

INŠTITUT
ZA VODE
REPUBLIKE
SLOVENIJE

Institute
for Water of
the Republic
of Slovenia

*Voda za življenje, znanje za vode.
Water for Life, Knowledge for Water.*

Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2014

PROGRAMSKI SKLOP I:
STROKOVNA PODPORA MKO NA PODROČJU
SKUPNE EU POLITIKA DO VODA

PROJEKT I/2:
PRIPRAVA STROKOVNIH PODLAG ZA
IZVAJANJE POPLAVNE DIREKTIVE (2007/60/ES)

Naloga I/2/1:
Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart
razredov poplavne nevarnosti za dve območji
pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji

Nosilec naloge:
Blažo Đurović, univ. dipl. inž. grad.

Ljubljana, september 2014



PROGRAM: Program dela IzVRS za leto 2014

NASLOV NALOGE: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov
poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega
vpliva poplav v Republiki Sloveniji

ŠIFRA NALOGE: I/2/1

NAROČNIK: MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO IN OKOLJE
Dunajska c. 22
1000 Ljubljana

IZVAJALEC: INŠTITUT ZA VODE REPUBLIKE SLOVENIJE
Hajdrihova ul. 28c
1000 Ljubljana

NOSILEC NALOGE: Blažo ĐUROVIĆ, univ. dipl. inž. grad.

AVTORJI: Mitja CENTA, univ. dipl. inž. grad.
Mitja PEČEK, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.
Blažo ĐUROVIĆ, univ. dipl. inž. grad.
dr. Leon GOSAR, univ. dipl. inž. grad.
Gašper ZUPANČIČ, univ. dipl. inž. grad.

SODELAVCI: Katja SOVRE, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.
Brane KLINC, inž. grad.
Branko DAMJANOVIĆ, grad. teh.

DIREKTOR IzVRS: Igor PLESTENJAK, univ. dipl. prav.

(žig)

KRAJ IN DATUM: LJUBLJANA, september 2014



VSEBINA

KAZALO PREGLEDNIC	II
KAZALO SLIK	II
KAZALO PRILOG.....	III
1 UVOD.....	1
1.1 Izhodišča in pravna podlaga	1
1.2 Namen in vsebina	1
1.3 Cilji in pričakovani rezultati	1
2 PREGLED POPLAVNIH DOGODKOV, PLIMOVANJA IN VALOVANJA.....	3
2.1 Poplavni dogodki	3
2.2 Največje izmerjene višine plim in valov	6
3 METODA DELA	8
3.1 Izhodišča in predpostavke	8
3.2 Podatki 13	
3.2.1 Batimetrija	13
3.2.2 Plimovanje	14
3.2.3 Veter	15
3.3 Opis modela.....	17
3.4 Scenariji poplavljanja	18
3.4.1 Burja (gladine morja treh povratnih dob za tri smeri vetra)	18
3.4.2 Jugo (gladine morja treh povratnih dob za tri smeri vetra)	19
3.4.3 Tramontana (gladine morja treh povratnih dob za tri smeri vetra)	19
3.5 Umerjanje modela in robni pogoji.....	19
3.5.1 Burja iz smeri 0°	20
3.5.2 Burja iz smeri 45°	20
3.5.3 Burja iz smeri 90°	21
3.5.4 Jugo iz smeri 160°	21
3.5.5 Jugo iz smeri 180°	22
3.5.6 Jugo iz smeri 200°	22
3.5.7 Tramontana iz smeri 270°	23
3.5.8 Tramontana iz smeri 315°	23
3.5.9 Tramontana iz smeri 360°	23
4 REZULTATI	25
4.1 Rezultati modeliranja valovanja.....	25
4.2 Določitev dosega vode na terenu in analiza rezultatov	27
4.3 Izdelava kart nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti	35
4.3.1 Karte poplavne nevarnosti	35
4.3.2 Karte razredov poplavne nevarnosti	35
5 ZAKLJUČEK.....	36
6 VIRI IN LITERATURA.....	38
7 PRILOGE.....	40
8 PODATKOVNI MEDIJ	41



KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Največje zabeležene višine gladin morja (Kolega, 2005) ter pripadajoče smeri vetra	6
Preglednica 2: Največje izmerjene značilne višine valov na boji Vida od leta 2006	7
Preglednica 3: Največje izmerjene maksimalne višine valov na boji Vida od leta 2006	7
Preglednica 4: Višine gladin morja za izbrane povratne dobe (ARSO, 2014)	15
Preglednica 5: Hitrosti vetra (burja) za izbrane povratne dobe na postaji Koper – Luka	16
Preglednica 6: Hitrosti vetra (jugo) za izbrane povratne dobe na postaji Portorož – Letališče	16
Preglednica 7: Hitrosti vetra (tramontana) za izbrane povratne dobe na postaji Portorož – Letališče	16
Preglednica 8: Maksimalne vrednosti območja Izola	28
Preglednica 9: Maksimalne vrednosti območja Piran	28

KAZALO SLIK

Slika 1: OPVP 41 – Izola (vir: www.mko.gov.si)	2
Slika 2: OPVP 42 – Piran (vir: www.mko.gov.si)	2
Slika 3: Prikaz višine in amplitude vala na idealiziranem valu	9
Slika 4: Prikaz značilne višine valov na grafu višin vseh opazovanih valov v določenem časovnem intervalu (vir: http://www.erh.noaa.gov/box/sigWaveHeightDesc.html)	9
Slika 5: Roža vetrov za obdobje meritev od 20. 6. 2008 do 9. 2. 2011 (36 smeri) (vir: Hladnik in Malačič, 2011)	11
Slika 6: Primer batimetrije z globinami (m) za burjo, ki piha iz smeri 0° glede na sever	13
Slika 7: Primer batimetrije z globinami (m) za tramontano, ki piha iz smeri 270° glede na sever	14
Slika 8: Prikaz izračunov modela – ovojnice G_{10}	26
Slika 9: Prikaz izračunov modela – ovojnice G_{100}	26
Slika 10: Prikaz izračunov modela: ovojnice G_{500}	27
Slika 11: Rezultat modela MIKE 21 (Piran G_{10} , G_{100} in G_{500})	29
Slika 12: Rezultat modela MIKE 21 (Izola G_{10} , G_{100} in G_{500})	29
Slika 13: Shema gladine G_{10} za Piran	29
Slika 14: Shema gladine G_{100} za Piran	30
Slika 15: Shema gladine G_{500} za Piran	30
Slika 16: Shema gladine G_{10} za Izolo	30
Slika 17: Shema gladine G_{100} za Izolo	31
Slika 18: Shema gladine G_{500} za Izolo	31
Slika 19: Zabeležene poplave leta 1969 za Izolo in Piran (Kolega, 2005)	32
Slika 20: Poplave 4. november 1966 (Kolega, 2005)	32
Slika 21: Karta vsakoletnih in ekstremnih poplav plime – Izola (Kolega, 2005)	33
Slika 22: Karta vsakoletnih in ekstremnih poplav plime – Piran (Kolega, 2005)	34



KAZALO PRILOG

- PRILOGA 1: Višina značilnih valov (m) pri burji iz smeri 0°
- PRILOGA 2: Višina značilnih valov (m) pri burji iz smeri 45°
- PRILOGA 3: Višina značilnih valov (m) pri burji iz smeri 90°
- PRILOGA 4: Višina značilnih valov (m) pri jugu iz smeri 160°
- PRILOGA 5: Višina značilnih valov (m) pri jugu iz smeri 180°
- PRILOGA 6: Višina značilnih valov (m) pri jugu iz smeri 200°
- PRILOGA 7: Višina značilnih valov (m) pri tramontani iz smeri 270°
- PRILOGA 8: Višina značilnih valov (m) pri tramontani iz smeri 315°
- PRILOGA 9: Višina značilnih valov (m) pri tramontani iz smeri 360°
- PRILOGA 10: Pregledna situacija; M 1:5000
- PRILOGA 11: Situacija KPN – dosegi poplavnih linij G_{10} , G_{100} in G_{500} ; M 1:2500
- PRILOGA 12: Situacija KPN – globine pri G_{10} ; M 1:2500
- PRILOGA 13: Situacija KPN – globine pri G_{100} ; M 1:2500
- PRILOGA 14: Situacija KPN – globine pri G_{500} ; M 1:2500
- PRILOGA 15: Situacija KRPN – razredi poplavne nevarnosti; M 1:2500



1 UVOD

1.1 Izhodišča in pravna podlaga

Na podlagi Uredbe o vsebini in načinu priprave podrobnejšega načrta zmanjševanja ogroženosti pred poplavami (Ur. l. RS, št. 7/2010), ki določa način, vsebino in časovnico priprave kart poplavne nevarnosti in ogroženosti (11., 12. in 13. člen), mora ministrstvo zagotoviti pripravo kart v najustreznejšem merilu za območja pomembne poplavne ogroženosti v skladu s predpisom o metodologiji za določanje poplavnih območij na ravni vodnih območij po predpisih o vodah. Ministrstvo mora karte zagotoviti do 22. decembra 2013 in jih dati na razpolago Evropski komisiji najkasneje tri mesece po izdelavi.

1.2 Namen in vsebina

Karte poplavne nevarnosti zajemajo geografska območja, na katerih lahko pride do naslednjih vrst poplav:

- poplav z majhno verjetnostjo nastanka oziroma poplav kot posledice izrednih dogodkov,
- poplav s srednjo verjetnostjo nastanka, kar pomeni z 1% verjetnostjo nastanka,
- poplav z veliko verjetnostjo nastanka, kjer je to primerno.

Za vsako vrsto poplav iz prejšnjega odstavka je treba prikazati naslednje podatke:

- obseg poplav,
- globino vode ali višino gladine vode, kar je ustrezno,
- hitrost toka ali ustrezni pretok vode, kjer je to primerno.

Priprava kart poplavne nevarnosti na obalnih območjih, na katerih je vzpostavljena ustrezna stopnja zaščite, ali območjih, kjer je vzrok za poplavo podzemna voda, se omeji na vrsto poplave iz prve alineje drugega odstavka tega člena.

1.3 Cilji in pričakovani rezultati

V letu 2014 bo inštitut izdelal karte poplavne nevarnosti in karte razredov poplavne nevarnosti za območji pomembnega vpliva poplav Izola in Piran (analiza nevarnosti poplavljanja morja).



Naloga I/2/1: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji
Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 2014



Slika 1: OPVP 41 – Izola (vir: www.mko.gov.si)



Slika 2: OPVP 42 – Piran (vir: www.mko.gov.si)

Pričakovani rezultati:

- poročilo o modeliranju valovanja,
- karte poplavne nevarnosti, karte razredov poplavne nevarnosti in pripadajoči vektorski podatkovni sloji v *.shp formatu.



2 PREGLED POPLAVNIH DOGODKOV, PLIMOVANJA IN VALOVANJA

2.1 Poplavni dogodki

Poglavitni vzrok poplav na slovenski obali je kombinacija treh dejavnikov: visoka plima ob jesenski ali spomladanski polni luni, nizek zračni pritisk in razmeroma močan jugo, ki povzroča precej visoke valove. Ob zmernih južnih vetrovih se morska gladina lahko dvigne za 25 cm, pri zelo močnem jugu jeseni in v prvi polovici zime pa tudi do pol metra (Komac in sod., 2008). Izjema pa je bila poplava leta 2003, ko je namesto juga pihala tramontana (Robič, 2004).

Leta 1958 so v Kopru postavili mareografsko postajo in začeli sistematično meriti gladino morja, vendar pa so podatki meritev razpoložljivi šele od leta 1963 dalje. Pred letom 1963 je omenjena le poplava leta 1343, kasneje omenjene pa so povezane z visoko vodo v porečju Dragonje in niso relevantne za izdelavo naloge. Navedeni poplavni dogodki na slovenski obali pred letom 1963 do leta 2003, v katerih je bila gladina morja 3 m (v državnem višinskem koordinatnem sistemu 0,91 m) ali več, so povzeti iz diplomske naloge in članka iste avtorice (Kolega, 2005, 2006). Ta višina gladine morja pomeni mejo, ko morje začne preplavljati obalo. Od leta 2004 in naprej so poplavni dogodki povzeti iz člankov v reviji Ujma (Polajnar, 2004 – 2013; Robič in Strojan, 2009).

Poudariti je treba, da izmerjene gladine morja na mareografski postaji Koper ne upoštevajo valovanja.

Poplava leta 1343

V zapisih mestnega arhiva v Piranu je omenjena poplava z močnimi valovi, ki so povzročili veliko škode leta 1343. V članku iz Primorskih novic je v opisu poplave in neurja 4. novembra 1966 zapisano, da »tako visoki valovi niso omenjeni od leta 1343«.

Poplava in neurje od 3. do 5. novembra 1966

3. novembra zvečer je začel pihati močan južni veter, hkrati pa je nastopila plima, ki je že ponoči preplavila Tartinijev trg in vse obalne ulice v Piranu. V nekaj urah se je razbesnel pravi orkan z ogromnimi valovi. Valovi so izpodkopavali obalno zidovje, metali na kopno kamenje in skale ter odplavljali vse, kar so dosegli. Valovi so bili tako močni, da so lomili vrata in okna v pritličjih hiš ter špricali celo do drugega nadstropja. Najvišjo vrednost je gladina vode dosegla 4. novembra ob 20 uri, kar 3,52 m (v državnem višinskem koordinatnem sistemu 1.43 m), kar pomeni približno pol metra vode na Tartinijevem trgu v Piranu. Neurje in visoka gladina morja sta povzročila precej škode, največ v Piranu, saj je tam največ objektov neposredno izpostavljenih morju. V Piranu je bilo razmajano in izpodkopano obalno zidovje, razbita je bila »kavarna Tartini« v stavbi gledališča (današnji caffe Teater), poslovalnica avtobusne postaje, gostišče »Riviera«, kopališče ob dohodu v mesto, restavracija hotela Piran in mnoge zasebne garaže ter avtomobili. Ves dan je bila zaprta cesta med Piranom in Lucijo, mnogo škode pa je bilo tudi drugod ob slovenski obali. Na plaži v Portorožu so bili uničeni leseni pomoli, razbita vrata kabin in odnešenih je bilo okrog 50 vagonov mivke, s sidrišč pa so bili odtrgani številni čolni.



Poplava 25. in 26. novembra 1969 – največja zabeležena poplava do sedaj

Poplave 25. in 26. novembra 1969 so enakomerno zajele celotno Obalo, voda pa je dosegla vrednost enega metra (višina gladine 3,94 m, v državnem višinskem koordinatnem sistemu 1,85 m). Obalna cesta Koper–Sečovelje je bila na več mestih poplavljenjena, prav tako pa vsi cestni odseki proti Izoli, Portorožu in Piranu, Cesta med Koprom in Piranom je bila tudi ves dan zaprta. Mnogo škode je neurje povzročilo na avtomobilih, parkiranih na Tartinijevem trgu v Piranu, saj jih je morska voda zalila do višine enega metra, nekatere pa so sunki vetra celo treščili ob zidove. V Kopru je morje zalilo poleg nižjih predelov mesta tudi večino Bonifike z osnovno šolo vred. Vodo iz Bonifike (naj bi je bilo preko milijon kubičnih metrov) so en teden prečrpavali s črpalkami v morje.

Poplava morja 22. decembra 1979

Primorske novice dne 28. decembra 1979 o poplavi 22. decembra poročajo takole: »zjutraj se je gladina morja začela naglo dvigovati. Voda je zalila obale, močan jugo je dvignil valove, ki so butali ob skale, prodrali po trgih in ulicah starih mest in pred seboj gnali ljudi in avtomobile. Življenje je bilo ohromljeno, tulile so sirene, zavladalo je skoraj pravo izjemno stanje.« Na cesti JLA (današnje Fornače in Dantejeva ulica) je bilo do 0,60 m vode (višina gladine 3,56 m, v državnem višinskem koordinatnem sistemu 1,47 m), v Piranu pa je zalilo tudi Tartinijev trg in okolico, »standardni žrtvi« visoke plime. V Kopru je na Križišču pri Slavniku morje mimo zaščitnih vreč udrlo na Bonifiko in jo zalilo. Zalilo je tudi prostore Splošne banke Koper (današnje Banke Koper) in tržnico.

Poplava morja 25. oktobra 1980

Meteorologi so za konec oktobra 1980 napovedali možnost poplav morja, vendar pa je v tednu pred 25. oktobrom kazalo, kot da se napovedi ne bodo uresničile, saj je zapihala burja. V petek pa se je vreme obrnilo in v soboto dopoldne je morje v Koprskem zalivu doseglo najvišji nivo plime v letu 1980. Morje je bilo kar 1,2 m višje od običajne gladine (višina gladine 3,56 m, v državnem višinskem koordinatnem sistemu 1,47 m) in je zato ogrožalo nižje ležeče hiše in ceste. Največ slane vode je bilo ponovno na Cesti JLA (današnje Fornače) v Piranu, na Ukmarjevem trgu v Kopru in na stari Semedelski cesti. Na parkirišču hotela Triglav v Kopru je bilo zalitih tudi veliko avtomobilov. Večje škode pa tokrat ni bilo, kajti plime ni spremljal močan jugo.

Poplave morja 6. in 7. oktobra 1982

Južni veter je pihal oba dneva z močjo od 15 do 18 m/s in je izdatno pripomogel k dvigu morske gladine. Poleg vetra pa je k dvigu pripomogel tudi zračni pritisk, saj znaša normalni oktobrski zračni pritisk v Kopru 1017,7 mb, dne 6. oktobra pa je med poplavo znašal od 991,4 do 993,8 mb, med poplavo naslednjega dne pa je znašal 1004,1 mb. Po pravilu, da padec zračnega pritiska za 1 mb pomeni porast gladine morja za 1 cm, je zračni pritisk »gladino dvignil« za dobrih 0,2 m. Višina gladine je bila 3,61 m (v državnem višinskem koordinatnem sistemu 1,52 m). Poplava je najbolj prizadela Piran in obalno območje med Piranom in Sečoveljskimi solinami. V solinah so bili podrtni nasipi, tako da so bile soline precej uničene. Veliko škode je bilo tudi v Droginem obratu Začimba v Seči, kjer so bili pod vodo proizvodni obrati. Na območju Izole in Kopra je škoda nastala samo na poplavljenih avtomobilih.



Poplava morja 1. februarja 1986

Poplava v noči z 31. januarja na 1. februar 1986 je preplavila v Piranu Tartinijev trg in Kidričevo ter Prešernovo nabrežje. Zalila pa je tudi nekaj lokalov. V Fiesi je poškodovalo pomol in zalilo plažo, v Kopru pa je voda vdrla v skladišče Semenarne in naredila nekaj škode. Na mareografski postaji v Kopru je gladina morja dosegla višino 3,44 m (v državnem višinskem koordinatnem sistemu 1,35 m).

Poplava morja 31. avgust 2003 (Robič, 2004)

Najvišja višina morja v avgustu, 3,07 m (v državnem višinskem koordinatnem sistemu 0,98 m), je bila zabeležena 31. avgusta ob 13.50 kot posledica izredne vremenske situacije. Ob prehodu hladne fronte je zapihala izredno močna tramontana s sunki do 29 m/s, kar je povzročilo močno valovanje in veliko povišanje gladine morja. Na srečo ta pojav ni povsem sovpadal s plimo, ki je nastopila 2–3 ure prej. Kljub temu je močno valovanje terjalo žrtev in povzročilo precejšnjo materialno škodo. Prevračalo je jadrnice in čolne ter podiralo drevesa.

