

# SATELITSKE MERITVE VETRA NAD MORJEM OB ZELO MOČNI BURJI

## Satellite measurements of wind speed above sea surface during very strong bora wind

Mateja Iršič Žibert\*, Boštjan Muri\*\* UDK 551.501.86:551.557

### Povzetek Abstract

Danes se vse bolj uporabljajo tudi meritve vetra nad morjem s sateliti. V prispevku je opisana analiza vetra 6. in 8. februarja 2012, ko je bila na Primorskem in v severnem Jadranu zelo močna burja, ki je povzročila veliko škode. Satelitske meritve vetra nad morjem so pomembne za ugotavljanje prostorske porazdelitve vetra in predstavljajo dopolnitev in dodatno informacijo ter preverjanje pravilnosti modelskih polj vetra, napovedanih z meteorološkimi modeli. Predstavljene bodo satelitske meritve vetra merilnika ASCAT (angl. Advanced Scatterometer) na polarno-orbitalnem satelitu METOP, ki je v lasti Evropske medvladne organizacije za uporabo meteoroloških satelitov EUMETSAT. V prvem delu je predstavljen princip merjenja vetra nad morjem z merilnikom ASCAT na satelitu METOP, v nadaljevanju pa sta predstavljeni analiza prizemnega vetra na Primorskem in meritve vetra na morski boji Vida blizu Pirana v dneh zelo močne burje, z glavnim poudarkom na primerjavi meritev vetra s satelitom METOP in modelskega polja vetra z numeričnega meteorološkega modela ALADIN.

Satellite data including wind measurements above sea surface are becoming increasingly useful. This article presents the analysis of wind measurements made between 6 and 8 February 2012 with strong Bora wind in the Primorska region and the north Adriatic regions which caused damage to property. Satellite wind measurements above the sea are important for spatial distribution of the wind field and represent a complementary source of information for numerical weather prediction model for wind field as well as for verification of model forecasts. Measurements of Advance Scatterometer (ASCAT) onboard polar-orbital METOP satellite owned by the European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) will be presented. The first part deals with measurement principles above the ocean by ASCAT. The main part focuses on the analysis of wind speed ground measurements in the Primorska region and on the buoy near Piran, with the emphasis on the comparison of satellite wind speed measurements and the wind speed of ALADIN numerical weather prediction model.

## Uvod

Satelitska tehnologija je v zadnjih letih tako napredovala, da lahko s posebnimi meritvami na meteoroloških satelitih merimo tudi veter nad morjem. Tovrstne satelitske meritve vetra nam omogočajo vpogled v prostorsko porazdelitev vetra nad morji in oceani in so ključna dopolnitev meritvam vetra na morskih bojah, ki so večinoma nameščene blizu obal. Satelitske meritve vetra so z izbranim satelitom METOP mogoče za ves svet, vendar so nad istimi geografskimi območji dostopne le nekajkrat na dan, meritve na bojah pa so dostopne vsakih nekaj minut. Bolj pogosto časovno osveženost satelitskih meritev lah-

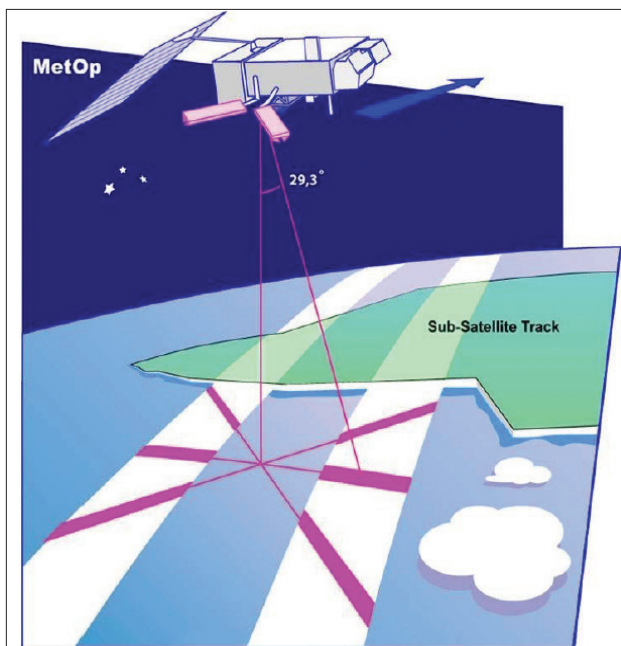
ko dosežemo z uporabo več satelitov. V nadaljevanju bo predstavljen satelit METOP, ki omogoča tovrstne meritve vetra nad morjem. Na izbranem primeru močne burje bosta predstavljeni primerjava satelitskih in talnih meritev in primerjava z napovedanim vetrom, kot ga določimo iz meteorološkega numeričnega modela za napoved vremena.

