

## RAZPRAVE

## JUTRANJI TERMIČNI VETER V BARKOVLJAH PRI TRSTU

AVTORICA

**Polona Pagon**

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija  
polona.pagon@zrc-sazu.si

UDK: 551.553.11(450Barkovlje)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

**Jutranji termični veter v Barkovljah pri Trstu**

Lega Slovenije v zavetrju Alp je razlog za dokaj redek razvoj močnejših vetrov, zato je toliko bolj pomembno poznavanje lokalnih vetrovnih razmer. Želeli smo ugotoviti in ovrednotiti pogoje, pri katerih se v zalivu pred Barkovljami pri Trstu razvije okrepljen jutranji termični veter. Vrednotenje dejavnikov nastanka in razvoja obravnavanega vetra temelji na preučitvi ugodne makrovremenske situacije, vetrovnih in temperaturnih razmer ter analizi obalnega reliefa. Prispevek utemeljuje, da so temeljni dejavniki razvoja okrepljenega termičnega vetra razlika v temperaturi zraka med obalo zaliva in višje ležečim Krasom, strm relief in dodatno pospeševanje zračnih mas v reliefnih zožitvah v zaledju zaliva, pomemben vpliv pa ima tudi splošno gibanje zračnih mas v širšem kraškem zaledju. Primerjava dejanskih vetrovnih razmer z napovedmi meteorološkega modela ALADIN oblikuje merila ugodnih napovedi za razvoj obravnavanega vetra.

KLJUČNE BESEDE

termični veter, obalna zračna cirkulacija, meteorološki model, Tržaški zaliv, Barkovlje

ABSTRACT

**Morning thermic wind in Barcola bay near Trieste**

Geographical position of Slovenia is the main reason that applicable winds are quite infrequent, therefore the knowledge about specific local winds is of a great significance. The research objective was to determine and evaluate conditions for the development of amplified morning thermic wind in the gulf in front of Barcola village near Trieste, analyzing the general weather conditions, local wind and air temperature conditions and the influence of coastal relief. The article shows that beside air temperature difference between coastal region and the Karst plateau, steep coastal relief with explicit valleys and narrows, the final wind parameters are influenced also by general air-mass movement in broader the Karst plateau. The comparison of actual wind conditions with wind forecasts of meteorological model ALADIN returns the outlook of criteria for reliable forecasts of amplified morning thermic wind.

KEY WORDS

thermic wind, sea-land-breeze, meteorological model, gulf of Trieste, Barcola

Uredništvo je prispevek prejelo 7. maja 2008.

## 1 Uvod

Geografska lega Slovenije na jugovzhodni strani Alp in s tem na zavetrni strani najpogostejših severozahodnih in zahodnih višinskih vetrov je razlog za pogosta in razmeroma dolga obdobja brez izrazitih vetrov. To še posebej velja za poletno obdobje, ko se nad Slovenijo pogosto vzpostavi stabilna vremenska situacija z visokim zračnim pritiskom, ki prepreči nastanek sicer najpogostejšega in najmočnejšega vetra – burje. Take vremenske razmere pa so ugodne za razvoj obalne zračne cirkulacije in lokalnih termičnih vetrov, ki na določenih mestih dosežejo hitrosti tudi do 20 m/s.

Pri obalnih vetrovih termičnega nastanka gre za izmenjavo dnevne in nočne komponente obalne zračne cirkulacije. Za dnevni veter z morja je v Sloveniji v veljavi ime maestral, za nočni s kopnega pa burin. Osnovni pogoj za njun nastanek je dovolj velika temperaturna razlika med zračnima gmotama nad morjem in obalnim zaledjem, zato bomo v nadaljevanju za omenjena vetrova uporabljali izraz termični veter. Izenačevanje zračnega pritiska med hladno zračno maso, ki nastane nad obalnim zaledjem, in toplejšo nad morjem, se v nočnem in jutranjem času odraža kot veter s kopnega proti morju. Najmočnejši je ob sončnem vzhodu, ko je temperaturna razlika največja, po sončnem vzhodu pa se zrak nad obalo začne segrevati in jutranja termična izmenjava zračnih mas se prekine. Na smer in hitrost vetra pomembno vpliva tudi izoblikovanost površja ob obali in nekaj kilometrov v zaledju. Ko so izpolnjeni vsi pogoji, se v jutranjih urah razvije termični veter, ki na območju Tržaškega zaliva piha večinoma iz smeri severovzhod oziroma iz smeri burje. Po opazovanjih pa se v ožjem predelu Tržaškega zaliva, natančneje v zalivu pred Barkovljami, razvije jutranji termični veter večjih hitrosti kot v drugih predelih zaliva.

Želeli smo ugotoviti pogoje, pri katerih se v zalivu pred Barkovljami razvije okrepljen jutranji termični veter. Osnovna hipoteza je bila, da se v zalivu pred Barkovljami razvije preučevani veter zaradi dovolj velike temperaturne razlike ozračja med obalnim in kraškim predelom, strmega in ugodno izoblikovanega reliefa v obalnem zaledju ter dodatnega vpliva šibke burje.

Izrazitost vpliva posameznih dejavnikov na razvoj okrepljenega jutranjega termičnega vetra smo želeli ovrednotiti z analizo izoblikovanosti površja obalnega zaledja ter analizo meteoroloških parametrov na ožjem in širšem obravnavanem območju in splošne makrovremenske situacije nad Evropo. Temelj oblikovanja meril za napoved razvoja okrepljenega jutranjega termičnega vetra v prihodnje je bil meteorološki model ALADIN/SI – DADA.

Pregled razpoložljive literature na temo obalne zračne cirkulacije je pokazal, da razen raziskav v sklopu drugih del (Ogrin 1995) v Sloveniji ni nobenega temeljitega samostojnega dela. Podrobnejše analize obalne zračne cirkulacije so večinoma dela tujih meteorologov (na primer Penzar, Penzar, Orlič 2001). Prevladujejo modeliranja in računalniške simulacije obalne zračne cirkulacije v različnih geografskih širinah in nad različnimi tipi obale, v nekaterih študijah so uporabljeni podrobni modeli površja vključno z izoblikovanostjo obale, prisotnostjo večjih vodnih površin v zaledju obalnega območja ... (McPherson 1970; Pielke 1974; Neumann, Mahrer 1974; Simpson 1996). Simulacijski rezultati kažejo na razvoj izrazito tridimenzionalnih procesov v ozračju. Nekateri avtorji so posebno pozornost posvetili ovrednotenju vpliva splošnih vetrov na različnih višinah v prizemnem delu atmosfere, tako na dnevno kot tudi nočno komponento obalne zračne cirkulacije (Walsh 1974; Zhong, Tackle 1993).

## 2 Območje preučevanja

Obravnavano območje obsega Kras, kraški rob in območje Tržaškega zaliva (slika 1). Okrepljen jutranji termični veter se razvije v ozkem, približno kilometer širokem predelu zaliva pred Barkovljami, ob vzhodni obali Tržaškega zaliva.

Na območju Barkovelj je obala šibko razčlenjena in podolžnega tipa. Ozka obalna flišna ravnica proti severovzhodu in vzhodu preide v ozke rečne in hudourniške doline ter gričevja (slika 2), ki se



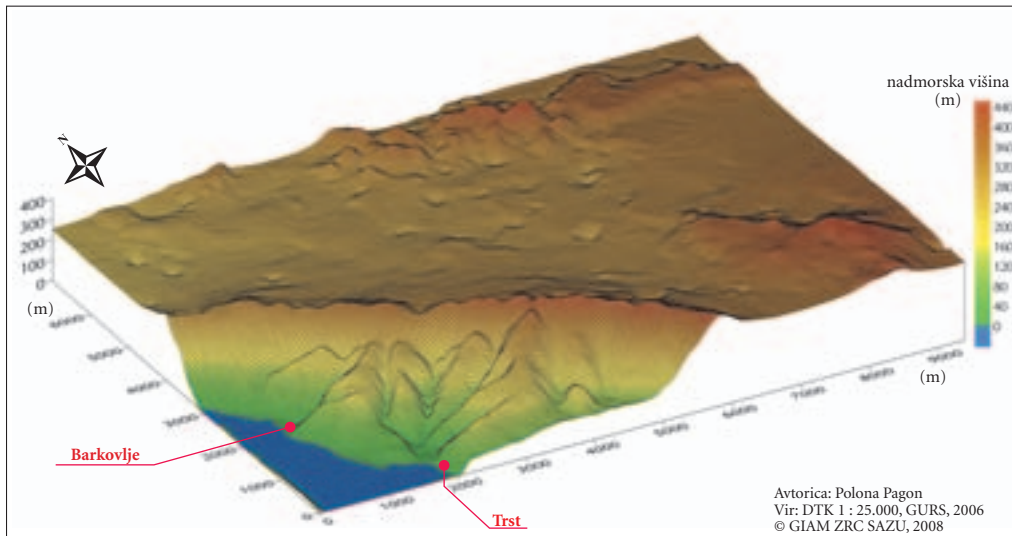
Slika 1: Barkovlje, širše obravnavano območje ter območje razvoja okrepljenega jutranjega termičnega vetra.

strmo dvignejo v kraški rob, prehodno pokrajino med Tržaškim zalivom in Krasom. Nadmorska višina kraškega roba v zaledju Barkovelj je med 350 in 400 m in je izrazita reliefna stopnja, ki obenem predstavlja podnebni mejnik. Proti notranjosti kraški rob preide v planotast kraški svet med Tržaškim zalivom in Vipavsko dolino (Kras).

Na podlagi podrobnejše členitve podnebnih tipov, narejene za območje Slovenije (Ogrin 1996), kjer so upoštevana dodatna merila pri temperaturnih razmerah in padavinah, je moč širše preučevano območje razdeliti na obalno submediteransko podnebje z višjimi povprečnimi temperaturami prek celega leta in zaledno submediteransko podnebje z nižjimi temperaturami, pri čemer je mejnik prav kraški rob.

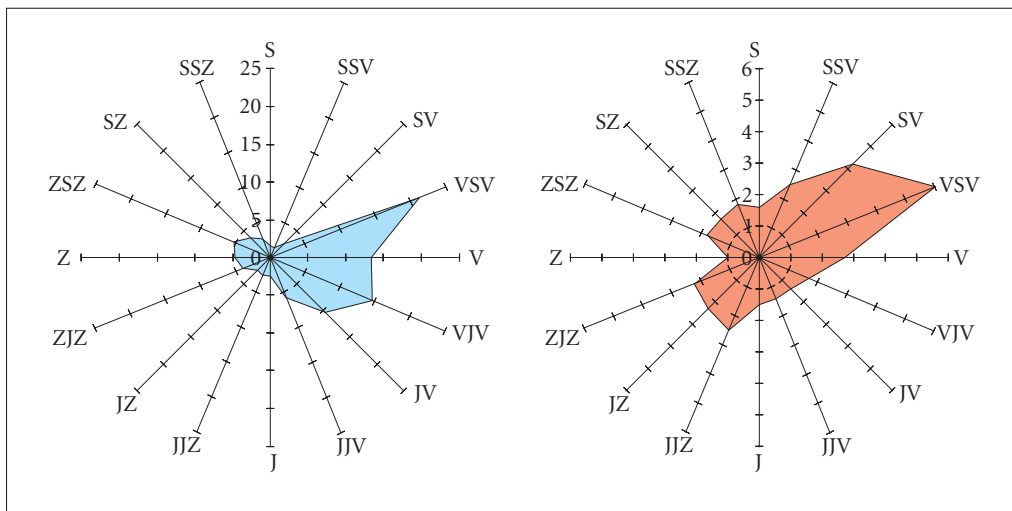
Skupna povprečna vrednost površinske temperature morske vode v Tržaškem zalivu v obdobju od 1950 do 1988 je 15,7°C, temperatura zraka pa 13,6°C (Bičanić 1996). Temperatura morske vode je jeseni v povprečju za več kot 2°C višja od temperature zraka, kar kaže na to, da se morje počasneje ohlaja in je zato velik zadrževalac toplote. To potrjuje tudi povprečna zimska temperatura morja, ki je za 3,2°C višja od temperature zraka. Omenjene temperaturne razmere pomembno vplivajo na razvoj obalne zračne cirkulacije na preučevanem območju.