Poplava morja 27. decembra 2004 (Polajnar, 2005)

Zaradi nizkega zračnega pritiska in južnega vetra je bilo 27. decembra okoli 9. ure ob slovenski obali povišano plimovanje morja. Na mareografski postaji v Kopru je gladina morja dosegla višino 3,27 m (v državnem višinskem koordinatnem sistemu 1,18 m). Morje je poplavlilo nižje dele obale, med drugim Semedelsko cesto in Ukmarjev trg v Kopru ter Tartinijev trg v Piranu, ki je bil poplavljen z okoli 0,3 m globoko vodo.

Poplava morja 1. decembra 2008 (Robič in Strojan, 2009)

Prvega decembra 2008 je bila zabeležena druga najvišja gladina morja v petdesetletnem opazovalnem obdobju, 3,72 m (v državnem višinskem koordinatnem sistemu 1,63 m). Največji vpliv na povišanje gladine je imel veter. Že v zadnjih dneh novembra je močan južni veter pihal po celem Jadranu. Povzročil je nastanek lastnega vala, ki je sovpadal z najvišjo astronomsko plimo 1. decembra. K povišanju gladine morja je veter prispeval kar pol metra. Veter je imel tudi neposredni vpliv. Jugo, ki je 1. decembra dopoldan na boji Vida pred Piranom pihal s hitrostjo 10–12 m/s in največjo hitrostjo 20 m/s, je narival vodne mase z odprtega morja proti obali. Zračni pritisk, ki prav tako vpliva na povišanje gladine morja, je bil zelo nizek, celo do 996 mb.

Poplavljanje obale je bilo dolgotrajno, saj se je morje umaknilo z najnižjih delov obale šele po sedmih urah. Največ škode so utrpeli Sečoveljske soline, kjer je morje na nekaj krajih prebilo dotrajane nasipe.

V Kopru je morje poplavlilo mestno promenado, parkirišče za koprsko tržnico, Ukmarjev trg, stavbo pristaniške kapetanije. Visoko in valovito morje je razmetalo ribiško opremo po glavnem pomolu. Več ulic ni bilo prevoznih. Morje je poplavlilo tudi notranjost Bonifike in zalilo pokriti bazen v Žusterni. V Kopru je bilo poplavljenih okoli sto avtomobilov. Poplavljena je bila Semedelska cesta.

V Piranu je morje poplavlilo dovozno cesto v mesto, več ulic, številne lokale in stavbe ob obali. Preplavilo je Tartinijev trg, ki je bil tako kakor okoliške ulice ob višku poplavljen s



pol metra globoko vodo. Poplavljenе so bile tudi stavbe v bližini; hotel Tartini, Tartinijevo gledališče, občinska stavba in knjižnica ter številne stanovanjske stavbe. V Piranu je bilo poplavljenih okoli 50 vozil.

V Izoli je bil poplavljen Veliki trg in carinski pomol. Morje je zalilo nekaj lokalov v Verdijeви ulici, nekaj stanovanjskih objektov na Velikem trgu in Gasilski ulici ter prostore Manzoliјeve palače in hotela Marina.

2.2 Največje izmerjene višine plim in valov

Na podlagi razpoložljivih podatkov ARSO je bilo izračunano, da srednja visoka voda (višina gladine morja zaradi plimovanja) za obdobje 1961-2000 znaša 3,27 m. V preglednici 1 so prikazane najvišje zabeležene višine gladine morja na hidrografske letvi mareografske postaje Koper (gladine brez valovanja) v letih 1963-2013, ki so višje ali enake od 3,25 m (v državnem višinskem koordinatnem sistemu 1,16 m), z izjemo leta 2003, ko je namesto juga pihala tramontana in je višina gladine morja dosegla le 3,07 m. Podatki o pripadajočih smereh, iz katerih je pihal veter ob posameznem dogodku, so dobljeni iz štirih glavnih meteoroloških postaj:

- za obdobje od leta 1966 do 1970 postaja Koper;
- za obdobje od leta 1975 do 1987 postaja Beli Križ;
- za leto 1992 postaja Portorož – Letališče;
- za obdobje od leta 1993 do 2008 postaja Koper – Luka.

Preglednica 1: Največje zabeležene višine gladin morja (Kolega, 2005) ter pripadajoče smeri vetra

Datum poplave	Višina morja na hidrografske letvi (m)	Višina morja v državnem višinskem koordinatnem sistemu (m)	Približna smer vetra (°)
4.11.1966	3,52	1,43	135
5.11.1967	3,27	1,18	135
3.11.1968	3,30	1,21	115
26.11.1969	3,94	1,85	225
28.12.1970	3,25	1,16	135
18.11.1975	3,31	1,22	155
22.12.1979	3,56	1,47	65
25.10.1980	3,61	1,52	155
27.10.1981	3,30	1,21	25
6.10.1982	3,61	1,52	180
20.5.1984	3,27	1,18	135
13.11.1985	3,27	1,18	140
1.2.1986	3,44	1,35	65
24.11.1987	3,35	1,26	45
8.12.1992	3,30	1,21	115
2.10.1993	3,40	1,31	140



Datum poplave	Višina morja na hidrografski letvi (m)	Višina morja v državnem višinskem koordinatnem sistemu (m)	Približna smer vetra (°)
27.12.1995	3,34	1,25	80
19.2.1996	3,27	1,18	150
6.5.1997	3,30	1,21	180
16.11.2002	3,25	1,16	130
31.8.2003	3,07	0,98	330
27.12.2004	3,27	1,18	115
1.12.2008	3,72	1,63	160

Historičnih podatkov o višini valov pred letom 2000 ni zabeleženih, saj se v slovenskem morju višina valov meri šele od konca leta 2000, ko je začela delovati prva oceanografska boja. Leta 2006 je prvo oceanografsko bojo nasledila boja Vida. V preglednicah 2 in 3 so prikazane največje izmerjene značilne in maksimalne višine valovanja na oceanografski boji Vida od leta 2006 (ARSO, 2012).

Preglednica 2: Največje izmerjene značilne višine valov na boji Vida od leta 2006

Datum	Čas	Značilna višina valov (m)
4.2.2012	8:30	2,7
10.2.2012	22:30	2,6
2.3.2011	9:00	2,4
10.3.2010	9:00	2,8
19.12.2009	12:00	1,9
9.3.2010	19:00	1,8
15.12.2009	13:00	1,7
8.1.2009	10:30	1,7

Preglednica 3: Največje izmerjene maksimalne višine valov na boji Vida od leta 2006

Datum	Čas	Maksimalna višina valov (m)
4.2.2012	5:00	4,8
10.2.2012	23:30	4,7
2.3.2011	9:00	4,2
10.3.2010	7:30	4,2
19.12.2009	13:00	3,2
9.3.2010	19:00	3,0
4.3.2008	18:30	3,0
10.2.2010	21:30	2,8



3 METODA DELA

3.1 Izhodišča in predpostavke

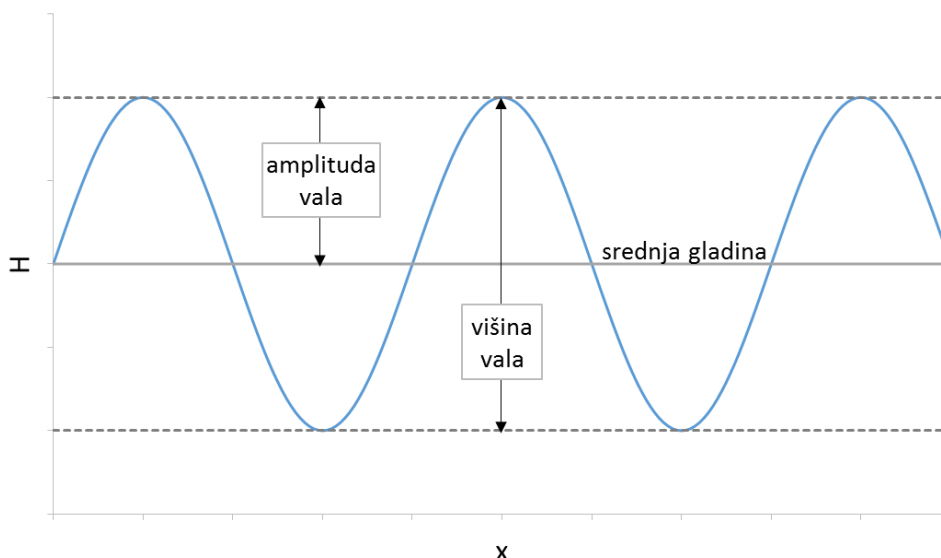
Višine gladin morja s povratnimi dobami 10, 100 in 500 let opredeljujejo 26., 27. in 28. odstavek drugega člena Pravilnika o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (Uradni list RS, št. 60/07) (v nadaljevanju: Pravilnik):

a) gladina G_{10} je vrednost višine gladine stoječe vode ali morja, določena z najvišjim izmerjenim ali izračunanim vodostajem stoječe vode ali s seštevkom vrednosti višine gladine morja zaradi plimovanja, ki je v določenem letu lahko dosežena ali presežena z verjetnostjo 10% (višina plime 10 letne povratne dobe), in zaradi morskega vala, ki je v določenem letu lahko dosežena ali presežena z verjetnostjo 50% (višina vala 2 letne povratne dobe);

b) gladina G_{100} je vrednost višine gladine stoječe vode ali morja, določena z najvišjim izmerjenim ali izračunanim vodostajem stoječe vode ali s seštevkom vrednosti višine gladine morja zaradi plimovanja, ki je v določenem letu lahko dosežena ali presežena z verjetnostjo 1% (višina plime 100 letne povratne dobe), in zaradi morskega vala, ki je v določenem letu lahko dosežena ali presežena z verjetnostjo 50% (višina vala 2 letne povratne dobe);

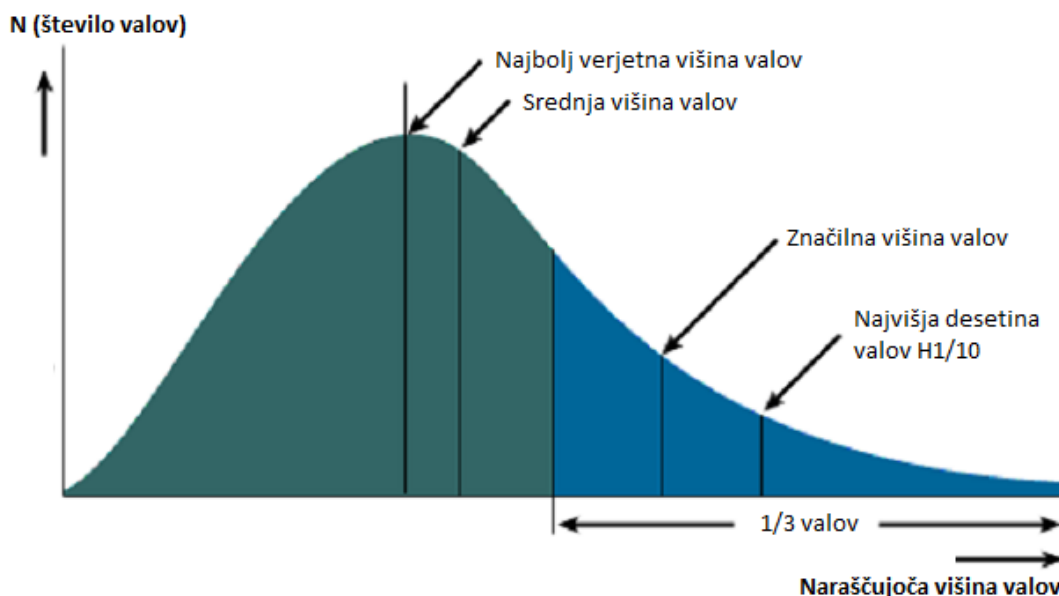
c) gladina G_{500} je vrednost višine gladine stoječe vode ali morja, določena z najvišjim izmerjenim ali izračunanim vodostajem stoječe vode ali s seštevkom vrednosti višine gladine morja zaradi plimovanja, ki je v določenem letu lahko dosežena ali presežena z verjetnostjo 0,2% (višina plime 500 letne povratne dobe), in zaradi morskega vala, ki je v določenem letu lahko dosežena ali presežena z verjetnostjo 2% (višina vala 50 letne povratne dobe);

Za določitev gladin po metodološkem pravilniku je bila uporabljena $\frac{1}{2}$ vrednosti značilne višine valov, ki jih izračuna model, imenovana značilna amplituda vala. V globljih vodah z majhno višino valov, lahko amplitudo določimo kot razdaljo med srednjo gladino in najvišjo točko grebena vala (najvišja točka vala) ali najnižjo točko med dvema grebenoma (Slika 3).



Slika 3: Prikaz višine in amplitude vala na idealiziranem valu

Valovi v realnosti niso pravih oblik. Valovanje namreč sestavlja nešteto valov različnih višin in valovnih dolžin. Zaradi tega se v stroki za namen opisa valovanja uporablja vrednost imenovana značilna višina valov. Značilna višina valov predstavlja povprečno višino zgornje tretjine valov, opazovanih in razvrščenih po vrednostih višin v določenem časovnem obdobju (Slika 4).



Slika 4: Prikaz značilne višine valov na grafu višin vseh opazovanih valov v določenem časovnem intervalu (vir: <http://www.erh.noaa.gov/box/sigWaveHeightDesc.html>)



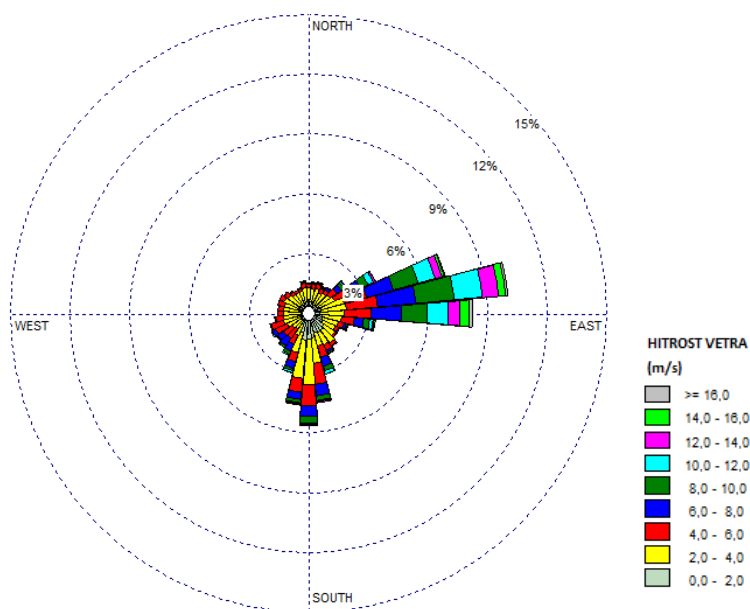
Maksimalna višina valov je lahko tudi dvakrat višja od značilne višine valov pri večjih višinah valov saj se valovi ustvarjajo tudi na večjih valovih. Značilna višina valov je večja od srednje višine valov in manjša od maksimalne višine valov zato je lahko primernejša za izračun dosega valovanja morja na obali kot maksimalna višina valov ali srednja višina valov, ker valovi ob stiku z infrastrukturo na obali (npr. zidov, valobranov, stavb, ipd.) izgubljajo energijo, njihov doseg pa je odvisen od količine izgubljene energije glede na posamično vrsto infrastrukture na obali. Disipacija energije in prelivanje valov preko infrastrukture na obali je hidravlični fenomen, ki je navadno izrazito trirazsežen in potrebuje obravnavo za vsak posamezni primer posebej. Redukcija višine valovanja je zaradi vpliva infrastrukture na obali nujna, a neznana, tudi zaradi medsebojnega vpliva različnih vrst infrastrukture, saj se valovanje ne širi vedno premočrtno na obalo, uklonjeni valovi pa se lahko zaradi vpliva infrastrukture na obali povečajo. Empirična redukcija višine valovanja glede na posamezno vrsto infrastrukture na obali bi lahko vodila v povečanje ogroženosti, saj ne bi bili zajeti hidravlični fenomeni sočasnega delovanja posameznih infrastruktur vzdolž obale. Uporaba maksimalne višine valovanja za izračun dosega valovanja sicer predstavlja največjo varnost, vendar tudi največje omejitve v prostoru. Predpostavljeno je, da se energija najvišjih valov ob stiku z infrastrukturo na obalo zmanjša toliko, da je višina valov izza infrastrukture na obali velikosti značilne višine valov. Zaradi prej navedenega je bila za izračun dosega valovanja in izris kart nevarnosti uporabljena značilna višina valov.

Uporabljen numerični model izračuna značilno višino valov na naslednji način:

$$\text{značilna višina} = 4 * \sqrt{\text{energija valovanja}}$$

Tako izračunana značilna višina nekoliko odstopa od zgoraj opisane značilne višine valov (določene iz opazovanja valov). Iz energije določena značilna višina je navadno nekoliko manjša, vendar gre za zanemarljivo razliko. Razlika je večja le v primeru lomljenja valov, ki pa v obravnavanih primerih ni bilo upoštevano.

Karakteristične smeri vetrov so bile izbrane na podlagi rože vetrov, kjer je razvidna smer vetrov glede na pogostost in jakost (Slika 5). Za izračun valovanja so merodajni tisti vetrovi večje jakosti, ki pihajo iz smeri značilne za vetrove burja in jugo. Dodatno je bil izbran tudi veter iz smeri tramontane, ki lahko kratkotrajno doseže velike jakosti, v roži vetrov pa ni izražen. Drugi vetrovi, ki so lahko pogostejši, ne dosegajo večjih jakosti, posledično se ob teh vetrovih ne ustvarijo višji valovi, zato so bili ti vetrovi izzeti iz modeliranja valovanja. Za modeliranje valovanja so bile izbrane tri karakteristične smeri vetra, ki predstavljajo širše smeri (razpon 90° ali 40°) možnih vetrov večje jakosti, poimenovane burja, jugo in tramontana. Za vsako karakteristično smer je bila izdelana statistična analiza jakosti vetra glede na verjetnosti nastopa vetra. V modeliranju valovanja je bila uporabljena enaka jakost vetra glede na verjetnost nastopa vetra v izbranih treh smereh: burja (0°, 45°, 90°), jugo (160°, 180°, 200°) in tramontana (270°, 315°, 360°). Izbrane tri smeri vetrov glede na posamezno karakteristično smer vetra predstavljajo širši razpon v katerem se posamezni veter pojavlja, vendar smo s tem omilili nekatere omejitve numeričnega modela, npr. da smer valov ne sledi popolnoma smeri vetra in tudi dinamičnim ter spremenljivim lastnostim smeri in jakosti vetra.



Slika 5: Roža vetrov za obdobje meritev od 20. 6. 2008 do 9. 2. 2011 (36 smeri) (vir: Hladnik in Malačič, 2011).

Za vse modele valovanja je bila uporabljena računska mreža 100 x 100 m po celotnem Tržaškem zalivu. Preverjen je bil tudi model z zgoščeno mrežo 20 x 20 m za manjši obseg modela, ki pa ni pokazal bistvenih sprememb v rezultatih.

