

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

Mario Hrastinski

ANALIZA TIPOVA STRUJANJA IZNAD PRIJEVOJA
VRATNIK I KVARNERSKOG ZALJEVA

DIPLOMSKI RAD

Voditelj: Prof. dr. sc. Branko Grisogono

Suvoditelj: Doc. dr. sc. Danijel Belušić

Zagreb, 2012.

Zahvaljujem se Geofizičkom odsjeku i DHMZ-u na ustupljenim podacima s meteoroloških postaja koji su korišteni u ovome radu.

Zahvaljujem se voditeljima, doc. dr. sc. Danijelu Belušiću i prof. dr. sc. Branku Grisogonu na pomoći, savjetima i podršci koju su mi pružili tokom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Maji Telišman-Prtenjak i dr. sc. Željku Večenaju što su odvajali svoje slobodno vrijeme te su mi savjetima i zapažanjima pomogli učiniti ovaj diplomski rad boljim.

Zahvaljujem se roditeljima na podršci i razumijevanju.

SADRŽAJ

Sažetak	2
1. Uvod	4
1.1. Bura	5
1.2. Jugo	8
1.3. Kopnenjak i smorac	10
1.4. Cilj rada	12
2. Podaci i metode	15
2.1. Mjerenja na meteorološkim postajama	15
2.2. K-means metoda	16
2.3. ERA-interim podaci	18
2.4. Odabir epizoda s burom i jugozapadnim vjetrom na Vratniku	19
2.5. Epizode s promjenjivim režimom strujanja	20
3. Rezultati	22
3.1. Tipovi (klasteri) strujanja	22
3.2. Klimatološke karakteristike pojedinih tipova strujanja	27
3.3. Srednja sinoptička situacija za pojedine klastere	30
3.3.1. Prizemne srednje sinoptičke situacije	30
3.3.2. Srednje sinoptičke situacije na izobarnim plohama	35
3.3.3. Najrazličitije situacije od sinoptičkog srednjaka	38
3.4. Klimatološke karakteristike epizoda dvaju glavnih tipova strujanja na Vratniku	39
3.4.1. Epizode s burom na Vratniku	40
3.4.1. Epizode s jugozapadnim strujanjem na Vratniku	44
3.5. Epizode s promjenjivim režimom strujanja	47
3.5.1. Epizoda 18 UTC 17.11.2004. – 12 UTC 21.11.2004.	47
3.5.2. Epizoda 06 UTC 01.01.2005. – 00 UTC 05.01.2005.	49
3.5.3. Epizoda 18 UTC 17.01.2005. – 06 UTC 24.01.2005.	50
4. Zaključak	52
5. Bibliografija	54
6. Dodatak	58
Dodatak A	59
Dodatak B	63
Dodatak C	65
Dodatak D	74

Sažetak

Ovaj rad bavi se proučavanjem režima strujanja u dijelu Kvarnerskog zaljeva koji obuhvaća postaje Senj, Rab i Mali Lošinj te visinsku postaju Vratnik. Ranija istraživanja, provedena za područje istočnog Jadrana (npr. Pandžić i Likso, 2005.) utvrdila su postojanje sljedećih tipova strujanja: bura, jugo, etezije te vjetar obalne cirkulacije. Vremensko razdoblje u kojem raspolazemo s podacima isključuje mogućnost razlučivanja etezija, pa je fokus premješten na preostala tri tipa strujanja, čije su najbitnije karakteristike iznesene u uvodnom dijelu.

Analizom satno osrednjenih komponenti vjetra te korištenjem 'K-means' metode (MacQueen, 1967.) za klasteriranje podataka, utvrđeno je postojanje osam različitih tipova strujanja u Kvarnerskom zaljevu. Šest od osam spomenutih klastera uključuje pojavu sjeveroistočnog vjetra (bure) na postaji Vratnik, dok je kod preostala dva klastera smjer vjetra jugozapadni. Analizom klimatoloških karakteristika, te srednjih sinoptičkih situacija koje odgovaraju pojedinim klasterima, ustanovili smo da dobiveni tipovi strujanja odgovaraju različitim postavkama bure, juga te obalne cirkulacije koja lokalno može biti amplificirana cirkulacijom obronka. Dobiveni tipovi strujanja i pripadne im srednje sinoptičke situacije dobro se slažu s onima koje su za područje cijelog Jadrana dobili Pandžić i Likso (2005.).

Vremenski nizovi smjera i brzine vjetra u promatranom razdoblju ukazuju da postoji velik broj situacija kada na postaji Vratnik imamo zabilježenu pojavu bure, a dalje niz zavjetrinu, na postaji Senj, bure nema. Ukupno je pronađeno 106 situacija, tj. epizoda ovakve razdiobe vjetra u promatranom razdoblju, a koje su duže od 3 sata. Većina ovakvih epizoda kraće su od 12 sati te uglavnom izbjegavaju popodnevni dio dana. Najveći broj ovakvih epizoda najvjerojatnije je termalnog porijekla, tj. javljaju se tokom cijele godine u obliku kopnenjaka (uglavnom noću) koji je amplificiran katabatičkim strujanjem obronka. Smjer vjetra u Senju tada je uglavnom istočni-jugoistočni. Dnevni doprinos ovakvih epizoda uočen je zimi, u situacijama kada lokalni termalni efekti nisu dovoljno izraženi da ponište male gradijente tlaka na sinoptičkoj skali koji pogoduju razvoju slabog sjeveroistočnog strujanja. Najveće brzine vjetra uz spomenute epizode javljaju se prilikom premještanja Genovske ciklone od sjevernog Jadrana prema južnom. Visinsko strujanje tada brzo poprima sjeveroistočni smjer, dok prizemno (Senj) još uvijek puše jugo ili istočni vjetar u prijelazu na buru. Uz buru na Vratniku, analizirane su i epizode s pojavom jugozapadnog vjetra te trajanjem od barem 3 sata. Ovakve epizode vrlo su često duže od 12 sati i preferiraju

pojavljivanje popodne. Najčešće se javljaju za vrijeme prodora grebena Azorske anticiklone prema Jadranu, gdje tada imamo vrlo slabe gradijente tlaka, što pogoduje razvoju termalnih cirkulacija. Na sinoptičkoj se skali duž većeg dijela Mediterana tada javlja vrlo slab vjetar jugozapadnog smjera koji tokom zimskih dana s malim termalnim razlikama kopno-more vrlo često i opstaje u ovakvom obliku. Idući prema toplijem dijelu godine, kada se učestalost dnevne grane obalne cirkulacije povećava, moguća je i dodatna amplifikacija strujanja lokalno uz obalu. Najveće brzine jugozapadnog vjetra na Vratniku, te prizemnog vjetra uz obalu, zabilježene su zimi. Tada ciklone sa središtem u sjevernoj i zapadnoj Europi prilikom pomicanja prema istoku svojim rubnim dijelovima zahvaćaju Hrvatsku te djelomično blokiraju prodiranje grebena Azorske anticiklone prema Jadranu. U takvim se situacijama uz Jadransku obalu javljaju veliki gradijenti tlaka koji preferiraju umjeren do jak jugozapadni vjetar.

Spajanjem epizoda s burom i jugozapadnim strujanjem na Vratniku dobiven je skup od 19 epizoda s promjenjivim režimom strujanja. U analizu su uključene sve epizode s burom na Vratniku, bez obzira na to da li je istodobno opažena bura u Senju. Usporedbom vremenskih nizova smjera te skalarne brzine vjetra s odgovarajućim ERA-interim terminima (sinoptičke situacije) povezali smo epizode s prije dobivenim klasterima, odnosno tipovima strujanja. Na taj način smo predložili grubi opis dinamike tokom prijelaza između strujnih režima.

1. Uvod

Na Jadranu postoje barem dva glavna tipa vremena. To su radijacijski i advekcijski tip. Međutim, svaki od ovih dvaju tipova može se podijeliti u još nekoliko podtipova, npr. advekcijski tip može biti karakteriziran toplom ili hladnom advekcijom (Pandžić i Likso, 2005.). Radijacijski tip vremena uglavnom je karakteriziran pojavom periodičkog dnevnog vjetra na obali, a bez istog na otvorenom moru (dovoljno daleko od obale).

Značajan doprinos u proučavanju tipova strujanja nad istočnim dijelom Jadrana, između ostalih, dali su sljedeći autori: Paradiž (1957.), Poje (1960., 1995.), Makjanić (1960., 1978.), Lukšić (1975.), Yoshino (1976.), Jurčec (1981.), Pandžić (1981.), Smith (1985., 1987.), Orlić i sur. (1988.), Tutiš (1988.), Bajić (1989.), Ivančan-Picek i Vučetić (1990.) te Lisac i sur. (1998.–99.). Većina ovih autora koristila je statistički pristup prilikom obrade podataka vezanih uz vjetar. Kao rezultat njihovih istraživanja prepoznamo sljedeće, dominantne tipove strujanja nad istočnim Jadranom: bura (sjeveroistočni vjetar), jugo (jugoistočni vjetar), etezije¹ (sjeverozapadni vjetar) te vjetar obalne cirkulacije; kopnenjak i smorac. Bura i jugo češće se javljaju u hladnijem dijelu godine, dok su drugi tipovi strujanja češći u toplijem dijelu godine. Isto tako, bura se češće javlja na sjevernom, a jugo na južnom Jadranu.

Korištenjem podataka s 21 meteorološke postaje duž istočnog dijela Jadrana (u 3 dnevna termina; 07, 14 i 21 CET²) i NCEP/NCAR reanaliza u razdoblju 1981.-1998., razlučeni su glavni tipovi strujanja te sinoptičke prilike koje pogoduju njihovom nastanku (Pandžić i Likso, 2005.). Dobiveno je 11 glavnih tipova (klastera³) strujanja, među kojima se ističu: bura, jugo, etezije i vjetar obalne cirkulacije. Uz spomenute glavne tipove strujanja, uočene su i sljedeće kombinacije među njima: slaba bura i kopnenjak duž cijelog Jadrana, smorac ili kopnenjak na sjevernom Jadranu s etezijama na srednjem i južnom Jadranu te kombinacija bure na sjevernom i srednjem Jadranu, odnosno juga na južnom Jadranu. Kod klastera s

¹ Etezije su sjeverozapadni tip vjetra koji puše nad Sredozemljem u toplijem dijelu godine te su izražene na njegovom istočnom dijelu. Nastaju zbog istovremenog djelovanja polja niskog tlaka nad Azijom, tzv. Karachi depresije (proteže se duboko na zapad; ponekad sve do Cipra) i Azorske anticiklone koja se ljeti pomiče na sjever i zahvaća dio jugoistočne Europe. Etezije nad Jadranom prilično su slabe te se jasno uočavaju samo na udaljenim otocima, dok uz obalu prevladava obalna cirkulacija.

² Srednjoeuropsko vrijeme (SEV) ili central european time (CET) odnosi se na vremensku zonu UTC+1, a koristi se u većini država Europe i sjeverne Afrike. Ljetno računanje vremena ovdje se ne uzima u obzir.

³ Klaster je skup međusobno sličnih podataka koji se grupiraju prema zadanom kriteriju. U ovom radu podaci se grupiraju prema kriteriju udaljenosti od sredine klastera. Pri tome je sredina klastera veličina za koju je suma kvadrata udaljenosti od preostalih podataka unutar klastera najmanja.

burom, razlikuju se dva tipa strujanja; jedan s većim brzinama vjetra na sjevernom i srednjem Jadranu, a manjim na južnome Jadranu te drugi s obrnutom raspodjelom. U slučaju klastera s jugom duž cijelog Jadrana, razlikuju se jedan klaster s manjim brzinama te dva s većim. Pri tome, u jednom od dva potonja slučaja, vjetar prema sjevernom dijelu Jadrana poprima južni-jugozapadni smjer. Sinoptička situacija (temeljena na geopotencijalnim visinama 1000 hPa plohe) koja pogoduje razvoju vjetra obalne cirkulacije, etezija ili kombinacije istih, karakterizirana je prodorom grebena Azorske anticiklone prema Jadranu te vrlo malim gradijentima tlaka (gradijenti su najjači u situacijama koje uključuju etezije). Situacije s jugom vežu se uz pojavu lokalnog minimuma tlaka nad Jadranom. Pojava bure najčešće je povezana s regionalnim dipolom koji se javlja na sinoptičkoj skali, odnosno sa središtima visokog tlaka sjevernije te nižeg tlaka južnije od Jadrana. U većini slučajeva raspodjela geopotencijala 850 hPa plohe ima slične karakteristike kao i ona za 1000 hPa plohu. Jedine iznimke su klasteri s burom, što upućuje na specifičnu vertikalnu strukturu u danim slučajevima. To se posebno ističe u ranoj fazi bure kada imamo prizemni dotok hladnog zraka sa sjeveroistoka te relativno toplije jugozapadno strujanje na većoj visini (Lukšić, 1975.). U zreloj i kasnoj fazi bure obično se i na većoj visini javlja relativno hladno sjeveroistočno strujanje.

U ovom radu fokusirat ćemo se na proučavanje tipova strujanja u dijelu Kvarnerskog zaljeva, odnosno sjevernog Jadrana. S obzirom na područje interesa i vremenski period u kojem raspolazemo s podacima, teško je za očekivati da ćemo iz mjerenja moći razlučiti etezije; koje se na Jadranu javljaju između druge polovice lipnja te rujna. Zato ćemo u daljnjem tekstu posebnu pažnju posvetiti ostalim, tj. u ranijim radovima uočenim tipovima strujanja: buri, jugu te vjetru obalne cirkulacije.

1.1. Bura

Uz istočnu obalu Jadrana, u zavjetrini Dinarida, javlja se sjeveroistočni vjetar koji nazivamo bura. Bura je jedan od najpoznatijih lokalnih tipova vjetra te predmet brojnih istraživanja (npr. Yoshino 1976., Jurčec, 1981., Smith, 1987). Njezini prostorni razmjeri ponajviše ovise o njenoj jačini. Bura je relativno hladan, mahovit i na udare vrlo oštar, u prosjeku silazni vjetar, koji se na Jadranu javlja na zavjetrinskim stranama priobalnih planina; od Trsta do Dubrovnika i južnije (Makjanić, 1978., Tutiš, 1988., Bajić, 1989.). Vjetar sličnih karakteristika javlja se diljem svijeta, npr. u Austriji, Islandu, Kavkazu, Kurdistanu, Sumatri,

Japanu, Indoneziji, Novom Zelandu, južnoj Kaliforniji, Stjenjaku, zapadnim padinama Andi, itd. (Grisogono i Belušić, 2009.). Srednje satne brzine vjetra prelaze 20 ms^{-1} , a udari mogu dosežati između 50 ms^{-1} i 70 ms^{-1} . Maksimalni satni udari vjetra približno su dvostruko veći od satnih srednjaka brzine vjetra (Belušić i sur., 2006.). U globalu, bura je više proučavana na sjevernom nego na južnom Jadranu. Djelomično je tome tako zbog manje kompleksne topografije. Naime, na sjevernome Jadranu postoji manje planina (uz vjetar) koje utječu na dolazni tok te manje prijevoja, obalnih dolina i značajnih estuarija.

Zbog svojih karakteristika i učestalog pojavljivanja, bura uvelike utječe na mnoga područja gospodarskih djelatnosti, a posebice na pomet. U kopnenom prometu poteškoće nastaju zbog stvaranja snježnih nanosa, a u pomorskom zbog udara jakog ili olujnog⁴ vjetra te uslijed razvoja valova i 'morskog dima'. Zbog olujnih brzina i izrazite mahovitosti⁵ bura stvara vrlo jaku turbulenciju u atmosferi, što predstavlja veliku opasnost u zračnom prometu. Bura djeluje destruktivno na biljni svijet te isušuje tlo. No, s druge strane, vrlo često nosi povoljne biometeorološke prilike, raspršuje onečišćenje prisutno u zraku te poprima sve veću ulogu u iskorištavanju energije vjetra. Zbog svega navedenog, bura je predmet brojnih istraživanja već dugi niz godina.

Prostorno-vremenske statističke analize (Poje, 1992.) ukazuju na opadanje učestalosti pojave bure od sjeverozapada prema jugoistoku. Također, jakost bure slabi od obale prema pučini. Bura nije sezonski tip vjetra, već se javlja tokom cijele godine. No, zimi je učestalija te u prosjeku jača i dugotrajnija. Trajanje bure varira od nekoliko sati do nekoliko dana.

Istraživanja makroskalnih karakteristika vezanih uz pojavu bure (Yoshino, 1976., Jurčec, 1981., Heimann, 2001.) ukazuju na to da je za njezin nastanak važan raspored sinoptičkih sustava nad srednjom Europom i Jadranom, odnosno Sredozemljem. Ovisno o baričkom sustavu koji je odgovoran za njezin nastanak, bura se dijeli na ciklonalnu, anticiklonalnu i frontalnu (npr. Večenaj, 2005.). Ciklonalna ili 'mračna' bura nastaje kada ciklona iz Genovskog zaljeva krene prema istoku i spušta se duž Apeninskog poluotoka ili Jadrana, dolazeći nad srednji ili južni Jadran. Sjeverniji položaj ciklone donosi buru samo na sjevernom dijelu Jadrana. Ciklona sa središtem u srednjem Jadranu daje poseban raspored vjetra: na sjevernom Jadranu puše bura, na južnom jugo, dok na srednjem Jadranu prevladava slab vjetar promjenjivog smjera. Ciklonalna bura najčešća je zimi, kada može potrajati i do

⁴ Kriterij za olujnu buru je $V \geq 17.2 \text{ ms}^{-1}$ i $V_{\max} > 30 \text{ ms}^{-1}$ (npr. Bašić, 2010.)

⁵ Mahovitost je definirana kao omjer maksimalne trenutne brzine vjetra i srednje brzine vjetra

tjedan dana. Može postići olujnu jačinu, a praćena je tmurnim, oblačnim i kišovitim vremenom. Anticiklonalna ili 'jasna' bura nastaje kada je anticiklona iznad srednje Europe ili zapadnije; čak nad Atlantikom, a sa središtem sjeverno od područja puhanja bure. Greben visokog tlaka zahvaća naše krajeve, pa prevladava suho i vedro vrijeme. Anticiklonalna bura nije osobina samo hladnijeg dijela godine; javlja se i ljeti, ali temperatura ne pada tako nisko kao zimi. Frontalna bura uzrokovana je prodorom hladnog zraka sa sjeveroistoka koji slijedi hladnu frontu, a koja pak zahvaća kontinent i Jadranski bazen. Ovakva bura prilično je kratkotrajna, iako neki od najžešćih slučajeva pripadaju upravo frontalnom tipu.

Poimanje bure kao katabatičkog vjetra (Yoshino, 1976., Jurčec, 1981.), ili vjetra koji se može opisati linearnom valnom teorijom promijenilo se nakon projekta ALPEX (Smith, 1987.). Naime, jednostavni katabatički tok ne može podržavati kontinuirani vjetar brzine $\sim 20 \text{ ms}^{-1}$ ili jači, kakav se javlja kod zavjetrinskog olujnog vjetra; zbog toga što bi razlika temperature radijacijski ohlađene površine i okolnog zraka trebala biti $\sim 25 \text{ °C}$ (Grisogono i Belušić, 2009.). Drugi problem je što katabatička teorija daje premalenu visinu na kojoj se opaža maksimum brzine vjetra, a koja kod bure iznosi oko 500 m. Kao treće, linearna teorija nije mogla opisati buru i pridruženi joj mezoskalni gradijent tlaka, velike zavjetrinske brzine vjetra i istodobnu stagnaciju iznad samog vrha planine, tj. nije mogla opisati nelinearne efekte. Od ALPEX-a nadalje, jaka i olujna bura smatra se fenomenom koji je povezan s pucanjem planinskih valova, hidrauličkim strujanjem, hidrauličkim skokom⁶, pojavom rotora te pulsacijama i razdvajanjem strujanja (Klemp i Durran, 1987., Belušić i sur., 2007., Gohm i sur., 2008). Stari koncept bure kao katabatičkog vjetra može još uvijek funkcionirati u početnoj fazi, tj. za vrijeme okidanja bure ili u završnoj fazi kada bura polako trne, budući da su tada brzine vjetra i prostorne dimenzije male (Grisogono i Belušić, 2009.). Ovakav koncept također se može primijeniti u slučajevima epizoda sa slabom i umjerenom burom.

Kao što je ranije napomenuto, trenutna saznanja o buri povezuju je s hidrauličkom teorijom (Smith, 1985.). Hidraulička teorija daje dobar opis i objašnjenje za uzlaznu akceleraciju vjetra, područje slabog strujanja u sloju miješanja iznad vrha planine te akceleraciju ispod sloja miješanja. Kao glavni mehanizam za nastanak jake i olujne bure

⁶ Hidraulički skok označava prijelaz iz superkritičnog u subkritično strujanje, pri vertikalnom Frudeovom broju $Fr \approx 1$. Pri skoku dolazi do disipacije energije i do pretvaranja kinetičke energije superkritične struje u potencijalnu energiju subkritične struje.

navodi se lom i pucanje valova ispod kritičnog nivoa⁷, u zavjetrini planine (Klemp i Durran, 1987.). Osim navedenog, još su dva mehanizma značajna za pojavu bure, a to su: kritični nivo i pojava inverzije u prizemnom sloju atmosfere (Belušić i sur., 2007.). Nakon MAP projekta, odnosno 15-20 godina nakon ALPEX-a, posebna pažnja usmjerena je na proučavanje 3D nelokalnih struktura, od kojih je većina uzrokovana orografskim lomom valova i mezoskalnim gradijentima tlaka (npr. 'bora jets', 'bora wakes', rotori, pulsacije, hidraulički skokovi...).

Dinarsko gorje ispresijecano je s nekoliko planinskih prijelaza unutar kojih se javljaju frekventniji i perzistentniji tokovi bure (npr. Vratnik, Delnička vrata; Belušić i Klaić, 2006., Gohm i sur., 2008.). Poznata je činjenica da se u zavjetrini takvih prijevoja javljaju niske mlazne struje, odnosno područja lokalnih maksimuma brzine vjetra (engl. *bora jets*), a u zavjetrini okolnih vrhova područja lokalnih minimuma brzine vjetra (engl. *bora wakes*). Lokalni maksimumi, koji su posljedica strujanja kroz prijevoje, naglašeni su u zavjetrini planina zbog toga što su izbjegli disipaciju u hidrauličkom skoku (Pan i Smith, 1999.). S druge strane, jaki superkritični tok koji se javlja iznad planinskih vrhova vodi do snažnih skokova i disipacije. Rezultati zadnje spomenutih autora potvrđeni su numeričkim simulacijama MM5 modelom za zimsku epizodu jake bure (Belušić i Klaić, 2006.). Pokazano je da u slučaju strujanja kroz prijevoj Vratnik nema hidrauličkog skoka, već da dolazi do formiranja zarobljenih zavjetrinskih valova (u rasponu visina 500-3000 m) te pojave pripadne niske mlazne struje. S druge strane, zbog loma vrlo dubokog težinskog vala, tok je u uskom području oko samog vrha jako ubrzan. No, zbog disipacije u hidrauličkom skoku, brzina vjetra dalje od planine drastično pada. Spomenuta karakteristika strujanja kroz planinske prijevoje i vrhove važan je aspekt ovog rada, budući da raspolažemo mjerenjima s Vratnika te ih uspoređujemo s onima na postajama u Kvarnerskom zaljevu. Smjer pružanja postaja približno se poklapa sa smjerom puhanja bure.

1.2. Jugo

Jugo je uz buru najснаžнији vjetar na Jadranu. Smjer mu je na otvorenom moru uglavnom južni, a uz obalu jugoistočni. Uzroci tome su specifična orografija, tj. položaj Jadrana i planinskog lanca uz istočnu obalu te sinoptičke situacije koje pogoduju takvom

⁷ Kritični nivo za stacionarne 2D planinske valove jest nivo na kojem komponenta vjetra okomita na prepreku postaje jednaka nuli.

strujanju. Jugo je topao i vlažan vjetar koji se uglavnom javlja uz oblačno i kišovito vrijeme. Vrlo je plitko, tj. gotovo nikad se ne prostire više od 2 km u visinu, gdje na prednjoj strani visinske doline smjer strujanja naglo prelazi u jugozapadni. Puše po nekoliko dana ujednačenom brzinom od približno 10 ms^{-1} . Izraženiji je uz obalu, dok prema otvorenom moru slabi (npr. Pasarić i sur., 2007.). Jugo je tipični vjetar Jadranskog mora, uvjetovan općim južnim strujanjem, nastalim zbog Genovske ciklone ili ciklone na Jadranu, a samo ponekad kao dio strujanja vjetra *scirocco*⁸ koji puše na širem području Sredozemlja dolazeći iz Afrike (npr. Večenaj, 2005.). Dakle, iako se u literaturi vrlo često svrstava u *scirocco* skupinu vjetrova, jugo joj nužno i ne pripada (Jurčec i sur., 1996.).

Prema vrsti sinoptičkih situacija koje ga uzrokuju, jugo se može podijeliti na: ciklonalno (kišno) i anticiklonalno (suho). Većina situacija s jugom povezana je s ciklonom, dok je u manjem broju slučajeva jugo uzrokovan anticiklonom. Ciklonalno jugo nastaje čim se neka ciklona sa zapada približi Jadranu ili se razvije u Genovskom zaljevu, kao i u sjevernom Jadranu. Zbog toga jugo češće počinje na sjevernom Jadranu, a zatim se širi prema srednjem i južnom. Isto tako, jugo najprije prestaje puhati na sjevernom Jadranu. Jakost, oblik i staza gibanja ciklone određuju kakvo jugo će se razviti. U većini slučajeva imamo umjereno do jako jugo, koje ponekad može puhati i na udare (do 40 ms^{-1}). Srednji je Jadran često granica između ciklalnog juga i ciklone bure, ako ciklona prolazi južnije. Ako je središte ciklone sjevernije, jugo obično puše nad cijelim Jadranom. Prati ga gusta i niska naoblaka s povremenom, često i jakim kišom. Anticiklonalno jugo nastaje pod utjecajem visokog atmosferskog tlaka nad istočnim dijelom Sredozemlja te djelovanjem duboke i dugo stacionirane ciklone nad sjeverom Europe (npr. Večenaj, 2005.). Nebo je vedro ili se pojave cirokumulusi i altokumulusi iz smjera zapad-jugozapad. Nakon dan ili dva na sjevernom Jadranu raste naoblaka. Oborine nema ili je vrlo rijetka.

Jugo se najčešće javlja u hladnijem dijelu godine; posebno u dijelovima jeseni i proljeća koji su bliže zimi (npr. Trošić, 1983.). Na južnom Jadranu najčešće je od jeseni do kraja zime, dok je na sjevernom Jadranu najčešće od kraja zime do početka ljeta. Zimi obično traje po tjedan dana, no ponekad s kraćim prekidima može potrajati do tri tjedna. Ljeti obično traje do tri dana. Nakon početka puhanja juga, brzina strujanja se postupno mijenja, tako da u nekim područjima može postati olujno. Međutim, najčešće je to umjeren do jak jugoistočni vjetar.

⁸ *Scirocco* je topao južni vjetar ispred ciklone koja se giba duž južnog Mediterana ili sjeverne Afrike prema istoku, a koji sa sobom nosi suh i prašnjav zrak porijeklom iz Sahare. Prelazeći preko Sredozemnog mora, takav zrak nakupi dosta vlage, pa na Jadranu imamo zućkastu ili crvenkastu kišu. Scirocco rijetko dolazi u Jadran, a i kad dođe, lako se razlikuje od juga, baš zbog pijeska koji nosi sa sobom.

Olujnu jačinu postiže obično tijekom trećeg dana puhanja. Čestina pojavljivanja juga povećava se od sjevernog prema južnom dijelu Jadrana. U obalnom području, od Splita do Neretve, učestalost pojavljivanja juga je najveća zbog kanalizirajućeg efekta kojeg stvaraju prolazi između planina i otoka u tom području. To se odražava i u brzini vjetera, budući da ona raste prema jugu, ali i u područjima gdje dolazi do kanaliziranja (npr. Trošić, 1983.). Značajke vremena uz jugo su sljedeće (Penzar i sur. 2001.):

- jugoistočni vjetar barem umjerene jačine
- dugački i debeli morski valovi s juga; bez pjene i šuma, koji se ponekad javljaju i prije samog vjetera
- razmjerno topao zrak, vrlo često vlažan, pa može prevladati osjećaj sparine

Biometeorološki uvjeti za vrijeme juga uglavnom su vrlo nepovoljni; posebno za koronarne bolesnike.

Prognoziranje jakog i olujnog juga od posebne je važnosti, budući da se tada javljaju vrlo visoki valovi na Jadranu. Kako jugo ne počinje toliko naglo kao bura, smatra se da ga je lakše prognozirati nego buru. Međutim, poteškoće prognoziranja proizlaze iz činjenice da su opasni uvjeti za vrijeme juga, tj. pojave lokalnih udara, odnosno razlika u brzini vjetera, posljedica posebnih sinoptičkih struktura koje su povezane s mezoskalnim ciklonama i frontama.

1.3. Kopnenjak i smorac

Kopnenjak i smorac prizemne su grane strujanja unutar ćelije obalne cirkulacije. Nastaju kao posljedica različitog zagrijavanja, odnosno hlađenja kopna i mora tokom dana. Naime, ujutro se kopno zagrijava jače nego more te se relativno topli zrak nad kopnom diže. Zamjenjuje ga relativno hladniji zrak s mora (smorac). Nad kopnom se zrak dizanjem hladi sve do nivoa na kojem su izoterme paralelne ravnoj horizontalnoj podlozi. Na visini se, u idealiziranom 2D slučaju, javlja sporija (u odnosu na prizemnu) suprotna struja, tj. puše od kopna prema moru. Noću je situacija suprotna. Kopno se jače hladi nego more i stvara se suprotno strujanje. Tada hladan zrak s kopna putuje prema moru (kopnenjak), gdje se zagrijava i uzdiže te se na određenoj visini opet vraća prema kopnu i na taj se način zatvara cirkulacijska ćelija. Pripadni noćni vjetar uglavnom je slabiji od dnevnog, a i dubina noćne

cirkulacijske ćelije manja je naspram dnevne. Osim što se može osjetiti, pojava obalne cirkulacije može se i vidjeti. Dizanjem zraka na prednjoj strani obalne cirkulacije dolazi do kondenzacije vodene pare te formiranja grudastih oblaka, kumulusa. Linija oblaka paralelna obali, za inače vedrog dana, jasan je znak za granicu smorca koja se naziva fronta smorca. Kao što je već spomenuto ranije, za razvoj obalne cirkulacije pogodne su anticiklonalne situacije, npr. prodor grebena Azorske anticiklone s malim gradijentima tlaka duž Jadrana.

Drugi tip termički generiranog vjetra predstavlja vjetar koji nastaje duž planinskih obronaka okrenutih prema jugu. Danju se obronci obasjani Suncem ugriju. Kako se troposfera prvenstveno zagrijava od Zemljine podloge, sloj zraka uz obronak topliji je od okolnog zraka na istoj visini. Topao zrak polako se diže uz obronak (anabatičko strujanje), a hladni se spušta prema podnožju planine. Cirkulacijska ćelija zatvara se strujanjem u visini, od područja toplijeg zraka prema hladnijem. Noću se obronak ohladi zbog dugovalnog zračenja tla. Stoga sloj zraka uz obronak biva hladnijim od okolnog zraka na istoj visini. Hladniji se zrak tada spušta niz obronak (katabatičko strujanje), a na njegovo mjesto dolazi relativno topliji zrak iz okoliša (očuvanje mase). Cirkulacijska ćelija zatvara se dizanjem zraka iz podnožja planine uvis. Ako se obronci nalaze uz obalu, kao što je to slučaj duž većeg dijela naše obale i otoka, tada se katabatičko i anabatičko strujanje može dodatno amplificirati (brzina, prostorne dimenzije) zbog obalne cirkulacije. U tom su slučaju cirkulacijske ćelije u vertikalnoj ravnini rezultat superpozicije obalne cirkulacije i cirkulacije obronka.

Mnogobrojna industrijska mjesta izgrađena na obali proizvode znatna onečišćenja ispuštajući različite polutante u atmosferu. Poznato je da smorac pročišćava obalne gradove i da prenosi polutante s obale prema zaleđu (npr. Prtenjak i Grisogono, 2007.). Ponekad, ukoliko tome pogoduju orografski i sinoptički uvjeti, dolazi do tzv. recirkulacije onečišćujućih tvari unutar obalne cirkulacije. Takav slučaj predstavlja vrlo ozbiljan problem jer može trajati i po nekoliko dana. Iako smorac može smanjiti početno onečišćenje, onečišćujuće tvari uhvaćene unutar fronte smorca mogu se vratiti na isti lokalitet gornjom granom cirkulacije tijekom dana. Drugi način njihovog povratka na mjesto početnog ispuštanja može biti tijekom noći s pojavom kopnenjaka.