## Princip merjenja vetra nad morjem s satelitom METOP

Na polarno-orbitalnem satelitu METOP v lasti medvladne evropske organizacije EUMETSAT je instrument Advanced SCATterometer (ASCAT), slika 1. Instrument ASCAT je meteorološki radar s šestimi antenami vertikalne pola-

\* mag., Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, ARSO, Vojkova 1 b, Ljubljana, mateja.irsic@gov.si

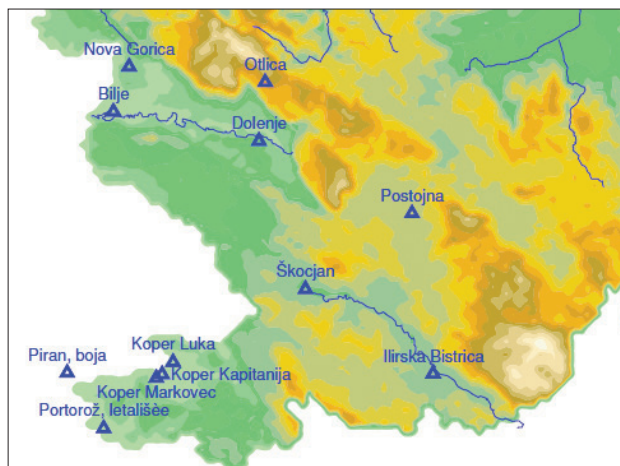
\*\* Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, ARSO, Vojkova 1 b, Ljubljana, bostjan.muri@gov.si



Slika 1: Shema merilnih anten senzorna ASCAT na satelitu METOP in talni odtis meritev, (© EUMETSAT)

Figure 1: Antennas of ASCAT scatterometer onboard METOP satellite and scanning geometry, (© EUMETSAT).

rizacije. ASCAT oddaja sevanje v spektralnem pasu 5,255 GHz (C-pas), kar omogoča, da so podatki dostopni tudi ob oblačnem in deževnem vremenu. Veter nad morjem se določa na podlagi značilnosti odbitega oziroma sipanega sevanja od morske površine (OSISAF, 2012). Torej pri tovrstnih meritvah ne gre za direktno meritev vetra, ampak se veter nad morjem oceni na podlagi vzvalovanosti morja, ki ga povzroča veter. Kljub temu pa je zanesljivost meritev vetra nad morjem z merilnikom ASCAT precej natančna, približno 2 m/s. Po drugi strani pa lahko pri največjih hitrostih vetra, ki jih lahko na ta način določimo navzgor omejene, merimo hitrosti do 25 m/s.