Zmanjšanje višine valov zaradi lomljenja valov ni bilo upoštevano, ker so bili privzeti rezultati modela v predzadnji celici od obale tj. približno 100 m od obale. Globine morja se v slovenskem morju navadno strmo spuščajo do globine 10 m. Na območju Pirana se globina morja spušča do globine 10 m na razdalji ca. 100 m in potem se globina hitro nadaljuje do najnižje točke slovenskega morja z globino 37 m. Na območju Izole pa se globina morja spušča do globine 10 m na razdalji ca. 200 m. V obeh primerih velja, da glede na razmerje višine valov in globino vode prihaja do lomljenja valov takrat, ko valovi že dosežejo obalo in zato zmanjšanje višine valov zaradi lomljenja valov ni bilo upoštevano.

Pri izračunih valovanja je bila upoštevana tudi hrapavost dna. Privzeta vrednost koeficienta hrapavosti je v modelu 0,002 m, kar predstavlja peščeno dno. V okolici piranske Punte je dno peščeno, pomešano s školjkami, v oklici Izole pa je dno muljasto. (vir: <http://www.hidrografija.si/p1/3-3.php>). S spreminjanjem koeficienta hrapavosti dna na večjo in manjšo vrednost je bilo ugotovljeno, da spreminjanje koeficienta bistveno ne vpliva na višino valov. Zato je bila za vse simulacije upoštevana privzeta vrednost koeficienta hrapavosti dna.

Uporabljen je bil stacionarni režim izračuna značilne višine valov. Pri tem je bil upošteván tako konstanten veter, kot konstantna gladina morja (plima z določeno povratno dobo).

Izračuni valovanja v celicah, ki se nahajajo znotraj zaprtih območij (npr. marine), niso bili upoštevani, saj matematični model MIKE 21 NSW takšnih valovnih razmer ne računa pravilno.



Uporabljena je bila predpostavka, da veter z določeno povratno dobo povzroči valovanje z enako povratno dobo, kar je bilo upoštevano pri izračunu gladin G_{10} , G_{100} in G_{500} po 2. členu Pravilnika o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (Uradni list RS, št. 60/07).

Ker izračuni na robovih numeričnega modela oz. tik ob obali navadno niso dovolj natančni, so bili pri izdelavi linij dosega poplav na obali uporabljeni rezultati izračuna v predzadnji celici, ki je od obalne linije oddaljena približno 100 m.



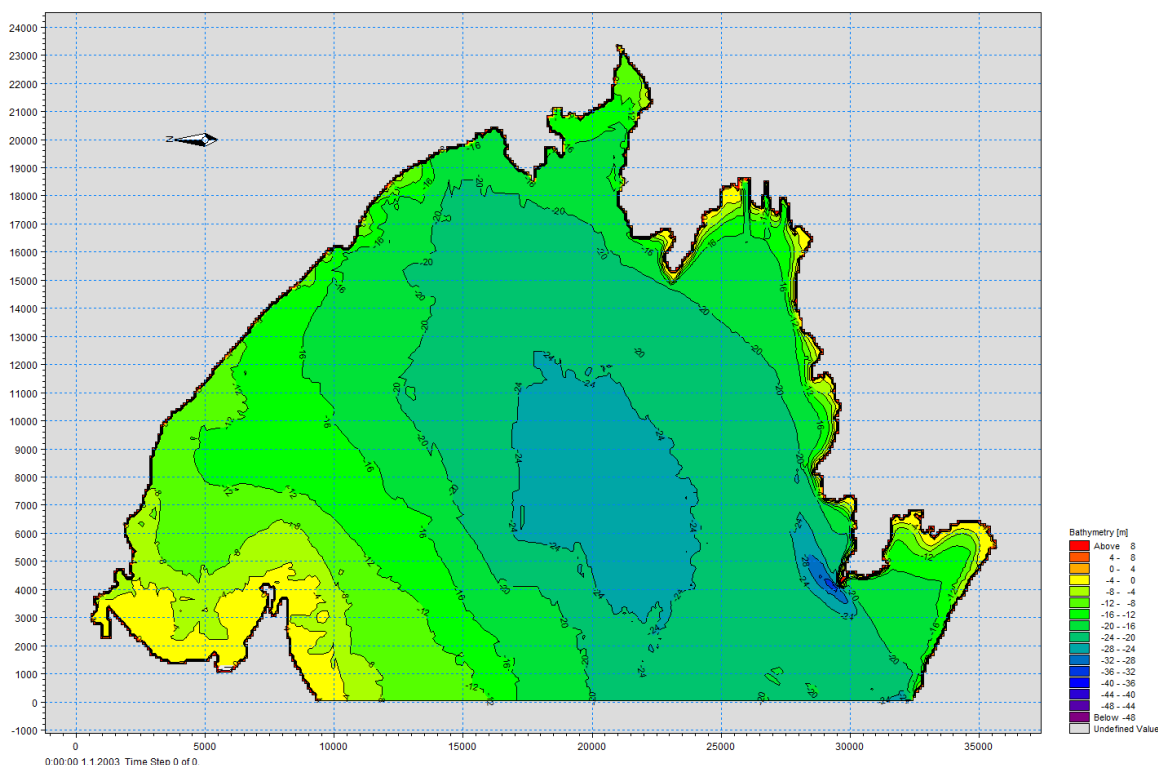
3.2 Podatki

3.2.1 Batimetrija

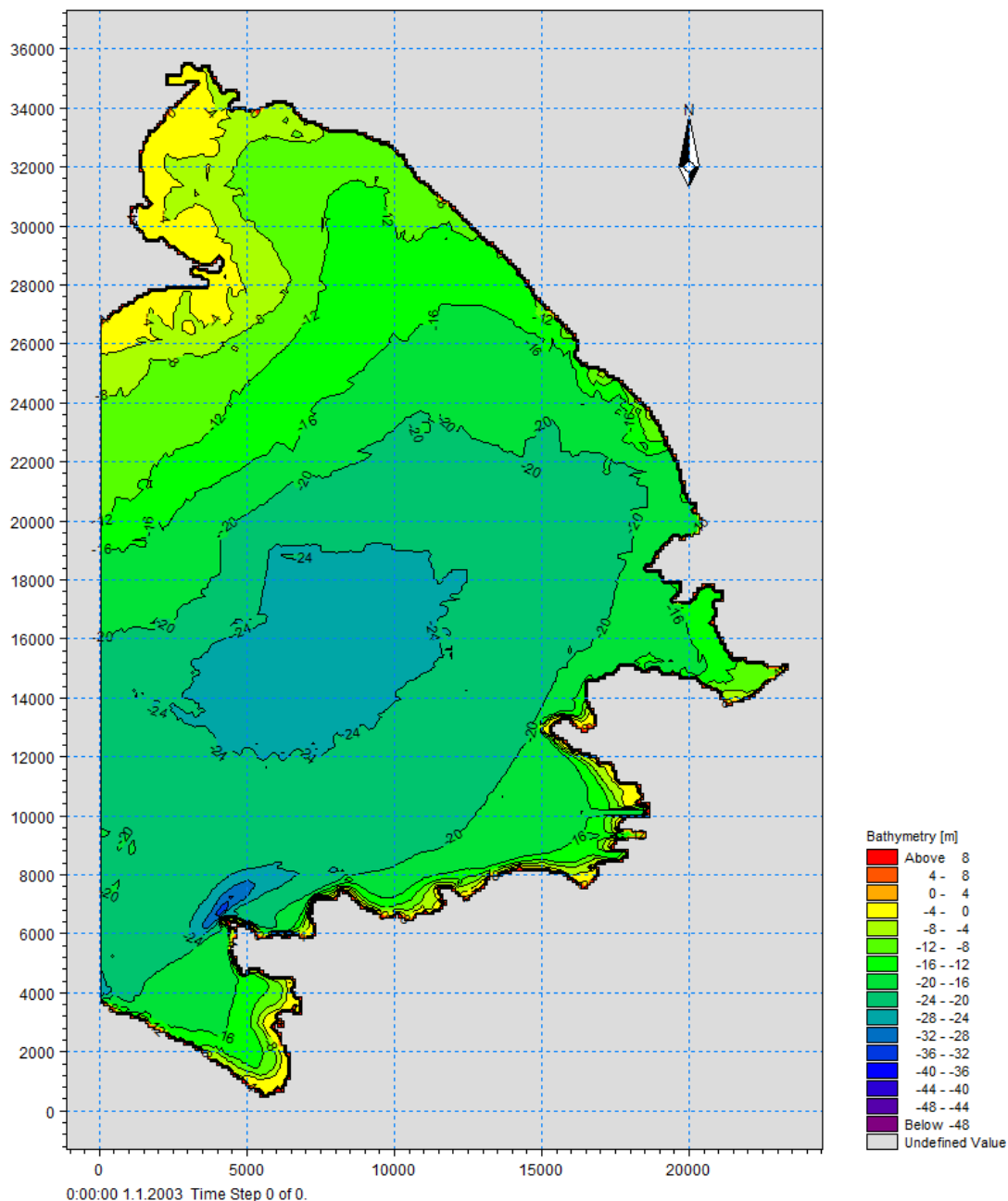
Batimetrični model je bil izdelan za cel Tržaški zaliv, ki je na odprtem robu omejen z linijo Savudrija – Gradež. Narejen je iz dveh delov, ki sta bila kasneje združena:

- za globine v italijanskem in hrvaškem delu Tržaškega zaliva so uporabljeni podatki iz pomorske karte za Tržaški zaliv v merilih 1:75000 in 1:150000 ter pomorske karte za Piranski in Koprski zaliv v merilu 1:12000,
- za globine slovenskega dela Tržaškega zaliva so uporabljeni podatki iz poročila Izboljšana batimetrija in topografija morja vključno s 3D posnetkom obale ter določitvijo obalnih linij za potrebe izvajanja Morske direktive (Harpha Sea, 2014) (slo.morje2012_20m_utm.tif – generaliziran DMR 20 x 20 m Slovenskega morja v GeoTiff zapisu, obalna linija - srednja obdobja vrednost).

Ker za pravilno delovanje modela NSW velja pravilo, da morajo biti valovi paralelni z X – osjo, je batimetrija v vseh 27 primerih rotirana tako, da veter piha iz smeri začetka X – osi in posledično se tudi valovanje širi iz te smeri.



Slika 6: Primer batimetrije z globinami (m) za burjo, ki piha iz smeri 0° glede na sever



Slika 7: Primer batimetrije z globinami (m) za tramontano, ki piha iz smeri 270° glede na sever

3.2.2 Plimovanje

Višine gladine morja za izbrane povratne dobe plimovanja je posredoval ARSO in so izračunane iz niza podatkov z vodomerne letve na mareografski postaji Koper od leta 1960 do leta 2013 ob predpostavljeni funkciji porazdeljevanja Log – Pearson 3.



Preglednica 4: Višine gladin morja za izbrane povratne dobe (ARSO, 2014)

Povratna doba (leto)	Višina gladine morja na vodomerni letvi (m)	Višina gladine morja v državnem višinskem koordinatnem sistemu (m)	Oznaka povratne dobe plimovanja
10	3,55	1,457	P ₁₀
20	3,65	1,557	P ₂₀
25	3,68	1,587	P ₂₅
50	3,78	1,687	P ₅₀
100	3,88	1,787	P ₁₀₀
500	4,08	1,987	P ₅₀₀
1000	4,19	2,097	P ₁₀₀₀

Za preračun višin gladin morja za izbrane povratne dobe iz višin na vodomerni letvi v državni višinski koordinatni sistem je uporabljen podatek o višini ničle na vodomerni letvi glede na reper R5486, ki se nahaja na JZ vogalu hotela Koper v Kopru in ima uradno višino 1,9186 m. Ničla vodomerne letve se nahaja 4,012 m pod omenjenim reperjem.

3.2.3 Veter

Podatki za veter so pridobljeni s spletne strani ARSO. Glede na nabor podatkov in izbranih karakterističnih smeri vetrov je bilo ugotovljeno, da sta najbolj reprezentativni postaji glede na lokacijo samodejni postaji Portorož – Letališče in Koper – Luka. Postaja Portorož – Letališče obsega polurne podatke za obdobje od januarja 1993 do junija 2014, postaja Koper – Luka pa za obdobje od januarja 1994 do junija 2014. Pri postaji Portorož – Letališče za 10.3.2010 nismo upoštevali podatkov za naslednje ure: 15:00, 15:30 in 16:30, ker so vsebovale nerealne vrednosti. Prav tako pri postaji Koper – Luka nismo upoštevali podatkov za februar in marec za leto 2001, ker so prav tako vsebovale nerealne vrednosti. Vetrovi, ki na slovenski obali statistično gledano iz preteklih dogodkov povzročijo največje valove, so trije, za potrebe študije poimenovani kot karakteristični vetrovi za izračun valov: burja, jugo in tramontana. Izločili pa smo preostala vetrova, oštro in lebič, ki sta poleg burje statistično gledano najpogostejša (glede na podatke za obdobje od 20. 6. 2008 do 9. 2. 2011, ki so bili izmerjeni na boji Vida; Hladnik in Malačič, 2011) vendar manjše jakosti in posledično ne povzročata visokih valov. Za burjo je privzeto, da piha iz smeri 0° – 90°, za jugo iz smeri 160° – 200° ter za tramontano 270° – 360°. V modeliranju valovanja je bila uporabljena enaka jakost vetra glede na verjetnost nastopa vetra v izbranih treh smereh: burja (0°, 45°, 90°), jugo (160°, 180°, 200°) in tramontana (270°, 315°, 360°). Izbrane tri smeri vetrov glede na posamezno karakteristično smer vetra predstavljajo širši razpon v katerem se posamezni veter pojavlja, vendar smo s tem omilili nekatere omejitve numeričnega modela npr. da smer valov ne sledi popolnoma smeri vetra in tudi dinamičnim ter spremenljivim lastnostim smeri in jakosti vetra.

Za vsak veter in območje smeri so izračunani letni maksimumi. Kljub temu, da leto 2014 še ni končano, je bil tudi za to leto izračunan letni maksimum, saj je s tem podaljšan časovni niz podatkov za izračun povratnih dob vetra. Povratne dobe za posamezni veter in



pripadajočo smer so izračunane po Gumbelovi porazdelitveni funkciji. Pri izračunu višine valov so upoštevane večje vrednosti povratnih dob jakosti vetra glede na postajo. Za jugo in tramontano so upoštevani podatki iz postaje Portorož – Letališče, za burjo pa so upoštevani podatki iz postaje Koper – Luka.

Izračunane vrednosti za posamezni veter in območje smeri so prikazane v preglednicah 5, 6 in 7.

Preglednica 5: Hitrosti vetra (burja) za izbrane povratne dobe na postaji Koper – Luka

BURJA 0° – 90° (oznaka B)		
Povratna doba (leta)	Hitrost vetra (m/s)	Oznaka
2	12,5	V _{2B}
5	15,6	V _{5B}
10	17,7	V _{10B}
25	20,3	V _{25B}
50	22,2	V _{50B}

Preglednica 6: Hitrosti vetra (jugo) za izbrane povratne dobe na postaji Portorož – Letališče

JUGO 160° – 200° (oznaka J)		
Povratna doba (leta)	Hitrost vetra (m/s)	Oznaka
2	9,9	V _{2J}
5	10,9	V _{5J}
10	11,5	V _{10J}
25	12,3	V _{25J}
50	12,8	V _{50J}

Preglednica 7: Hitrosti vetra (tramontana) za izbrane povratne dobe na postaji Portorož – Letališče

TRAMONTANA 270° – 360° (oznaka T)		
Povratna doba (leta)	Hitrost vetra (m/s)	Oznaka
2	11,8	V _{2T}
5	14,5	V _{5T}
10	16,2	V _{10T}
25	18,5	V _{25T}
50	20,1	V _{50T}



3.3 Opis modela

Za izračun valovanja je bil uporabljen model DHI MIKE 21 NSW – Near Shore Spectral Wind – Waves (stacionarni model spektra valov v bližini območja obale), ki je vetrovno – valovni model, kateri opisuje širjenje, rast in razpadanje valov za kratko obdobje v bližini območja obale. Model vključuje naslednje fizikalne fenomene valovanja:

- refrakcijo (pojav, pri katerem val spremeni smer zaradi sprememb globine terena),
- disipacijo energije na dnu (trenje),
- lomljenje valov,
- nastajanje valov zaradi vetra,
- širjenje valovnega spektra,
- širjenje valov v različnih smereh,
- interakcija valovi – tokovi.

Model ne vključuje:

- difrakcije (pojav, pri katerem se val širi naprej za nekim objektom, npr. vhod v marino),
- refleksije (pojav, pri katerem se val odbije od objekta),
- ovire valov,
- interakcije val – val.

Model MIKE 21 NSW uporablja pri svojih izračunih naslednji sistem enačb:

$$\frac{\partial(c_{gx}m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy}m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(c_{\theta}m_0)}{\partial \theta} = T_0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(c_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(c_{\theta}m_1)}{\partial \theta} = T_1 \quad (2)$$

kjer posamezne spremenljivke predstavljajo:

- $m_0(x,y,\theta)$ in $m_1(x,y,\theta)$ sta nulti in prvi moment valovnega spektra,
- c_{gx} in c_{gy} sta x in y komponenta skupne hitrosti,
- θ je smer širjenja valovanja,
- c_{θ} je hitrost širjenja propagacije valovanja zaradi spremembe smeri θ valovanja,

Za izračun hitrosti propagacije valovanja c_{gx} , c_{gy} in c_{θ} je uporabljena linearna teorija valovanja.

Moment $m_n(\theta)$ je definiran kot $m_n(\theta) = \int_0^{\infty} \omega^n A(\omega, \theta) d\omega$, kjer je ω absolutna frekvenca in A gostota spektra valov.

Leva stran enačb (1) in (2) upošteva efekt refrakcije in dvig vala ob prehajanju v plitvejšo vodo. Člena T_0 in T_1 upoštevata efekt nastanka lokalnega vetra ter disipacije energije zaradi trenja na dnu in lomljenja valov.



3.4 Scenariji poplavljanja

Prikaz različnih kombinacij izračuna vseh treh gladin:

$$G_{10} = P_{10} + \text{Val } f(P_{10}, V_2)/2$$

$$G_{100} = P_{100} + \text{Val } f(P_{100}, V_2)/2$$

$$G_{500} = P_{500} + \text{Val } f(P_{500}, V_{50})/2$$

Vrednost višine gladine G_{10} je seštevek višine gladine morja za desetletno povratno dobo P_{10} in polovice z modelom določene višine vala, ki je odvisna od višine gladine morja z desetletno povratno dobo P_{10} in hitrosti vetra z dveletno povratno dobo V_2 .

Vrednost višine gladine G_{100} je seštevek višine gladine morja za stoletno povratno dobo P_{100} in polovice z modelom določene višine vala, ki je odvisna od višine gladine morja z stoletno povratno dobo P_{100} in hitrosti vetra z dveletno povratno dobo V_2 .

Vrednost višine gladine G_{500} je seštevek višine gladine morja za petstoletno povratno dobo P_{500} in polovice z modelom določene višine vala, ki je odvisna od višine gladine morja z petstoletno povratno dobo P_{500} in hitrosti vetra z petdesetletno povratno dobo V_{50} .

Za vsak tip vetra in smer je izračunana gladina G_{10} , gladina G_{100} in gladina G_{500} .

