

KLIMATŠKE OSOBINE DONJE GRANE CIRKULACIJSKIH ČELIJA DUŽ ISTOČNE OBALE JADRANA

Climate characteristics of the lower branch of circulation cells along the east coast of the Adriatic Sea

TANJA TROŠIĆ

Institut "Ruđer Bošković"

Zavod za istraživanje mora i zaštitu morskog okoliša,
Bijenička cesta 54, 10 002 Zagreb, Hrvatska
trosic@irb.hr

Predano 19. lipnja 2002, u konačnom obliku 5. veljače 2003.

Sažetak: Na osnovi raspoloživih meteoroloških podataka opisane su karakteristike obalne cirkulacije donje grane cirkulacijskih ćelija duž istočne obale Jadrana. Nakon analize svih podataka i strogog odabira dana s neporemećenom obalnom cirkulacijom hodografi vektora vjetera ukazuju na velik utjecaj uskih lokalnih efekata na baroklini dio lokalne obalne cirkulacije. Unatoč lokalnim razlikama zmorac počinje između 7 i 9 sati, a prestaje između 19 i 21 sata duž cijele obale, a zatišja traju 30 minuta do 1 sat.

Zatišja zmorca (stanje barotropnosti), u neporemećenoj situaciji, ujutro često nastupaju prije izjednačenja temperature površine mora i temperature zraka, jer temperatura na termometru u termometrijskoj kućici kasni za temperaturom tla zbog turbulencije kojoj treba vremena za prijenos topline od tla do termometra. Navečer zatišja nastupaju kasnije jer zmorac uspije ohladiti zrak iznad tla (i termometar) prije nastupa večernje barotropnosti.

Klimatske analize dnevnih hodova brzine vjetera, temperature zraka i mora za Opatiju, Zadar, Split i Dubrovnik pokazuju da se srednja temperatura površine mora u većini ljetnih situacija sa zmorcem (kopnenjakom) poklapa s infleksijskim dijelovima krivulje dnevnog hoda temperature zraka u vrijeme barotropnog stanja.

Ključne riječi: barotropnost, baroklinost, obalna cirkulacija, Jadran

Abstract: The characteristics of coastal circulation of the lower branch of circulation cells on the east coast of the Adriatic Sea are described on the basis of the available meteorological data. After analysing all data and after a strict selection of days with undisturbed coastal circulation, the wind vector hodographs indicate a large influence of near local effects on the barocline part of the local coastal circulation.

In spite of local differences, the sea breeze begins between 7 and 9 o'clock a.m., and stops between 7 and 9 o'clock p.m. along the entire coast, and the sea breeze lulls last from 30 minutes to 1 hour.

Sea breeze lulls (barotropic states), in an undisturbed situation, in the morning often occur before the equalization of sea and air temperature, because the temperature on the thermometer in the screen is behind the land temperature because of the turbulence which needs time for heat transfer from the ground to the thermometer. In the evening, the lulls occur later because the sea breeze gets on to cool the air over the land (and the thermometer) before the beginning of the evening barotropy.

The climate analysis of the diurnal change of wind velocity, air temperature and sea surface temperature for Opatija, Zadar, Split and Dubrovnik indicates that the average sea surface temperature in most summer situations with sea breeze (land breeze) coincides with the inflectional parts of the diurnal course of air temperature during barotropic states.

Key words: barotropy, baroclinity, coastal circulation, Adriatic Sea

1. UVOD

Zmorac i kopnenjak dio su vertikalne obalne cirkulacijske ćelije, koja se razvija uslijed diferencijalnog zagrijavanja kopna i mora. Puhanje zmorca ili kopnenjaka rezultat je postojanja solenoida, dok zatišja prilikom njihove izmjene pripadaju barotropnom stanju. Barotropno stanje uz horizontalnu izotermiju može nastati u slobodnoj atmosferi, pa se koristi za izradu najjednostavnijih atmosferskih modela (Holton, 1992).

U donjoj troposferi, posebno u njenom graničnom sloju, utjecaj tla toliko je jak i varijabilan prostorno i vremenski, da je tu atmosfera stalno baroklina. Pa ipak, postoje slučajevi kratkotrajne pojave barotropnosti u obalnim vertikalnim cirkulacijskim ćelijama različitih dimenzija – u vrijeme kada se mijenja smjer cirkulacije.

Kad su temperature mora i kopna približno jednake, izobarne i izosterne plohe međusobno su paralelne, i takvo se stanje naziva barotropnost. Kad je nad kopnom topliji zrak izobarne i izosterne plohe se različito naginju, te presijecanjem tvore solenoide. Za razliku od barotropnosti, takvo je stanje nestabilno i baroklino.

Čim se plohe počnu presijecati pokušavaju se iz neravnotežnog stanja vratiti u ravnotežno i neporemećeno stanje i počinje strujanje zraka.

Zbog porasta topline tla u jutarnjim satima zrak se počinje dizati (konvekcija nad toplim kopnom). Zrak koji se diže počinje se gomilati na visinama 500–1000 m. Tu se izobarne plohe drugačije naginju, te se uz pojavu zmorca pri tlu javlja suprotna struja od kopna prema moru. Iznad mora zrak se dalje lagano spušta nadoknađujući gubitak u prizemnom sloju nastao zbog zmorca, te se dobiva kružno strujanje. Tako se zatvara cirkulacijska ćelija. Noću se kopno brže hladi od mora i razvija se cirkulacija suprotnog smjera. Kratki periodi zatišja tijekom izmjene smjera vertikalne cirkulacije označavaju barotropno stanje bez solenoida. Lokalna barotropnost može se uočiti samo uz slabe sinoptičke gradijente tlaka, jer tada dolaze do izražaja lokalna prostorna razdioba tlaka i temperatura. Taj je moment u modelima obalne cirkulacije zraka istraživan i obrađen najslabije.