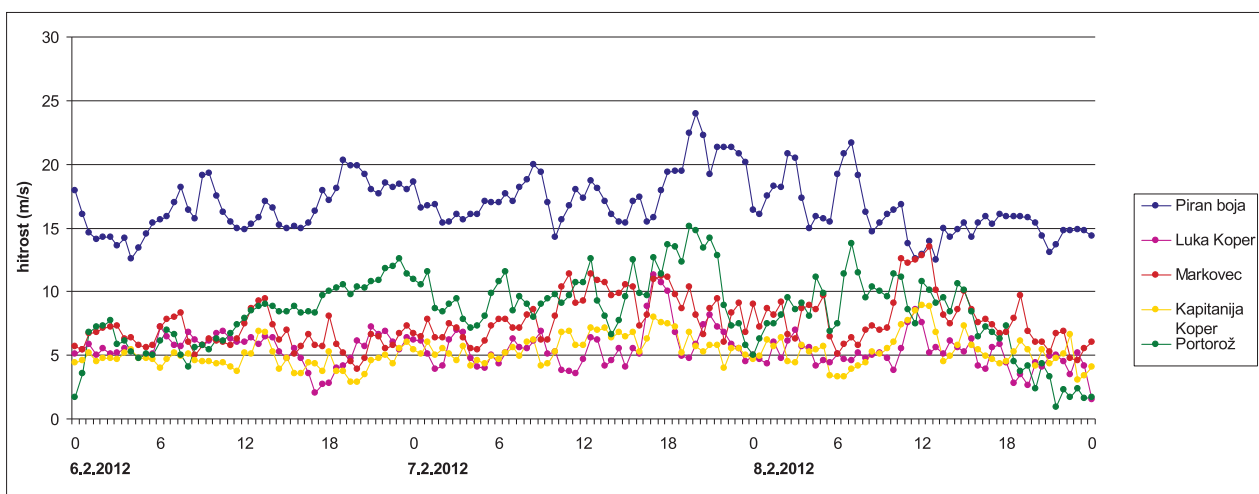
Slika 2: Lokacija merilnih mest vetra, (© ARSO)

Figure 2: Locations of wind stations, (© ARSO).

## Primer močne burje med 6. in 8. februarjem 2012

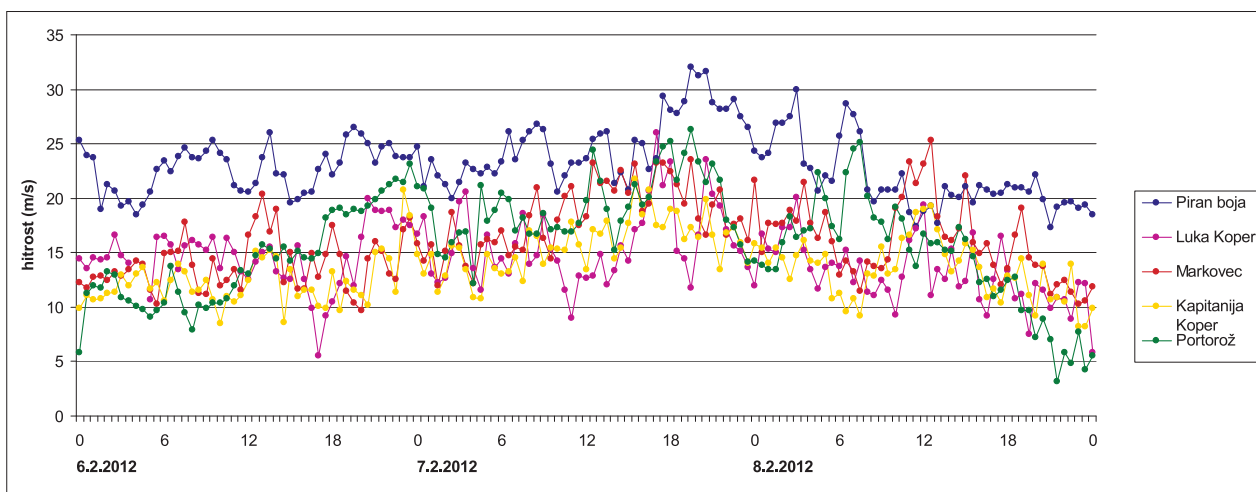
### Opis sinoptične situacije in prizemne meritve vetra

Nad osrednjim Sredozemljem se je ciklonsko območje 6. februarja 2012 poglobilo, območje visokega zračnega tlaka pa je bilo še vedno nad zahodno, srednjo in severovzhodno Evropo (Markošek, 2012). K nam je pritekal mrzel in vlažen zrak. Na Primorskem je bilo pretežno oblačno in večinoma brez padavin, pihala je močna do zelo močna burja, v notranjosti pa severovzhodni veter. Na sliki 2 so prikazane lokacije meritev vetra na Primorskem. Za izbrane dni z močno burjo, ko so bila ob ekstremnem vetru izdana meteorološka opozorila, je dana primerjava hitrosti vetra za štiri obalna merilna mesta (Luka Koper, Markovec, Kapitanija Koper in Portorož) in za bojo Piran.