Vse kombinacije gladin (G_{10} , G_{100} in G_{500}) vsebujejo verjeten sočasni nastop maksimalne plime in valov glede na verjetnost nastopa dogodka v skladu s Pravilnikom. Pravilnik ne določa verjetnost nastanka valov (višino) v kombinaciji z verjetnostjo nastanka plime (višina). Prav tako ne določa, katera višina valov se uporabi za izračun gladine, npr. srednja višina, značilna višina ali maksimalna višina. Dodatno Pravilnik tudi ne dopušča omilitov (ali celo izločitev) manj verjetnih scenarijev, npr. sočasen nastop visoke plime in vetra iz smeri burje ali tramontane saj navadno ob takšnih vetrovnih razmerah zračni pritisk ni zelo nizek, veter pa ne »potiska« morja v Tržaški zaliv kot v primeru vetra iz smeri juga. Visoke plime namreč skoraj vedno spremlja južni veter. Verjetnost nastopa prej omenjenih dogodkov je tako izredno majhna ali celo nemogoča.

3.4.1 Burja (gladine morja treh povratnih dob za tri smeri vetra)

- višina gladine morja za izbrano povratno dobo: P_{10} , P_{100} , P_{500}
- veter:
 - smeri vetra: 0° , 45° , 90°
 - hitrost vetra (burja) za izbrano povratno dobo: V_{2B} , V_{50B}



3.4.2 Jugo (gladine morja treh povratnih dob za tri smeri vetra)

- višina gladine morja za izbrano povratno dobo: P_{10} , P_{100} , P_{500}
- veter:
 - smeri vetra: 160° , 180° , 200°
 - hitrost vetra (jugo) za izbrano povratno dobo: V_{2J} , V_{50J}

3.4.3 Tramontana (gladine morja treh povratnih dob za tri smeri vetra)

- višina gladine morja za izbrano povratno dobo: P_{10} , P_{100} , P_{500}
- veter:
 - smeri vetra: 270° , 315° , 360°
 - hitrost vetra (tramontana) za izbrano povratno dobo: V_{2T} , V_{50T}

Skupaj je bilo modelirano 27 različnih scenarijev oz. izračunanih gladin tj. za vsak veter 9 različnih izračunanih gladin.

Iz vseh 27-ih izračunov so bile izdelane ovojnice maksimalnih gladin za s Pravilnikom zahtevane primere G_{10} , G_{100} in G_{500} . S tem so bile za obravnavano obalno območje odsekoma določene najneugodnejše vrednosti za vse obravnavane smeri vetrov in valov. Te vrednosti so bile podlaga za izris kart nevarnosti in razredov nevarnosti.

Z namenom preverjanja rezultatov se je poleg ovojnice najvišjih gladin v prostorsko bazo zapisalo še smer vetra, ki na posameznih odsekih obale povzroča najneugodnejše razmere tj. najvišje višine morja. Poleg tega pa je smer vetra in posledično smer valov uporabna za druge namene, npr. dimenzioniranje obalnih konstrukcij, ipd.

3.5 Umerjanje modela in robni pogoji

Umerjanje valovanja je bilo možno le z meritvami na eni lokaciji (pred Piransko punto), tj. na boji Vida. V letu 2014 sta bili postavljeni še dve boji, vendar nekajmesečne meritve ne omogočajo pridobitve relevantnih podatkov za dodatno umerjanje. Za ustrezno umerjanje, predvsem zaradi natančnejšega umerjanja propagacije valovanja ob obali, bi bilo potrebno izvesti tudi meritve valovanja na več točkah ob obali. Poudariti je tudi treba, da umerjanje modela valovanja ni tako enoznačno kot npr. umerjanje hidravličnih modelov vodotokov, saj je ob izbrani jakosti vetra in smeri vetra lahko znaten raztros podatkov o merjenih višinah valovanja ker model zaradi kvazi-stacionarne narave ne more upoštevati predhodnega valovanja in spremenljivih vetrovnih razmer. Zato je bilo umerjanje izvedeno na način, da se podano valovanje na odprtem robu modela ob izbranem vetru ne zmanjšuje po računski mreži, a na mestu boje Vida pretežno še vedno ostaja v rangi merjenih podatkov.



Umerjanje modela ali primerjava rezultatov modela z merjenimi podatki na boji Vida je bilo izvedeno za vseh 27 scenarijev. Umerjanje za izračun vala ($\text{Val } f(P_{10}, V_2)$ in $\text{Val } f(P_{100}, V_2)$) za G_{10} in G_{100} za vsak veter in smer je bilo izvedeno enkrat, saj je ne glede na to, da sta upoštevani višini gladine morja s povratno dobo 10 in 100 let, v obeh primerih višina značilnega vala enaka, saj višina gladine morja (na mestu boje Vida) v primerjavi z vetrom popolnoma nič ne vpliva na višino značilnega vala, in posledično je višina značilnega vala za oba primera enaka. Model se je umerjal tako, da sta se za vsak scenarij na odprtem robu modela spreminjala velikost valov in perioda valov, da so rezultati modela na lokaciji boje Vida čim bolj sovpadali z rezultati meritev na boji pri enaki jakosti in podobni smeri vetra. Meritve iz boje Vida, ki nam jih je posredoval ARSO, obsegajo rezultate za obdobje od 1.1.2007 do 27.5.2014.

3.5.1 Burja iz smeri 0°

- $\text{Val } f(P_{10}, V_2)$ pri burji iz smeri 0° in $\text{Val } f(P_{100}, V_2)$ pri burji iz smeri 0°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,89 m pri jakosti vetra 12,5 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,78 m do 1,32 m pri jakosti vetra v razponu od 11,3 m/s do 11,6 m/s iz smeri v razponu od 359° do 3°
 - rezultati modela se umeščajo v razpon merjenih podatkov; smatra se, da so rezultati modela primerni za nadaljnje analize
- $\text{Val } f(P_{500}, V_{50})$ pri burji iz smeri 0°
 - višina značilnega vala v modelu je 1,95 m pri jakosti vetra 22,1 m/s
 - na boji Vida ni primerljivih rezultatov meritev za takšno smer in hitrost vetra zato umerjanje ni možno; rezultati modela so bili uporabljeni za nadaljnjo analize

3.5.2 Burja iz smeri 45°

- $\text{Val } f(P_{10}, V_2)$ pri burji iz smeri 45° in $\text{Val } f(P_{100}, V_2)$ pri burji iz smeri 45°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,87 m pri jakosti vetra 12,5 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,93 m do 1,15 m pri jakosti vetra v razponu od 12,4 m/s do 12,6 m/s iz smeri v razponu od 44° do 47°
 - rezultat modela izkazuje malo manjše vrednosti kot merjeni podatki vendar modela ni mogoče umeriti, ker veter piha iz kopnega in zato model nima odprtega roba; zaradi manjšega odstopanja se smatra, da so rezultati modela primerljivi z merjenimi



- Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri burji iz smeri 45°
 - višina značilnega vala v modelu je 1,76 m pri jakosti vetra 22,1 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 1,08 m do 1,64 m pri največjih izmerjenih jakosti vetra v razponu od 15,5 m/s do 16,9 m/s iz smeri v razponu od 45° do 50°
 - rezultati modela izkazujejo višje vrednosti od vrednosti največjega merjenega vetra in pripadajočih valov zato se smatra, da so rezultati modela primerni za nadaljnje analize

3.5.3 Burja iz smeri 90°

- Val $f(P_{10}, V_2)$ pri burji iz smeri 90° in Val $f(P_{100}, V_2)$ pri burji iz smeri 90°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,65 m pri jakosti vetra 12,5 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,78 m do 1,24 m pri jakosti vetra 12,5 m/s iz smeri v razponu od 89° do 91°
 - rezultat modela izkazuje manjše vrednosti kot merjeni podatki vendar modela ni mogoče umeriti, ker veter piha iz kopnega in zato model nima odprtega roba; odstopanje sicer ni majhno vendar se smatra, da so rezultati modela primerni za nadaljnje analize vendar presojsani posamično v primeru, da izkazujejo največje vrednosti valov ob obali
- Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri burji iz smeri 90°
 - višina značilnega vala v modelu je 1,32 m pri jakosti vetra 22,1 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 1,94 m do 2,79 m pri največjih izmerjenih jakosti vetra v razponu od 22,1 m/s do 22,4 m/s iz smeri v razponu od 85° do 94°
 - rezultat modela izkazuje precejšnje odstopanje od merjenih podatkov vendar modela ni mogoče umeriti, ker veter piha iz kopnega in zato model nima odprtega roba; odstopanje je precejšnje zato so rezultati v nadaljnji analizi uporabljeni vendar presojsani posamično v primeru, da izkazujejo največje vrednosti valov ob obali

3.5.4 Jugo iz smeri 160°

- Val $f(P_{10}, V_2)$ pri jugu iz smeri 160° in Val $f(P_{100}, V_2)$ pri jugu iz smeri 160°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,34 m pri jakosti vetra 9,9 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,42 m do 0,55 m pri jakosti vetra 9,9 m/s iz smeri v razponu od 157° do 162°
- Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri jugu iz smeri 160°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,46 m pri jakosti vetra 12,8 m/s



- višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,65 m do 0,85 m pri največjih izmerjenih jakosti vetra v razponu od 12,3 m/s do 13,2 m/s iz smeri v razponu od 160° do 163°

Pri jugu iz smeri 160° se rezultati modela kljub spreminjanju parametrov na odprtem robu ne ujemajo z rezultati meritev na boji Vida, saj pri tej smeri v modelu veter piha neposredno iz obale in ima zaradi majhne razdalje od boje Vida do obale na višino značilnih valov majhen vpliv. Rezultati modeliranja in merjeni podatki so manjših vrednosti višine valov na boji Vidi, veter je usmerjen iz obale proti morju, zato ne pričakujemo, da burja iz smeri 160° povzroča valove večjih višin ob obali.

3.5.5 Jugo iz smeri 180°

- Val $f(P_{10}, V_2)$ pri jugu iz smeri 180° in Val $f(P_{100}, V_2)$ pri jugu iz smeri 180°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,35 m pri jakosti vetra 9,9 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,4 m do 0,66 m pri jakosti vetra v razponu od 9,7 m/s do 9,9 m/s iz smeri 180°
- Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri jugu iz smeri 180°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,55 m pri jakosti vetra 12,8 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,6 m do 0,79 m pri največjih izmerjenih jakosti vetra v razponu od 12,6 m/s do 13,3 m/s iz smeri v razponu od 178° do 182°

Pri jugu iz smeri 180° se rezultati modela kljub spreminjanju parametrov na odprtem robu ne ujemajo z rezultati meritev na boji Vida in odstopajo od merjenih meritev za manjšo vrednost, saj pri tej smeri v modelu veter piha neposredno iz obale in ima zaradi majhne razdalje od boje Vida do obale na višino značilnih valov majhen vpliv. Smatra se, da so rezultati modela primerni za nadaljnje analize.

3.5.6 Jugo iz smeri 200°

- Val $f(P_{10}, V_2)$ pri jugu iz smeri 200° in Val $f(P_{100}, V_2)$ pri jugu iz smeri 200°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,63 m pri jakosti vetra 9,9 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,37 m do 0,88 m pri jakosti vetra v razponu od 9,9 m/s do 10 m/s iz smeri v razponu od 198° do 201°
 - rezultati modela so primerljivi z merjenimi podatki
- Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri jugu iz smeri 200°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,85 m pri jakosti vetra 12,8 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,7 m do 1,1 m pri največjih izmerjenih jakosti vetra v razponu od 12,2 m/s do 13,2 m/s iz smeri v razponu od 201° do 202°
 - rezultati modela so primerljivi z merjenimi podatki



3.5.7 Tramontana iz smeri 270°

- Val $f(P_{10}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 270° in Val $f(P_{100}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 270°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,87 m pri jakosti vetra 11,8 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,74 m do 1 m pri jakosti vetra v razponu od 10,3 m/s do 13,7 m/s iz smeri v razponu od 267° do 271°
 - rezultati modela so primerljivi z merjenimi podatki
- Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri tramontani iz smeri 270°
 - višina značilnega vala v modelu je 2,1 m pri jakosti vetra 20,1 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je 1,73 m pri jakosti vetra 15,7 m/s iz smeri 262°;
 - rezultati niso popolnoma primerljivi, saj močnejšega vetra iz te smeri na boji Vida ni bilo zabeleženega; smatra se, da je rezultate možno uporabiti za nadaljnjo analizo

3.5.8 Tramontana iz smeri 315°

- Val $f(P_{10}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 315° in Val $f(P_{100}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 315°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,85 m pri jakosti vetra 11,8 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,61 m do 0,85 m pri jakosti vetra v razponu od 8,5 m/s do 10 m/s iz smeri v razponu od 311° do 318°
 - rezultati modela so primerljivi z merjenimi podatki
- Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri tramontani iz smeri 315°
 - višina značilnega vala v modelu je 1,63 m pri jakosti vetra 20,1 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je 1,36 m pri jakosti vetra 17,5 m/s iz smeri 314°;
 - rezultati niso popolnoma primerljivi, saj močnejšega vetra iz te smeri na boji Vida ni bilo zabeleženega; smatra se, da je rezultate modeliranja možno uporabiti za nadaljnjo analizo

3.5.9 Tramontana iz smeri 360°

- Val $f(P_{10}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 360° in Val $f(P_{100}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 360°
 - višina značilnega vala v modelu je 0,83 m pri jakosti vetra 11,8 m/s



- višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 0,78 m do 1,32 m pri jakosti vetra v razponu od 11,5 m/s do 11,9 m/s iz smeri v razponu od 356° do 3°
 - rezultati niso popolnoma primerljivi, saj je raztros merjenih podatkov precejšen; smatra se, da je rezultate modeliranja možno uporabiti za nadaljnjo analizo
- Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri tramontani iz smeri 360°
- višina značilnega vala v modelu je 1,61 m pri jakosti vetra 20,1 m/s
 - višina značilnega vala izmerjena na boji Vida je v razponu od 1,18 m do 1,35 m pri jakosti vetra v razponu od 15,3 m/s do 15,9 m/s iz smeri v razponu od 355° do 357°;
 - rezultati niso popolnoma primerljivi, saj močnejšega vetra iz te smeri na boji Vida ni bilo zabeleženega; smatra se, da je rezultate modeliranja možno uporabiti za nadaljnjo analizo



4 REZULTATI

4.1 Rezultati modeliranja valovanja

Rezultati modeliranja valovanja se zapišejo v posamezno mrežno celico z naslednjimi parametri:

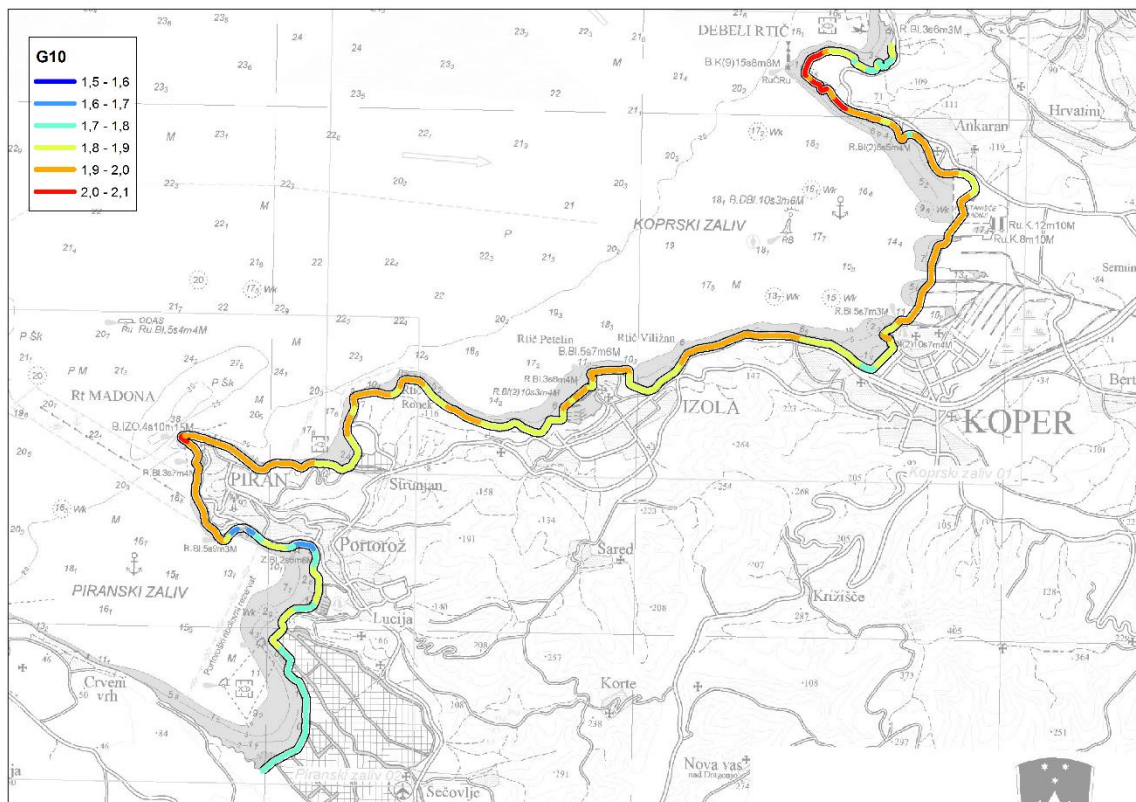
- a) značilna višina valov (rezultati vseh 27-ih izračunov so prikazani v prilogi): za izračun se upošteva $\frac{1}{2}$ vrednosti višine valov, saj je relevantna samo višina vala nad vodno gladino,
- b) srednja perioda vala,
- c) srednja smer valovanja,
- d) standardna deviacija smeri.