Vetrovi na območju so v splošnem posledica nenehnih prehodov baričnih sistemov prek severnega Jadrana, posebej značilna sta anticiklonska burja in ciklonski jugo. Dolgoletno povprečje vetrovnih



Slika 2: Digitalni model reliefa širšega obravnavanega območja s Krasom, kraškim robom in flišnimi obalnimi dolinami.

razmer v Tržaškem zalivu kaže na prevlado vetrov iz vzhodnega kvadranta (slika 3), kar je posledica pogostih prehodov hladnih front ter dinarske pregrade in zaradi nje izoblikovane burje. Burja izstopa tako po pogostosti (21,3 %) kot tudi povprečni hitrosti (6 m/s) (Bičanić 1996). Vetrovi iz vzhodnega kvadranta se najredkeje pojavljajo v toplejšem delu leta, od maja do avgusta, ko se poveča delež vetrov iz severozahodnih in zahodnih smeri (Pagon 2006). Razlog za to so pogostejše stabilne vremenske situacije, ko je širše območje Tržaškega zaliva pod vplivom polja visokega zračnega pritiska (azorski anticiklon). S tem so izpolnjeni pogoji za razvoj obalne zračne cirkulacije.



Slika 3: Pogostost in povprečna hitrost vetrov v Tržaškem zalivu med letoma 1950 in 1989 (Bičanić 1996).

### 3 Obalna zračna cirkulacija

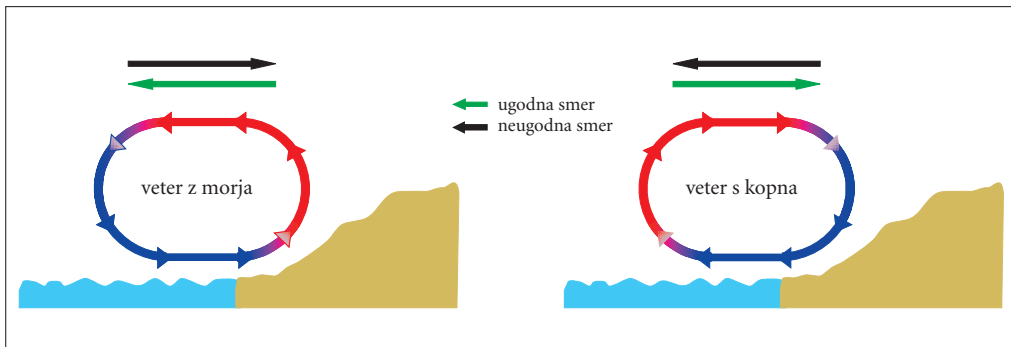
Ob prisotnosti polja visokega zračnega pritiska, ko so splošni vetrovi šibki, se zaradi krajevnih razmer razvijejo obalni vetrovi, ki nastopajo v značilnem dnevnem ciklu. Poveča se vpliv reliefa zaradi razlik v ogrevanju različno nagnjenih in različno orientiranih pobočij, vpliv različne sestave tal in vpliv oblike obale. Sonce kopno hitreje in močnejše ogreva kot morje, saj morska površina odbija več žarkov, zaradi večje toplotne kapacitete se voda počasneje ogreva, poleg tega sevanje prodira globlje v vodo in s tem ogreva večjo vodno maso (Pielke 1984). Na kopnem je prevajanje toplote v nižje plasti slabše, zato je ogrevanje kot tudi ohlajanje površja hitrejše. Različnost ogrevanja kopnega in morja se kaže v dnevnem in letnem kolebanju temperature zraka in posledično mešanju različno ogretilih zračnih mas.

Na temperaturne razlike v prizemnem sloju ozračja vplivajo še vlažnost tal in zraka, oblačnost, padavine, geografska širina ter spreminjanje temperature z nadmorsko višino. Temperatura zraka z zviševanjem nadmorske višine v povprečju pada za  $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$  na 100 m. Za Tržaški zaliv je značilno, da je razlika med temperaturo zraka nad obalnim predelom in višje ležečim kraškim robom predvsem pozimi dokaj velika (gradient Trst–Opčine  $-0,91\text{ }^{\circ}\text{C}$  na 100 m). Vzrok temu so vpliv morja, ki blaži ohlajanje ozračja ob obali, in pogoste temperaturne inverzije v konkavnih oblikah reliefa na Krasu (Penzar, Penzar, Orlić 2001; Ogrin 1998).

Razvoj obalne zračne cirkulacije sooblikujejo tudi splošni vetrovi na posameznem območju, mikroreliefne značilnosti, oblika obale, raba tal in hrapavost površja. Močnejši splošni vetrovi prekinajo ali preprečijo razvoj obalnih vetrov, saj onemogočijo nastanek različno ogretilih zračnih mas. Vpliv šibkih splošnih vetrov je odvisen od smeri vetra (slika 4). Šibek veter v višinah pospeši nastanek vetra z morja, če piha od kopnega proti morju. Pri tem se smer splošnega vetra ujema s smerjo gibanja toplih zračnih mas proti morju v začetni fazi razvoja vetra z morja, ko se zrak nad obalo segreva in dviguje. Pri razvoju jutranjega vetra s kopna je situacija obratna (Sušelj 2001).

Vpliv mikroreliefnih značilnosti površja na razvoj obalne zračne cirkulacije je dokaj kompleksen. Kjer se zaledje strmo dviguje v višje ležeče planote, se vpliv reliefa najbolj odraža prek interakcije med obalnimi in pobočnimi vetrovi. Na hitrost vetra ključno vpliva tudi vsaka mikroreliefna značilnost, še posebej vzdolžno izoblikovane doline, ki kanalizirajo in usmerjajo gibanje zračnih mas v prizemnih plasteh tik nad površjem. Pri katabatičnem spuščanju zračnih mas v reliefnih zožitvah razlika pritiskov pred in v zožitvi pospeši gibanje zračnih mas.

Pri vrednotenju vpliva rabe tal in hrapavosti površja je pomembno dejstvo, da so obalni vetrovi omejeni na kilometer do dva debelo plast atmosfere pri tleh. Hitrost vetra zmanjšuje poraščenost, v največji meri gozdne površine ter gosta pozidanost obalnega predela. Veter se odkloni že pred oviro, motnje pa so opazne še na razdalji do dvajsetkratne dolžine objekta in segajo do dvakratne višine objekta (Saltemeier, Winkelmeier 1994).



Slika 4: Vpliv šibkih splošnih vetrov na razvoj obalne zračne cirkulacije.



## 4 Metodologija

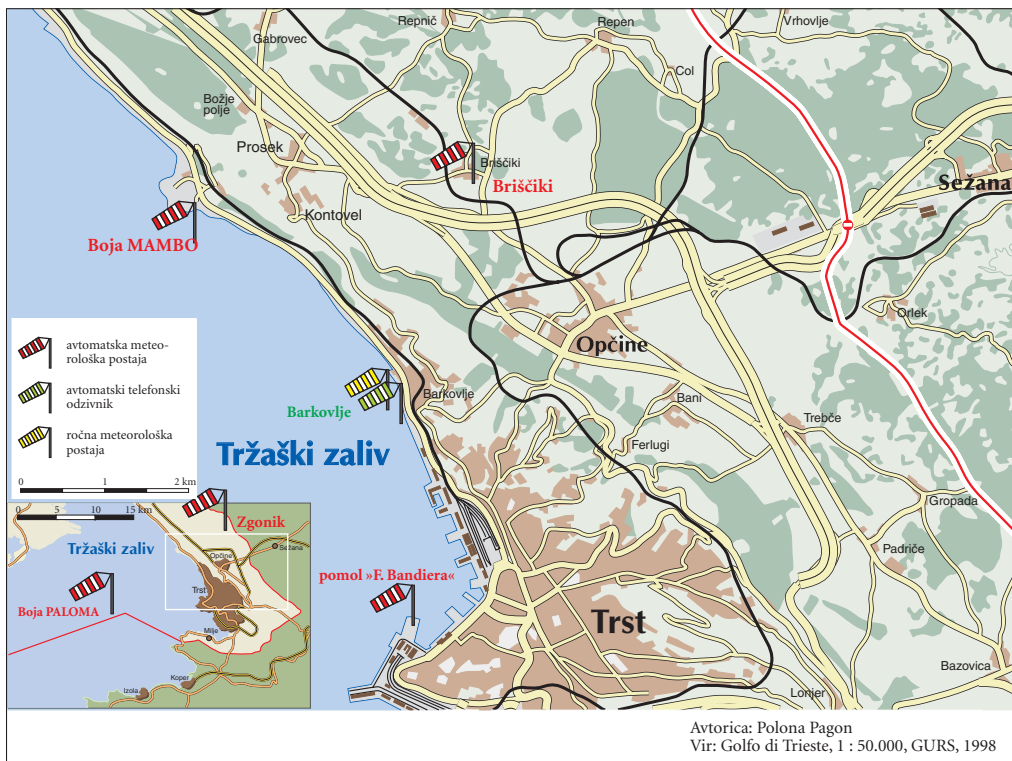
Analiza jutranjega termičnega vetra je temeljila na analizi vpliva reliefne izoblikovanosti površja ter primerjavi lokalnih in globalnih vremenskih razmer na obravnavanem območju.

Po pričakovanjih specifična izoblikovanost površja pomembno vpliva na gibanje prizemnih zračnih mas, zato smo za preučitev vloge površja v zaledju Barkovelj najprej izdelali digitalni model reliefa. Za podrobno analizo mikroreliefnih značilnosti smo na podlagi modela reliefa izdelali vzdolžni in prečni profil doline Potoka Stare gore (Rio Bovedo) v zaledju Barkovelj, katere orientacija in predvsem oblika po pričakovanjih vplivata na končno hitrost in smer vetra v zalivu.

Namen preučitve temperaturnih in vetrovnih razmer na ožjem območju Barkovelj je bil ugotoviti zakonitosti nastajanja različno ogreth zračnih mas nad morjem in višje ležečem Krasu ter vetrovnih razmer na širšem kraškem zaledju. Izhodišni podatki za analizo meteoroloških parametrov so bili zapisi opazovanja vetra v zalivu (Polajnar 2004), kjer smo od sedemintridesetih razpoložljivih vzorčnih dni izbrali deset dni. Glavni kriterij izbire je bil poiskati primere, kjer so evidentirane vetrovne razmere in ostali razpoložljivi podatki omogočali ovrednotenje vseh vplivnih dejavnikov.

Z izbiro meteoroloških postaj smo želeli pridobiti objektivno sliko dejanskih vremenskih razmer na širšem obravnavanem območju. V raziskavo so bili vključeni podatki z avtomatske meteorološke postaje na pomolu Fratelli Bandiera v Trstu (slika 5). Postaja je v obalnem predelu Barkovljam najbližja in ima obenem podobno izoblikovano površje v zaledju, kar zagotavlja primerljivost vetrovnih razmer.

Na kraškem robu sta bili zaradi lege v neposrednem zaledju Barkovelj izbrani avtomatski meteorološki postaji Briščiki in Zgonik. Za preučitev vpliva vetrovnih razmer v širšem kraškem zaledju smo



Slika 5: Razpoložljive meteorološke postaje na območju Italije.

izbrali podatke z avtomatskih meteoroloških postaj v Ajdovščini in Postojni. Podatki z le-teh so zaradi slabe pokritost območja z avtomatskimi meteorološkimi postajami edini uporabni za ovrednotenje vpliva burje na okrepljen jutranji termični veter v zalivu pred Barkovljami. Z namenom analize obalne zračne cirkulacije na območjih z različnim obalnim zaledjem smo analizirali podatke z avtomatske meteorološke postaje Koper, ki so omogočili primerjavo med Koprskim zalivom in Barkovljami. Vpogled v razsežnosti jutranjega termičnega vetra in njegov vpliv proti sredini Tržaškega zaliva omogočajo meteorološki podatki z oceanografske boje PALOMA, ki leži 16 km jugozahodno od Barkovelj (slika 5).