Osobinama zmorca i obalne cirkulacije na području Hrvatske bavilo se više autora. U radu Orlić, Penzar i Penzar (1988) razmatra se rotacijski spektar na šest postaja duž jadranske obale. Zmorac skreće u pravilu u smjeru kazaljke na satu, ali zbog topografije u Senju to nije slučaj. Vanjaka (1995) je u svom diplomskom radu proučavala rotaciju obalne cirkulacije na Jadranu, potvrdivši rezultate Lukšića (1989) i rad Penzar, Penzar i Orlić (1988) o atipičnom skretanju vjetra (obrnuto od smjera kazaljke na satu) u Senju.

Među svim tim radovima izdvajaju se oni Lukšića (1989, 1995, 1996) i Marića (1998), koji su jedini u nas dali kriterije za odabir dana sa zmorcem:

a) Lukšić (1989) analizira vjetar u Senju u odabranim danima s prilikama povoljnima za razvoj obalne cirkulacije kada postoji veći utjecaj danjeg zagrijavanja i noćnog hlađenja, a što manji utjecaj bure i sinoptičkih poremećaja. Koristi podatke o trajanju insolacije, naoblaci, satnim brzinama vjetra i dnevnom hodu tlaka. U radovima kada proučava zmorac i kopnenjak na Kornatima (1995) i u Goveđarima na otoku Mljetu (1996), kao dani sa zmorcem odabrani su dani s relativno malom naoblakom, slabijom jačinom vjetra i slabijim gradijentom tlaka zraka. Lukšić se služio statističkim kriterijima za izdvajanje dana sa zmorcem. Sve karakteristike obalne cirkulacije opisivane su na osnovu mjerenja u klimatskim terminima (7 h, 14 h, 21 h).

b) Marić (1998) definira kinematičko-termičke kriterije za proučavanje osobina zmorca u Šibeniku kada je utjecaj sinoptičkih i mezoskalnih procesa minimalan. Oni zahtijevaju poznavanje satnih brzina i smjerova vjetra i dnevnog hoda temperature zraka. Glavni nedostatak tih kriterija jest u tome što fizikalne pretpostavke nisu mogle biti potvrđene bez satnih temperatura površine mora. Mnogi dosadašnji radovi koji su se bavili zmorcem opisuju karakteristike obalne cirkulacije na osnovu raspoloživih meteoroloških podataka (smjer i brzina vjetra, temperatura zraka, tlak zraka i dr.), ali bez korištenja satnih vrijednosti temperature mora.

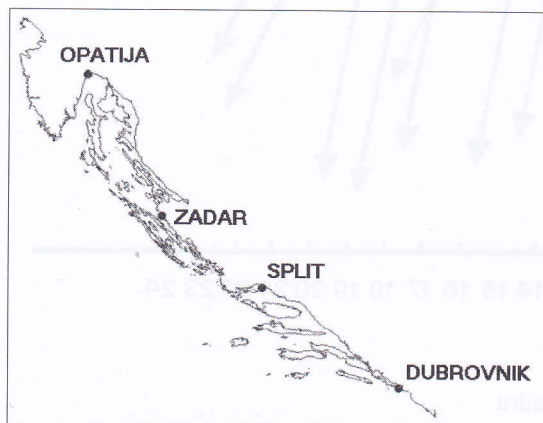
I inozemni autori, kao npr. Borne, Chen i Nunez (1998) određuju dane sa zmorcem na osnovu raspoloživih meteoroloških podataka (smjer i

brzina vjetra, temperatura zraka, tlak zraka i dr.), ali bez korištenja satnih vrijednosti temperature mora.

Ovaj rad proširuje dosadašnja istraživanja jer koristi satne vrijednosti temperature mora u ocjeni dana s pojavom zmorca. Usporedbom temperature zraka, temperature mora i vektora vjetra pokušalo se provjeriti fizikalni model obalne cirkulacije pomoću empirijskih podataka.

2. PODACI I METODA ANALIZE

Raspoloživi podaci bili su satne vrijednosti temperature zraka (t_z), temperature mora (t_m), te smjera i brzine vjetra sa slijedećih meteoroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda: Opatija ($\varphi=45^{\circ}20'N$, $\lambda=14^{\circ}19'E$), Zadar ($\varphi=44^{\circ}08'N$, $\lambda=15^{\circ}13'E$), Split ($\varphi=43^{\circ}31'N$, $\lambda=16^{\circ}26'E$) i Dubrovnik ($\varphi=42^{\circ}39'N$, $\lambda=18^{\circ}05'E$). Položaje postaja prikazuje slika 1. Mjerenja su uglavnom od travnja do rujna, i to za Opatiju u razdoblju 1997–2000., za Zadar 1996–2000., za Split 1999–2000. i za Dubrovnik 1998–2000.



Slika 1. Položaj meteoroloških postaja

Figure 1. Location of meteorological stations

Satne vrijednosti vjetra, temperature zraka i temperature mora s postaja Opatija, Zadar i Dubrovnik dobivene su pomoću automatskih meteoroloških postaja.

S postaje Split-Marjan satne vrijednosti vjetra dobivene su obradom anemograma s Fuessova anemografa, temperature zraka obradom termograma dobivenih Lambrechtovim termografom

uz korekciju podataka iz terminskih mjerenja pomoću običnog termometra, dok su temperature mora s automatske meteorološke i oceanografske postaje instalirane na Puntir Jurana (rt Marjan) Instituta za oceanografiju i ribarstvo iz Splita.

2.1. Prikaz kompletnog fizikalnog kriterija

U svrhu izdvajanja najpouzdanijih dana s razvijenom obalnom cirkulacijom korišteni su kriteriji utemeljeni na termodinamičkim zakonima fizike, odnosno na Bjerknessovu cirkulacijskom teoremu (Holton, 1992.).