Za izris kart poplavne nevarnosti so relevantni le izračuni značilne višine valov. Zaradi številnih izvedenih računov (27) na različnih modelih (9 modelov glede na smeri vetra), je bilo treba izračune izvrednotiti v uporabno obliko, ki bi omogočala izris kart nevarnosti. Ovojnice najvišjih gladin morja (G_{10} (Slika 8), G_{100} (Slika 9) in G_{500} (Slika 10)) so bile pridobljene na naslednji način:

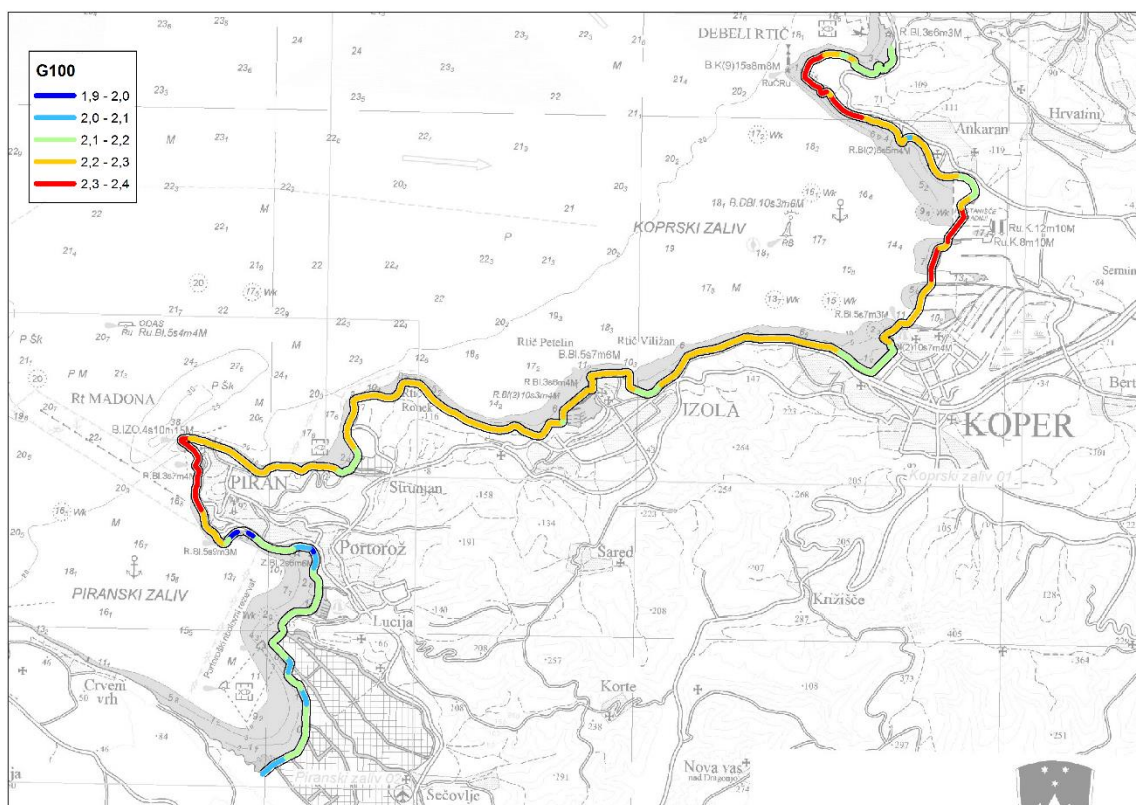
- Iz izračunov modela NSW (točke v .shp obliki) so bili izdelani rastrji (grid) različnih dimenzij, kar je posledica različno zasukanih modelov. S tem so bili na celotnem modelnem območju definirani izračuni, za razliko od prejšnjih diskretnih rezultatov v točkah.
- Za namen prikaza izračunov je bila izdelana linija na obali. Gre za nekoliko poenostavljeno in spremenjeno črto obale pri srednji višini morja:
 - linija je generalizirana (z manj detajli),
 - poteka po zunanjem robu valobranov marin, mandračev ipd.,
 - iz linije so izvzeti zalivi/kanali koprskе luke, saj tam izračuni niso smiselni (model ne upošteva odboja, rezultati so bili izvrednoteni 100m od obale).
- Linija na obali je bila razrezana na 100m dolge odseke.
- Ker izračuni tik ob obali niso dovolj natančni, je bila izdelana še ena linija v oddaljenosti 100 m od obale. Na tej liniji so bili prebrani izračuni modela iz vseh 27-ih izdelanih rastrov in nato preneseni na osnovne odseke linije na obali.
- Iz tako dobljenih 27-ih izračunov so bile za vsak odsek izdelane ovojnice maksimalnih vrednosti značilne višine valov in dodane informacije o smeri vetra (računskem primeru), ki je povzročil ta maksimum. Kot končni izračun in hkrati vhodni podatek za izdelavo kart nevarnosti pa so bile izdelane ovojnice z maksimalno gladino morja za G_{10} , G_{100} in G_{500} .



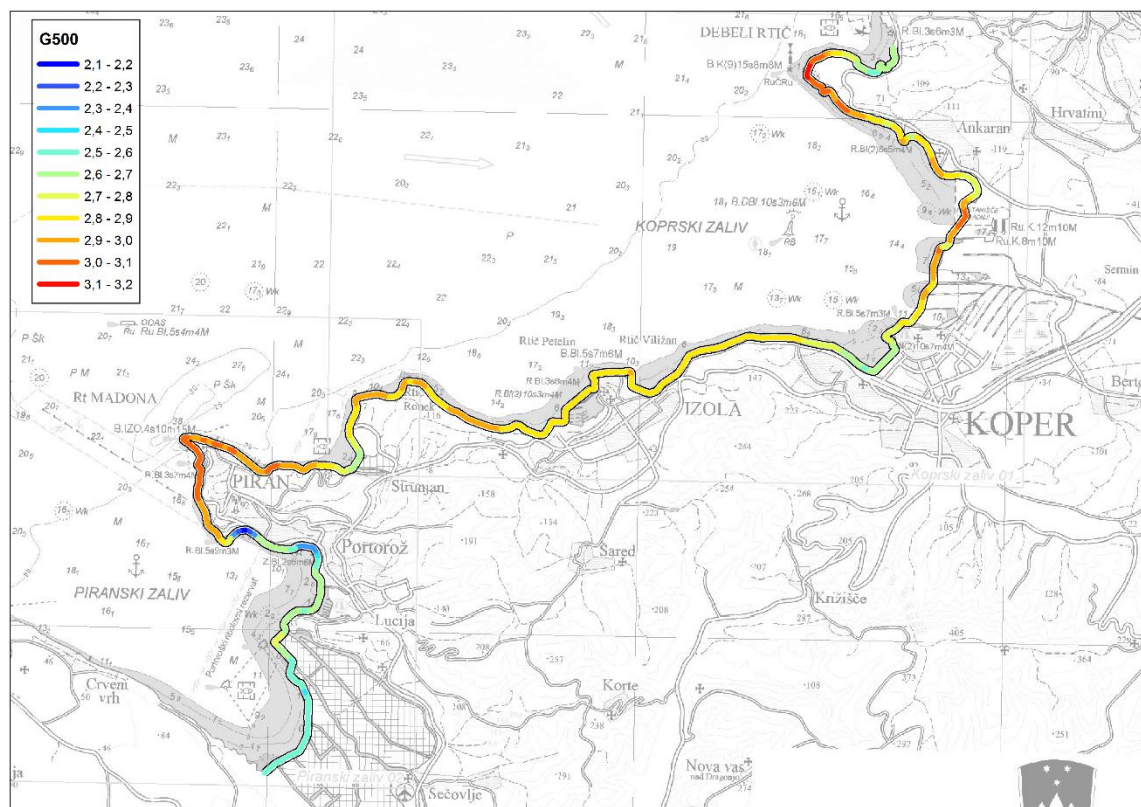
Naloga I/2/1: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji
Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 2014



Slika 8: Prikaz izračunov modela – ovojnica G₁₀



Slika 9: Prikaz izračunov modela - ovojnica G₁₀₀.



Slika 10: Prikaz izračunov modela: ovojnica G500.

4.2 Določitev dosega vode na terenu in analiza rezultatov

Območja razredov nevarnosti so izrisana od linije z višino srednje vrednosti morja pridobljene z obdobjno statistično obdelavo bibavice, ki je geodetsko na višini 0,077 m.n.v. in predstavlja izohipso okoli katere niha bibavica. Uporabljena bi lahko bila tudi druga linija na obali npr. uradna obalna linija, ki določa pravni režim morsko dobro, vendar ta že presega višino srednje visoke vode (sSVV) in srednjo višjo visoko vodo (SVVV).

Propagacija valov po terenu ni bila izvedena, saj je disipacija energije in prelivanje valov preko infrastrukture na obali hidravlični fenomen, ki je navadno izrazito trirazsežen in potrebuje obravnavo za vsak posamezni primer posebej. Uporabljeni model MIKE 21 NSW pa tovrstnega modeliranja ne omogoča. Redukcija višine valovanja je zaradi vpliva infrastrukture na obali nujna, a neznana, tudi zaradi medsebojnega vpliva različnih vrst infrastrukture, saj se valovanje ne širi vedno premočrtno na obalo, uklonjeni valovi pa se lahko zaradi vpliva infrastrukture na obali povečajo. Empirična redukcija višine valovanja glede na posamezno vrsto infrastrukture na obali bi lahko vodila v povečanje ogroženosti saj ne bi bili zajeti hidravlični fenomeni sočasnega delovanja posameznih infrastruktur vzdolž obale.

Pri določitvi obalne linije dosegov na terenu so bile prevzete vrednosti iz modela MIKE 21 NWS, kot je opisano v točki 4.1. Vrednosti so bile izbrane tako, da smo iz ovojnice izbrali maksimalno vrednost znotraj območja modeliranja. Območje modeliranja je bilo izbrano



tako, da pokriva območje pomembnega vpliva poplav (OPVP) za vsako območje posebej. Tako je za Piran (OPVP – 42 Piran) izbrana maksimalna vrednost za vsak dogodek posebej (G_{10} , G_{100} in G_{500}). Ravno tako so bile izbrane maksimalne vrednosti za Izolo (OPVP – 41 Izola). V preglednicah 8 in 9 so prikazane maksimalne vrednosti za območje modeliranja Pirana in Izole.

Preglednica 8: Maksimalne vrednosti območja Izola

	Maks. vrednost (plima+val, m.n.m.)	Višina plime (m.n.m.)	Izvor vrednosti
G10	1,92	1,45	tramontana 315°
G100	2,25	1,79	tramontana 315°
G500	2,90	1,99	burja 0°

Preglednica 9: Maksimalne vrednosti območja Piran

	Maks. vrednost (plima+val, m.n.m.)	Višina plime (m.n.m.)	Izvor vrednosti
G10	2,00	1,45	tramontana 270°
G100	2,33	1,79	tramontana 270°
G500	3,05	1,99	tramontana 270°

Pri izrisu linij dosegov in globin smo si pomagali s programom MIKE 21. Izdelan je bil model terena iz LIDAR posnetka za vsako območje posebej. Posnetek vsebuje točke na 0,5 m, zato je izdelan model terena z enako velikostjo celice 0,5 x 0,5 m za obe območji modeliranja.

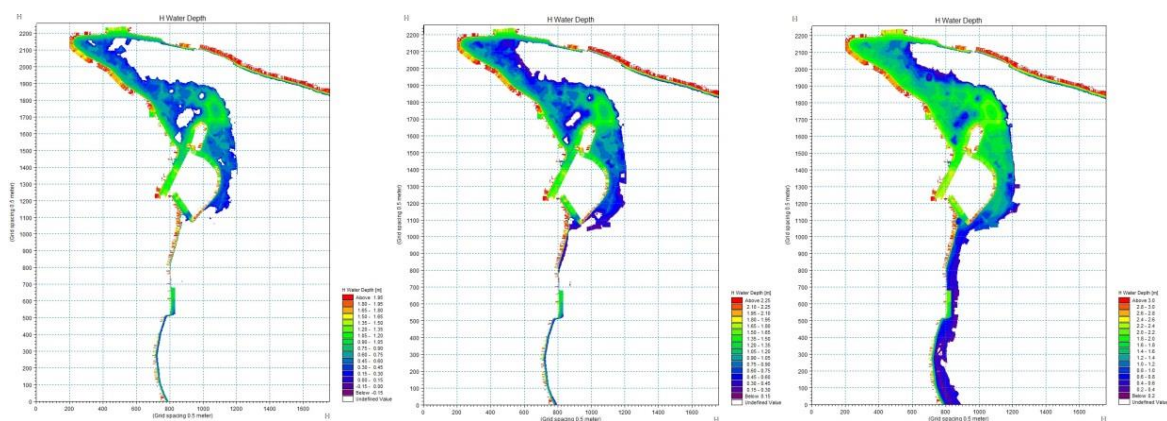
Območje modeliranja Izola:

Velikost modela je 1250 m v višino in 1400 m v dolžino. Število računskih celic 2500 x 2800.

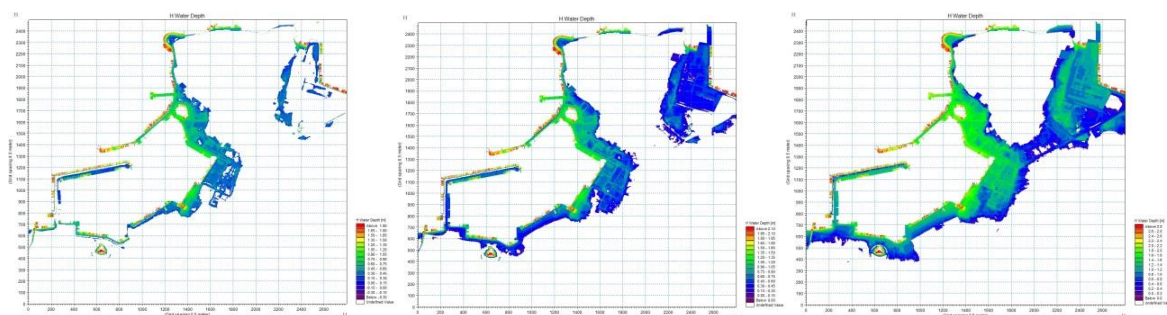
Območje modeliranja Piran:

Velikost modela je 1130 m v višino in 880 m v dolžino. Število računskih celic 2260 x 1760.

Izračun je potekal za vse tri povratne dobe gladin z upoštevanjem maksimalne višine iz modela MIKE 21 NWS. S pomočjo programa MIKE 21 je določen doseg in globina za vsako celico modela terena.

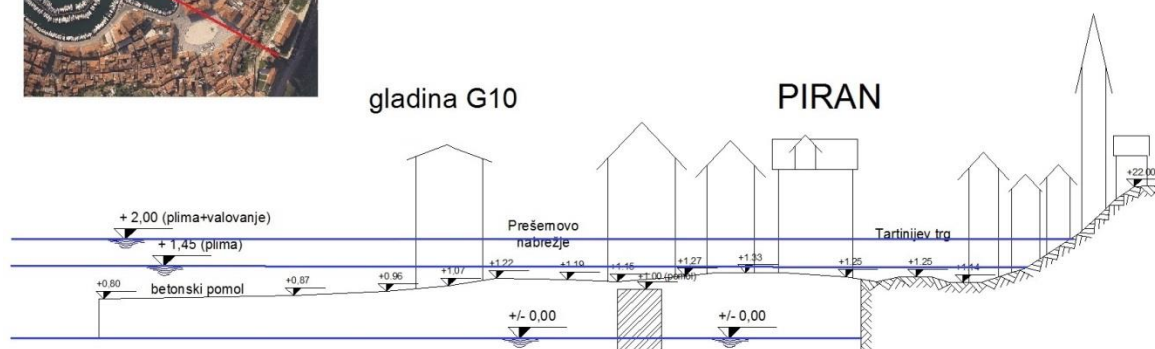


Slika 11: Rezultat modela MIKE 21 (Piran G₁₀, G₁₀₀ in G₅₀₀)

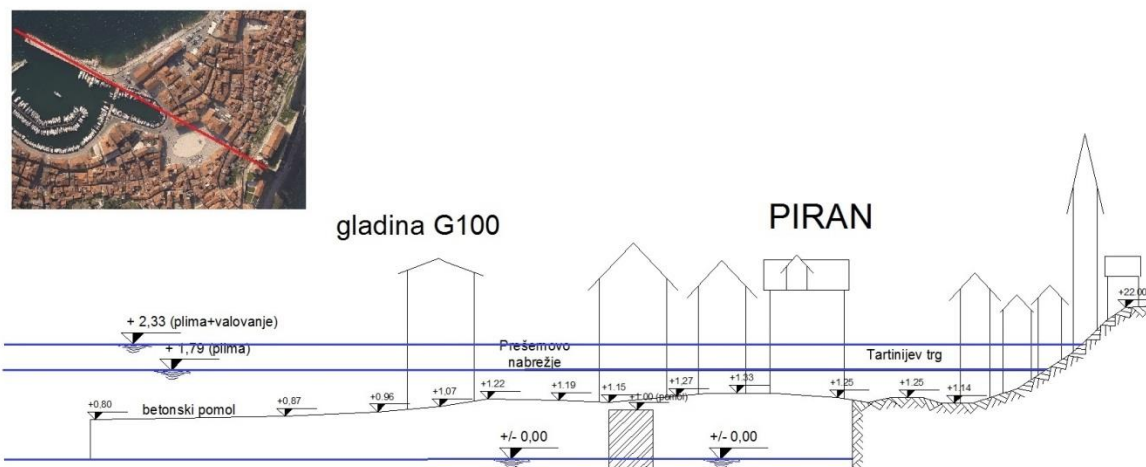


Slika 12: Rezultat modela MIKE 21 (Izola G₁₀, G₁₀₀ in G₅₀₀)

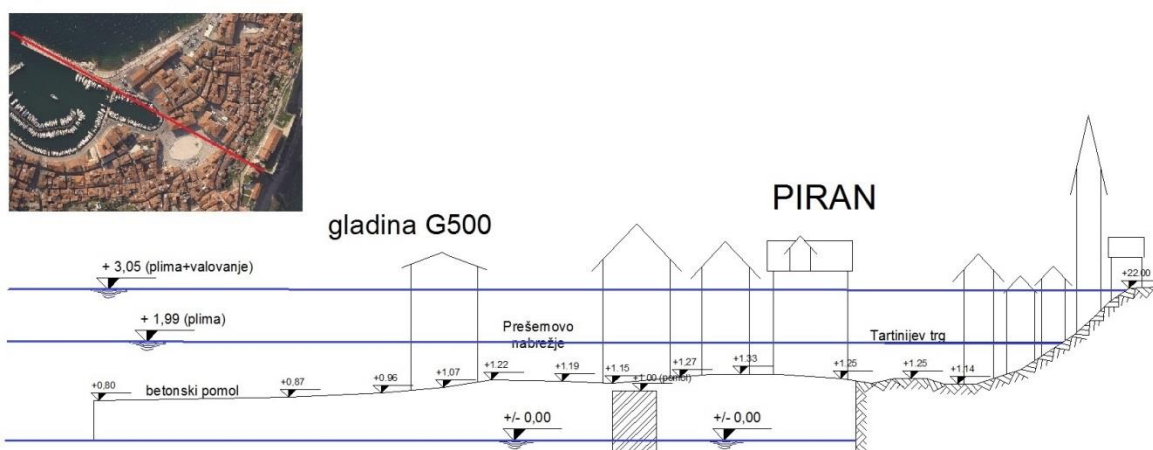
Shematski prikaz višine gladine morja za vse tri dogodke za Izolo in Piran. Višina gladine je razdeljena na plimo in valovanje. Prikazane so tudi višine posameznih ulic, kjer se pogosto pojavljajo poplave.