Zaradi kratkega trajanja jutranjega termičnega vetra in pričakovanih dokaj izrazitih nihanj v hitrosti vetra je bilo moč upoštevati le meritve na avtomatskih meteoroloških postajah, pri katerih se izvajajo meritve v kratkih časovnih intervalih in iz njih izračunavajo časovna povprečja.

Lokalne vremenske razmere so vedno del vremenskega dogajanja v precej večjem merilu, zato je bila pomembna preučitev makrovremenskih situacij nad Evropo, ki sooblikujejo razvoj obalne zračne cirkulacije. Analizirali smo prizemne karte razporeditve polj zračnega pritiska, ki določajo položaje baričnih tvorb in s tem smer splošnih vetrov večjih razsežnosti. Prikazi so narejeni na podlagi baze podatkov ameriške organizacije *National Oceanic and Atmospheric Administration* ali NOAA (medmrežje 3).

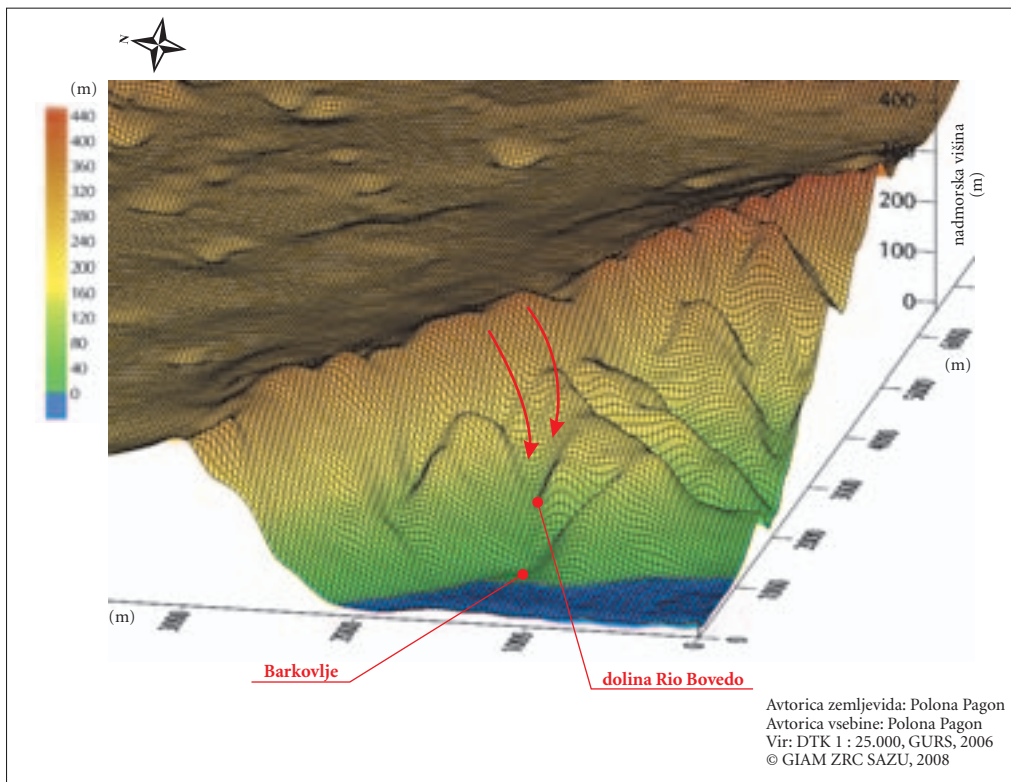
Za ugotovitev izgleda ugodne meteorološke napovedi za razvoj obravnavanega termičnega vetra smo kot najbolj objektivni vir podatkov uporabili napovedi meteorološkega modela ALADIN/SI – DADA (Produkti ... 2006). Izbran meteorološki model je za napovedi vetrovnih razmer na območju Slovenije najnatančnejši. Osnovni meteorološki model ALADIN/SI je model z omejenim območjem napovedi, robne pogoje zajema iz globalnega francoskega modela ARPÉGE, ki pokriva celotno Evropo, zato je točnost napovedi odvisna tudi od pravilnosti izračunov globalnega modela. Razdalja med računskimi točkami modela ALADIN/SI je približno 10 km (medmrežje 1). Za natančnejši izračun vetrovnih razmer na nekem območju je zelo pomembno upoštevanje reliefa, ki je običajno sestavni del modelskega izračuna in neposredno vpliva na točnost napovedi. Model ALADIN/SI – DADA z vgnезdenjem v model ALADIN/SI, dinamično adaptacijo meteoroloških parametrov in upoštevanjem podrobnejšega reliefa nudi bolj natančne in objektivne napovedi vetra nad manjšim območjem. Rezultat modela je napoved hitrosti in smeri vetra na višini 10 m, pri horizontalni ločljivosti računskih točk 2,5 km (medmrežje 2). V izračunih so že upoštevane večje reliefne oblike, kot so kraški rob, visoke kraške planote in večje kotline.

## 5 Analiza reliefnih značilnosti obalnega zaledja

Vpliv izoblikovanosti površja na značilnosti vetra je posebej izrazit v primerih, ko se zračne mase gibljejo tik nad površjem, kar velja tudi za obalno zračno cirkulacijo. Vsaka mikroreliefna značilnost močno vpliva na veter, ga preusmeri, zaustavlja in povzroča vrtinčenje, zato so razmere na posameznih območjih zelo specifične. Iz digitalnega modela reliefa (slika 6) je razvidno, da se proti severovzhodu obalno območje v zaledju Barkovelj strmo dviguje in prek kraškega roba preide v planotast kraški svet. Kraški rob je izrazita reliefna stopnja in podnebni mejnik med ozkim flišnim obalnim predelom in višje ležečim Krasom. V zaledju Barkovelj je izoblikovana dolina Rio Bovedo, ki je usmerjena od severovzhoda proti jugozahodu. Začetek izrazitejše izoblikovanosti doline tik pod strmim kraškim robom se nahaja na nadmorski višini približno 250 m, nadmorska višina kraškega roba nad dolino pa se giblje med 360 in 400 metri.

Izoblikovanost doline podrobneje kažejo vzdolžni in prečni profili (slika 7), narejeni na osnovi digitalnega modela reliefa.

Usmerjenost doline ustreza prevladujoči smeri jutranjega termičnega vetra in burje. Del doline z izrazitejšimi zožitvami leži v višinskem pasu od 100 do 200 m, nato pa se proti obalni črti postopoma razširi v ozko obalno ravnico. Iztek doline se nahaja 200 m od obalne črte, njen začetek pa tik pod kraškim robom in je od obale oddaljen 1400 m. Vzdolžni profil kaže, da ima dolina največji naklon v zgornjem



Slika 6: Digitalni model reliefa obravnavanega območja z Barkovljami, dolino v zaledju in kraškim robom (puščici kažeta smer termičnega vetra).

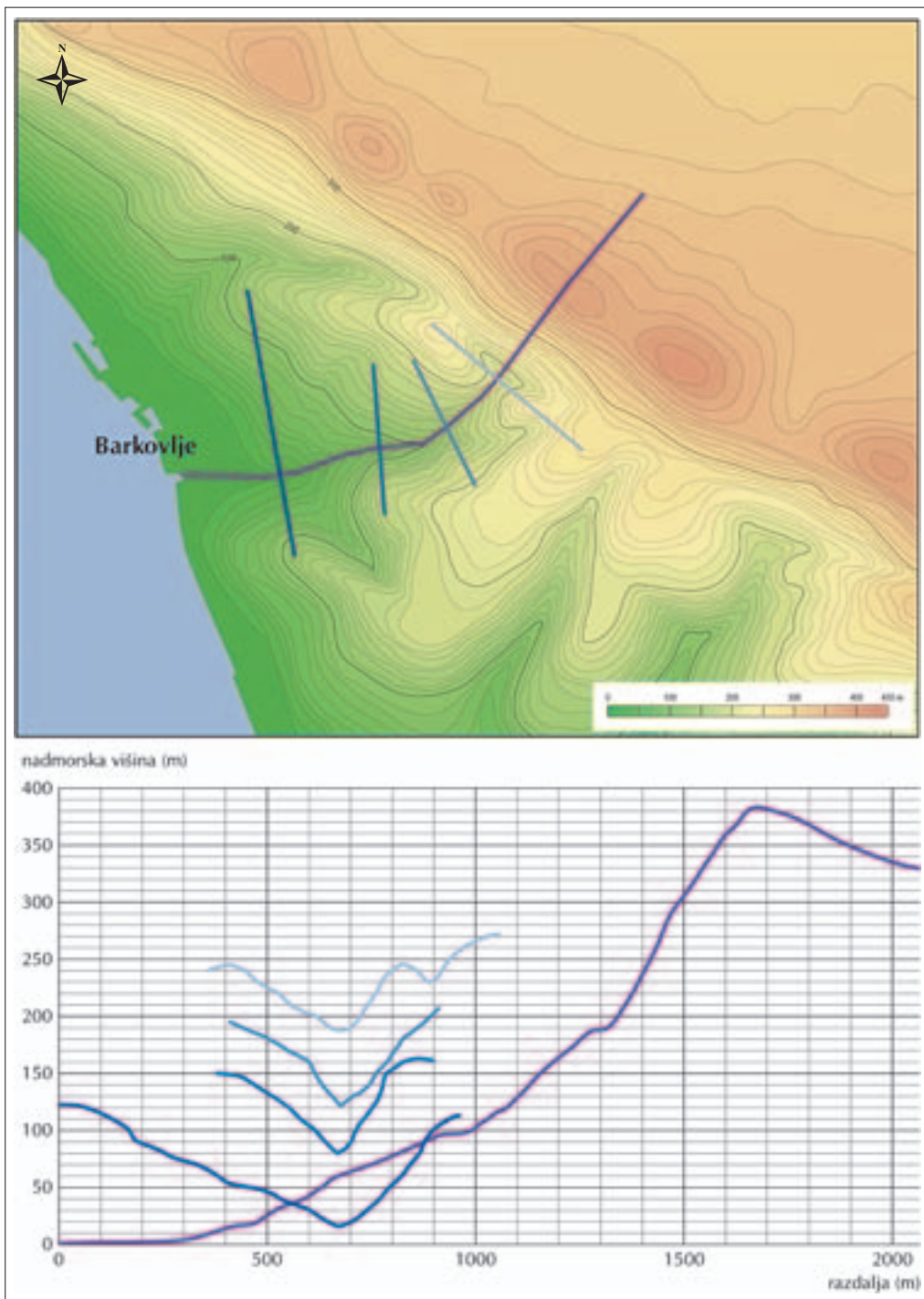
delu in dosega skoraj 50 %, v srednjem delu okrog 30 %, nato pa se proti obalni črti postopoma znižuje. Iz prečnih profilov je razvidno, da je dolina najožja in najgloblja v srednjem delu, kjer je globoka tudi do 80 m. Od kraškega roba do obalne linije v smeri doline je 380 m višinske razlike na razdalji 1680 m, kar pomeni, da je povprečni naklon 22,6 %. Usmerjenost doline in zožitve v njenem srednjem delu fizikalno utemeljeno dodatno pospešujejo hladne zračne mase ob njihovem stekanju proti zalivu. V zožitvah doline zgoščene tokovnice vetra ob izteku iz doline v zalivu pred Barkovljami oblikujejo značilno vetrno pahljačo. K razvoju jutranjega termičnega vetra večjih hitrosti pripomorejo tudi konkavna obala ter redkejša pozidanost in poraščenost obalnega zaledja.

## 6 Ovrednotenje vpliva vetrovnih in temperaturnih razmer

Analiza meteoroloških parametrov, ki vplivajo na okrepljen jutranji termični veter, je predstavljena na primeru razvoja tipičnega jutranjega termičnega vetra in razvoju obravnavanega vetra ob prisotnosti šibke burje v širšem kraškem zaledju.