Slika 3: Povprečne polurne meritve hitrosti vetra (m/s) na višini 10 m na štirih lokacijah ob morju in na morskem boju pri Piranu na višini 5 m od 6. do 8. 2. 2012 po lokalnem času, (© ARSO & MBSS)

Figure 3: Half-hourly averages of wind speed (m/s) at 10 m altitude on four locations in coastal area and on maritime buoy near Piran at 5 m altitude for the days 6-8 February 2012. Hours are indicated in local time, (© ARSO & MBSS).



Slika 4: Najmočnejši polurni sunki vetra (m/s) na višini 10 m na štirih lokacijah ob morju in na morskem boji pri Piranu na višini 5 m od 6. do 8. 2. 2012 po lokalnem času, (© ARSO & MBSS)

Figure 4: Maximum half-hourly wind gusts (m/s) at 10 m altitude at four locations in coastal area and at maritime buoy near Piran at 5 m altitude for the days 6-8 February 2012. Hours are indicated in local time, (© ARSO & MBSS).

Slika 3 prikazuje polurne povprečne vrednosti, slika 4 pa najmočnejše polurne sunke vetra. Iz slik 3 in 4 je razvidno, da so bile izmerjene hitrosti vetra bistveno večje na boji Piran kot drugje ob slovenski obali. Ker so razlike v velikosti med lokacijami precejšnje, tudi zaradi orografije, smo za primerjavo s satelitskimi meritvami vetra, ki so na odprtem morju, uporabili meritve z boje Piran. Več o vetrovnosti v Sloveniji je navedeno v Rakovec (2009).

## Primerjava satelitskih meritev, talnih meritev in napovedi vetra z meteorološkim modelom ALADIN

Od 6. do 8. februarja 2012 smo pregledali podatke ASCAT in izbrali dva termina, ko so bili na voljo podatki tudi nad Tržaškim zalivom v ločljivosti 12,5 km. Satelitsko izmerjen veter nad morjem predstavljamo v dveh različicah, pri čemer je osnovni prikazan le na odprtem morju (sliki 5 in 6), priobalni veter ASCAT pa tudi bližje obali (sliki 7 in 8). Ti podatki so na voljo ob vsakem vremenu, saj radar na satelitu METOP v C-pasu omogoča meritve do-gajanja na morski površini tudi skozi oblake.

V preglednici 1 so podatki za izmerjeni veter na boji Piran 6. februarja ob 21 UTC v primerjavi z najbližjo lokacijo meritev vetra nad morjem z instrumentom ASCAT/METOP (slika 5) ob 20.40 UTC. Poleg meritev so v preglednici 1 tudi napovedane vrednosti vetra iz meteorološkega modela ALADIN, in sicer na lokaciji satelitske meritve. Meteorološki model ALADIN se nenehno izpopolnjuje, zato smo prikazali vrednosti najnovejše različice CY35, ki ima visoko krajevno ločljivost (4 km), pri izračunu pa vključuje različne meritve (prizemna opazovanja, satelitske meritve in meritve sond) ter fizikalno shemo ALARO (Pristov, 2012), kar vpliva na končni izračun napovedanih vrednosti.

Enaka primerjava je prikazana v preglednici 3 za 8. februar 2012 ob 9 UTC za meritve na boji Piran in modelske izračune, za meritve ASCAT/METOP pa ob 8.34 UTC. Prav tako so prikazani podatki za priobalni produkt ASCAT/METOP 12,5 km v preglednicah 2 in 4.