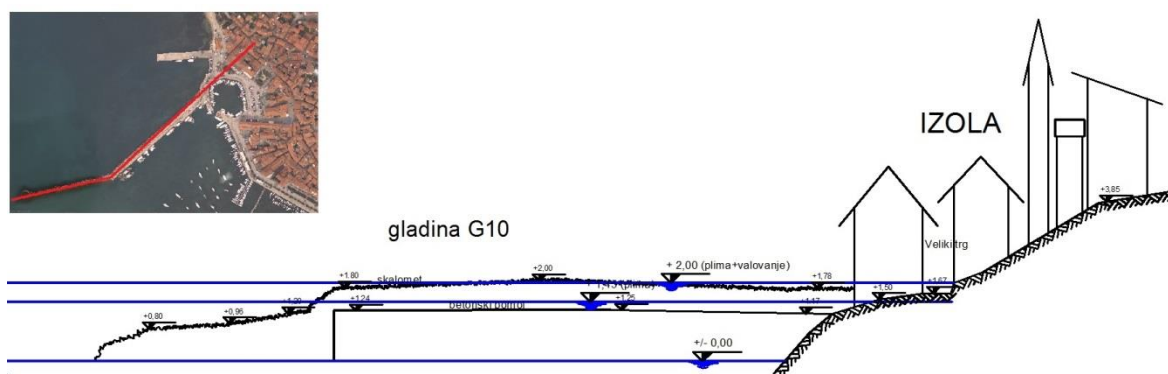
Slika 13: Shema gladine G₁₀ za Piran



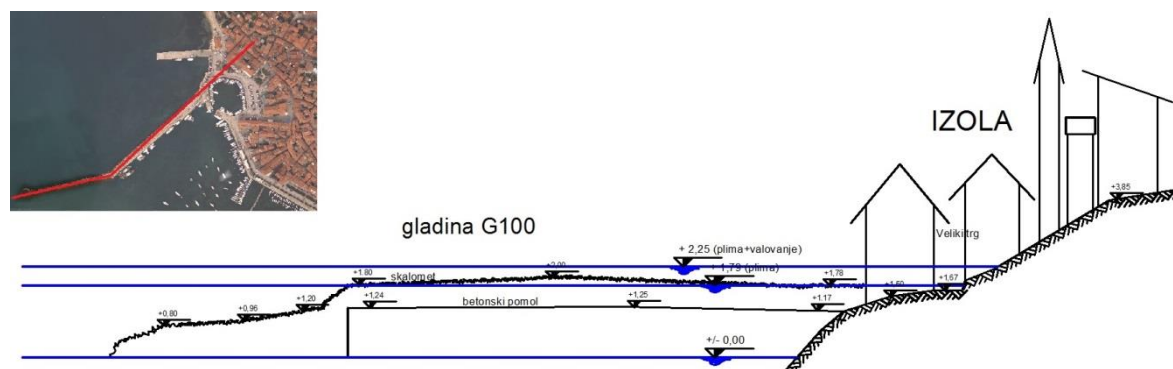
Slika 14: Shema gladine G_{100} za Piran



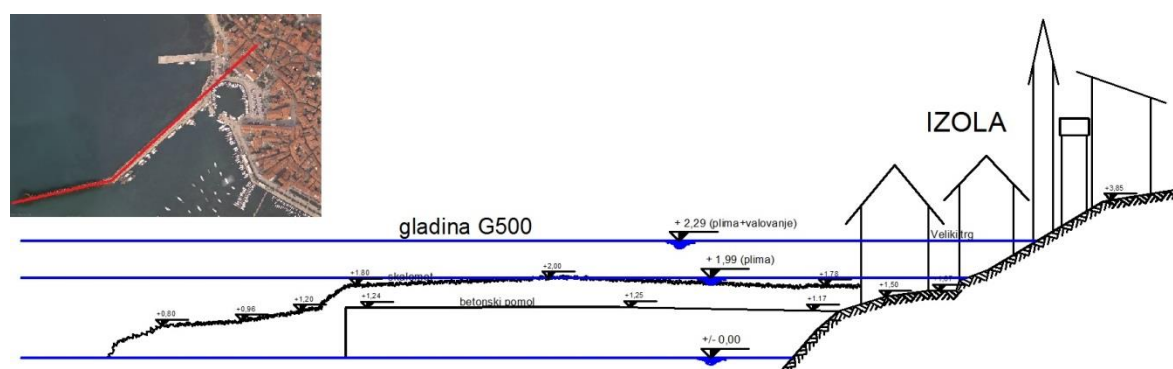
Slika 15: Shema gladine G_{500} za Piran



Slika 16: Shema gladine G_{10} za Izolo



Slika 17: Shema gladine G_{100} za Izolo



Slika 18: Shema gladine G_{500} za Izolo

Pri izdelovanju kart smo upoštevali vrednosti ovojnice modela MIKE 21 NWS. Končni rezultat so karte dosegov in globine za posamezne dogodke ter karta razredov poplavne nevarnosti. S pomočjo rezultatov globin in dosega so bili izračuni primerjani tudi z zabeleženimi poplavnimi dogodki.

Največja zabeležena poplava na slovenski obali od leta 1960 je bila 25. in 26. novembra leta 1969. Višina morja je znašala 394 cm na letvi, kar je 185 cm v državnem koordinatnem sistemu. Kolega (2005) navaja, da je bila višina vode na Tartinijevem trgu približno 1 m, pri tem je višina valovanja neznana. Po našem modelu znaša višina vode pri dogodku G_{100} na Tartinijevem trgu 1,08 cm, kar predstavlja zelo dobro ujemanje ob predpostavki, da je imela takratna poplava več kot 100-letno plimo. V omenjeni študiji so podane tudi skice zabeleženih dosegov za Izolo in Piran (slika 19).



Naloga I/2/1: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji
Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 2014



Slika 19: Zabeležene poplave leta 1969 za Izolo in Piran (Kolega, 2005)

Pri analizi rezultatov modela nam je prav prišel podatek tudi o poplavi plime leta 1966. Kolega (2005) navaja, da je bila 4. novembra leta 1966 poplavljen Tartinijev trg v višini dobrega pol metra (slika 20).



Slika 20: Poplave 4. november 1966 (Kolega, 2005)

V študiji so tudi opisane in analizirane poplave od leta 1960 do 2000 ter zrisane karte vsakoletne ter ekstremne poplave samo z upoštevanjem plime (sliki 21 in 22).



Slika 21: Karta vsakoletnih in ekstremnih poplav plime – Izola (Kolega, 2005)



Naloga I/2/1: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji
Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 2014



Slika 22: Karta vsakoletnih in ekstremnih poplav plime – Piran (Kolega, 2005)



4.3 Izdelava kart nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti

4.3.1 Karte poplavne nevarnosti

V prilogah številka 11.1 (Piran) in 11.2 (Izola) so izrisani dosegi za dogodke G_{10} , G_{100} in G_{500} . Sledi šest prilog: 12.1 (Piran), 12.2 (Izola), 13.1 (Piran), 13.2 (Izola), 14.1 (Piran) in 14.2 (Izola), kjer so izrisane globine za vse dogodke posebej (G_{10} , G_{100} in G_{500}). Globine so prikazane na naslednji način:

- globina vode manjša od 0,5 m,
- globina vode enaka ali večja od 0,5 m in manjša od 1,5 m,
- globina vode večja ali enaka od 1,5 m.

Del karte poplavne nevarnosti (KPN) predstavljajo tudi zmnožki globine in hitrosti vode pri G_{100} . Pravilnik jih razvršča v tri območja, tj. območja, kjer je:

- zmnožek globine in hitrosti vode manjši od $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$,
- zmnožek globine in hitrosti vode enak ali večji od $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ in manjši od $1,5 \text{ m}^2/\text{s}$,
- zmnožek globine in hitrosti vode večji ali enak od $1,5 \text{ m}^2/\text{s}$.

Karta zmnožkov globine in hitrosti je potrebna pri dogodku G_{100} , saj se rezultati uporabijo pri interpretaciji razredov poplavne nevarnosti (KRPN). Za določevanje razredov poplavne nevarnosti pa so potrebna tudi območja, kjer je vrednost hitrosti večja od 1 m/s . V našem primeru hitrosti niso izračunavane, tako da karte zmnožka globine in hitrosti ni.

4.3.2 Karte razredov poplavne nevarnosti

Karte razredov poplavne nevarnosti so izrisane kot jih razvršča Pravilnik:

- razred velike nevarnosti (Pv),
- razred srednje nevarnosti (Ps),
- razred male nevarnosti (Pm),
- razred preostale nevarnosti (Pp).

Razred velike nevarnosti je tam, kjer je pri gladini G_{100} , globina vode enaka ali večja od 1,5 m oziroma zmnožek globine in hitrosti vode enak ali večji od $1,5 \text{ m}^2/\text{s}$. Razred srednje nevarnosti je tam, kjer je pri G_{100} globina vode enaka ali večja od 0,5 m in manjša od 1,5 m oziroma zmnožek globine in hitrosti vode enak ali večji od $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ in manjši od $1,5 \text{ m}^2/\text{s}$ oziroma, kjer je pri gladini G_{10} globina vode večja od 0,0 m. Razred male nevarnosti je tam, kjer pri G_{100} globina vode ne presega 0,5 m in med srednjo nevarnostjo. Razred preostale nevarnosti smo upoštevali doseg G_{500} . Razred preostale nevarnosti je lahko tudi večji od dosega G_{500} , če gre za znan dogodek ali izredne razmere. V našem primeru ni bilo določenih takih območij.

V prilogah številka 15.1(Piran) in 15.2(Izola) so izrisani vsi razredi poplavne nevarnosti v merilu M 1:2500.



5 ZAKLJUČEK

V poročilu je prvič izračunano valovanje za celotno teritorialno morje Republike Slovenije in iz vrednotene gladine ob sočasnem nastopu verjetne plime in valovanja v skladu s Pravilnikom za celotno obalo Republike Slovenije. Za izračun propagacije valovanja je uporabljen v svetu priznan in validiran numerični model DHI MIKE 21 NSW. Umerjanje valovanja je bilo možno le z meritvami na eni lokaciji (pred Piransko punto) tj. na boji Vida. V letu 2014 sta bili postavljeni še dve boji, vendar nekajmesečne meritve ne omogočajo relevantnih podatkov za dodatno umerjanje. Za ustrezno umerjanje, predvsem zaradi natančnejšega umerjanja propagacije valovanja ob obali, bi bilo treba izvesti tudi meritve valovanja na več točkah ob obali. Poudariti je tudi treba, da umerjanje modela valovanja ni tako enoznačno kot je npr. umerjanje hidravličnih modelov vodotokov, saj je ob izbrani jakosti vetra in smeri vetra lahko prisoten znaten raztros podatkov o merjenih višinah valovanja ker model zaradi svoje kvazi-stacionarne narave ne more upoštevati predhodnega valovanja in spremenljivih vetrovnih razmer. Umerjanje je bilo zato izvedeno na način, da se podano valovanje na odprtem robu modela ob izbranem vetru ne zmanjšuje po računski mreži, obenem pa na mestu boje Vida še vedno ostaja v rangu merjenih podatkov. Za natančnejše izračune propagacije valovanja priporočamo, da se vzpostavi obdobjno ali kontinuirno merjenje višine valov blizu obale Kopra, Izole, Pirana in Portoroža.

Vse kombinacije gladin (G_{10} , G_{100} in G_{500}) vsebujejo verjeten sočasni nastop maksimalne plime in valov glede na verjetnost nastopa dogodka v skladu s Pravilnikom. Pravilnik ne določa verjetnosti nastanka valov (višino) v kombinaciji z verjetnostjo nastanka plime (višina). Prav tako ne določa, katera višina valov se uporabi za izračun gladine npr. srednja višina, značilna višina ali maksimalna višina. Dodatno Pravilnik tudi ne dopušča omilitov (ali celo izločitev) manj verjetnih scenarijev, npr. sočasen nastop visoke plime in vetra iz smeri burje ali tramontane, saj navadno ob takšnih vetrovnih razmerah zračni pritisk ni zelo nizek, veter pa ne »potiska« morja v Tržaški zaliv kot v primeru vetra iz smeri jugo. Visoke plime namreč skoraj vedno spremlja južni veter. Vsekakor ne gre predvidevati, da je v skladu s Pravilnikom določena gladina G_{100} dogodek z verjetnostjo prekoračitve 0,01 v posameznem letu oziroma dogodek s 100-letno povratno dobo. Gre namreč za dogodek s precej manjšo verjetnostjo nastopa. Enako velja za gladini G_{10} in G_{500} . Nevarnost poplavljanja morja, katere določitev (metodologijo) opredeljuje Pravilnik, je zato morda pretirana in bi bilo glede na ugotovitve študije morda smiselno nekoliko omiliti določbe Pravilnika.

Za izračun gladin je bila uporabljena značilna višina valov, ki jo navadno kot rezultat podajajo numerični modeli. Značilna višina valov je večja od srednje višine valov in manjša od maksimalne višine valov, zato je lahko primernejša za izračun dosega valovanja morja na obali kot maksimalna višina valov ali srednja višina valov, ker valovi ob stiku z infrastrukturo na obali (npr. zidov, valobranov, stavb, ipd.) izgubljajo energijo, njihov doseg pa je odvisen od količine izgubljene energije glede na posamično vrsto infrastrukture na obali. Disipacija energije in prelivanje valov preko obalne infrastrukture je hidravlični fenomen, ki je navadno izrazito trirazsežen in potrebuje obravnavo za vsak posamezni primer posebej. Redukcija višine valovanja je zaradi vpliva infrastrukture na obali nujna, a neznana, tudi zaradi medsebojnega vpliva različnih vrst infrastrukture, saj se valovanje ne širi vedno premočrtno na obalo, uklonjeni valovi pa se lahko zaradi vpliva infrastrukture na obali povečajo. Empirična redukcija višine valovanja glede na posamezno



vrsto infrastrukture na obali bi lahko vodila v povečanje ogroženosti, saj ne bi bili zajeti hidravlični fenomeni sočasnega delovanja posameznih infrastruktur vzdolž obale. Uporaba maksimalne višine valovanja za izračun dosega valovanja sicer predstavlja največjo varnost, vendar tudi največjo prostorsko omejitev. Predpostavljeno je, da se energija najvišjih valov ob stiku z infrastrukturo na obalo zmanjša toliko, da je višina valov za infrastrukturo na obali enaka velikosti značilne višine valov. Za natančnejše izračune širjenja valov v obalnem pasu (kopnega) bi bilo potrebno uporabiti druge numerične modele, ki lahko upoštevajo tudi vpliv infrastrukture na obali.

Kljub temu, da obravnavani območji v Piranu in Izoli obsegata le manjši del obale, je bilo modeliranje valovanja izvedeno za celotno teritorialno morje in za celotno obalo izračunana ovojnica maksimalnih vrednosti valovanja ter prenesena na 100 m odseke linije ob obali. Te podatke (višina valov, smeri, višina morja in skupna gladina) lahko nosilci urejanja prostora nadalje uporabijo za presoje poplavne nevarnosti morja tudi na drugih odsekih. Takšna potreba se je že izkazala, saj so bili pristopi k izračunu valovanja tudi napačni, vedno pa empirične narave.

Rezultati modeliranja širjenja valovanja so lahko uporabljeni tudi širše, na primer:

- kot robni pogoj za natančnejšo modeliranje širjenja valovanja znotraj pristanišč, marin in mandračev;
- za izračun obtežbe zaradi valovanja pri dimenzioniranju infrastrukture na obali, saj numerični model poda kot rezultat tudi energijo valovnega spektra;
- za določitev območij slovenskega morja, kamor se lahko zatečejo plovila ob večjih valovih.



6 VIRI IN LITERATURA

- ARSO, Hidrološki letopis Slovenije 2003, 14 225 str.
- ARSO (2010), Poročilo visokih valovih ob slovenski obali 9. in 10. marca 2010, 4 str.
- ARSO (2012), Visoko valovanje in nizke temperature morja ob slovenski obali v prvi polovici februarja 2012, 6 str.
- ANDERSEN, T.L., FRIGGARD, P. (2011). Lecture notes for the course in water wave mechanics. Aalborg, Aalborg University, Department of Civil Engineering Water and Soil, 116 p.
- ANIL ARI GÜNER, H., YÜKSEL, Y., CEVIK, E. Ö. (2013). Estimation of wave parameters based on nearshore wind–wave correlations. *Ocean Engineering* 63 (2013) 52–62
- DINGEMANS, M.W., STIVE, M.J.F., BOSNIA, J., DE VRIEND, H.J., VOGEL, J.A. Directional nearshore wave propagation and induced currents, 15 p.
- GOSAR, L., POGAČNIK, N., STEINMAN, F., PLAZAR, F., POGAČNIK, E., PREŠEREN, T. (2007). Strokovne podlage za DLN Žusterna – Maritimna študija – Končno poročilo. Ljubljana, 137 str.
- Harpha Sea d.o.o. (2014). Izboljšana batimetrija in topografija morja vključno s 3D posnetkom obale ter določitvijo obalnih linij za potrebe izvajanja Morske direktive, Koper, 22 str.
- HLADNIK, V., MALAČIČ, V. (2011). Roža vetrov in roža valov – kateri valovi se pojavljajo pri določenih vetrovih. Zbirka zaključenih raziskovalnih poročil. Piran. NIB-MBP Poročila MBP – Morska biološka postaja: št. 129, 20 str.
- KOMAC, B., NATEK, K., ZORN, M. (2008). Geografski vidiki poplav v Sloveniji. *Geografija Slovenije* 20. Ljubljana, 180 str.
- KOLEGA, N. (2005). Poplave morja na slovenski obali. Diplomsko delo. Koper, Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije Koper, 108 str.
- KOLEGA, N. (2006). Slovenian coast sea flood risk. *Acta geographica Slovenica*, 46 (2) 143–169.
- MIKE 21 VALIDATION REPORT
(www.mikebydhi.com/upload/.../waves/M21_NSW_Validation.pdf)
- MASSEL, S.R., BRINKMAN, R.M. (1998). On the determination of directional wave spectra for practical applications. *Applied Ocean Research* 20 (1998) 357–374
- POGAČNIK, N. (2004). Hidravlično modeliranje valovanja s stalnim spektrom. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerzitetni študij vodarstva in komunalnega inženirstva, 64 str.
- POLAJNAR, J. (2005). Visoke vode v Sloveniji leta 2004. *Ujma* 19 25–29.
- POLAJNAR, J. (2006). Visoke vode v Sloveniji leta 2005. *Ujma* 20 45–47.
- POLAJNAR, J. (2007). Visoke vode v Sloveniji leta 2006. *Ujma* 21 42–44.
- POLAJNAR, J. (2008). Visoke vode v Sloveniji leta 2007. *Ujma* 22 28–30.
- POLAJNAR, J. (2009). Visoke vode v Sloveniji leta 2008. *Ujma* 23 24–26.
- POLAJNAR, J. (2010). Visoke vode v Sloveniji leta 2009. *Ujma* 24 25–29.
- POLAJNAR, J. (2011). Visoke vode v Sloveniji leta 2010. *Ujma* 25 28–31.
- POLAJNAR, J. (2012). Visoke vode v Sloveniji leta 2011. *Ujma* 26 33–34.
- POLAJNAR, J. (2013). Visoke vode v Sloveniji leta 2012. *Ujma* 27 33–35.



- PRŠIČ, M. (2007). HIDROTEHNIČKI SUSTAVI – Poglavlja: Pomorske gradnje. Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 94 str.
- ROBIČ, M. (2004). Visoke plime v letih 2002 in 2003. Ujma 17–18 39–45.
- ROBIČ, M., STROJAN, I. (2009). Izjemne višine morja leta 2008. Ujma 23 27–36.
- SAKSIDA, J. (2009). Ocena vplivov valovanja morja na območju kopališča Portorož. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 114 str.
- SAKSIDA, J. (2009). Vpliv valovanja morja na konstrukcije. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerzitetni študij vodarstva in komunalnega inženirstva, 70 str.
- STEINMAN, F., GOSAR, L., KOMPARE, B., BANOVEC, P., POGAČNIK, N. (2004). Strokovne podlage za lokacijski načrt "Marina in komunalni privezi" v Kopru – Maritimna študija – Končno poročilo. Ljubljana, 179 str.
- World meteorological organization (1998). Guide to wave analysis and forecasting, 168 p.