Tijekom dana kopno je toplije od površine mora, a tijekom noći more je toplije od kopna jer se sporije hladi. Time je danju temperatura površine mora $t_m < t_z$ temperature površine kopna, odnosno zraka uz tlo. Izobarne se plohe nagnju, nad obalnim se područjem javljaju solenoidi, a atmosfera postaje baroklina i nestabilna. Tada počinje puhati zmorac.

Tijekom noći nagib ploha suprotan je budući da je $t_m > t_z$ i cirkulacija mijenja smjer, međutim slabijeg je intenziteta jer su te razlike manje. Tada puše kopnenjak.

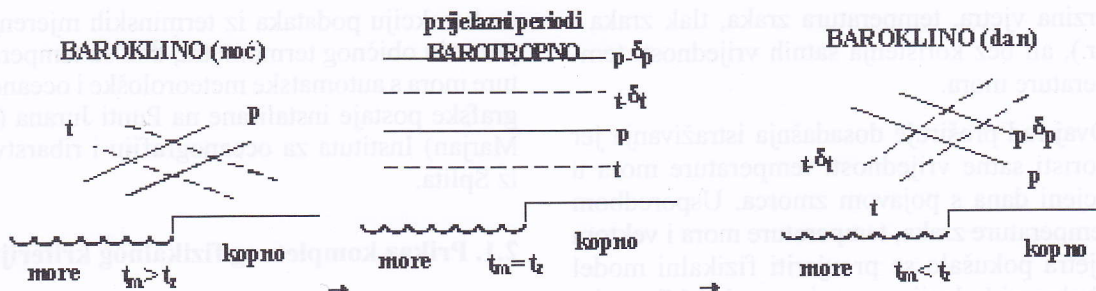
U prijelaznim periodima kada su izotermne i izobarne plohe paralelne nastupa barotropnost atmosfere. Barotropnost se može uočiti samo uz slabe sinoptičke gradijente tlaka, jer tada dolaze do izražaja lokalna prostorna razdioba tlaka i temperature. U tim kratkim periodima $t_m = t_z$, a strujanje zraka vrlo je slabo.

Smjena baroklinih i barotropnih stanja tijekom dana prikazana je na slici 2.

Obrada podataka odvijala se sljedećim koracima:

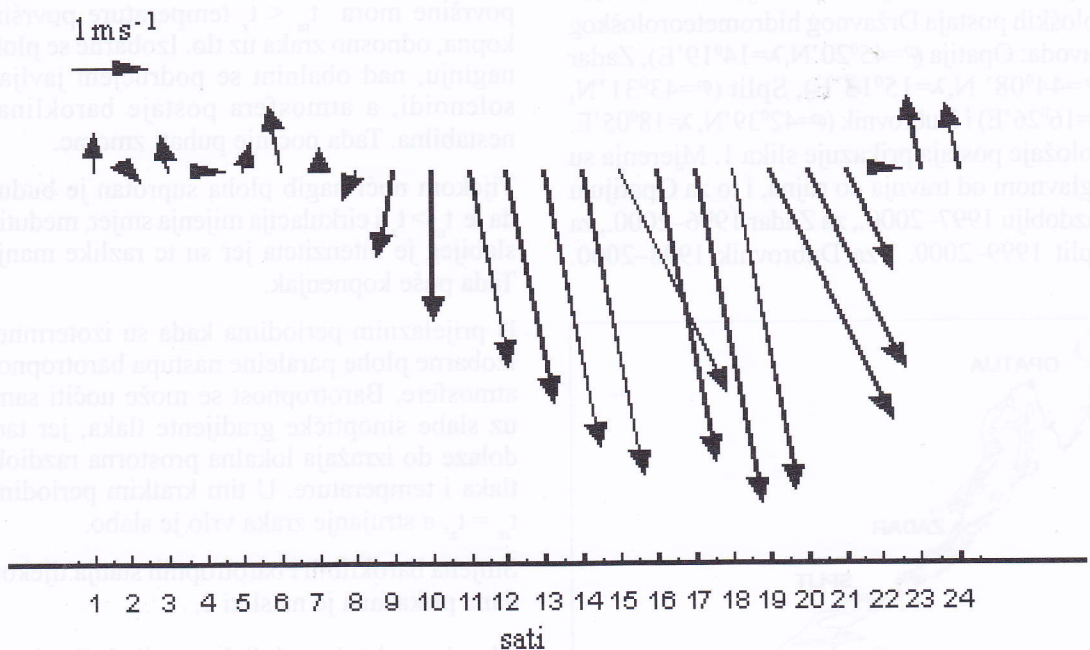
a) Prvo su iz satnih vrijednosti smjera i brzine vjetra izdvojeni dani s vidljivom promjenom od smjera zmorca na smjer kopnenjaka uz pojavu zatišja u jutarnjim i večernjim periodima promjene smjera (sl. 3)

b) Zatim su analizirani dnevni hodovi temperature zraka i temperature površine mora. Izdvojeni su dani s razvijenom obalnom cirkulacijom kada je temperatura mora približno jednaka temperaturi zraka za vrijeme zatišja (brzina $< 0.9 \text{ ms}^{-1}$) ili slabog strujanja zraka (Marić, 1998 – kinematički kriterij). Pritom je večernja temperatura zraka obično bila viša od jutarnje zbog zagrijavanja mora tijekom dana. Odabrani



Slika 2. Shematski prikaz baroklinih i barotropnih stanja uz obalu (t_m – temperatura površine mora, t_z – prizemna temperatura zraka, p – tlak zraka)

Figure 2. A scheme of baroclinic and barotropic states along the coast (t_m – sea surface temperature, t_z – near-ground air temperature, p – air pressure)



Slika 3. Promjena vektora vjetra na dan 15. 9. 2000. u Zadru

Figure 3. Change of the wind vector on 15 September 2000 in Zadar

su dani kad razlika večernje i jutarnje temperature zraka za vrijeme zatišja nije bila veća od 1°C.