Slika 7: Vzдолžni (vijolično) in prečni profili (modri odtenki) doline Rio Bovedo. ►





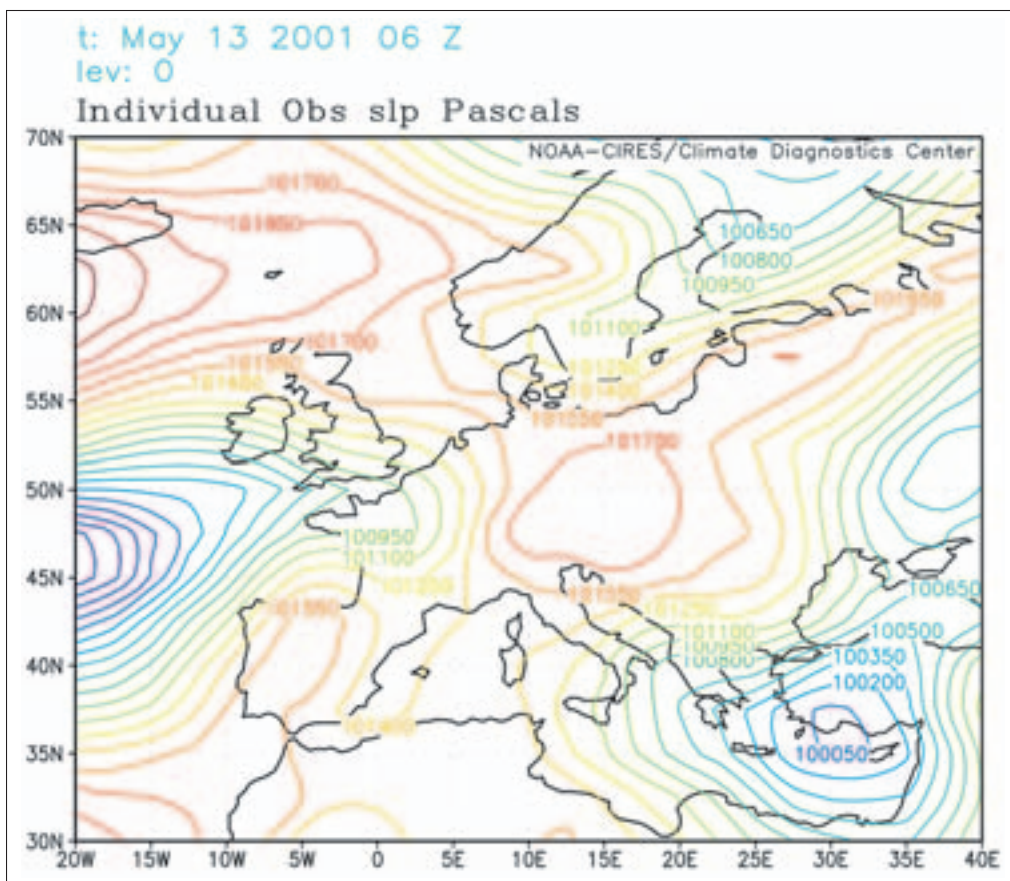
## 6.1 Tipični jutranji termični veter

Razmere za razvoj tipičnega termičnega vetra so se vzpostavile 13. 5. 2001, ko se je v jutranjih urah, od 6.00 do 9.00, po oceni povprečna hitrost vetra v zalivu pred Barkovljami gibala med 11 in 13 m/s, v sunkih do 14 m/s.

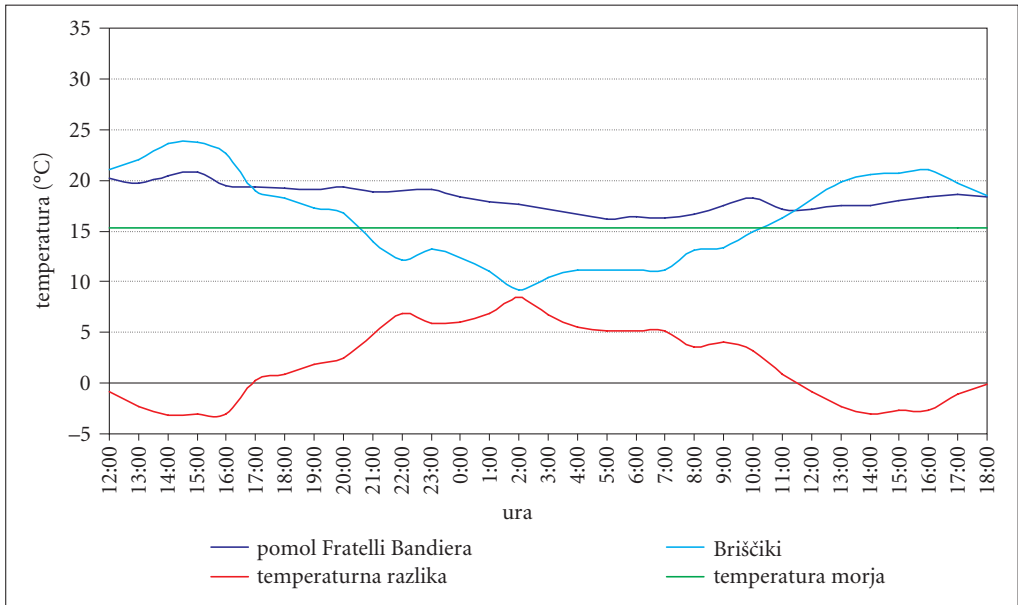
Iz razporeditve baričnih tvorb (slika 8) je razvidno, da je bila Slovenija pod vplivom območja visokega zračnega pritiska brez izrazitih gradientov. Vzpostavljeni so bili pogoji za razvoj termičnih vetrov in obalne zračne cirkulacije. Hitrost preučevanega vetra v zalivu je bila odvisna le od razlike med temperaturo zraka nad kopnim in morjem.

Potek temperature zraka na avtomatski meteorološki postaji (v nadaljevanju AMP) za kraškim robom (AMP Briščiki) in na obalnem območju (AMP Fratelli Bandiera) je prikazan na sliki 9, in sicer za časovni interval med 12.00 prejšnjega dne in 18.00 naslednjega dne, ko so bile v zalivu evidentirane ugodne vetrovne razmere. Prikazani sta tudi razlika med temperaturama zraka ter temperatura morja.

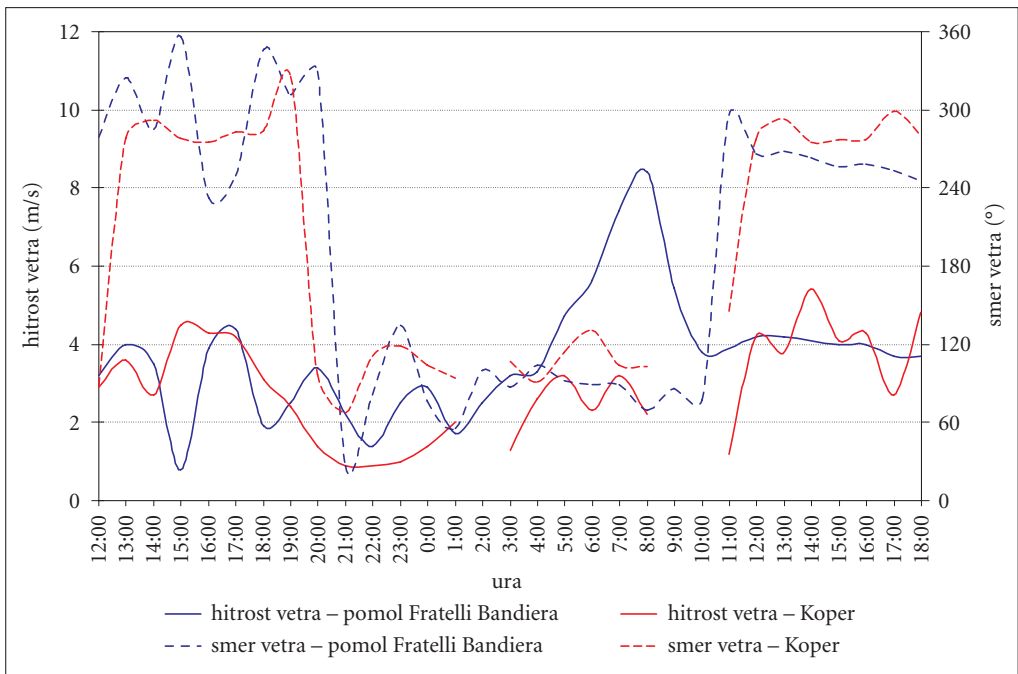
Razvidno je značilno gibanje temperature zraka na morju in višje ležečem zaledju v pozni pomladi, v dnevih s stabilno vremensko situacijo in poljem visokega zračnega pritiska nad širšim območjem. Potek temperature zraka na morju potrjuje vlogo debelejšega sloja morske vode, ki deluje kot zadrževalec toplote, zato je razpon dnevne temperature zraka nad morsko gladino neprimerno manjši. V popoldnevu pred



Slika 8: Polje zračnega pritiska nad Evropo 13. 5. 2001 (NOAA-CIRES 2008).



Slika 9: Temperatura zraka na AMP Fratelli Bandiera in AMP Brišički ter temperatura morja med 12. in 13. 5. 2001 (OSMER 2006; ISMAR 2006; Commissione 2006).

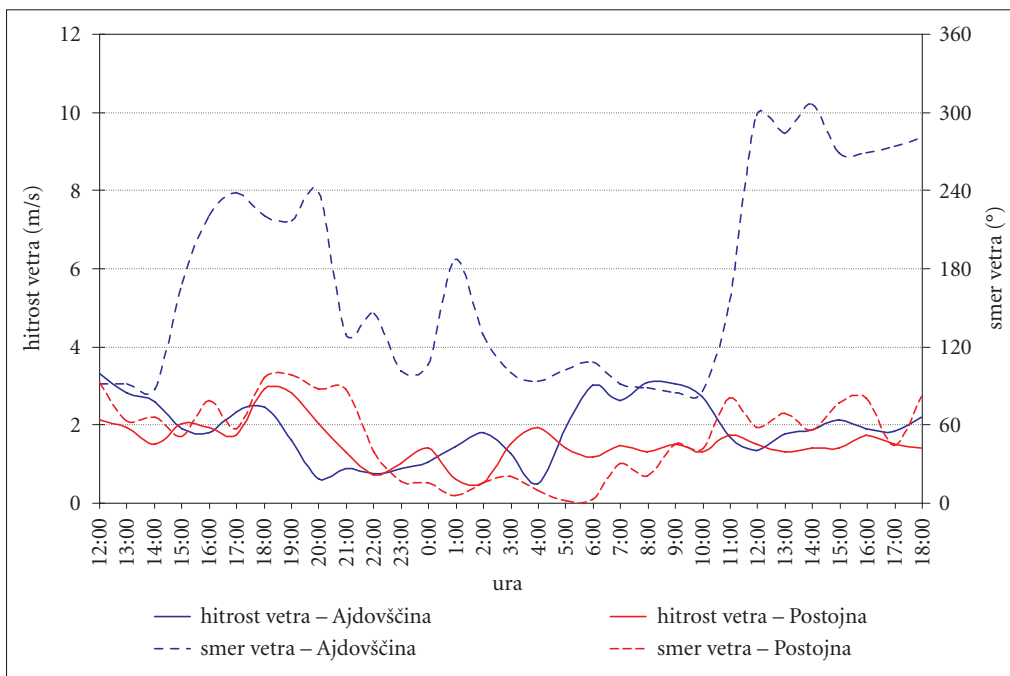


Slika 10: Smer in hitrost vetra na AMP Fratelli Bandiera in AMP Koper med 12. in 13. 5. 2001 (OSMER 2006; ARSO 2006).

