

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Novak, B., 2013. Račun hidrodinamičnih količin v Tržaškem zalivu zaradi spremenljivih meteoroloških parametrov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žagar, D.): 35 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Novak, B., 2013. Račun hidrodinamičnih količin v Tržaškem zalivu zaradi spremenljivih meteoroloških parametrov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žagar, D.): 35 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVA

MODUL HIDROTEHNIKA

Kandidatka:

**BARBARA NOVAK**

**RAČUN HIDRODINAMIČNIH KOLIČIN V TRŽAŠKEM  
ZALIVU ZARADI SPREMENLJIVIH  
METEOROLOŠKIH PARAMETROV**

Diplomska naloga št.: 26/B-GR

**CALCULATION OF HYDRODYNAMIC QUANTITIES IN  
THE GULF OF TRIESTE DUE TO CHANGING  
METEOROLOGICAL PARAMETERS**

Graduation thesis No.: 26/B-GR

**Mentor:**  
doc. dr. Dušan Žagar

**Predsednik komisije:**  
prof. dr. Bojan Majes

Ljubljana, 29. 08. 2013

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVE**

Podpisana Barbara Novak izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »Račun hidrodinamičnih količin v Tržaškem zalivu zaradi spremenljivih meteoroloških parametrov«.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Barbara Novak

Ljubljana, 20. avgust 2013

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

<b>UDK:</b>	<b>519.61:532.5:533.6(26.04)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Barbara Novak</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Dušan Žagar</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Račun hidrodinamičnih količin v Tržaškem zalivu zaradi spremenljivih meteoroloških parametrov</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>35 str., 25 sl., 6 en., 2 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>matematično modeliranje, PCFLOW3D, Tržaški zaliv, časovno povprečen veter</b>

### **Izvleček:**

V diplomski nalogi smo želeli poiskati časovno povprečenje vetra nad Tržaškim zalivom, ki še daje zadovoljive rezultate pri simulaciji tokov. Izvedli smo simulacije hidrodinamike z modelom PCFLOW3D z referenčnimi vetrovnimi polji v enournih časovnih intervalih in s časovno povprečenimi vetrovnimi polji preko 3, 6, 12 in 24 ur. Nato smo med seboj primerjali rezultate simulacij v obliki vektorskih slik hitrosti vetra v izbrani uri ter tokovnih slik slojev na globini 0,5 metra in 10,5 metra. V površinskem sloju so bila odstopanja med referenčnimi hitrostmi in hitrostmi zaradi povprečenega vetra večja, kot na globini 10,5 metra, ker je vpliv vetra na površini večji. Uporabno ujemanje smo dosegli pri 3 in 6 urnem povprečenju, zato tudi priporočamo za običajne kratkoročne simulacije transporta onesnažil podajanje vetra iz meteoroloških modelov v časovni resoluciji 6 ur ali manj.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 519.61:532.5:533.6(26.04)(043.2)  
**Author:** Barbara Novak  
**Supervisor:** assist. prof. Dušan Žagar, Ph. D.  
**Title:** Calculation of hydrodynamic quantities in the Gulf of Trieste due to changing meteorological parameters  
**Document type:** Graduation Thesis – University studies  
**Notes:** 35 p., 25 fig., 6 eq., 2 ann.  
**Key words:** mathematical model, PCFLOW3D, Gulf of Trieste, time-averaged wind

### **Abstract:**

In the thesis, we wanted to find time-averaged wind fields over the Gulf of Trieste, which still give satisfactory results in the flow simulations. Simulations of circulation with the PCFLOW3D model were performed using the reference wind fields at hourly intervals and time-averaged wind field over 3, 6, 12 and 24 hours. The results of the simulation were compared in the form of vector images of the wind speed at the selected time and circulation images within the layers at the depths 0.5 meters and 10.5 meters. In the surface layer, the discrepancies between the circulation caused by reference wind fields and the averaged wind fields are greater than at a depth of 10.5 meters, because the effect of the wind on the surface layer is significantly larger. A useful match was achieved using 3 and 6 hours averaging. Therefore, wind data from meteorological models in the interval of 6 hours or less can be recommended for normal short-term simulations of pollutant transport and dispersion.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Dušanu Žagarju za trud, čas in nasvete med pisanjem diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi Agenciji Republike Slovenije za okolje za posredovanje potrebnih podatkov za diplomsko nalogo.

Še posebej se zahvaljujem staršema za vso podporo v času študija.

## KAZALO VSEBINE

<b>IZJAVE .....</b>	<b>II</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM .....</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....</b>	<b>IV</b>
<b>ZAHVALA .....</b>	<b>V</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OPIS MODELA PCFLOW3D .....</b>	<b>2</b>
2.1 HIDRODINAMIČNI MODUL .....	3
2.2 OSNOVNE ENAČBE HD MODULA.....	3
<b>3 UPORABLJENA METODA .....</b>	<b>4</b>
3.1 VHODNI PODATKI.....	4
3.1.1 Veter .....	4
3.1.2 Numerična mreža.....	4
3.1.3 Robni pogoji .....	5
3.2 SIMULACIJE.....	5
<b>4 REZULTATI IN DISKUSIJA.....</b>	<b>6</b>
4.1 VETER .....	6
4.2 POVRŠINSKI SLOJ .....	6
4.3 SLOJ NA GLOBINI 10,5 METRA.....	6
4.4 HITRA SPREMEMBA VETRA .....	7
4.5 DISKUSIJA .....	32
<b>5 ZAKLJUČEK .....</b>	<b>33</b>
<b>VIRI .....</b>	<b>34</b>



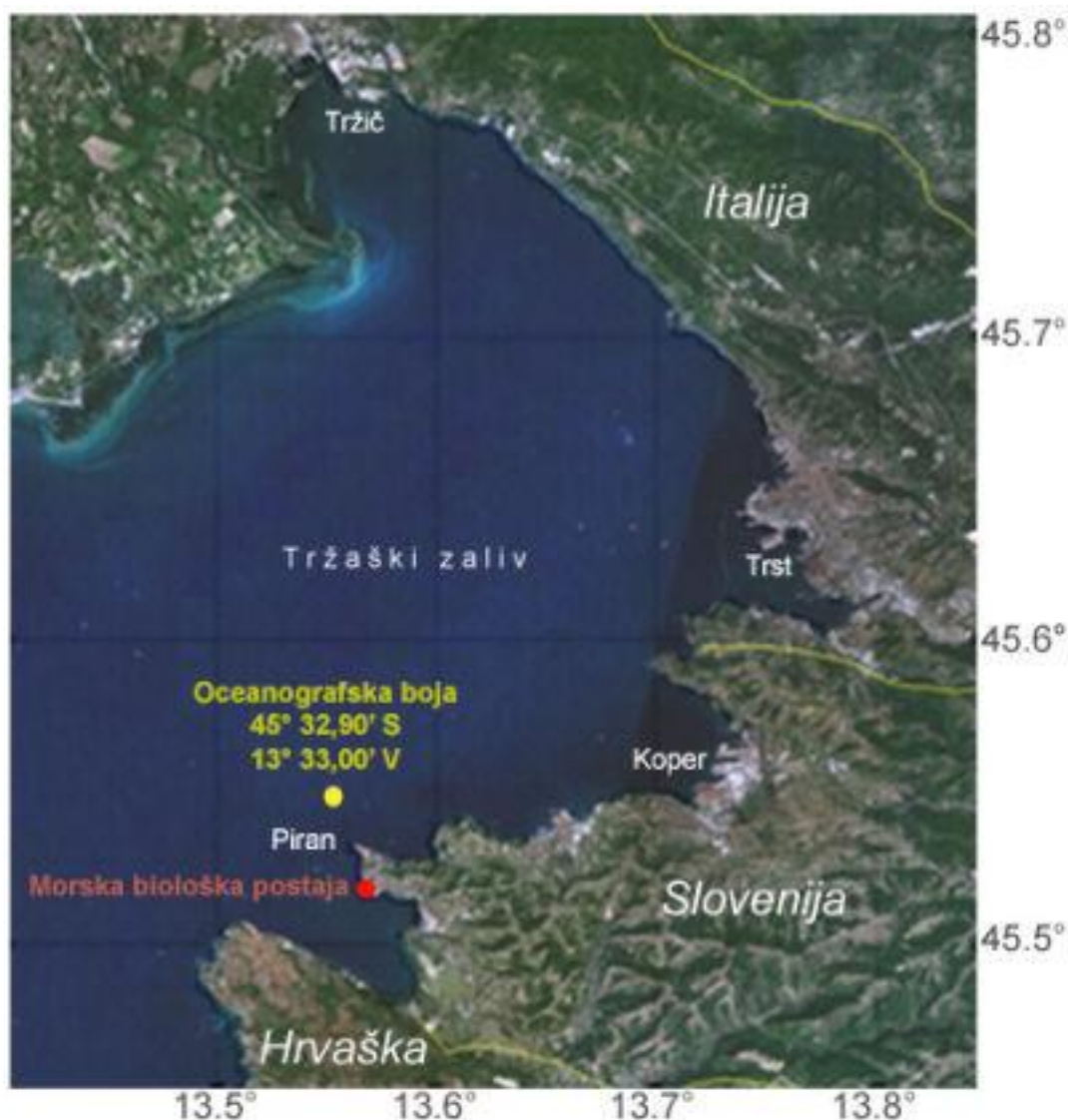
## KAZALO SLIK

Slika 1: Tržaški zaliv (Nib-Ismo, 2008).....	1
Slika 2: Hitrostno polje tokov po 6-ih urah na globini 0,5m .....	8
Slika 3: Hitrostno polje tokov po 12-ih urah na globini 0,5m .....	9
Slika 4: Hitrostno polje tokov po 18-ih urah na globini 0,5m .....	10
Slika 5: Hitrostno polje tokov po 24-ih urah na globini 0,5m .....	11
Slika 6: Hitrostno polje tokov po 30-ih urah na globini 0,5m .....	12
Slika 7: Hitrostno polje tokov po 36-ih urah na globini 0,5m .....	13
Slika 8: Hitrostno polje tokov po 42-ih urah na globini 0,5m .....	14
Slika 9: Hitrostno polje tokov po 48-ih urah na globini 0,5m .....	15
Slika 10: Hitrostno polje tokov po 54-ih urah na globini 0,5m .....	16
Slika 11: Hitrostno polje tokov po 60-ih urah na globini 0,5m .....	17
Slika 12: Hitrostno polje tokov po 66-ih urah na globini 0,5m .....	18
Slika 13: Hitrostno polje tokov po 72-ih urah na globini 0,5m .....	19
Slika 14: Hitrostno polje tokov po 6-ih urah na globini 10,5m .....	20
Slika 15: Hitrostno polje tokov po 12-ih urah na globini 10,5m .....	21
Slika 16: Hitrostno polje tokov po 18-ih urah na globini 10,5m .....	22
Slika 17: Hitrostno polje tokov po 24-ih urah na globini 10,5m .....	23
Slika 18: Hitrostno polje tokov po 30-ih urah na globini 10,5m .....	24
Slika 19: Hitrostno polje tokov po 36-ih urah na globini 10,5m .....	25
Slika 20: Hitrostno polje tokov po 42-ih urah na globini 10,5m .....	26
Slika 21: Hitrostno polje tokov po 48-ih urah na globini 10,5m .....	27
Slika 22: Hitrostno polje tokov po 54-ih urah na globini 10,5m .....	28
Slika 23: Hitrostno polje tokov po 60-ih urah na globini 10,5m .....	29
Slika 24: Hitrostno polje tokov po 66-ih urah na globini 10,5m .....	30
Slika 25: Hitrostno polje tokov po 72-ih urah na globini 10,5m .....	31



## 1 UVOD

Tržaški zaliv (Slika 1) je plitev zaliv na skrajnem severnem delu Jadranskega morja. Omejuje ga 21 km dolga navidezna črta med Gradežem (Italija) in Savudrijo (Hrvaška), površina je okrog 550 km<sup>2</sup>, povprečna globina je 16 metrov, najgloblja točka pa 37 metrov. Z izjemo nizkih otočkov, ki zapirajo Gradeško laguno, v njem ni otokov in čeri, vzhodna obala, kjer leži Trst in Slovensko primorje, je razčlenjena. Najgloblje so vrezani Miljski, Koprski in Piranski zaliv. (Wikipedija, 2013)



Slika 1: Tržaški zaliv (Nib-Ismo, 2008)

Z matematičnimi modeli simuliramo fizikalne pojave v naravi, kot so na primer računi hidrodinamike in prenosa onesnažil. Z razvojem procesorjev so postali matematični modeli vse hitrejši in natančnejši, primerni tudi za večja vodna telesa (morja), ki jih prej s fizičnimi modeli nismo mogli opisati. Meritve v naravi pa so še vedno potrebne, da lahko matematični model umerimo in preverimo. Zavedati se moramo, da so procesi v naravi kompleksni in je simulacija z matematičnim modelom le približek realnega stanja, ki pa v inženirski praksi običajno zadošča, če upoštevamo pravilne parametre.

Tridimenzionalni model PCFLOW3D se na Katedri za mehaniko tekočin razvija in v praksi uporablja že od leta 1985. Uporablja se za preučevanje procesov v večjih vodnih telesih kot so morja in jezera, kjer so horizontalne komponente hitrosti za red velikosti večje od vertikalnih komponent. Model ima hidrodinamični, transportni, sedimentacijski in biogeokemični modul ter predstavlja celostni ekološki

matematični model.(Četina, 1992, Rajar in Četina, 1997, Rajar in sod., 1997, Rajar in sod., 2004, Žagar in sod., 2007)

Različni meteorološki modeli računajo meteorološke parametre (gibanje zraka, temperaturo in pretvorbe vodne pare v atmosferi) v majhnih časovnih korakih (nekaj sekund), vendar naredijo izpis rezultatov običajno na šest ur, izjemoma tudi bolj pogosto, ker so datoteke z rezultati zelo velike in bi ob gosti resoluciji in pogostejših izpisih postale neuporabne za prenos in delo. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) uporablja meteorološki model ALADIN-SI, lokalni model z manjšo računsko resolucijo, ki je ugnuzen v globalni meteorološki model ARPEGE. ALADIN se uporablja za napovedovanje polj atmosferskih spremenljivk nad Srednjo Evropo, Alpami in osrednjim severnim Sredozemljem (Brilly in Šraj, 2005). ARSO nam je posredoval rezultate modela ALADIN v zelo gosti časovni (1 h) in prostorski (približno 150 m) resoluciji za tridnevno obdobje od 19. do 21. marca 2009. Z uporabo originalnih vetrovni polj in povprečenjem vetra prek različnih časovnih intervalov lahko preverimo napako, ki jo pri modeliranju tokov naredimo, če uporabimo podatke o vetru, ki so povprečeni prek različno dolgih časovnih obdobj.

S to nalogo želimo poiskati časovno povprečenje vetra nad Tržaškim zalivom, ki še daje zadovoljive rezultate pri računu tokov, ki nastanejo v realnih vetrnih situacijah. Kot referenco vzamemo originalna vetrovna polja v enournih intervalih za obdobje med 19. in 21. 3. 2009, nato pa izračunamo hidrodinamične količine iz vetrovni polj, povprečenih prek različnih časovnih intervalov (3, 6, 12 in 24 ur). Pričakujemo, da bodo rezultati simulacij hidrodinamike pri daljših časovnih povprečenjih vetra vedno bolj odstopali od referenčnih. Zanima nas, katero je najdaljše povprečenje vetrovni polj, pri katerem so hitrostna polja v Tržaškem zalivu še podobna referenčnim.

## 2 OPIS MODELA PCFLOW3D

Model PCFLOW3D je tridimenzionalni nestacionarni nelinearni baroklini matematični model razvit na Katedri za mehaniko tekočin na FGG. Model je sestavljen iz štirih modulov:

- Hidrodinamičnega modula (HD),
- Transportno-disperzijskega modula (TD),
- Sedimentacijskega modula (ST) in
- Biogeokemičnega modula (BGK).

Model se je postopoma razvijal, osnovna HD in TD modula sta bila večkrat izboljšana, dodana sta bila še ST in BGK modula. Z modelom PCFLOW3D je bilo izdelanih več študij hidrodinamike v Tržaškem zalivu. Rajar in Četina (1990) sta modelirala vpliv plime in vetra na tok in disperzijo onesnažil v Severnem Jadranu. Za verifikacijo modela sta uporabila meritve iz let 1984-1986 in ujemanje rezultatov simulacije je bilo relativno dobro v primerjavi s podatki pridobljenimi z meritvami. Na osnovi 3D modela, ki je bil uporabljen pri simulacijah v Severnem Jadranu, je bil izdelan 3D model SIMON (SIMulacijski MOdel Nafta) za simulacijo širjenja nafte (Žagar, 1994). Rajar in Četina (1997) ter Rajar in sod. (1997) so predstavili modeliranje hidrodinamike in kvalitete vode v dveh prispevkih, kjer je opisan model PCFLOW3D ter predstavljeni rezultati modeliranja Bohinjskega jezera in dveh simulacij v Tržaškem zalivu, razlitja nafte in transporta in disperzije živega srebra. V doktorski disertaciji je Žagar (1999) predstavil nadgraditev matematičnega modela PCFLOW3D z novima 3D moduloma za račun transporta lebdečih plavin in živega srebra v morskem okolju. Verifikacija sedimentacijskega modula je bila izvedena s primerjavo z rešitvami analitičnih enačb, meritev v laboratoriju in naravi ter rezultati sorodnega modela. Rajar in sod. (2000) so opisali izvedeno 3D modeliranje kroženja živega srebra v Tržaškem zalivu na osnovi modela PCFLOW3D, Žagar in sod. (2001) pa dolgotrajno 3D simulacijo transporta in disperzije živega srebra v raztopljeni in na delce vezani obliki. Rajar in sod. (2004) so izvedli simulacijo 3D kroženja živega srebra na priobalnih območjih (Tržaški zaliv in zaliv Minamata na Japonskem). Žagar in sod. (2007) so izvedli simulacije cirkulacije ter transporta in pretvorb živega srebra v Sredozemlju. Izvedena je bila študija hidrodinamike v Tržaškem zalivu s časovno spremenljivim vetrom (Ramšak, 2007) in krajevno spremenljivim vetrom (Maslo, 2009).

## 2.1 Hidrodinamični modul

Hidrodinamični modul je osnova modela PCFLOW3D, z njim izračunamo hitrostna polja, tlake, kote gladine ter hkrati tudi porazdelitev slanosti in temperature, ki vplivata na gostoto vode in posledično na hitrostno polje. Zato pravimo, da je PCFLOW3D baroklini model.

Enačbe rešujemo po numerični metodi končnih volumnov, zapisane so v kartezičnem koordinatnem sistemu, kjer sta osi  $x$  in  $y$  v horizontalni ravnini, os  $z$  pa v vertikalni. Računsko območje je razdeljeno z mrežo s korakom  $\Delta x$  in  $\Delta y$ , po globini pa vzamemo kontrolne volumne debeline  $h$ , tako dobimo nekakšne »kvadre« poljubne oblike kot je podrobno opisano v literaturi. (Četina, 1992)

## 2.2 Osnovne enačbe HD modula

Hidrodinamični modul temelji na naslednjih enačbah (podroben opis v Četina, 1992, Žagar 1999):

- kontinuitetna enačba

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

- dinamična enačba

$$\frac{\partial U_i}{\partial x} + \frac{\partial U_i U_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_i \partial x_j} + f_i \quad (2)$$

Kjer pomenijo posamezne oznake:

$U_i$  ( $i=1,2,3$ ) – trenutne hitrosti v posameznih koordinatnih smereh

$P$  – trenutni tlak

$x_i$  – posamezne koordinatne smeri

$\nu$  – kinematična viskoznost

$\rho$  – gostota

$f_i$  – prostorninska sila na enoto mase v koordinatni smeri  $i$

- advekcijsko-disperzijska enačba za temperaturo, slanost in/ali poljubno aktivno ali pasivno onesnažilo: v simulacijah smo predpostavili popolnoma premešano stanje – normalne zimske razmere z enakomerno porazdelitvijo slanosti in temperature, zato enačba ni bistvenega pomena za to diplomsko nalogo,
- enačba stanja (račun gostote vode): tudi ta za izračune v diplomski nalogi ni pomembna, saj smo predpostavili popolnoma premešano zimsko stanje z enakomerno gostoto vode.

Na določitev hitrostnega polja vpliva tudi intenzivnost turbulence, ki jo povzročajo strižne sile med sloji tekočine in na stiku med tekočino in obalo. Nastane stanje, izraženo z mešanjem, vrtinčenjem in pulzacijami hitrosti, ki povzročajo velike izgube energije (dušenje toka). Vpliv turbulence zajamemo z modeli turbulence; pri izvedenih simulacijah v okviru diplomske naloge smo uporabili model Smagorinsky v horizontalni smeri in Mellor-Yamada v vertikalni smeri (Dorić, 2007).

Podrobnejši opis osnovnih enačb Hidrodinamičnega modula, enačbe modelov turbulence, prav tako pa tudi enačbe, ki nastopajo v preostalih treh moduli modela PCFLOW3D so podrobno opisane številnih virih, ki so najpodrobneje povzeti v Dorić (2007) in Kovšca (2007).

### 3 UPORABLJENA METODA

#### 3.1 Vhodni podatki

Zanimalo nas je, kako vpliva časovno povprečenje vetra na dinamiko tokov v Tržaškem zalivu. Delamo primerjavo med različno dolgimi časovnimi povprečenji vetra, zato so vsi drugi vhodni podatki manj pomembni. V simulacijah smo predpostavili popolnoma premešano (nestratificirano) zimsko stanje ter enakomerno slanost in temperaturo po celotnem računskem območju. V računu zanemarimo tudi vplive vtoka Soče in plimovanja. Ker je primerjava relativna – primerjamo hitrostna polja zaradi vetra med seboj in ne z meritvami, vsi drugi podatki pa so enaki, so opisane poenostavitve dovoljene.

Ob izbranih poenostavitvah potrebujemo za izvedbo simulacij le naslednje vhodne podatke: vetrovna polja nad zalivom, računsko mrežo, topografijo in robne pogoje.

##### 3.1.1 Veter

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) je posredovala podatke o vetru pridobljene z numeričnim meteorološkim modelom ALADIN, ki so približek dejanskega vetra na obravnavanem območju, saj še ni na voljo tehnologije, ki bi lahko izmerila podatke o vetru na celotnem območju Tržaškega zaliva dovolj natančno in z zadovoljivo gostoto, da bi bili takšni podatki uporabni za simulacije (Žagar in sod., 2007, Ramšak in sod., 2013). Podatki so podani v enournih časovnih intervalih za 72 urno obdobje med 19. in 21. marcem 2009. V tem obdobju je bil veter nad Tržaškim zalivom občasno izrazito nehomogen, zgodila pa sta se tudi dva obrata vetra (burja – jugo – burja), kot je prikazano v prilogah B1 – B11. Zato je izbrano časovno obdobje zelo primerno za preverjanje vpliva povprečenja vetra na tokovna polja.

Podatki so bili zbrani v matrikah velikosti 166x236 posebej za smer x (vzhod) in y (sever). V vsaki površinski celici numerične mreže imamo podani komponenti vetra, ki opisujeta jakost in smer vetra v enournih časovnih razmikih.

Za izvedbo računov z različnimi povprečenji vetra je bilo potrebno časovno povpečiti skalarje - komponente urnih podatkov o vetru za intervale 3, 6, 12 in 24 ur. Izračunali smo aritmetično sredino podatkov prek izbranega časovnega intervala (3, 6, 12 in 24 ur) posebej za vsako od horizontalnih smeri x in y in tako dobili časovno povprečene komponente vetra, ki smo jih zapisali v nove matrike, te pa smo uporabili kot vhodni podatek pri simulaciji tokov:

$$b_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{n} (a_1 + \dots + a_n) \quad (3)$$

Primer: časovno povprečenje skalarjev na 24 ur za obdobje treh dni

$$b_1 = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} a_i = \frac{1}{24} (a_1 + \dots + a_{24}) \quad (4)$$

$$b_2 = \frac{1}{24} \sum_{i=25}^{48} a_i = \frac{1}{24} (a_{25} + \dots + a_{48}) \quad (5)$$

$$b_3 = \frac{1}{24} \sum_{i=49}^{72} a_i = \frac{1}{24} (a_{49} + \dots + a_{72}) \quad (6)$$

$a_i$  – skalarji urnih podatkov

$b_j$  – skalarji časovnega povprečenja

$n$  – čas povprečenja podan v urah

$i$  – število, ki označuje zaporedno številko urnega podatka

$j$  – število, ki označuje zaporedno številko posameznega časovnega povprečenja

##### 3.1.2 Numerična mreža

Za natančen račun hitrostnega polja tokov moramo izbrati čim gostejšo numerično mrežo. Tako bolj natančno podamo topografijo obale in dna, izračunane hidrodinamične količine so podane bolj na gosto in iz rezultatov vidimo več podrobnosti. Vendar pa z gostejšo mrežo (predvsem v vertikalni

smeri) tudi podaljšamo čas računanja, saj je kontrolnih volumnov več, hkrati pa se zaradi stabilnosti računa z zgoščevanjem numerične mreže krajša tudi časovni korak računa (Četina, 1992). Uporabili smo enakomerno mrežo s horizontalno velikostjo celice približno 140x150 metra, s katero je bilo izvedenih že precej simulacij na Tržaškem zalivu in daje zadovoljivo točne rezultate. (Ličer in sod., 2012) Debeline slojev v vertikalni smeri znašajo 1 m, razen najglobljih štirih slojev, katerih debelina je (zaradi manjšega vpliva na tokovno polje) večja (1,5 m, 2,2 m, 3,3,m in 4,4, m).

### 3.1.3 Robni pogoji

Pri robnih pogojih definiramo kaj se na robu dogaja s hitrostmi oziroma pretokom. Ob trdnih stenah (obala, dno) in ob prosti gladini je komponenta hitrost pravokotna na rob enaka nič. Na odprtem robu pa je računsko domena (Tržaški zaliv) povezana z večjim območjem (Severni Jadran). Prek odprtega roba se v obeh smereh prenaša gibalna količina. V simulacijah smo kot robni pogoj na odprtem robu uporabili »ukleščeni« (clamped) robni pogoj, kjer držimo gladino vode na odprtem robu ves čas na isti koti. To sicer povzroča določeno napako, saj je pri tem robnem pogoju onemogočeno nihanje gladine in se zato pojavi napaka v hitrostih ob robu. Ker pa primerjamo rezultate simulacij med seboj in ne z meritvami, smo predpostavili, da je takšna poenostavitev dopustna.

### 3.2 Simulacije

Izvedli smo pet serij simulacij, vsakič z drugim časovnim povprečenjem vetra – na 1, 3, 6, 12 in 24 ur. Rezultate smo, ne glede na interval povprečenja vetra, zapisali na vsakih 6 ur in izračunana hitrostna polja tokov in vetra ob različnih intervalih povprečenja izrisali na isto sliko. Tako smo lahko primerjali odstopanje med vektorji hitrosti, ki so zgolj posledica povprečenja vetra. Prikazujemo rezultate v površinskem sloju (globina 0,5 m, slike 2 do 13), na katerega veter najbolj vpliva in rezultate v sloju na globini 10,5 m (slike 14 do 25), kjer se v Tržaškem zalivu zaradi tokov v površinskem sloju običajno pojavi kompenzacijski tok, ki ima pogosto nasprotno smer od tokov v površinskem sloju. Prva simulacija se začne iz mirovanja, brez začetnih tokov in s prvim vetrovnim poljem. Vsaka naslednja simulacija uporabi kot začetni pogoj končno hitrostno polje predhodne simulacije (tako imenovan »hot-start« način), hkrati pa tudi zamenjamo vsiljevanje vetra z naslednjim vetrovnim poljem.

Pri krajših časovnih povprečenjih vetra (1 in 3 h) smo tako med posameznimi zapisi rezultatov za grafično primerjavo izvedli več simulacij. Pri daljših časovnih povprečenjih (12 in 24 h) pa smo pri vsaki simulaciji izpisali tudi vmesne rezultate na vsakih 6 ur.

## 4 REZULTATI IN DISKUSIJA

Rezultati modela PCFLOW3D vsebujejo vse tri komponente hitrosti v vsakem kontrolnem volumnu. Hitrosti v horizontalni ravnini smo v vektorski obliki izrisali s pomočjo grafičnega programa Surfer. Na vsaki sliki je hkrati izrisanih vseh pet vektorjev, ki predstavljajo rezultate računov z vsakim od časovnih povprečenj vetra. Na prikazanih slikah smo zaradi preglednosti izrisali vsak šesti hitrostni vektor.