Najbrži porast temperature zraka (infleksija krivulje dnevnog hoda) jest upravo za vrijeme zatišja budući da tada nema dovoljno jakog strujanja koje bi miješanjem zraka usporilo njen rast. Nakon jutarnjeg zatišja temperatura zraka usporeno se povećava zbog utjecaja zmorca koji nosi nešto hladniji zrak s mora.

Između tako određenih dana sa zmorcem izdvojeni su oni koji su zadovoljavali preduvjet bezgradijentnog polja tlaka zraka i slabog geostrofičkog vjetra. To je provedeno pregledom sinoptičkih karata iz izvješća Njemačke meteorološke službe (Europäischer Wetterbericht 1996–2000.). Pregledane su prizemna karta i visinske karte AT850 i AT700 u 12 UTC. Međutim, za nastanak neporemećene obalne cirkulacije zraka nisu jedini preduvjet bezgradijentno polje tlaka i slab geostrofički vjetar,

jer tada mogu nastati mezoskalne ljetne oluje ili mezociklone iznad Jadrana koje se ne vide na sinoptičkim kartama. Zbog toga su pregledana klimatološka izvješća o naoblaci u 12 UTC za postaje Rijeka, Zadar, Split i Dubrovnik i iz daljnje analize izuzeti su dani s oblačnim nebom, jer oblaci umanjuju dozračenu energiju Sunčevog zračenja koja je glavni pokretač obalne cirkulacije.

3. REZULTATI

3.1. Statistika obrađenih dana po mjestima

Uz pomoć spomenutih kriterija određeni su dani s neporemećenom obalnom cirkulacijom zraka

oriju obalne cirkulacije zraka. Zbog toga moment nastupa $t_m = t_z$ često kasni iza pojave tišine ujutro, odnosno nastupa ranije navečer.

3.2. Lokalni hodografi za dane s NOCZ

Obrada podataka pokazuje da topografski položaj postaje, kopneno zaleđe, zaljev, otoci i kanali utječu na neporemećenu obalnu cirkulaciju zraka.

Za sve dane s NOCZ napravljena je vektorska analiza vjetra, odnosno promjena smjera i brzine vjetra tijekom dana, i prikazana pomoću vektorskog srednjaka svakog sata tijekom dana (sl. 4–7). Kružnicama su označene brzine vje-

Tablica 1. Pregled smjerova povoljnih za zmorac, odnosno kopnenjak za četiri grada duž obale

Table 1. Review of directions for sea breeze and land breeze for four towns along the coast

Postaja	Geog. šir. (φ)	Geog. duljina (λ)	Nadm. visina (H) (m)	Smjer more-kopno	Smjer kopno-more	Idealni smjer zmorca	Idealni smjer kopnenjaka
Opatija	45° 20' N	14° 19' E	5	15–195°	195–15°	105°	285°
Zadar	44° 08' N	15° 13' E	5	140–320°	320–140°	230°	50°
Split	43° 31' N	16° 26' E	122	130–310°	310–130°	220°	40°
Dubrovnik	42° 39' N	18° 05' E	52	125–305°	305–125°	215°	35°

(NOCZ). Najveći broj dana s NOCZ (tab. 2.) bio je u Opatiji (19.4%), a najmanji u Splitu (2.5%) s obzirom na broj dana sa svim podacima (satne vrijednosti temperatura mora, temperatura zraka i smjera i brzine vjetra). Pritom zmorac i kopnenjak najčešće odstupaju svojim smjerom od okomice na obalnu crtu zbog lokalne topografije (tab. 1).

Sve ostale situacije, kojih je mnogo više nego što daje statistika u tablici 2. i koje se također tretiraju kao zmorac, sadrže i utjecaje mezoskalnih advekcija različitog intenziteta i smjera, koje nisu uočljive bez preciznih mjerenja u točkama guste mreže, ali se ipak odražavaju na poremećajima obalne cirkulacije.

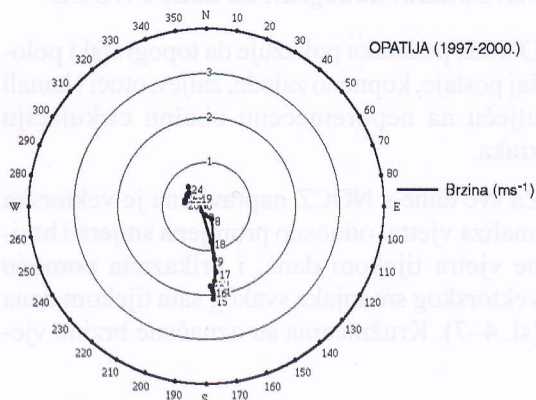
Na kraju treba naglasiti da se u ovom istraživanju koristila temperatura zraka mjerena na visini 2 m iznad tla (u Splitu čak 6 m iznad tla), a ne temperatura površine tla, koja ulazi u te-

Tablica 2. Broj dana s neporemećenom obalnom cirkulacijom zraka (travanj do rujna)

Table 2. Number of days with undisturbed coastal circulation of air (April to September)