7 PRILOGE

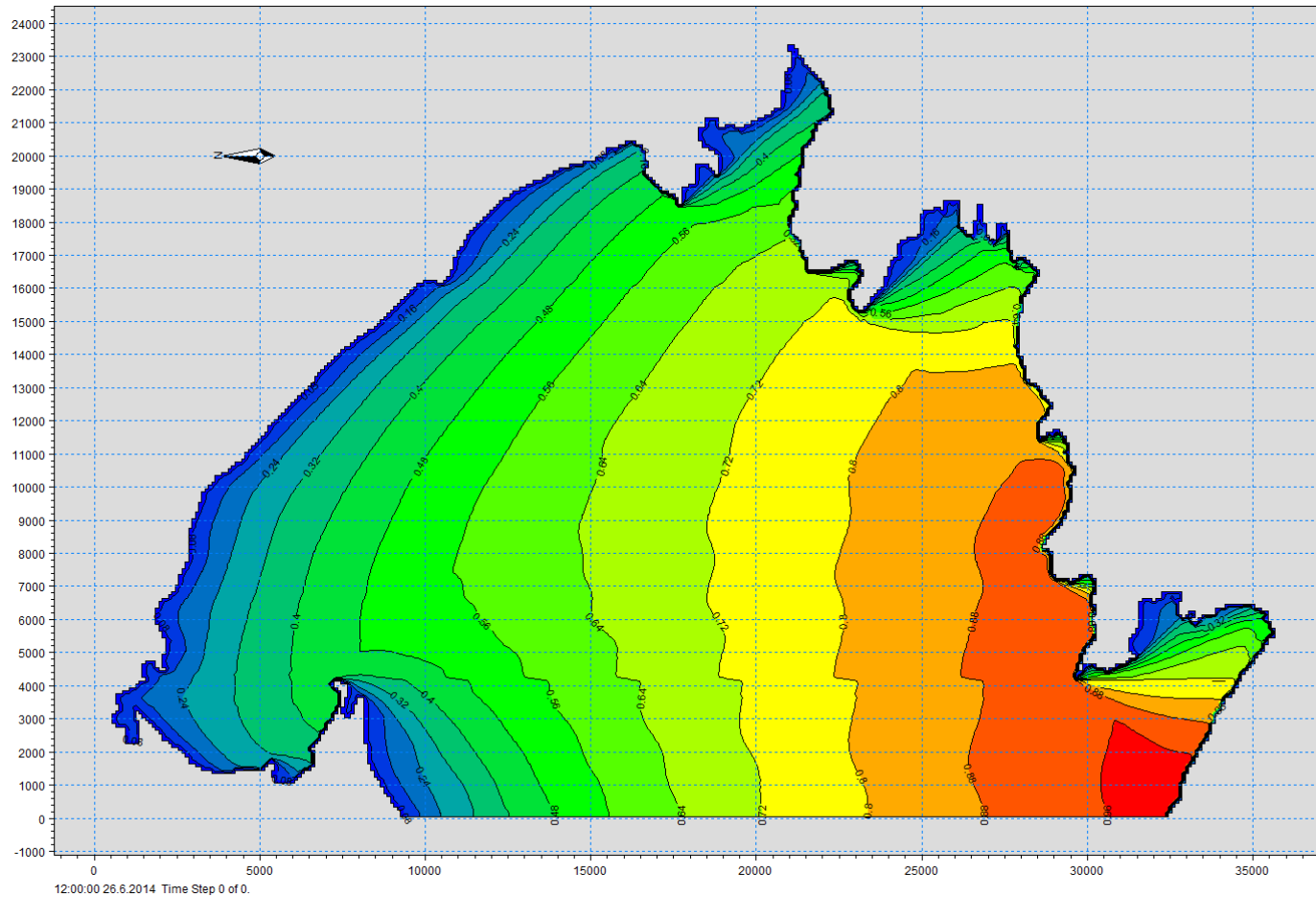
PRILOGA 1: Višina značilnih valov (m) pri burji iz smeri 0°	
PRILOGA 2: Višina značilnih valov (m) pri burji iz smeri 45°	
PRILOGA 3: Višina značilnih valov (m) pri burji iz smeri 90°	
PRILOGA 4: Višina značilnih valov (m) pri jugu iz smeri 160°	
PRILOGA 5: Višina značilnih valov (m) pri jugu iz smeri 180°	
PRILOGA 6: Višina značilnih valov (m) pri jugu iz smeri 200°	
PRILOGA 7: Višina značilnih valov (m) pri tramontani iz smeri 270°	
PRILOGA 8: Višina značilnih valov (m) pri tramontani iz smeri 315°	
PRILOGA 9: Višina značilnih valov (m) pri tramontani iz smeri 360°	
PRILOGA 10: Pregledna situacija	M 1:5000
PRILOGA 11: Situacija KPN – dosegi poplavnih linij G_{10} , G_{100} in G_{500}	M 1:2500
PRILOGA 12: Situacija KPN – globine pri G_{10}	M 1:2500
PRILOGA 13: Situacija KPN – globine pri G_{100}	M 1:2500
PRILOGA 14: Situacija KPN – globine pri G_{500}	M 1:2500
PRILOGA 15: Situacija KRPN – razredi poplavne nevarnosti.....	M 1:2500



8 PODATKOVNI MEDIJ

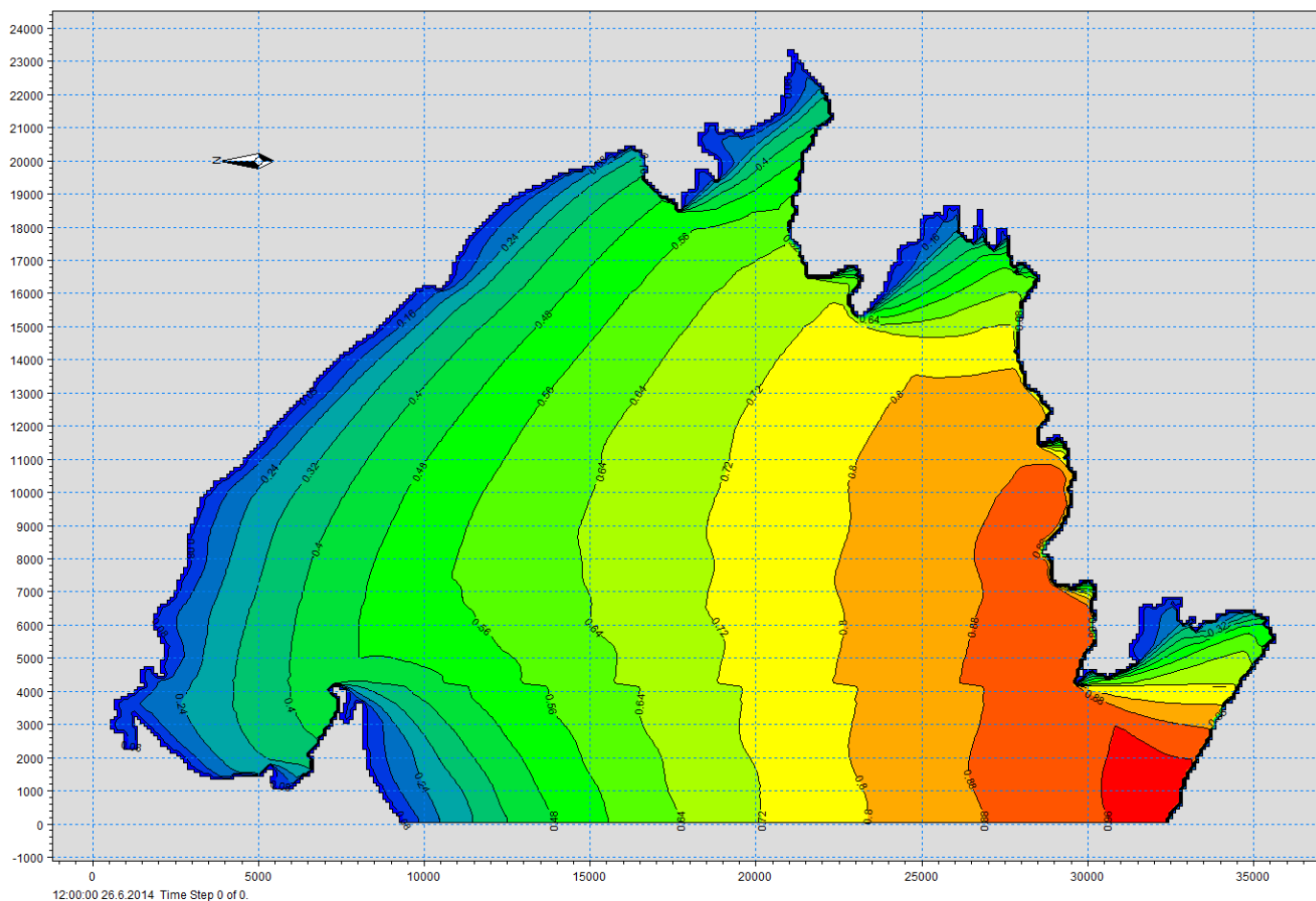


PRILOGA 1: Višina značilnih valov (m) pri burji iz smeri 0°

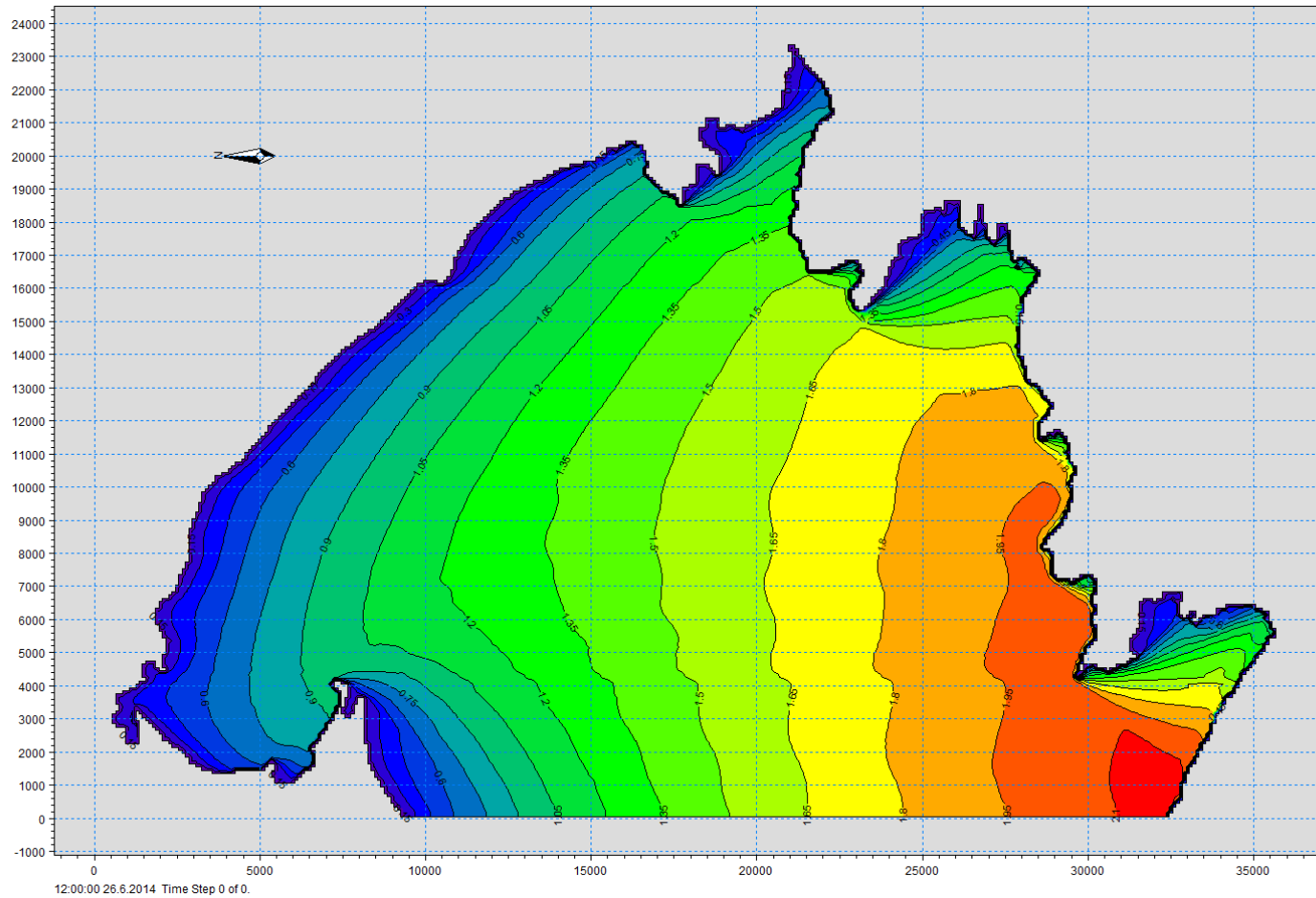




Naloga I/2/1: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji
Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 2014



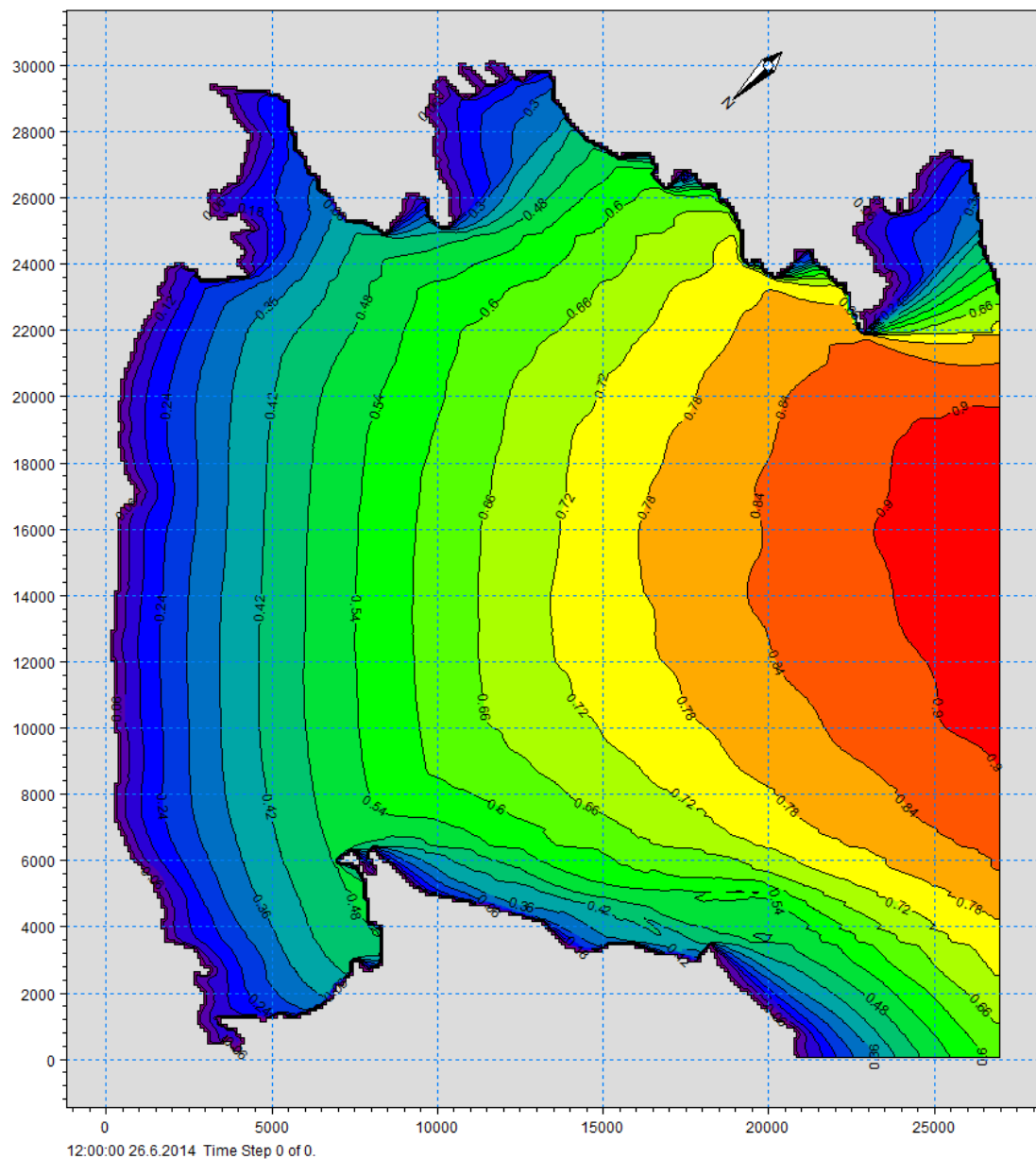
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{100}, V_2)$ pri burji iz smeri 0°



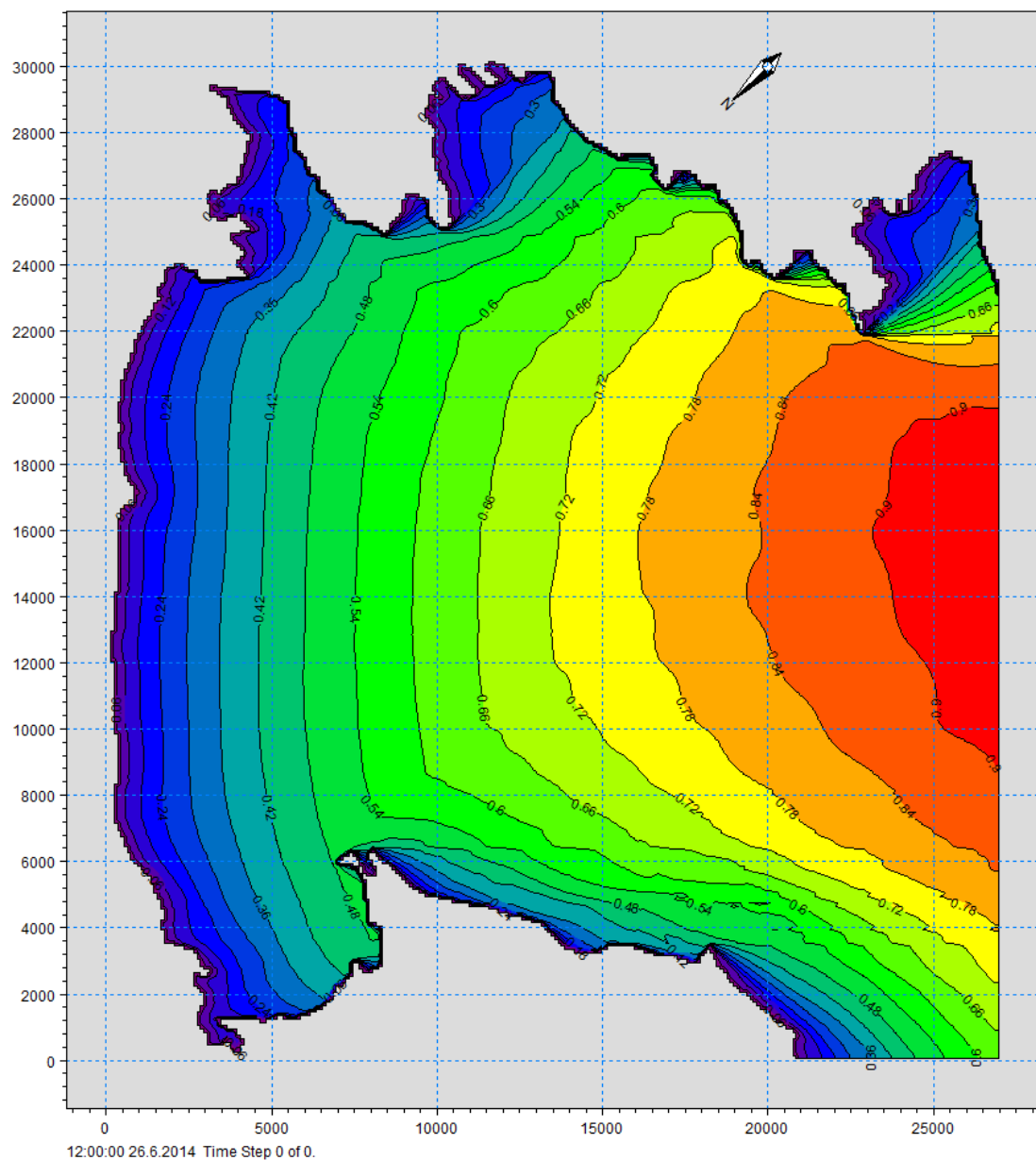
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri burji iz smeri 0°