### 4.1 Veter

Vektorske slike vetra (Priloge A.1 do A.12) nam prikazujejo, kako se z različnimi intervali časovnega povprečenja vetra spremenijo jakosti in smer vetra nad Tržaškim zalivom. Na slikah je prikazano hitrostno polje, s katerim so izvedene simulacije v šesti, dvanajsti, ..., dvainsedemdeseti uri računa. S povprečenjem ne zajamemo ekstremov in ne sledimo nenadnim spremembam v smeri vetra, kar se vidi v neujemanju po velikosti in odstopanjih v smeri med referenčnimi in povprečenimi vektorji. Na povprečen veter vpliva veter čez celotni čas povprečenja, na primer če se v tem času pojavi močnejši veter smer pa ostane nespremenjena, bodo vektorji povprečenega vetra lahko ponekod daljši od vektorjev referenčnega vetra. Prvi dan (Priloge A.1 do A.4) se je veter nenehno spreminjal in obračal. Vektorji časovno povprečenega vetra se z referenčnimi zelo slabo ujemajo celo pri triurnem povprečenju, 24 urno povprečenje pa je ponekod celo nasprotno usmerjeno. V naslednjih dveh dneh (Priloge A.5 do A.12), se smeri vektorjev bolje ujemajo z referenčnimi, saj so bile časovne spremembe vetra počasnejše.

Največja odstopanja med vektorji so do 18. ure, še posebej izstopa vektorska slika vetra v 12. uri, kjer je zelo slabo ujemanje z referenčnim, sploh med 12 urnim in 24 urnim povprečenjem, kjer je odstopanje povprečno od  $90^\circ$  do  $120^\circ$ , ponekod pa tudi večje, tudi do  $180^\circ$ . 3 urno povprečenje se prvi dan najbolje ujema z referenčnim, odstopanja so od  $5^\circ$  do  $30^\circ$ , velikosti nekoliko manjše (okoli 15%). Zanimivo pa je povprečenje na 6 ur, kjer so vektorji zelo majhni v primerjavi z drugimi, ker se je tu obračal veter in so se pri povprečenju skalarji med seboj odšteli. Najmanjša odstopanja so med 30. in 42. ter 54. in 72. uro, 3 in 6 urno povprečenje ima odstopanja do  $10^\circ$ , velikosti so do 10% razlike, 12 in 24 urno povprečenje pa do  $30^\circ$ .

### 4.2 Površinski sloj

Na vektorskih slikah tokov v površinskem sloju na globini 0,5 metra (Slike 2 do 13), je dobro razvidno, da se na površini vsaka sprememba vetra kmalu in občutno opazi. Vektorji tokov pri 3 in 6 urnem povprečenju vetra se razmeroma dobro ujemajo z referenčnimi, razen pri hitrih spremembah smeri vetra (Slike 2 do 4). Velikosti vektorjev nekoliko odstopajo od referenčnih, saj pri povprečevanju vpliva veter skozi celoten čas povprečevanja in npr. kasnejši močnejši veter lahko poveča povprečne hitrosti. Tokovi pri 12 in 24 urnem povprečenju vetra se slabo ali sploh ne ujemajo z referenčnimi, pogosta je drugačna smer, ki je lahko celo nasprotna, in razmeroma velika razlika v velikosti.

Največja odstopanja med vektorskimi slikami hitrosti so ponovno do 18. ure. Iz vetrovnihi polj (Priloge B.1 do B.11) je razvidno, da se je ravno v tem času veter najbolj obračal, zato odstopanja niso nepričakovana. Zelo slabo se ujemajo rezultati pri 12 in 24 urnem povprečenju, kjer so po 12 urah celo nasprotni smeri v osrednjem delu zaliva, na severu pa odstopanja okoli  $90^\circ$ . Po 24. uri je ujemanje 3 in 6 urnega povprečenja dokaj dobro, odklon smeri znaša do  $10^\circ$ , velikosti pa nihajo do okoli 10 % v primerjavi z referenčnimi vektorji. 12 in 24 urno povprečenje se slabše ujema z referenčnimi vrednostmi, odklon znaša do  $40^\circ$ , velikosti nihajo  $\pm 20\%$ . Ujemanje je večinoma slabše na jugu zaliva, kjer imajo vektorji za 10 do  $20^\circ$  večji odklon v primerjavi z ostalimi deli zaliva.

### 4.3 Sloj na globini 10,5 metra

Vektorske slike hitrosti na globini 10,5 metra (Slike 14 do 25) kažejo dosti boljše ujemanje med vektorji kot v površinskem sloju. Ker se gibalna količina vetra prenaša prek vode razmeroma počasi, so spremembe jakosti in smeri tokov pri naglih spremembah vetra počasnejše in manj izrazite.

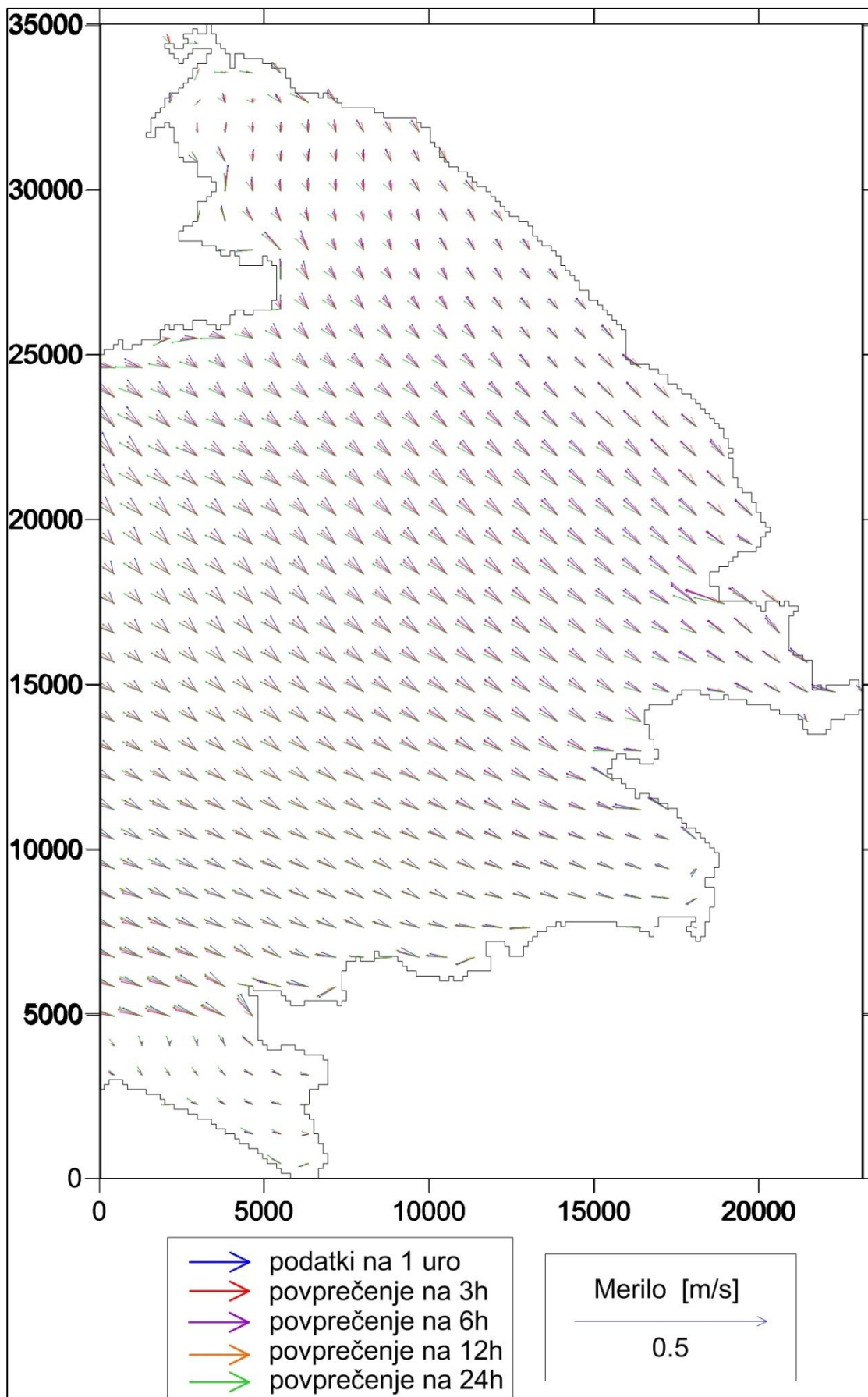


Počasnejši prehod gibalne količine med sloji je zelo očiten na začetnih slikah (Slike 14, 15 in 16), ko so hitrosti na tej globini komaj opazne, na površini pa so tokovi že zelo izraziti. Kasneje se v sredini zaliva ustvari protiurni vrtinec, vtok v zaliv pa poteka pretežno v jugovzhodni smeri. Na tokove v globini 10,5 m površinsko dogajanje (nagle spremembe smeri in jakosti vetra) nima velikega vpliva. Vektorji tokov zaradi 3 urno povprečenega vetra se skoraj popolnoma ujemajo z referenčnimi, tudi 6 urno povprečenje se še dobro ujema, razen posameznih odstopanj na robovih. V primerjavi s površinskim slojem tudi 12 in 24 urno povprečenje vetra kaže boljše ujemanje z referenčnimi tokovi.

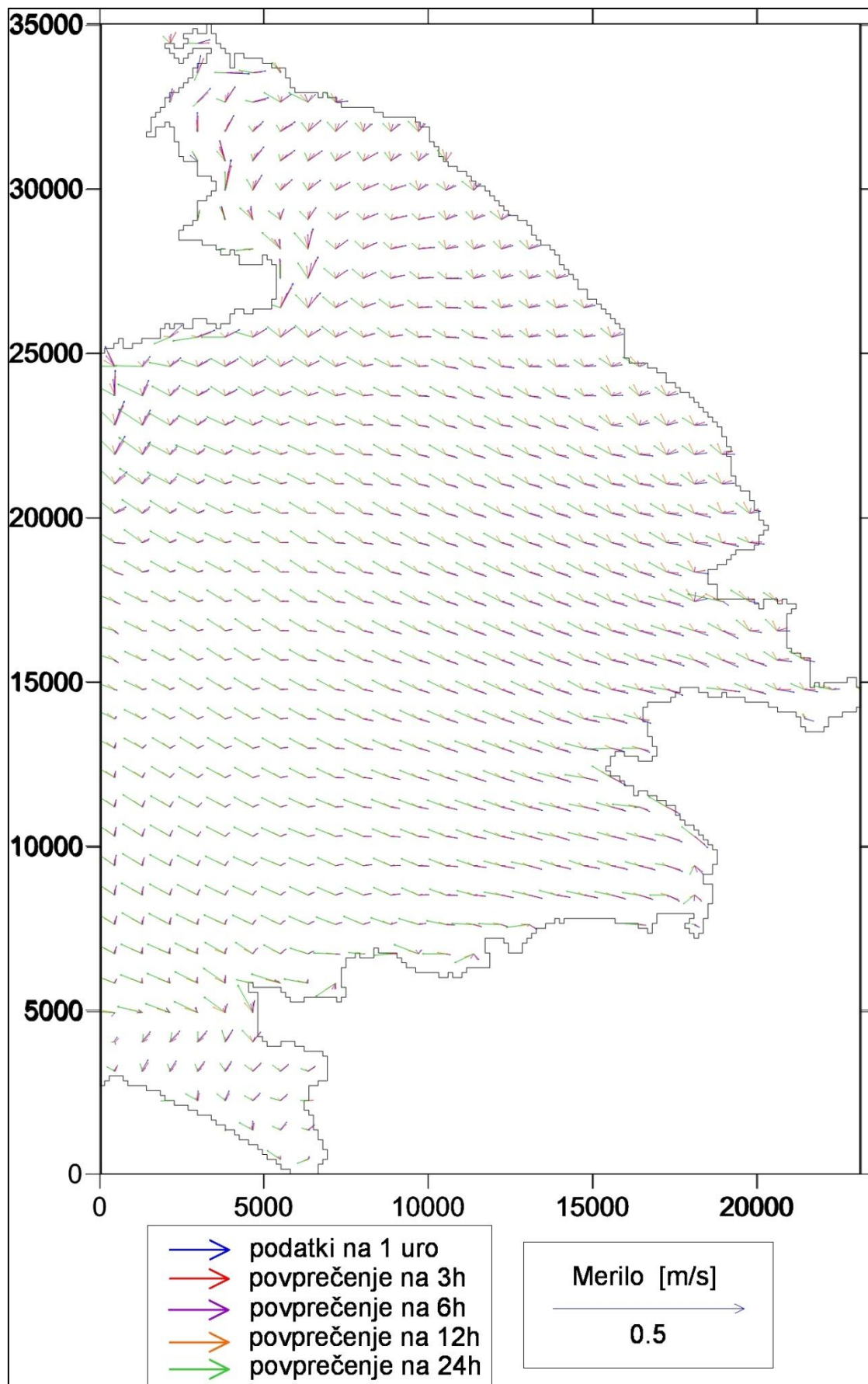
Do 18. ure so odstopanja največja predvsem v severnem delu zaliva, še posebno opazna so pri 24 urnem povprečenju, kjer so odkloni tudi do  $90^\circ$  (v površinskem sloju so bili odkloni do  $180^\circ$ ). Nato se začne ustvarjati protiurni vrtinec in v tem delu so odstopanja med vektorji 3 in 6 urnega povprečenja do  $10^\circ$ , velikosti pa so do 20 % manjše. 12 in 24 urno povprečenje vsebuje tudi večja odstopanja (do  $30^\circ$  v smeri, velikosti vektorjev pa so v primerjavi z referenčnimi zelo majhne). Na skrajnem severnem in južnem delu zaliva je do 42. ure ujemanje slabše, odstopanja smeri znašajo do  $30^\circ$ . Kasneje je ujemanje zelo dobro tako po smeri kot velikosti (do  $10^\circ$  odstopanja v kotu in 10 % odstopanje v velikosti v posameznih primerih, večinoma manj).

#### **4.4 Hitra sprememba vetra**

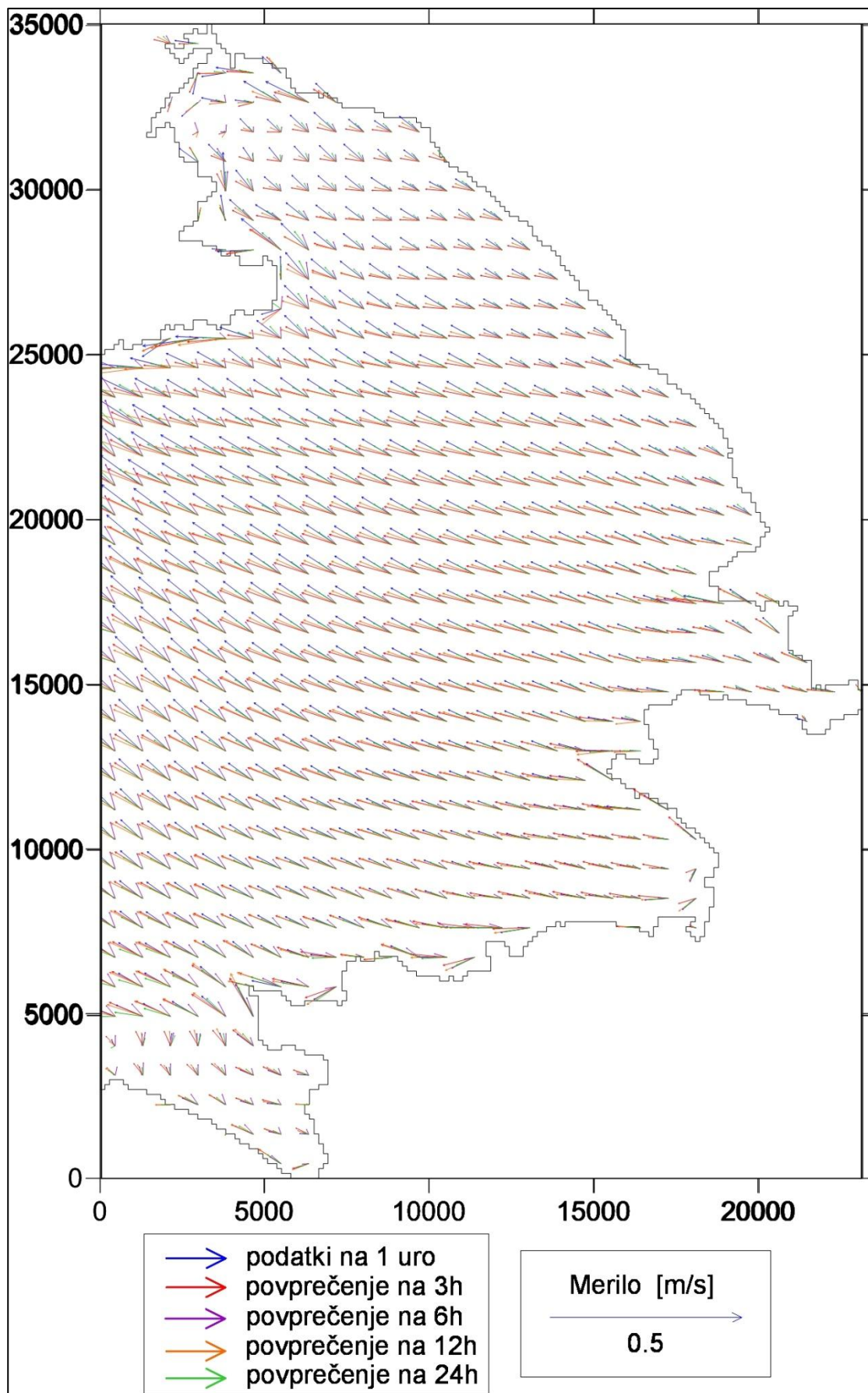
Med primerjavo slik vetra in tokov pri referenčnem vetru in različnih časovnih povprečjih (3, 6, 12 in 24 urnim) so bile največje razlike v prvih 24 urah. Za razumevanje dogajanja nad in v zalivu smo si podrobneje ogledali referenčne slike vetra. Na slikah vetra med sedmo in sedemnajsto uro simulacije (Priloge B.1 do B.11) je dobro vidno, da se veter ves čas polagoma obrača iz vzhodnika proti jugu in se med 9. in 10. uro popolnoma obrne (nad večjim delom zaliva v zahodnik), nato pa se je med petnajsto in šestnajsto uro simulacije ponovno obrnil nazaj v vzhodnik. S povprečenjem takšnih nenadnih obratov ne moremo zajeti. Poleg tega daje povprečenje komponent v takih primerih znatno nižjo kinetično energijo vetra od dejanske, ki se je sprostila nad zalivom. Seštevanje nasprotno usmerjenih vektorjev daje manjše jakosti vetra in hkrati povzroči razmeroma veliko napako pri računu smeri vetra.



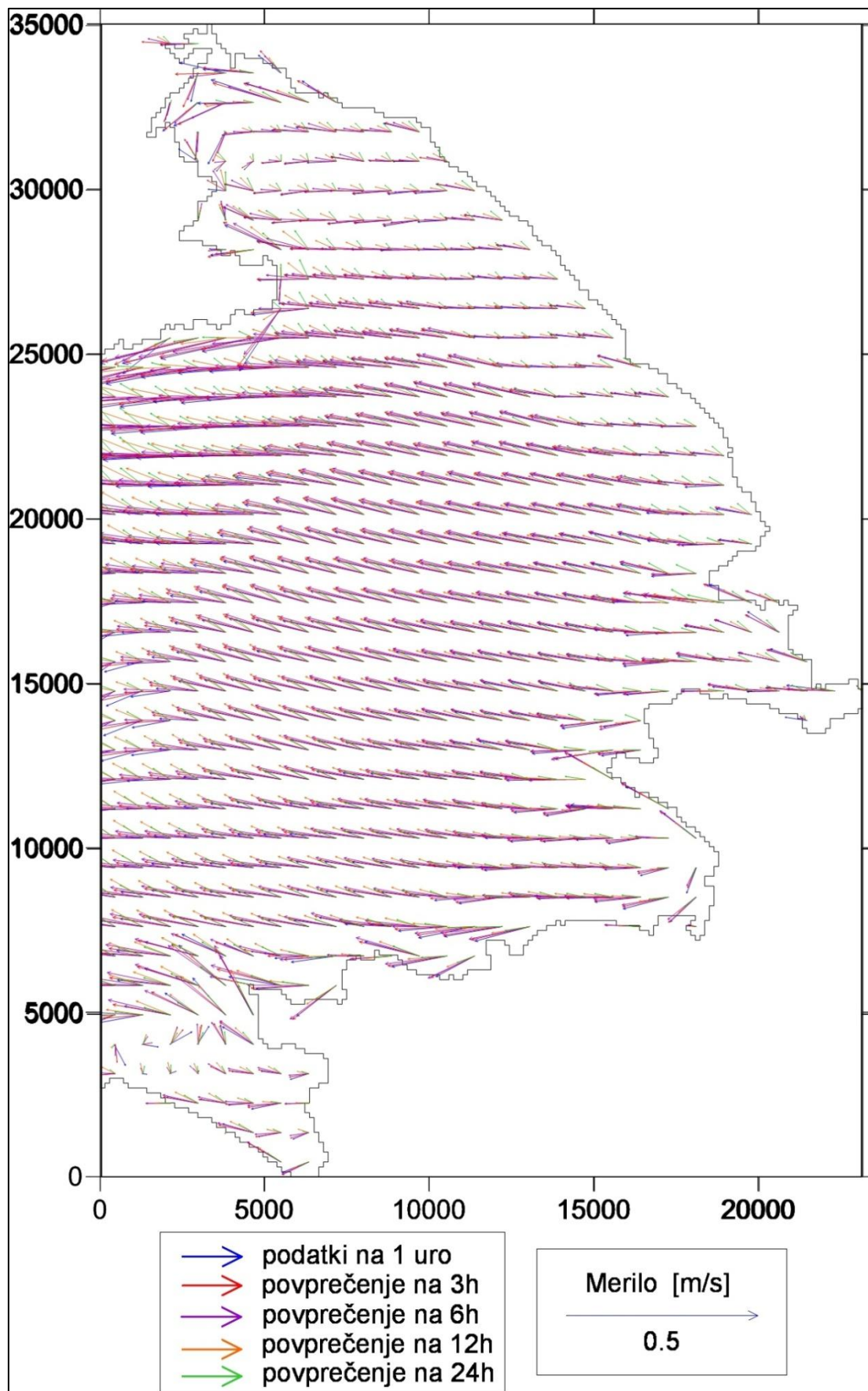
Slika 2: Hitrostno polje tokov po 6-ih urah na globini 0,5m



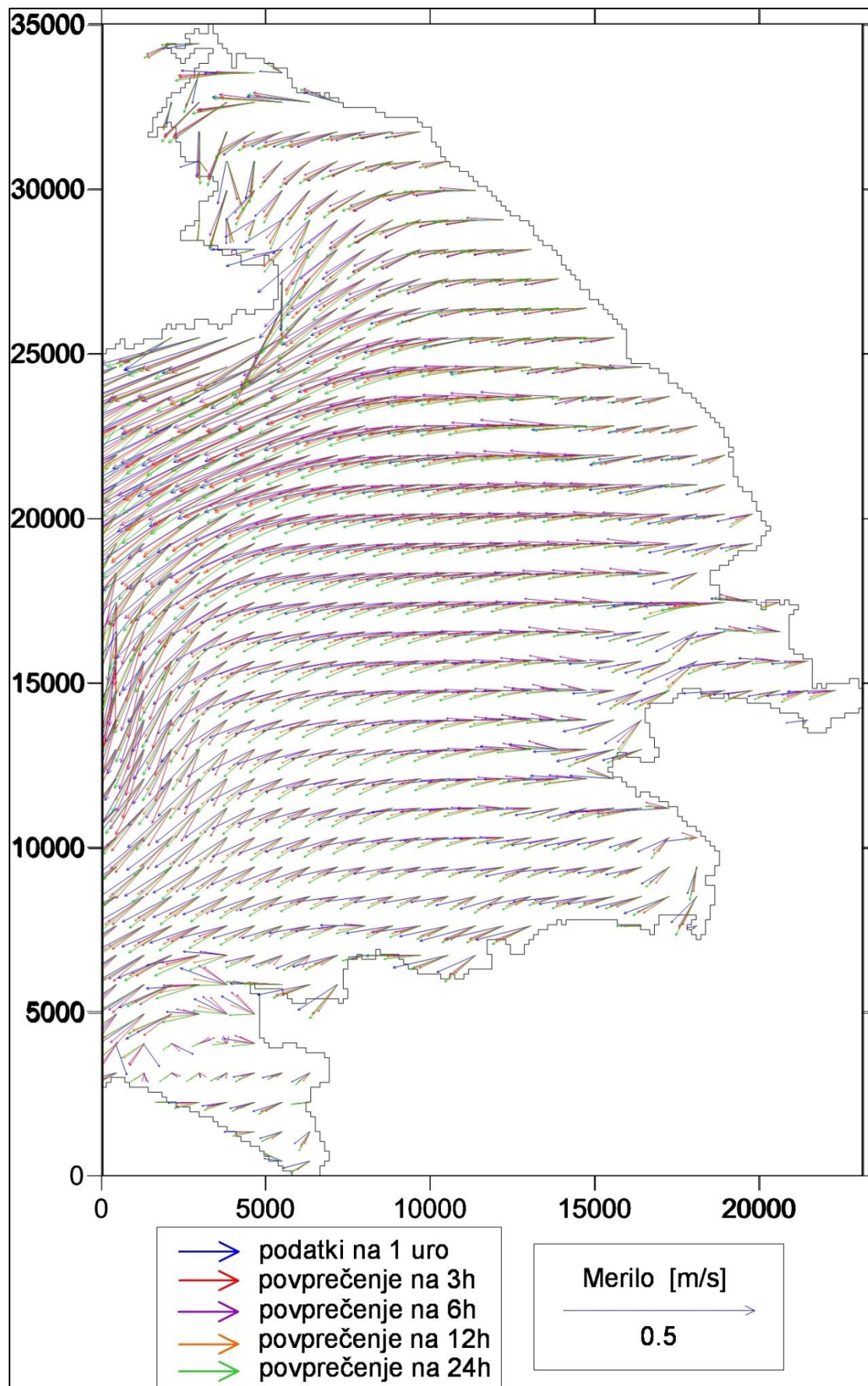
Slika 3: Hitrostno polje tokov po 12-ih urah na globini 0,5m