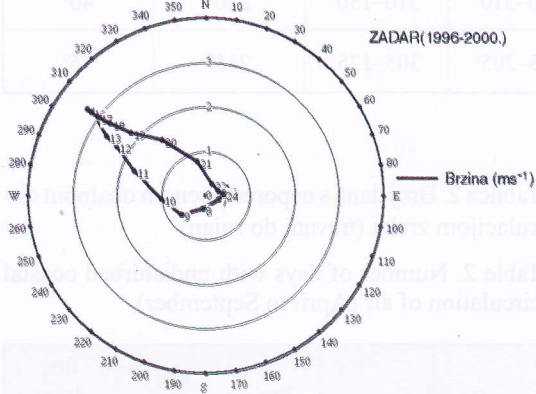
Postaja	Razdoblje	Broj dana sa svim podacima	Broj dana s neporem. obalnom cirkulacijom	Broj dana s neporem. obalnom cirkulacijom (%)
Opatija	1997–2000.	232	45	19.4
Zadar	1996–2000.	375	67	17.9
Split	1999–2000.	325	8	2.5
Dubrovnik	1998–2000.	181	17	9.4

tra u ms^{-1} . Krivulja na hodografu prati promjenu smjera (azimut) i brzine (modul) vektorskog srednjaka od 1 do 24 sata.



Slika 4. Hodograf brzine vjetra za dane s neporemećenom obalnom cirkulacijom zraka za Opatiju (mjeseci IV–IX. za 1997–2000.)

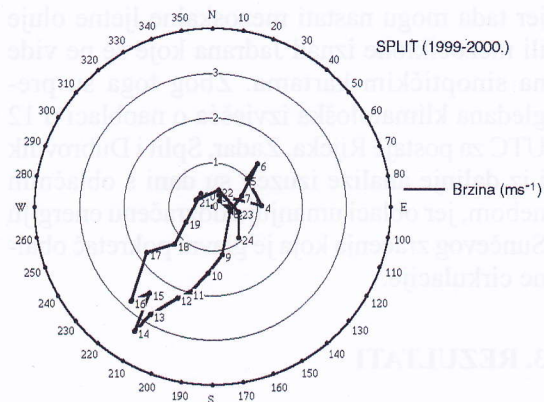
Figure 4. Hodograph of wind speed for days with undisturbed coastal air circulation in Opatija (April to September, 1997–2000.)



Slika 5. Hodograf brzine vjetra za dane s neporemećenom obalnom cirkulacijom zraka za Zadar (IV–IX. za 1996–2000.)

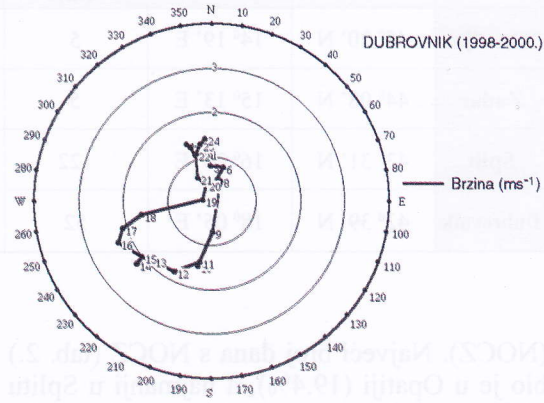
Figure 5. Hodograph of wind speed for days with undisturbed coastal air circulation in Zadar (April to September, 1996–2000.)

Hodografi pokazuju da se obalna cirkulacija zraka na svim postajama ponaša gotovo u skladu s teorijskim postavkama. Zmorac počinje između 7 i 9 sati, a prestaje između 19 i 21 sat.



Slika 6. Hodograf brzine vjetra za dane s neporemećenom obalnom cirkulacijom zraka za Split (V–IX. za 1999–2000.)

Figure 6. Hodograph of wind speed for days with undisturbed coastal air circulation in Split (May, June, August, September, 1999–2000.)



Slika 7. Hodograf brzine vjetra za dane s neporemećenom obalnom cirkulacijom zraka za Dubrovnik (VII–IX. za 1998–2000.)

Figure 7. Hodograph of wind speed for days with undisturbed coastal air circulation in Dubrovnik (July to September, 1998–2000.)

Vektorski smjer obalne cirkulacije prikazuje karakteristično skretanje u smjeru kazaljke na satu tijekom dana osim u Opatiji (sl. 4), gdje zbog konkavnog oblika obalnog područja i utjecaja planinskog masiva Učke u zaleđu (vjerojatno i Velebita) promjena smjera nastupa naglo. U Zadru (sl. 5) vidljivo je cjelodnevno skretanje vjetra u smjeru kazaljke na satu. Skre-

tanje smjera zmorca u Splitu (sl. 6) postupno je u smjeru kazaljke na satu, dok se smjer kopnenjaka znatno i nepravilno mijenja tijekom noći. U Dubrovniku (sl. 7) najbolje se uočavaju dvije karakteristične grane obalne cirkulacije uz zakretanje pod utjecajem Coriolisove sile. U sva četiri lokaliteta znatno je veća grana zmorca s karakterističnim smanjenjem vektorske brzine tijekom prijelaza iz jedne u drugu granu cirkulacije.

Hodografi ukazuju na sate tijekom dana, kada se u klimatskom smislu može očekivati pojava barotropnosti (grupiranje podataka oko centra dijagrama).