Analizom podataka o vjetru i temperaturi (mjesečni srednjaci razlika maksimalne dnevne temperature nad kopnom i srednje dnevne temperature površine mora, ΔT), za razdoblje od lipnja do rujna tijekom 1991.-2004., određene su klimatološke karakteristike vjetra obalne cirkulacije za devet postaja na sjevernom i srednjem Jadranu (Prtenjak i

Grisogono, 2007.). Među analiziranim postajama nalaze se i sljedeće postaje (s kojih ćemo koristiti podatke u ovome radu): Mali Lošinj, Rab i Senj. Rezultati spomenutih autora ukazuju na veliku učestalost pojave smorca i najveće brzine strujanja za slučajeve kada vrijedi $3^{\circ}\text{C} < \Delta T < 8^{\circ}\text{C}$, uz uvjet da je vjetar na sinoptičkoj skali slab. Središnje osi puhanja smorca i kopnenjaka za tri spomenute postaje pružaju se u smjerovima: 225° - 45° (Mali Lošinj), 205° - 25° (Rab) i 253° - 73° (Senj). Učestalost pojavljivanja, kao i srednja duljina trajanja smorca najmanja je za postaju Senj, iako su vrijednosti ΔT najveće. Uzrok tome je kanaliziranje strujanja kroz prijevoj Vratnik te u Velebitskome kanalu (Prtenjak i Grisogono, 2007.). Budući da je postaja smještena u podnožju lokalnog planinskog lanca, učestala pojava bure sprječava razvoj lokalnih termalnih cirkulacija. Srednja duljina trajanja smorca iznosi 7 sati za postaju Senj, odnosno po 10 sati za postaje Rab i Mali Lošinj. Učestalost pojavljivanja smorca iznosi 37% dana za postaju Senj (s maksimumom u lipnju), 45% za postaju Mali Lošinj te 56% za postaju Rab (obje zadnje spomenute postaje imaju maksimume u kolovozu). Nakon kolovoza, učestalost pojave smorca značajno pada na svim postajama. Skalarne brzine vjetra u slučaju smorca, uglavnom su dva do tri puta veće nego kod kopnenjaka. Jedina iznimka je postaja u Senju, za koju je noćno strujanje, kao superpozicija kopnenjaka i katabatičkog vjetra obronka osjetno jače nego dnevno. Gledano tokom dana, smorac postiže maksimum brzine između 14 i 15 sati, osim za postaju Senj gdje se to događa oko 11 sati. Uzrok tome je kanaliziranje zraka između kopna i otoka Krka (Prtenjak i sur., 2006.). Ovdje spomenute karakteristike pojedinih postaja, prije svega podaci o centralnim osima kopnenjaka i smorca te odnosi brzina dnevnog i noćnog strujanja, bit će nam od velike važnosti kasnije kada ćemo pokušati razlučiti koliki je termalni udio u pojedinim tipovima strujanja te kako se on mijenja kroz godinu. Posebno su nam zanimljive epizode s burom na Vratniku, a bez bure u Senju.

1.4. Cilj rada

Ovaj rad nastoji razlučiti glavne režime strujanja u dijelu Kvarnerskog zaljeva koji uključuje postaje Mali Lošinj, Rab i Senj, te visinsku postaju Vratnik. Također želimo utvrditi srednju sinoptičku situaciju za svaki pojedini strujni režim. Dobivene rezultate ćemo usporediti s onima koje su, za cijelo područje Jadrana, prikazali Pandžić i Likso (2005.) Novost koju ovdje unosimo jest uključivanje visinske postaje te promatranje strujanja na obalnim i otočnim postajama s obzirom na smjer strujanja na toj visinskoj postaji; vremenska rezolucija podataka o vjetru na meteorološkim postajama ovdje je također puno finija. U metodu za klasteriranje podataka ulazimo sa satno osrednjenim komponentama vjetra (24

dnevne vrijednosti), dok su gore spomenuti autori koristili podatke u tri dnevna (klimatološka) termina. Također unosimo poboljšanje u vidu prikazivanja sinoptičkih podataka na temelju reanaliza s većom prostornom rezolucijom. To bi nam trebalo omogućiti bolje raspoznavanje struktura manjih skala. Smjer pružanja postaja ide u smjeru dominantnih tipova strujanja na visinskoj postaji, tj. u smjeru jugozapad-sjeveroistok. Konačno, nameće se i pitanje koliko su u mogućnosti 'K-means' algoritam te subjektivna metoda za određivanje optimalnog broja klastera razlučiti opažene, dominantne tipove strujanja na istočnom dijelu Jadrana. S obzirom da promatrano razdoblje isključuje ljetno godišnje doba (uključen samo lipanj), logično je očekivati da nećemo moći razlučiti etezije, a postavlja se i pitanje mogućnosti razlučivanja smorca.

Poseban naglasak stavljamo na proučavanje klimatoloških karakteristika pojedinih tipova strujanja, odnosno na njihovu učestalost javljanja tokom dana i godine. Kvaliteta klasteriranja bit će, na određeni način, testirana crtanjem razdiobe vektora vjetra za točku koja je najudaljenija od sredine, a kojom pak prikazujemo dani tip strujanja. Sličan postupak bit će rađen i za srednju sinoptičku situaciju, gdje će nam najrazličitija situacija, u odnosu na srednju sinoptičku za dani tip strujanja, prikazati mjeru izglađenosti srednjaka. Kriterij za odabir najudaljenije situacije od srednje sinoptičke bit će analiziran u sljedećem poglavlju.

Analizom podataka o vjetru na postaji Vratnik utvrđena je dominacija dvaju tipova strujanja: sjeveroistočnog (bura) i jugozapadnog. Zbog jakog efekta kanaliziranja zraka kroz prijevoj Vratnik te blizine Senja, najčešće se može očekivati istodobna pojava bure na obje postaje. Međutim, usporednom analizom odgovarajućih podataka na postajama Senj i Vratnik uočeno je da postoji značajan broj situacija s burom na Vratniku, a bez bure u Senju (Večenaj i sur., 2010. i 2011.). Preliminarne indikacije za mogućnost takvog tipa strujanja nagovještene su u idealiziranim numeričkim simulacijama (Enger i Grisogono, 1998.; Kraljević i Grisogono, 2006.). Dobiveni rezultati bili su jedan od motivacijskih čimbenika za nastanak ovog rada.

Epizode s istodobnom pojavom, uglavnom jake i olujne bure na Vratniku te u Senju, predmet su brojnih istraživanja unutar zadnjih desetak godina (npr. Belušić i Klaić, 2006.) i uglavnom su dobro razlučene. Može se čak i reći da su one, uvjetno govoreći, jednostavnije. S obzirom na gore navedene karakteristike strujanja kroz prijevoj Vratnik, naša je želja da pokušamo razumjeti kako je uopće moguće da na Vratniku puše bura, a u Senju ne? Kakve su klimatološke karakteristike takvih epizoda (prije svega pojavljivanje tokom dana i godine)?

Zatim, da li su takve epizode posljedica pogodnih sinoptičkih prilika ili lokalnih efekata? Kako dugo traju i kakve su brzine strujanja? Pitanja je mnogo, a moguće je da se usporedno s odgovorima na neka od postojećih pojave i nova.

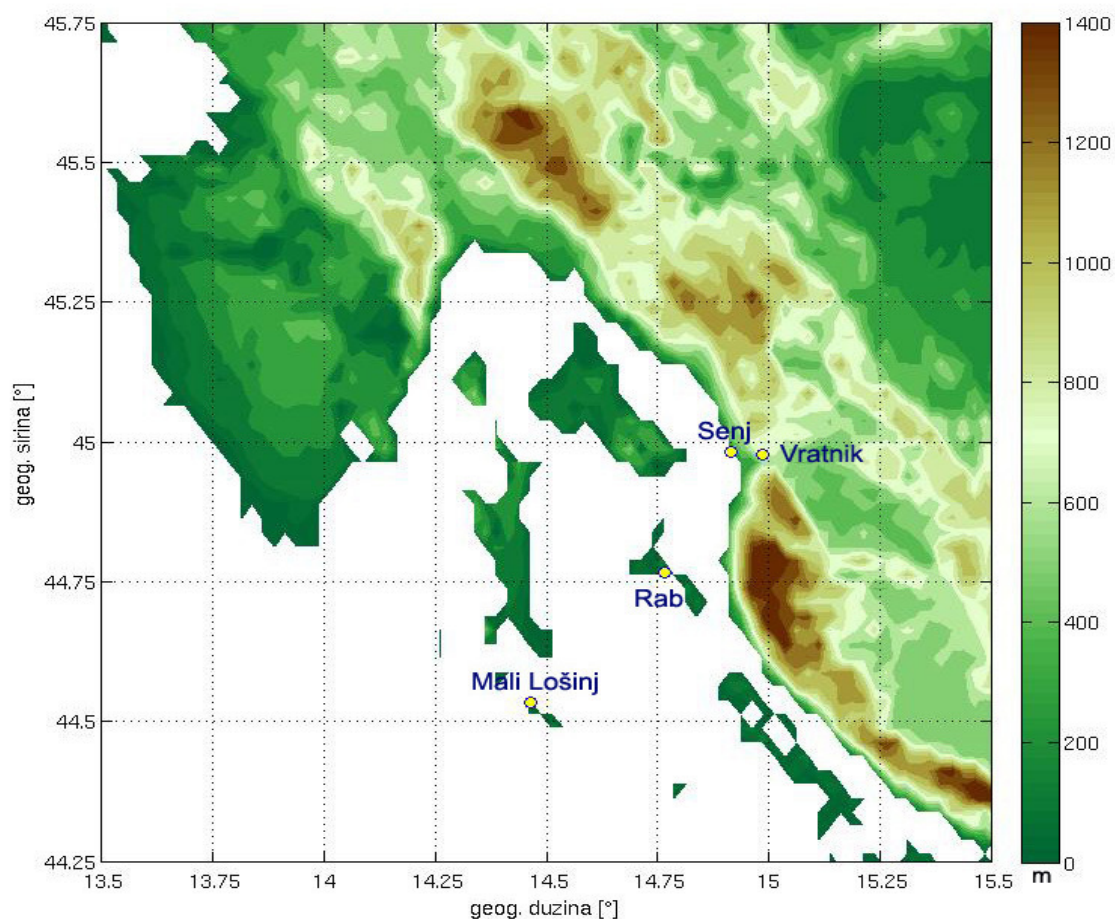
Dobiveni skup epizoda s burom na Vratniku, a bez bure u Senju, analiziran je s obzirom na trajanje te preferirano dnevno i godišnje razdoblje. Posebno su analizirani udjeli epizoda kraćih od 12, odnosno od 6 sati, kako bi se utvrdio mogući utjecaj termalno uzrokovano strujanja. Polazi se od pretpostavke da su termalno uzrokovane epizode kraće od 12 sati, odnosno da sve ono što je duže od 12 sati nije termalno. Za takve, kraće epizode, brzine vjetra su uglavnom manje, što ide u prilog danoj tezi. Dobiveni rezultati, odnosno klimatološke karakteristike danih epizoda, uspoređeni su s klimatološkim karakteristikama klastera, tj. tipova strujanja dobivenih statističkom metodom.

Konačno, postavlja se i pitanje sinoptičkih situacija koje pogoduju prijelazima između tipova strujanja. Ovdje se prije svega misli na promjenu iz bure u jugozapadno strujanje na Vratniku i obrnuto, a onda na promjene unutar samog Kvarnerskog zaljeva. Na nekoliko konkretnih, tj. neosrednjavanih situacija pokazat ćemo raspodjelu i razvoj baričkih sustava koji pogoduju određenim tipovima strujanja te ujedno testirati činjenice koje su iznesene na početku ovog poglavlja (vezano za raspodjelu baričkih sustava koje pogoduju glavnim tipovima strujanja na istočnom Jadranu).

2. Podaci i metode

2.1. Mjerenja na meteorološkim postajama

Za proučavanje režima strujanja u dijelu Kvarnerskog zaljeva te usporedbu sa sinoptičkom situacijom na širem području koristimo podatke za skalarnu brzinu i prevladavajući smjer vjetra na sljedećim postajama: Vratnik (44.978° N, 14.985° E; 698 m nadm. vis.), Senj (44.983° N, 14.916° E; 26 m nadm. vis.), Rab (44.766° N, 14.766° E; 24 m nadm. vis.) i Mali Lošinj (44.533° N i 14.466° E; 53 m nadm. vis.). Prostornu razdiobu spomenutih postaja možemo vidjeti na Slici 1.



Slika 1. Prostorna razdioba meteoroloških postaja s kojih su korišteni podaci za skalarnu brzinu i smjer vjetra.

Podaci za skalarnu brzinu i prevladavajući smjer vjetra dani su za 10-minutna razdoblja s početkom 07.10.2004. u 07:50 sati te završetkom 29.06.2005. u 23:20 sati. Podaci s postaja

Senj i Vratnik dobiveni su od strane Geofizičkog odsjeka, dok su mjerenja s postaja Rab i Mali Lošinj dobiveni od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda.

2.2. K-means metoda

'K-means' je jedna od najjednostavnijih metoda za klasteriranje podataka (MacQueen, 1967.), pri čemu se broj klastera (k) određuje a priori. Glavna ideja metode zasniva se na određivanju k sredina, po jedne za svaki klaster. Sredine je potrebno vrlo pažljivo razmjestiti jer nam različit položaj sredina stvara razlike u konačnom rezultatu. Najbolji je razmještaj onaj pri kojem su sredine međusobno najudaljenije, odnosno najrazmaknutije. Sljedeći je korak pridruživanje svake od točaka⁹, tj. podatka najbližoj sredini, odnosno klasteru. S pridruživanjem posljednje točke u nizu završava se proces ranog grupiranja. Nakon ranog grupiranja određuje se novih k sredina, tako da one budu težišta klastera dobivenih u prijašnjem koraku. Sljedeći korak je pridruživanje svake od točaka, tj. podataka najbližoj novoj sredini, odnosno klasteru. Na ovaj način stvaramo petlju u kojoj nam svaki korak nosi novi položaj sredina klastera. Petlja se provodi sve dok sredine ne postanu fiksirane, tj. položaj im se više ne mijenja. Konačno, možemo reći da je cilj 'K-means' algoritma minimiziranje objektivne funkcije, odnosno kvadrata funkcije pogreške:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (1)$$

gdje je $\|x_i^{(j)} - c_j\|^2$ odabrana mjera udaljenosti između točke $x_i^{(j)}$ i sredine klastera c_j (u našem slučaju radi se o euklidskoj udaljenosti). Funkcija J predstavlja mjeru udaljenosti n točaka od njihovih sredina klastera.

Algoritam za provođenje 'K-means' metode može se sažeto prikazati pomoću sljedeća četiri koraka (broj klastera k zadaje se unaprijed):

- početno određivanje k sredina klastera
- pridruživanje svake od točaka klasteru s najbližom sredinom
- nakon što su sve točke pridružene klasterima, ponovno računamo sredine klastera tako da one budu težišta klastera dobivenih u prethodnom koraku

⁹ Točka je niz od 8 vrijednosti, tj. komponenti brzine, koje predstavljaju raspodjelu vektora vjetra na naše 4 meteorološke postaje, u nekom trenutku. Tako definirane točke svrstavamo u slične grupe, tj. klustere.

- ponavljanje koraka 2. i 3. sve dok sredine klastera ne postanu fiksne. Time razmještamo točke u grupe i minimiziramo objektivnu funkciju (1).

Iako se može pokazati da će se postupak uvijek prekinuti, tj. da će sredine klastera postati fiksne, ne mora nužno značiti da će 'K-means' algoritam pronaći optimalnu konfiguraciju, odnosno onu koja odgovara globalnom minimumu objektivne funkcije. Algoritam je posebno osjetljiv na početne, slučajno odabrane sredine klastera. No, efekt se može reducirati tako da se postupak klasteriranja ponovi više puta.

U našem slučaju, ulazni skup podataka u 'K-means' metodu sastavljen je od matrice dimenzija $N \times 8$, gdje je N broj situacija s dostupnim mjerenjima na sve četiri postaje s kojih uzimamo podatke (Vratnik, Senj, Rab i Mali Lošinj). Stupci ulazne matrice su zonalne (u) i meridionalne (v) komponente 10-min srednjaka brzine vjetra na odgovarajućim postajama. Svaki redak ulazne matrice predstavlja jednu točku, tj. jedan trenutak s odgovarajućom raspodjelom vektora vjetra na spomenutim postajama. Na temelju postojećih komponenti 10-min srednjaka brzine vjetra, također su izračunati satni srednjaci istih veličina. 'K-means' metoda provedena je odvojeno s 10-minutnim i satnim vrijednostima, a dobivene razlike i odabir rezultata dobivenih iz satnih vrijednosti kao relevantnih bit će diskutiran u sljedećem poglavlju. 'K-means' račun proveden je u programskom paketu MATLAB. Rezultat klasteriranja sadržan je unutar sljedeće četiri matrice: idx (indikacija pripadnosti točke pojedinom klasteru), c (položaji sredina klastera), $sumd$ (suma udaljenosti svih točaka unutar pojedinog klastera od sredine) i D (udaljenost svake točke od svake sredine klastera). Podaci iz matrice D koriste se dalje za traženje najudaljenije točke koja pripada pojedinom klasteru.

Konačno, postavlja se i pitanje optimalnog broja klastera u koje možemo raspodijeliti ulazni skup podataka, tj. N točaka u našem slučaju. Unatoč tome što postoji određen broj više ili manje objektivnih metoda za određivanje optimalnog broja klastera, mi smo se ipak odlučili za nešto subjektivniji pristup. Naime, krenuli smo s podjelom ulaznog skupa podataka u $k=2$ klastera te smo broj klastera povećavali sve dok nam se u sljedećem koraku nije pojavio klaster koji se značajnije ne razlikuje od prethodnih.

Svaka točka pojedinog klastera analizirana je s aspekta vremena u kojem nastupa tokom dana, ali isto tako i tokom godine. Rezultati (po klasterima) prikazani su u obliku histograma s relativnim čestinama. Svrha analize jest utvrđivanje klimatoloških karakteristika pojedinih tipova strujanja.

2.3. ERA-interim podaci

ERA-interim podaci (Dee i sur., 2011.) rezultat su novije generacije reanaliza Europskog centra za srednjoročnu prognozu vremena (ECMWF). ECMWF je u prošlosti proizvodio tri generacije globalnih reanaliza: FGGE, ERA-15 i ERA-40. Posljednje spomenuta generacija obuhvaćala je skup globalnih analiza koje opisuju stanja atmosfere, kopna i oceana te se odnosila na razdoblje od sredine 1957. do sredine 2002. ERA-interim je inicijalno zamišljena kao privremena reanaliza za razdoblje od 1989. nadalje te svojevrsna priprema za sljedeću generaciju reanaliza koja bi trebala zamijeniti ERA-40 i obuhvatiti cijelo 20. stoljeće. U međuvremenu ERA-interim reanalize proširene su u vremenu sve do 1979. godine, a neprestano se ažuriraju i unaprijed.

ERA-interim reanalize mnogo su opsežnije od prethodnika ERA-40. Glavne novosti, odnosno poboljšanja vezano uz asimilaciju podataka su sljedeće:

- korištenje 12-satne 4D-Var metode
- uvođenje T255 horizontalne rezolucije u atmosferskom modelu (naspram T157 kod ERA-40) što odgovara razmaku od približno 79km na reduciranoj Gausovskoj mreži (125 km za ERA-40)
- unaprijeđena analiza vlažnih procesa (starije generacije reanaliza imale su velike poteškoće s prikazivanjem hidrološkog ciklusa) i fizika modela
- poboljšana kontrola kvalitete podataka na temelju iskustava s prethodnim generacijama
- uvođenje potpuno automatiziranih shema za kontrolu pristranosti satelitskih podataka o radijanciji; općenito poboljšanje glede tretiranja pristranosti (engl. *bias*) u motrenjima
- opsežnije korištenje radijancije i poboljšanje modela za prijenos zračenja

Podaci su dostupni na globalnoj mreži, uz nekoliko različitih rezolucija te na 37 vertikalnih nivoa, tj. izobarnih ploha. Ovdje korišteni podaci imaju najfiniju dostupnu rezoluciju, $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$, te se prvenstveno koriste za analizu sinoptičke situacije nad područjem Europe. Granice domene su: 32.625° N - 73.875° N, odnosno 27.375° W - 45.375°

E. Dakle, domena sadrži 55x97 točaka. Podaci su dostupni u 4 dnevna termina: 00 UTC, 06 UTC, 12 UTC i 18 UTC, a pokrivaju razdoblje od 06 UTC 07.10.2004. do 18 UTC 29.06.2005. Od dostupnih varijabli koristimo sljedeće: polje tlaka na srednjoj razini mora te komponente brzine vjetra na 10m visine za opis prizemne sinoptičke situacije, odnosno polje geopotencijala te komponente brzine vjetra na izobarnim plohama 925, 850, 500 i 300 hPa za prikaz sinoptičke situacije po visini.

Kako je jedan od ciljeva ovog rada da ustanovimo kakve sinoptičke situacije pogoduju određenim tipovima strujanja u odgovarajućem dijelu Kvarnerskog zaljeva, prirodno je bilo kombinirati ulazne podatke u 'K-means' metodu, tj. satne srednjake 10-minutnih komponenti vjetra i ERA-interim podatke. Tražene su sve situacije kod kojih se termini satnih srednjaka 10-minutnih komponenti vjetra i ERA-interim podataka poklapaju ili se eventualno razlikuju za najviše 1 sat (ovdje su uzimane samo situacije kada ERA-interim podaci nastupaju ranije). Na ovaj je način svaki ERA termin koji zadovoljava gornji kriterij svrstan u jedan od klastera. ERA termini unutar pojedinih klastera osrednjeni su po svim točkama mreže (za svaku varijablu i plohu posebno), čime je dobivena jedna prostorna razdioba (srednja sinoptička situacija) za svaki klaster. Za potrebe ovakve analize, ERA-interim termini prebačeni su u lokalno, tj. srednjoeuropsko vrijeme kako bi se poklapali sa satnim srednjacima.

Kao i kod 'K-means' metode, tražena je situacija (tamo točka) koja se najviše razlikuje od srednjaka. Za svaki ERA termin iz pojedinog klastera napravili smo matricu odstupanja tlaka ili geopotencijala od srednje situacije u svim točkama mreže. Najrazličitijim od srednjaka proglasili smo onaj termin za koji je suma kvadrata odstupanja tlaka ili geopotencijala po svim točkama mreže unutar tog klastera najveća. Tlak i geopotencijal smo odabrali zato jer je skalarno polje i jer mu je raspodjela puno glađa nego što je to slučaj s vjetrom.

2.4. Odabir epizoda s burom i jugozapadnim vjetrom na Vratniku

Analizom 10-minutnih podataka za prevladavajući smjer vjetra na postaji Vratnik ustanovljeno je da postoje dva dominantna tipa strujanja u promatranom razdoblju (isti rezultat dobivamo analizom satnih srednjaka 10-minutnih komponenti vjetra i korištenjem 'K-means' metode). S jedne strane imamo strujanje iz smjerova 30-90°, s glavninom toka oko 60° (opaža se u približno 68% situacija), a s druge strane iz smjerova 210-270°, s glavninom toka

oko 240° (opaža se u približno 30% situacija). Iz cijelog skupa podataka tražimo sljedeće situacije:

- uzastopnu pojavu najmanje 19 podataka (3 sata trajanja) iz intervala 30-90° na postaji Vratnik, a bez uzastopne pojave podatka iz traženog smjera na postaji Senj
- uzastopnu pojavu najmanje 19 podataka (3 sata trajanja) iz intervala 210-270° na postaji Vratnik

Dakle, epizode s burom i jugozapadnim tipom strujanja definiramo kao uzastopne pojave iz traženih smjerova s minimalnim trajanjem od 3 sata. Pri čemu kod epizoda s burom na Vratniku tražimo situacije kada na postaji Senj uvjet uzastopnog pojavljivanja nije zadovoljen (bilo da se to odnosi na cijelo razdoblje kad na Vratniku puše bura ili na samo jedan dio). Prilikom odabira epizoda nismo stavljali nikakve kriterije s obzirom na brzinu vjetra.

Za svaku od dvije grupe epizoda napravili smo analizu koja uključuje pojavljivanje epizoda u trosatnim dnevnim razdobljima¹⁰. Analiza je napravljena za svaki mjesec promatranog razdoblja posebno. Rezultati su predstavljeni u obliku histograma relativnih čestina. Također smo analizirali kakav je udio epizoda koje su kraće od 12 sati, odnosno onih koje su kraće od 6 sati u ukupnom broju epizoda. Spomenuti udjeli prikazani su u obliku histograma relativnih čestina. Tijekom takvih, relativno kratkih epizoda, brzine vjetra su većinom manje te se pretpostavlja da su one uzrokovane termalnim strujanjem. Duljina trajanja i učestalost ovakvih epizoda trebala bi se mijenjati tokom godine (ako su termalno vođene).

2.5. Epizode s promjenjivim režimom strujanja

Ovakve epizode zapravo su skup od nekoliko epizoda gdje imamo promjenu iz jugozapadnog tipa strujanja na Vratniku u buru ili obrnuto. Za analizu koristimo prizemne sinoptičke situacije te one s 925 hPa plohe (otprilike visina Vratnika), dobivene na temelju ERA-interim reanaliza. Također koristimo i vremenske nizove smjera i brzine vjetra na četiri meteorološke postaje. Ovdje je potrebno napomenuti da epizode sadrže i situacije gdje kod puhanja bure na Vratniku imamo slučajeve sa i bez bure u Senju. Svrha ove analize jest prikaz razvoja sinoptičke situacije pri prijelazu između dvaju glavnih tipova strujanja na Vratniku te

¹⁰ Trosatna dnevna razdoblja su sljedeći vremenski intervali: 00-03, 03-06, 09-12, 12-15, 15-18, 18-21, 21-24 CET.

eventualno razumijevanje pojave i nestanka bure u Senju dok je ona prisutna na Vratniku. Međutim, posljednje spomenuto će biti jako teško ustanoviti iz podataka ovako grube rezolucije kao što je prisutna u ERA-interim podacima. Za detaljnije razumijevanje najvjerojatnije bi trebalo koristiti numeričke modele s finom rezolucijom.

U analizu su uključene tri epizode s promjenjivim režimom strujanja, s posebnim naglaskom na same trenutke kada se prijelaz javlja. Budući da radimo s ERA-interim podacima, dostupna su nam četiri dnevna termina. To su: 00 UTC, 06 UTC, 12 UTC i 18 UTC, tj. +1 sat za prijelaz u srednjoeuropsko vrijeme. Analizirat ćemo dijelove sljedećih epizoda:

- 18 UTC 17.11.2004. – 12 UTC 21.11.2004.
- 06 UTC 01.01.2005. – 00 UTC 05.01.2005.
- 18 UTC 17.01.2005. – 06 UTC 24.01.2005.

3. Rezultati

3.1. Tipovi (klasteri) strujanja

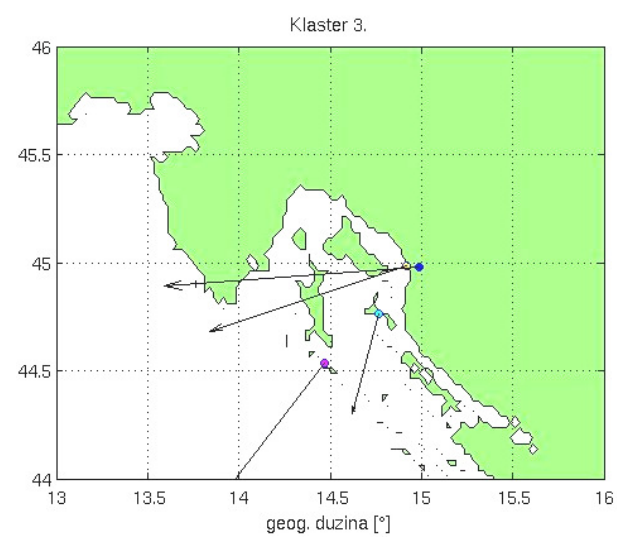
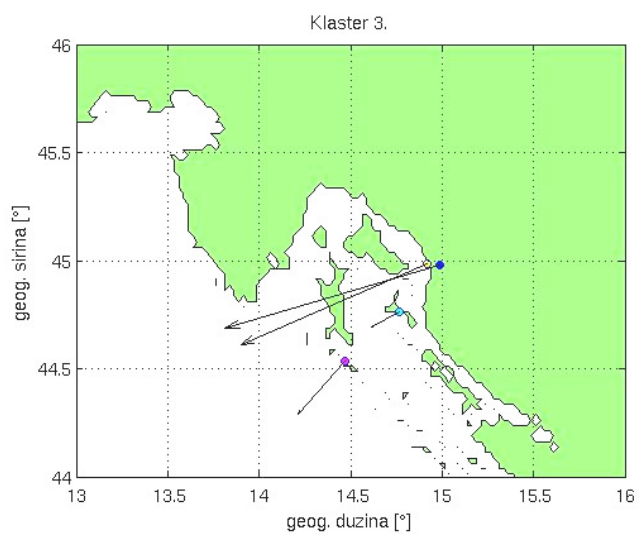
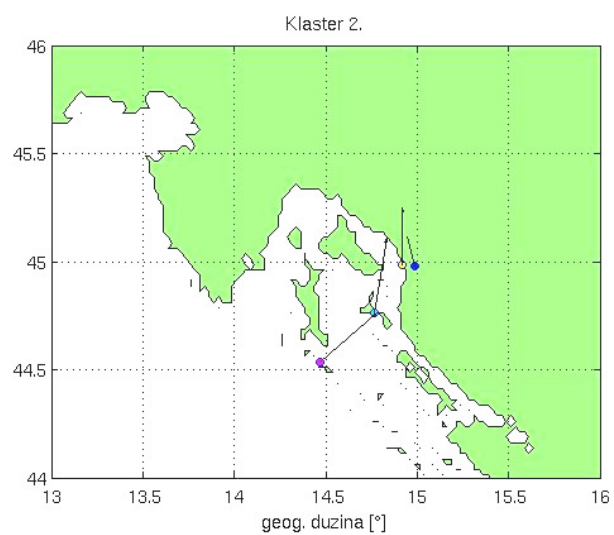
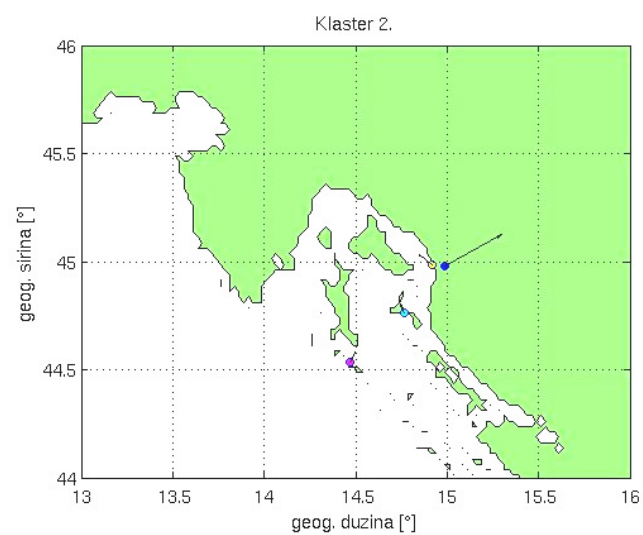
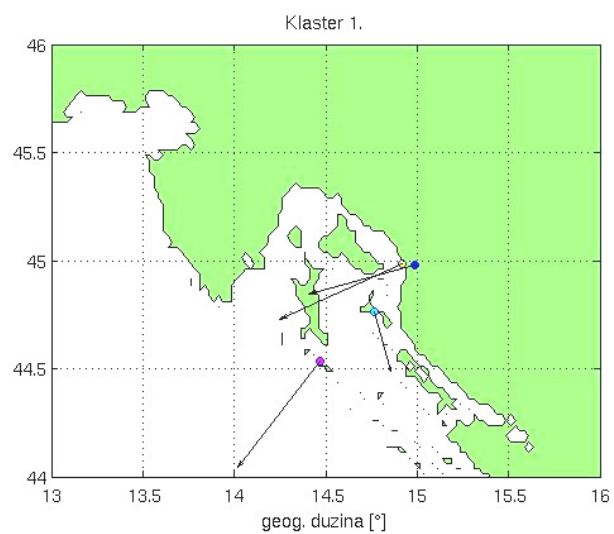
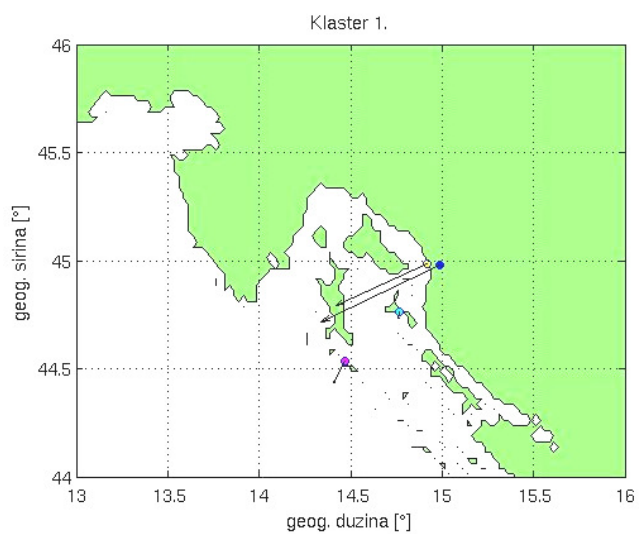
Analizom strujanja na tri postaje u Kvarnerskom zaljevu te na visinskoj postaji Vratnik, uz korištenje 'K-means' metode, razlučeno je osam različitih tipova (klastera) strujanja. Od osam tipova strujanja, njih šest ima buru, a samo dva tipa imaju jugozapadni vjetar na Vratniku. Pri tome buru definiramo kao vjetar koji puše iz smjerova 30-90°, a jugozapadni vjetar iz smjerova 210-270°. Na brzinu vjetra zasad ne stavljamo nikakve kriterije. Tipovi strujanja predstavljeni su sredinama klastera, za koje vrijedi da je suma euklidskih udaljenosti svih točaka unutar klastera od tražene sredine najmanja. Usporedno sa sredinama, prikazane su i njima najudaljenije točke unutar pojedinog klastera (Slika 2.). Broj slučajeva koji otpada na pojedini klaster te relativni udio u ukupnom strujanju prikazani su u Tablici 1.