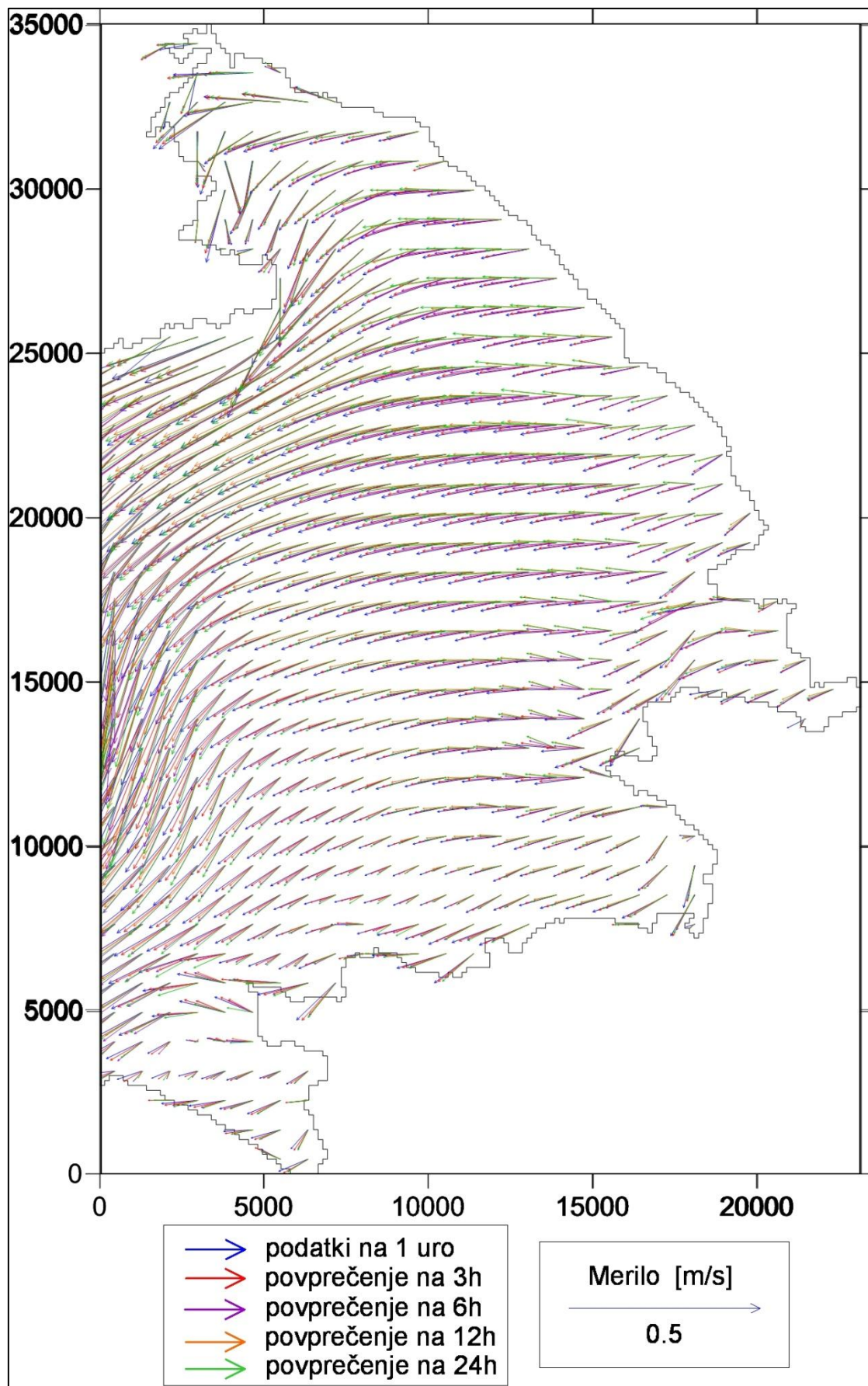
Slika 4: Hitrostno polje tokov po 18-ih urah na globini 0,5m



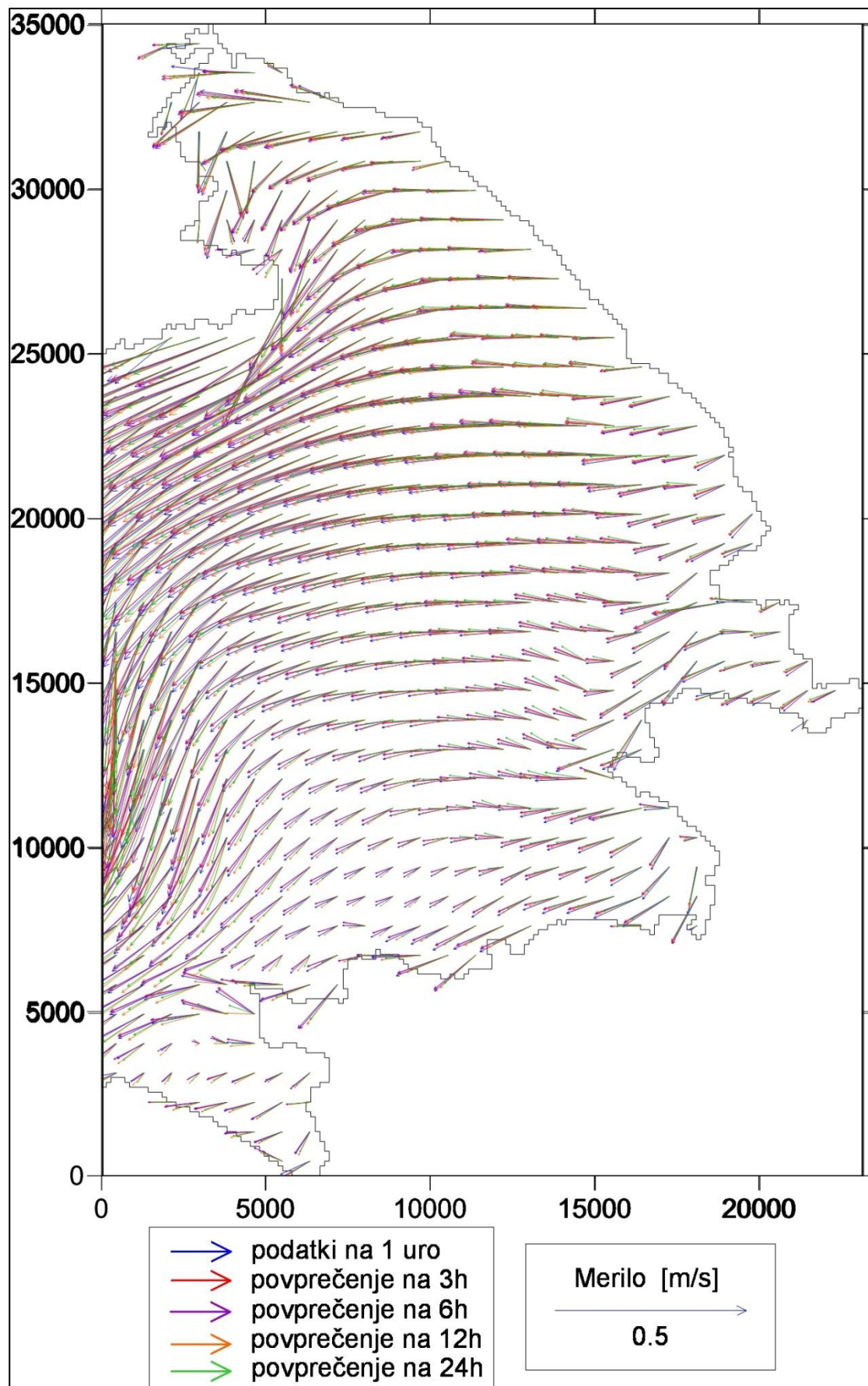
Slika 5: Hitrostno polje tokov po 24-ih urah na globini 0,5m



Slika 6: Hitrostno polje tokov po 30-ih urah na globini 0,5m

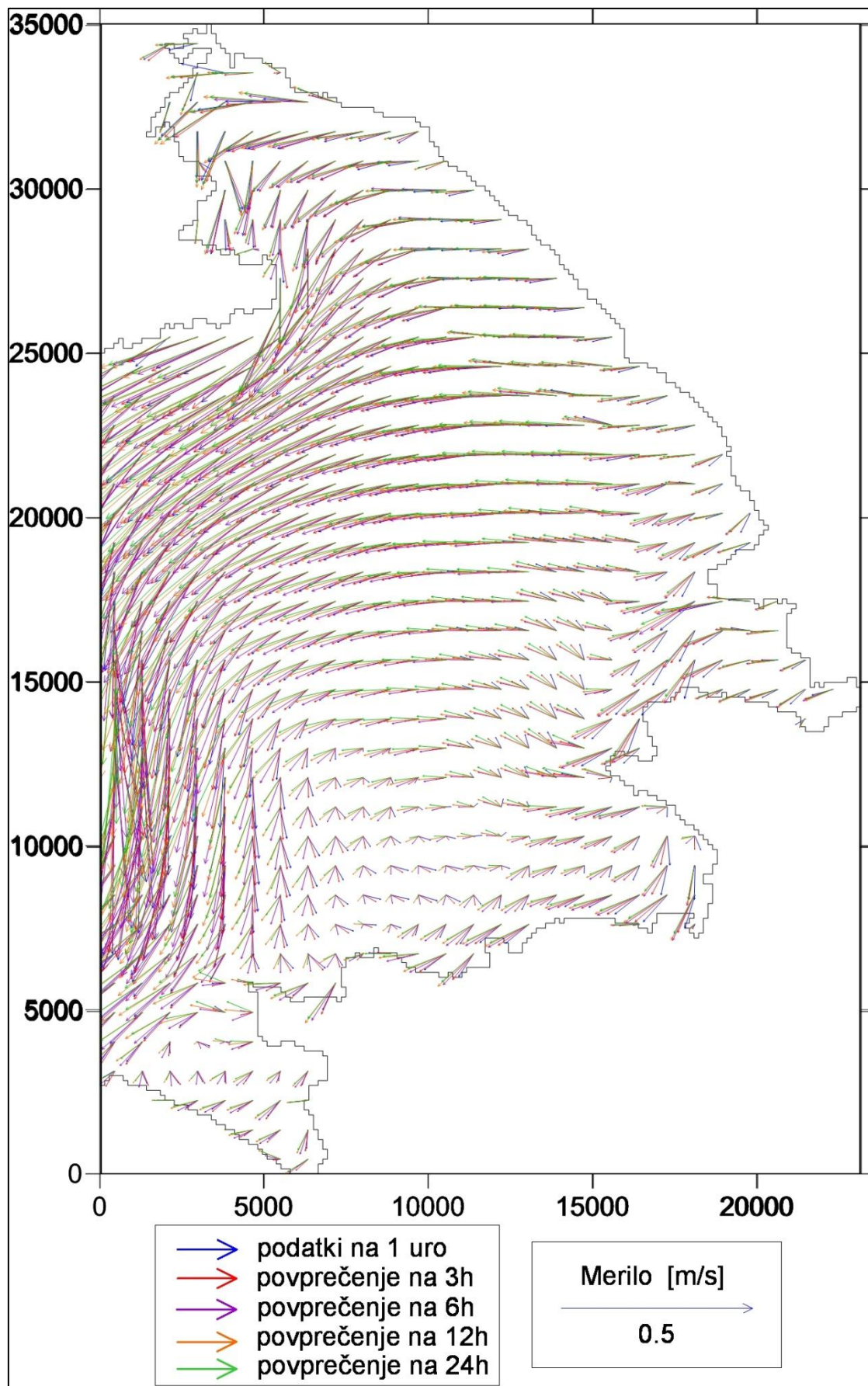


Slika 7: Hitrostno polje tokov po 36-ih urah na globini 0,5m

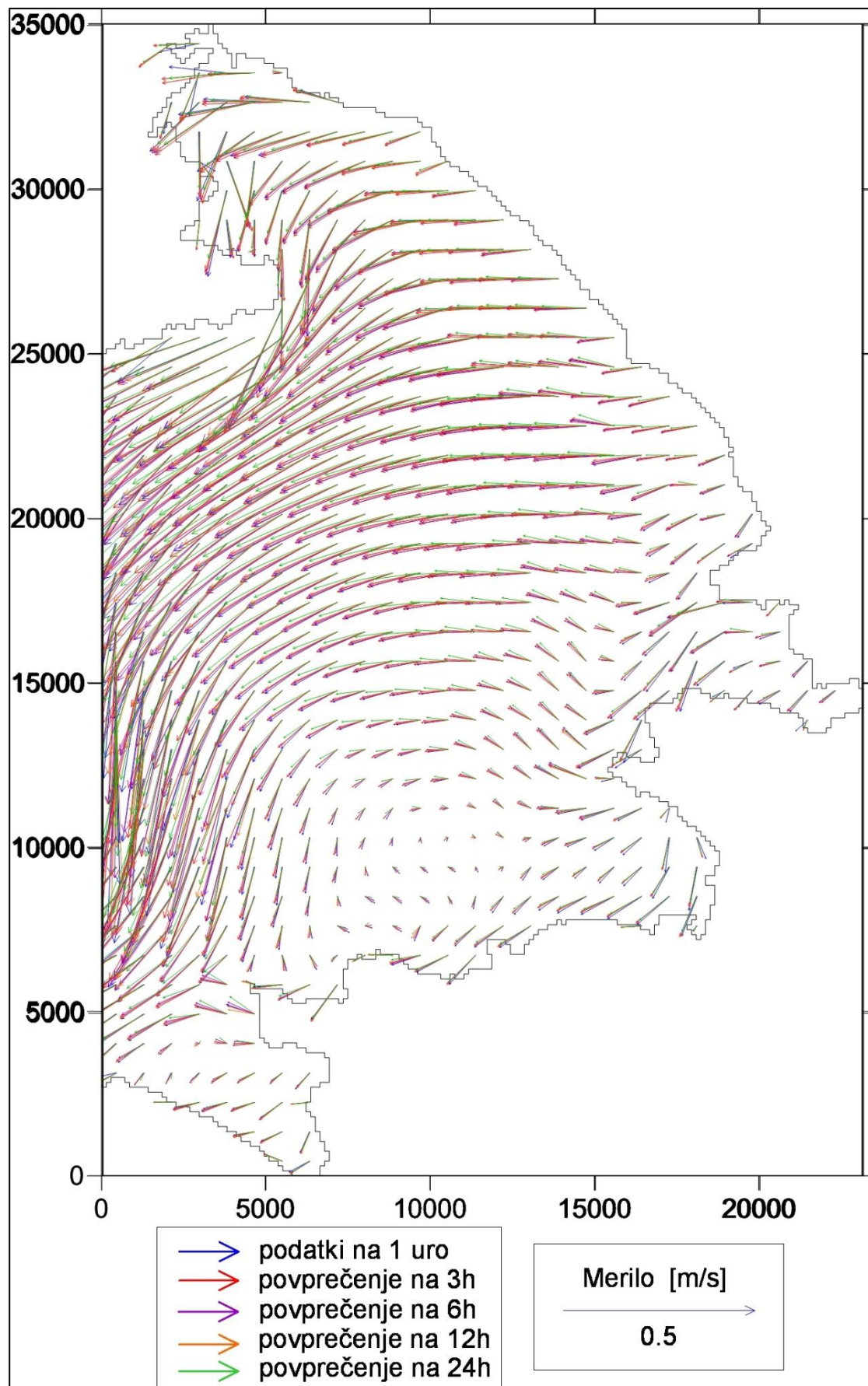


Slika 8: Hitrostno polje tokov po 42-ih urah na globini 0,5m

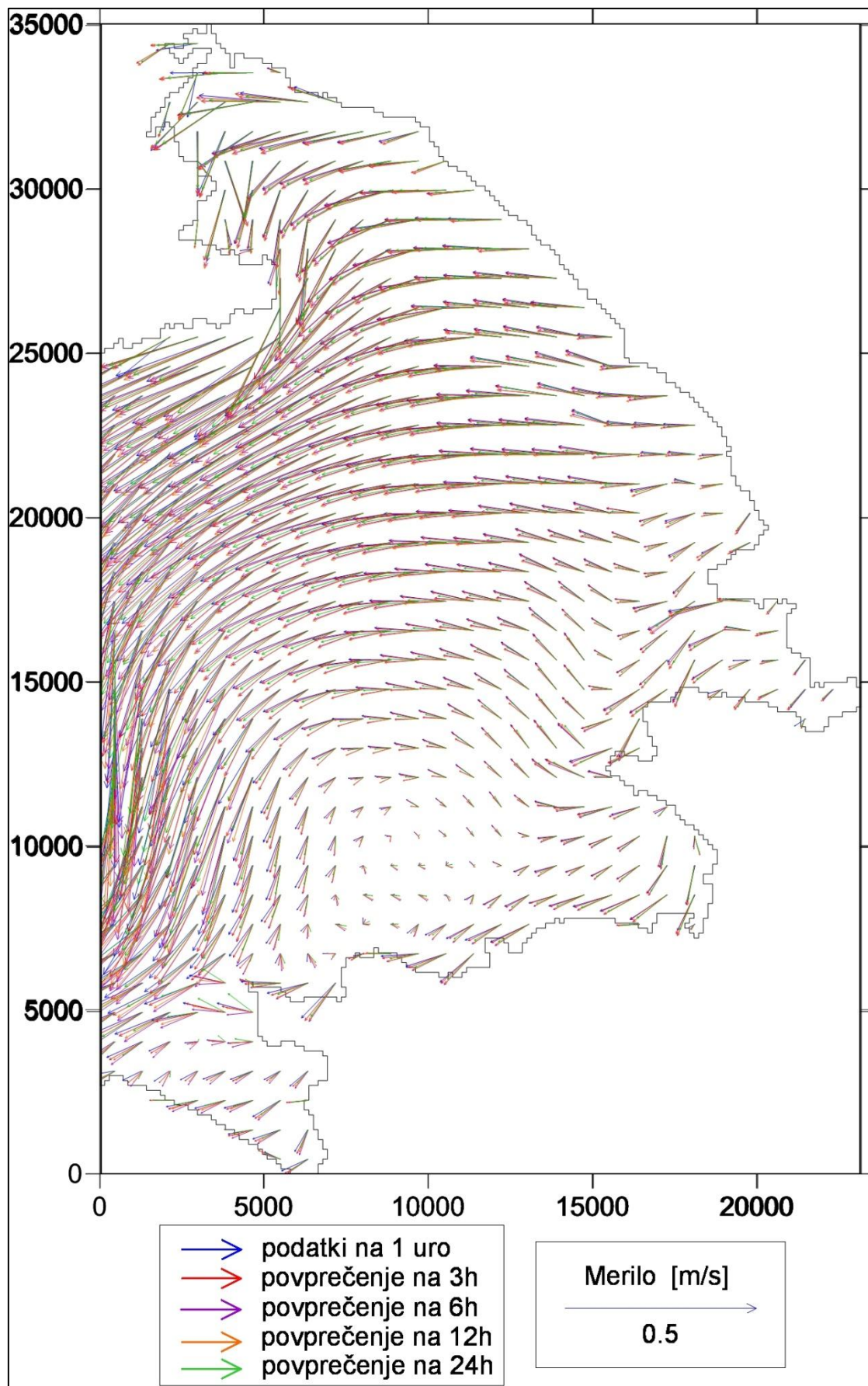




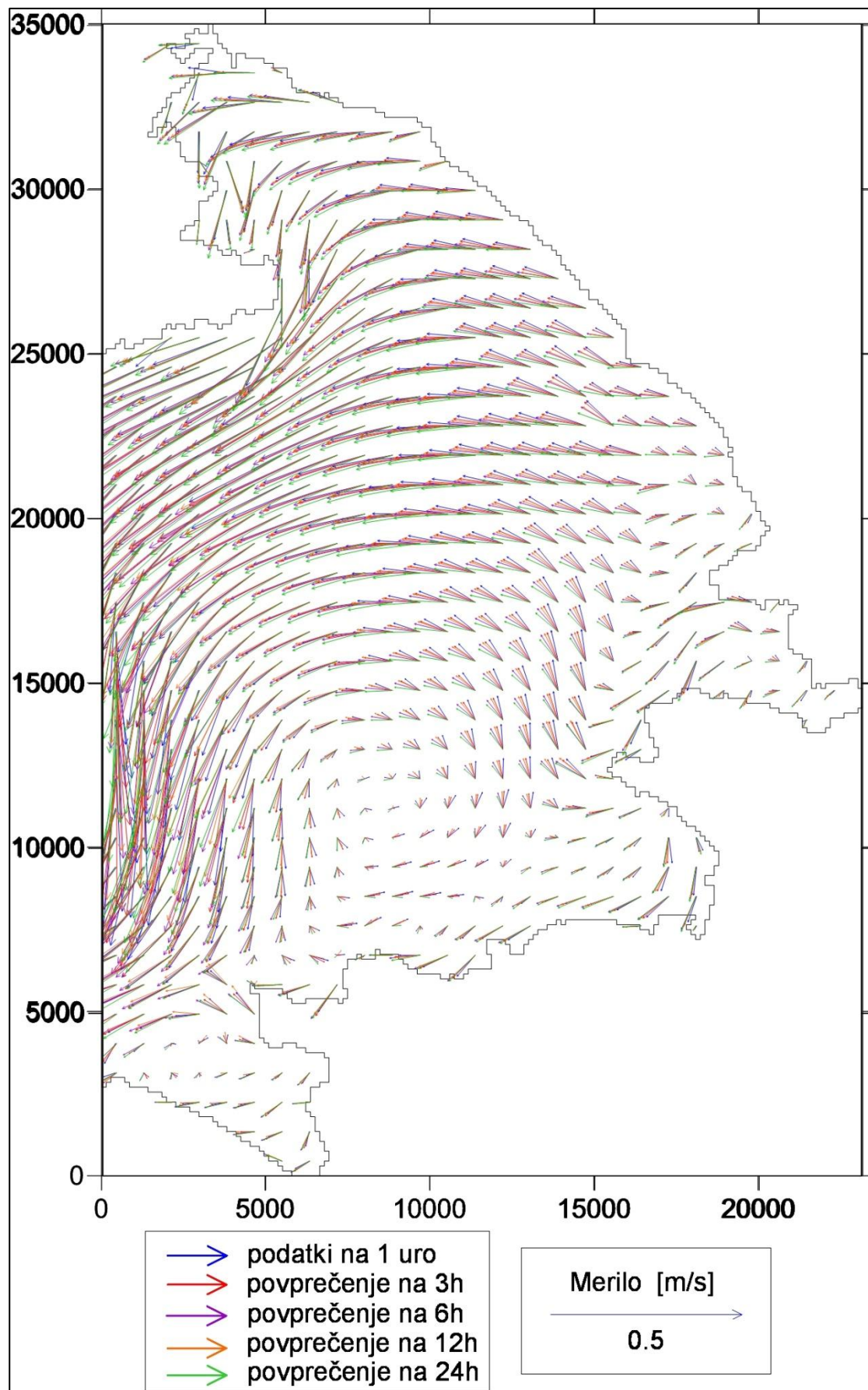
Slika 9: Hitrostno polje tokov po 48-ih urah na globini 0,5m



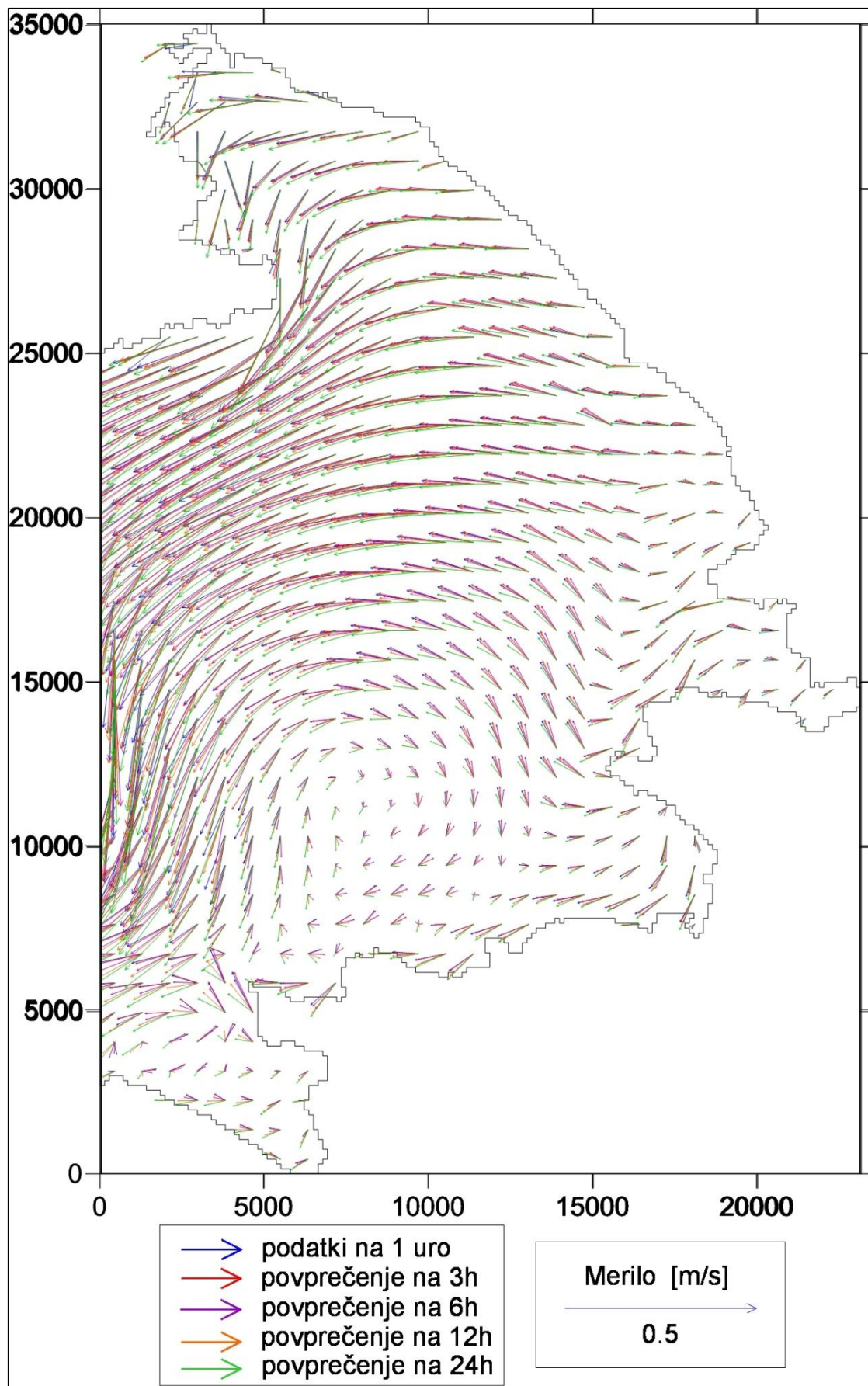
Slika 10: Hitrostno polje tokov po 54-ih urah na globini 0,5m



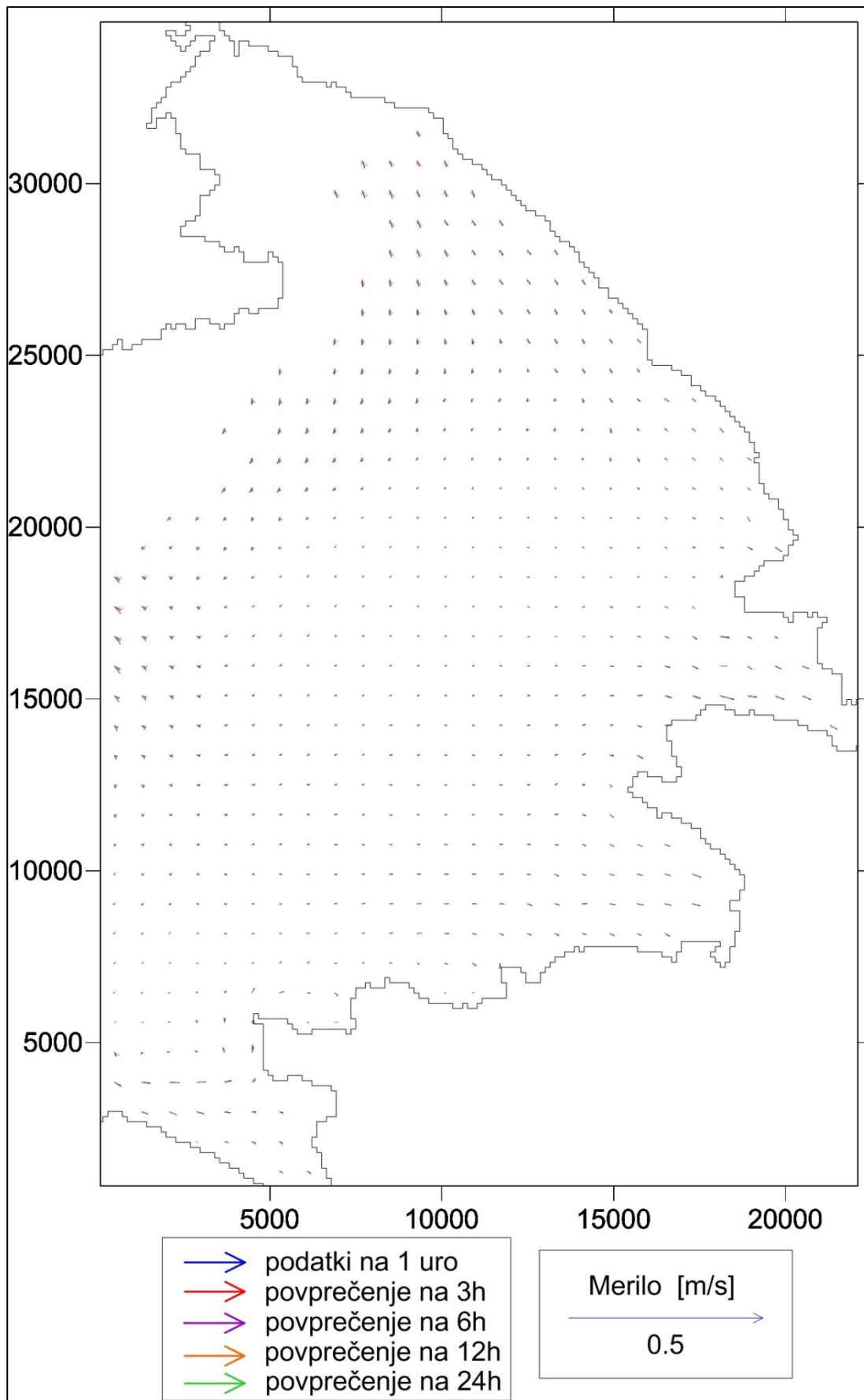
Slika 11: Hitrostno polje tokov po 60-ih urah na globini 0,5m