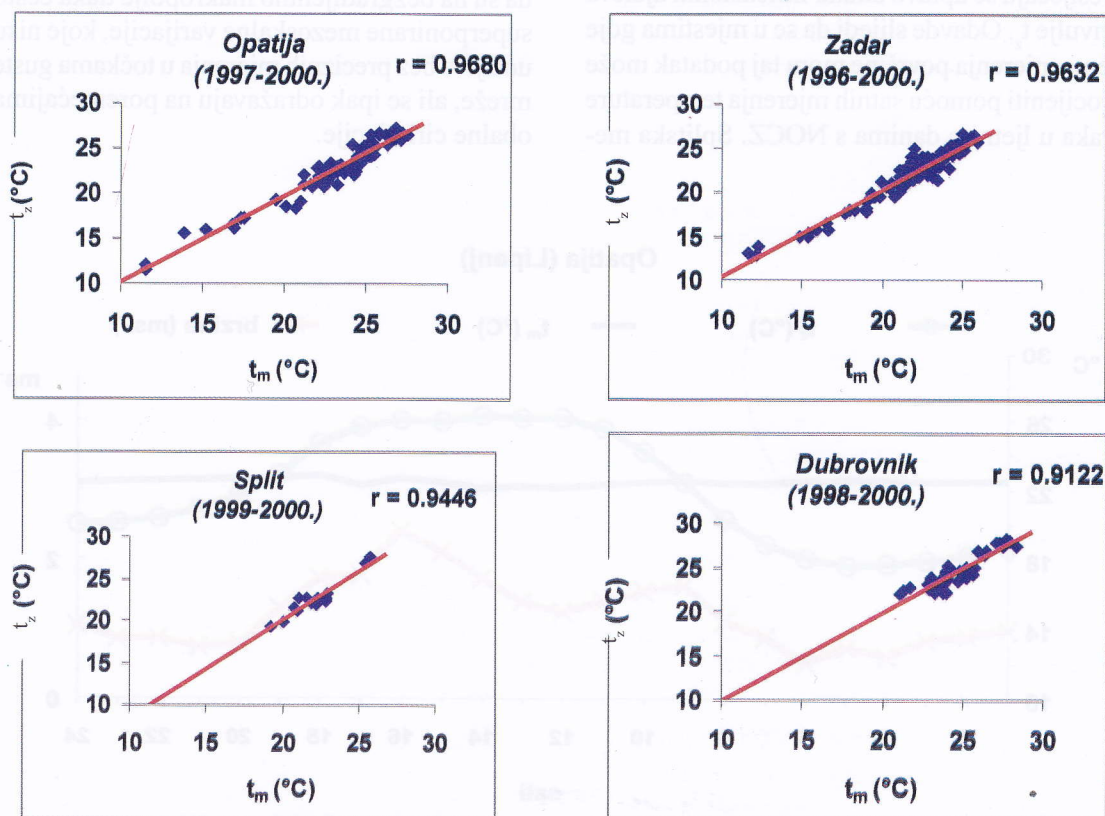
3.3. Usporedba temperature zraka, temperature mora i brzine vjetra

Budući da je razlika u temperaturi kopna i mora glavni pokretač obalne cirkulacije, brzina vjetra povezana je s tom razlikom. Iz simultanih

dnevni hodova temperature zraka i temperature mora i vektora brzine vjeta u ovom se radu pokušala provjeriti teoretska pretpostavka $t_m = t_z$ u vrijeme zatišja zmorca.

Temperatura površine mora ne mijenja se znatno tijekom dana, za razliku od temperature zraka. Teorija obalne cirkulacije uključuje temperature površine mora, t_m i površine kopna (tla). Kako su u radu korištena mjerenja temperature zraka na 2 m visine iznad tla, najvjerojatiji nastup barotropnih stanja ujutro je nešto ranije, a navečer nešto kasnije od momenta kada je $t_m = t_z$. Pritom se zatišja uslijed barotropnosti često nadovezuju na slabo noćno strujanje zraka (slabi kopnenjak).

Za sve dane sa zmorcem za četiri grada (Zadar, Split, Dubrovnik i Opatiju) izračunata je korelacija između satnih vrijednosti temperature mora i zraka u zadnjem satu jutarnjeg i prvom satu večernjeg zatišja (sl. 8).



Slika 8. Korelacija t_m-t_z (°C) u vrijeme zatišja za Opatiju (1997–2000.), Zadar (1996–2000.), Split (1999–2000.) i Dubrovnik (1998–2000.)

Figure 8. Correlation t_m-t_z (°C) during the lull for Opatija (1997–2000.), Zadar (1996–2000.), Split (1999–2000.) and Dubrovnik (1998–2000.)

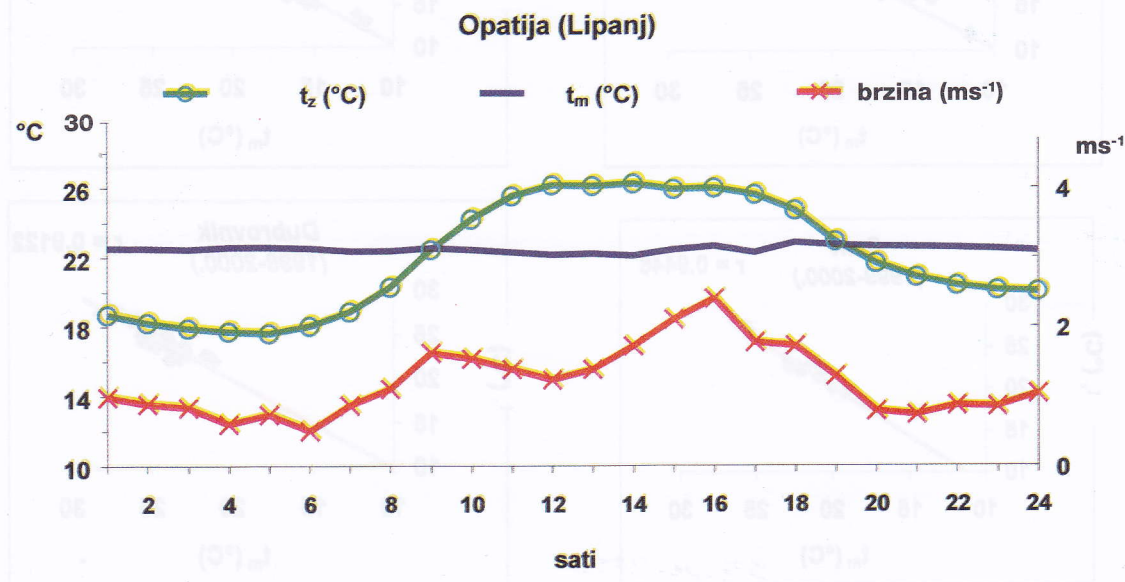
Najbolja je korelacija bila u Opatiji ($r = 0.9680$), gdje je bilo i najviše dana sa zmorcem. Najslabija je korelacija bila u Dubrovniku ($r = 0.9122$), gdje je bilo najmanje podataka. U Splitu su temperature zraka mjerene na 6 m visine, pa je to imalo utjecaja na nešto slabiju korelaciju t_m i t_z ($r = 0.9446$) i na nagib pravca korelacije koji ukazuje na vremensko zaostajanje temperature zraka na 6 m visine iznad tla za temperaturom površine mora. Dobra korelacija u vrijeme zatišja pokazuje povezanost temperature površine mora s temperaturom zraka 2 m iznad tla, odnosno u skladu je s pretpostavkom $t_m = t_z$ tijekom barotropnih stanja u obalnom području (Marić, 1998). U momentu izjednačenja s t_m , temperatura zraka najbrže raste (ujutro) odnosno opada (navečer), što odgovara vrijednosti t_{infleks} (temperaturi između maksimuma i minimuma na krivulji dnevnog hoda). Kao što se vidi na priloženim primjerima (sl. 9, 10 i 11), krivulje dnevnog hoda t_z i t_m presijecaju se upravo unutar infleksionih dijelova krivulje t_z . Odavde slijedi da se u mjestima gdje nema mjerenja površine mora taj podatak može procijeniti pomoću satnih mjerenja temperature zraka u ljetnim danima s NOCZ. Splitska me-