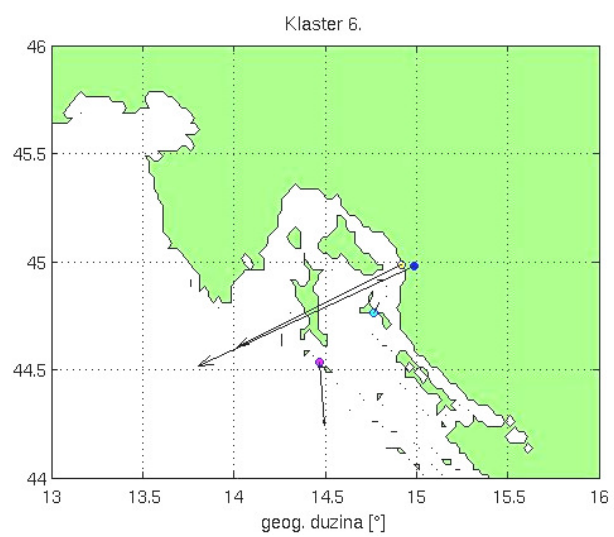
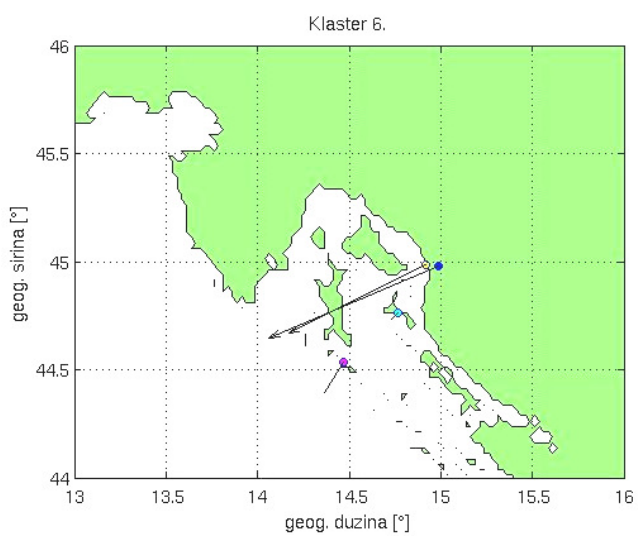
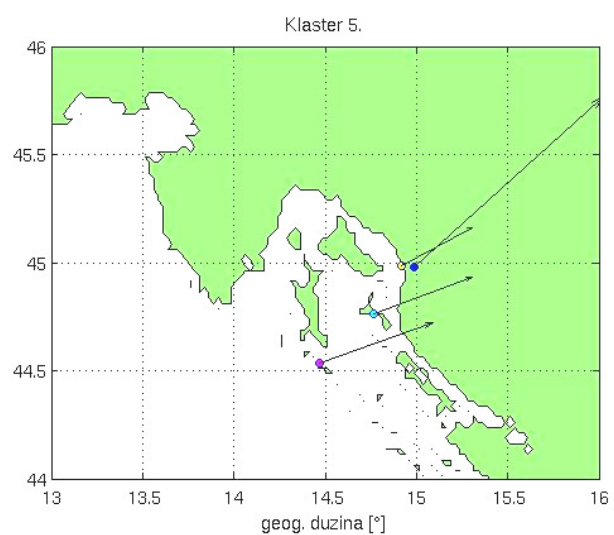
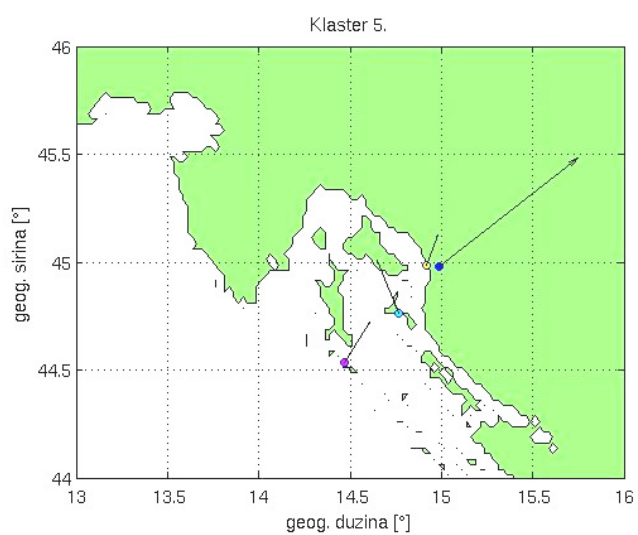
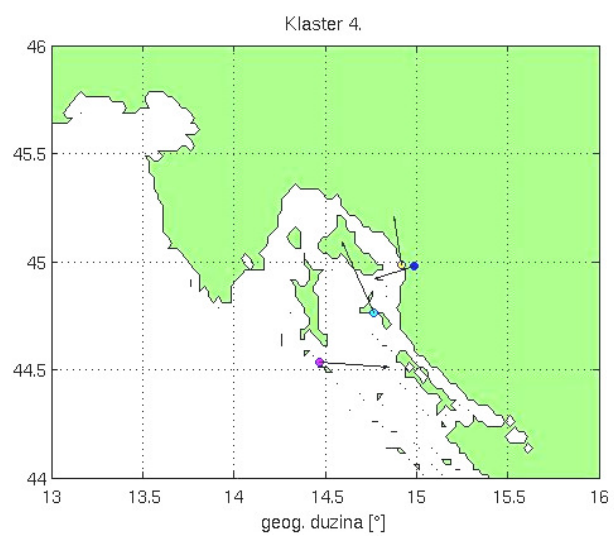
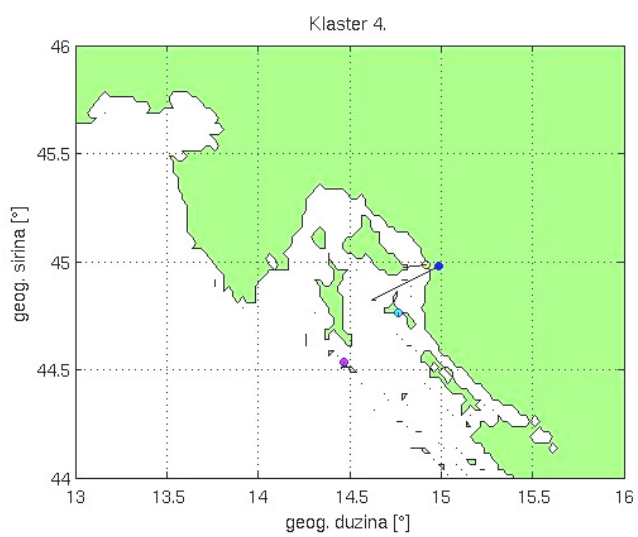
Tablica 1. Broj slučajeva unutar pojedinih klastera

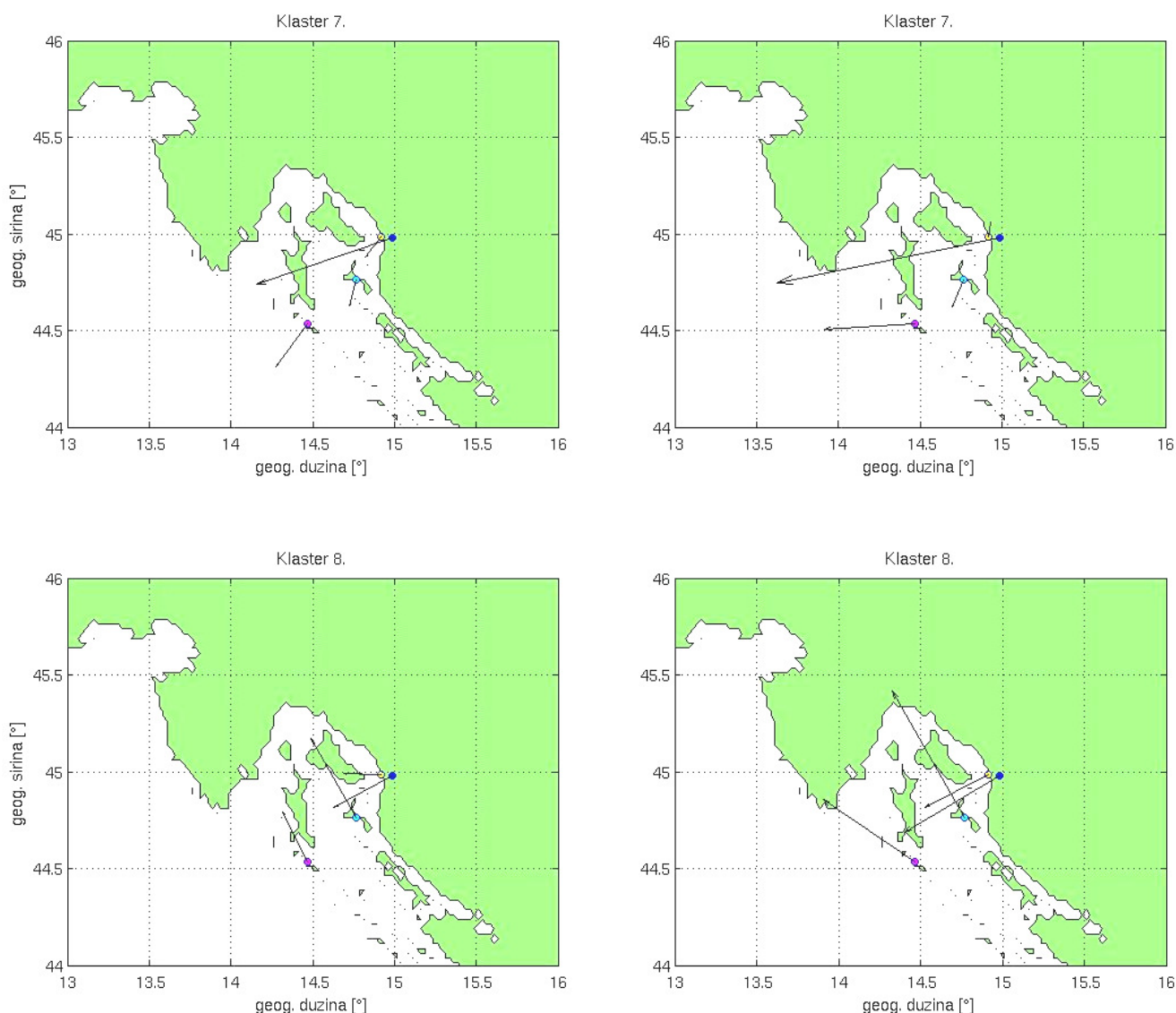
Klaster	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	Σ
Br. sluč.	615	810	278	689	273	711	224	130	3730
[%]	16.48	21.72	7.45	18.47	7.32	19.06	6.01	3.49	100.00

U ovom radu korištena je subjektivna metoda za procjenu optimalnog broja klastera, koja se zasniva na povećanju broja klastera sve dok se novi klaster značajno razlikuje od starih, tj. dobivenih u prethodnim koracima. No, usporedno je rađena i kontrolna, 'ručna'¹¹ metoda sortiranja na temelju vizualnog opažanja vremenskih nizova. Na temelju subjektivne metode prvo je razlučeno šest različitih tipova strujanja, dok se sedmi tip nije značajno razlikovao od prethodnih. Međutim, povećavanjem broja klastera na osam, otkrili smo novi klaster koji se bitno razlikuje od prethodnih, a razlučen je 'ručnom' metodom. Spomenuti klaster je osmi po redu u gornjoj Tablici 1., a zapravo je nastao cijepanjem jednog od klastera iz prethodnih koraka u 4. i 8. klaster. Usporedbom s vremenskim nizovima smjera i skalarne brzine vjetra ustanovljeno je da podjela na osam klastera znatno bolje odgovara realnosti od prethodnih. U svrhu kontrole povećavali smo broj klastera sve do deset. Ustanovljeno je da nam dodatno povećanje broja klastera ne donosi nikakvu novu informaciju, pa smo se tako odlučili da nam je optimalan broj klastera, tj. tipova strujanja, osam.

¹¹ 'Ručna' metoda klasteriranja podataka zasniva se na sortiranju pojedinačnih epizoda u više ili manje slične klastere. Pod epizodama mislimo na epizode s jugozapadnim strujanjem te burom na Vratniku (sa i bez bure u Senju). Rezultati se koriste isključivo za kontrolu rezultata dobivenih 'K-means' metodom.







Slika 2. Tipovi (klasteri) strujanja u dijelu Kvarnerskog zaljeva predstavljeni sredinama klastera dobivenih 'K-means' metodom (lijevi stupac). U desnom stupcu dane su raspodjele vektora vjetra za najudaljeniju točku koja pripada pojedinom klasteru, tj. onu za koju je euklidska udaljenost od sredine klastera najveća. Duljina strelice od 1 cm odgovara skalarnoj brzini vjetra od 5 ms^{-1} .

Usporedbom sredina klastera i najudaljenijih im točaka, možemo zaključiti da je analiza tipova strujanja pomoću 'K-means' metode za dano razdoblje zadovoljavajuća, odnosno najudaljenije situacije uglavnom su dosta slične odgovarajućim sredinama klastera. Najveće razlike opažaju se za klastere ili pojedine postaje unutar njih, gdje su brzine vjetra manje (npr. 2. i 4. klaster te postaja Rab unutar 6. klastera, odnosno postaja Senj unutar 7. klastera).

Međutim, treba imati na umu da su u nekim situacijama brzine vjetra manje od 1 ms^{-1} , što je teško mjerljivo običnim anemometrima, tj. velika je neodređenost smjera i brzine vjetra.

Paralelno s 'K-means' metodom koja je uzimala satne srednjake 10-minutnih komponenti brzine vjetra kao ulaz, proveli smo i onu koja je bazirana na 10-minutnim podacima koji nisu satno osrednjeni. Ustanovljeno je da za mali broj klastera, do najviše šest, metode s oba skupa ulaznih podataka rade podjednako dobro. Međutim, 'K-means' metoda sa satnim srednjacima nešto bolje razlučuje klastere s burom na Vratniku. Daljnjim povećavanjem broja klastera, pogotovo od osam nadalje, metoda bazirana na 10-min podacima dodatno gubi na sposobnosti razlučivanja klastera s burom na Vratniku. Klasteri koji se dobivaju metodom baziranom na 10-min podacima sve više postaju međusobno slični, a razlike u odnosu na one dobivene iz satnih podataka postaju sve veće. Budući da 'K-means' metoda treba dati klastere koji se što više međusobno razlikuju, odabiremo one dobivene na temelju satnih podataka kao relevantne. Dodatni razlog je bolje poklapanje klastera dobivenih pomoću satnih podataka s odgovarajućim postajama u prijašnjim radovima (Pandžić i Likso, 2005; rađeno za cijeli Jadran).

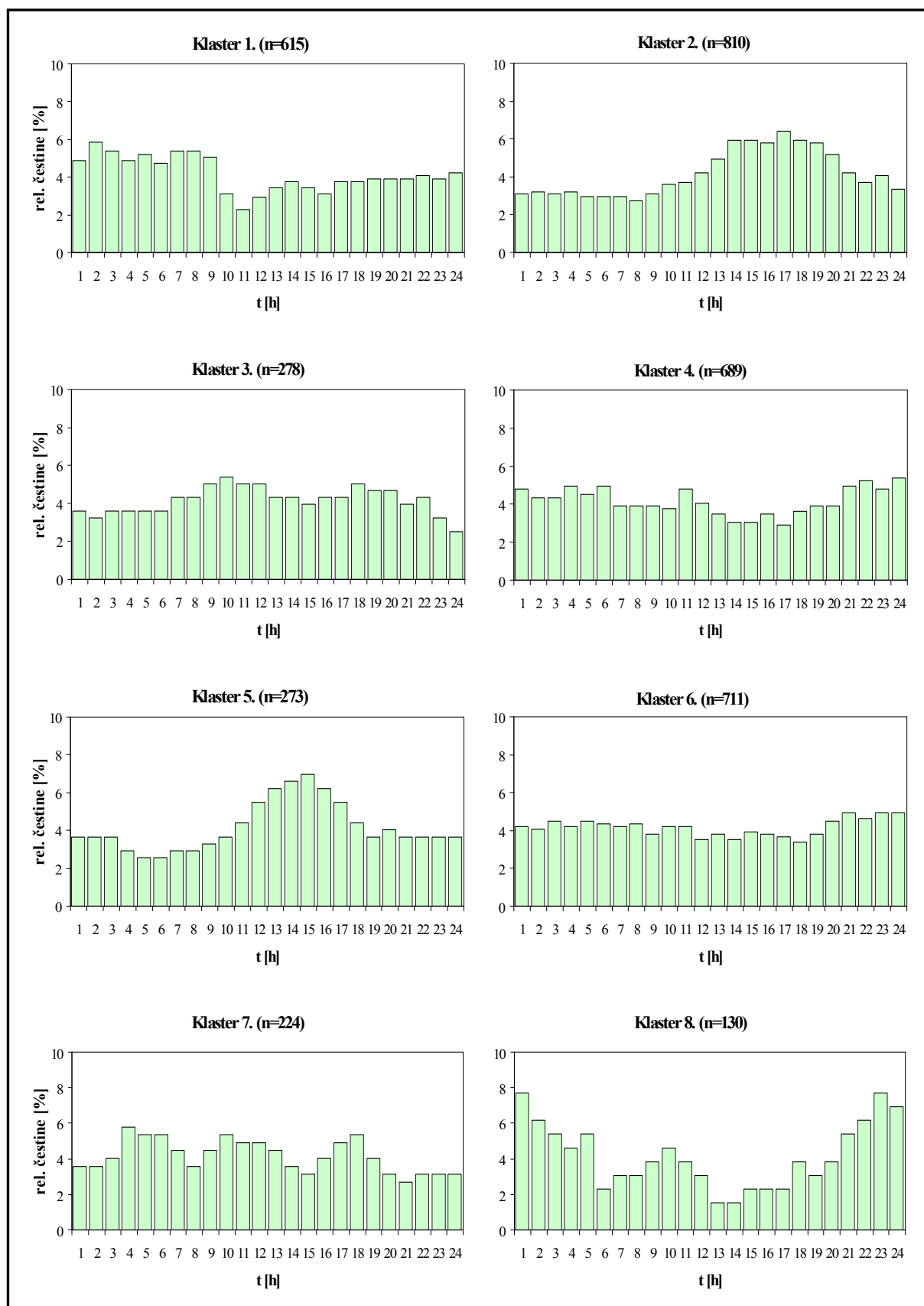
Analizom komponenti brzine vjetra koje definiraju sredine klastera, ustanovljeno je da su komponente dobivene na temelju satnih vrijednosti podcijenjene u 62.5%, odnosno precijenjene u 37.5% slučajeva (u odnosu na one dobivene iz 10-min podataka). Ako dolazi do precjenjivanja, ono je češće za u komponentu brzine. S druge strane, podcjenjivanje je češće za v komponentu brzine. Iako postoje određene tendencije podcjenjivanja komponenti brzine na temelju satnih podataka, to nužno ne nosi manje vrijednosti amplitude vektora brzine. Dakle, iako češće, podcjenjivanje v komponente brzine po iznosu je manje od precjenjivanja u komponente brzine. Konačno, vektori brzina koji predstavljaju sredine klastera dobiveni iz satnih i 10-minutnih ulaznih podataka, više se razlikuju po smjeru, dok su im amplitude približno jednake.

3.2. Klimatološke karakteristike pojedinih tipova strujanja

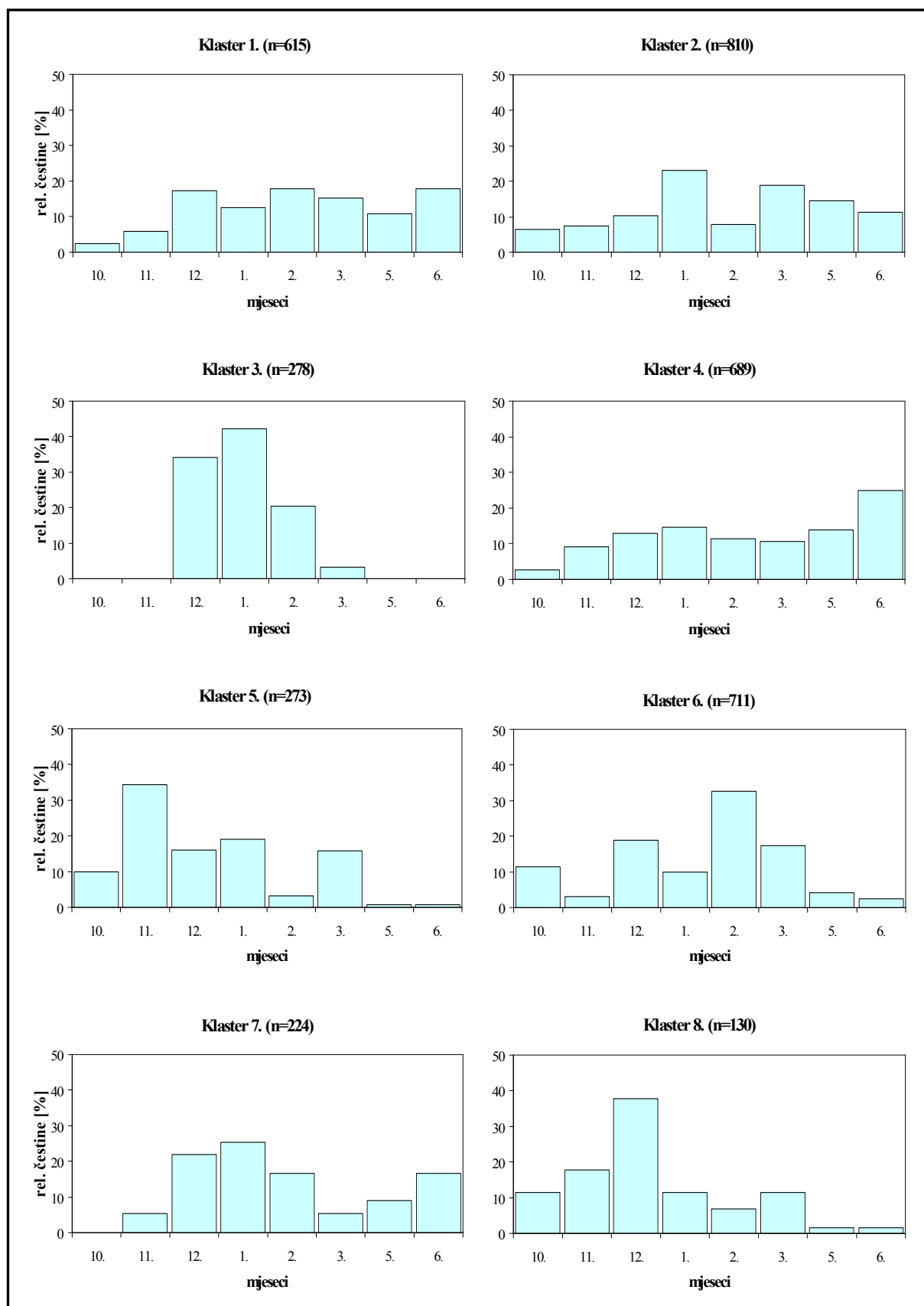
Za svaki pojedini klaster analizirali smo pripadne mu točke, tj. raspodjele vektora vjetra na 4 postaje u nekom trenutku s obzirom na vrijeme pojavljivanja tokom dana te po mjesecima kroz godinu. Spomenute karakteristike mogu se vidjeti na Slikama 3. i 4. Travanj nije prisutan u spomenutim analizama, budući da tada nemamo mjerenja na postaji Vratnik, čime nemamo ni zadovoljen uvjet za ulaz u 'K-means' metodu, tj. nemamo mjerenja na sve četiri postaje.

Gledano po satima tokom dana (Slika 3.), klasteri s jugozapadnim tipom strujanja na Vratniku (2. i 5. klaster) preferiraju pojavljivanje u popodnevnim satima, odnosno imaju izražen dnevni hod s maksimumom u popodnevnim satima. Maksimum je nešto izraženiji za 5. klaster, a područje povećane frekvencije pojavljivanja, tj. širina maksimuma veća je za 2. klaster. S druge strane, klasteri s burom na Vratniku pokazuju nekoliko različitih karakteristika. Npr., 3., 4. i 6. klaster uglavnom se podjednako pojavljuju tokom dana, iako 3. klaster nešto češće danju, a 4. i 6. noću. Klasteri 1. i 8. preferiraju izbjegavati popodnevne termine, s time da 8. klaster podjednako preferira noćno-jutarnje i večernje termine, a 1. klaster samo prvo-spomenute. Preostali, 7. klaster, vrlo je specifičan budući da preferira izbjegavanje noćno-večernjih sati, a pokazuje tri odvojena (slabo izražena) maksimuma: rano ujutro, oko podne i predvečer.

Gledano kroz godinu, klasteri s jugozapadnim tipom strujanja na Vratniku pokazuju različite karakteristike. Klaster 2. pokazuje naklonost pojavljivanju početkom zime te kroz cijelo proljeće i početak ljeta. S druge strane, 5. klaster preferira kraj jeseni te početak i kraj zime. Klaster s burom na Vratniku možemo svrstati u dvije grupe s različitim karakteristikama. Npr. 3., 6. i 8. klaster pokazuju preferenciju pojavljivanja u zimskom dijelu godine, ali s određenim razlikama. Klaster 3. preferira isključivo zimske mjesece i ne pojavljuje se izvan tog razdoblja. Druga dva klastera pojavljuju se kroz cijelo razdoblje, s time da 6. klaster preferira sredinu i kraj zime, a 8. klaster kraj jeseni i početak zime. Klasteri 1., 4. i 7. preferiraju razdoblja oko dvaju solsticija. Kod 4. klastera jače je naglašeno razdoblje oko ljetnog, a kod 7. klastera oko zimskog solsticija. U slučaju 1. klastera, osim razdoblja veće koncentracije oko dvaju solsticija, naglašena je razlika jesen-proljeće.



Slika 3. Histogrami relativnih čestina s vremenima nastupanja pojedinih točki unutar klastera, u razdoblju 07.10.2004.-29.06.2005. (n označava broj točaka unutar klastera).



Slika 4. Histogrami relativnih čestina s vremenima nastupanja pojedinih točki unutar klastera, u razdoblju 07.10.2004.-29.06.2005. (n označava broj točaka unutar klastera).

3.3. Srednja sinoptička situacija za pojedine klastere

Osrednjavanjem svih ERA-termina unutar pojedinog klastera po svim točkama mreže dobivene su srednje sinoptičke situacije koje odgovaraju pripadnim strujnim režimima, tj. sredinama klastera dobivenih 'K-means' metodom. Postupak je proveden na prizemnom nivou te na četiri izobarne plohe; 925, 850, 500 i 300 hPa. Rezultati za prizemni nivo i 850 hPa plohu prikazani su redom na Slikama 5. i 6., a oni za plohe 500 hPa i 300 hPa na Slikama A1. i A2. u dodatku A. Strukture uočene na 925 hPa plohi, koja bi u prosjeku trebala biti negdje na visini Vratnika, vrlo su slične onima za 850 hPa plohu, pa stoga nisu prikazane.

3.3.1. Prizemne srednje sinoptičke situacije

Na Slici 5. prikazane su srednje prizemne sinoptičke situacije koje odgovaraju pojedinim tipovima strujanja. Detaljnim pregledom dobivenih rezultata ustanovili smo da se oni jako dobro poklapaju s raspodjelom sinoptičkih sustava vezanih uz glavne tipove strujanja na Jadranu koji su spomenuti u uvodnom dijelu te s rezultatima koje su dobili Pandžić i Likso (2005.). Klimatološke karakteristike pojedinih tipova strujanja također govore u prilog tome.

Prizemne sinoptičke situacije vezane uz 2. i 4. klaster jako su slične, a povezane su s pomicanjem grebena Azorske anticiklone prema Jadranu. Ciklonalnih sustava nad Europom u oba slučaja nema. U slučaju 2. klastera spomenuti greben prostire se iznad većeg dijela zapadnog i središnjeg Mediterana te se primiće Jadranu iz smjera jugozapada. Kod 4. klastera greben Azorske anticiklone obuhvaća samo dio zapadnog Mediterana, a prema Jadranu se primiće iz smjera sjeverozapada. Obje situacije karakterizirane su vrlo malim gradijentima tlaka uz istočnu obalu Jadrana, no smjerovi su im suprotni. Kao što je već spomenuto, ovakve situacije pogoduju razvoju termalnih cirkulacija. Na temelju srednje sinoptičke situacije i vektora vjetra na postajama, zaključujemo da nam 4. klaster predstavlja termalno strujanje u vidu kopnenjaka koji je lokalno amplificiran katabatičkim strujanjem obronka. No, klimatološke karakteristike, tj. preferencija pojavljivanja tokom dana ne govore u prilog tome. Smatramo da se postojeći trend pojavljivanja noću i rano ujutro narušava zimi kada je trajanje noćne grane termalnog strujanja najdulje. Potvrdu toga očekujemo nakon proučavanja klimatoloških karakteristika epizoda s burom na Vratniku, a bez bure u Senju. Situacija vezana uz 2. klaster preferira vrlo slab jugozapadni vjetar koji se ljeti u blizini obale može amplificirati u obliku dnevne grane obalne cirkulacije, tj. smorca. Budući da korišteni podaci obuhvaćaju uglavnom hladniji dio godine, kada pojava smorca i nije vrlo izgledna, ovdje su

vrlo vjerojatno uključene situacije s malim lokalnim termalnim razlikama kopno-more koje nisu dovoljne da nadvladaju slabo strujanje uvjetovano sinoptičkim uvjetima. No, kako je značajan broj podataka unutar ovog klastera zabilježen u svibnju i lipnju, očito je prisutan i termalni signal u vidu smorca. Usporedbom s rezultatima koje su dobili Pandžić i Likso (2005.), uočavamo da je njihova metoda razlučila dva spomenuta tipa strujanja, kao i ovdje spomenute podtipove unutar 2. klastera.