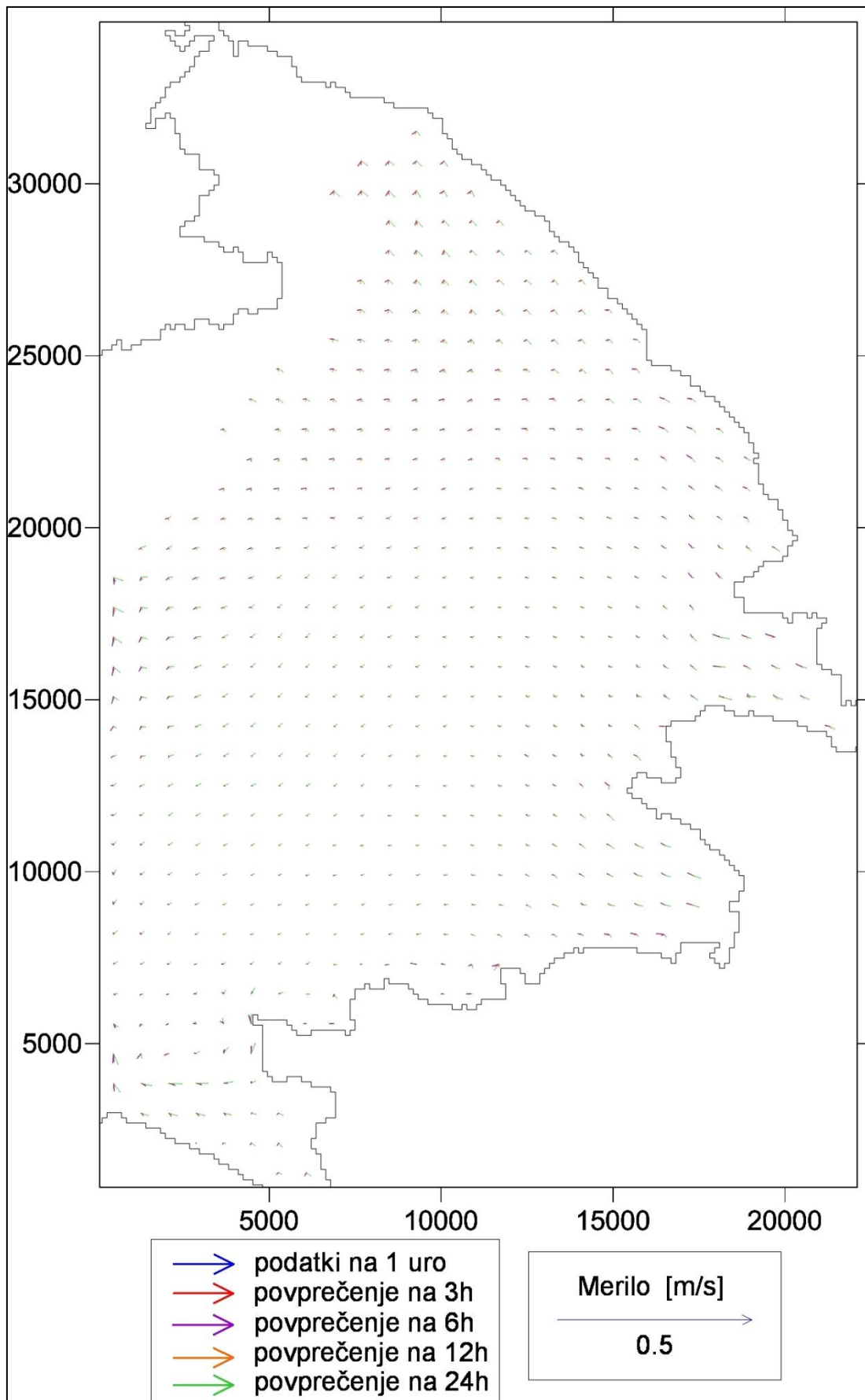
Slika 12: Hitrostno polje tokov po 66-ih urah na globini 0,5m



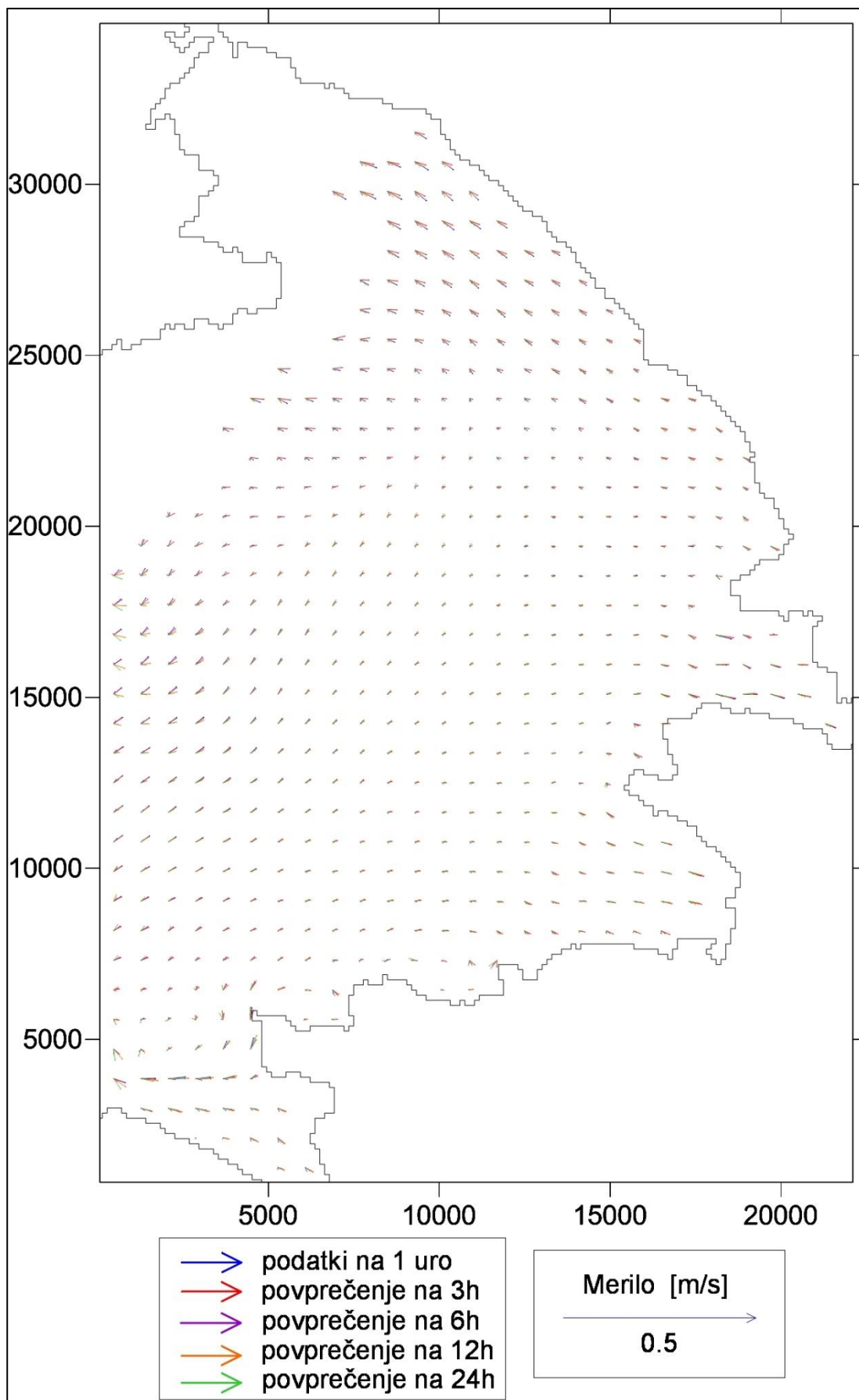
Slika 13: Hitrostno polje tokov po 72-ih urah na globini 0,5m



Slika 14: Hitrostno polje tokov po 6-ih urah na globini 10,5m

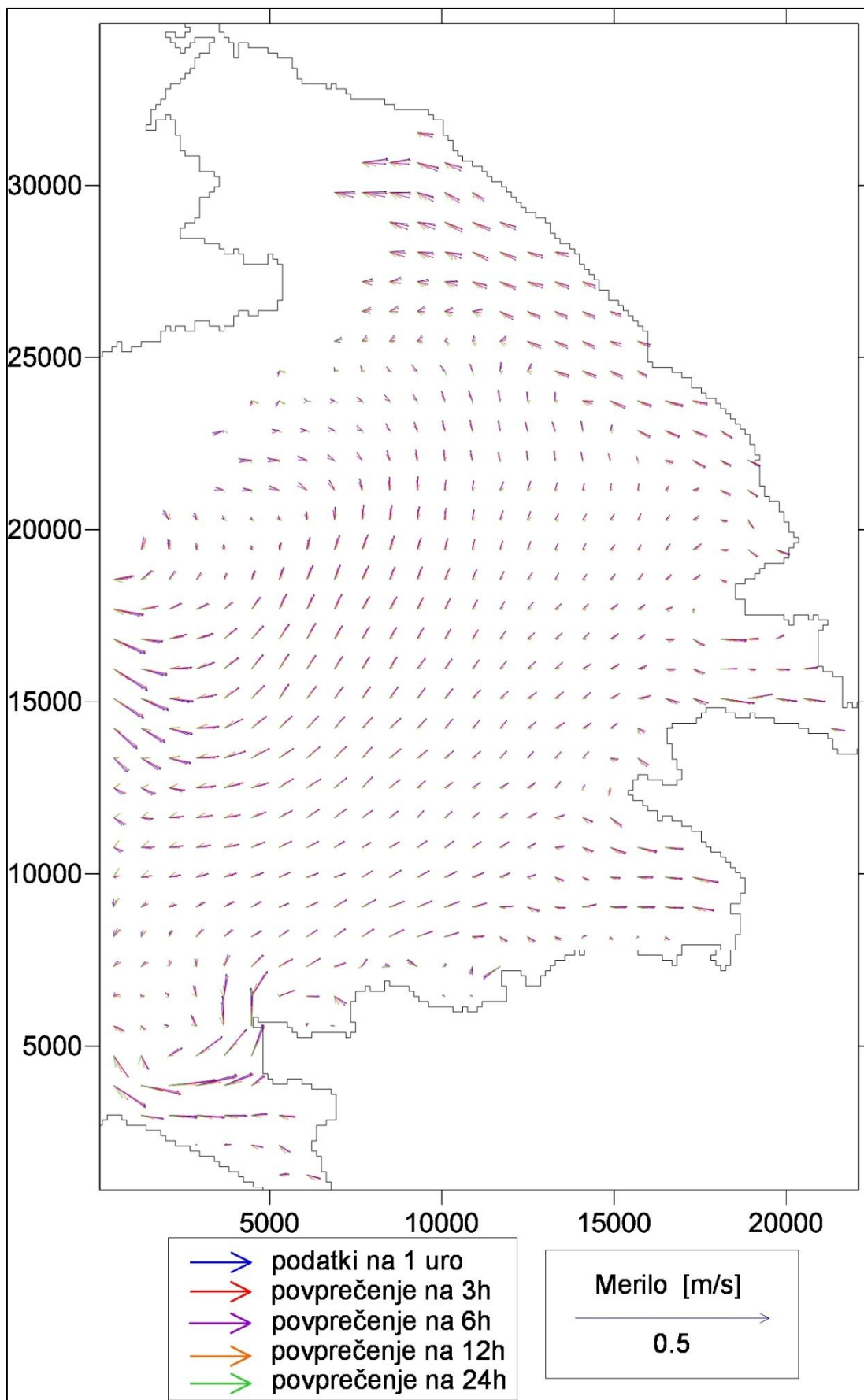


Slika 15: Hitrostno polje tokov po 12-ih urah na globini 10,5m

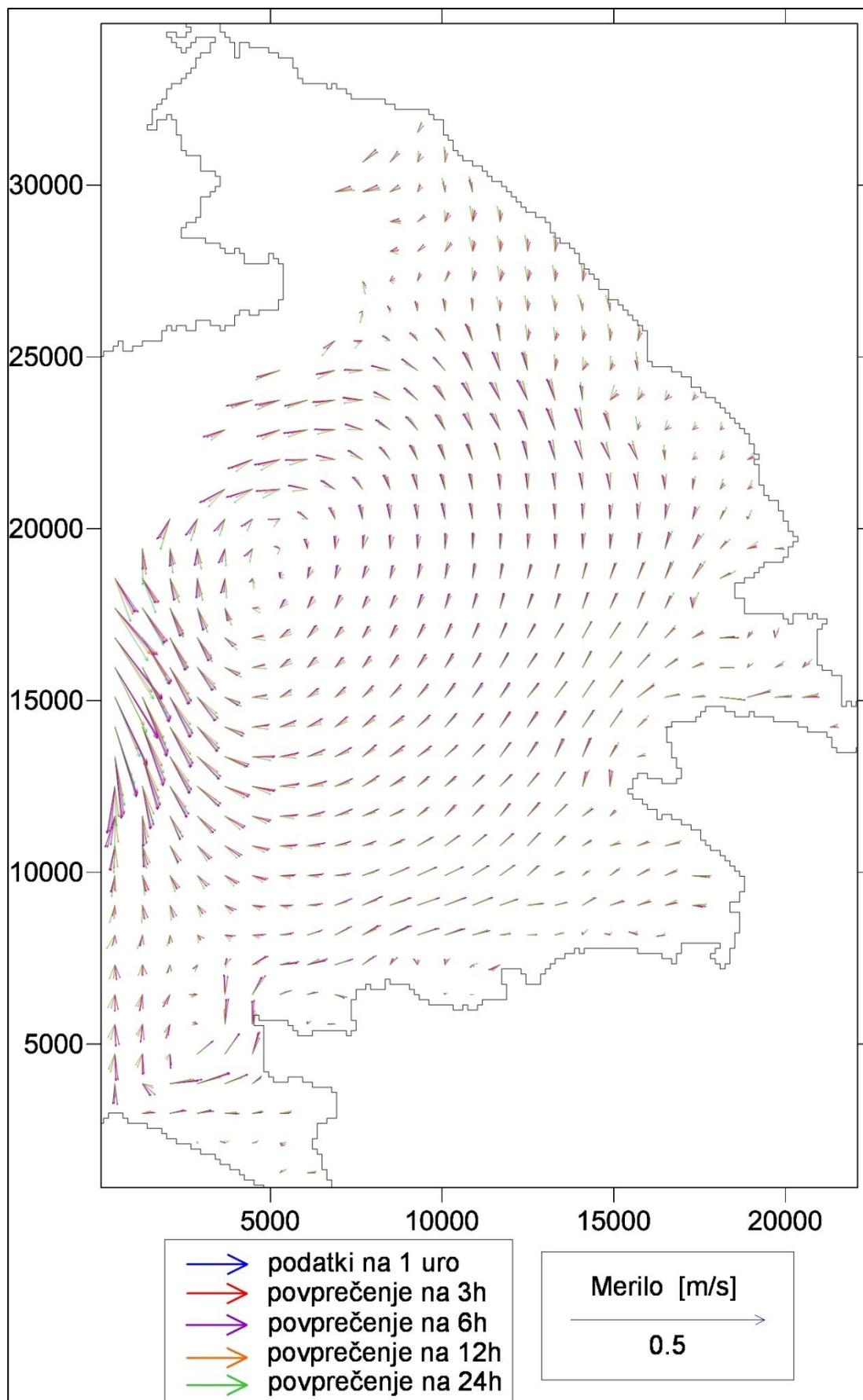


Slika 16: Hitrostno polje tokov po 18-ih urah na globini 10,5m

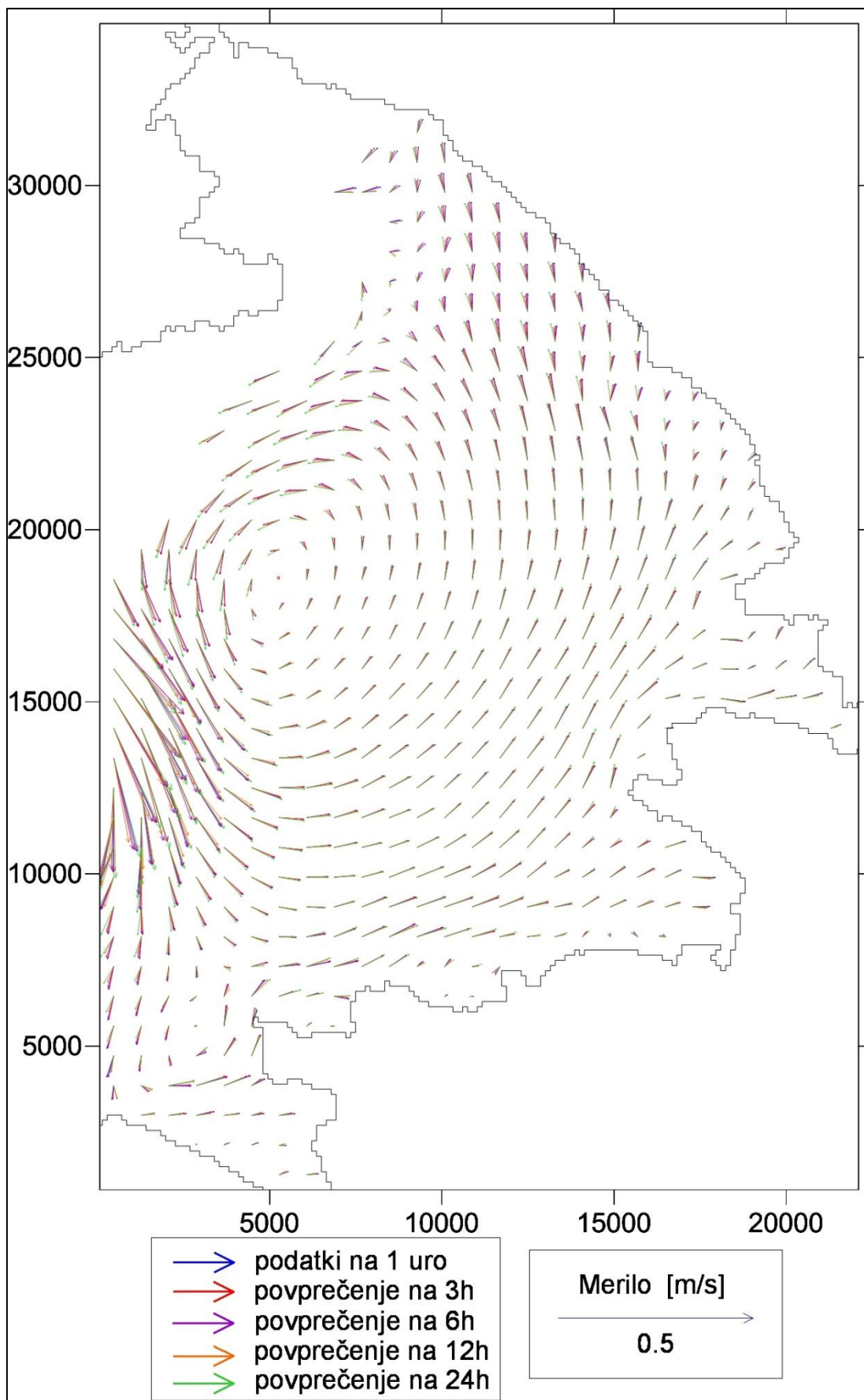




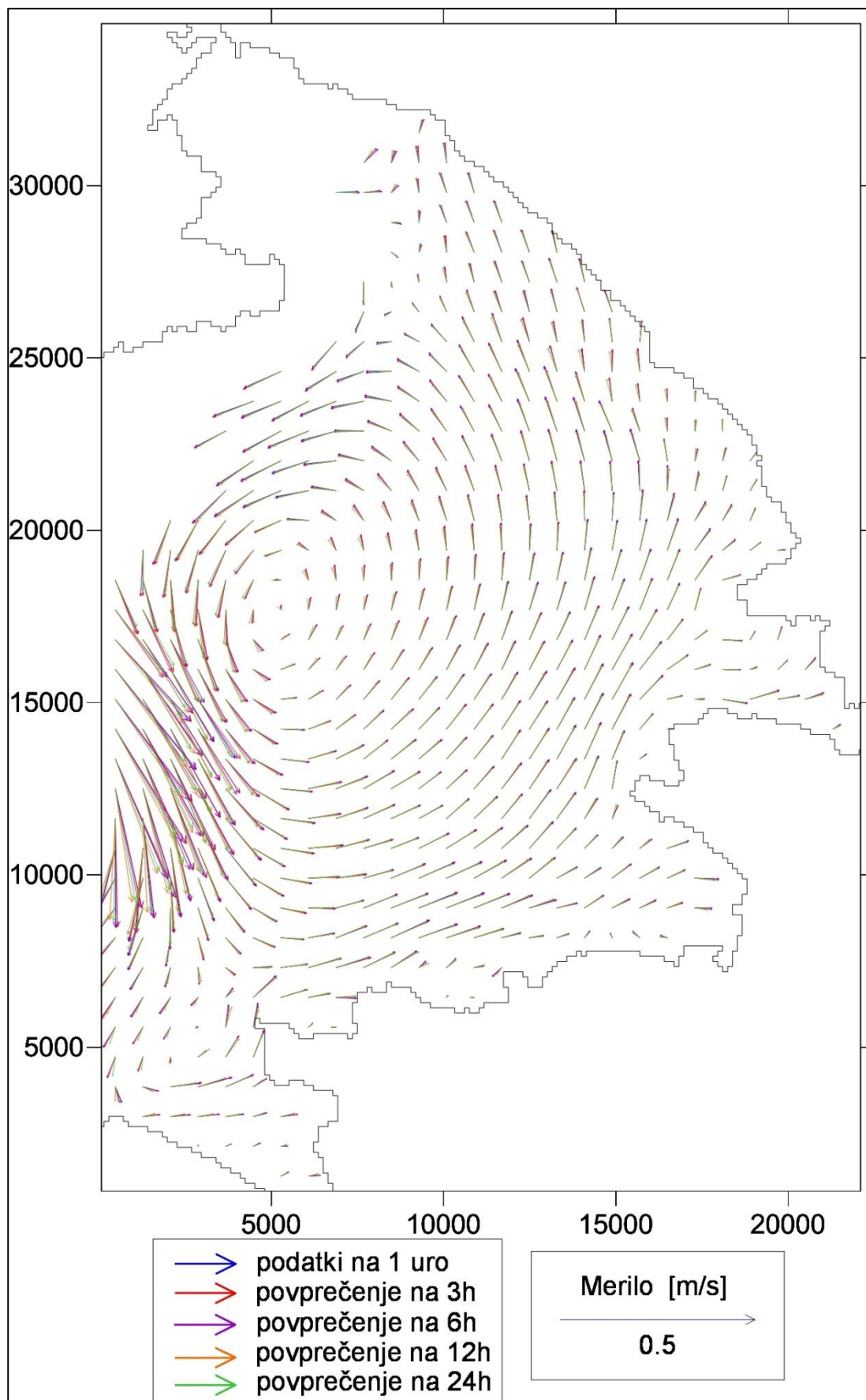
Slika 17: Hitrostno polje tokov po 24-ih urah na globini 10,5m



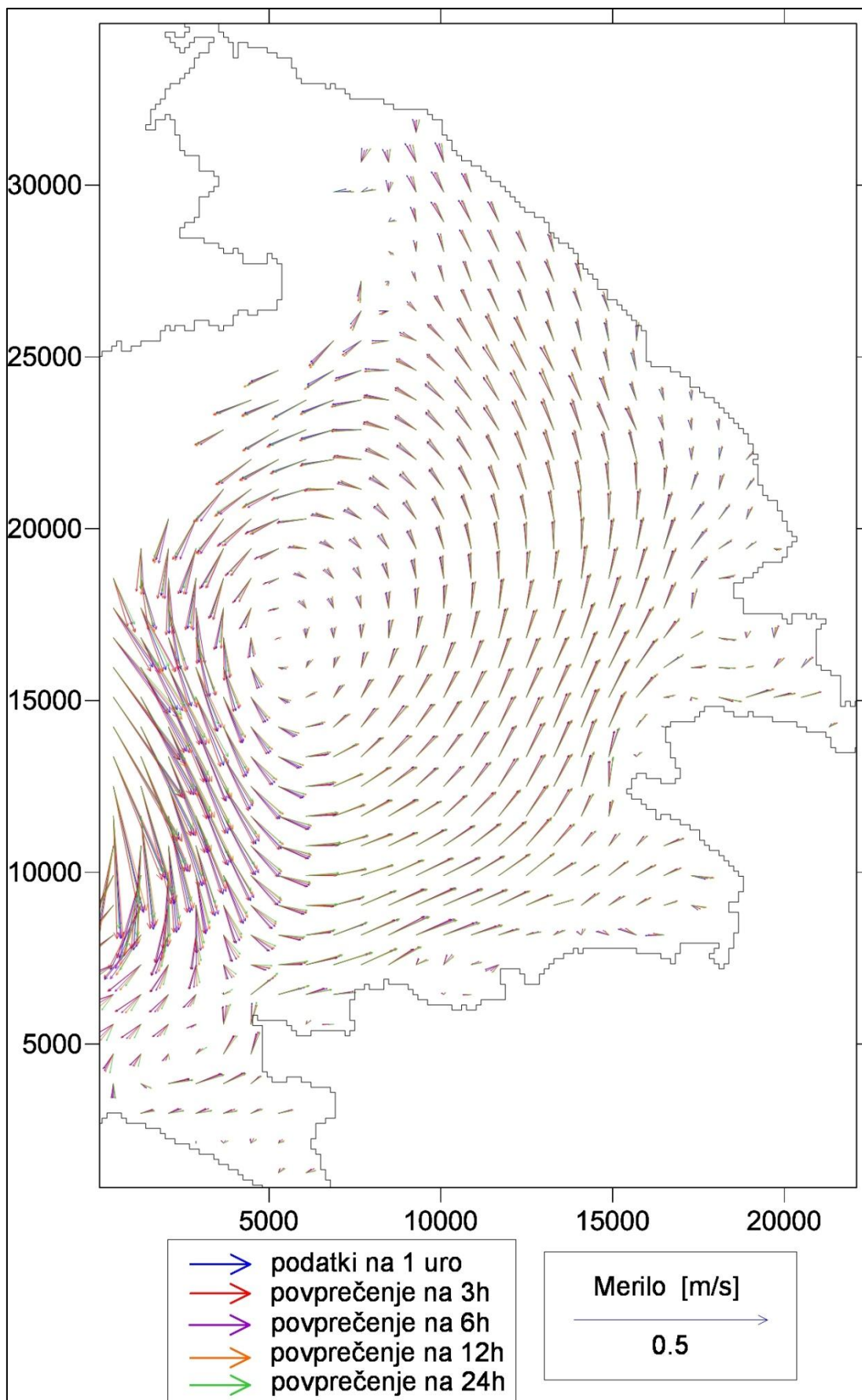
Slika 18: Hitrostno polje tokov po 30-ih urah na globini 10,5m