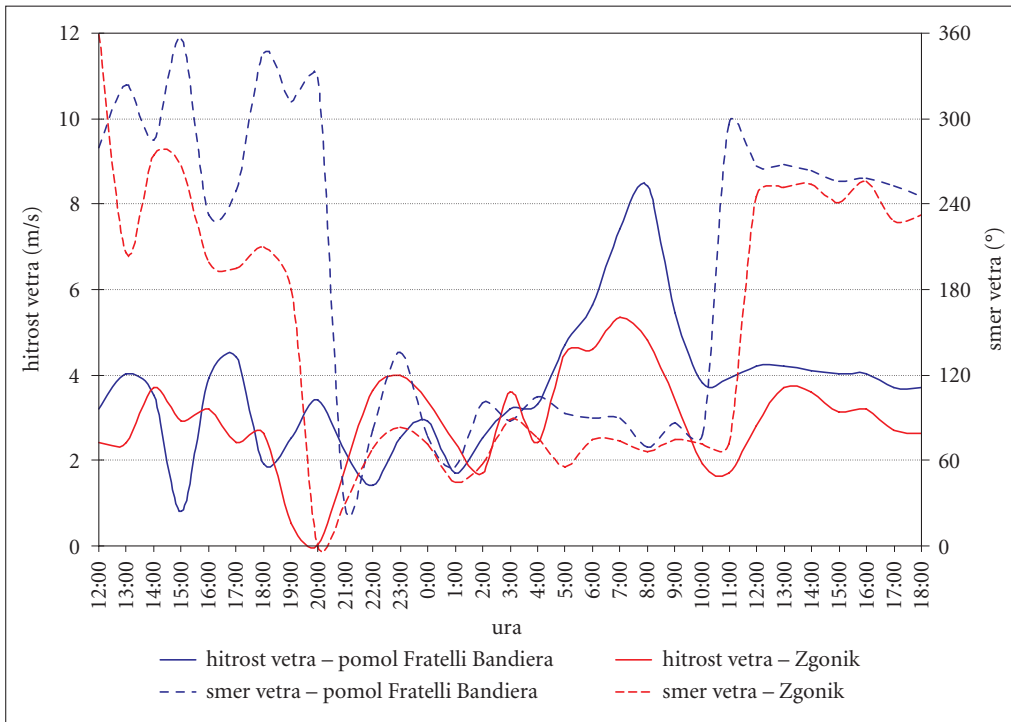
razvojem okrepljenega jutranjega termičnega vetra temperatura zraka na Krasu preseže temperaturo zraka nad morjem. Pri tem se razvije dnevna komponenta obalne zračne cirkulacije, pihati začne veter z morja, kar potrjuje izmerjena zahodno-severozahodna smer vetra na AMP Fratelli Bandiera in AMP Koper (slika 10). V poznih popoldanskih urah se temperaturna razlika med kopnim in obalnim predelom postopoma zmanjšuje, temperaturi se ob 17.00 izenačita, veter z morja proti večeru oslabi in poneha.

Razlika med temperaturama zraka v korist AMP Fratelli Bandiera postopoma narašča vse do 2.00 zjutraj, ko doseže 8,4 °C. Z nastajanjem temperaturne razlike se začno hladnejše zračne mase stekati s Krasa proti morju. Temperaturna razlika med obalnim in zalednim predelom je v času, ko piha veter s kopna, v povprečju 6 °C. Termična izmenjava je najintenzivnejša med 6.00 in 9.00, kar kaže tudi izmerjena hitrost vetra (nad 8 m/s) na AMP Fratelli Bandiera (slika 10). Z zmanjševanjem temperaturne razlike (med 8.00 in 10.00) hitrost vetra s kopnega upada. Ko temperatura zraka nad kopnim preseže temperaturo nad morjem, se smer obalne zračne cirkulacije obrne.

Hitrosti in predvsem smeri vetra na obeh meteoroloških postajah, ki ležita tik ob obali Tržaškega zaliva (AMP Fratelli Bandiera in AMP Koper), kažejo na značilen potek obalne zračne cirkulacije. V popoldnevu predhodnega dne piha veter iz zahodno-severozahodne smeri. Povprečne hitrosti vetra ustrezajo običajnim hitrostim dnevnega vetra z morja v Tržaškem zalivu. Proti večeru, med 20.00 in 21.00 uro, pa hitrosti vetra upade in pihati začne veter iz vzhodne smeri oziroma nočni veter s kopna. Navedena smer vetra se obdrži do jutranjih ur, medtem ko nastanejo v hitrosti vetra med omenjenima območjema bistvene razlike. V splošnem je nočni veter s kopna šibkejši od dnevnega z morja, saj so temperaturne razlike med kopnim in morjem ponoči manjše (Hočevnar, Petkovšek 1995). Na pomolu Fratelli Bandiera pa hitrost vetra s kopna po 4. uri zelo naraste in doseže največjo vrednost ob 8.00, in sicer nad 8 m/s. Nato hitrost v eni uri strmo upade in nočna komponenta obalne cirkulacije je zaključena. V Kopru je v drugem delu noči in proti jutru opaziti le majhen porast hitrosti vetra, ki doseže največ 3 m/s. Povprečna hitrost vetra s kopna je na pomolu Fratelli Bandiera, torej bistveno večja od



Slika 11: Smer in hitrost vetra na AMP Ajdovščina in AMP Postojna, 12.–13. 05. 2001 (ARSO 2006).



Slika 12: Smer in hitrost vetra na AMP 'Fratelli Bandiera' in AMP Zgonik med 12. in 13. 5. 2001 (OSMER 2006).

hitrosti v Koprskem zalivu. Razlike med omenjenima območjema v hitrosti jutranjega vetra so posledica različne izoblikovanosti obalnega zaledja, obala v Koprskem zaledju se namreč dviguje postopoma, v več kilometrov oddaljeni in neizraziti kraški rob.

V poznih jutranjih urah, ko sonce dovolj ogreje kopno (po 10.00), začne tako v Trstu kot Koprju zopet pihati veter z morja. Hitrost vetra je na obeh postajah dokaj konstantna, in sicer okrog 4 m/s.

Vetrovne razmere na pomolu Fratelli Bandiera kažejo na razvoj okrepljenega jutranjega termičnega vetra, ki je posledica doprinosa kraškega roba z značilno reliefno izoblikovanostjo. Strm relief nad obalo se nadaljuje še 7 km severozahodno od Trsta, kjer termični veter dosega primerljive hitrosti. Posebno okrepljen veter pa se razvije v zalivu pred Barkovljami, po oceni je v obravnavanem jutru dosegal hitrosti med 11 in 13 m/s, medtem ko je bila izmerjena hitrost vetra na pomolu Fratelli Bandiera v istem časovnem intervalu med 6 in 8 m/s. Na lokalno okrepljen termični veter v zalivu pred Barkovljami vpliva dolina Rio Bovedo, v kateri se hitrost gibanja hladnih zračnih mas zaradi zožitev dodatno poveča. Meritve tako potrjujejo predvidevanja o dodatnem porastu hitrosti vetra zaradi doline v zaledju. Po analizi, ki smo jo naredili na dodatnih vzorčnih primerih, je porast hitrosti v povprečju najmanj 4 m/s.

Ovrednotenje vpliva splošnih vetrovnih razmer v širšem kraškem zaledju temelji na analizi hitrosti in smeri vetra v Ajdovščini in Postojni (slika 11) ter neposredno za kraškim robom v Zgoniku (slika 12).

Smer vetra na AMP Ajdovščina potrjuje stabilne vremenske razmere, saj je v popoldanskih urah tako dan prej kot tudi na obravnavan dan prevladoval veter iz zahodnih smeri, hitrost vetra je bila nizka, okrog 2 m/s. V jutranjih urah je hitrost vetra nekoliko porasla, na 3 m/s, začel je pihati veter iz vzhodne smeri. Večja hitrost vetra v jutranjih urah je posledica termične izmenjave zračnih mas, ki se z visokega kraškega roba stekajo v Vipavsko dolino in naprej proti Krasu. Vetrovne razmere v Postojni so prek

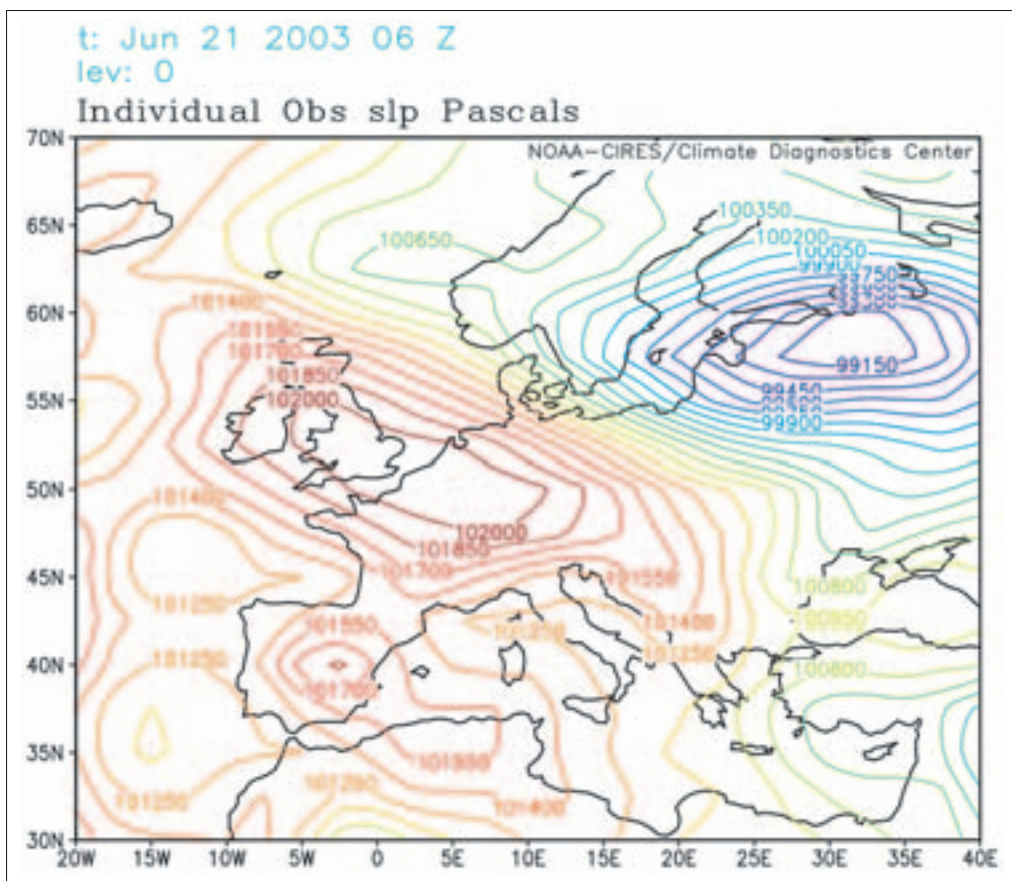


dneva in noči bolj stabilne in kažejo na vpliv splošnega gibanja zračnih mas v območju anticiklona. Prevladoval je veter iz severovzhodne smeri s povprečno hitrostjo okrog 2 m/s.

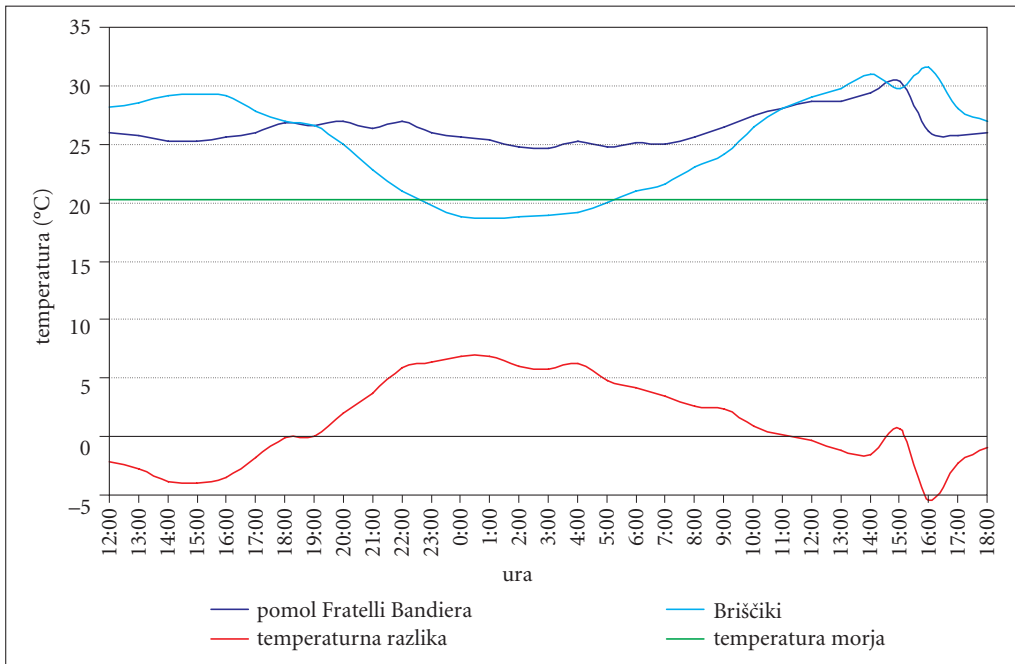
Primerjava vetrovnih razmer na obali in tik za kraškim robom (AMP Zgonik) (slika 12) kaže, da so smeri vetrov ob stabilni vremenski situaciji na obeh postajah dokaj podobne. V popoldanskih urah prevladuje veter iz zahodnih smeri, kar sovпада s smerjo dnevnega vetra z morja ob obali. Proti večeru se smer vetra obrne v vzhodno-severovzhodno smer in se obdrži vse do zgodnjega dopoldneva. Hitrosti vetra v Zgoniku se tekom dneva v povprečju gibljejo med 2 in 3 m/s in so razmeroma podobne hitrostim ob obali. Največja razlika v hitrosti nastane zjutraj in zgodaj dopoldne, ko je hitrost vetra v Zgoniku precej manjša kot v obalnem predelu. Vzrok večjih hitrosti vetra ob obali je že omenjeno stekanje in pospeševanje hladnih zračnih mas po strmem pobočju proti morju.