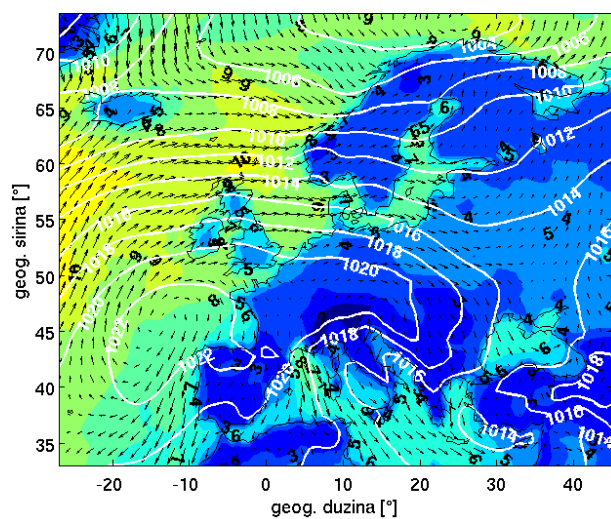
Tipove strujanja predstavljene 5. i 8. klasterom možemo svrstati u skupinu strujanja srodnih jugu, s time da je 8. klaster reprezentativniji predstavnik te skupine. Štoviše, strujanje definirano 8. klasterom ima sinoptičke postavke i klimatološke karakteristike koje odgovaraju tipičnom ciklonalnom jugu koji je opisan u uvodu. Strujanje definirano 5. klasterom nešto je složenije. Uočavamo da postoje određene sličnosti s anticiklonalnim jugom, s glavnom razlikom u položaju sustava povišenog tlaka koji se ovdje prostire jugozapadno od Jadrana (kod tipičnog anticiklonalnog juga spomenuti se sustav prostire istočnim Sredozemljem). Međutim, pojava ciklonalnog vrtloženja u Genovskom zaljevu ukazuje na mogućnost stvaranja ciklone koja na svojoj prednjoj strani donosi jugozapadni vjetar nad sjeverni Jadran. Vrlo je izgledno da se barem dio strujanja određenog 5. klasterom može označiti kao početak razvoja ciklonalnog juga te prijelaz u 8. klaster. Pregledom pojedinačnih situacija to smo i potvrdili. No, udio takvih situacija manji je u odnosu na broj onih s prevladavajućom anticiklonom.

Preostala četiri klastera predstavljaju, a ujedno i potvrđuju buru kao najdominantniji tip strujanja na sjevernom dijelu Jadrana. Strujanje određeno 3. klasterom tipičan je primjer ciklonalne bure, gdje se ciklona nastala u Genovskom zaljevu premješta preko Apeninskog poluotoka u smjeru jugoistoka. Južniji položaj ciklone donosi buru na cijelome Jadranu, no brzine vjetra su najveće na sjevernom dijelu. Posebice to uočavamo u Kvarnerskom zaljevu, gdje lokalno (Senj) bura postaje olujna. Idući prema otocima, bura prvo slabi kod Raba te opet pojačava kod Malog Lošinja. Ovakve karakteristike bure primijećene su i ranije, a najvjerojatniji razlog im je disipacija unutar hidrauličkog skoka, u zavjetrini Velebita i Kapele. Na temelju klimatoloških karakteristika, zaključujemo da su ciklonalna bura i jugo karakteristični tipovi strujanja u hladnijem dijelu godine. Međutim, razlika je u činjenici da se u ovim podacima bura češće javlja danju, a jugo noću i ujutro. Strujanje predstavljeno 6. klasterom primjer je anticiklonalne bure sa središtem visokog tlaka sjeverno od Hrvatske. Vrlo je česta zimi, dok je ljeti gotovo i nema. Brzine strujanja najveće su u sjevernom dijelu Kvarnerskog zaljeva (uključujući i Senj), dok su na otočnim postajama i prema jugu Jadrana

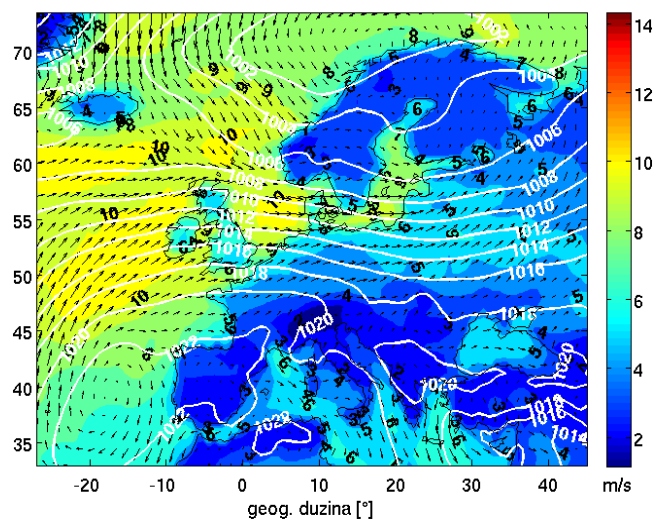
znatno manje. Konačno, 1. i 7. klaster možemo nazvati predstavnicima mješovitih tipova bure s elementima frontalnog tipa. Gledajući Sliku 5. te srednje sinoptičke situacije za 1., 6. i 7. klaster, čini se kao da pratimo razvoj fronte nad Jadranom (1. klaster), njezino pomicanje u smjeru jugoistoka i jačanje grebena anticiklone sa zapada (7. klaster) te prijelaz u čistu anticiklonalnu buru (6. klaster.). Budući da o postojanju fronti sudimo isključivo na temelju zakrivljenosti izobara, odnosno srednje sinoptičke situacije za pojedine klastere, a ne na temelju stvarnih situacija, gornju priču o dinamici strujanja ipak je potrebno uzeti s određenom dozom rezerve.

Analizirajući pojedinačne situacije unutar 1. i 7. klastera, ustanovili smo da je unutar njih sadržan manji ili veći broj situacija s čistom frontalnom burom. Isto tako, uvidjeli smo da je broj takvih situacija znatno veći kod 1. klastera. Na temelju analize pojedinačnih slučajeva, ustanovili smo da je 1. klaster kombinacija anticiklonalne i frontalne bure, zastupljene u podjednakom omjeru. S druge strane, 7. klaster uglavnom sa sobom nosi anticiklonalnu buru, dok je frontalna dosta rjeđa pojava. Pregledom pojedinačnih situacija za 6. klaster ustanovili smo da su uglavnom vezane uz zimske prodore anticiklona iz istočne Europe. Time na neki način potvrđujemo da prijelaz 1.-7.-6. klaster nije moguća pojava zbog različitog ishodišta odgovarajućih anticiklona. Međutim, prijelazi između 1. i 7. klastera vrlo su česta pojava koja u svojoj zreloj fazi ima odvojeno središte visokog tlaka nad srednjom Europom (slično kao kod 6. klastera).

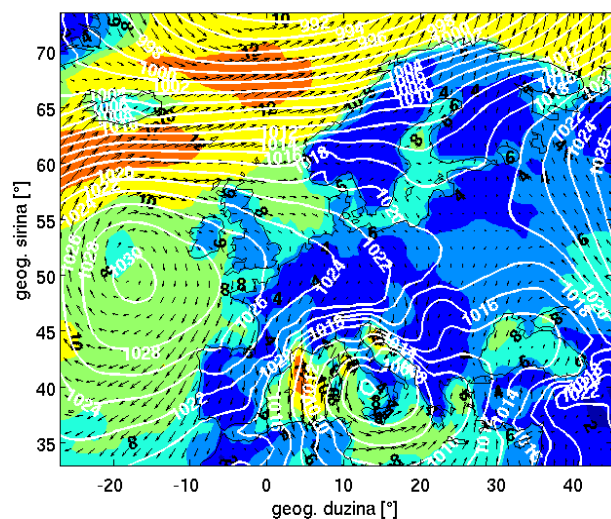
Klaster 1.



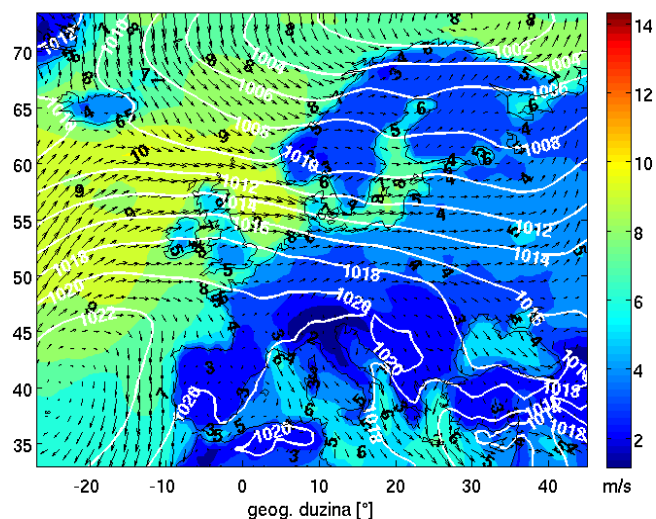
Klaster 2.



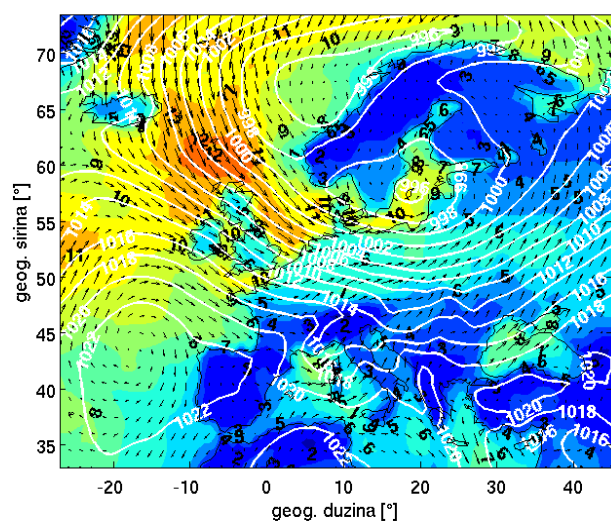
Klaster 3.



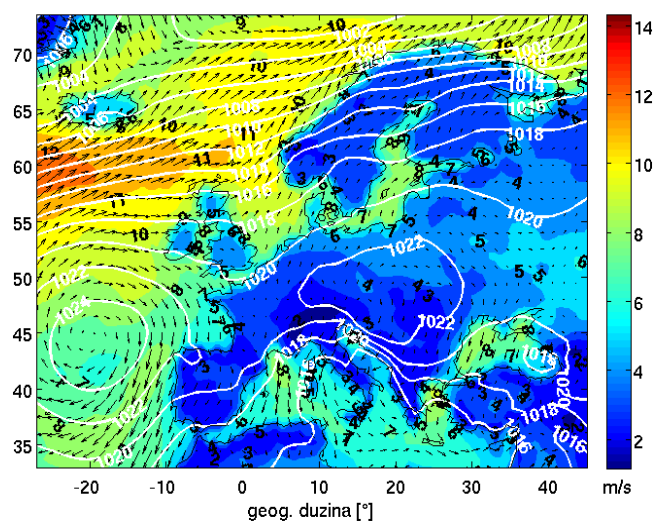
Klaster 4.

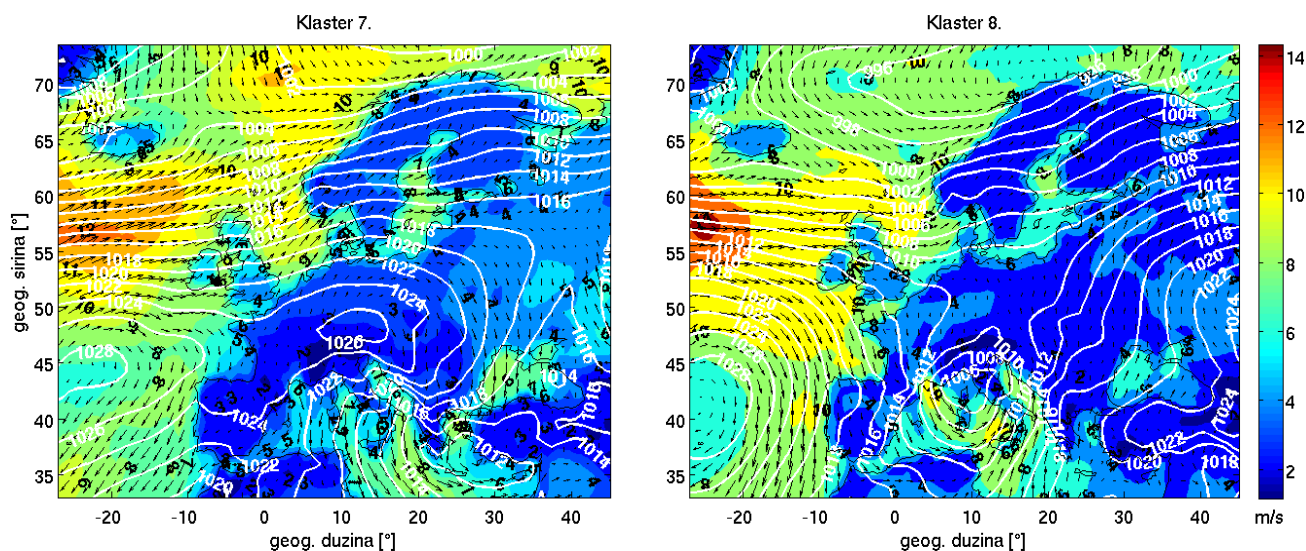


Klaster 5.



Klaster 6.





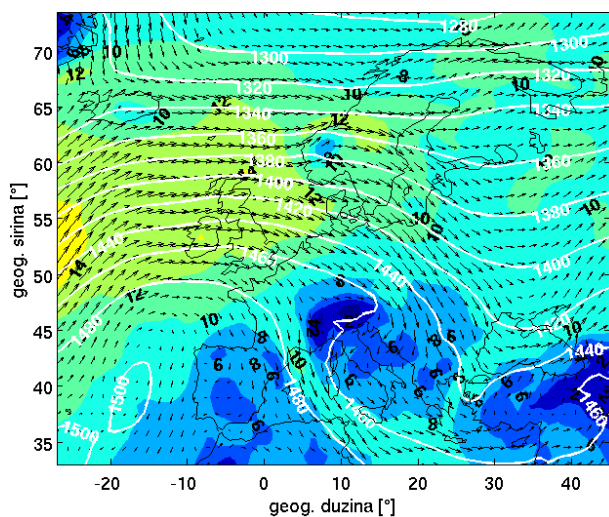
Slika 5. Prikaz srednjih prizemnih sinoptičkih situacija po klasterima. Tlak zraka na srednjoj razini mora izražen je u hPa, a odgovarajuće izolinije prikazane su bijelom bojom, svakih 2 hPa. Polje skalarne brzine vjetra prikazano je bojama s odgovarajućom skalom, koja je određena na temelju klastera s najvećim rasponom brzina. Vektori vjetra naznačeni su strelicama.

3.3.2. Srednje sinoptičke situacije na izobarnim plohama

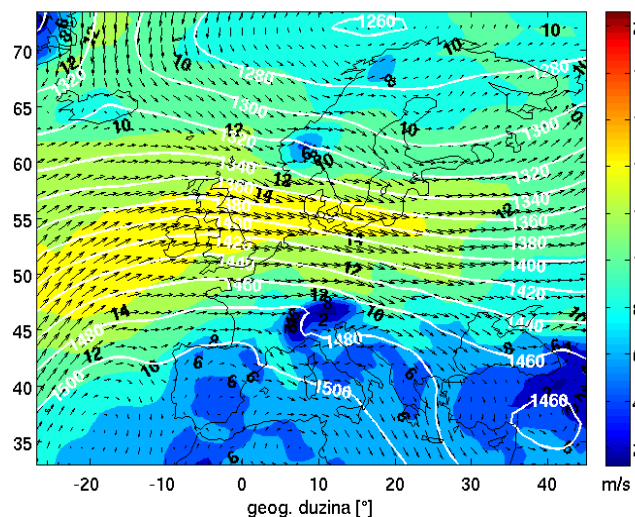
Distribucija geopotencija 850 hPa plohe pokazuje vrlo slične karakteristike kao i prizemna raspodjela tlaka na srednjoj razini mora. To vrijedi za sve tipove strujanja, osim za neke slučajeve s burom. Kod anticiklonalne bure (6. klaster), na visini uočavamo greben visokog tlaka koji podržava prodor zapadnog-sjeverozapadnog strujanja s Atlantika. Takvo strujanje nad sjevernom Hrvatskom zakreće i poprima sjeveroistočni smjer te jača prema Jadranu. Na istom prizemnom području uočavamo slabu sjevernu struju te umjerenu sjeveroistočnu koja pristiže iz Mađarske i Ukrajine. Slična situacija događa se i za vrijeme rane faze frontalne bure (1. klaster). Naime, prizemno prostiranje grebena Azorske anticiklone nešto je dublje prema europskom kopnu, nego što je tome slučaj na visini. Iza grebena se probija slaba zapadna struja s Atlantika koja se prizemno, nad srednjom Europom, spaja s hladnim sjevernim strujanjem. Istodobno, na 850 hPa plohi uočavamo relativno topliju i jaku sjeverozapadnu struju koja donosi relativno topliji zrak s Atlantika te pristiže direktnijim putem. S jačanjem grebena anticiklone te daljnjim razvojem fronte (7. klaster), prizemni dotok zraka koji je u zapadnoj struji pritjecao iza Alpa prestaje. Do Hrvatske pristiže hladno sjeverno strujanje, koje uz obalu prelazi u buru. Isto opažamo i na 850 hPa plohi. Možemo zaključiti da je u ranoj fazi razvoja bure uz prizeman dotok hladnog zraka koji dolazi iz smjera sjevera-sjeveroistoka, moguće pritjecanje nešto toplijeg zraka u visini. S razvojem bure, čest i visinsko strujanje postaje sjeverno-sjeveroistočno. Do sličnog zaključka došli su također Pandžić i Likso (2005.).

Uz strujanje na 850 hPa plohi i mjerenja na postaji Vratnik, uočavamo određeno mimoilaženje glede smjera vjetra te blokirajući efekt Alpi. Naime, mjerenja ukazuju na puhanje bure na Vratniku, dok je smjer vjetra na temelju reanaliza južni. Pregledom svih pojedinačnih ERA-interim podataka te odgovarajućih termina iz mjerenja na postajama u Kvarnerskom zaljevu, uočeno je da nije došlo do nikakve pogreške prilikom osrednjavanja podataka. Jedino je moguće da imamo pogrešku u ulaznim podacima, tj. mjerenjima ili reanalizama. Kontrola ovakvog tipa prelazi okvire ovog rada, ali ostavlja otvorena pitanja i mogućnosti za daljnji rad. Upravo zbog ovog razilaženja u određivanju smjera vjetra na postaji Vratnik, odlučili smo uključiti i 925 hPa plohu u analizu srednje sinoptičke situacije koja odgovara pojedinim tipovima strujanja. Dobiveni rezultati samo su potvrdili već uočeno na 850 hPa plohi te nisu donijeli nikakvu bitnu informaciju, pa zato nisu niti prikazani.

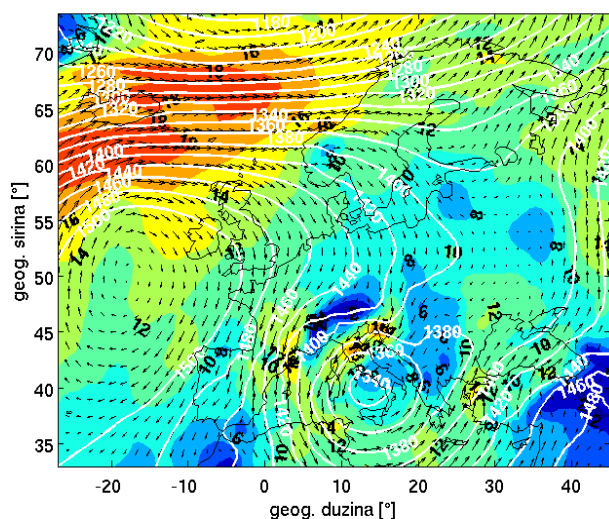
Klaster 1.



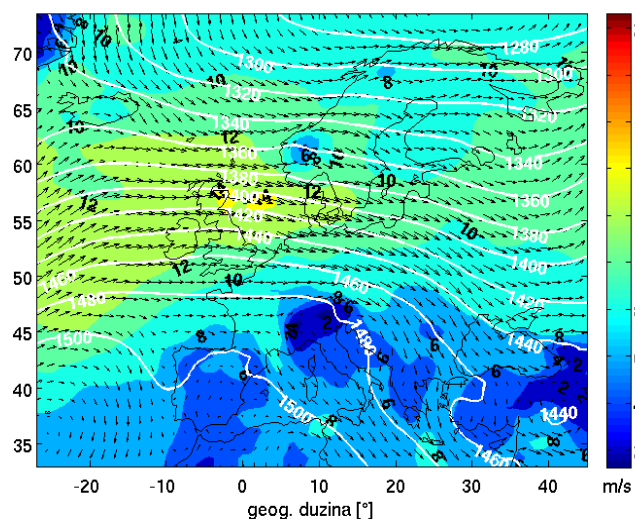
Klaster 2.



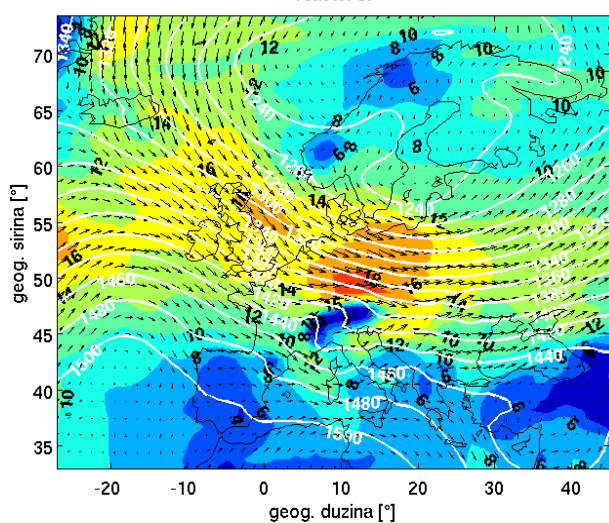
Klaster 3.



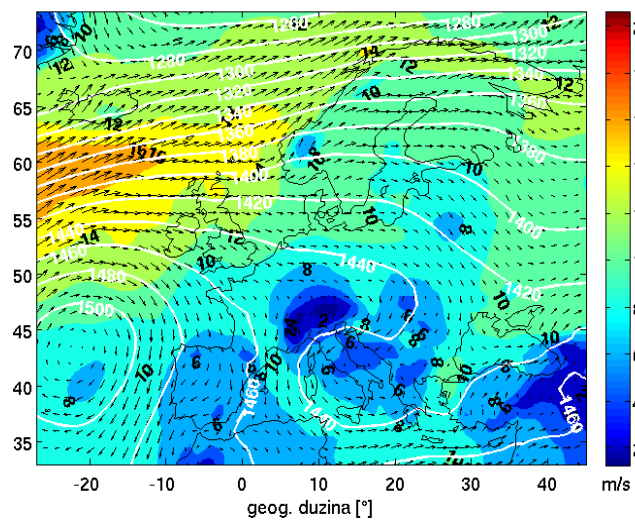
Klaster 4.

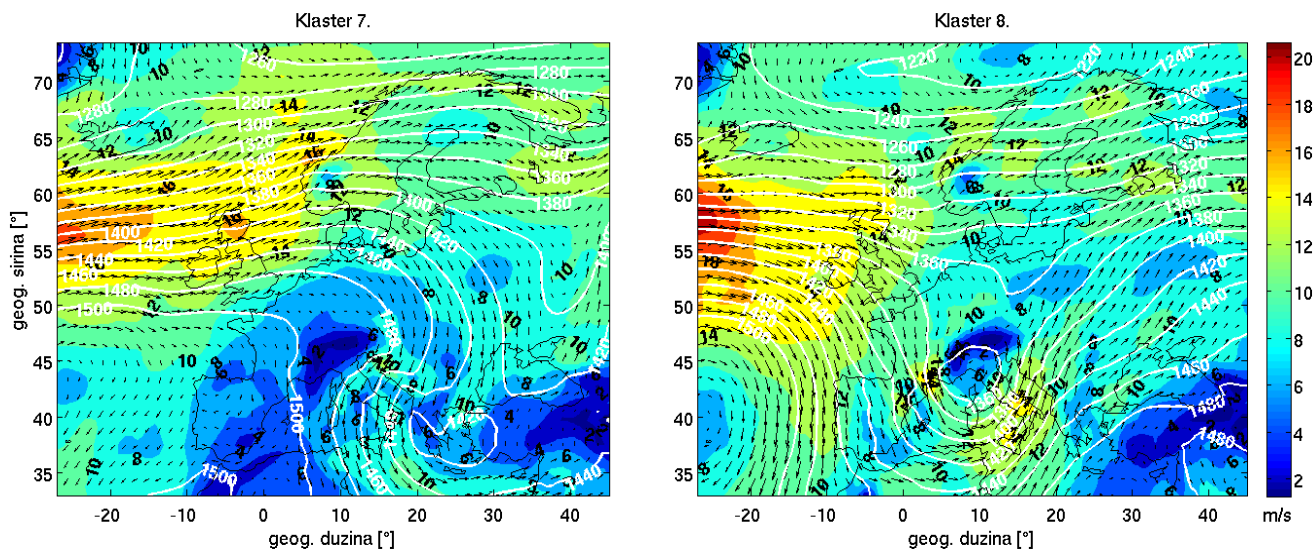


Klaster 5.



Klaster 6.





Slika 6. Prikaz srednjih sinoptičkih situacija po klasterima, na 850 hPa plohi. Geopotencijal izobarne plohe izražen je u geopotencijalnim metrima (gpm), a odgovarajuće izolinije prikazane su bijelom bojom, svakih 20 gpm. Polje skalarne brzine vjetra prikazano je bojama s odgovarajućom skalom, koja je određena na temelju klastera s najvećim rasponom brzina. Vektori vjetra naznačeni su strelicama.

Strujanje u srednjoj i višoj troposferi, tj. na plohama 500 hPa i 300 hPa prikazano je na Slikama A1. i A2. u dodatku A. U slučaju 1., 2. i 4. klastera, strujanje na odgovarajućim plohama uglavnom je tipično za umjerene širine, tj. zapadno-sjeverozapadno, a sam vjetar je približno geostrofički (paralelan s izobarama). Vjerojatno najzanimljivije strukture uočavamo kod 3., 7. i 8. klastera koje uključuju pojavu meandrirajuće mlazne struje te slabije ili jače izraženu dolinu Rossbyjevog vala. Dol Rossbyjevog vala posebno je razvijen u slučaju ciklonalne bure (3. klaster), gdje je vrlo izgledno da dođe do pojave tzv. 'cut-off low'¹², tj. odsijecanja visinske doline od postojećeg glavnog strujanja. Za vrijeme atipičnog anticiklonalnog juga (5. klaster) nad zapadnom i sjevernom Europom uočavamo pojavu gotovo zonalno položene, vrlo jake, mlazne struje te smanjenje brzine strujanja idući prema jugu.

¹² 'Cut-off low' je pojava gdje dolazi do odsijecanja visinske doline od postojećeg glavnog strujanja. Nakon odsijecanja struktura se najčešće zatvori te kao takva prostire u niže slojeve. Najčešće se javlja prilikom povlačenja mlazne struje prema sjeveru.

3.3.3. Najrazličitije situacije od sinoptičkog srednjaka

Uz ranije objašnjeni postupak, određene su najrazličitije situacije s obzirom na srednju sinoptičku situaciju za pojedini klaster. Analiza je napravljena za prizemni nivo te za izobarne plohe. Ovdje su prikazane samo situacije za prizemni nivo (Slika B1. u dodatku B). Usporedbom prizemnih srednjih sinoptičkih situacija za pojedine klastere te odgovarajućih najrazličitijih situacija, uočili smo značajne razlike. Grubom analizom situacija na izobarnim plohama uočeno je da se razlike između srednje sinoptičke situacije i pripadne joj, najudaljenije unutar klastera, s visinom smanjuju od površine prema 850 hPa plohi, a dalje se povećavaju. Ovakvo ponašanje objašnjavamo činjenicom da se termičko-mehanički utjecaj podloge, tj. Zemljine površine smanjuje prema vrhu graničnog sloja, koji se u prosjeku često puta proteže do visine 850 hPa plohe. Sa smanjivanjem tog utjecaja očekuju se i manje, gore spomenute, razlike. S druge strane, 850 hPa ploha još je uvijek dovoljno nisko da bi dominirao dinamički utjecaj prevladavajućeg strujanja srednje i više troposfere. Ovdje posebno naglašavamo mogući utjecaj mlazne struje. Konačno, možemo reći da su srednje sinoptičke situacije za pojedine klastere jako izglađene raspodjele koje reprezentiraju skupove svih pojedinačnih realizacija unutar pojedinih klastera.

3.4. Klimatološke karakteristike epizoda dvaju glavnih tipova strujanja na Vratniku

Dosad smo proučavali režime strujanja u Kvarnerskom zaljevu te na visinskoj postaji u prijevoju Vratnik. Pri tome smo koristili satno osrednjene komponente 10-minutnih srednjaka brzine vjetra na spomenutim postajama kao ulazne podatke za analizu. Računanje s komponentama omogućilo je kategorizaciju s obzirom na smjer i brzinu vjetra. U ovom se poglavlju koncentriramo na cjelokupne epizode strujanja iz određenih smjerova. Radeći s epizodama, naše razmatranje lokaliziramo na područje između prijevoja Vratnik i postaje Senj. Kategorizacija epizoda vrši se s obzirom na smjer puhanja vjetra na Vratniku, s time da kod epizoda s burom uvodimo dodatni uvjet, tj. da istodobno u Senju ne opažamo buru. Najvažnija razlika u odnosu na analizu klastera je zahtjev na kontinuiranost zadane pojave. Jednostavnije govoreći, epizodu s jugozapadnim strujanjem na Vratniku definiramo kao uzastopnu pojavu vjetra iz smjerova $210-270^\circ$, s trajanjem od barem tri sata. Smjer vjetra na ostalim postajama ovdje nije uzet u obzir. Uvjet za epizode s burom nešto je složeniji. Tražimo sve situacije kada na Vratniku opažamo vjetar iz smjera $30-90^\circ$, a pri tome u Senju uopće ne uočavamo vjetar iz zadanog smjera ili ga uočavamo samo povremeno (tada smjer vjetra uglavnom varira oko granica zadanog intervala). Ovdje također tražimo trajanje od barem tri sata. Očito je da je ovakva analiza potpuno različita od analize klastera. No, određene sličnosti vezano uz klimatološke karakteristike ovako definiranih epizoda s jedne strane, te klastera s druge strane, mogu se iskoristiti u svrhu davanja odgovora na glavno pitanje koje smo si postavili u uvodnome dijelu ove radnje: 'Kako i u kakvim je situacijama moguće da na Vratniku puše bura, a istodobno je u Senju nema?'

Primjenom spomenutih kriterija za odabir epizoda s burom na Vratniku, a bez bure u Senju te epizoda s jugozapadnim strujanjem na Vratniku, dobiven je skup od 184 epizode različitog trajanja u razdoblju 07.10.2004. – 29.06.2005. Za svaku od dvije skupine epizoda provedena je analiza klimatoloških karakteristika koja uključuje: grupiranje prema trajanju epizode, ispitivanje udjela kratkih epizoda (po mjesecima) i pojavu epizoda u trosatnim dnevnim razdobljima, tj. njihov dnevni hod. Rezultati su predstavljeni u Tablicama 2. i 3. te u sklopu histograma relativnih čestina (Slike 7. i 8. za epizode s burom, odnosno Slike 9. i 10. za epizode s jugozapadnim strujanjem na Vratniku).

3.4.1. Epizode s burom na Vratniku

Dobiveni skup obuhvaća ukupno 106 epizoda s burom na Vratniku, a bez bure u Senju. Kao što se može vidjeti iz Tablice 2., većina ovakvih epizoda kratkog je trajanja. Približno 70% epizoda kraće je od 12 sati, a one s trajanjem većim od jednog dana vrlo su rijetke. Najčešće se javljaju zimi te ljeti, dok su u proljeće i jesen nešto rjeđe. Na epizode bez bure u Senju (s burom na Vratniku) otpada otprilike trećina ukupnog vremena s pojavom bure na Vratniku, što ih čini važnima u proučavanju strujnih režima na promatranom području.