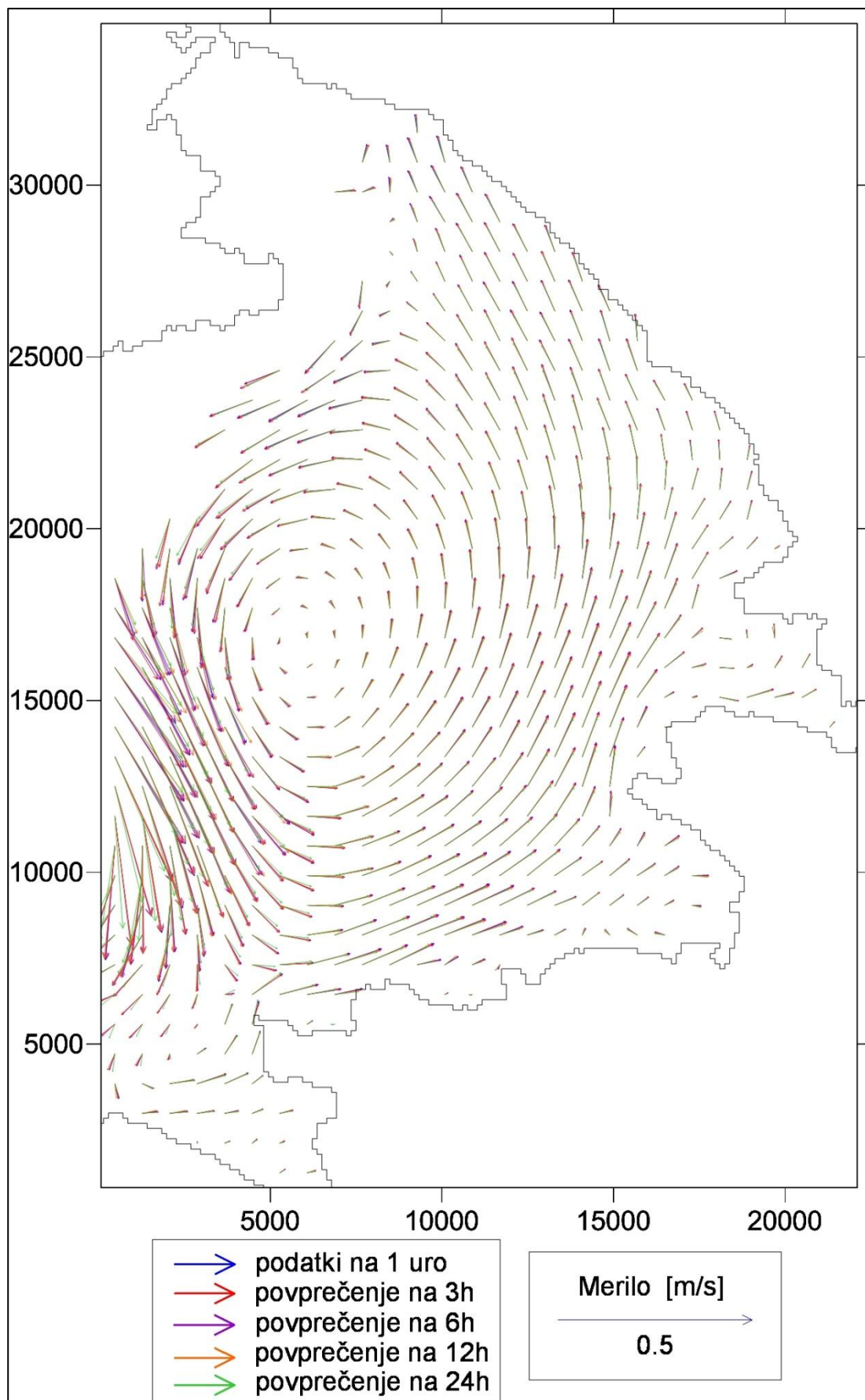
Slika 19: Hitrostno polje tokov po 36-ih urah na globini 10,5m



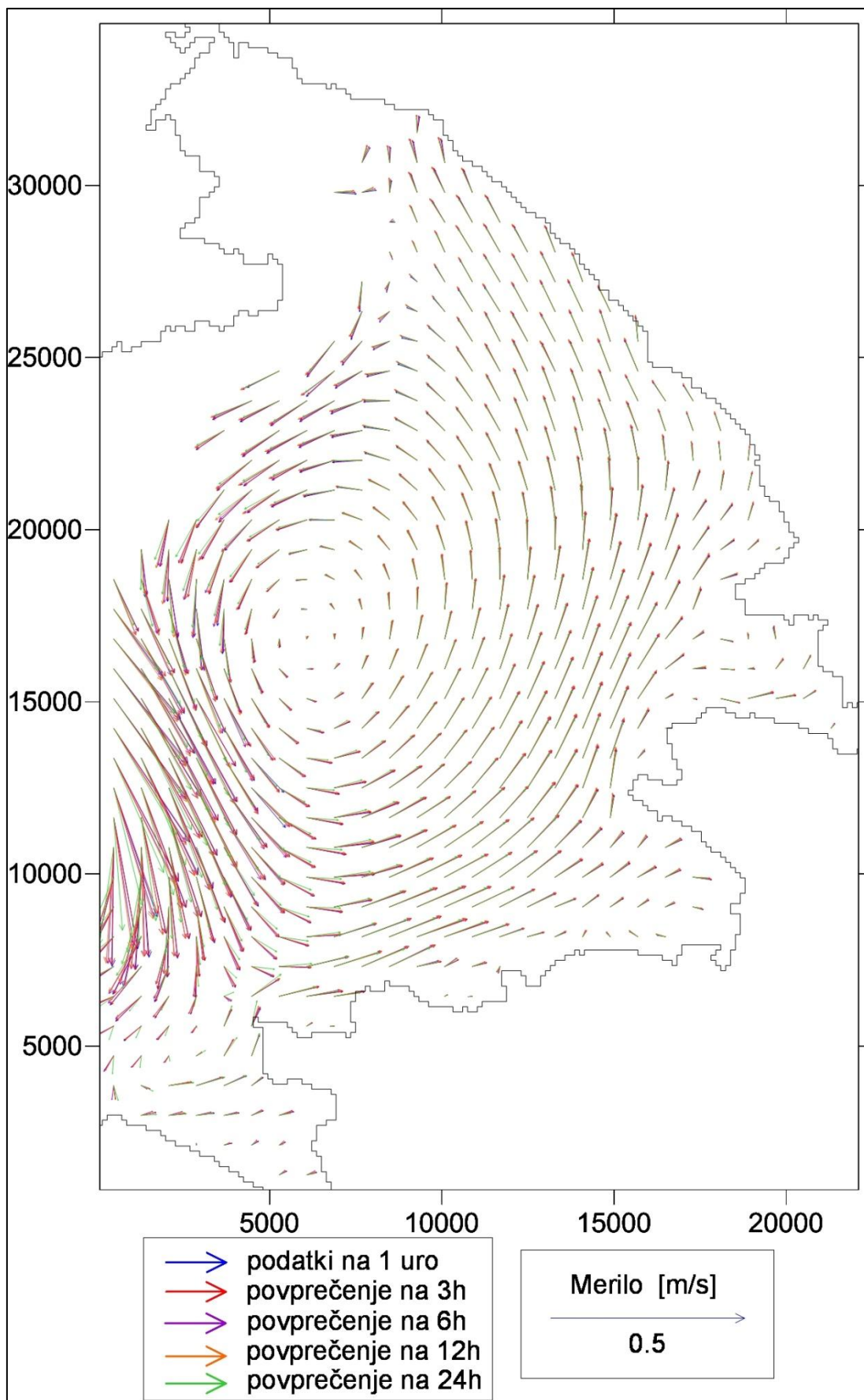
Slika 20: Hitrostno polje tokov po 42-ih urah na globini 10,5m



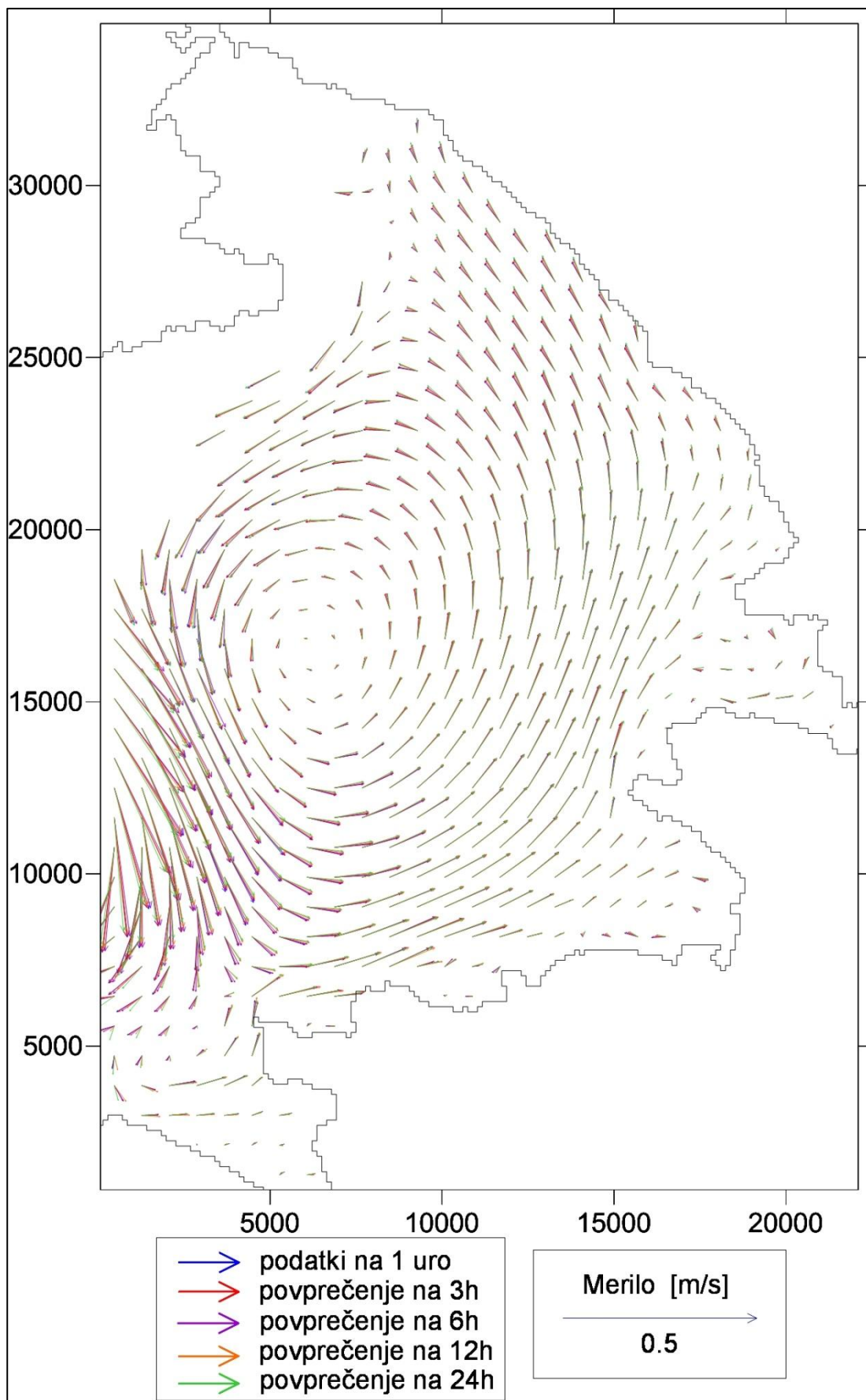
Slika 21: Hitrostno polje tokov po 48-ih urah na globini 10,5m



Slika 22: Hitrostno polje tokov po 54-ih urah na globini 10,5m

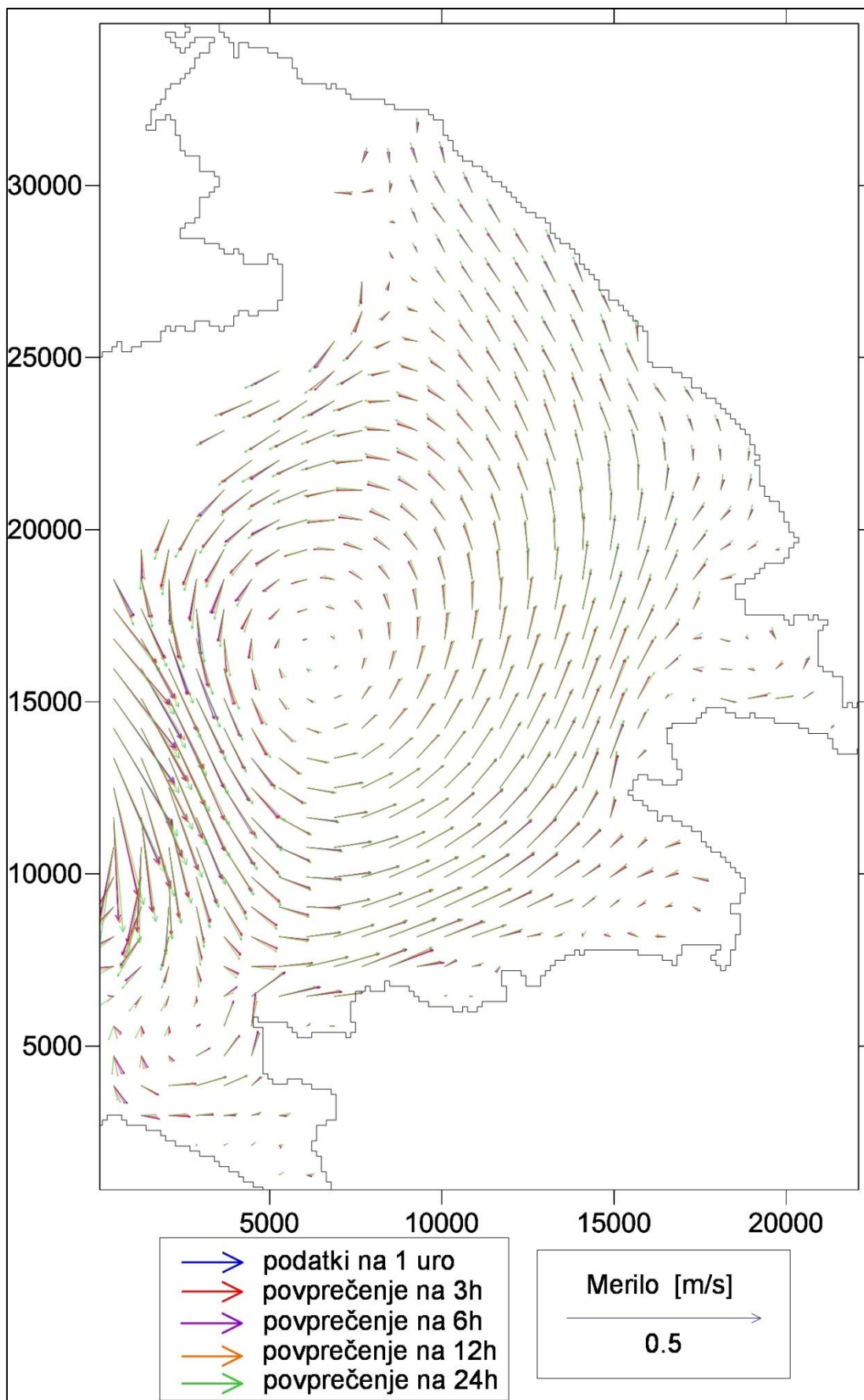


Slika 23: Hitrostno polje tokov po 60-ih urah na globini 10,5m



Slika 24: Hitrostno polje tokov po 66-ih urah na globini 10,5m





Slika 25: Hitrostno polje tokov po 72-ih urah na globini 10,5m

#### 4.5 Diskusija

Izvedene simulacije kažejo, da je vpliv časovnega povprečenja vetrovnih polj veliko večji na gladini kot v globljih slojih. Tokovna polja, izračunana z različnimi časovno povprečenimi vetrovnimi polji se med seboj precej razlikujejo. Ker nismo imeli na voljo meritev, s katerimi bi tokovna polja primerjali, lahko povzamemo, da je ujemanje med krajšimi časovnimi povprečji (3 in 6 urno) večinoma zadovoljivo. To je predvsem pomembno, ker je mogoče pridobiti vetrovna polja iz meteoroloških modelov ravno v matrikah, zapisanih za šesturna povprečenja. Seveda pa v šesturnih povprečenjih izgubimo nenadne obrate vetra, ki so se zgodili med našimi simulacijami (med 9. in 10. ter 15. in 16. uro). V takih vremenskih situacijah s povprečenjem vetra izgubimo veliko informacij, ki so lahko ključnega pomena. Tokovna polja namreč pogosto niso zaključek simulacije, ampak se z njimi izračunava transport onesnažil, privzdigovanje sedimenta ipd. V takih primerih je zelo pomembno, da vnaprej vemo, čemu je namenjen račun hidrodinamike. Če simuliramo dolgotrajni transport onesnažil (na primer več mesecev (Žagar, 1999)), kljub povprečenju vetra napaka v končnem izračunu porazdelitve, količine in pretvorb onesnažil ne bo bistvena. Če pa so hitrostna polja namenjena na primer simulacijam širjenja nafte v realnem času (Ramšak in sod., 2013), kjer je od pravilnosti tokov odvisna smer gibanja nafte in morebitni stik z obalo, je lahko vsaka izguba informacij o vetru kritična za pravilnost simulacij in ukrepe, ki jih izvajajo ustrezne službe. Ne nazadnje je potrebno povedati tudi to, da je na tako majhnih območjih, kot je Tržaški zaliv, pogosto velikega pomena tudi odprti rob: nepravilna formulacija prenosa vode (gibalne količine) in onesnažil prek odprtega roba se lahko v nekaj urah prenese na celoten zaliv in so zato simulacije popolnoma nepravilne, ne glede na interval povprečenja vetra. Primerjava z meritvami v vsaj nekaj točkah računske domene je zato pomembna in jo bomo izvedli pri nadaljevanju te diplomske naloge.

## 5 ZAKLJUČEK

Z nalogo smo želeli poiskati časovno povprečenje vetra nad Tržaškim zalivom, ki še daje zadovoljive rezultate pri simulacijah tokov, ki nastanejo v realnih vetrnih situacijah. Kot referenčna so služila vetrovna polja v enournih intervalih, izvedli pa smo simulacije s časovno povprečenim vetrom prek 3, 6, 12 in 24 urnih intervalov ter izračunali tokove, ki jih povzročijo časovno povprečeni vetrovi. Nato smo med seboj primerjali rezultate simulacij v obliki vektorskih slik hitrosti vetra v izbrani uri ter tokovnih slik slojev na globini 0,5 metra in 10,5 metra. V površinskem sloju so bila odstopanja med referenčnimi hitrostmi in hitrostmi zaradi povprečenega vetra znatno večja, kot v sloju na globini 10,5 metra. Na tokove na površini vpliva veter takoj in močno, zato ne preseneča, da so se vektorji tokov slabše ujemali. Uporabno ujemanje z referenčnimi tokovi zaradi urnih vetrov smo dosegli pri 3 in 6 urnem časovno povprečenju vetra, kjer smer odstopa do  $10^\circ$ , velikosti pa so večinoma malce manjše od referenčnih (do 15%). V primeru hitrega obrata vetra ujemanje tudi pri tako kratkih povprečenjih ni bilo dobro. Ujemanje tokov ob daljšem povprečenju vetra (12 in 24 urno) je na površini slabo. V sloju na globini 10,5 metrov so se vektorji med seboj bolje ujemali, ker je vpliv vetra na tej globini znatno manjši. 3 in 6 urno povprečenje se je z referenčnimi vrednostmi zelo dobro ujemalo, velikost in smer sta bili skoraj enaki (odstopanja v velikosti pod 10%), 24 urno povprečenje pa tudi na tej globini močnejše odstopa. Medtem, ko pri dolgoročnih simulacijah (nekaj tednov ali mesecev) tudi povprečevanje vetra prek daljših časovnih obdobj ne vpliva bistveno na rezultate, priporočamo za običajne kratkoročne simulacije (nekaj dni) transporta onesnažil podajanje vetra iz meteoroloških modelov v časovni resoluciji 6 ur ali manj. Če pa želimo obravnavati na primer razlitje nafte v realnem času, v primerih nenadnih obratov vetra tudi 6 urna resolucija ne zadošča, saj je od pravilne napovedi smeri in hitrosti gibanja naftnega madeža odvisno delovanje služb, ki preprečujejo ali vsaj omilijo posledice razlitja. Omeniti je potrebno še to, da so izvedene simulacije brez primerjave z meritvami lahko tudi napačne, saj se lahko na tako majhnih računskih domenah, kot je Tržaški zaliv, vpliv robnega pogoja na odprtem robu zelo hitro prenese po celotni računski domeni, kar nam lahko popolnoma pokvari rezultate.

## VIRI

- Brilly, M. in Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 114-116.
- Četina, M. 1992. Tridimenzionalni matematični baroklini model za izračun tokov v jezerih in morju. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FAGG, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer (samozaložba M. Četina): 72 f.
- Dorić, E. 2007. Možnosti uporabe modela MIKE 3 v Tržaškem zalivu. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba E. Dorić): 77 f.
- Kovšca, J. 2007. Dopolnitve modela PCFLOW3D za simulacijo tokov in širjenja polutantov. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer (samozaložba J. Kovšca): 67 f.
- Ličer, M., Žagar, D., Jeromel, M. in Vodopivec, M. 2012. Numerični modeli za določanje stanja morja v Jadranskem bazenu. Ujma: 164-167.
- Maslo, A. 2009. Vpliv krajevno spremenljivega vetra na sliko tokov v Tržaškem zalivu, simulacije z modelom PCFLOW3D. Dipl. nal. , UNI. Ljubljana, UL, FGG, Hidrotehnična smer (samozaložba A. Maslo): 86 str.
- Nib-Ismo. 2008. Lokacija oceanografske boje Vide pred Piranom [Online]. Available: [http://buoy.mbss.org/portal/index.php?option=com\\_content&task=view&id=12&Itemid=26&lang=sl](http://buoy.mbss.org/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=26&lang=sl) (Pridobljeno 29. 7. 2013).
- Rajar, R. in Četina, M. 1990. Modelling of tidal and wind induced currents and dispersion in the Northern Adriatic. Acta Adriatica 2: 785-812.
- Rajar, R. in Četina, M. 1997. Hydrodynamic and water quality modelling: An experience. Ecological Modelling 101: 195-207.
- Rajar, R., Četina, M. in Širca, A. 1997. Hydrodynamic and water quality modelling: case studies. Ecological Modelling 101: 209-228.
- Rajar, R., Žagar, D., Četina, M., Akagi, H., Yano, S., Tomiyasu, T. in Horvat, M. 2004. Application of three-dimensional mercury cycling model to coastal seas. Ecological Modelling 171: 139-155.
- Rajar, R., Žagar, D., Širca, A. in Horvat, M. 2000. Three-dimensional modelling of mercury cycling in the Gulf of Trieste. The Science of The Total Environment 260: 109-123.
- Ramšak, V. 2007. Simulacija hidrodinamike s spremenljivim vetrom z modelom PCFLOW3D. Seminarska naloga na podiplomskem študiju. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer (samozaložba V. Ramšak): 28 f.
- Ramšak, V., Malačič, V., Ličer, M., Kotnik, J., Horvat, M. in Žagar, D. 2013. High-resolution pollutant dispersion modelling in contaminated coastal sites. Environmental Research 125: 103–112.
- Wikipedija, P. E. 2013. Tržaški zaliv [Online]. Available: [http://sl.wikipedia.org/wiki/Tr%C5%BEa%C5%A1ki\\_zaliv](http://sl.wikipedia.org/wiki/Tr%C5%BEa%C5%A1ki_zaliv) (Pridobljeno 29. 7. 2013).

Žagar, D. 1994. Tridimenzijski model za simulacijo širjenja nafte. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FAGG (samozaložba D. Žagar): 68 str.

Žagar, D. 1999. Development and Application of a Three-Dimensional Model to Simulate Mercury Transport and Transformation Process in the Marine Environment. *Acta Hydrotechnica* 17: 68.

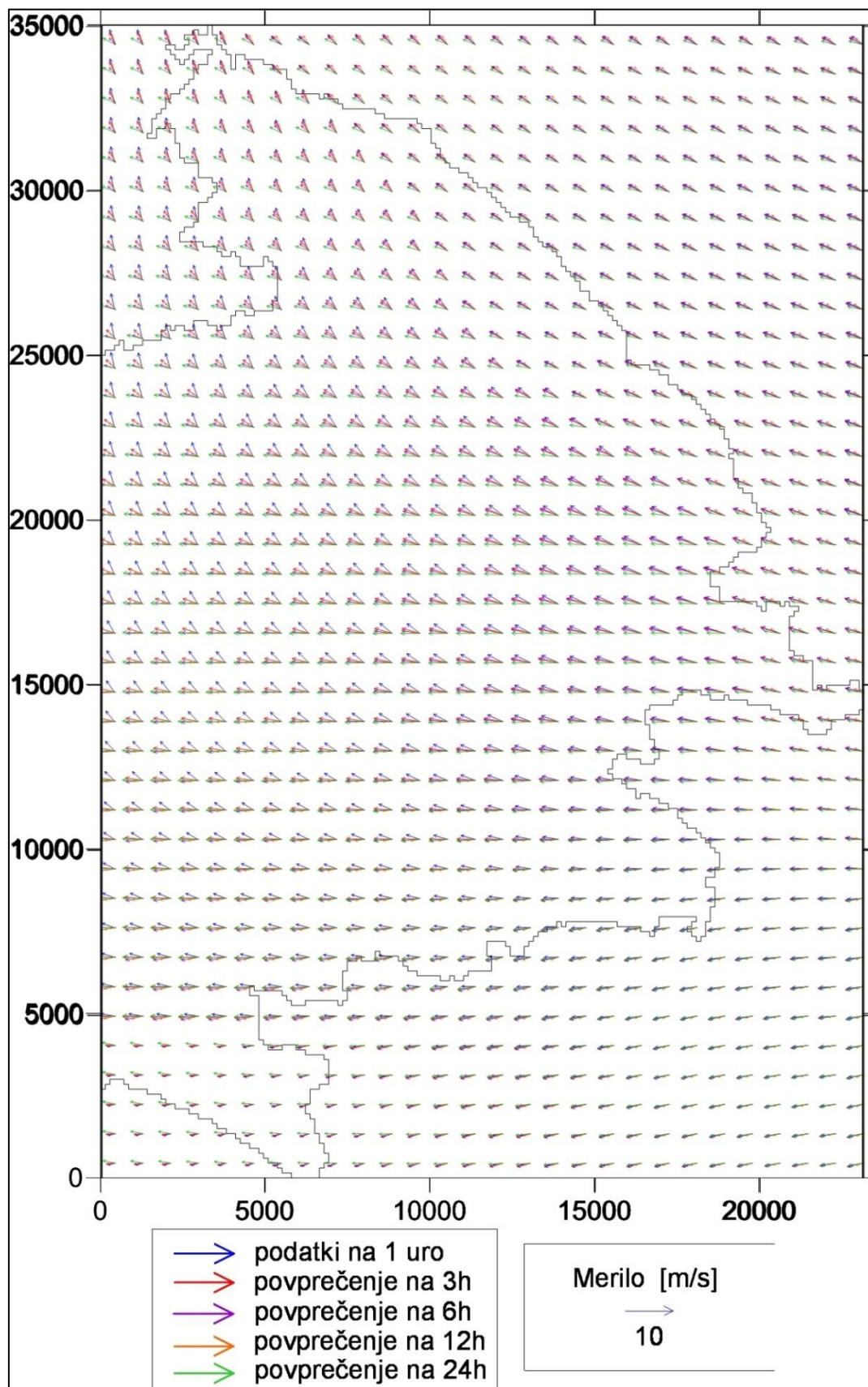
Žagar, D., Petkovšek, G., Rajar, R., Sirnik, N., Horvat, M., Voudouri, A., Kallos, G. in Četina, M. 2007. Modelling of mercury transport and transformations in the water compartment of the Mediterranean Sea. *Marine Chemistry* 107: 64-88.

Žagar, D., Rajar, R., Četina, M. in Horvat, M. 2001. Long-term 3D simulation of the transport and dispersion of mercury in the Gulf of Trieste. *Acta Hydrotechnica* 19: 25-43.