Iz preglednic (1–4) je razvidno, da so meritve vetra s satelitom primerljive s polurnimi povprečji, medtem ko so sunki vetra po pričakovanjih večji od satelitskih meritev. Smer meritev vetra na boji Piran nekoliko odstopa, ven-

	Boja Piran – sunki	Boja Piran	ASCAT	ALADIN	ALADIN – sunki
Smer (°)	82	79	39	52	55
Velikost (m/s)	25	18,5	16,4	14	19

Preglednica 1: Primerjava meritev smeri in velikosti hitrosti vetra na 5 m na boji Piran, na 10 m iz satelitskih meritev ASCAT/METOP 12,5 km in na 10 m iz meteorološkega modela ALADIN, 6. 2. 2012 ob 21 UTC

Table 1: Comparison of wind direction and speed and at 5 m altitude at location bouy Piran, at 10 m by ASCAT/METOP satellite 12,5 km and at 10 m from meteorological model ALADIN on 6 Feb. 2012 at 21 UTC.

Priobalni	Boja Piran – sunki	Boja Piran	ASCAT	ALADIN	ALADIN – sunki
Smer (°)	82	79	61	65	67
Velikost (m/s)	25	18,5	15,4	16	23

Preglednica 2: Enako kot preglednica 1, vendar za priobalni ASCAT/METOP

Table 2: The same as table 1, but for coastal 12.5 km ASCAT/METOP.



	Boja Piran – sunki	Boja Piran	ASCAT	NWP	NWP – sunki
Smer [°]	74	82	48	54	56
Velikost (m/s)	20,8	16,4	15,2	12,0	18

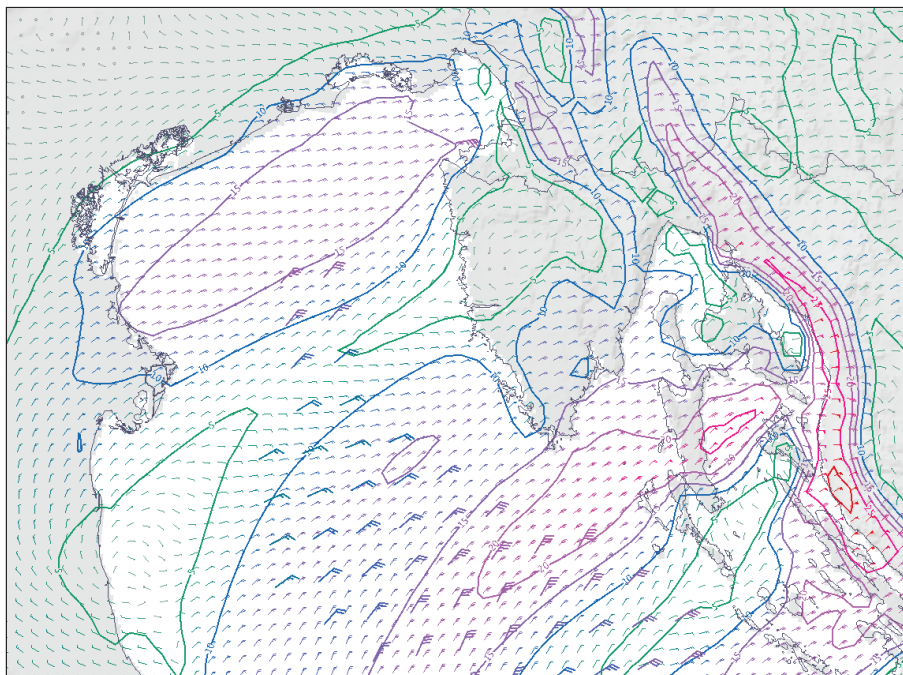
Preglednica 3: Primerjava meritev smeri in velikosti hitrosti vetra na 5 m nad morjem na boji Piran, na 10 m iz satelitskih meritev ASCAT/METOP 12,5 km in na 10 m iz meteorološkega modela ALADIN, 8. 2. 2012 ob 9 UTC

Table 3: Comparison of wind direction and speed at 5 m altitude at location bouy Piran, at 10 m by ASCAT/METOP satellite 12.5 km and at 10 m from meteorolgical model ALADIN on 8 Feb. 2012 at 9 UTC.