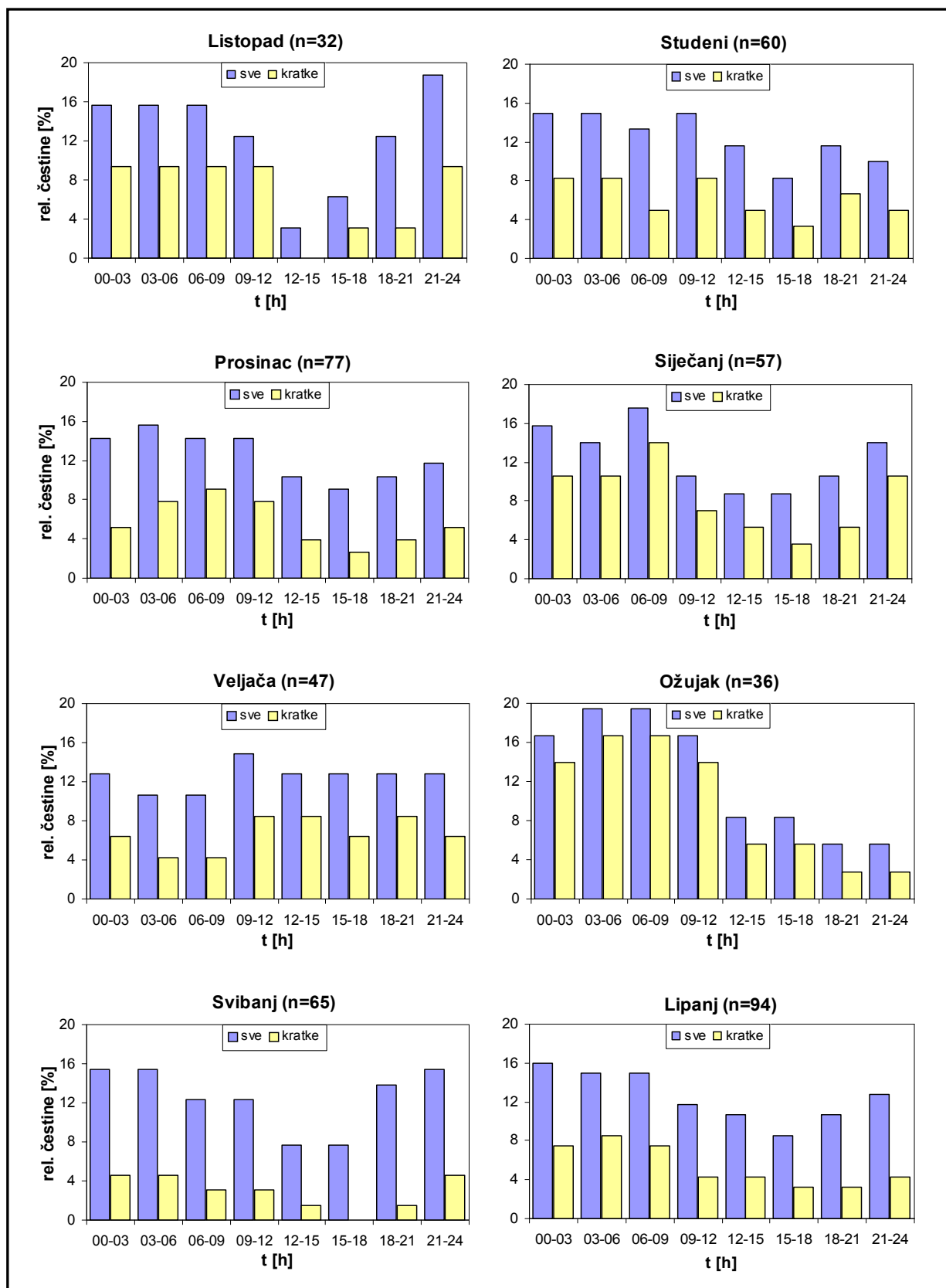
Tablica 2. Pojava određenih duljina epizoda po mjesecima

MJESEC	3-6 sati	6-12 sati	12-18 sati	18-24 sati	> 1 dan	ukupno
Listopad	5	0	3	1	0	9
Studeni	8	3	1	2	0	14
Prosinac	5	7	0	1	3	16
Siječanj	5	6	2	0	1	14
Veljača	6	2	1	1	1	11
Ožujak	7	3	0	1	0	11
Svibanj	3	2	4	1	2	12
Lipanj	7	5	3	1	3	19
Σ	46	28	14	8	10	106

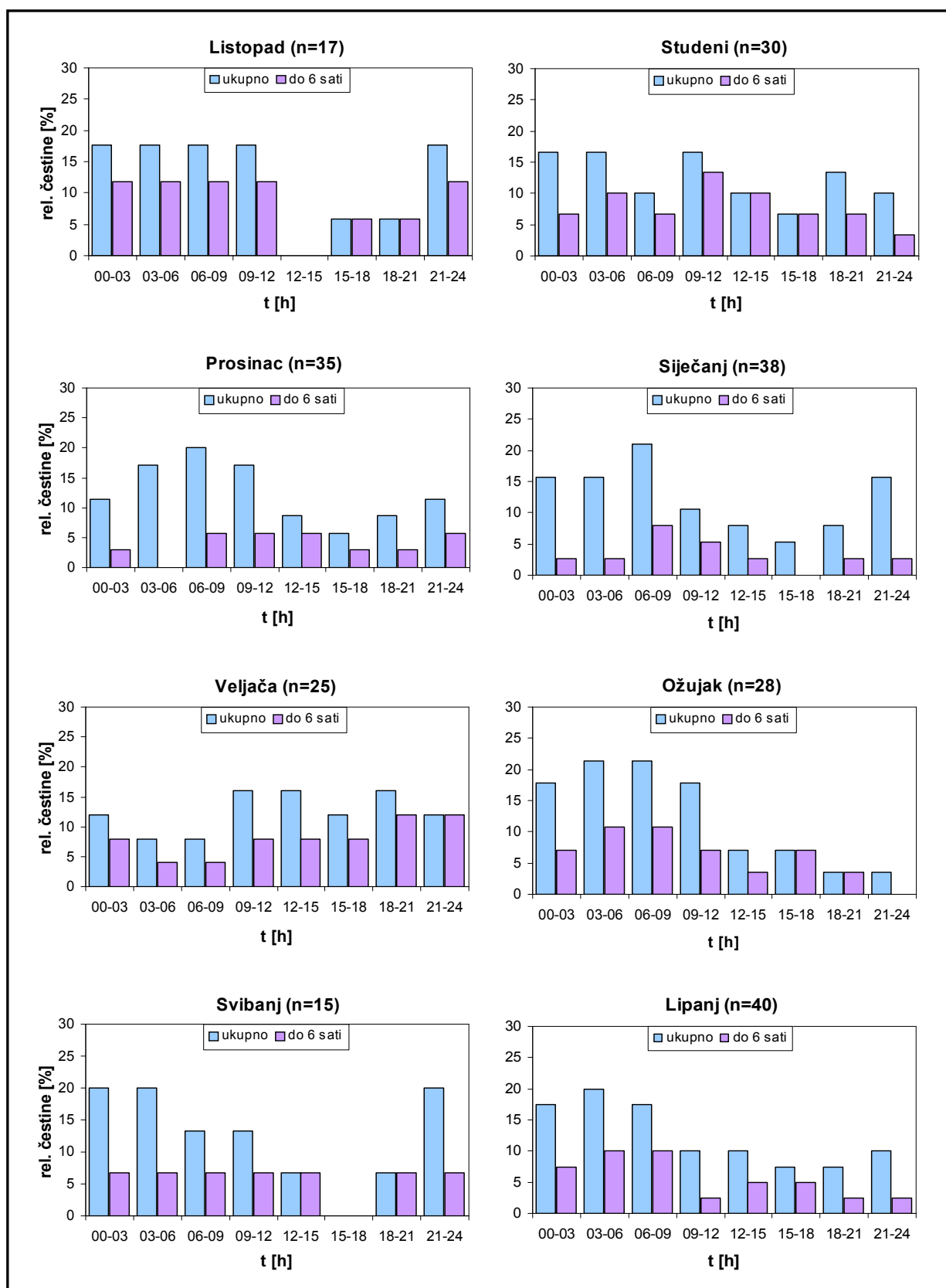
Kao što je već bilo rečeno, svaka pojedina epizoda analizirana je s obzirom na doba dana u kojem se javila. U tu svrhu dan je podijeljen na osam trosatnih razdoblja. Analiza je vršena za svaki mjesec promatranog razdoblja zasebno. Potom su iz skupa svih epizoda izdvojene samo one koje su kraće od 12 sati, a za koje se pretpostavlja da su uglavnom termalno uzrokovane. Na kraju su još iz skupa svih kratkih epizoda izdvojene one kraće od 6 sati. Bit ovakve analize jest da se utvrdi da li kratke epizode pokazuju hod kroz godinu te kakav je udio i hod najkraćih epizoda. Eventualne spoznaje mogle bi nam dati odgovor na pitanje o tome koliki je udio termalnog strujanja za epizode s burom na Vratniku (bez bure u Senju). Gledajući čestine pojavljivanja svih epizoda po mjesecima (Slika 7.) zaključujemo da epizode izbjegavaju pojavljivanje u popodnevnim satima, s time da su kratke epizode one koje najviše doprinose tome. Spomenuta karakteristika dobra je početna indikacija za povezivanje epizoda s termalnim strujanjem. Međutim, pojavljuju se i iznimke u veljači koja pokazuje suprotne karakteristike od svih ostalih mjeseci te nešto manje u studenome.

Razmotrimo sada hodove i udio epizoda kraćih od 6 sati u skupu svih kratkih epizoda, odnosno onih koje su kraće od 12 sati (Slika 8.). Udio epizoda kraćih od 6 sati znatno je smanjen u prosincu i siječnju te je većina kratkih epizoda duža od 6 sati. Kako se radi o dobu godine kada je dan najkraći te bi očekivano trajanje noćne grane obalne cirkulacije amplificirane katabatičkim strujanjem obronka trebalo biti najduže, čini se da dobivamo novu potvrdu o termalnom utjecaju kod ove grupe epizoda. Međutim, hod epizoda kraćih od 6 sati ukazuje na činjenicu da se one tokom prosinca i siječnja javljaju uglavnom u razdoblju od nekoliko sati oko podneva, što ne bi trebao biti slučaj ako se radi o termalnom strujanju. Slične karakteristike dnevnog hoda kratkih epizoda opažaju se također za studeni i veljaču, s razlikom u duljini trajanja koja se smanjuje.

Detaljnou analizom vremenskih nizova smjera i brzine vjetra u razdoblju od studenog do veljače, ustanovljena je učestala pojava epizoda s burom na Vratniku te istočnog strujanja u Senju (varira u rasponu 80-110°, a brzine vjetra su male) u dijelu dana bliskom podnevu. Istodobno se na postajama Rab i Mali Lošinj opažaju smjerovi i brzine vjetra koje odgovaraju 4. klasteru otprije. Pojavom ovakvih epizoda može se objasniti slabo izražen dnevni hod točaka unutar 4. klastera, odnosno male razlike između dnevnih i noćnih sati. S druge strane, to može potvrditi činjenicu da se epizode s burom na Vratniku (bez bure u Senju) mogu u zimskim mjesecima javiti i tokom dana, i to kada slabi gradijenti tlaka na sinoptičkoj skali uvjetuju vrlo slabo sjeveroistočno strujanje, a lokalni termalni efekti ipak nisu dovoljni da ih nadvladaju. U spomenutom zimskom razdoblju, tokom epizoda s burom na Vratniku (bez bure u Senju), uočava se i pojava sjevernog strujanja na postaji Senj, s raspodjelom vjetra na preostalim postajama kao kod 4. klastera. Ovakvi se slučajevi podjednako često javljaju i danju i noću, a 'K-means' metoda ih ne razlučuje kao zaseban tip strujanja. Noću i ujutro, u zimskom dijelu godine, epizode s burom na Vratniku (bez bure u Senju) javljaju se pri prijelazu iz ciklonalnog juga u buru. Brzine vjetra na svim postajama tada se kreću oko 10 ms⁻¹, a raspodjela smjerova vjetra odgovara 8. klasteru.



Slika 7. Histogrami relativnih čestina epizoda bure u trosatnim dnevnim razdobljima za period 07.10.2004.-29.06.2005. Usporedni prikaz svih epizoda te epizoda kraćih od 12 sati (n označava ukupan broj upada u trosatne intervale tokom mjeseca).



Slika 8. Histogrami relativnih čestina kratkih epizoda bure u trosatnim dnevnim razdobljima za period 07.10.2004.-29.06.2005. Usporedni prikaz svih kratkih epizoda te epizoda kraćih od 6 sati (n označava ukupan broj upada u trosatne intervale tokom mjeseca).

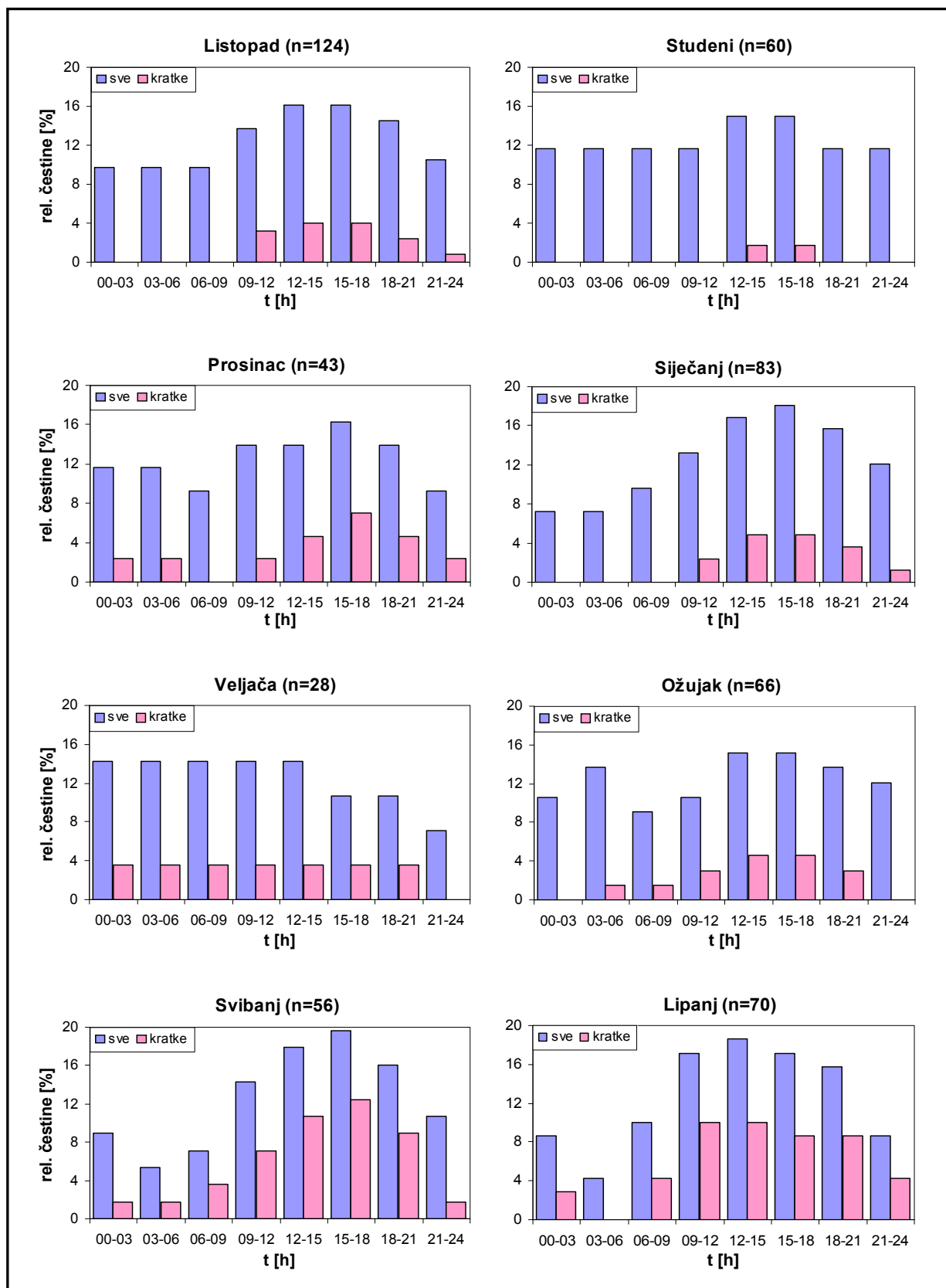
3.4.1. Epizode s jugozapadnim strujanjem na Vratniku

Dobiveni skup obuhvaća ukupno 78 epizoda s jugozapadnim strujanjem na Vratniku. Za razliku od epizoda s burom, ovdje se javlja značajan broj epizoda dužih od 12 sati (Tablica 3.). S iznimkom siječnja, preferiran je topliji dio godine. Kategorizacija s obzirom na trajanje načinjena je nešto drugačije nego kod epizoda s burom, kako bi se naglasila dužina trajanja.

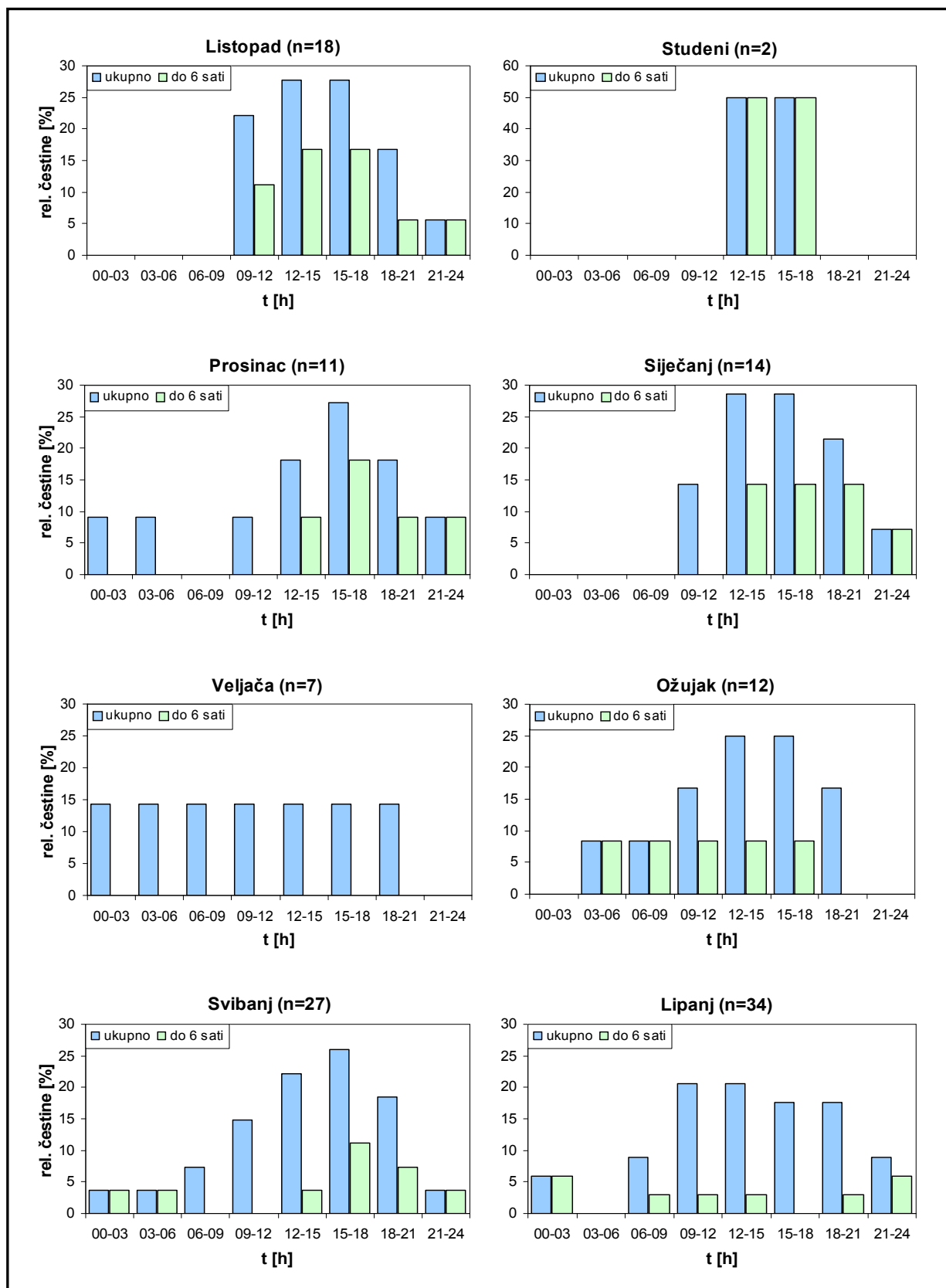
Tablica 3. Pojava određenih duljina epizoda po mjesecima

MJESEC	3-6 sati	6-12 sati	12-24 sati	1-2 dana	> 2 dana	ukupno
Listopad	4	2	3	3	2	14
Studeni	1	0	0	3	1	5
Prosinac	2	2	0	1	1	6
Siječanj	3	2	3	3	1	12
Veljača	0	2	0	0	1	3
Ožujak	2	2	5	2	0	11
Svibanj	5	4	3	1	0	13
Lipanj	3	7	2	2	0	14
Σ	20	21	16	15	6	78

Analogno epizodama s burom, ovdje smo također proveli analizu s obzirom na preferirano razdoblje pojavljivanja tijekom dana i godine. Gledajući dnevnu razdiobu pojavljivanja svih epizoda po mjesecima (Slika 9.), uočavamo da epizode preferiraju pojavljivanje u popodnevnim satima. Udjeli kratkih epizoda povećavaju se prema toplijem dijelu godine (Slika 9.), no smanjuje se udio epizoda kraćih od 6 sati (Slika 10.). Kako bi se trajanje dnevne grane termalne cirkulacije trebalo znatno smanjivati prema hladnom dijelu godine, dobiveni rezultati su očekivani. No, postavlja se pitanje razloga zbog kojih se zimi javlja povećani broj epizoda dužih od 12 sati. Zimi se često javljaju situacije pri kojima rubni dijelovi ciklona nad sjevernom i zapadnom Europom, premještajući se prema istoku, zahvaćaju Hrvatsku. Položaj grebena Azorske anticiklone omogućava razvoj umjerenog do jakog jugozapadnog strujanja. Takve situacije (5. klaster) mogu trajati i 2-3 dana, a njihovom pojavom objašnjavamo povećani broj dugih epizoda s jugozapadnim strujanjem na Vratniku tijekom zime. Dominacija epizoda kraćih od 6 sati među svim kratkim epizodama u hladnom dijelu godine, ali i njihova rijetka pojava ukazuju na mali broj situacija pogodnih za razvoj dnevne grane termalne cirkulacije. Ljeti pak, ukupno gledajući, dominira termalni doprinos.



Slika 9. Histogrami relativnih čestina epizoda jugozapadnjaka u trosatnim dnevnim razdobljima za period 07.10.2004.-29.06.2005. Usporedni prikaz svih epizoda te epizoda kraćih od 12 sati (n označava ukupan broj upada u trosatne intervale tokom mjeseca).



Slika 10. Histogrami relativnih čestina kratkih epizoda jugozapadnjaka u trosatnim dnevnim razdobljima za period 07.10.2004.-29.06.2005. Usporedni prikaz svih kratkih epizoda te epizoda kraćih od 6 sati (n označava ukupan broj upada u trosatne intervale tokom mjeseca).

3.5. Epizode s promjenjivim režimom strujanja

Ovakve epizode predstavljaju skup od nekoliko epizoda s promjenom iz jugozapadnog tipa strujanja na Vratniku u buru ili obrnuto. Iako smo kod odabira epizoda s burom na Vratniku pazili da isključimo istodobne pojave s burom u Senju, ovdje smo prilikom spajanja ranije odabranih dvaju tipova epizoda omogućili njihovo pojavljivanje. Svrha uključivanja situacija s burom na obje postaje jest da predložimo grubi opis dinamike strujanja pri promjenama režima u dijelu Kvarnerskog zaljeva. Prijašnje izdvajanje epizoda s burom na Vratniku (bez bure u Senju) za svrhu je imalo proučavanje klimatoloških karakteristika takvih epizoda te pokušaj utvrđivanja termalnog udjela u njima. Ovdje, prije svega, želimo ustanoviti kakve sinoptičke postavke omogućavaju pojavu epizoda s burom na Vratniku (bez bure u Senju) i kojima od ranije spomenutih tipova strujanja takve situacije odgovaraju. Ranije smo nagovijestili da se vjerojatno radi o 4. i 8. klasteru, a ovdje očekujemo potvrdu.

Ovisno o broju prelazaka između dvaju glavnih tipova strujanja te karakteristikama pojedinih podtipova (lokalne termalne razlike ili uvjeti na sinoptičkoj skali), trajanje epizoda s promjenjivim režimima strujanja kreće se od desetak sati, pa do tjedan dana. Ukupno je pronađeno 19 takvih epizoda, a za detaljnije proučavanje odabrane su one koje u svakom trenutku na sve četiri postaje imaju dostupna mjerenja. Ovime osiguravamo preklapanje svakog ERA-interim termina za vrijeme trajanja epizode s nekim od tipova strujanja dobivenih analizom klastera. U daljnjem ćemo tekstu kratko diskutirati tri odabrane epizode s promjenjivim režimom strujanja. Diskusiju ćemo temeljiti na proučavanju sinoptičkih situacija dobivenih na temelju ERA-interim podataka; s razmacima od 6 sati (Slike C1., C3. i C5. u dodatku C) te vremenskim nizovima smjera i brzine vjetra na četirima postajama (Slike C2., C4. i C6. u dodatku C).

3.5.1. Epizoda 18 UTC 17.11.2004. – 12 UTC 21.11.2004.

Početak ove epizode obilježen je jugozapadnim strujanjem na Vratniku, a kraj epizode s burom (bez bure u Senju). Kako bismo se koncentrirali na dio epizode s promjenama strujnog režima, našu smo pažnju skrenuli na razdoblje 00 UTC 19.11.2004. – 06 UTC 21.11.2004. (Slika C1. u dodatku C). U početna tri termina spomenutog razdoblja, nad Kvarnerskim zaljevom primjećujemo jugozapadno strujanje koje jača od umjerenoga prema jakome te se postupno širi duž cijelog Jadrana. Spomenuti smjer strujanja s jedne je strane posljedica prostiranja ciklonalnih sustava nad sjevernom te dijelovima srednje i istočne Europe, a s

druge strane grebena Azorske anticiklone nad jugozapadnim dijelom kontinenta. Jačanje vjetra posljedica je stvaranja nove ciklone nad Njemačkom (2. termin, tj. 06 UTC 19.11.2004.) i njezinog pomicanja prema istoku. Pri tome tlak zraka nad Hrvatskom pada, a gradijenti uz Jadransku obalu rastu. U sljedeća tri vremenska termina, spomenuta ciklona polako odmiče prema istoku, a područje Hrvatske obuhvaćeno je njezinim hladnim sektorom, tj. hladnom frontom (Slika D1. u dodatku D). S pojavom fronte i njezinim prolaskom preko Hrvatske, javlja se bura, prvo na sjevernom Jadranu, a kasnije na srednjem i južnom. Zajedno s frontom pomiče se i područje s najvećim brzinama vjetra, pa sukladno tome bura na sjevernom dijelu Jadrana postupno slabi, tj. prelazi s jake na umjerenu. U sva tri termina s pojavom bure (18 UTC 19.11.2004.-06 UTC 20.11.2004.), ona se uočava na Vratniku i u Senju (Slika C2.).

Preostala četiri termina obilježena su porastom tlaka zraka zbog primicanja grebena Azorske anticiklone iz smjera sjeverozapada-zapada. U 12 UTC 20.11.2004. visinsko strujanje (Vratnik) još uvijek zadržava sjeveroistočni smjer, a prizemno strujanje postaje jugoistočno. Šest sati nakon toga uočavamo promjenu smjera visinskog strujanja, koje postaje jugozapadno, dok prizemno ostaje nepromijenjeno. Brzine strujanja u oba slučaja su vrlo male. U posljednja dva termina visinsko strujanje opet postaje sjeveroistočno, dok se prizemno ne mijenja. Sinoptička situacija, uočena u posljednja četiri termina (nakon prolaska fronte), pogoduje razvoju lokalnih termalnih cirkulacija. S obzirom na doba godine i male brzine vjetra, u 12 i 18 UTC 20.11.2004. vjerojatno nema razvijenog termalnog strujanja ili je ono slabo, a postojeće strujanje posljedica je malih gradijenata na sinoptičkoj skali. Radi li se ipak o termalnom strujanju, tj. njegovoj dnevnoj grani, tada ona prvo zahvaća Senj (nešto prije 12 UTC), pa tek onda Vratnik (Slika C2.). Ako je razlika u smjeru vjetra u 12 UTC 20.11.2004. sinoptičke prirode, to možemo objasniti time što se područje između Senja i Vratnika nalazi na granici utjecaja odlazeće ciklone te grebena Azorske anticiklone koja se primiće Hrvatskoj (Slika C3.). Tijekom posljednja dva termina (00 i 06 UTC 21.11.2004.) moguće je da dolazi do razvoja noćne grane termalne cirkulacije, pri čemu se promjena smjera vjetra prije uočava na postaji Vratnik. Ovdje iznesene tvrdnje, vezane uz posljednja četiri termina epizode s promjenjivim režimom strujanja, kada se javljaju situacije s burom na Vratniku (bez bure u Senju), baziraju se isključivo na mjerenjima (Slika C2.). Na sinoptičkim kartama, dobivenim na temelju ERA-interim reanaliza, to je praktički nemoguće razlučiti.

3.5.2. Epizoda 06 UTC 01.01.2005. – 00 UTC 05.01.2005.

Kod ove epizode dio s promjenama režima strujanja obuhvaća razdoblje 18 UTC 01.01.2005. – 00 UTC 04.01.2005. (Slika C3. u dodatku C). Kroz cijelo vrijeme trajanja epizode uočavamo jačanje utjecaja grebena Azorske anticiklone nad Hrvatskom. Prostiranje anticiklonalnog grebena dublje prema kontinentu ovisno je o gibanju prostrane ciklone sa središtem uz obale Skandinavije. Gradijenti tlaka na sinoptičkoj skali nad našim područjem vrlo su mali, što pogoduje razvoju lokalnih termalnih cirkulacija. Ovisno o zakrivljenosti izobara, preferirana je slabo razvijena dnevna grana termalne cirkulacije (4., 5. i 9. termin) ili razvijenija noćna grana (1., 2. i 3. termin) (Slika C4.). Situacije s burom na Vratniku (bez bure u Senju) javljaju se uglavnom noću (00 i 06 UTC), kada samo lokalno, u blizini Senja, smjer vjetra postaje istočni-jugoistočni (2., 3., 6. i 8. termin). Smjer vjetra na postajama Rab i Mali Lošinj tada se ugrubo poklapa sa smjerom glavnih osi obalne cirkulacije. Dakle, uočavamo približno sjeverno strujanje na Rabu, odnosno sjeveroistočno na Malom Lošinju. Osim iz mjerenja, spomenuto se donekle može razlučiti i na temelju sinoptičkih karata dobivenih iz ERA-interim podataka. Relativno mirni uvjeti, opisani gore u tekstu, narušavaju se relativno brzim prolaskom fronte preko Hrvatske u noći između 2. i 3. siječnja (Slika D2. u dodatku D). Vrlo slabo jugozapadno strujanje prvo na visini prelazi u sjeveroistočno (6. termin), a tijekom noći pojačava te prizemno i na visini uočavamo jaku buru (7. termin). Kasnije tokom popodneva (9. termin), bura na Vratniku prelazi u slabo jugozapadno strujanje, dok u Senju opažamo slab istočni-jugoistočni vjetar. U isto vrijeme na postajama Rab i Mali Lošinj prevladava slab vjetar promjenjiva smjera. Svi termini vezani uz buru na Vratniku (bez bure u Senju) pripadaju 4. klasteru. Jedina iznimka jest 6. termin koji pripada 1. klasteru, a javlja se neposredno prije pojave frontalne bure. Nevezano uz ovu epizodu, primijećeno je da se vrlo rijetko situacije s burom na Vratniku (bez bure u Senju) jave unutar 1. klastera. To se isključivo događa pri prijelazu iz termalne bure¹³ u sinoptičku ili obrnuto.

¹³ Termalna bura podrazumijeva strujanje obuhvaćeno 4. klasterom. Ovim terminom obuhvaćene su pojave slabe bure i vjetra nastalog superpozicijom noćne grane obalne cirkulacije te vjetra obronka. Za razliku od preostalih klastera s burom (sinoptička bura), termalna bura nema izraženu mahovitost.