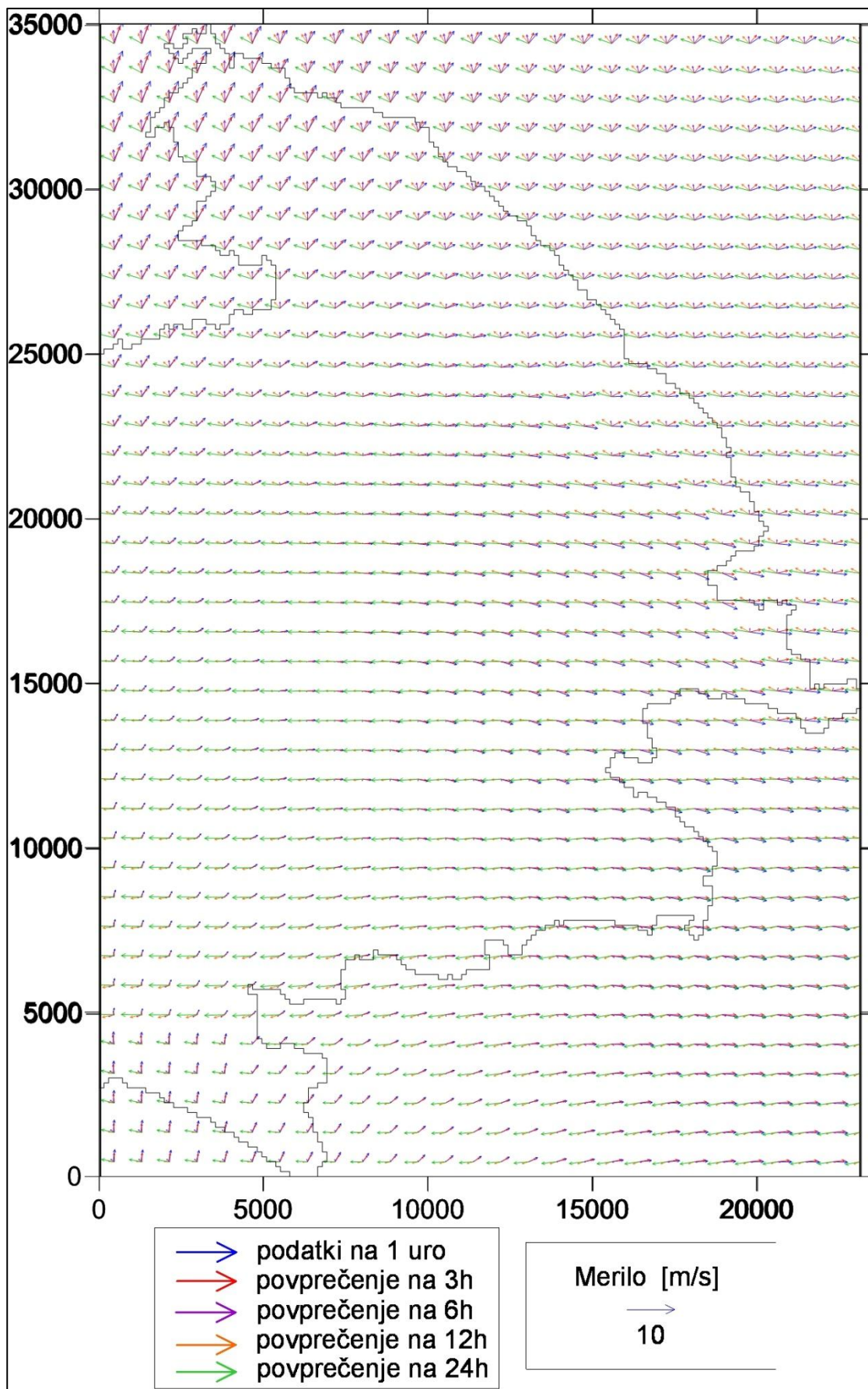
## KAZALO PRILOG

<b>PRILOGA A: SLIKE VETROVNIH POLJ .....</b>	<b>A1</b>
Slika A. 1: Vetrovno polje 6. uro.....	A1
Slika A. 2: Vetrovno polje 12. uro.....	A2
Slika A. 3: Vetrovno polje 18. uro.....	A3
Slika A. 4: Vetrovno polje 24. uro.....	A4
Slika A. 5: Vetrovno polje 30. uro.....	A5
Slika A. 6: Vetrovno polje 36. uro.....	A6
Slika A. 7: Vetrovno polje 42. uro.....	A7
Slika A. 8: Vetrovno polje 48. uro.....	A8
Slika A. 9: Vetrovno polje 54. uro.....	A9
Slika A. 10: Vetrovno polje 60. uro.....	A10
Slika A. 11: Vetrovno polje 66. uro.....	A11
Slika A. 12: Vetrovno polje 72. uro.....	A12
<b>PRILOGA B: SLIKE VETROVNIH POLJ MED 7. IN 17. URO .....</b>	<b>B1</b>
Slika B. 1: Vetrovno polje 7. uro.....	B1
Slika B. 2: Vetrovno polje 8. uro.....	B2
Slika B. 3: Vetrovno polje 9. uro.....	B3
Slika B. 4: Vetrovno polje 10. uro.....	B4
Slika B. 5: Vetrovno polje 11. uro.....	B5
Slika B. 6: Vetrovno polje 12. uro.....	B6
Slika B. 7: Vetrovno polje 13. uro.....	B7
Slika B. 8: Vetrovno polje 14. uro.....	B8
Slika B. 9: Vetrovno polje 15. uro.....	B9
Slika B. 10: Vetrovno polje 16. uro.....	B10
Slika B. 11: Vetrovno polje 17. uro.....	B11