Priobalni	Boja Piran – sunki	Boja Piran	ASCAT	ALADIN	ALADIN – sunki
Smer [°]	74	82	57	63	68
Velikost (m/s)	20,8	16,4	17,1	16	24

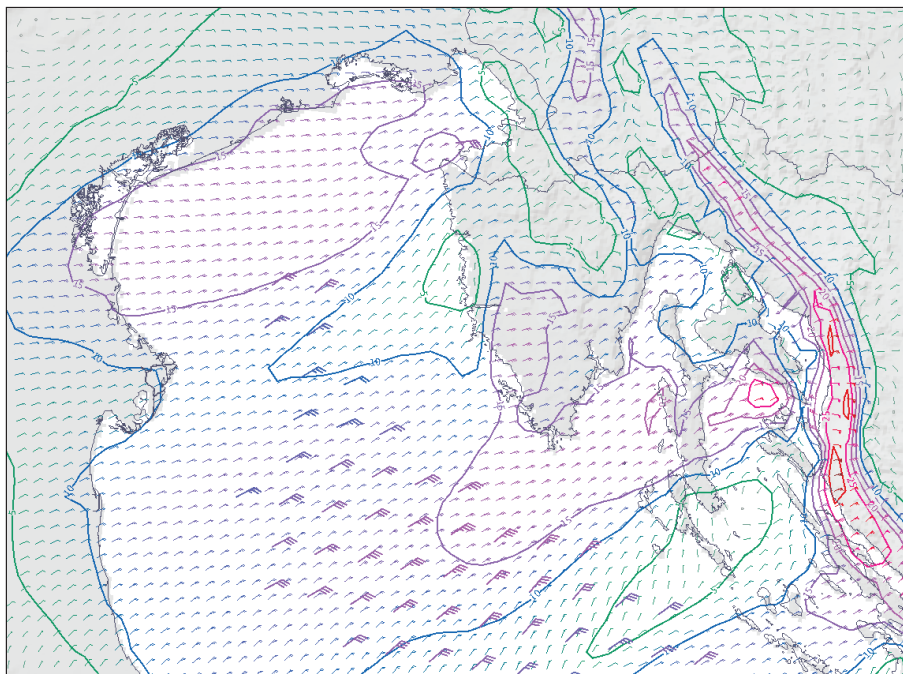
Preglednica 4: Enako kot preglednica 3, vendar za priobalni ASCAT/METOP

Table 4: The same as table 3, but for coastal 12.5km ASCAT/METOP.



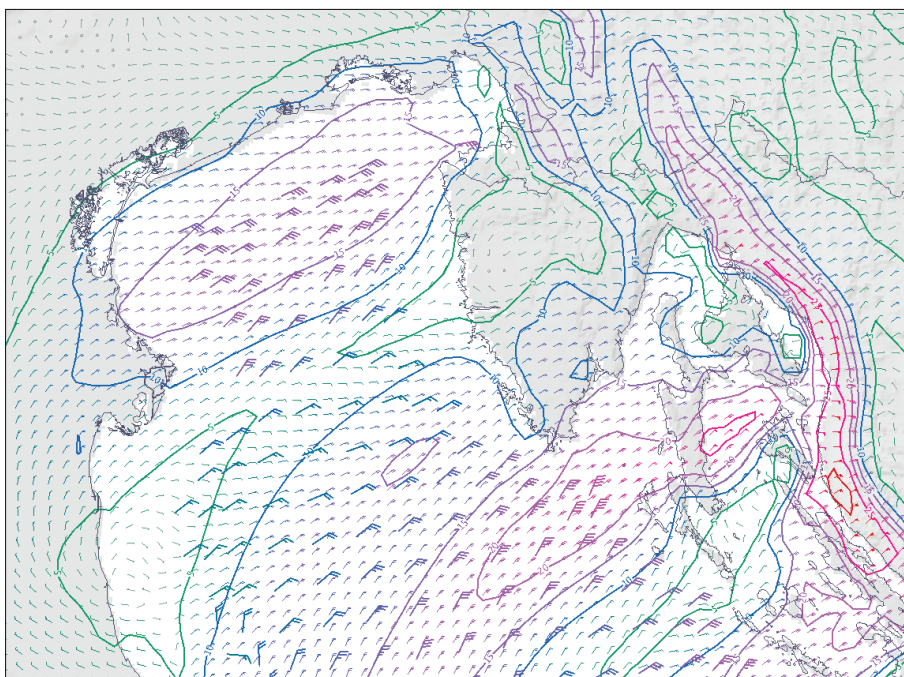
Slika 5:  
Satelitske meritve vetra ASCAT 12,5 km 6. 2. 2012 ob 21 UTC in meritev vetra na boji pri Piranu. Z manjšimi zastavicami in konturami je vrisano polje modelskega vetra ALADIN na 10 m, (©) ARSO/EUMETSAT.