3.5.3. Epizoda 18 UTC 17.01.2005. – 06 UTC 24.01.2005.

U slučaju ove, iznimno duge epizode s promjenjivim režimom strujanja, pažnju usmjeravamo na njezin početni dio, tj. razdoblje između 06 UTC 18.01.2005 i 12 UTC 20.01.2005. (Slika C5. u dodatku C). U početnom trenutku uočavamo dominaciju anticiklonalnih sustava nad područjem Hrvatske ili preciznije, grebena Azorske anticiklone sa zapada te grebena anticiklone sa središtem iznad istočne Europe. Takva situacija pogoduje razvoju vrlo slabog sjeveroistočnog strujanja nad Jadranom (Slika C6.). Istodobno uočavamo prostranu ciklonu sa središtem zapadno od Skandinavije, koja zahvaća veći dio sjeverne, te zapadne i središnje Europe. U sljedećem terminu, tj. 12 UTC 18.01.2004., rubni dijelovi spomenute ciklone zahvaćaju sjeverne dijelove Hrvatske. Tlak zraka pada, a strujanje poprima jugozapadni smjer. Glavna karakteristika 3. termina ove epizode jest pojava ciklonalnog vrtloženja i razvoj ciklone u Genovskom zaljevu. Na otvorenom moru počinje puhati umjereno jugo, a uz istočnu obalu Jadrana još uvijek opažamo nešto slabije jugozapadno strujanje. S pomicanjem Genovske ciklone duž Apeninskog poluotoka u smjeru jugoistoka, smjer strujanja na Vratniku naglo se mijenja u sjeveroistočni (4. termin). Promjena smjera strujanja u Senju odvija se nešto sporije, tj. prelazak od jugozapadnog strujanja ka sjeveroistočnome događa se postupno. Na postajama Rab i Mali Lošinj za to vrijeme puše jako jugo. Ovo je tipična situacija koja odgovara 8. klasteru otprije, a ovim putem dobivamo potvrdu da se radi o situaciji s burom na Vratniku (bez bure u Senju).

U sljedećem terminu, tj. 06 UTC 19.01. 2005., privremeno jača utjecaj grebena Azorske anticiklone, dok se Genovska ciklona i dalje pomiče duž Apeninskog poluotoka. Ovaj termin na sjevernom dijelu Jadrana označava prijelaz u ciklonalnu buru (opažena u 6. i 7. terminu) te postupni porast brzine vjetra. Južnim dijelom Jadrana dominira ciklonalno jugo, a srednji Jadran predstavlja prijelaznu zonu između ciklonalne bure i juga. S daljnjim pomakom Genovske ciklone u smjeru jugoistoka, pojavu bure uočavamo na cijelom Jadranu (7. termin), kao i njezino slabljenje na sjevernom dijelu. Primicanjem grebena Azorske anticiklone iz smjera sjeverozapada, bura prelazi u anticiklonalnu i još jednom jača (8. termin). No, s odmicanjem Genovske ciklone u istočno Sredozemlje (9. termin), ponovno slabi te u zadnjem terminu i prestaje puhati na sjevernom dijelu. Zadnji termin ove epizode u određenoj mjeri podsjeća na početni. Područje Hrvatske opet je pod utjecajem grebena Azorske anticiklone sa zapada te grebena anticiklone sa središtem iznad istočne Europe. Na sjevernom Jadranu uočavamo slabo zapadno strujanje, a na srednjem i južnom slabu do umjerenu buru.

Ovime zaokružujemo priču o epizodama s promjenjivim režimom strujanja te ujedno potvrđujemo da su epizode s burom na Vratniku (bez bure u Senju) sadržane unutar 4. i 8. klastera. Dakle, posljednje spomenute epizode javljaju se za vrijeme posebnih sinoptičkih situacija koje pogoduju razvoju termalnog strujanja (4. klaster), na prijelazu iz ciklonalnog juga u ciklonalnu buru na sjevernom dijelu Jadrana (8. klaster) ili prilikom prelaska iz sinoptički uvjetovane bure u termalnu. Posljednje spomenuto se prilikom klasteriranja podatka opaža u okvirima 4. te vrlo rijetko unutar 1. klastera.

4. Zaključak

Analizom satno osrednjenih komponenti vjetra na tri postaje unutar Kvarnerskog zaljeva te na visinskoj postaji Vratnik, uz korištenje 'K-means' metode za klasteriranje podataka, utvrđeno je postojanje osam različitih tipova strujanja na tom području. Za svaki tip strujanja određena je srednja sinoptička situacija koje pogoduje njegovu razvoju. Na temelju klimatoloških karakteristika te pripadnih srednjih sinoptičkih situacija razlučeni su sljedeći tipovi strujanja: bura (ciklonalna, anticiklonalna te dva mješovita tipa), jugo (ciklonalno i atipično anticiklonalno) i termalne cirkulacije. Dobiveni tipovi strujanja (klasteri) dobro se slažu s onima koje su za područje cijelog Jadrana dobili Pandžić i Likso (2005.). Zbog ograničenja podatka na produženi hladni dio godine (07.10.2004.-29.06.2005.) nismo mogli uočiti pojavu etezija, niti razlučiti kombinaciju smorca i anabatičkog strujanja obronka od relativno mirnih situacija gdje se oni ne uspijevaju razviti unatoč povoljnim sinoptičkim uvjetima (uglavnom zimi).

Posebnu pažnju posvetili smo epizodama s pojavom bure na postaji Vratnik, a bez bure na postaji Senj koja je smještena u smjeru puhanja bure niz zavjetrinu Velebita i Kapele. Većina takvih epizoda traje kraće od 12 sati, a brzine vjetra su manje nego u situacijama kada se bura opaža na obje postaje. Nešto su češće noću i ujutro, osim u zimskim mjesecima kada se javljaju i danju. Posljednje spomenuto moguće je za vrijeme anticiklonalnih uvjeta koji pogoduju vrlo slabom sjeveroistočnom strujanju, a lokalni termalni efekti nisu dovoljno jaki da nadvladaju gradijente na sinoptičkoj skali. Međutim, smjer vjetra u Senju tada je istočni; varira u rasponu 80-110°, a brzine vjetra su male. Epizode s burom na Vratniku (bez bure u Senju), također se javljaju na prijelazima iz noćne u dnevnu granu termalne cirkulacije i obrnuto (dnevna grana prije počinje u Senju, a noćna na Vratniku). No, isto tako i prilikom brzih pomicanja fronti u smjeru jugoistoka, pri čemu dolazi do prijelaza sinoptički uvjetovane bure u termalno strujanje (epizode s promjenjivim režimom strujanja). Krajem jeseni i tokom zime, u ranim fazama razvoja Genovske ciklone, prilikom prijelaza iz ciklonalnog juga u buru, visinsko strujanje brže poprima sjeveroistočni smjer nego što se to opaža prizemno. Tada se javljaju epizode s burom na Vratniku (bez bure u Senju) praćene velikim brzinama vjetra, dok na otočnim postajama puše još jače jugo. Ovo je tipična situacija za strujanje definirano 8. klasterom. No, za ovaj tip strujanja opaženo je neslaganje smjerova visinskog strujanja na Vratniku između mjerenih podataka na postaji te ERA-interim reanaliza. Mjerenja ukazuju na pojavu bure, a prema reanalizama smjer je vjetra na širem području

sjevernog Jadrana jugozapadni. Čini se nerazumnim očekivati da samo lokalno, u blizini Vratnika, smjer vjetra bude sasvim suprotnog smjera nego što je tome slučaj na preostalom dijelu sjevernog Jadrana. Dobiveni rezultati mogu ukazivati na pojavu pogrešaka unutar pojedinog skupa podataka. No, treba uzeti u obzir i činjenicu da ERA-interim podaci slabo razlučuju orografiju, otoke i geometriju obale. U svakom slučaju, radi se o činjenici koju je potrebno istražiti u budućem radu. Konačno, u poglavlju gdje smo se dotaknuli epizoda s promjenjivim režimima strujanja, dane su i grube naznake postojeće dinamike strujanja.

U vidu nadogradnje dobivenih rezultata, potrebno je vremenske nizove vjetra na četirima postajama produžiti na višegodišnje razdoblje. Time bi postojeći rezultati postali klimatološki relevantniji, a utjecaj međugodišnjih fluktuacija smanjen. Za detaljnije proučavanje pojave epizoda s burom na Vratniku (bez bure u Senju), potrebno je uključiti i numeričke modele s finom rezolucijom te podatke o temperaturi površine mora. Tada bismo vjerojatno mogli uočiti lokalne strukture koje se javljaju tijekom spomenutih epizoda (npr. povremene pojave slabog jugoistočnog-istočnog vjetra lokalno u blizini Senja, dok na ostalim postajama imamo slabu do umjerenu termalnu buru).

5. Bibliografija

Bajić, A. 1989. Severe bora on the northern Adriatic. Part I: Statistical analysis. *Papers (Zagreb)* **24**: 1–9.

Bašić, T. 2010. Utjecaj orografije na buru na području zračne luke Dubrovnik simuliran WRF-ARW modelom. *Diplomski rad*. Geofizički odsjek PMF-a, 111. str.

Belušić, D. i Klaić, Z. B. 2004. Estimation of bora wind gusts using a limited area model. *Tellus* **56A**, 296-307.

Belušić, D. i Klaić, Z. B. 2006. Mesoscale dynamics, structure and predictability of a severe Adriatic bora case. *Meteorol. Z.* **15**, 157-168.

Belušić, D., Pasarić, M. i Orlić, M. 2004. Quasi-periodic bora gusts related to the structure of the troposphere. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* **130**, 1103-1021.

Belušić, D., Pasarić, M., Pasarić, Z., Orlić, M. i Grisogono, B. 2006. A note on local and non-local properties of turbulence in the bora flow. *Meteorol. Z.* **15**, 301-306.

Belušić, D., Žagar, M. i Grisogono, B. 2007. Numerical simulation of pulsations in the bora wind. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* **133**, 1371-1378. doi:10.1002/qj.129.

Dee, D. P., with 35 co-authors 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* **137**, 553-597. doi:10.1002/qj.828.

Durran, D.R. 2003. Lee waves and Mountain waves. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (eds. J. R. Holton, J. Pyle and J. A. Curry). Elsevier Science Ltd., London, 1161-1170.

Enger, L. i Grisogono, B. 1998. The response of bora-type flow to sea surface temperature. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* **124**, 1227-1244.

Gohm, A., Mayr, G. J., Fix, A. i Giez, A. 2008. On the onset of bora and the formation of rotors and jumps near a mountain gap. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* **134**, 21-46.

Grisogono, B. i Belušić, D. 2012. Uvod u mezoskalnu meteorologiju i atmosfersku turbulenciju. *Rukopis skripta za studente*. Geofizički odsjek PMF-a, 158. str. (www.gfz.hr/osobne_stranice/grisogono/DM2i3_skripta.pdf)

- Grisogono, B. i Belušić, D. 2009. A review of recent advances in understanding the meso- and microscale properties of the severe bora wind. *Tellus* **61A**, 1-16.
- Heimann, D. 2001. A model-based wind climatology of the eastern Adriatic coast. *Meteorol. Z.* **10**, 5-16.
- Horvath, K., Lin, Y.-L. i Ivančan-Picek, B. 2008. Classification of cyclone tracks over Apennines and the Adriatic sea. *Mon. Wea. Rev.* **136**, 2210-2227.
- Ivančan-Picek, B. i Jurčec, V. 2003. Mesoscale atmospheric vortex generation over the Adriatic Sea. *Idojaras* **107**, 1, 67-83.
- Ivančan-Picek, B. i Vučetić, V. 1990. Bora on the northern Adriatic coast during ALPEX-SOP 20–25 March 1982. *Papers (Zagreb)* **25**, 1–12.
- Jurčec, V. 1981. On mesoscale characteristics of bora conditions in Yugoslavia. *Pure and Applied Geophysics* **119**, 640–657.
- Jurčec, V., Ivančan-Picek, B., Tutiš, V. i Vukičević, V. 1996. Severe Adriatic jugo wind. *Meteorol. Z.* **5**, 67-75.
- Klemp, J. B. i Durran, D. R. 1987. Numerical modelling of Bora winds. *Meteorol. Atmos. Phys.* **36**, 215-227.
- Kraljević, L. i Grisogono, B. 2006. Sea-surface temperature effects on 3D bora-like flow. *Meteorol. Z.* **15**, 169-177.
- Lisac, I., Zelenko, B., Marki, A. i Trošić, Ž. 1998–99. Wind direction frequency analysis for the jugo wind in the Adriatic. *Croatian Meteorological Journal* **33–34**, 19–37.
- Lukšić, I. 1975. Bura u Senju. *Senjski zbornik (Senj)* **6**, 467–494.
- MacQueen, J. B. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proceedings of 5-th Berkeley symposium on mathematical statistics and probability. *University of California press*, 1, 281-297.
- Makjanić, B. 1960. Einige Aspekte der Bora in Split. *In Congres International de Meteorologie Alpine — Bled 1960*. Institut Hydrometeorologique Federal, Beograd, 377–383.

- Makjanić, B. 1978. Bora, scirocco, etesians. Savezni hidrometeorološki zavod: Beograd (in Croatian).
- Orlić, M., Penzar, B. i Penzar, I. 1988. Adriatic sea and land breezes: clockwise versus anticlockwise rotation. *J. Appl. Meteor.* **27**, 675–679.
- Pan, F. i Smith, R. B. 1999. Gap winds and wakes: SAR observations and numerical simulations. *J. Atmos. Sci.* **56**, 905–923.
- Pandžić, K. 1981. Prikaz polja vjetra na Jadranu za vrijeme bure i juga. *Papers (Ljubljana)* **25**, 17–30.
- Pandžić, K. i Likso, T. 2005. Eastern Adriatic typical wind field patterns and large-scale atmospheric conditions, *Int. J. Climatol.* **25**, 81–98.
- Paradiž, B. 1957. *Burja v Sloveniji*. 'Deset let hidrometeorološke službe': Ljubljana; 1–172.
- Pasarić, Z., Belušić, D. i Klaić, Z. B. 2007. Orographic influences on the Adriatic sirocco wind. *Ann. Geophys.* **25**, 1263–1267.
- Penzar, B., Penzar, I. i Orlić, M. 2001. Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana. *Nakladna kuća 'Dr. Feletar'*, Zagreb, 258. str
- Poje, D. 1960. Beitrag zur Aerologie der Bora der Adria. In *Congres International de Meteorologie Alpine — Bled 1960*. Institut Hydrometeorologique Federal, Beograd, 377–383.
- Poje, D. 1992. Wind persistence in Croatia. *Int. J. Clim.* **12**, 569–586.
- Poje, D. 1995. Bora and 'Burin' at Split. *Croatian Meteorological Journal* **30**, 1–19.
- Prtenjak, M. T. i Grisogono, B. 2007. Sea-land breeze climatological characteristics along the northern Croatian Adriatic coast. *Theor. Appl. Climatol.* **90**, 201–215.
- Prtenjak, M. T., Grisogono, B. i Nitis, T. 2006. Shallow mesoscale flows at the north-eastern Adriatic coast. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* **132**, 2191–2216.
- Prtenjak, M. T., Viher, M. i Jurković, J. 2010. Sea-land breeze development during a summer bora event along the north-eastern Adriatic coast. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* doi:10.1002/qj.649

- Ružić, K. 2010. Primjenjivost SAR slika na proučavanje struktura male skale tijekom bure. *Diplomski rad*. Geofizički odsjek PMF-a, 53. str.
- Smith, R. B. 1985. On severe downslope winds. *J. Atmos. Sci.* **42**, 2598–2603.
- Smith, R. B. 1987. Aerial observations of the Yugoslavian Bora. *J. Atmos. Sci.* **44**, 2934–2939.
- Smith, R. B. 1991. Kelvin-Helmholtz instability in severe downslope wind flow. *J. Atmos. Sci.* **48**, 1319–1324.
- Trošić, Ž. 1983. Statistička obilježja juga na Jadranu. *Magistarski rad*, 111. str.
- Tutiš, V. 1988. Bora on the Adriatic coast during ALPEX-SOP 27–30 April 1982. *Papers (Zagreb)* **23**, 45–56.
- Večenaj, Ž. 2005. Procezi makrorazmjera kod olujnog vjetra u Dalmaciji. *Diplomski rad*. Geofizički odsjek PMF-a, 59. str.
- Večenaj, Ž., Belušić, D. i Grisogono, B., 2010. Climatology of bora wind derived from high-frequency wind measurements. 14th Conference on Mountain Meteorology, Lake Tahoe Vicinity, CA, USA, 30.08.-03.09.2010.
- Večenaj, Ž., Belušić, D. i Grisogono, B., 2011. Climatology of the Adriatic winds in the town of Senj and Vratnik Pass. 31st International Conference on Alpine Meteorology, Aviemore, Scotland, 23-27.05.2011.
- Vosper, S. B. 2004. Inversion effects on mountain lee waves. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* **130**, 1723–1748.
- Yoshino, M. M. (ed.) 1976. *Local Wind Bora*. University of Tokyo Press, Tokyo, 289 str.

6. Dodatak

Dodatak se sastoji od 4 odvojena segmenta s pripadnim slikama koje se koriste prilikom analize dobivenih rezultata u 3. poglavlju. Slijedi kratki pregled i objašnjenje dijelova dodatka.

Dodatak A, koji obuhvaća Slike A1. i A2., daje pregled srednjih sinoptičkih situacija na 500 hPa i 300 hPa plohama za svih osam klastera. Spomenute slike analizirane su u odlomku 3.3.2. i analogne su Slikama 5. i 6. iz odlomaka 3.3.1. i 3.3.2.

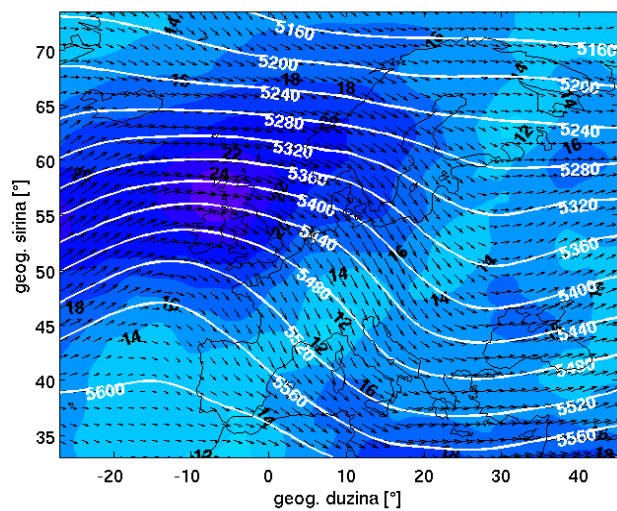
Dodatak B, tj. Slika B1., daje pregled najrazličitijih situacija naspram srednje prizemne sinoptičke situacije za svih osam klastera. Spomenuta slika analizirana je u odlomku 3.3.3.

Dodatak C sastoji se od 6 slika, odnosno 3 para od dvije slike za svaku od 3 epizode s promjenjivim režimom strujanja. Slike C1., C3. i C5. prikazuju razvoj prizemne sinoptičke situacije za vrijeme trajanja epizoda (u razmacima od 6 sati). Slike C2., C4. i C6. prikazuju vremenske nizove 10-min srednjaka skalarne brzine vjetra te nizove prevladavajućeg smjera vjetra na četiri meteorološke postaje za vrijeme trajanja spomenutih epizoda. Spomenute slike koriste se za analizu epizoda s promjenjivim režimom strujanja: odlomci 3.5.1, 3.5.2 i 3.5.3.

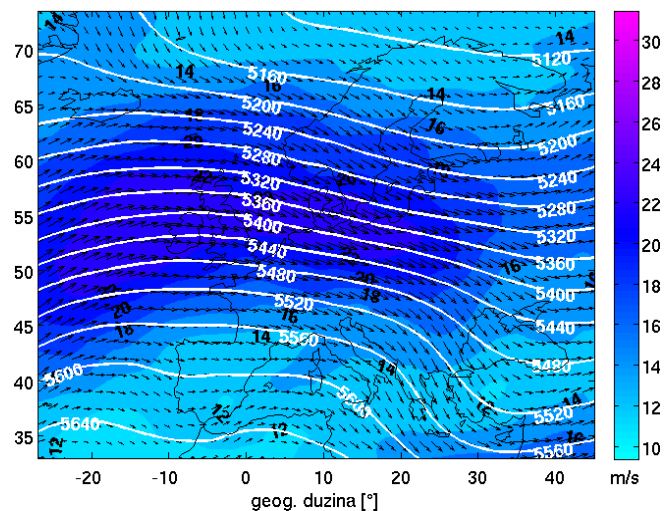
Dodatak D, koji obuhvaća Slike D1. i D2., prikazuje razvoj i prelazak fronti preko Hrvatske tijekom epizoda s promjenjivim režimom strujanja. Slika D1. predstavlja dodatak odgovarajućim terminima sa Slike C1., a Slika D2. terminima sa Slike C3.

Dodatak A

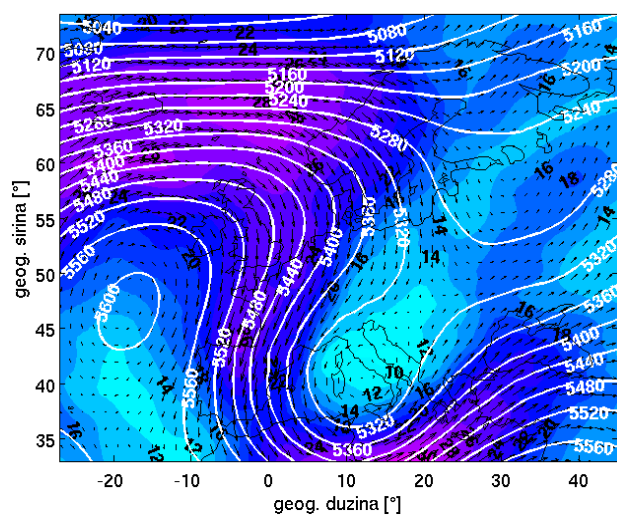
Klaster 1.



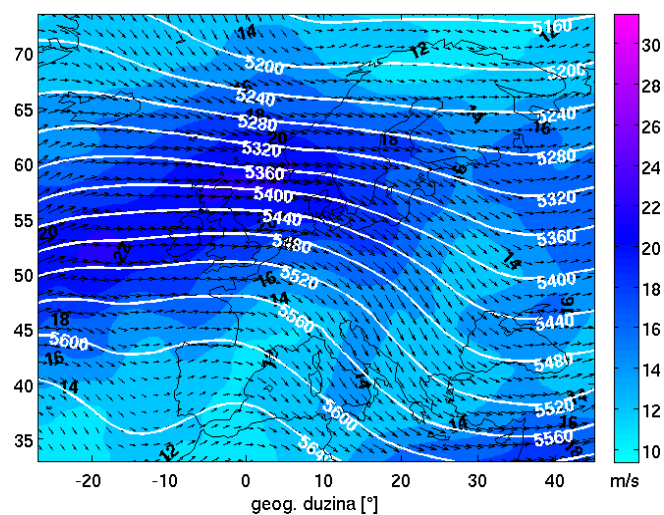
Klaster 2.



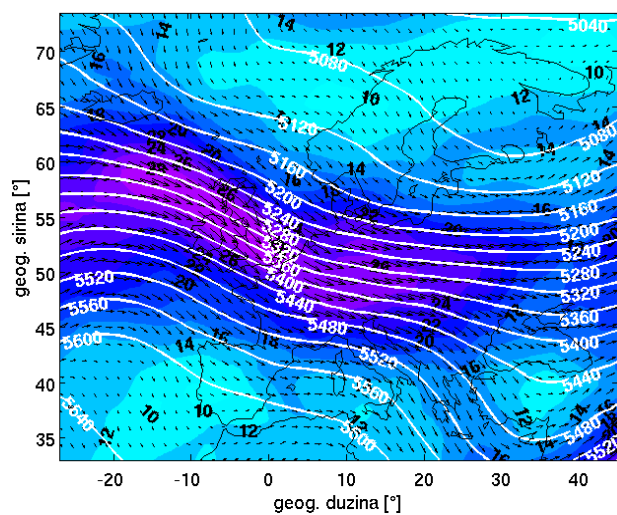
Klaster 3.



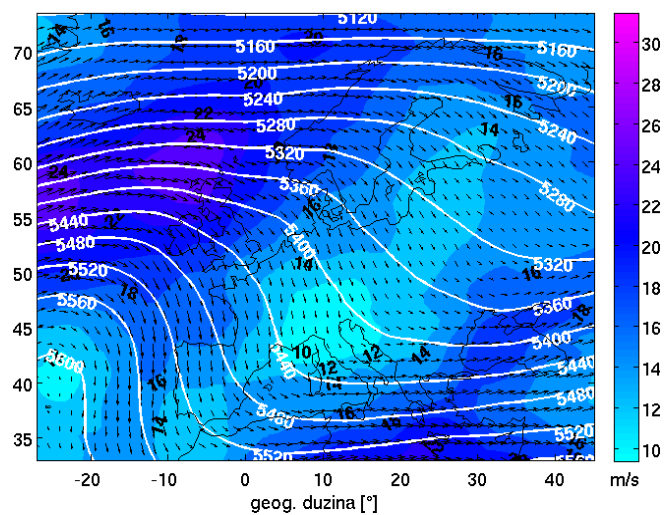
Klaster 4.

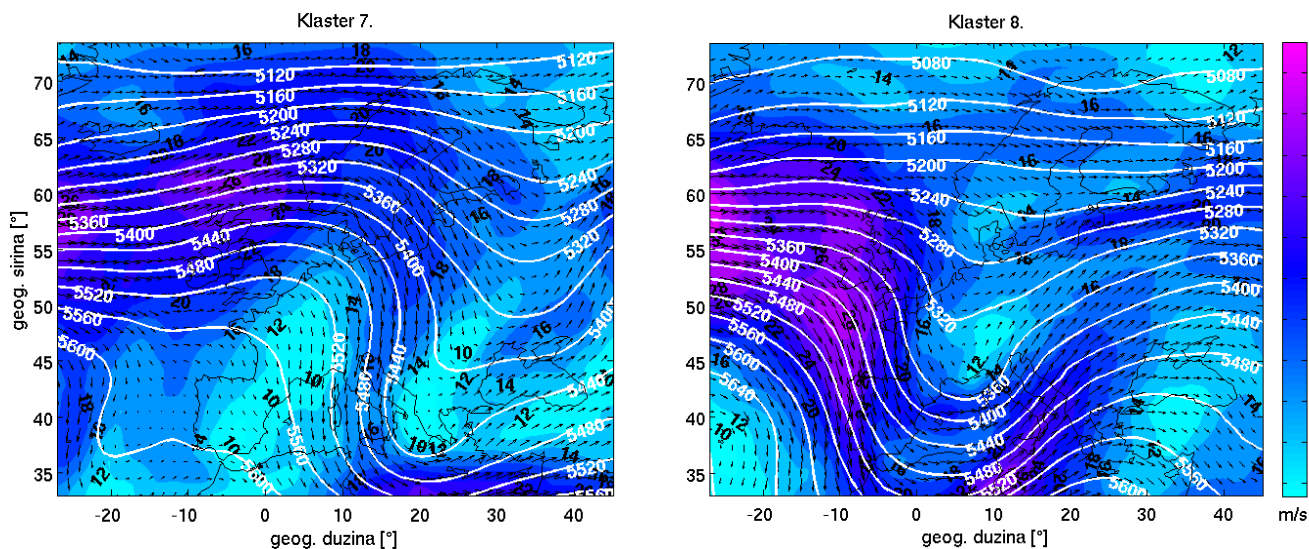


Klaster 5.



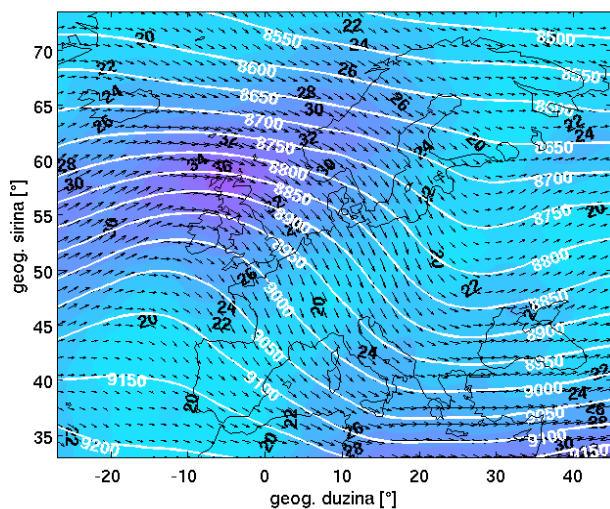
Klaster 6.



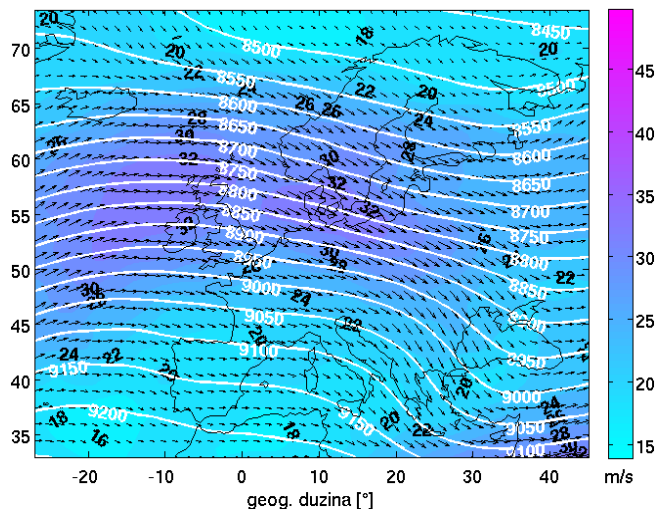


Slika A1. Prikaz srednjih sinoptičkih situacija po klasterima, na 500 hPa plohi. Geopotencijal izobarne plohe izražen je u geopotencijalnim metrima (gpm), a odgovarajuće izolinije prikazane su bijelom bojom, svakih 40 gpm. Polje skalarne brzine vjetra prikazano je bojama s odgovarajućom skalom, koja je određena na temelju klastera s najvećim rasponom brzina. Vektori vjetra naznačeni su strelicama.

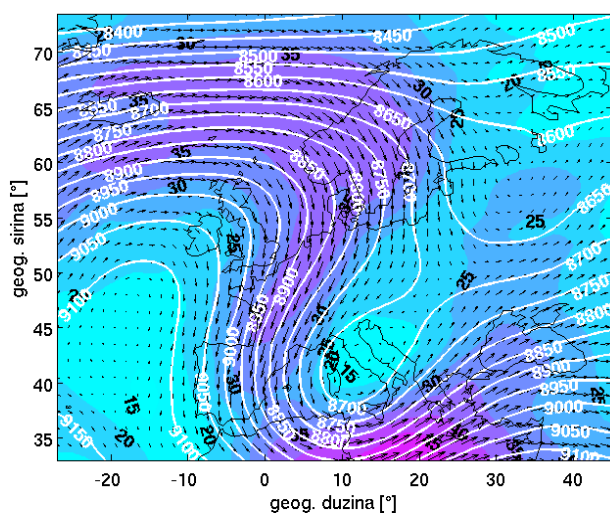
Klaster 1.



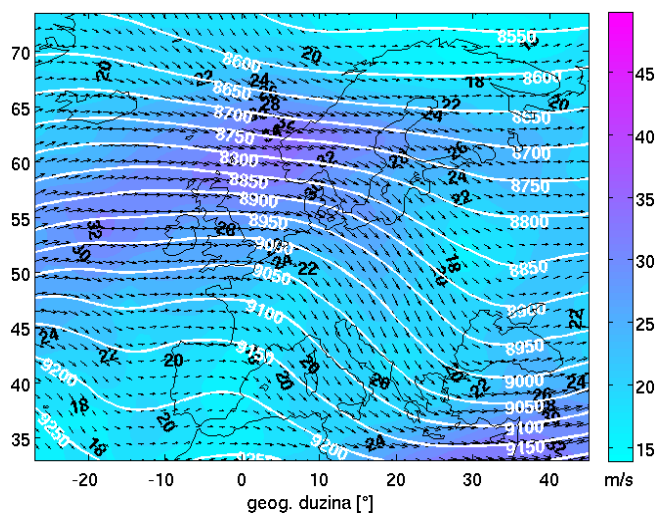
Klaster 2.



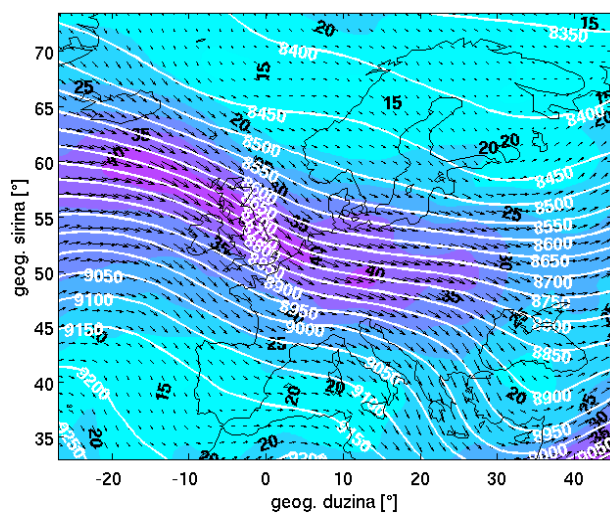
Klaster 3.