### PRILOGA A: SLIKE VETROVNIH POLJ

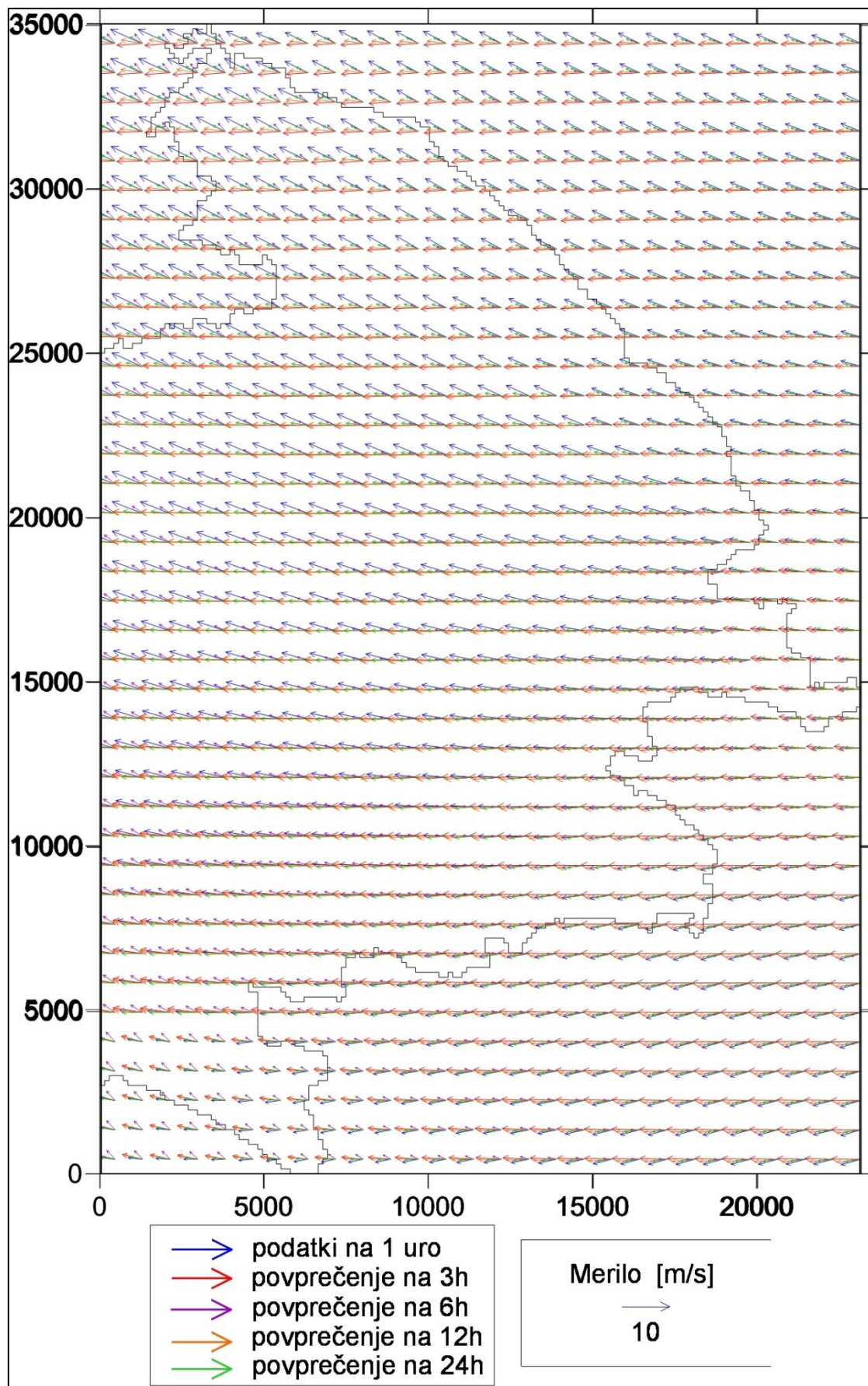


Slika A. 1: Vetrovno polje 6. uro

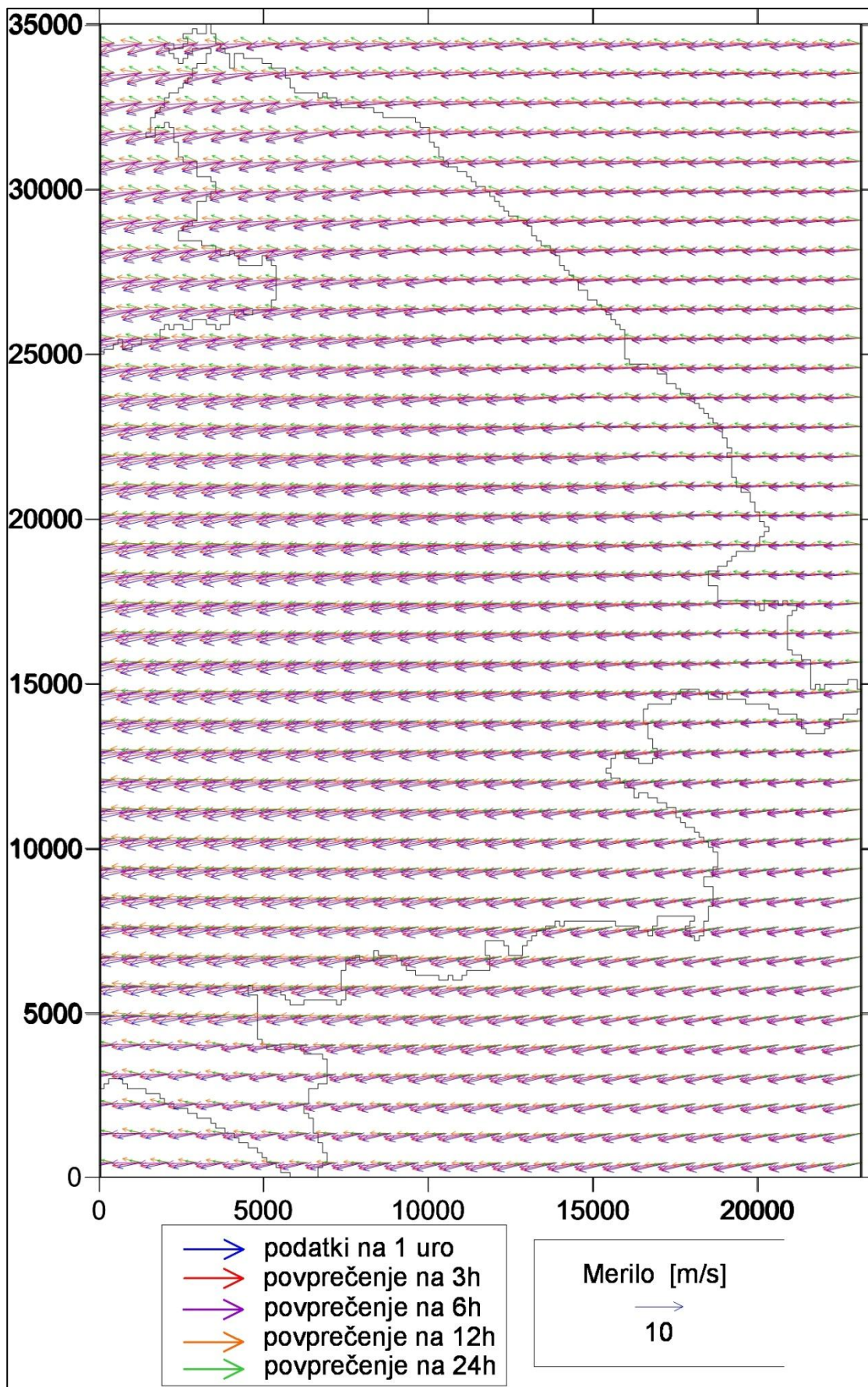


Slika A. 2: Vetrovno polje 12. uro

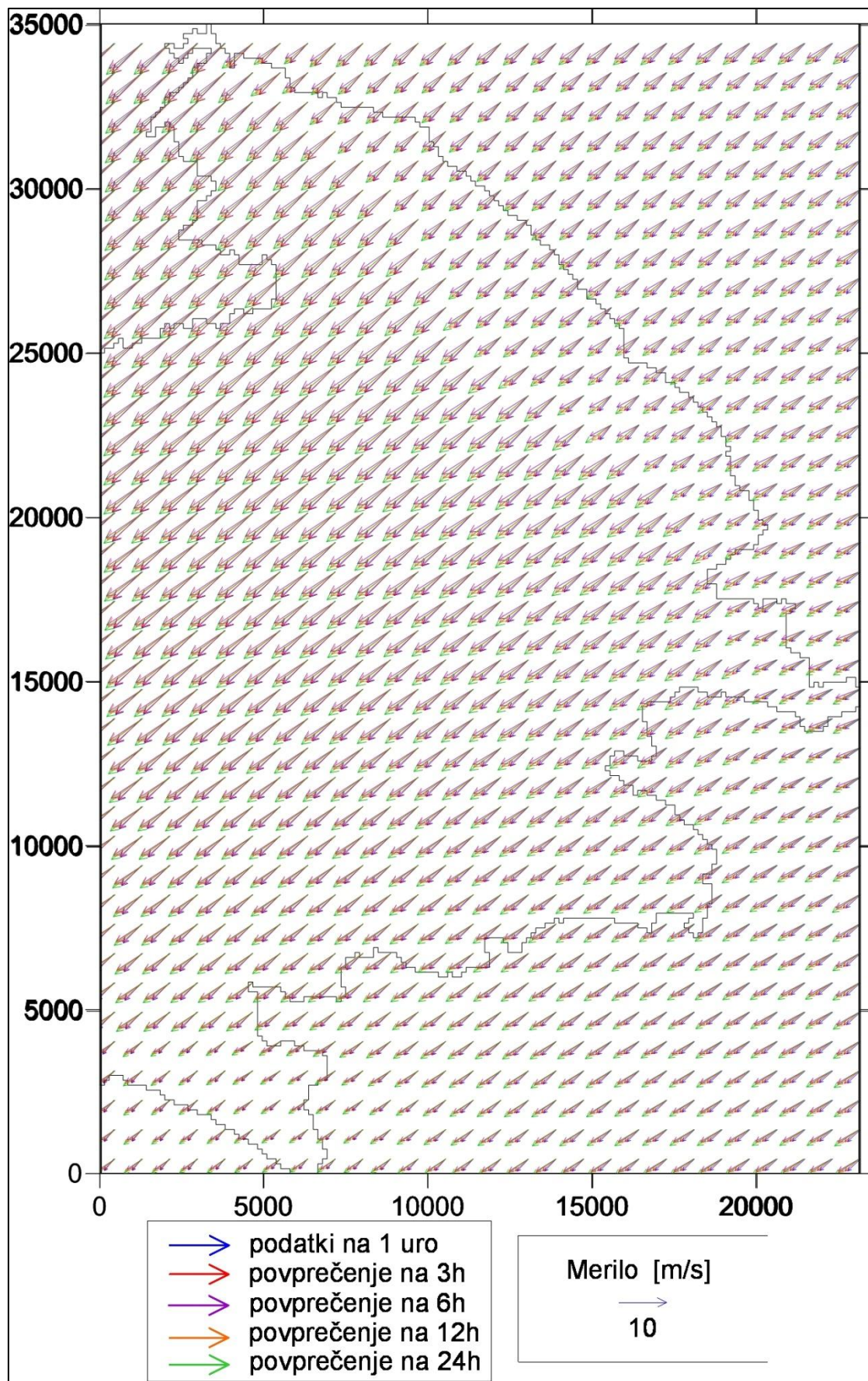




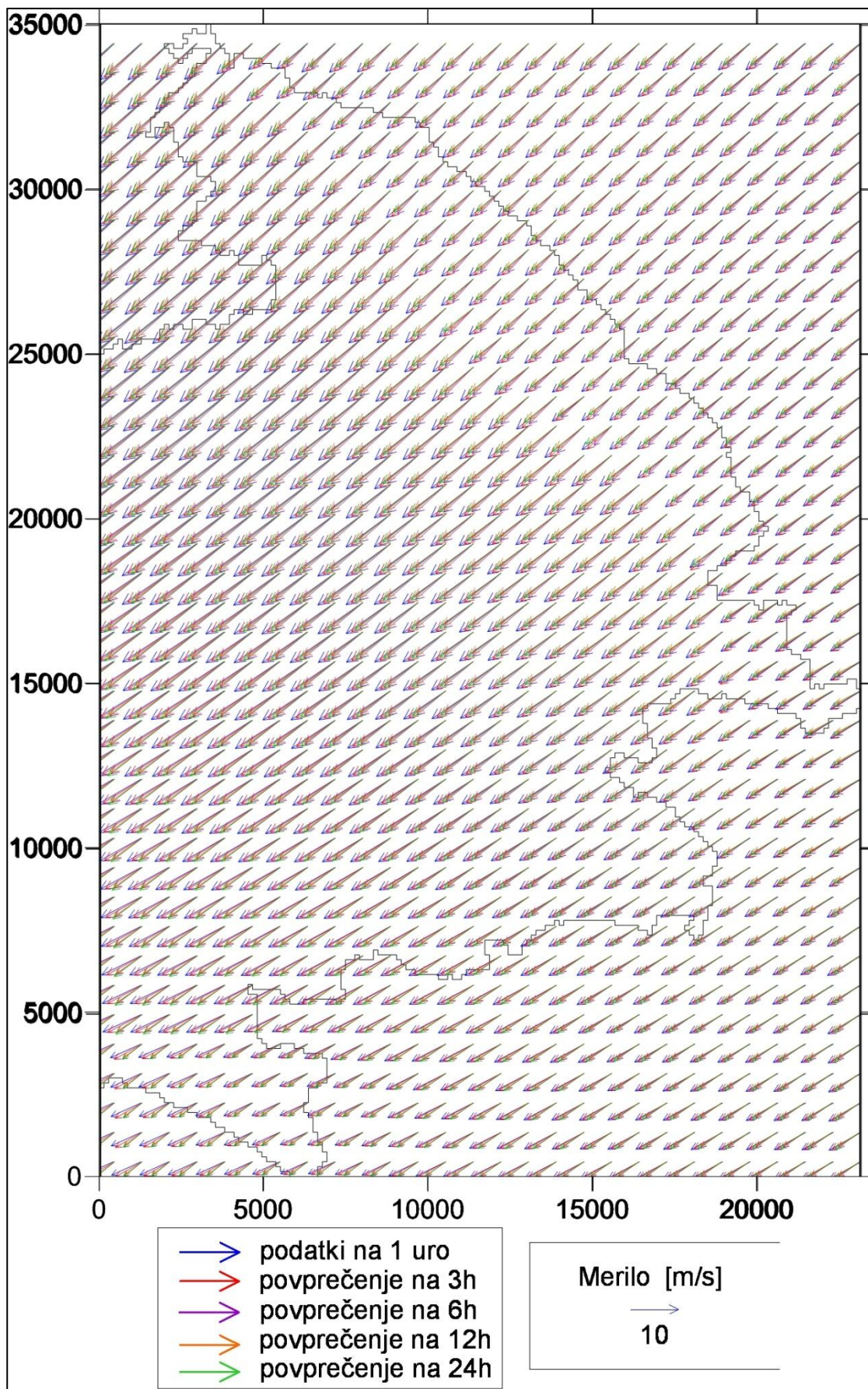
Slika A. 3: Vetrovno polje 18. uro



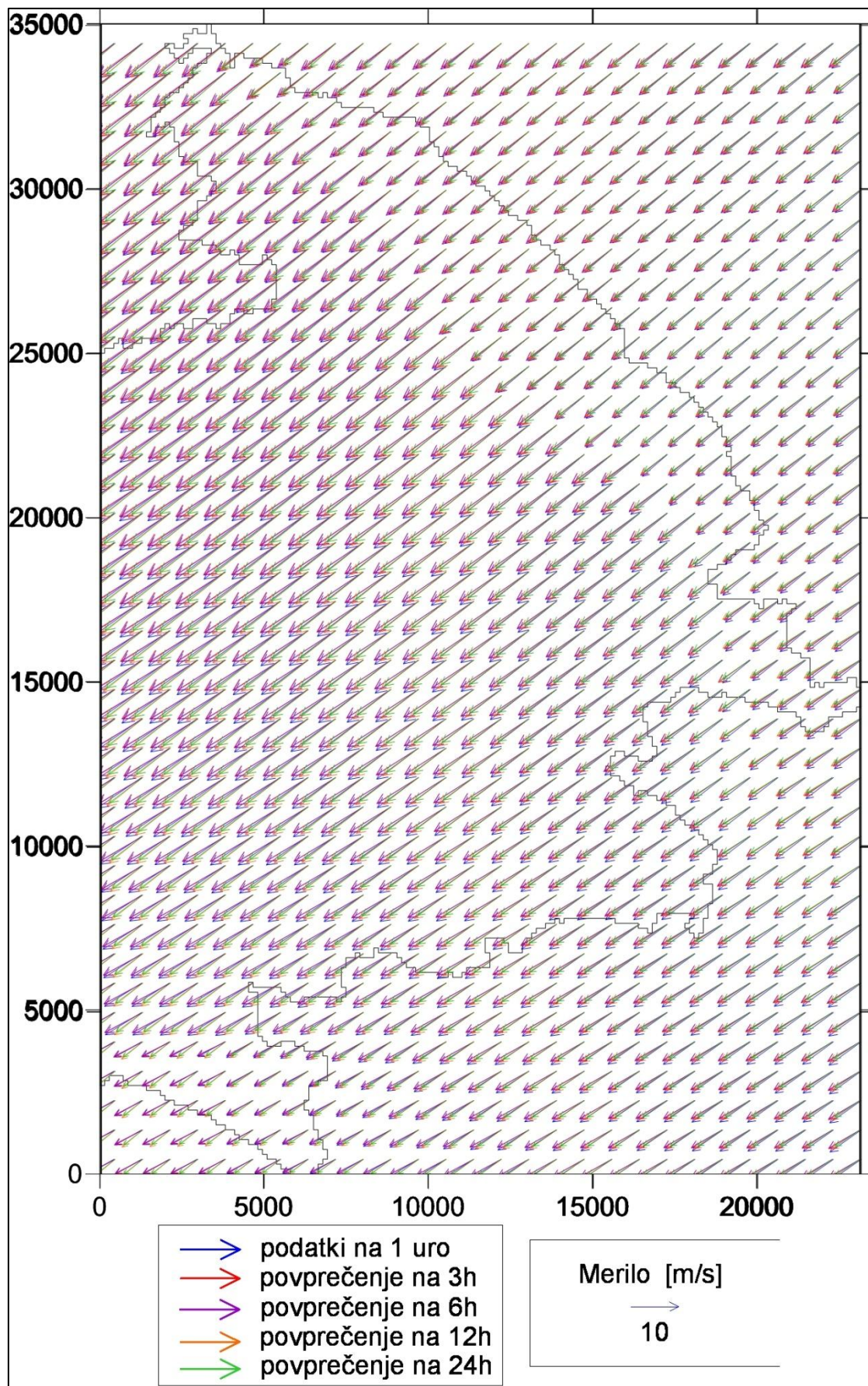
Slika A. 4: Vetrovno polje 24. uro



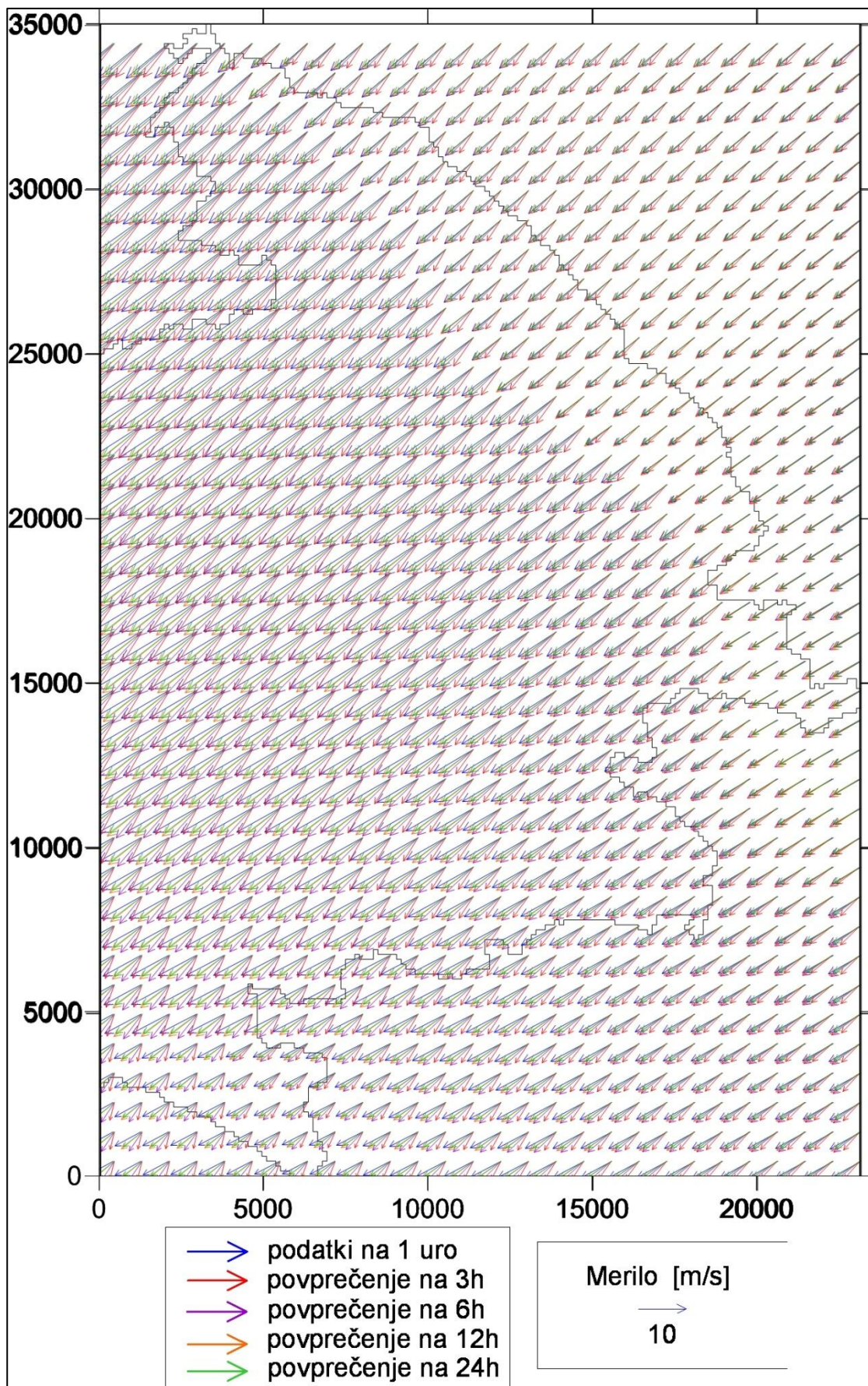
Slika A. 5: Vetrovno polje 30. uro



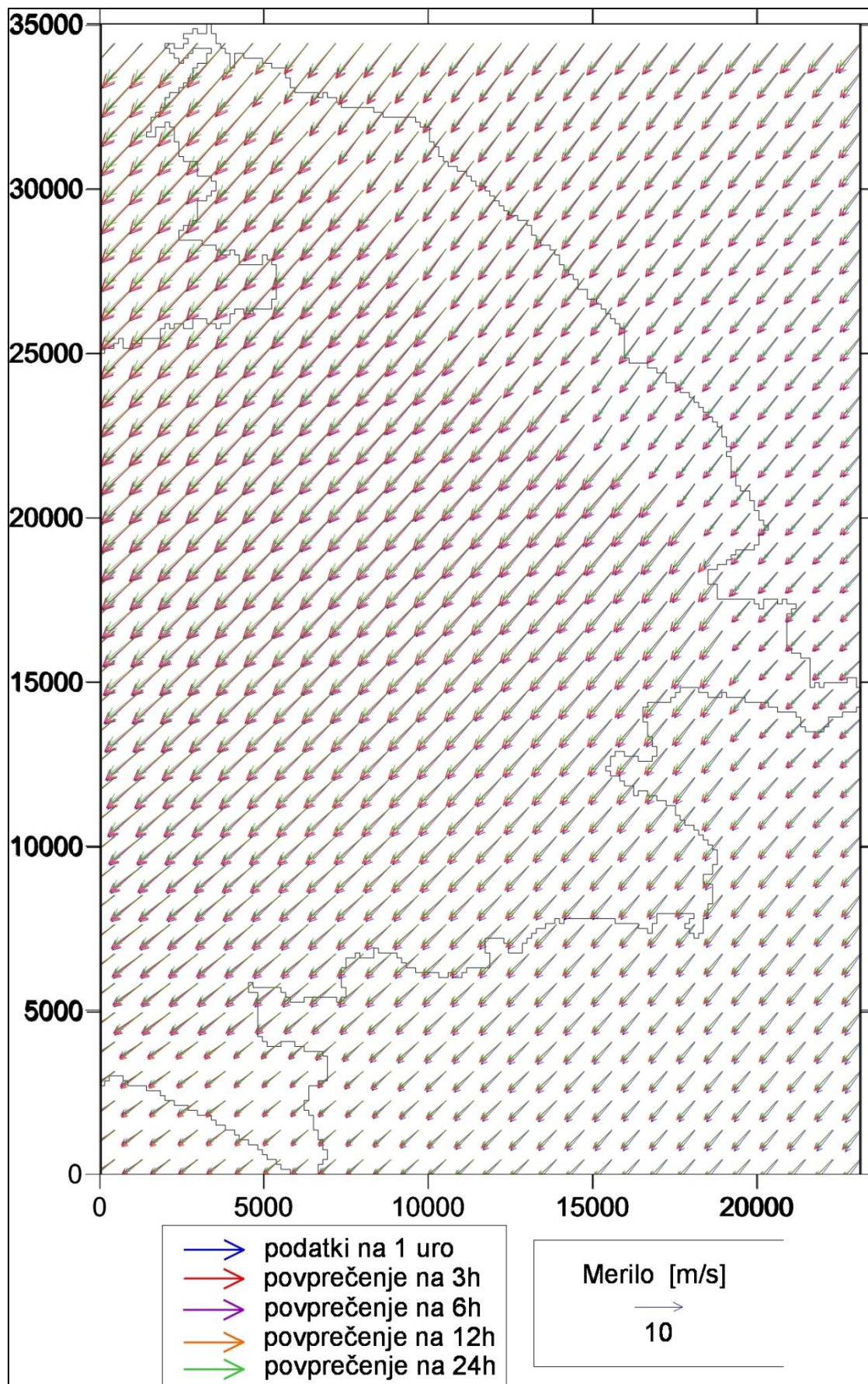
Slika A. 6: Vetrovno polje 36. uro



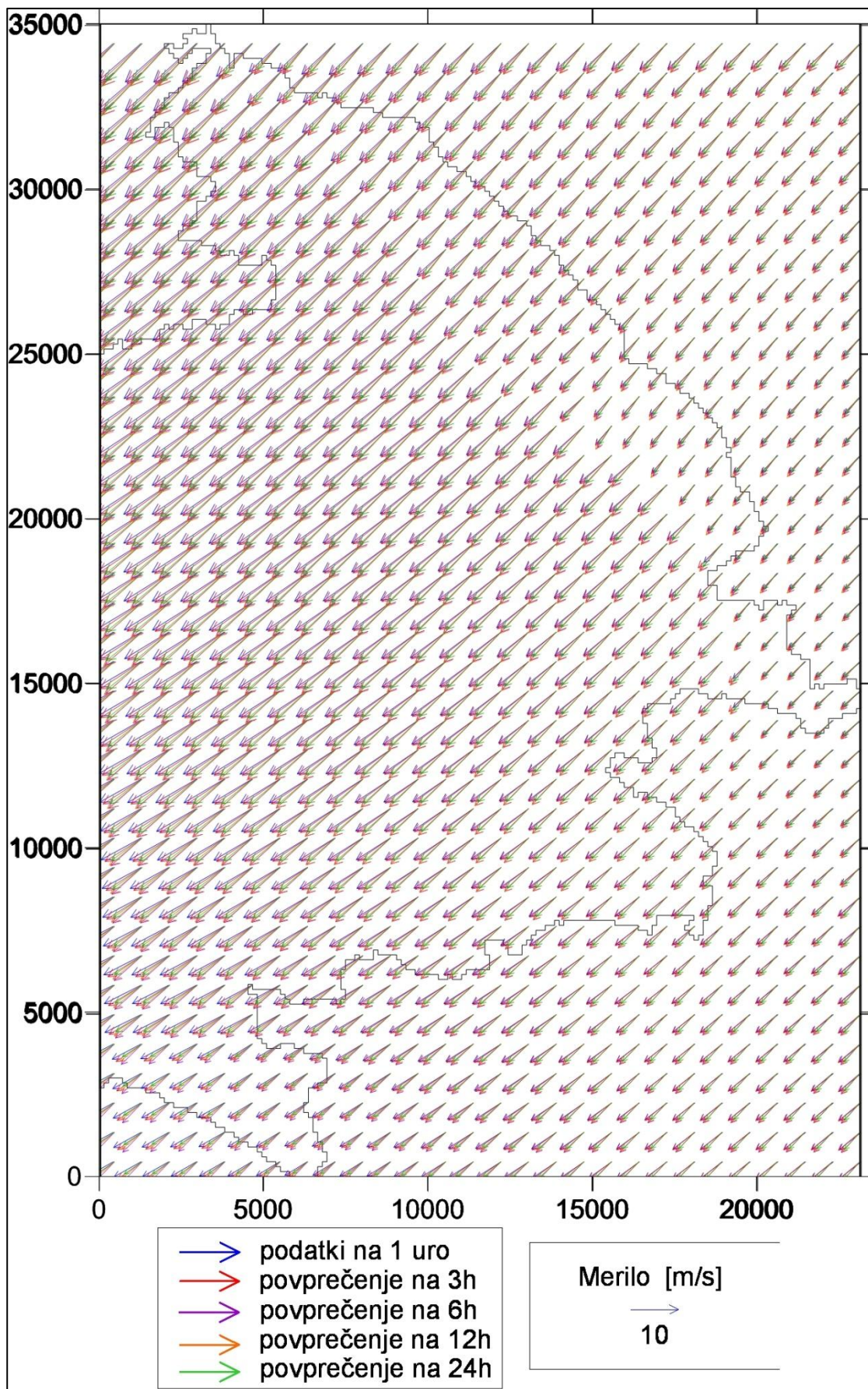
Slika A. 7: Vetrovno polje 42. uro



Slika A. 8: Vetrovno polje 48. uro

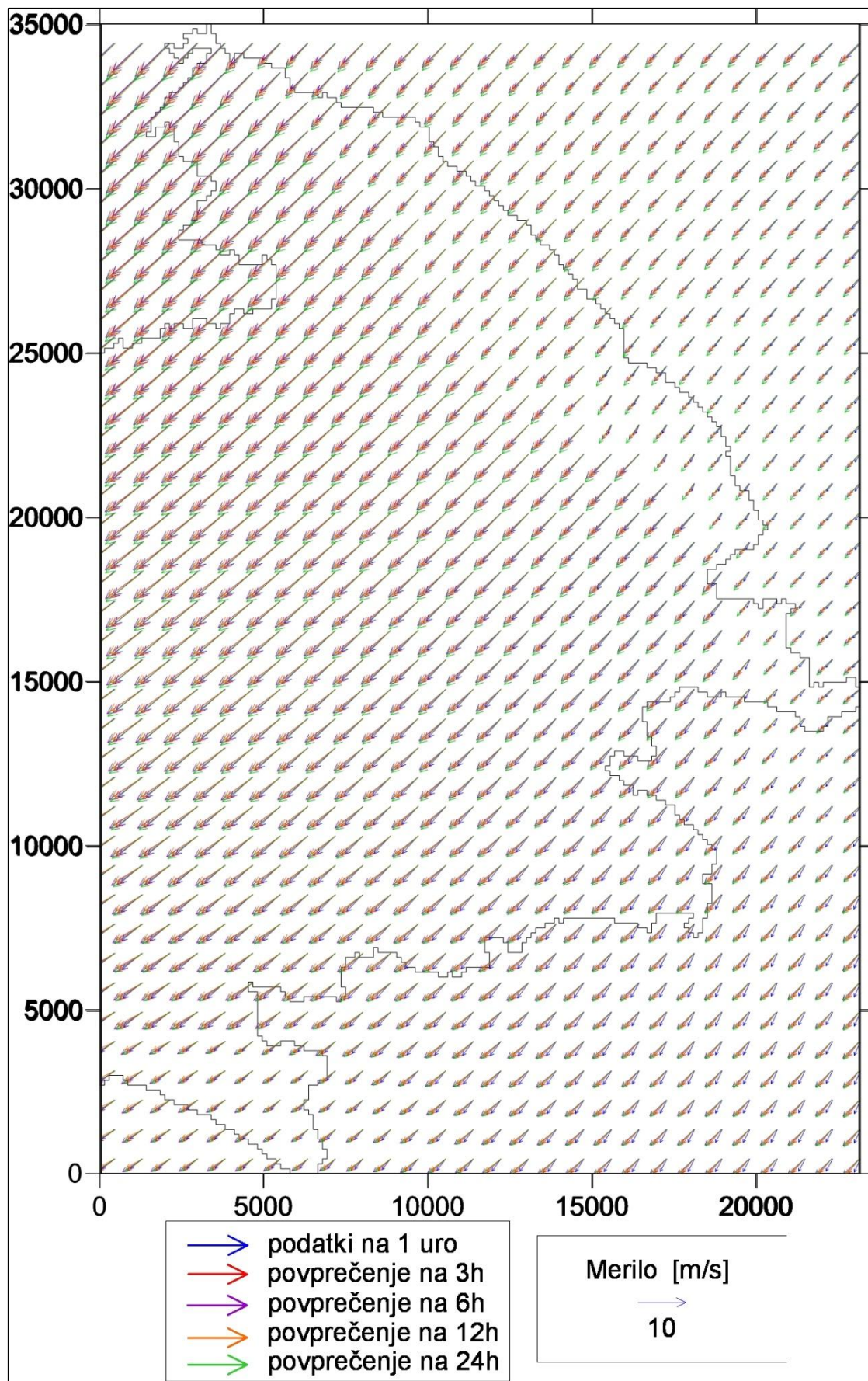


Slika A. 9: Vetrovno polje 54. uro

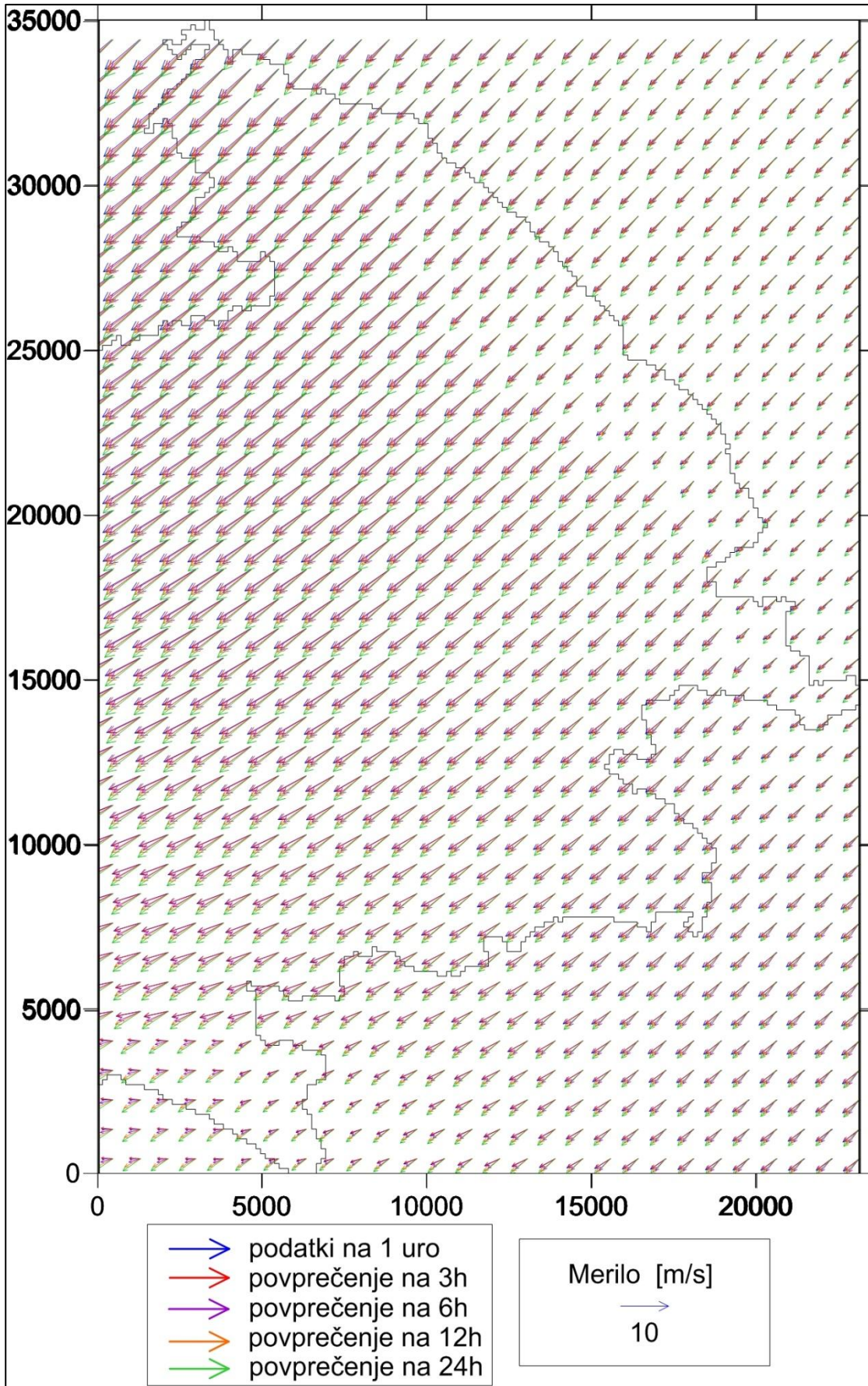


Slika A. 10: Vetrovno polje 60. uro



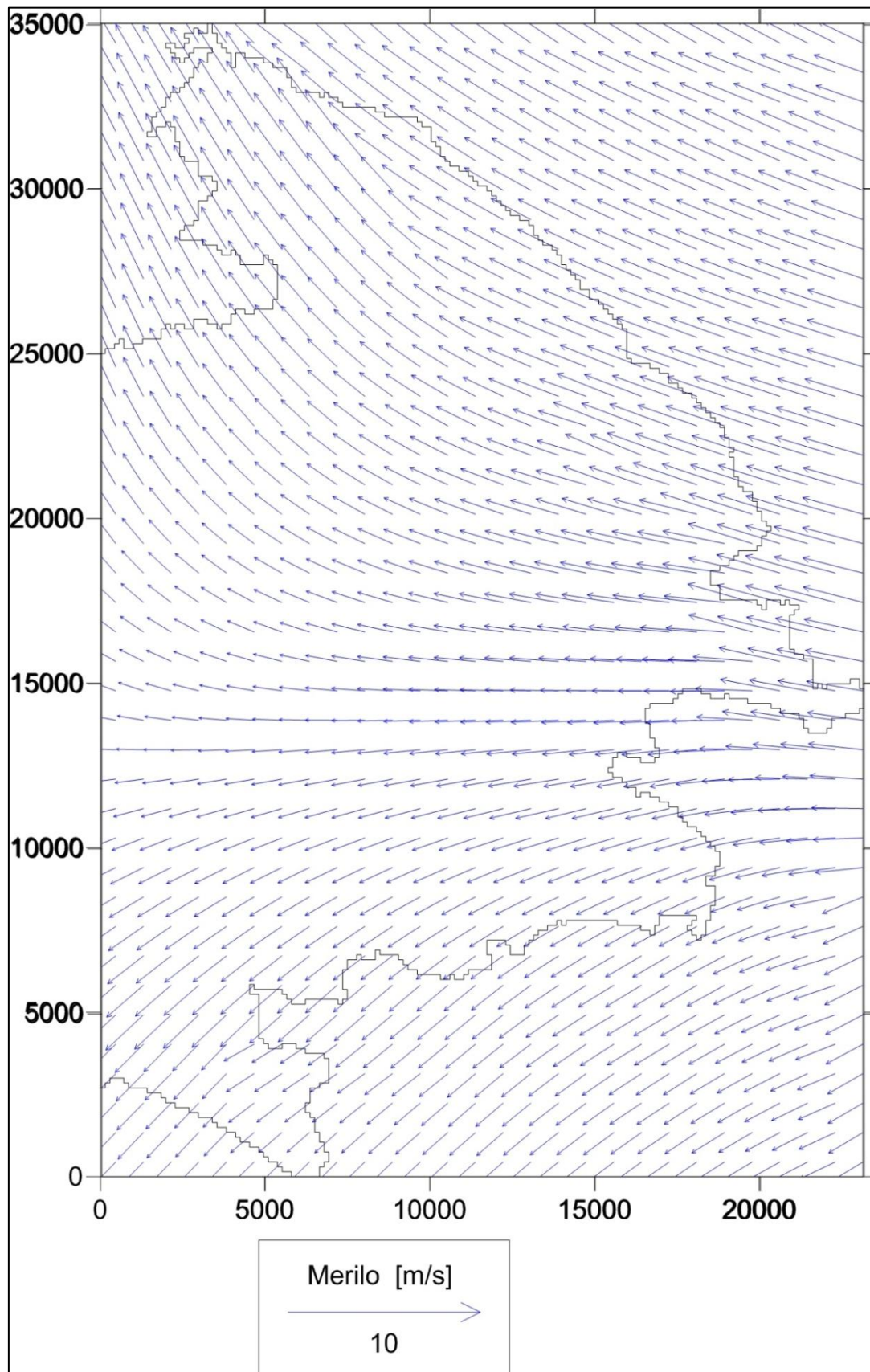


Slika A. 11: Vetrovno polje 66. uro

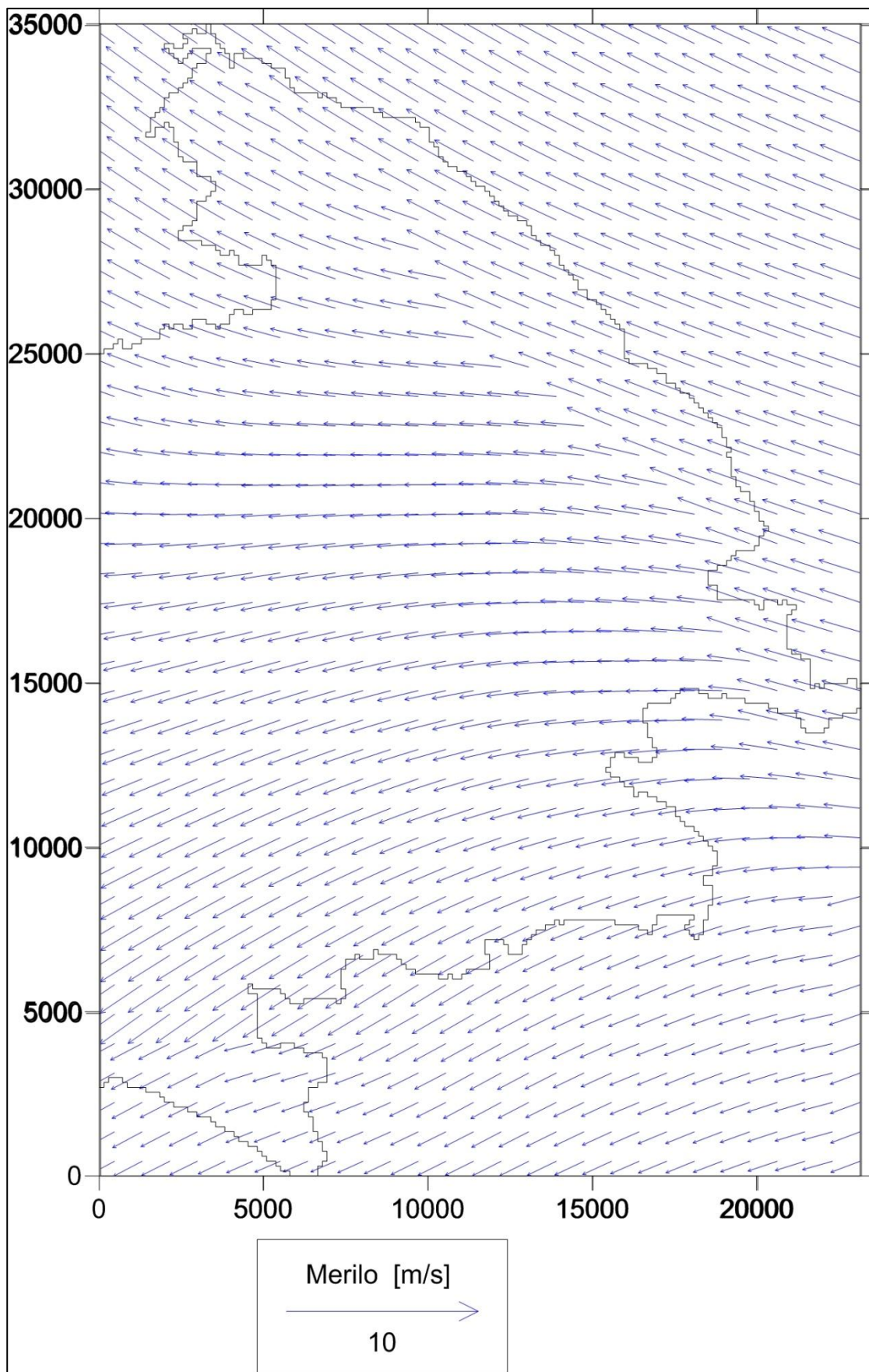


Slika A. 12: Vetrovno polje 72. uro

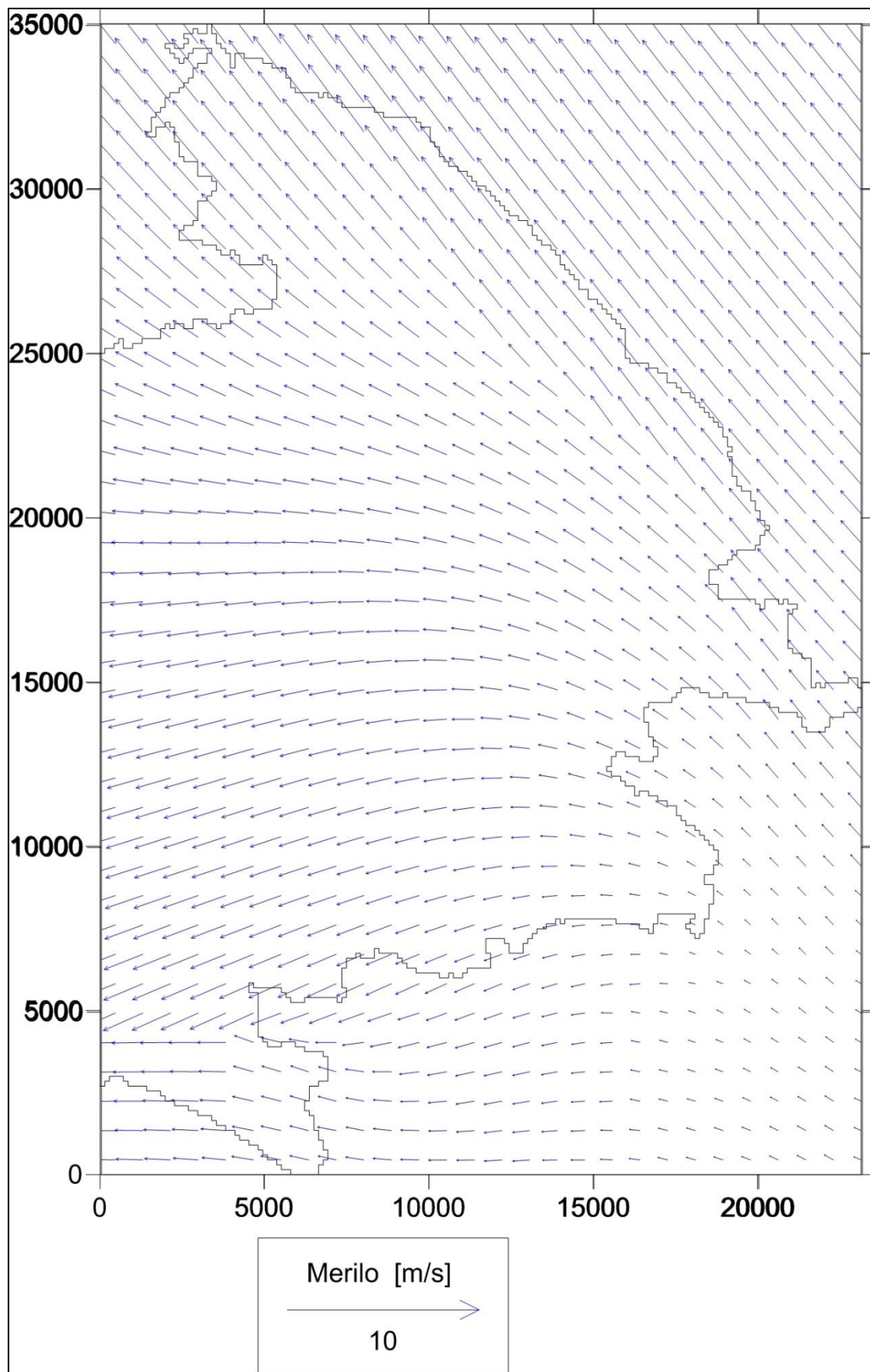
### PRILOGA B: SLIKE VETROVNIH POLJ MED 7. IN 17. URO