## 6.2 Razvoj jutranjega termičnega vetra ob šibki burji v zaledju

Vpliv splošnega gibanja zračnih mas v kraškem zaledju na razvoj jutranjega termičnega vetra v zalivu smo ovrednotili z analizo meteoroloških parametrov za izbran vzorčni dan (21. 6. 2003). Po oceni se je hitrost vetra v zalivu pred Barkovljami gibala med 12 in 16 m/s, v sunkih do 18 m/s, navedene vetrovne razmere so trajale vse do zgodnjega dopoldneva.



Slika 13: Polje zračnega pritiska nad Evropo, 21. 06. 2003 (NOAA-CIRES 2008).



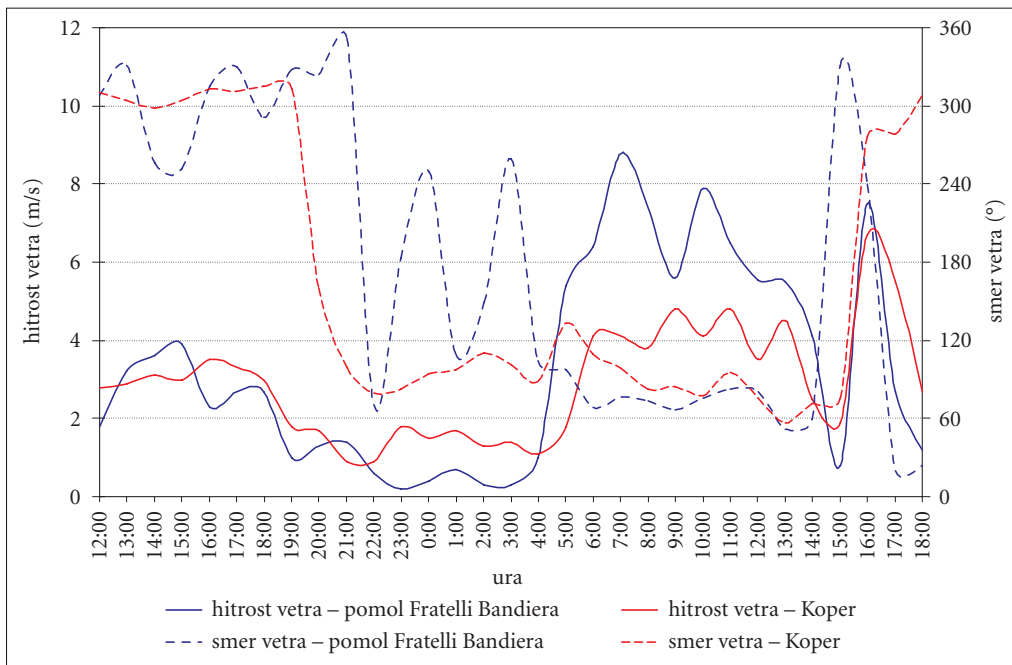
Slika 14: Temperatura zraka na AMP Fratelli Bandiera in AMP Briščiki ter temperatura morja med 20. in 21. 6. 2003 (OSMER 2006; ISMAR 2006; Commissione 2006).

Makrovremenska situacija kaže (slika 13), da je območje Slovenije na robu polja visokega zračnega pritiska z majhnim gradientom. Središče anticiklona je nad severozahodno Evropo, zato gradient pritiska povzroča nad Slovenijo šibkejše višinske severne in severovzhodne vetrove.

Potek temperatur zraka v obalnem območju in kraškem zaledju kaže značilno dnevno gibanje ob stabilni vremenski situaciji z izdatnim nihanjem temperature zraka v zaledju (slika 14). Po sončnem zahodu temperatura zraka za kraškim robom hitro pada, največja razlika nastopi ob 1.00 (6,9°C). Proti jutru se temperaturna razlika postopoma zmanjšuje in se ob 11.00 izniči. Razlika med temperaturo morja in zraka ob obali je v obdobju trajanja jutranjega termičnega vetra v povprečju 6°C, kar je običajno za začetek poletja.

Analiza vetrovnih razmer kaže (slika 15), da popoldanski veter z morja s povprečno hitrostjo med 3 in 4 m/s proti večeru skladno s potekom temperature ozračja nad morjem in zaledjem slabi in se v večernih urah obrne v veter iz severovzhodne smeri. Proti jutru se začne hitrost vetra zaradi jutranje obalne zračne cirkulacije na obeh obalnih predelih povečevati. V Trstu doseže največjo hitrost (8,8 m/s) ob 7.00 zjutraj. Ob običajni obalni cirkulaciji veter s kopna poneha okrog 8.00 (odvisno od letnega časa), v obravnavanem primeru pa se trajanje jutranjega vetra zaradi vpliva šibke burje iz zaledja podaljša do 14.00. To potrjujejo tudi meritve vetra v Postojni in predvsem Ajdovščini (slika 16). Ocenjena hitrost vetra v zalivu pred Barkovljami je bila tudi v tem primeru večja kot na pomolu Fratelli Bandiera in se je gibala med 12 in 16 m/s, največ do 18 m/s. Hitrost vetra v Kopru je, kot običajno, v povprečju 4 m/s manjša kot na pomolu Fratelli Bandiera. Veter se tudi v Kopru zaradi vpliva burje podaljša do zgodnjega popoldneva. Očiten je kasnejši razvoj popoldanskega vetra, kot posledica podaljšanja trajanja jutranjega vetra s kopna.

V Ajdovščini in tudi Postojni so dan prej prevladovali vetrovi iz zahodnih smeri (slika 16), hitrost vetra se je gibala okrog 2 m/s. V večernih urah se veter po pričakovanju umiri, proti jutru pa hitrost



Slika 15: Smer in hitrost vetra na AMP Fratelli Bandiera in AMP Koper med 20. in 21. 6. 2003 (OSMER 2006; ARSO 2006).

zopet naraste na 2 m/s in ima vzhodno-severovzhodno smer. V Postojni se nato čez dan ohranjata konstantna smer in hitrost, za razliko od Ajdovščine, kjer se v poznem dopoldnevu hitrost vetra (šibka burja) poveča proti 4 m/s in se proti popoldnevu skoraj umiri. Šibek veter iz vzhodnih smeri v dopoldanskem času, ki je opazen v Postojni, bolj izrazit pa v Ajdovščini, se odraža v vetrovnih razmerah na obalnem območju. Obalna zračna cirkulacija se v jutranjih urah ne zaključi in obrne v veter z morja, kot je običajno, ampak se veter zaradi vpliva šibke burje v zaledju ohrani vse do zgodnjega popoldneva.

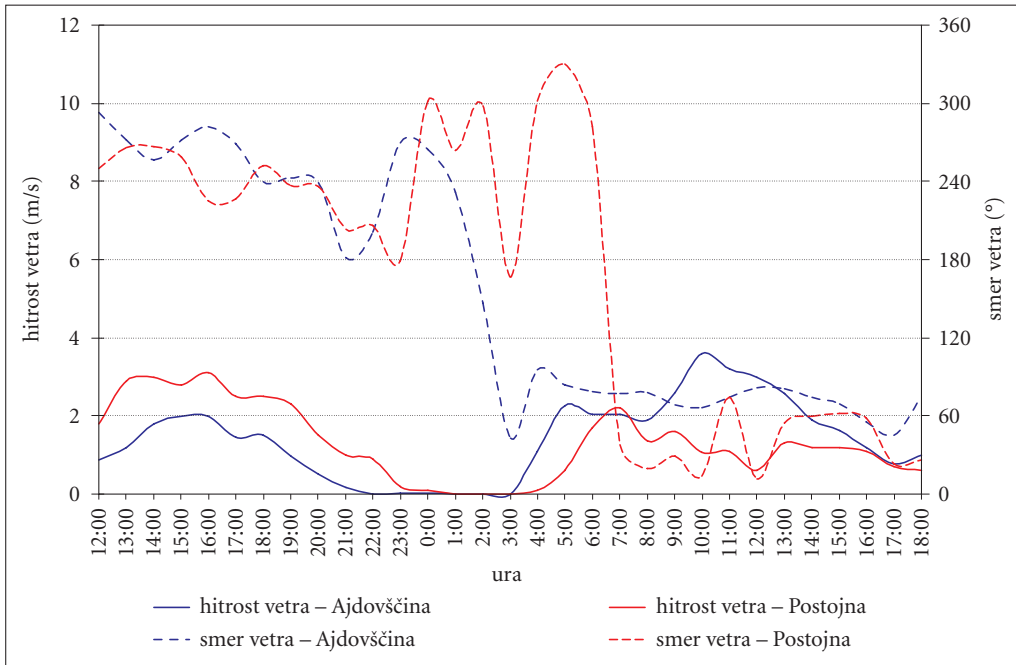
Vetrovne razmere v Zgoniku so podobne razmeram v Ajdovščini in Postojni, le hitrosti vetra so predvsem v poznem jutru in dopoldnevu, ko se v zaledju razvije šibka burja, večje (slika 17). Primerjava razmer v Zgoniku z obalnimi predeli kaže, da so v tem delu dneva hitrosti ob morju še precej večje, smer vetra pa se ohranja.

Za izbrani dan so na voljo tudi podatki o vetrovnih razmerah na oceanografski boji PALOMA, in sicer za 14.00 in 21.00 prejšnjega dne ter 7.00 in 14.00 obravnavanega dne (preglednica 1).