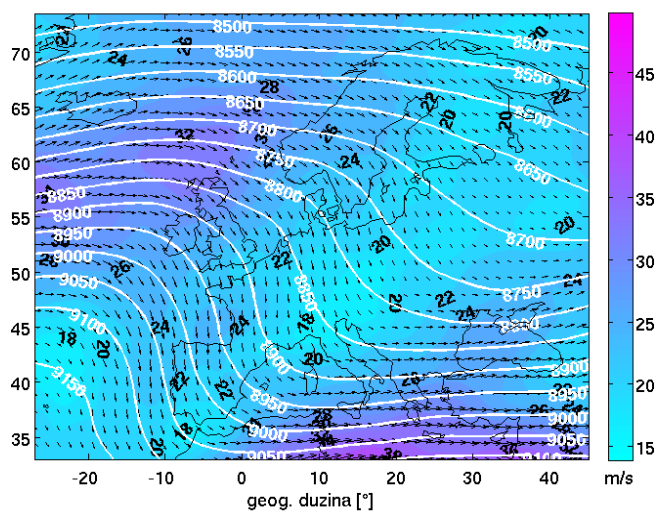
Klaster 4.

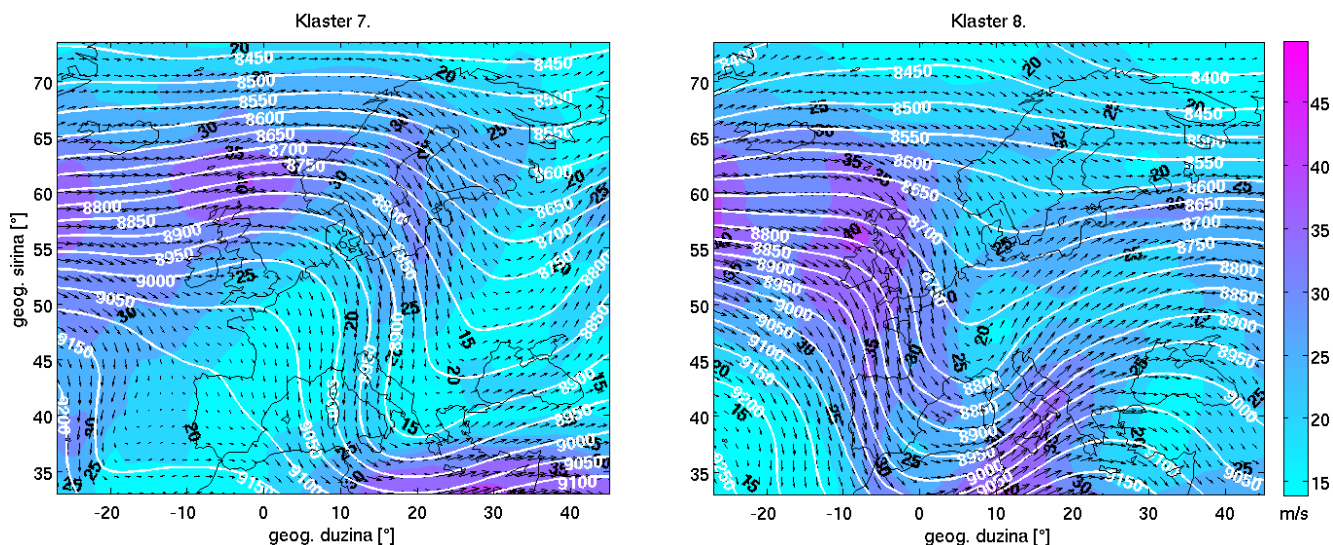


Klaster 5.



Klaster 6.

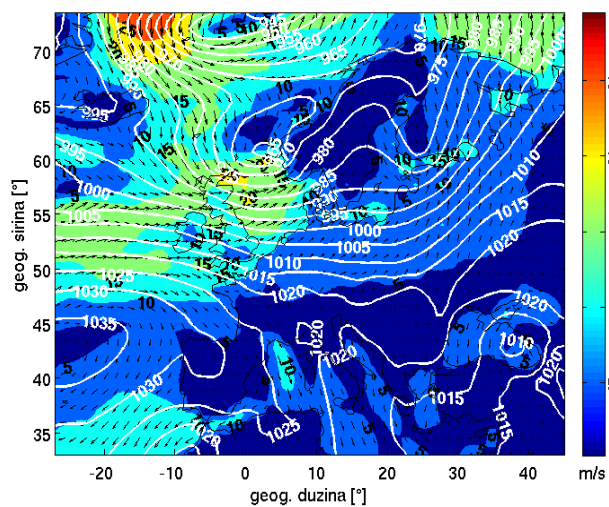




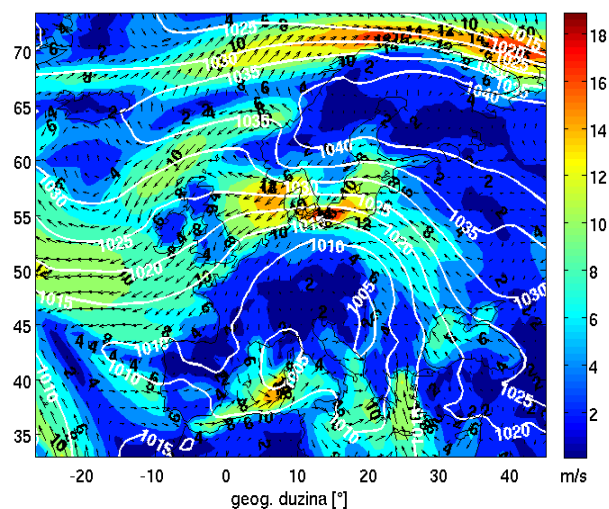
Slika A2. Prikaz srednjih sinoptičkih situacija po klasterima, na 300 hPa plohi. Geopotencijal izobarne plohe izražen je u geopotencijalnim metrima (gpm), a odgovarajuće izoliniije prikazane su bijelom bojom, svakih 50 gpm. Polje skalarne brzine vjetra prikazano je bojama s odgovarajućom skalom, koja je određena na temelju klastera s najvećim rasponom brzina. Vektori vjetra naznačeni su strelicama.

Dodatak B

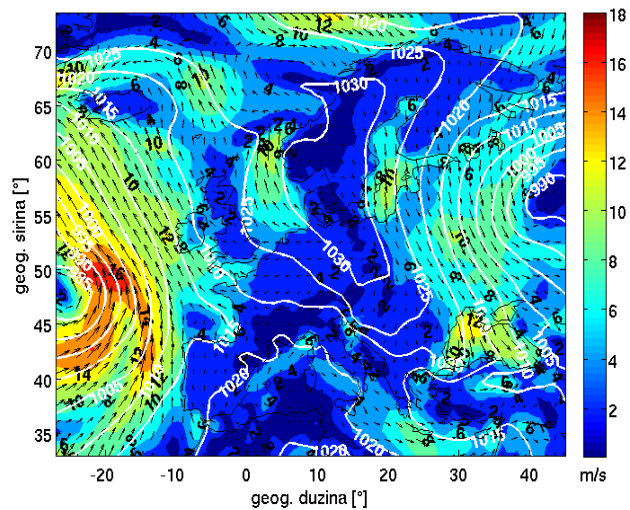
Klaster 1.



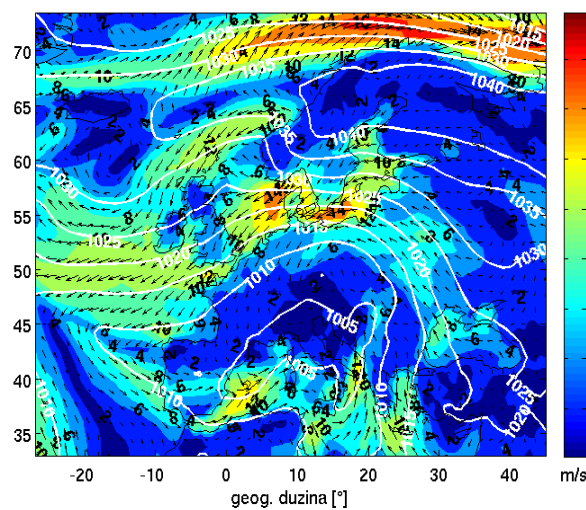
Klaster 2.



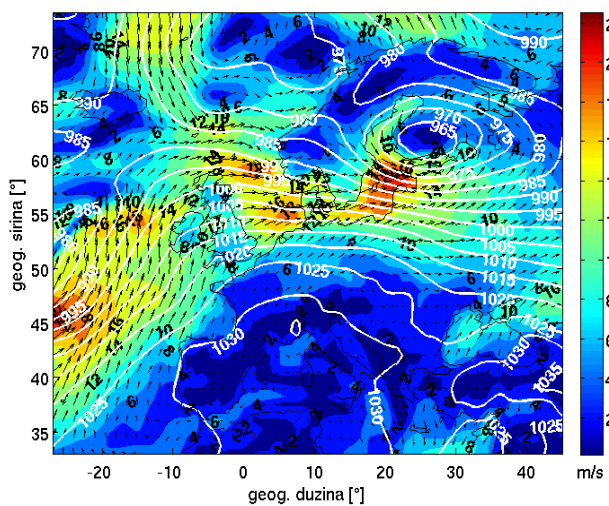
Klaster 3.



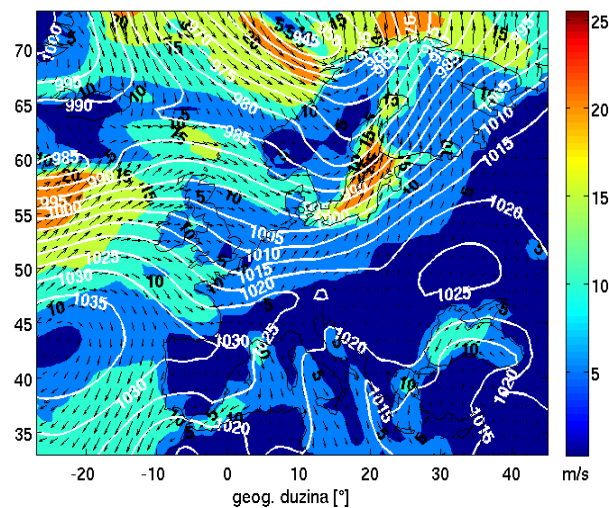
Klaster 4.

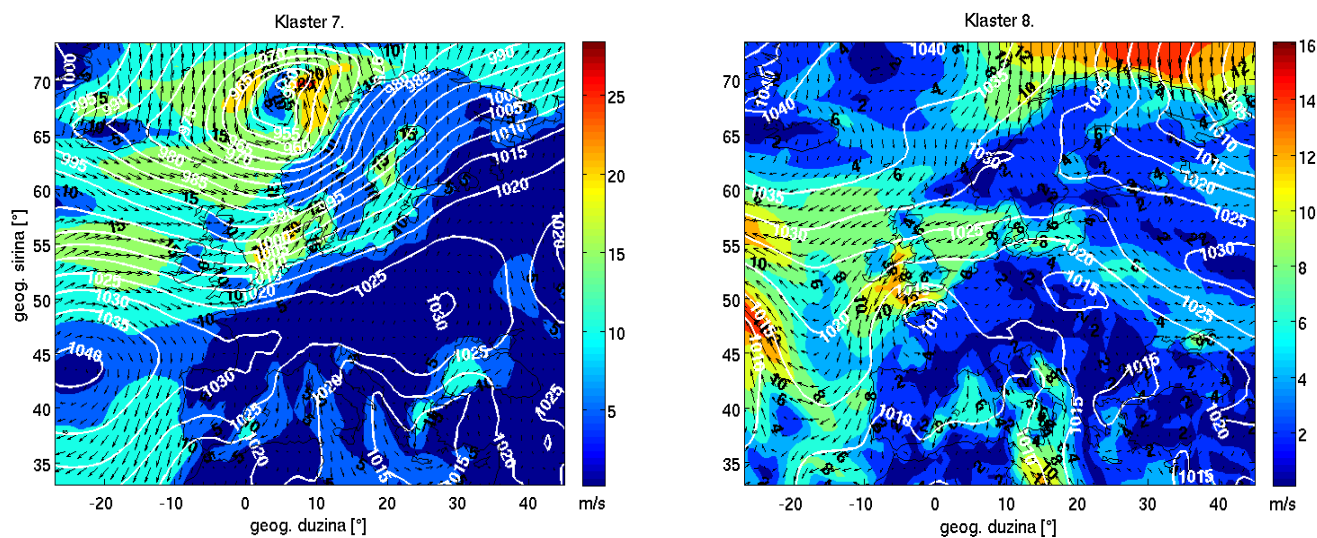


Klaster 5.



Klaster 6.

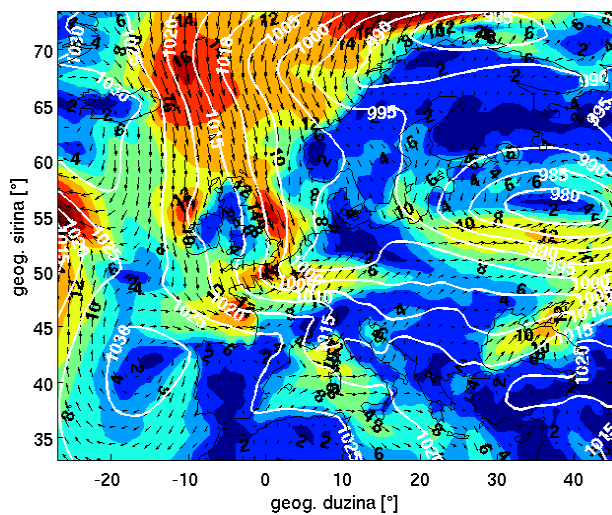




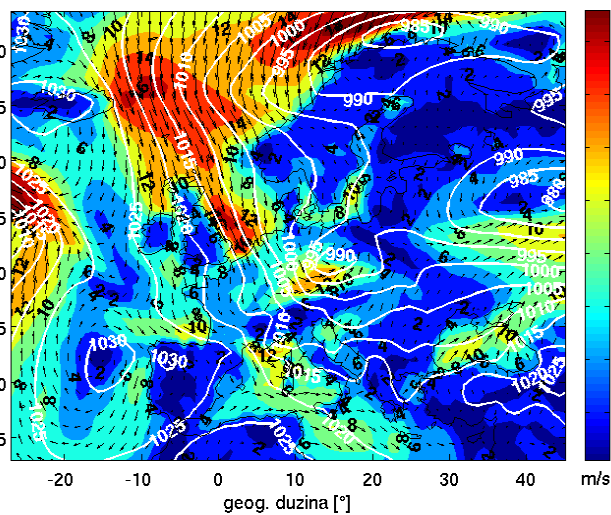
Slika B1. Najrazličitije situacije naspram srednje prizemne sinoptičke situacije, gledano po klasterima. Tlak zraka na srednjoj razini mora izražen je u hPa, a odgovarajuće izolinije prikazane su bijelom bojom, svakih 5 hPa. Polje skalarne brzine vjetra prikazano je bojama s odgovarajućim skalama, ovisno o rasponu brzine za pojedini klaster. Vektori vjetra naznačeni su strelicama.

Dodatak C

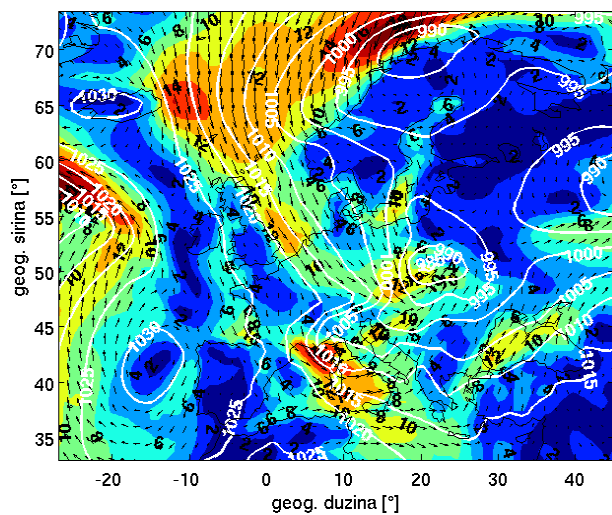
00 UTC 19.11.2004.



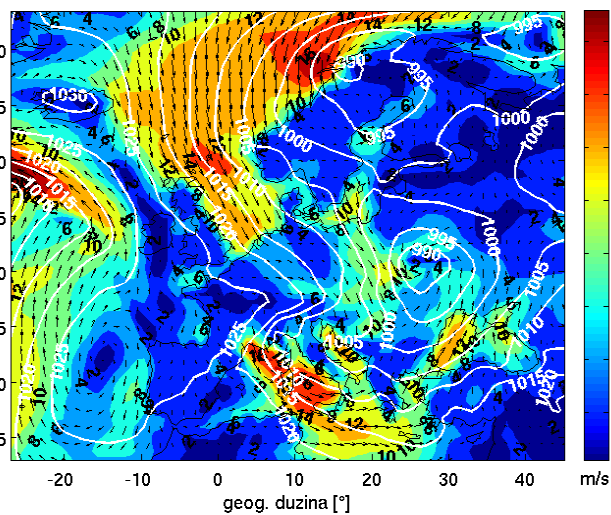
06 UTC 19.11.2004.



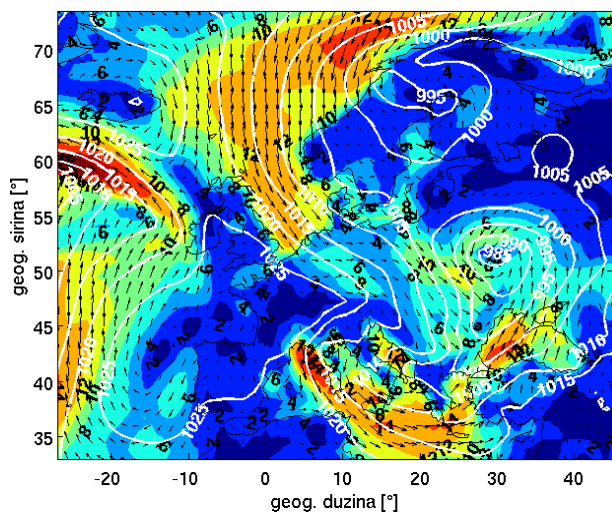
12 UTC 19.11.2004.



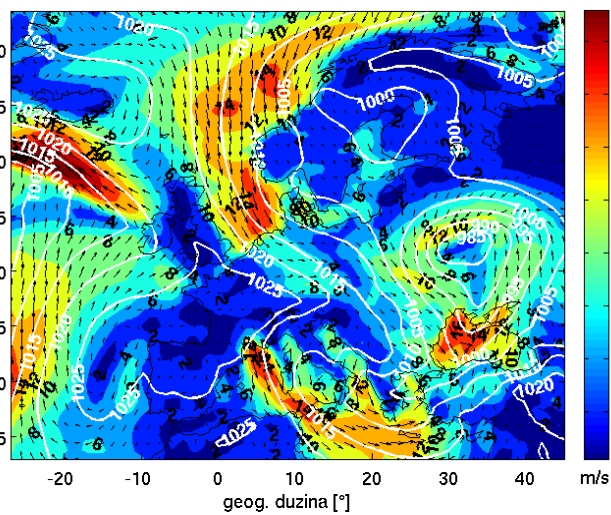
18 UTC 19.11.2004.

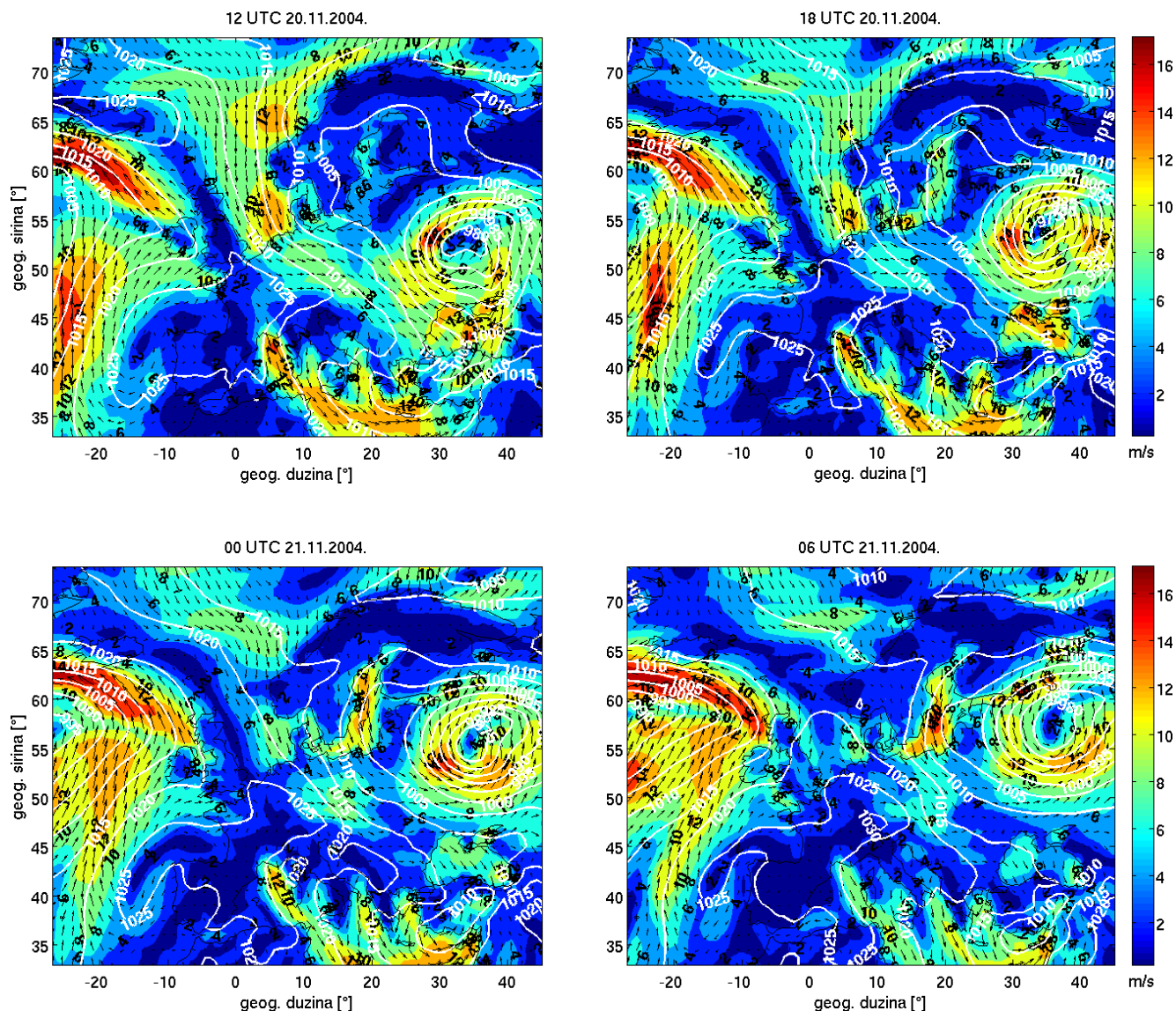


00 UTC 20.11.2004.

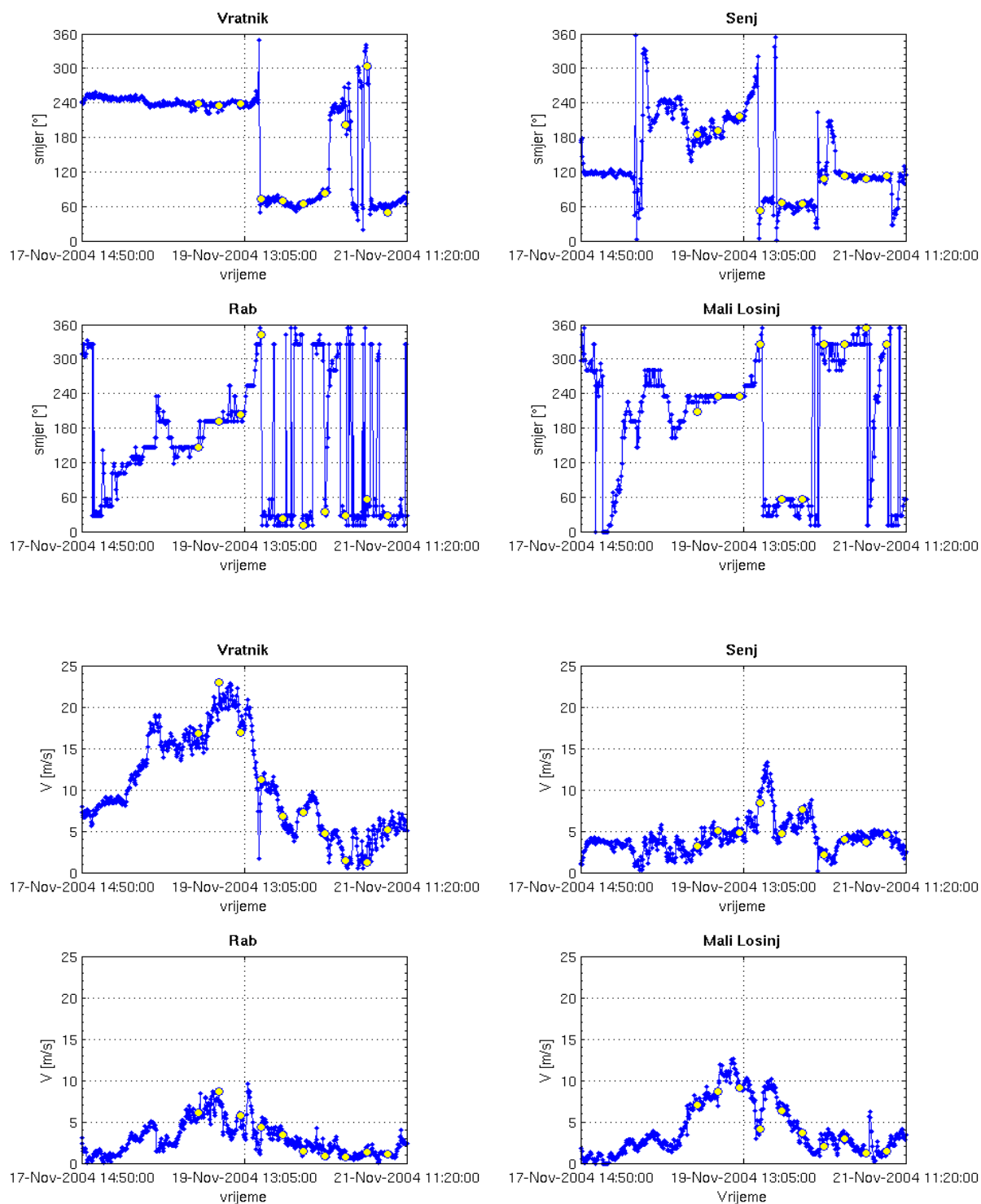


06 UTC 20.11.2004.



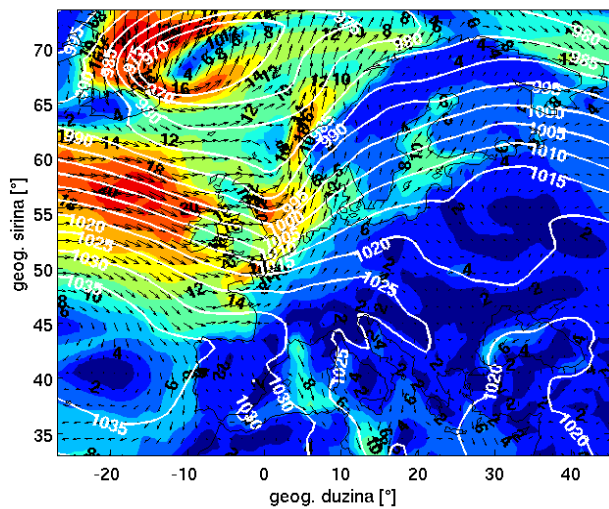


Slika C1. Prizemne sinoptičke situacije za dio epizode s promjenjivim režimom strujanja (18 UTC 17.11.2004. – 12 UTC 21.11.2004.), dane u intervalima od 6 sati. Tlak zraka na srednjoj razini mora izražen je u hPa, a odgovarajuće izolije prikazane su bijelom bojom, svakih 5 hPa. Polje skalarne brzine vjetra prikazano je bojama te jednakom skalom za sve termine. Vektori vjetra naznačeni su strelicama. Situacije redom odgovaraju sljedećim klasterima: 5-5-5-7-1-1-4-2-2-4.

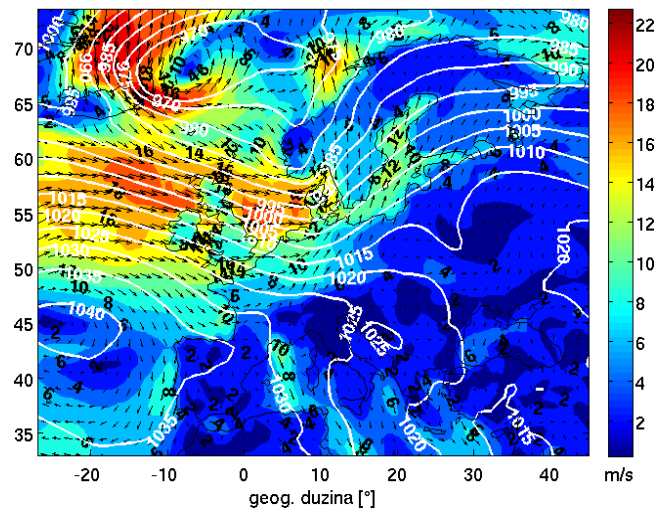


Slika C2. Vremenski nizovi smjera (gore) i skalarne brzine vjetra (dolje) na četiri postaje, za epizodu s promjenjivim režimom strujanja koja odgovara onoj na Slici C1. Vrijeme je dato u UTC. Žute točke odgovaraju terminima sa Slike C1.

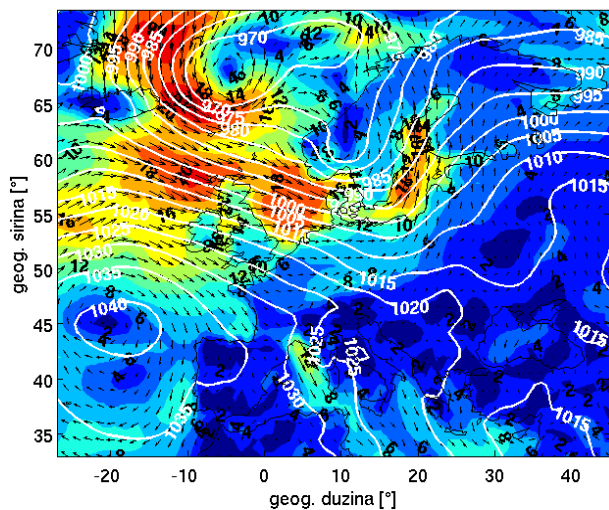
18 UTC 01.01.2005.



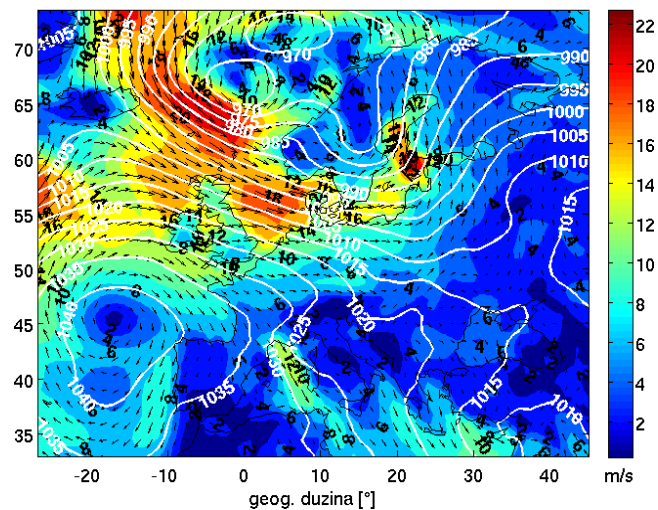
00 UTC 02.01.2005.