eteorološka postaja ne uklapa se u to razmatranje zbog svoje pozicije.

Na priloženim slikama 9, 10 i 11, kao i u većini razmatranih slučajeva, uočavamo povezanost barotropno uzrokovana slabog strujanja zraka s kopnenjakom, kao i deformaciju dnevnog hoda brzine vjetra uslijed transformacije dijela kinetičke energije u razvoj turbulentnih vrtloga.

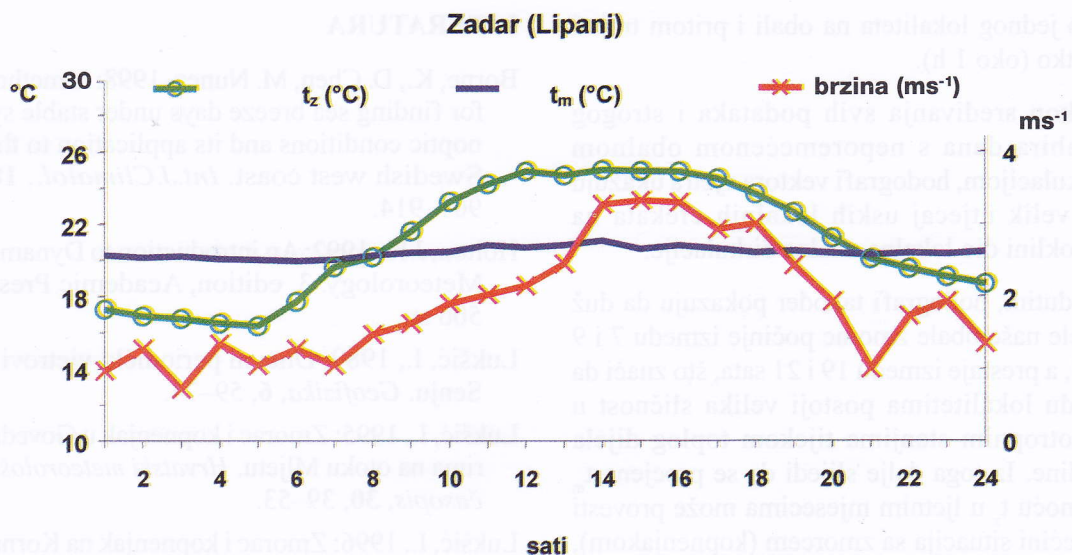
4. ZAKLJUČAK

Primjenom fizikalnih kriterija dobiven je iznenađujuće malen broj dana s neporemećenom obalnom cirkulacijom zraka unatoč čestu puhanju zorca i kopnenjaka tijekom toplijeg dijela godine na našoj obali, i to 45 u Opatiji (mjeseci IV–IX. za 1997–2000.), 67 u Zadru (IV–IX. za 1996–2000.), 8 u Splitu (V–IX. za 1999–2000.) i 17 u Dubrovniku (VI–X. za 1998–2000.). Iz toga se zaključuje da su na bezgradijentno makropolje tlaka često superponirane mezoskalne varijacije, koje nisu uočljive bez preciznih mjerenja u točkama guste mreže, ali se ipak odražavaju na poremećajima obalne cirkulacije.



