovanja na atmosferu. Možemo zaključiti da su oceani bitna komponenta klimatske prediktabilnosti u umjerenim širinama. Ovaj je rad pokazao značajan utjecaj tropskih oceana na klimatsku prediktabilnost promatranog područja, ali eksperiment s uvaženim prinudnim djelovanjem svih mora (eksperiment Ctrl) daje naslutiti da i dijelovi oceana izvan tropskog područja pridonose prediktabilnoj komponenti. Za detaljniju provjeru ove tvrdnje potrebno je provesti dodatne idealizirane eksperimente.

Literatura

[1] http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php

[2] Marshall, J., i Plumb, A. R., 2008., Atmosphere, Ocean, and Climate Dynamics: An Introductory Text. 1st ed. SAD: Academic Press.

[3] https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/042.htm

[4] Scaife, A. A., Knight, J. R., Vallis G. K., i. Folland, C. K., 2005., A stratospheric influence on the winter NAO and North Atlantic surface climate, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L18715, doi:10.1029/2005GL023226.

[5] Rodwell, M. J., Rodwell D. P., i Folland, C. K., 1999., Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate, *Nature*, 398, 320-323.

[6] https://www.britannica.com/science/North-Atlantic-Oscillation

[7] https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/nao/

[8] Straus, D., i sur. 2003., Predictability of the Seasonal Mean Atmospheric Circulation during Autumn, Winter and Spring. *J. Climate*, 16, 3629-3649.

[9] Wilks, D. S., 2006., Statistical Methods in the Atmospheric Science, *Inter. Geophys. Ser. 91*, p.463-474.

[10] http://www.met.reading.ac.uk/~han/Monitor/eofprimer.pdf

[11] http://users.ictp.it/~kucharsk/speedy_description/km_ver41_appendixA.pdf

[12] http://www.esrl.noaa.gov/psd

[13] https://atmos.washington.edu/~daehyun/class/380/exercises/speedy/doc_ver41.pdf

[14] Cassou, C. 2008., Interseasonal interaction between the Madden-Julian Oscillation and the North Atlantic Oscillation, *Nature*, 455, 523-527. doi:10.1038/nature07286

[15] https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/gpc-outlooks/ens-mean/nao-description