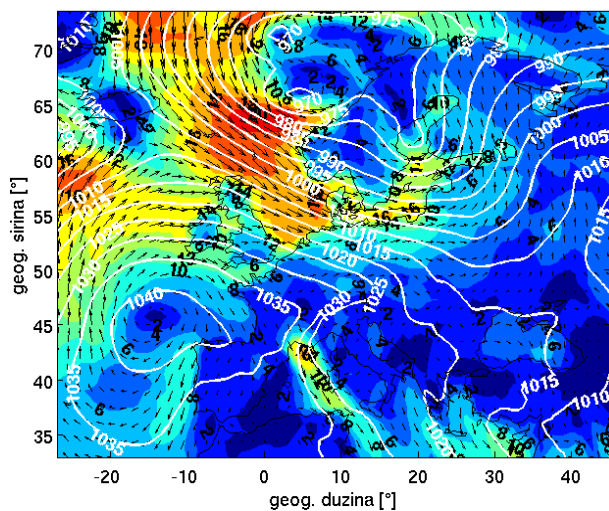
06 UTC 02.01.2005.



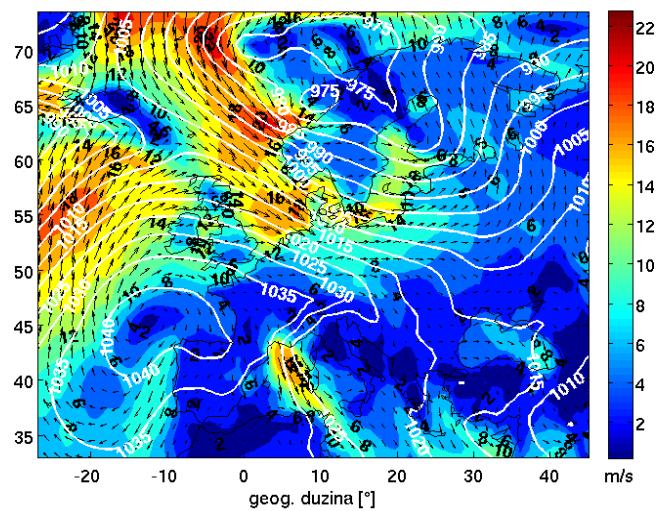
12 UTC 02.01.2005.

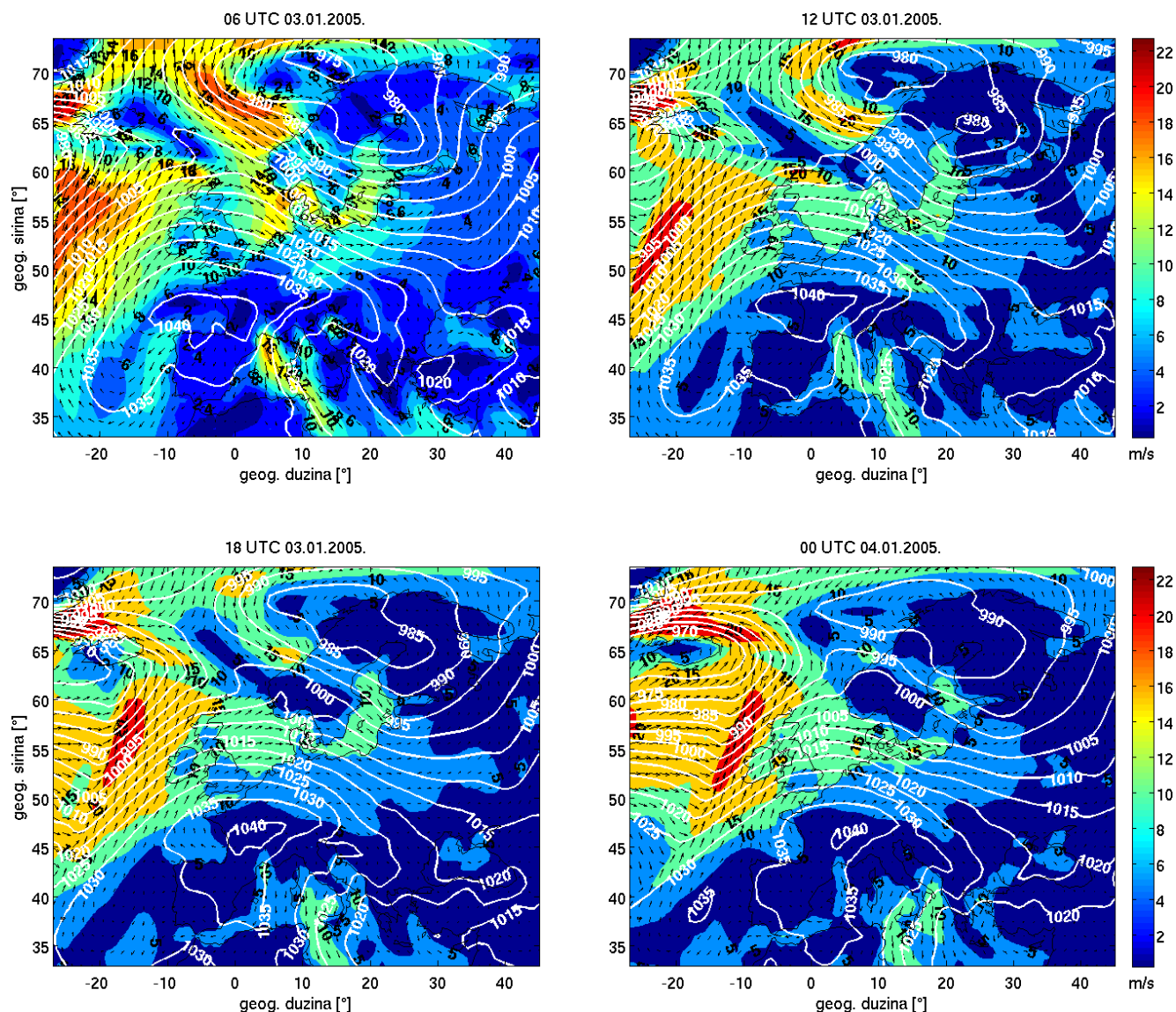


18 UTC 02.01.2005.

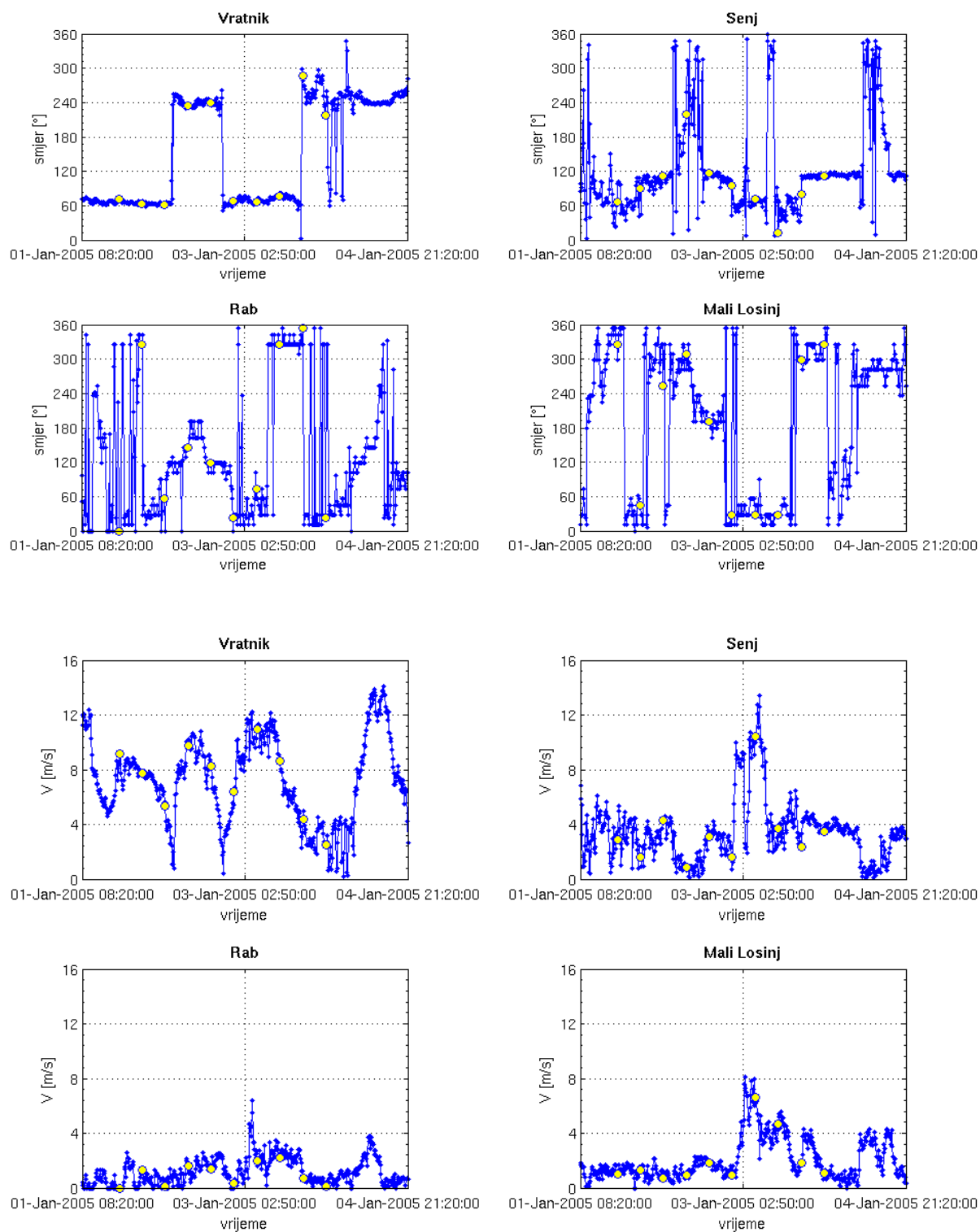


00 UTC 03.01.2005.



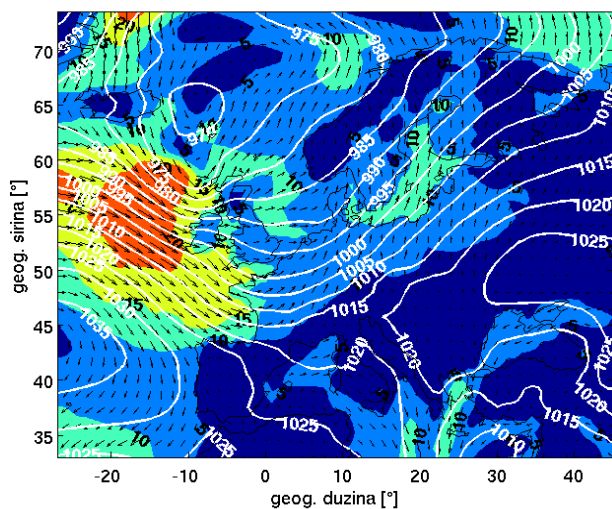


Slika C3. Prizemne sinoptičke situacije za dio epizode s promjenjivim režimom strujanja (06 UTC 01.01.2005. – 00 UTC 05.01.2005.), dane u intervalima od 6 sati. Tlak zraka na srednjoj razini mora izražen je u hPa, a odgovarajuće izolije prikazane su bijelom bojom, svakih 5 hPa. Polje skalarne brzine vjetra prikazano je bojama te jednakom skalom za sve termine. Vektori vjetra naznačeni su strelicama. Situacije redom odgovaraju sljedećim klasterima: 4-4-4-2-2-1-1-4-4-2-2.

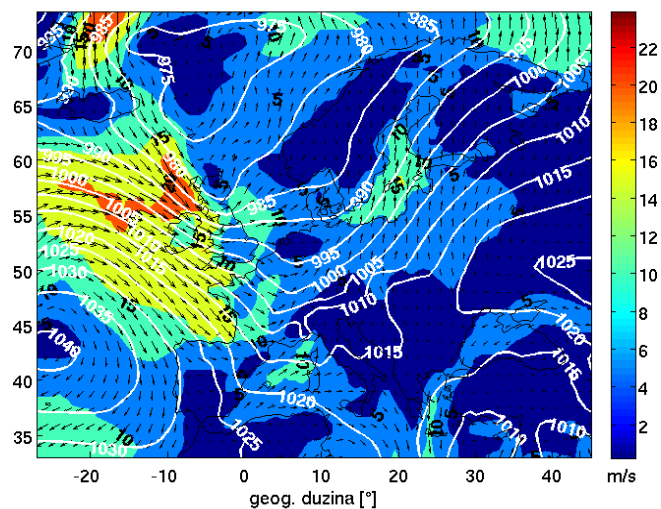


Slika C4. Vremenski nizovi smjera (gore) i skalarne brzine vjetra (dolje) na četiri postaje, za epizodu s promjenjivim režimom strujanja koja odgovara onoj na Slici C3. Vrijeme je dano u UTC. Žute točke odgovaraju terminima sa Slike C3.

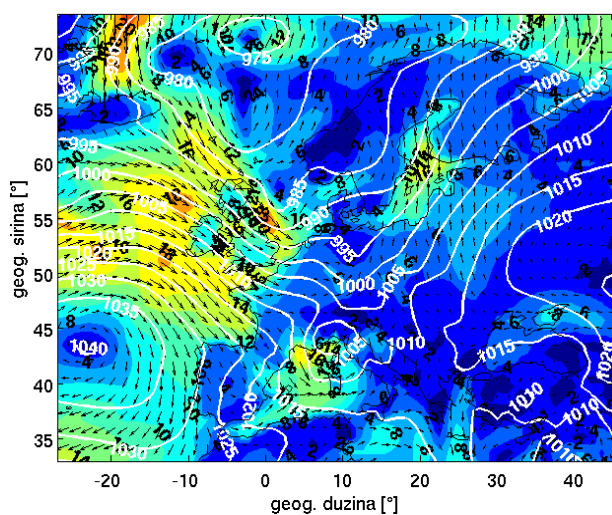
06 UTC 18.01.2005.



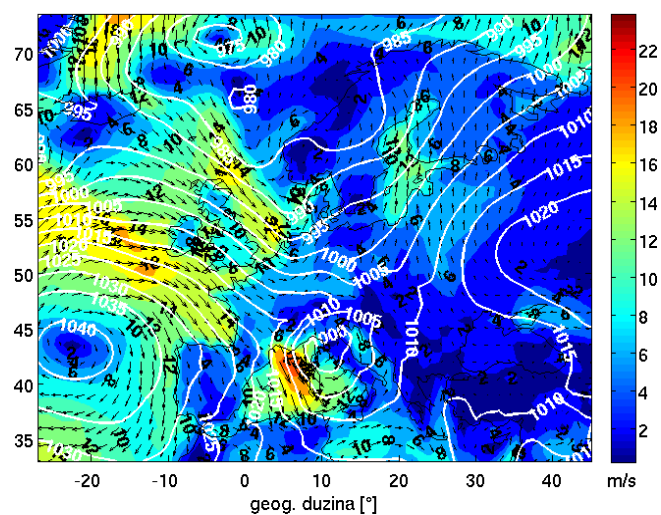
12 UTC 18.01.2005.



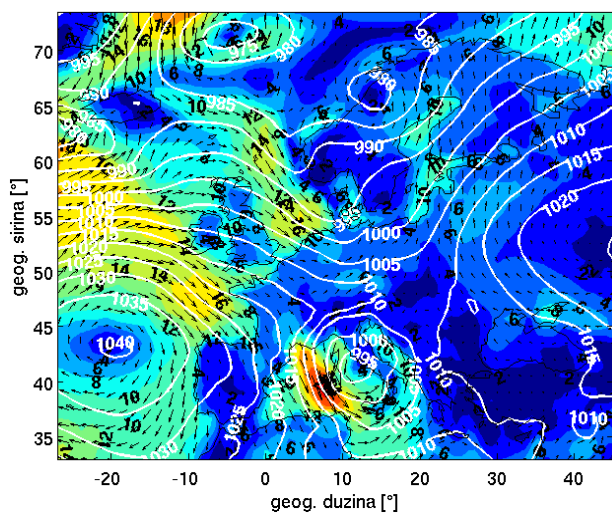
18 UTC 18.01.2005.



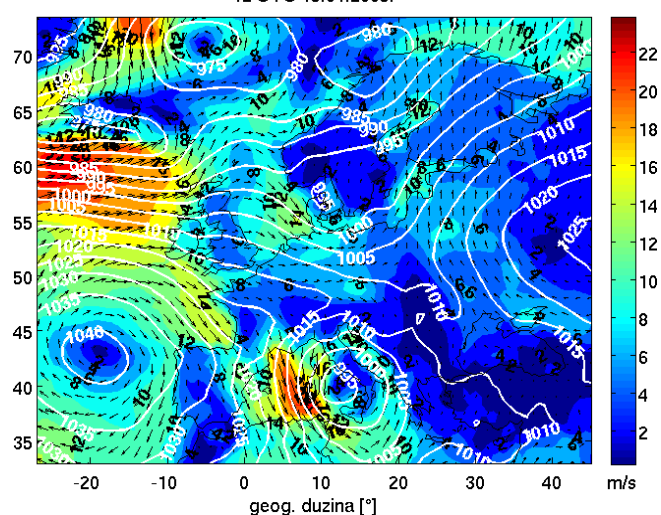
00 UTC 19.01.2005.

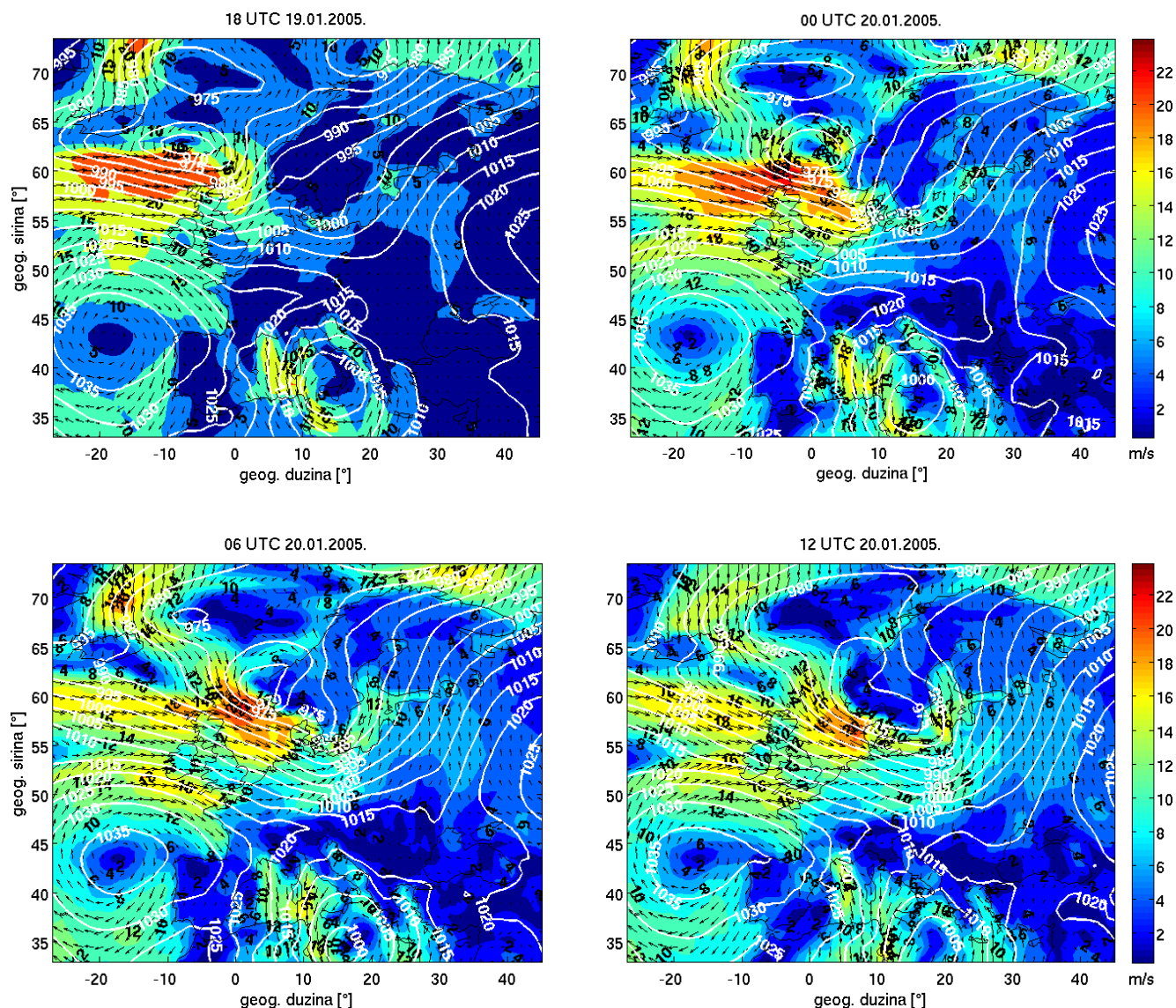


06 UTC 19.01.2005.

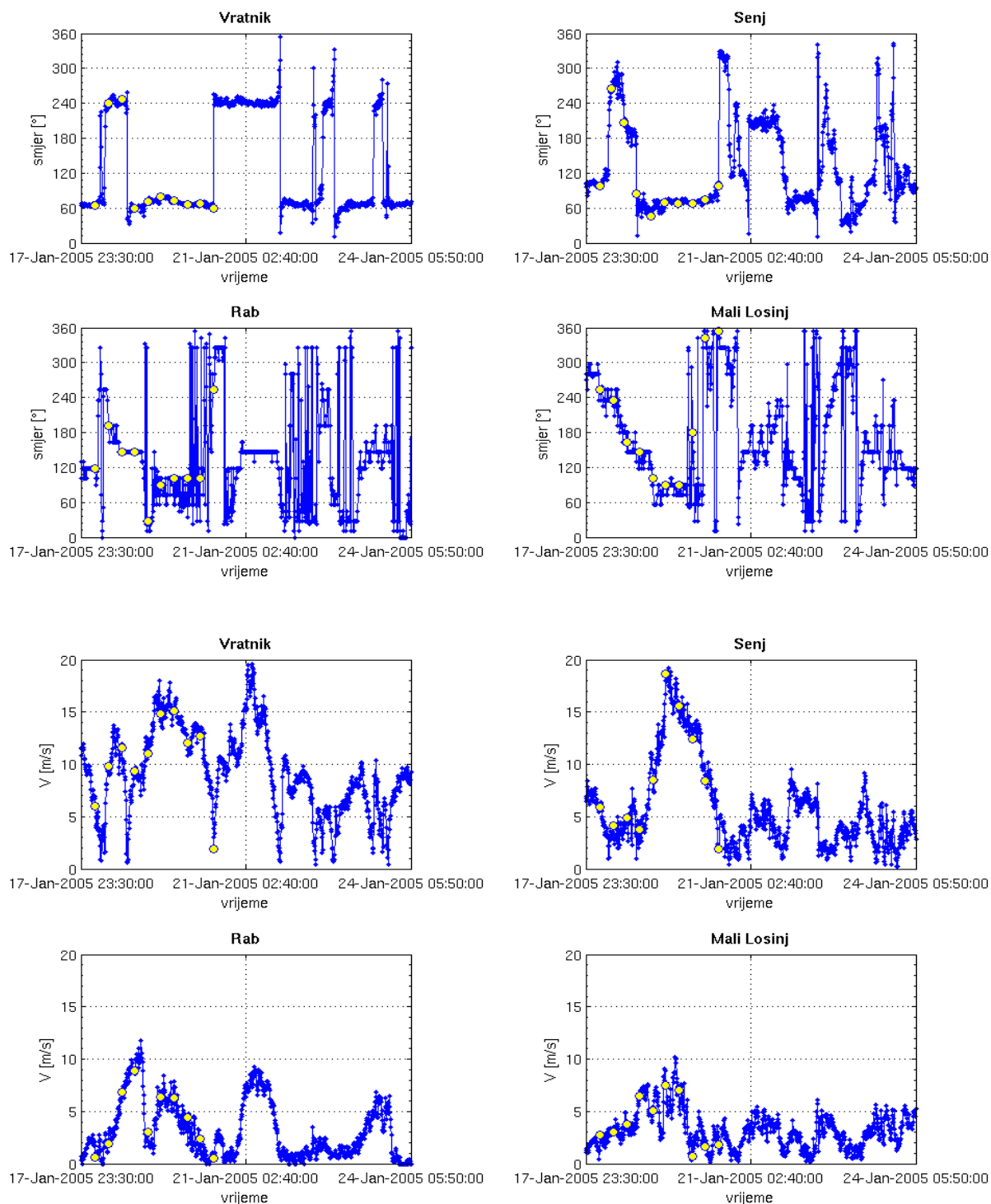


12 UTC 19.01.2005.



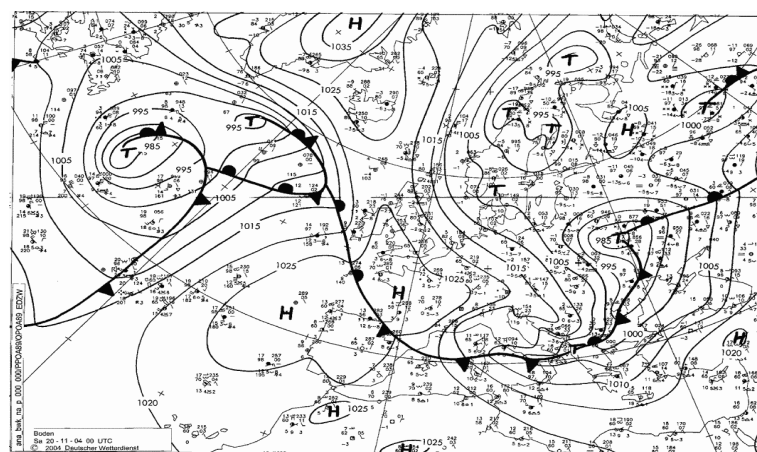
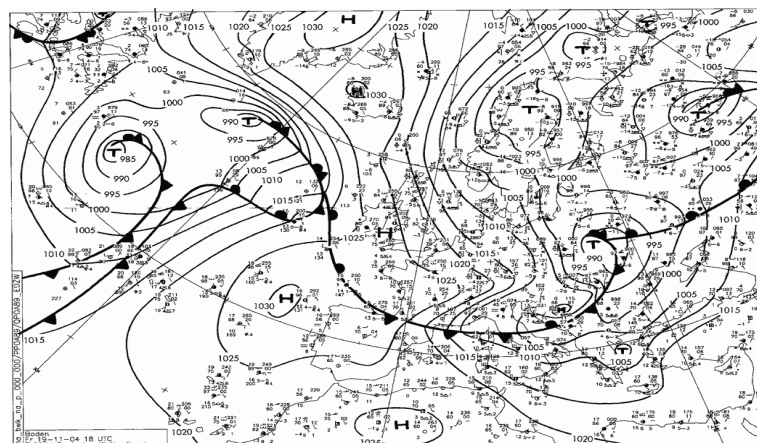
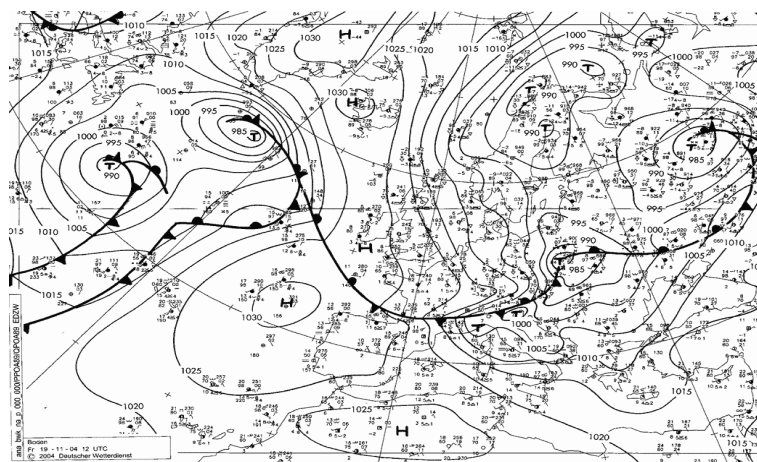


Slika C5. Prizemne sinoptičke situacije za dio epizode s promjenjivim režimom strujanja (18 UTC 17.01.2005. – 06 UTC 24.01.2005.) dane u intervalima od 6 sati. Tlak zraka na srednjoj razini mora izražen je u hPa, a odgovarajuće izolinije prikazane su bijelom bojom, svakih 5 hPa. Polje skalarane brzine vjetra prikazano je bojama te jednakom skalom za sve termine. Vektori vjetra naznačeni su strelicama. Situacije redom odgovaraju sljedećim klasterima: 4-5-5-8-1-3-3-6-1-2.

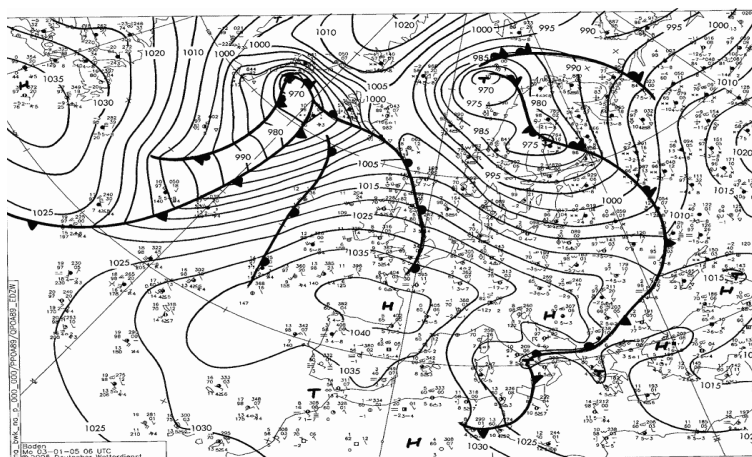
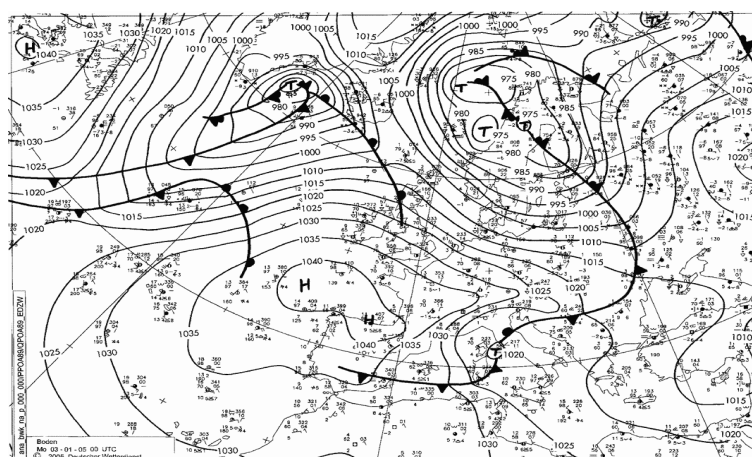
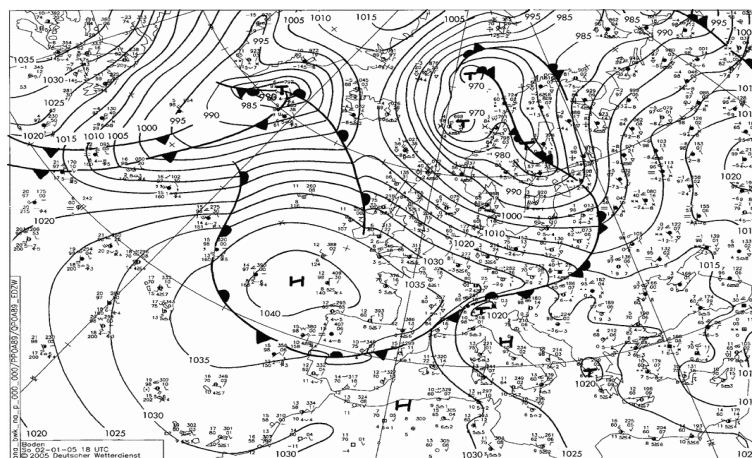


Slika C6. Vremenski nizovi smjera (gore) i skalarne brzine vjetra (dolje) na četiri postaje, za epizodu s promjenjivim režimom strujanja koja odgovara onoj na Slici C5. Vrijeme je dato u UTC. Žute točke odgovaraju terminima sa Slike C5.

Dodatak D



Slika D1. Prizemne sinoptičke karte za 12 i 18 UTC 19.11.2004. te 00 UTC 20.11.2004. Slike su preuzete s internetske stranice http://www.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html.



Slika D2. Prizemne sinoptičke karte za 18 UTC 02.01.2005. te 00 i 06 UTC 03.01.2005. Slike su preuzete s internetske stranice http://www.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html.