Figure 5:  
ASCAT wind measurements with ground resolution 12.5 km on 6 Feb. 2012 at 21 UTC, measurement at Piran buoy. Additionally, smaller wind bars and contours mark the ALADIN model wind at 10m, (©) ARSO/EUMETSAT.



Slika 6:  
Satelitske meritve vetra ASCAT 12,5 km 8. 2. 2012 ob 9 UTC in meritev vetra na boji pri Piranu. Z manjšimi zastavicami in konturami je vrisano polje modelskega vetra ALADIN na 10 m, (©) ARSO/EUMETSAT.

Figure 6:  
ASCAT wind measurements with ground resolution 12.5 km on 8 Feb. 2012 at 9 UTC, measurement at Piran buoy. Additionally, smaller wind bars and contours mark the ALADIN model wind at 10 m, (©) ARSO/EUMETSAT.

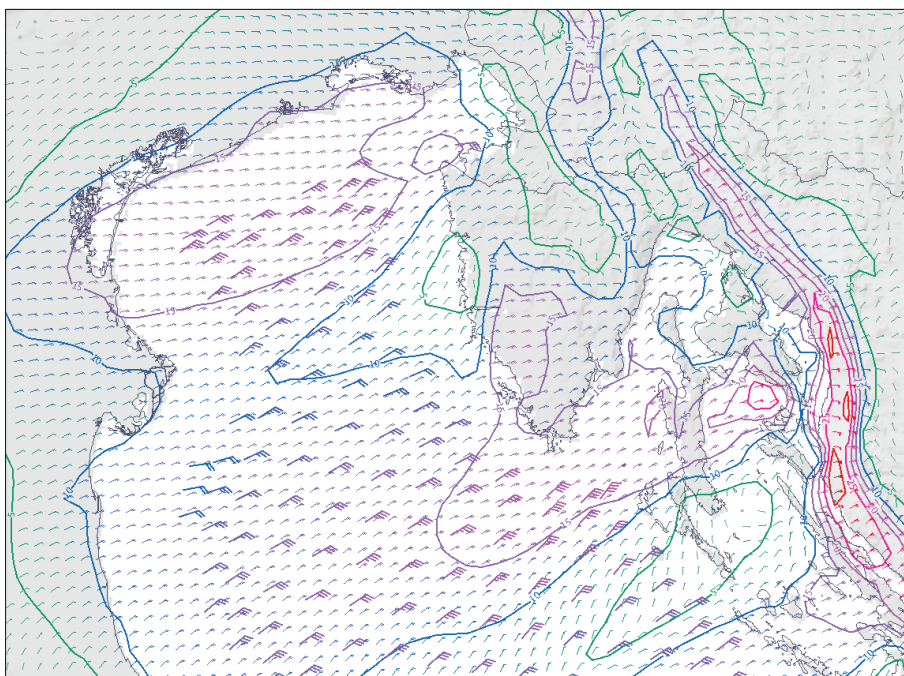


Slika 7:

Satelitske meritve priobalnega vetra ASCAT 12,5 km 6. 2. 2012 ob 21 UTC in meritev vetra na boji pri Piranu. Z manjšimi zastavicami in konturami je vrisano polje modelskega vetra ALADIN na 10 m, (©) ARSO/EUMETSAT.

Figure 7:

Coastal ASCAT wind measurements with ground resolution 12.5 km on 6 Feb. 2012 at 21 UTC, measurement at Piran buoy. Additionally, smaller wind bars and contours mark the ALADIN model wind at 10m, (©) ARSO/EUMETSAT.