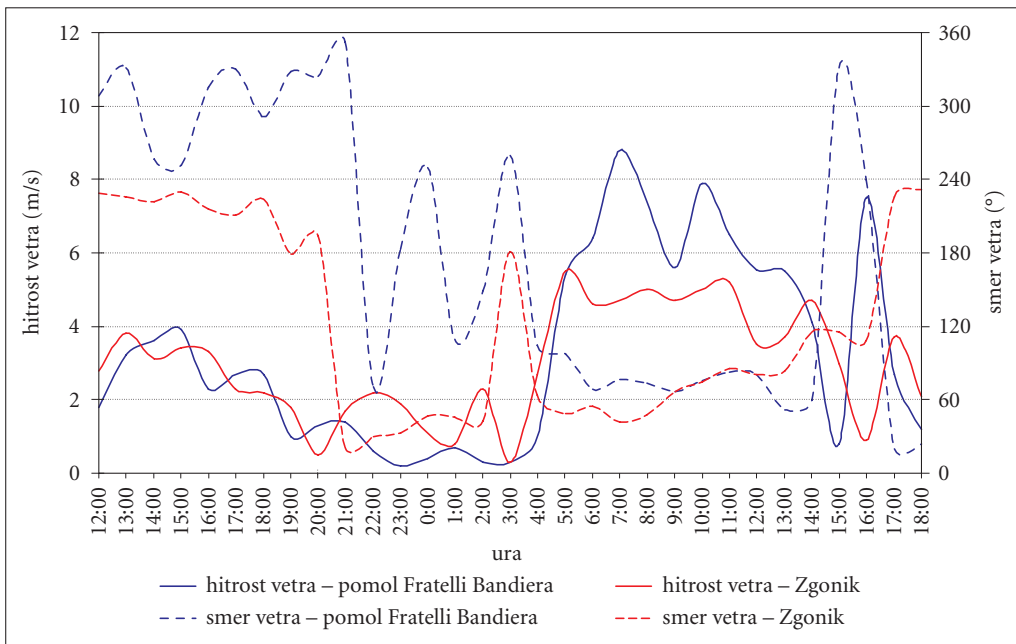
Preglednica 1: Smeri in hitrosti vetra na oceanografski boji PALOMA med 20. in 21. 6. 2003 (OSMER, 2006).

	ob 14. uri	ob 21. uri	ob 7. uri	ob 14. uri
smer vetra (°)	285	336	80	265
hitrost vetra (m/s)	4,8	1,1	6,1	6,0

Podatki o smeri in hitrosti vetra na boji PALOMA kažejo na popoldanski veter z morja v dnevu pred razvojem okrepljenega termičnega vetra v zalivu pred Barkovljami. Meritve ob 21.00 kažejo, da proti večeru hitrost vetra upada, smer pa se obrača proti severu. Veter s kopna v jutranjih urah (7.00)



Slika 16: Smer in hitrost vetra na AMP Ajdovščina in AMP Postojna med 20. in 21. 6. 2003 (ARSO 2006).

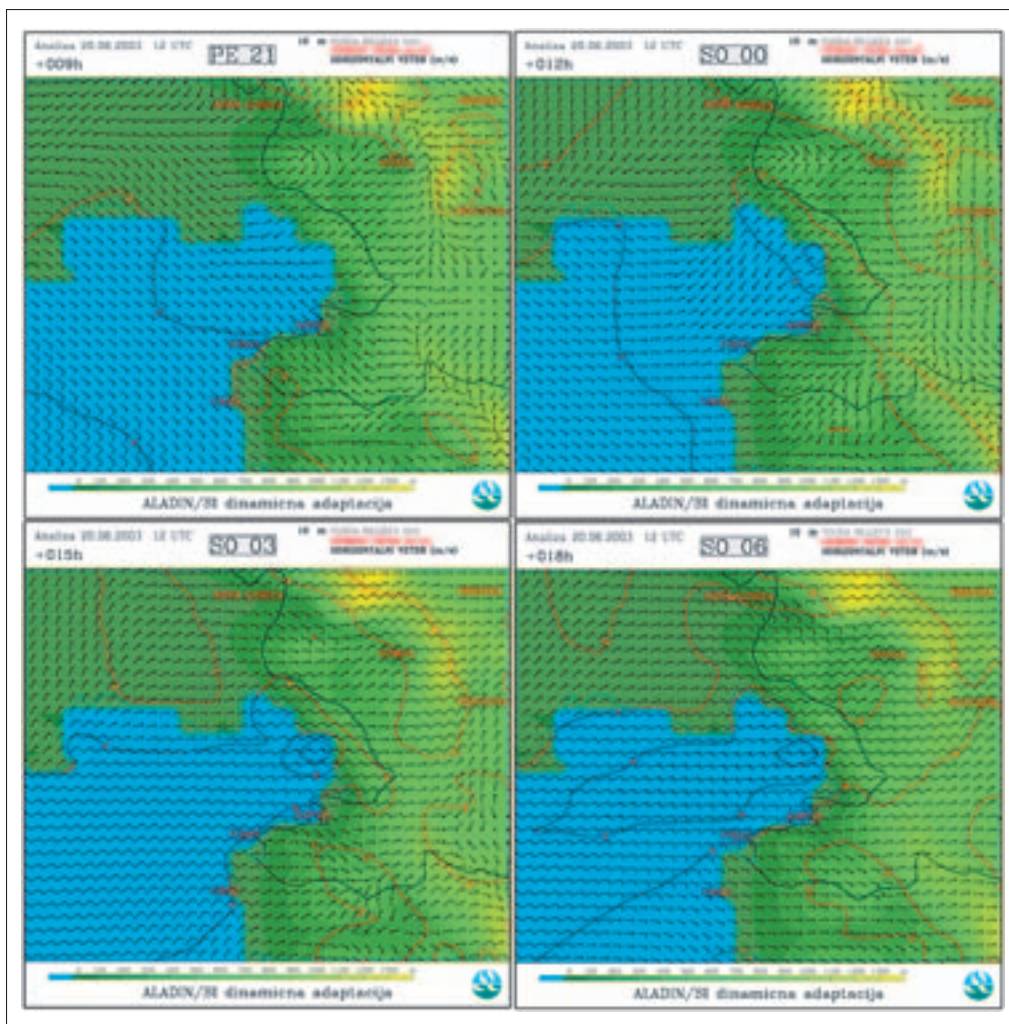


Slika 17: Smer in hitrost vetra na AMP Fratelli Bandiera in AMP Zgonik med 20. in 21. 6. 2003 (OSMER 2006).

sega do sredine Tržaškega zaliva. Smer se ujema s smerjo vetra na pomolu Fratelli Bandiera, hitrost pa je nekoliko manjša. V popoldanskih urah se veter ponovno obrne v veter z morja, ki se razvije nekoliko prej kot ob obali Tržaškega zaliva.

Za ovrednotenje možnosti uporabe meteorološkega modela ALADIN/SI – DADA pri napovedi vetrovnih razmer v zalivu pred Barkovljami je za izbran vzorčni dan izdelana primerjava med napovedanimi (slika 18) in dejanskimi vetrovnimi razmerami. Predstavljeno polje izračunov obsega Tržaški zaliv in predel jugozahodne Slovenije vse do visokega kraškega roba. Ure napovedi modela so izpisane v UTC času, zato je treba upoštevati časovni zamik glede na lokalni čas (v poletnem času je to dve uri).

V napovedih modela je razvidno vzpostavljanje ugodnih pogojev za razvoj okrepljenega jutranjega termičnega vetra s postopnim razvojem šibkega pretoka zračnih mas (do 1,25 m/s) iz severovzhodne smeri nad širšim območjem (slika 18: PE 21 (petek ob 21.00), slika 18: SO 00 (sobota ob 0.00)). Za 2.00 je napoved hitrosti vetra za celotni predel pod kraškim robom 2,5 m/s, v ožjem predelu pred Bar-



Slika 18: Napoved vetra meteorološkega modela ALADIN/SI – DADA med 20. in 21. 6. 2003 (ARSO, 2006).



kovljami pa 5 m/s. To kaže na vpliv reliefa, ki je upoštevan v izračunu modela. Gostota računskih točk modelu DADA omogoča, da zajame vpliv kraškega roba, še vedno pa je gostota premajhna za objektivno ovrednotenje vpliva doline Rio Bovedo. Ob 5.00 zjutraj je pred Barkovljami lokalna napoved vetra 10 m/s, kar je ob upoštevanju dodatnega pospeševanja zračnih mas v reliefnih zožitvah zaledja Barkovelj že ugodna napoved za razvoj vetra s hitrostjo med 10 in 15 m/s. V zaledju je po napovedih v nočnih urah in proti jutru pričakovati majhno povečevanje hitrosti vetra iz severovzhodne smeri, izjema so predele tik za kraškim robom in bolj izpostavljena mesta pod visokim kraškim robom.

V jutranjih urah (slika 18: SO 06 (sobota ob 6.00)), ko hitrost običajnega termičnega vetra v zalivu pred Barkovljami upada, je v kraškem zaledju napovedana okrepitev vetra iz severovzhodne smeri. Ta vpliva, da se okrepljen jutranji termični veter ne prekine, ampak se nadaljuje proti poldnevu zaradi povečanega dotoka zračnih mas iz severovzhodne smeri (slika 16, slika 17). Krepitev vetra iz severovzhodne smeri je razvidna iz napovedi (slika 18: SO 06 (sobota ob 6.00)), ko se območje večje hitrosti vetra razširi na celotno obalno območje pod kraškim robom in tudi dlje proti sredini Tržaškega zaliva. Pri manjšem dotoku zračnih mas iz severovzhodne smeri (slika 18: SO 03 (sobota ob 3.00)) se okrepljen veter razvije izključno v ozkem predelu pred Barkovljami.

Predstavljeni vzorčni dan z obalno zračno cirkulacijo in šibko burjo v zaledju je po izsledkih obsežnejše analize vetrovnih razmer za izbrane dni najpogostejši primer razvoja okrepljenega jutranjega termičnega vetra v zalivu pred Barkovljami. V jutranjih urah, ko se ob obali razvije veter s kopnega ter v zaledju šibka burja, se pojavijo bistvene razlike v hitrosti vetra med izbranimi meteorološkimi postajami. Pri tem najbolj izstopata hitrosti vetra na pomolu Fratelli Bandiera in še posebej v zalivu pred Barkovljami, kot posledica značilne reliefne izoblikovanosti površja v zaledju. V takih razmerah so tako hitrosti vetra v zgodnjem jutru večje, poleg tega pa se lahko ugodne vetrovne razmere v zalivu zaradi šibke burje v zaledju podaljšajo tudi do poldneva.

## 7 Sklep

Analiza vseh vplivnih dejavnikov razvoja okrepljenega jutranjega termičnega vetra v Barkovljah potrjuje v izhodišču postavljeno hipotezo, da se v zalivu pred Barkovljami razvije okrepljen jutranji termični veter zaradi dovolj velike temperaturne razlike ozračja med obalnim in kraškim predelom, strmega in ugodno izoblikovanega reliefa v obalnem zaledju ter dodatnega vpliva šibke burje. Obenem je moč na podlagi izsledkov raziskavo nadgraditi s točnejšim ovrednotenjem vloge posameznih vplivnih dejavnikov.

Primerjava temperaturnih razlik med zračnimi masami nad obalnim predelom in Krasom, ki imajo odločilno vlogo pri nastanku termičnih vetrov, je pokazala, da je za razvoj izrazitejšega termičnega vetra v predelu Tržaškega zaliva pod kraškim robom, najmanjša potrebna temperaturna razlika približno 5 °C.

Podrobna analiza modela reliefa ožjega obravnavanega območja je pokazala, da je v neposrednem zaledju Barkovelj izoblikovana dolina Rio Bovedo, usmerjena od severovzhoda proti jugozahodu z izrazitimi zožitvami v osrednjem delu doline in iztekom tik ob obalni črti. Usmerjenost doline se ujema s smerjo jutranjega termičnega vetra, zožitve v dolini gibanje zračnih mas še dodatno pospešijo, zato se v zalivu pred Barkovljami razvije lokalno okrepljen jutranji termični veter. Izmerjena urna povprečna hitrosti vetra so tako v primerjavi s hitrostmi v Trstu tu višja za vsaj 4 m/s oziroma 40 %, končne vrednosti hitrosti pa se gibljejo med 8 in 16 m/s.

Ob prisotnosti šibke burje v kraškem zaledju se po ugotovitvah raziskave hitrost jutranjega termičnega vetra v zalivu pred Barkovljami poveča za 10 do 15 %. Vpliv se odraža tudi na času trajanja termičnega vetra v zalivu, saj se le-ta ohrani vse do poldneva. Primerjava hitrosti gibanja zračnih mas v kraškem zaledju je pokazala, da so ob nastanku okrepljenega termičnega vetra v kraškem zaledju prisotni vetrovi iz severovzhodne smeri, in sicer v Ajdovščini v povprečju s hitrostjo 3 m/s, v Postojni 1 m/s in v Zgoniku od 4 do 5 m/s.

Napoved meteorološkega modela ALADIN/SI – DADA po primerjavah z dejanskimi vetrovnimi razmerami zelo dobro predvidi razporeditev in hitrost vetrov v zalivu pred Barkovljami in na širšem obravnavanem območju. Za razvoj okrepljenega termičnega vetra je tako v jutranjih urah potrebna napoved šibkega gibanja zračnih mas v kraškem zaledju iz severovzhodne oziroma vzhodne smeri s hitrostjo med 2,5 in 5 m/s ter s predvideno lokalno okrepitevijo vetra v zalivu pred Barkovljami s hitrostjo 10 m/s ali nekoliko več.