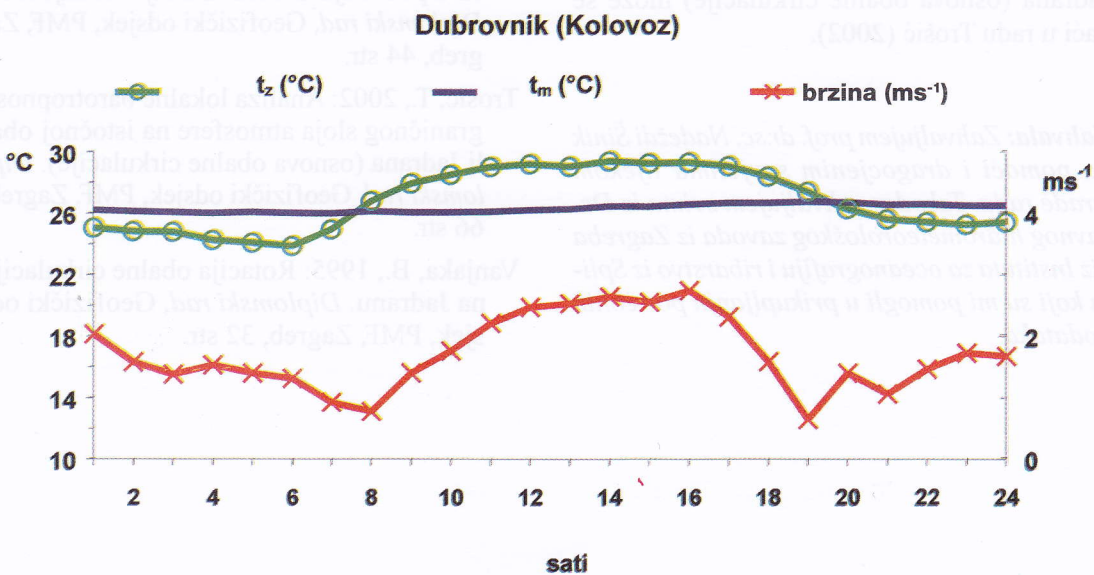
Slika 9. Srednja brzina vjetra, temperatura zraka i temperatura mora u lipnju za dane s neporemećenom obalnom cirkulacijom zraka u Opatiji (1997–2000.).

Figure 9. Average wind speed, air temperature and sea temperature in June for days with undisturbed coastal air circulation in Opatija (1997–2000.).



Slika 10. Srednja brzina vjetra, temperatura zraka i temperatura mora u lipnju za dane s neporemećenom obalnom cirkulacijom zraka u Zadru (1996–2000.).

Figure 10. Average wind speed, air temperature and sea temperature in June for days with undisturbed coastal air circulation in Zadar (1996–2000.).



Slika 11. Srednja brzina vjetra, temperatura zraka i temperatura mora u kolovozu za dane s neporemećenom obalnom cirkulacijom zraka u Dubrovniku (1998–2000.).

Figure 11. Average wind speed, air temperature and sea temperature in August for days with undisturbed coastal air circulation in Dubrovnik (1998–2000.).

Vjerojatno je da zbog toga nije nađen ni jedan dan istovremenog nastupa neporemećene obalne cirkulacije zraka u sva četiri lokaliteta. To

potvrđuje da se u prizemnoj atmosferi paralelnost i horizontalnost izobarnih i izotermnih ploha može pojaviti samo nad malim prostorom

oko jednog lokaliteta na obali i pritom trajati kratko (oko 1 h).

Nakon sređivanja svih podataka i strogo odabira dana s neporemećenom obalnom cirkulacijom, hodografi vektora vjetera ukazuju na velik utjecaj uskih lokalnih efekata na baroklini dio lokalne obalne cirkulacije.

Međutim, hodografi također pokazuju da duž cijele naše obale zmorac počinje između 7 i 9 sati, a prestaje između 19 i 21 sata, što znači da među lokalitetima postoji velika sličnost u barotropnim stanjima tijekom toplog dijela godine. Iz toga dalje slijedi da se procjena t_m pomoću t_z u ljetnim mjesecima može provesti u većini situacija sa zmorcem (kopnenjakom), a ne samo u vrlo ograničenom broju dana s NOCZ, jer se mezoskalni utjecaji najčešće superponiraju na baroklino stanje, a povezanost $t_m = t_{\text{inflex}}$ nastupa tijekom barotropnog stanja, koje je znatno stabilnije.

Detaljan opis analize lokalne barotropnosti graničnog sloja atmosfere na istočnoj obali Jadrana (osnova obalne cirkulacije) može se naći u radu Trošić (2002).

Zahvala: Zahvaljujem prof. dr.sc. Nadeždi Šinik na pomoći i dragocjenim savjetima tijekom izrade rada. Također zahvaljujem svima iz Državnog hidrometeorološkog zavoda iz Zagreba i iz Instituta za oceanografiju i ribarstvo iz Splita koji su mi pomogli u prikupljanju potrebnih podataka.

LITERATURA

- Borne, K., D. Chen, M. Nunez, 1998: A method for finding sea breeze days under stable synoptic conditions and its application to the Swedish west coast. *Int.J.Climatol.*, **18**, 901–914.
- Holton, J.R., 1992: An introduction to Dynamic Meteorology. 3. edition, Academic Press, 506 str.
- Lukšić, I., 1989: Dnevni periodički vjetrovi u Senju. *Geofizika*, **6**, 59–74.
- Lukšić, I., 1995: Zmorac i kopnenjak u Govedarima na otoku Mljetu. *Hrvatski meteorološki časopis*, **30**, 39–53.
- Lukšić, I., 1996: Zmorac i kopnenjak na Kornatima. *Hrvatski meteorološki časopis*, **31**, 103–119.
- Orlić, M., B. Penzar, I. Penzar, 1988: Adriatic sea and land breezes: clockwise versus anticlockwise rotation. *J.Appl.Meteor.*, **27**, 675–679.
- Marić, T., 1998: Dinamička klimatologija zmorca u području Šibenika za ljetne mjesece. *Diplomski rad*, Geofizički odsjek, PMF, Zagreb, 44 str.
- Trošić, T., 2002: Analiza lokalne barotropnosti graničnog sloja atmosfere na istočnoj obali Jadrana (osnova obalne cirkulacije). *Diplomski rad*, Geofizički odsjek, PMF, Zagreb, 66 str.
- Vanjaka, B., 1995: Rotacija obalne cirkulacije na Jadranu. *Diplomski rad*, Geofizički odsjek, PMF, Zagreb, 32 str.