Slika 8:

Satelitske meritve priobalnega vetra ASCAT 12,5 km 8. 2. 2012 ob 9 UTC in meritev vetra na boji pri Piranu. Z manjšimi zastavicami in konturami je vrisano polje modelskega vetra ALADIN na 10 m, (©) ARSO/EUMETSAT.

Figure 8:

Coastal ASCAT wind measurements with ground resolution 12.5 km on 8 Feb. 2012 at 9 UTC, measurement at Piran buoy. Additionally, smaller wind bars and contours mark the ALADIN model wind at 10m, (©) ARSO/EUMETSAT.

dar, kot je razvidno iz slik 5 in 6, je ta lokacija približno 50 km oddaljena od najbližje lokacije meritev vetra ASCAT/METOP. Ujemanje po smeri je nekoliko boljše pri priobalnem produktu ASCAT 12,5 km, saj je lokacija bližje boji (30 km), sliki 7 in 8.

Na sliki 5 je prikazan veter iz meritev ASCAT/METOP nad severnim Jadranom 6. februarja 2012. Razvidni so pasovi lokalnih ekstremov: lokalni maksimum najbolj severne meritve, nekoliko južno lokalni minimum in ponovno lokalni maksimum nekoliko južno od Istre. Zelo podobni ekstremi so razvidni iz slike 5 v polju vetra modela ALADIN, kar kaže na dobro ujemanje vzorca obeh virov. Enaka primerjava za drug termin je prikazana na sliki 6, kjer so lokalni ekstremi drugače razporejeni, ujemanje smeri je tudi razvidno. Na slikah 7 in 8 so enaki prikazi za priobalni

veter ASCAT 12,5 km. Iz prikazov je očitno, da je za severni Jadran na voljo boljše informacija.

## Sklepne misli

Podatki meritev vetra nad morjem s pomočjo satelitskih meritev ASCAT/METOP so kakovostni in zelo primerni za spremljanje vetra nad širšim območjem in za preverjanje natančnosti numeričnih meteoroloških modelskih napovedi vetra. Meritve ASCAT/METOP so primerljive s polurnim povprečjem in niso primerljive s sunki vetra zaradi narave meritev ob izbranem terminu. Satelitske meritve ASCAT/METOP velikosti in smeri vetra nad Jadranom so dostopne dvakrat na dan. Operativno opravljata meritve

dva satelita METOP, in sicer tako, da so meritve vetra nad Jadranom dostopne štirikrat na dan, v prihodnje pa bo takih satelitov še več, kar bo povečalo časovno pogostost meritev. Primer močne burje nad severnim Jadranom prikazuje veliko uporabnost satelitskih meritev vetra v ločljivosti 12,5 km tudi v priobalnem pasu. Na ARSO operativno sprejemamo tovrstne podatke in jih prikazujemo skupaj z drugimi viri vremenskih meritev, kar nam omogoča celovit pristop vremenskega dogajanja.

## Zahvala

Avtorja se zahvaljujeta mag. Nevi Pristov za pripravo arhivskih podatkov simulacij modela ALADIN in Renatu Bertalaniču za pripravo arhivskih podatkov meritev vetra pri tleh na meteoroloških postajah in boji Piran. Del raziskav je bil opravljen v sklopu projekta EUMETSAT Training Placement Position.

## Viri in literatura

1. Markošek, J., 2012. Razvoj vremena v februarju 2012. Naše okolje, bilten Agencije RS za okolje, Februar 2012, letnik XIX, številka 2, 24–30.
2. Pristov, N. J., Cedilnik, J., Jerman, B., Strajnar, 2012. Priprava numerične meteorološke napovedi ALADIN-SI. Vetrnica - glasilo slovenskega meteorološkega društva, št. 0412, 17–22.
3. OSISAF, 2012. ASCAT Wind Product User Manual, Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility, 2012, V1.2, avgust 2012.
4. Rakovec, J., Žagar, M., Bertalanič, R., Cedilnik, J., Gregorič, G., Skok, G., Žagar, M., 2009. Vetrovnost v Sloveniji, založba ZRC, ZRC SAZU.