Raziskavo bi bilo v prihodnje smiselno nadgraditi predvsem z zanesljivejšo napovedjo ugodnih vetrovnih razmer v Tržaškem zalivu. Na podlagi zbranih meteoroloških podatkov (temperatura zraka, smer in hitrost vetrov, zračni pritisk ...) na širšem vplivnem območju razvoja jutranjega termičnega vetra in utemeljenega izgleda ugodne napovedi meteorološkega modela bi lahko oblikovali bazo podatkov za oblikovanje pravil odločanja ekspertnih sistemov. Glede na razpoložljive trenutne vhodne podatke bi tako lahko izdelali objektivnejšo oceno možnosti razvoja vetra v zalivu ter njegove končne hitrosti in čas trajanja.

## 8 Viri in literatura

- ARSO. Meteorološki podatki za avtomatske meteorološke postaje Koper, Postojna in Ajdovščina. Ljubljana, 2006.
- Bičanić, Z. 1996: Večletni potek površinske temperature morske vode v vzhodnem delu Tržaškega zaliva (dejavniki, ki največ vplivajo na termalne vrednosti). Geografski vestnik 68. Ljubljana.
- Commissione Grotte E. Boegan. Meteorološki podatki za avtomatsko meteorološko postajo Briščiki. Società Alpina delle Giulie Trieste. Trst, 2006.
- Državna topografska karta Republike Slovenije 1 : 25.000. List Sežana 163. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 1997.
- Golfo di Trieste. Carte delle zone turistiche. 1 : 50.000. Geodetski zavod Republike Slovenije. Ljubljana, 1998.
- Hočevár, A., Petkovšek, Z. 1995: Meteorologija: osnove in nekatere aplikacije. Ljubljana.
- ISMAR. Podatki za temperaturo morja na postaji »Fratelli Bandiera«. Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche. Trst, 2006.
- McPherson, R. D. 1970: A Numerical Study of the Effect of a Coastal Irregularity on the Sea Breeze. Journal of the Applied Meteorology 9. Boston.
- Medmrežje 1: [http://www.arso.gov.si/podrocja/vreme\\_in\\_podnebje/napovedi\\_in\\_podatki/aladin/aladin.htm](http://www.arso.gov.si/podrocja/vreme_in_podnebje/napovedi_in_podatki/aladin/aladin.htm) (14. 2. 2008).
- Medmrežje 2: [http://www.arso.gov.si/podrocja/vreme\\_in\\_podnebje/napovedi\\_in\\_podatki/dada/dada.htm/](http://www.arso.gov.si/podrocja/vreme_in_podnebje/napovedi_in_podatki/dada/dada.htm/) (14. 2. 2008).
- Medmrežje 3: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html#surface/> (7. 1. 2008).
- Medmrežje 4: <http://earth.google.com/> (7. 1. 2008)
- Neumann, J., Mahrer, Y. 1974: A Theoretical Study of the Sea and Land Breezes of Circular Islands. Journal of Atmospheric Sciences 31. Boston.
- Ogrin, D. 1995: Podnebje Slovenske Istre. Knjižnica Annales 11. Koper.
- Ogrin, D. 1996: Podnebni tipi v Sloveniji. Geografski vestnik 68. Ljubljana.
- Ogrin, D. 1998: Gradivo za študij klimatogeografije. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- OSMER. Podatki za avtomatske meteorološke postaje »Fratelli Bandiera«, Zgonik in PALOMA. Osservatorio Meteorologico Regionale – Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia. Trst, 2006.
- Pagon, P. 2006: Jutranji termični veter v Barkovljah pri Trstu. Diplomsko naloga, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Produkti meteorološkega modela ALADIN/SI – DADA. Agencija RS za okolje. Ljubljana, 2006.

- Pielke, R. A. 1974: A Three-dimensional Numerical Model of the Sea Breezes over South Florida. *Monthly Weather Review* 102. Boston.
- Pielke, R. A. 1984: *Mesoscale Meteorological Modeling*. New York.
- Penzar, B., Penzar, I., Orlič, M. 2001: *Vrijeme i klima Hrvatskog Jadrana*. Zagreb.
- Polajnar, J. 2004: Osebni dnevnik z evidentiranimi dnevi jadriranja na deski v zalivu pred Barkovljami za obdobje od leta 1999 do 2004 – osebni vir. Ljubljana.
- Salletmeier, C., Winkelmeier, H. 1994: *Windenergie in Österreich*. Bundesministerium für Wissenschaft. Wien.
- Simpson, J. E. 1996: Diurnal Changes in Sea-Breeze Direction. *Journal of Applied Meteorology* 35. Boston.
- Sušelj, K. 2001: Vpliv statične stabilnosti in vetrovnosti na razvoj obalnih vetrov. Diplomsko delo. Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Topografska karta Koper. 1 : 100.000. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2005
- Walsh, J. E. 1974: Sea Breeze Theory and Applications. *Journal of the Applied Meteorology* 31. Boston.
- Zhong, S., Takle, E. S. 1993: The Effects of Large-Scale Winds on the Sea-Land-Breeze Circulations in an Area of Complex Coastal Heating. *Journal of Applied Meteorology* 32. Boston.

## 9 Summary: Morning thermic wind in Barcola bay near Trieste

(translated by the author)

The aim of given research is to analyze conditions for the development of amplified morning thermic wind (called also land-breeze) in the gulf in front of Barcola near Trieste. As an outcome of the research, it is expected that the knowledge base would provide enough information also for forecasting the suitable wind conditions at sufficient reliability.

Under certain conditions the amplified land-breeze in Barcola bay reaches uncommon speeds, providing seldom opportunity for sailing or windsurfing during the summer. The land-breeze reaches applicable speeds (above 5 m/s) in early morning hours usually from 5.00 am to 9.00 am. Land-breeze (along the Adriatic coast also called burin) is a part of coastal sea-land-breeze circulation, developed under stable weather conditions during the summer. Therefore, the research incorporated a comprehensive study of coastal land-breeze air flow and its key parameters as air temperature difference between air masses in the coastal region and those situated in the hinterland, coastal relief characteristics, as well as the influence of general winds above the discussed area.

The research originates in land-breeze speed estimations, performed during windsurfing in Barcola bay. Wind speed estimation database contains 37 records in time period from 1999 to 2004, among which 10 were chosen for further analysis. At the beginning, relief characteristics of the Karst edge region, coastline and the deeper hinterland were addressed in order to gain a general overview over the region and mainly to estimate the impact of specific relief in the vicinity of Barcola. A thorough examination of meteorological parameters that disclose weather conditions over the region on each particular day was based on meteorological data, recorded on several automatic weather stations (AWS) in the discussed region. Stations were chosen so as to provide the best overview over weather conditions in the region of Barcola, further along the Trieste gulf coastline (AWS on Fratelli Bandiera pier in Trieste, AWS Koper), towards the open sea (ocean buoy PALOMA) and immediately behind the Karst edge (AWS Sgonico, AWS Brisciki). Since the preliminary land-breeze analysis showed a great impact of the region's characteristic bora wind on parameters of the discussed wind, additional meteorological stations toward the interior of the Slovenian Karst region (AWS Ajdovščina, AWS Postojna) were incorporated, too. In order to build up the knowledge database for future land-breeze forecasting, the wind forecasts for selected days, calculated using meteorological model ALADIN/SI – DADA, were further analyzed. The stated meteorological model is at the moment the best option for objective wind forecasting, since it, among all other deciding parameters, takes into account also the estimation of surface relief and performs the calculations at sufficient density of calculation points.

Presented analysis is structured so as to demonstrate different conditions for the development of the applicable land-breeze, at the beginning the ordinary conditions for development of land-breeze are evaluated, and as second, the conditions with increasing influence of the weak bora wind.

The development of land-breeze is tightly connected to global weather situation and the position of air pressure forms (cyclones, anticyclones) over the wider region, in this particular case over the Europe. The development is possible when Slovenia and its neighboring countries are influenced by a high air pressure or in other words when the region is situated in the anticyclone area. Therefore air pressure gradients are usually very low so there are no stronger and wide-ranging winds present. Upon air pressure maps, presented in the research, one can conclude that the most suitable position of the anticyclone is NE of Slovenia. When an additional cyclone is present in Mediterranean moderate or stronger winds develop.

The analysis of meteorological parameters in narrower region of Barcola returned that minimum air temperature difference between coastal region and the region behind Karst edge, which determines the development of amplified land-breeze, is to be at least 5 °C. Upon the results of the analysis, the temperature difference usually exceeds set margin, depending mostly of the season of the year. Forming of air temperature difference is directly connected to characteristic day course of air temperature and consequently of sea-land-breeze in the coastal region during clear summer and autumn days. Usually, the efficient air temperature difference starts to form in the evening, rising up to its maximum at around 1.00 am to 2.00 am. The results show that this is also the starting time of the land-breeze whose speed increases toward the morning. Temperature difference is starting to lower, as a consequence of colder air masses being descending to the coastal region. In the morning, the land-breeze speed is decreasing accordingly to lowered temperature difference and impacted also with the additional heating of the surface because of sun insolation.

Colder and therefore heavier air masses, dammed behind the Karst edge, start to descend to lower coastal region in the middle of the night. Due to rather large height of the Karst edge above the sea level (up to 400 m) air masses are accelerated while descending toward the coastal line. Additional acceleration is assured also by the shape of coastal hinterland, since a very suitably shaped valley Rio Bovedo with narrower sections in its central part is located next to Barcola, as it can be seen in 3D relief model and valley cross sections, given in the research. Cold air masses are therefore additionally accelerated when moving through the narrows of the valley.

Under above presented conditions the amplified land-breeze in Barcola bay reaches from 8 to 16 m/s, according to previously mentioned estimations. When comparing conditions along the coastal region, hourly wind speed, measured in Trieste, reaches from 8 to 9 m/s. On the other hand, wind speed in Koper is significantly lower (3–4 m/s) since the hinterland of Koper bay is completely different comparing to the region behind Trieste or Barcola. Upon the results of the analysis, the speed of amplified land-breeze in Barcola bay surpasses hourly wind speed in Trieste by up to 4 m/s, in other words, by up to 40% in average.

When analyzing wind conditions behind the Karst edge under above given conditions, a bora wind is noticeable, reaching an average speed around 4 m/s (AWS Sgonico) during the whole course of land-breeze in Barcola. Measurements in Ajdovščina also disclose a presence of ENE wind, reaching the speed of 3 m/s, while in Postojna only a very weak NNE wind (around 1 m/s) is usually present.

Slightly increased bora wind over the whole Karst region (Sgonico up to 5 m/s, Ajdovščina up to 4 m/s) influences the land-breeze in Barcola bay in its top speed and also duration. In such cases it often happens that morning land-breeze under Karst edge is prolonged towards the midday.

Wind forecasts, created using meteorological model ALADIN/SI – DADA, show very good agreement between predicted and measured wind conditions. In the evening before the development of amplified land-breeze there is a uniformly distributed NE wind over the whole Karst region predicted, with speeds reaching around 2,5 m/s, and in the Barcola bay up to 5 m/s. In the early morning, overall increasing of wind speed is foreseen, with wind speed from 2,5 to 5 m/s in the Karst area and with

local amplification in Barcola bay up to 10 m/s. Taking into account also the additional contribution of Rio Bovedo valley, which is, due to reasonable technical limitations, not taken into consideration in the calculations of the meteorological model, the expected land-breeze speed could reach up to 15 m/s.

A thorough research of specific wind conditions in Barcola bay offers a good view over the theoretical background and all influential parameters that determine the development of amplified land-breeze in the bay. Proven accordance with the wind forecasts, created using meteorological model ALADIN/SI – DADA, provides a good starting point for reliable prediction of the development of applicable wind. As a future challenge, the presented knowledge and data base could be upgraded and used for establishing of more accurate wind prediction tools, for instance using artificial intelligence systems.