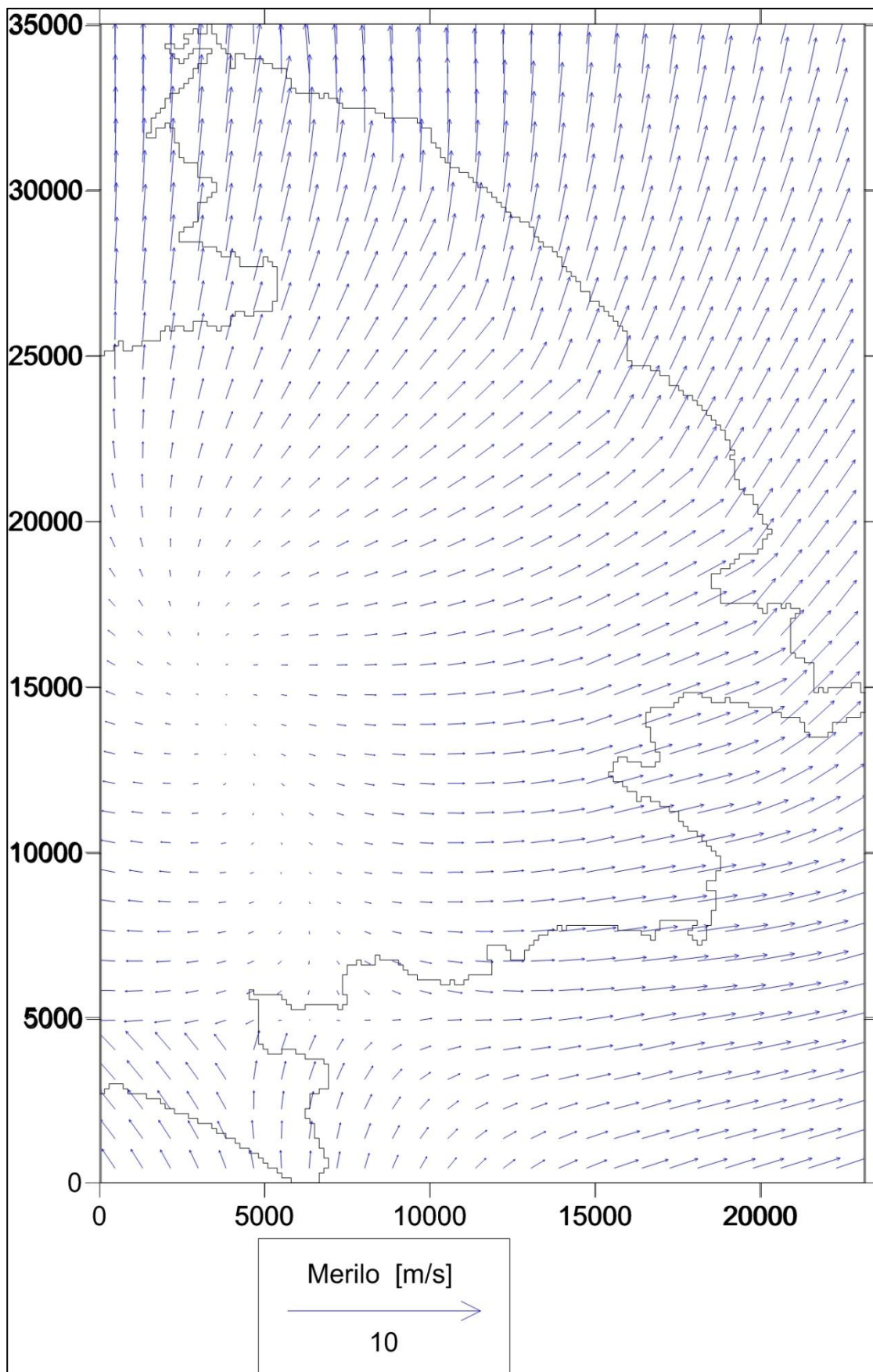
Slika B. 1: Vetrovno polje 7. uro



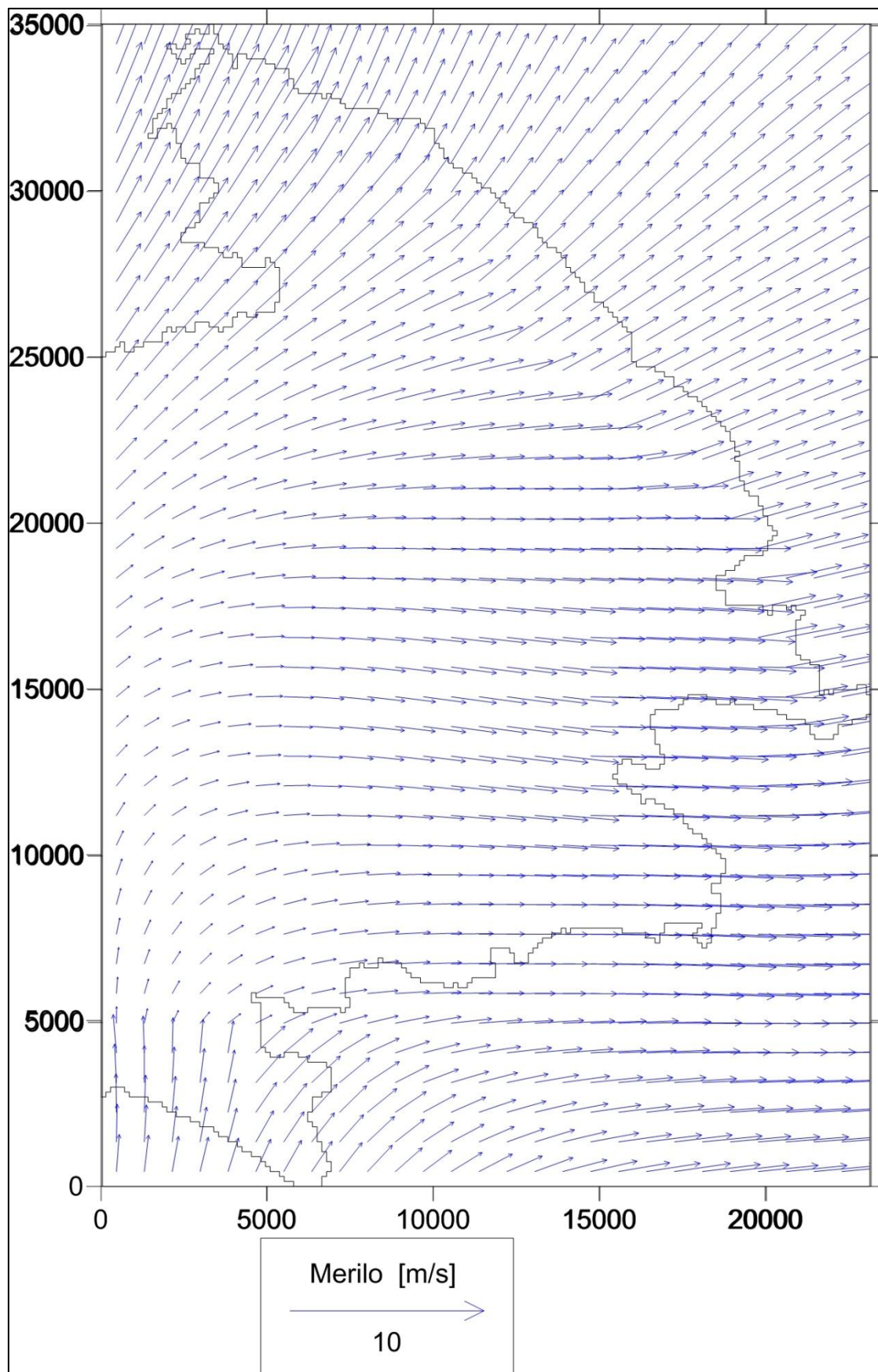
Slika B. 2: Vetrovno polje 8. uro



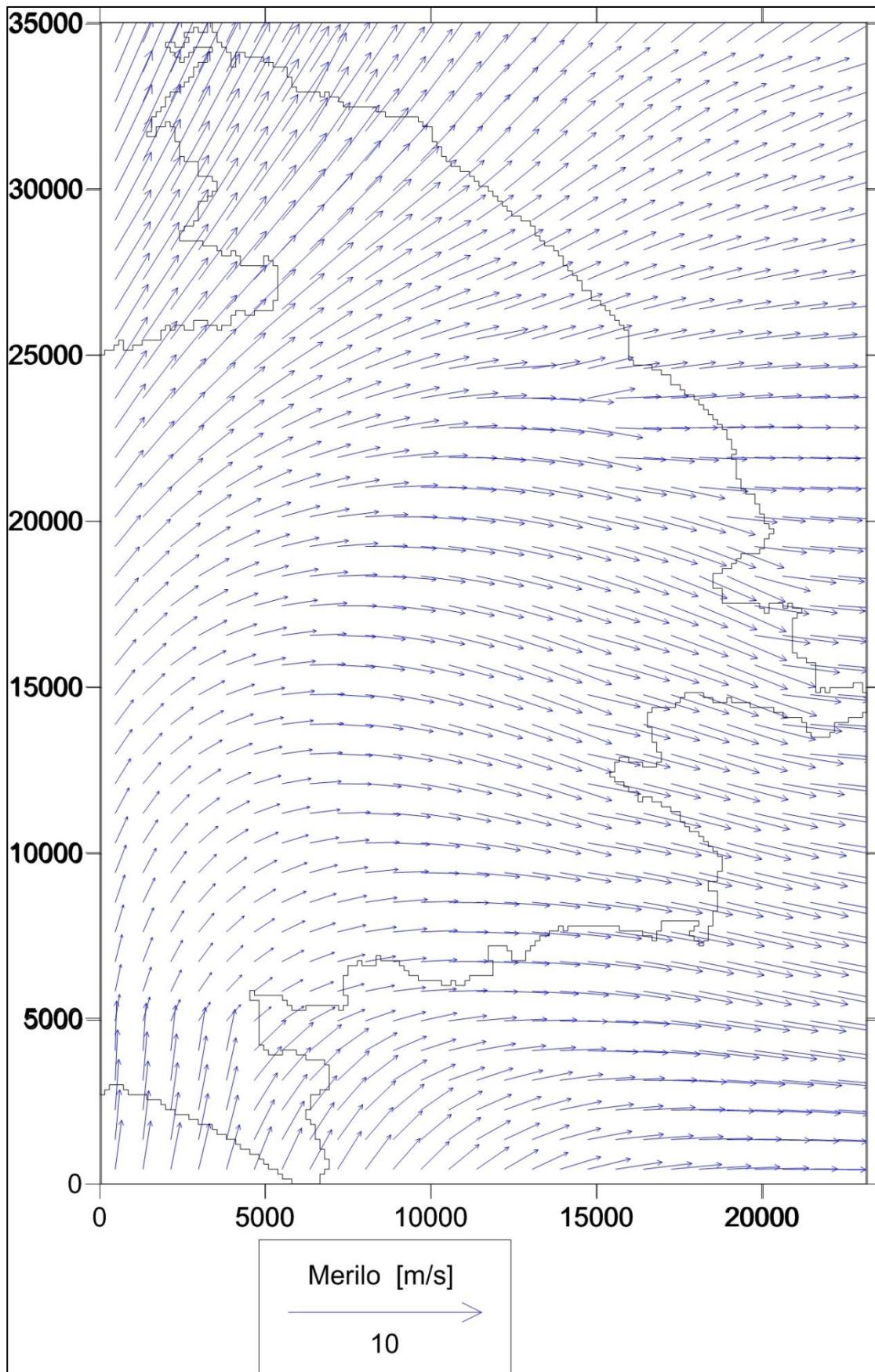
Slika B. 3: Vetrovno polje 9. uro



Slika B. 4: Vetrovno polje 10. uro

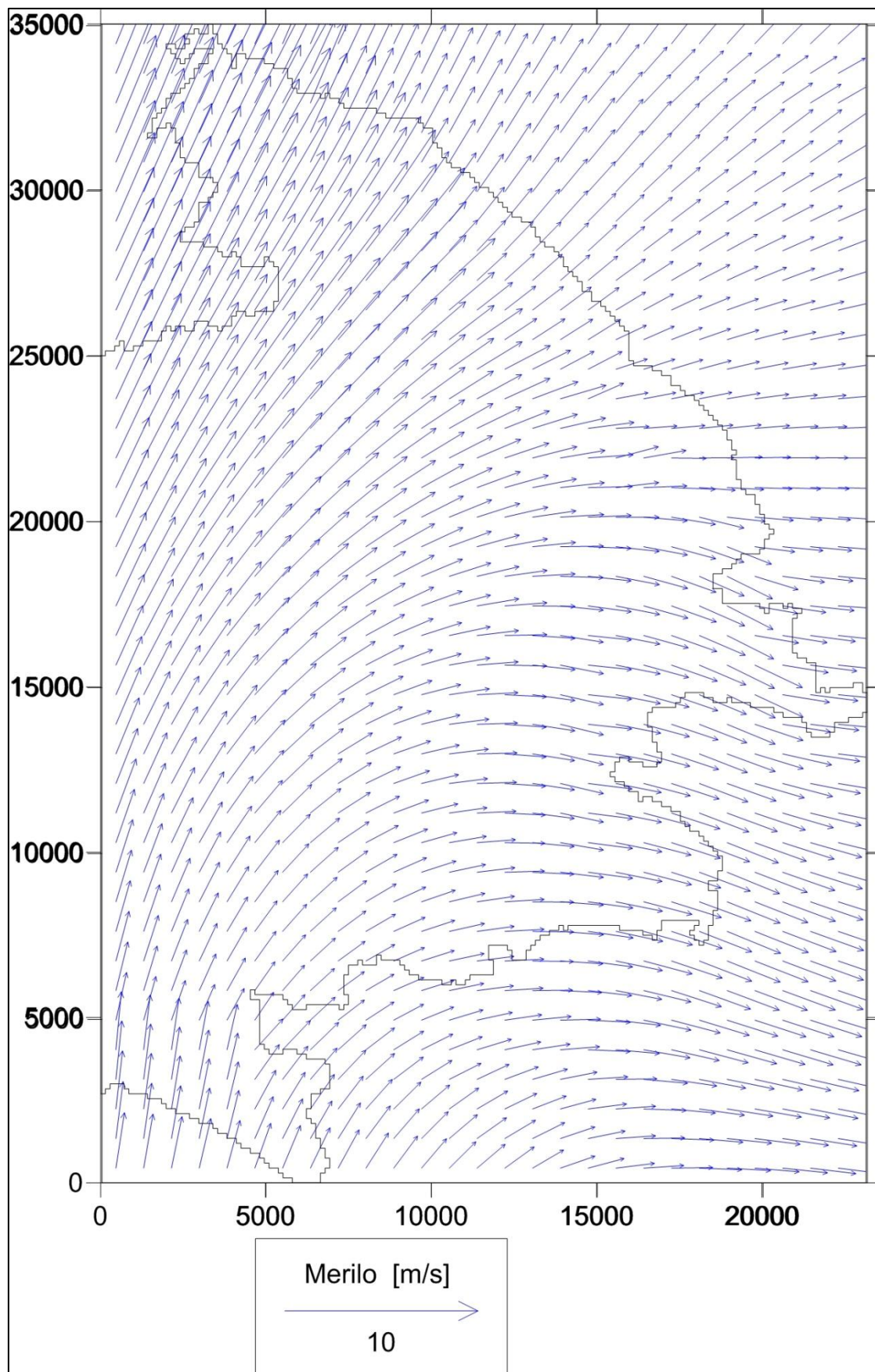


Slika B. 5: Vetrovno polje 11. uro

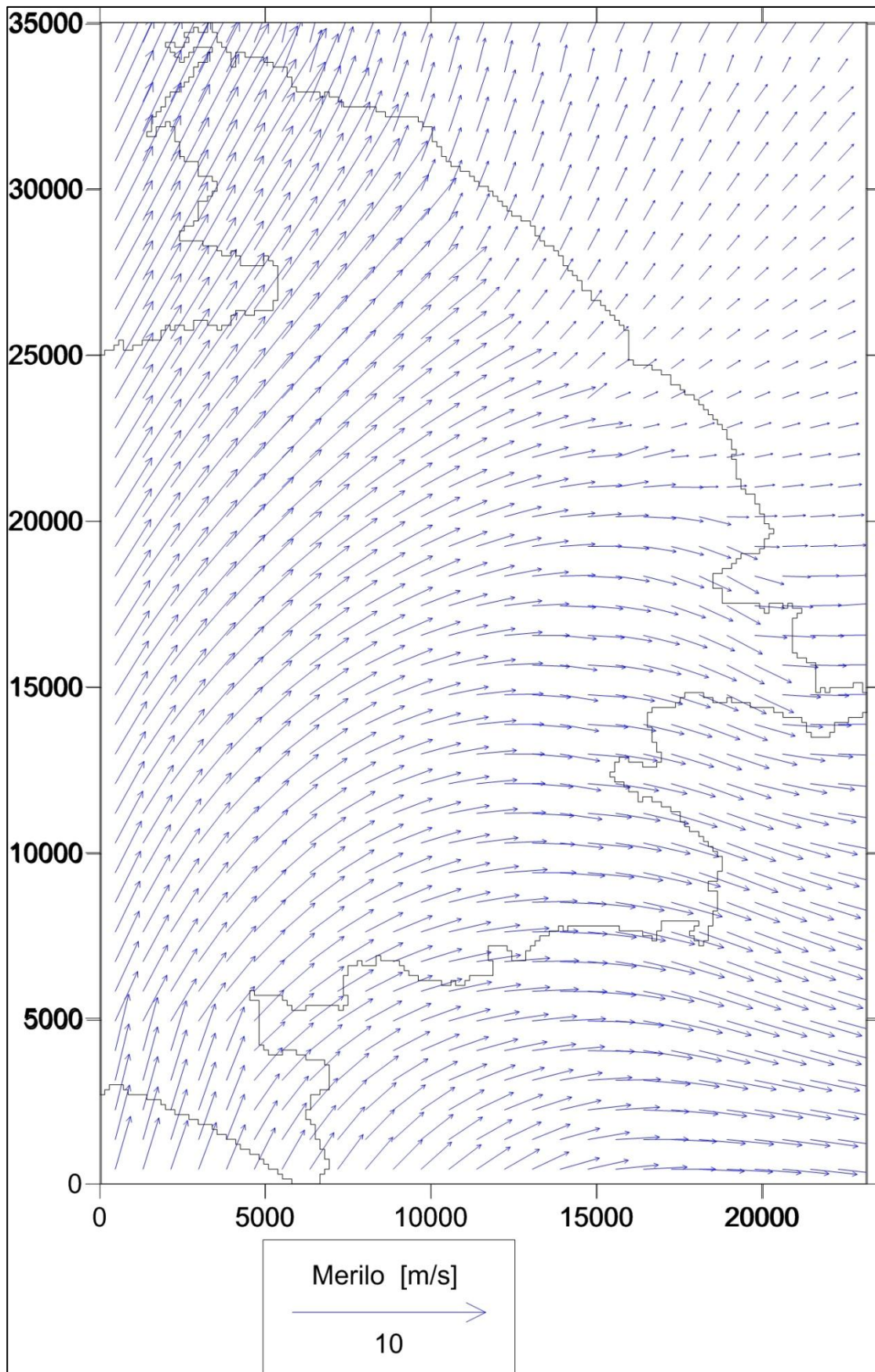


Slika B. 6: Vetrovno polje 12. uro

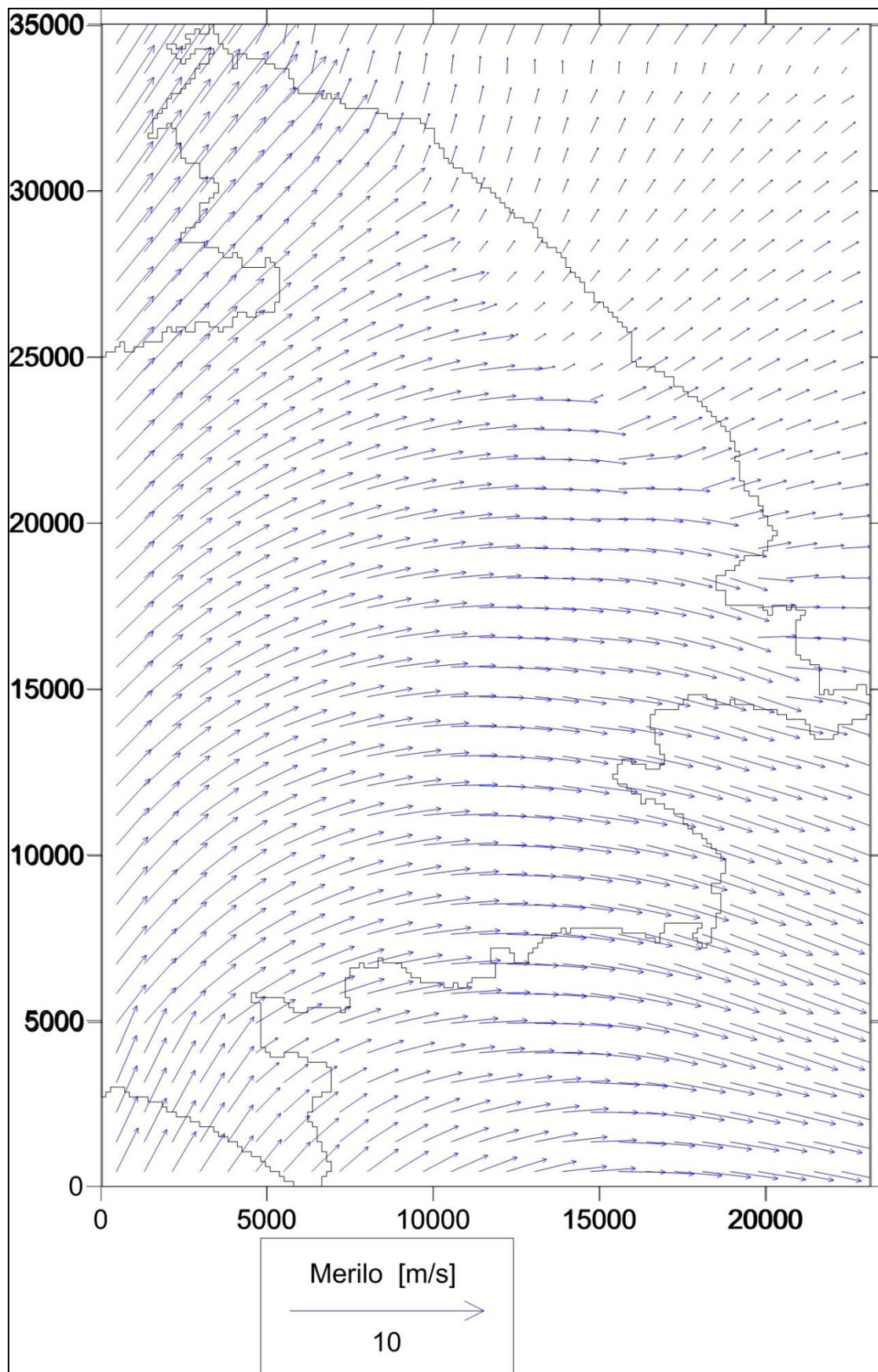




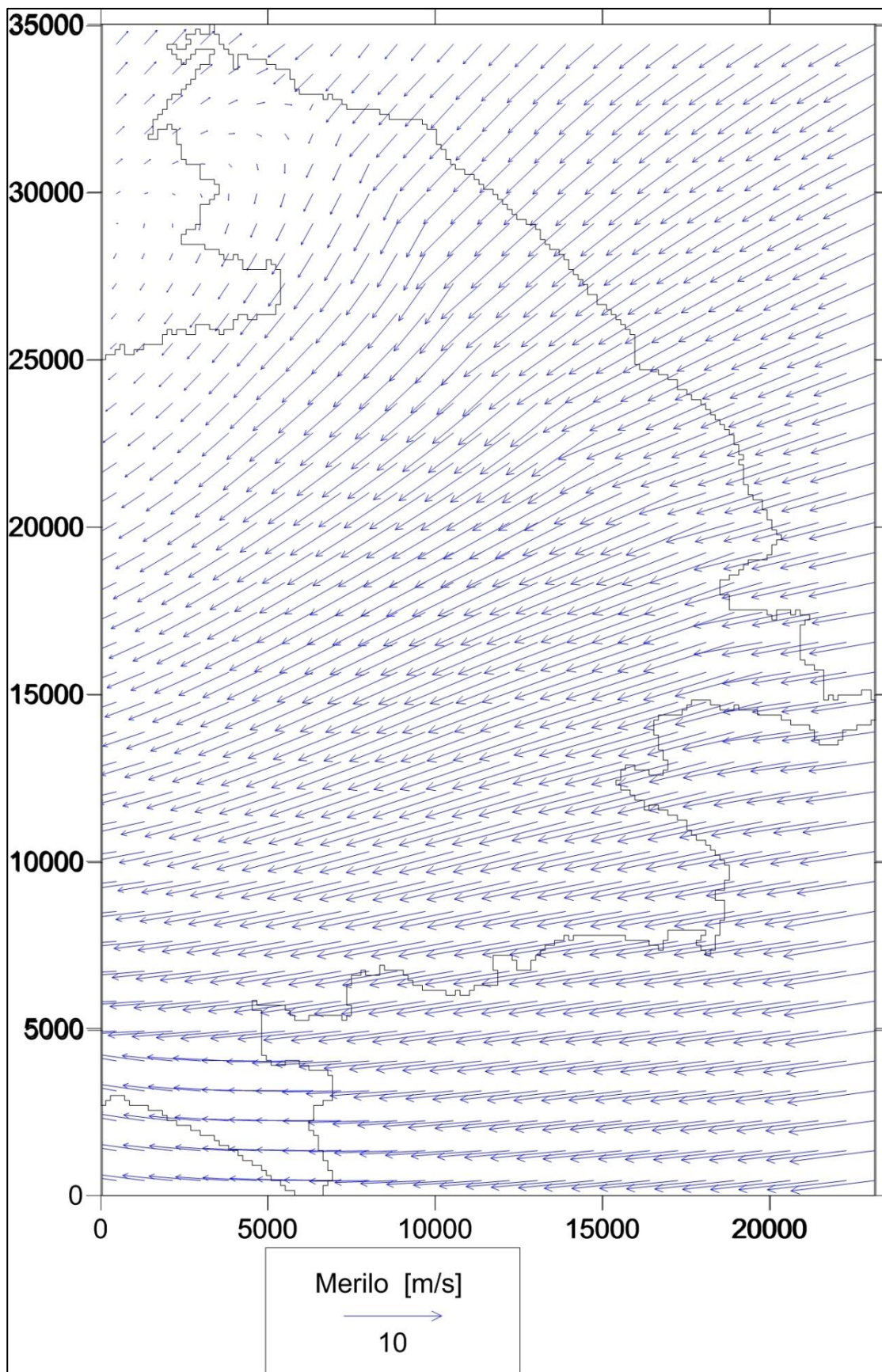
Slika B. 7: Vetrovno polje 13. uro



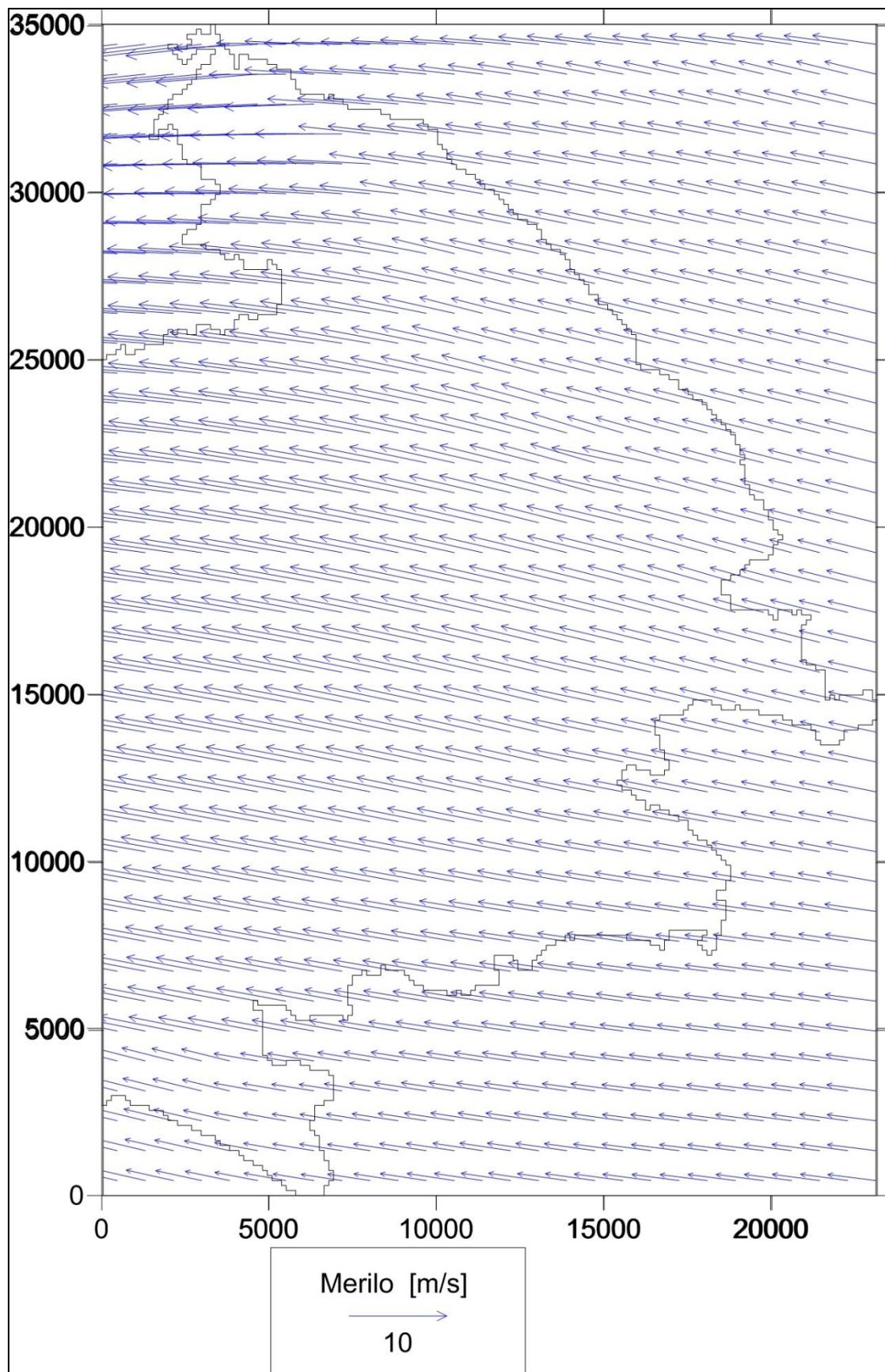
Slika B. 8: Vetrovno polje 14. uro



Slika B. 9: Vetrovno polje 15. uro



Slika B. 10: Vetrovno polje 16. uro



Slika B. 11: Vetrovno polje 17. uro