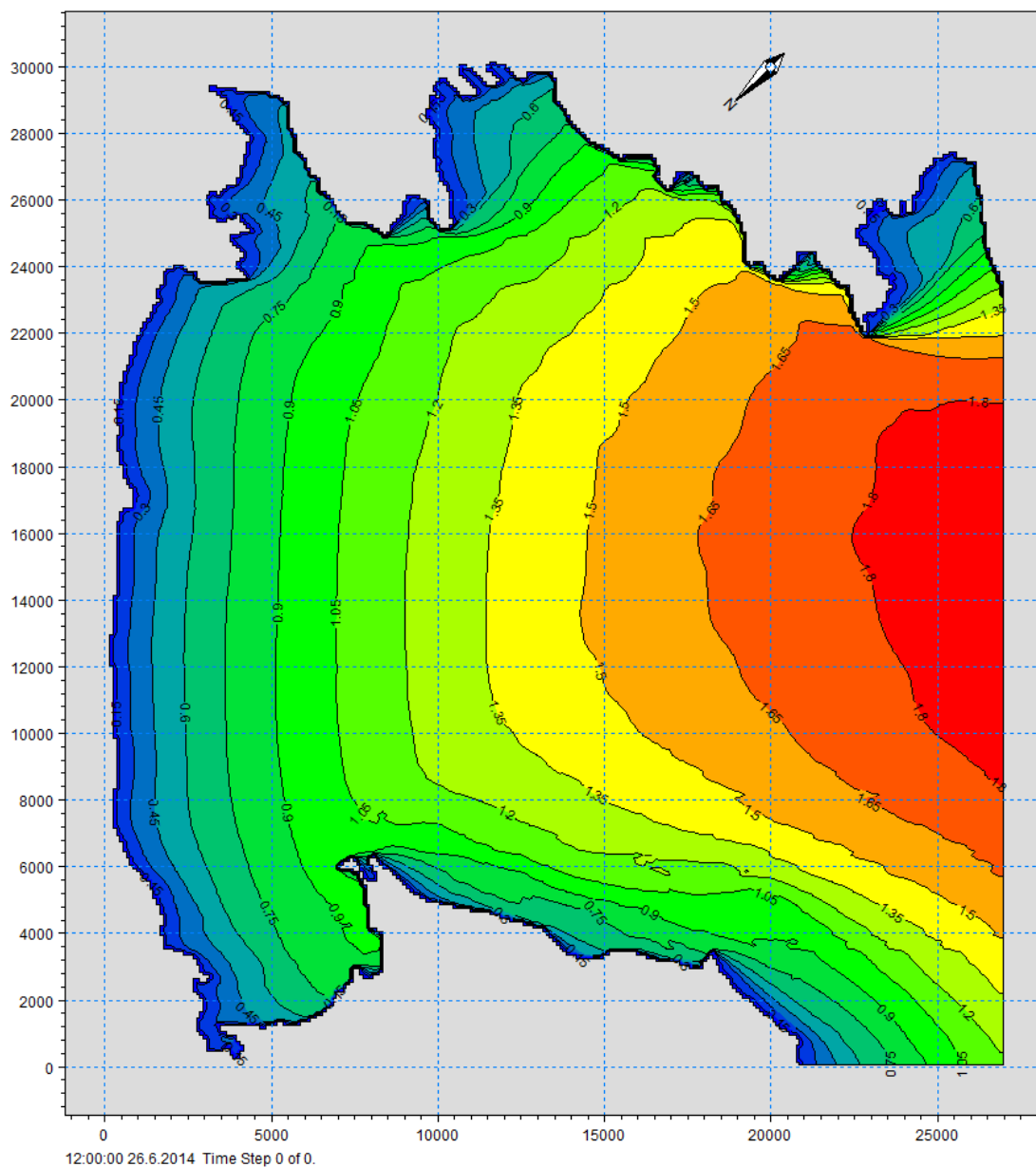
PRILOGA 2: Višina značilnih valov (m) pri burji iz smeri 45°



Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{10}, V_2)$ pri burji iz smeri 45°



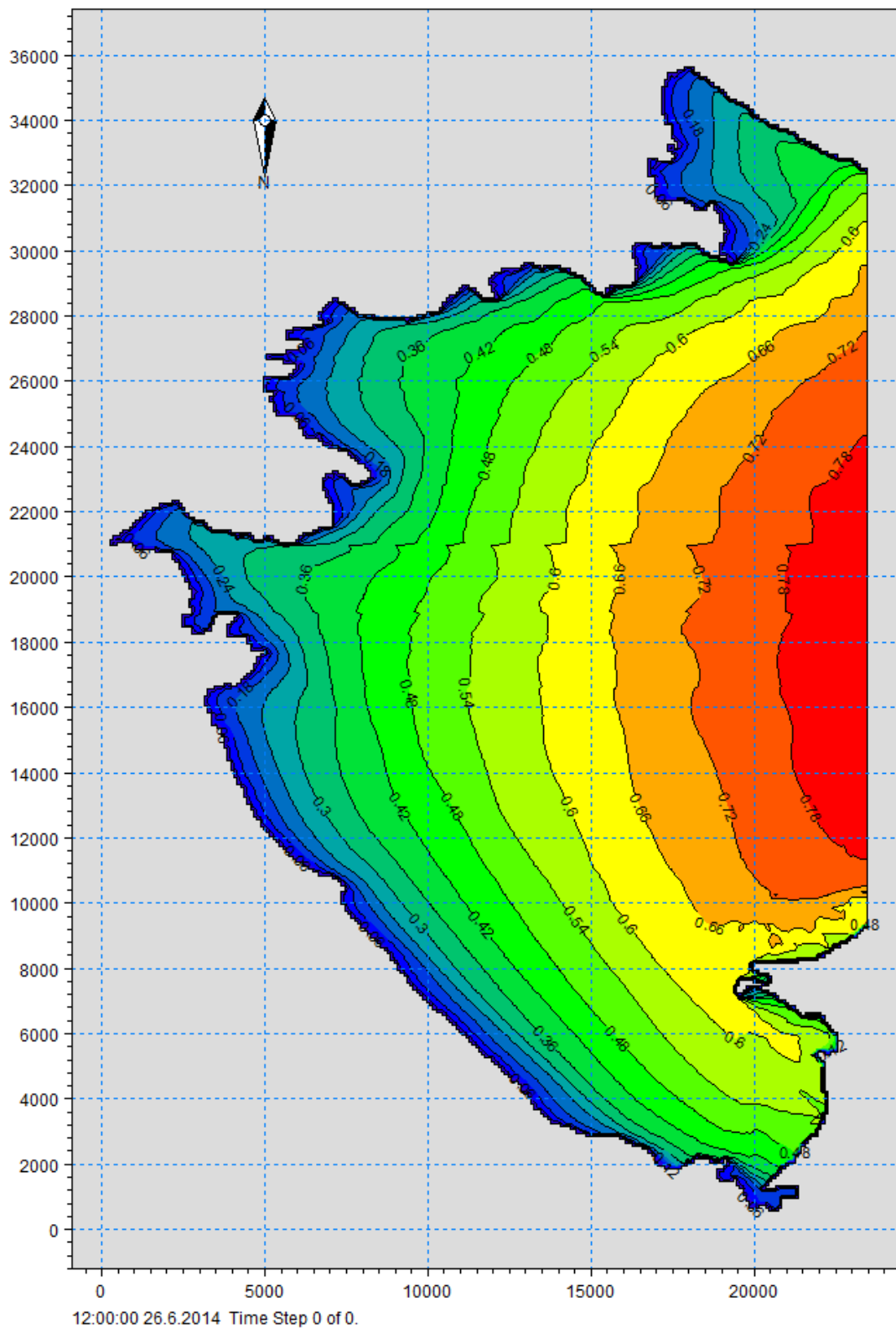
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{100}, V_2)$ pri burji iz smeri 45°



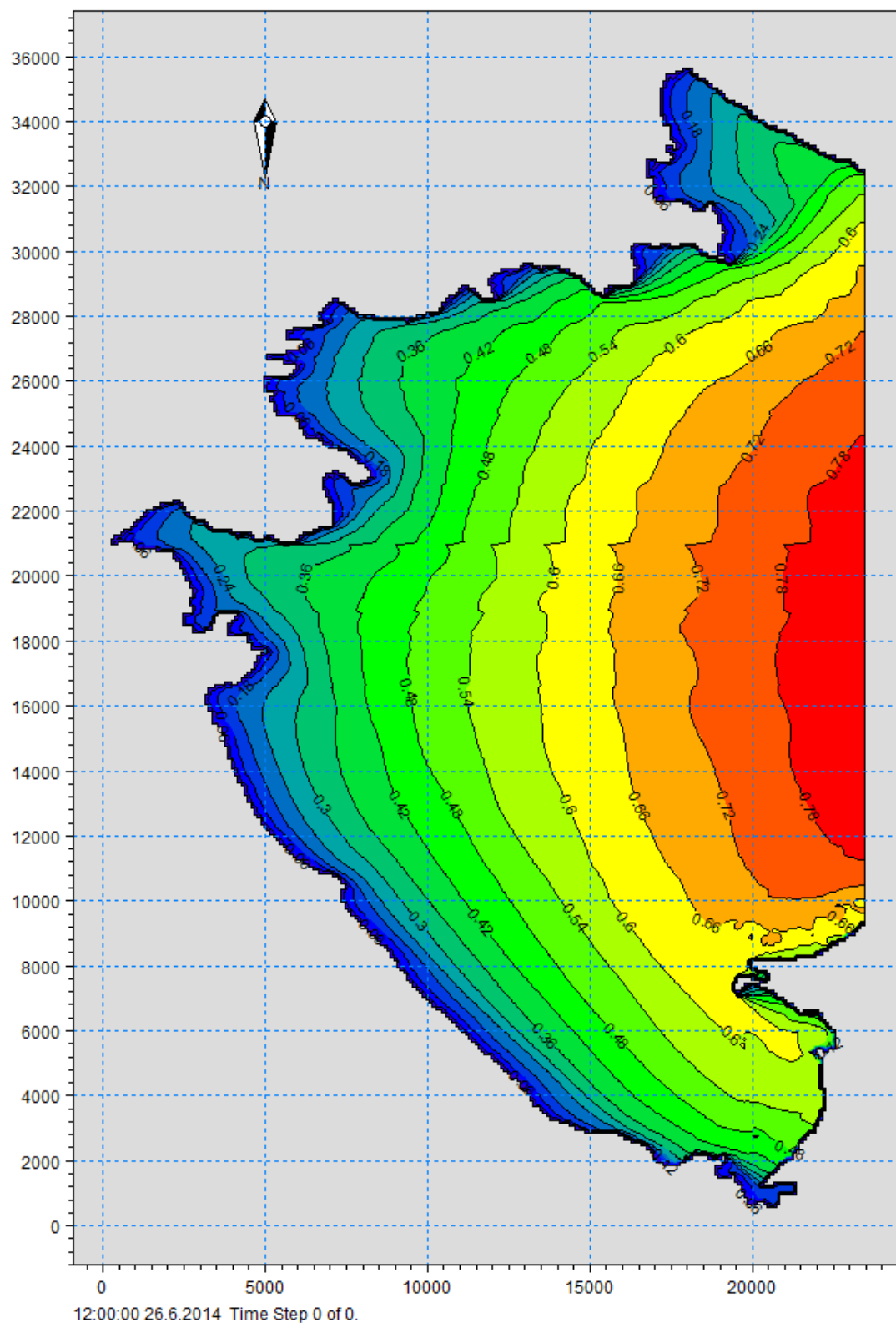
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri burji iz smeri 45°



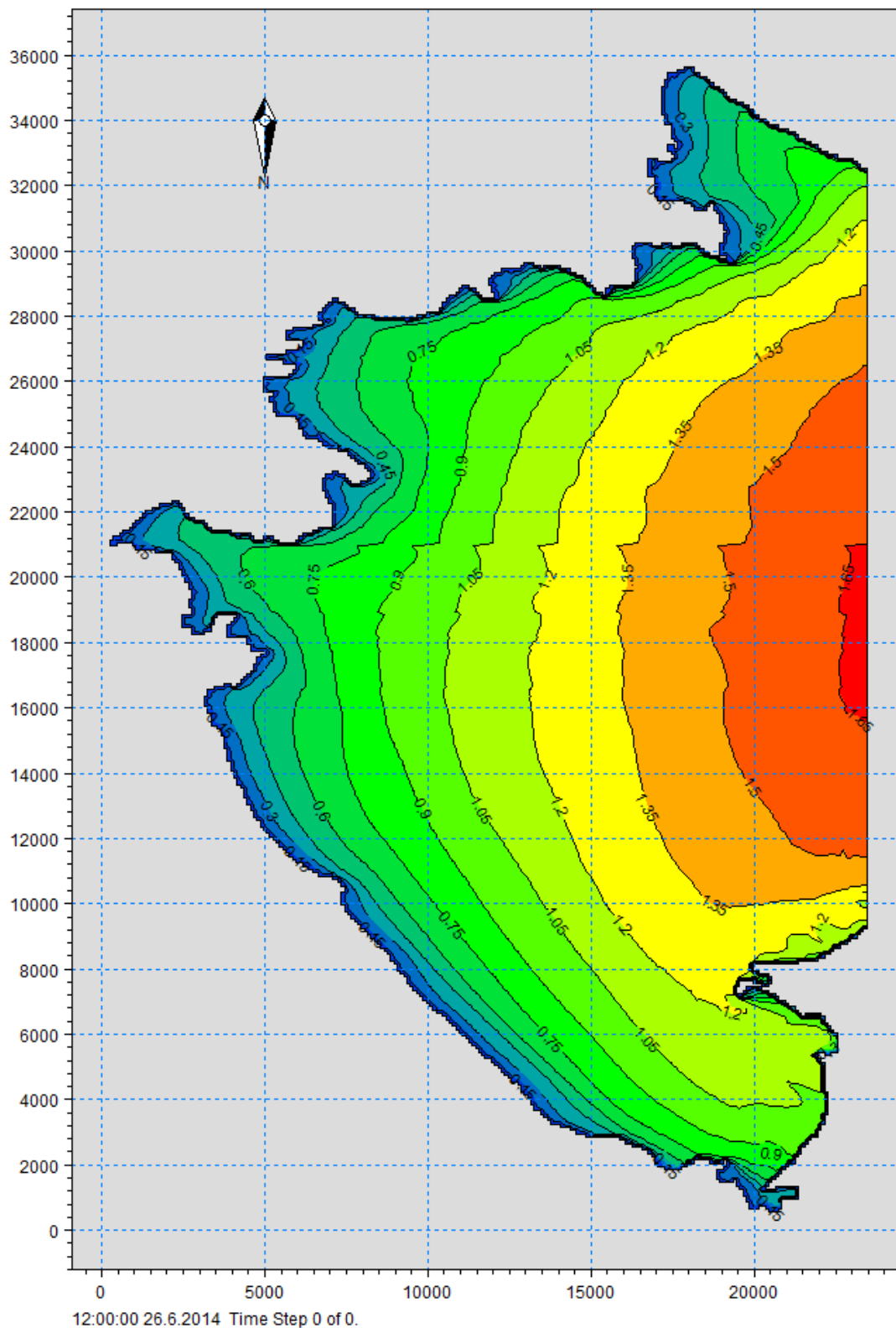
PRILOGA 3: Višina značilnih valov (m) pri burji iz smeri 90°



Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{10}, V_2)$ pri burji iz smeri 90°



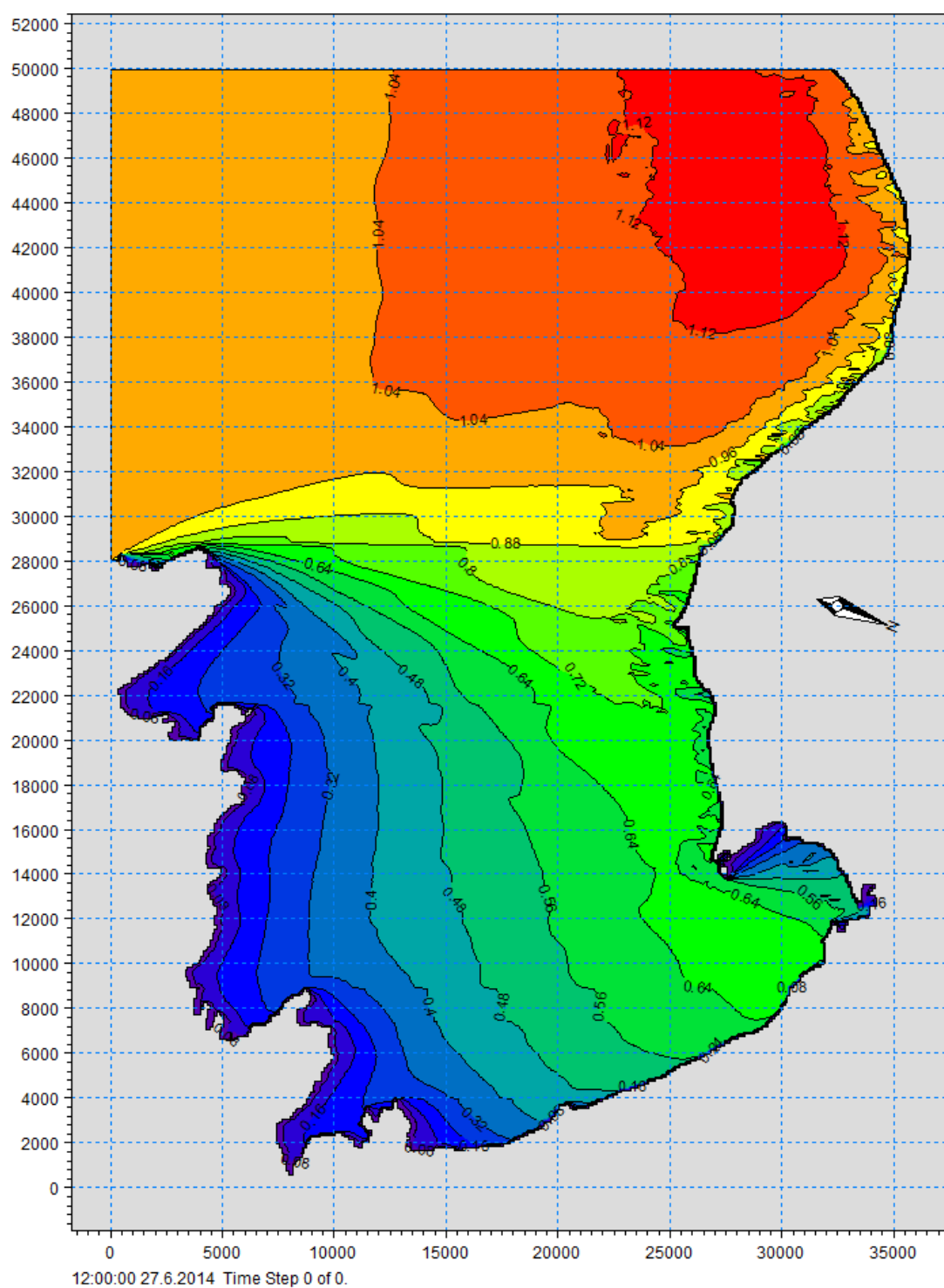
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{100}, V_2)$ pri burji iz smeri 90°



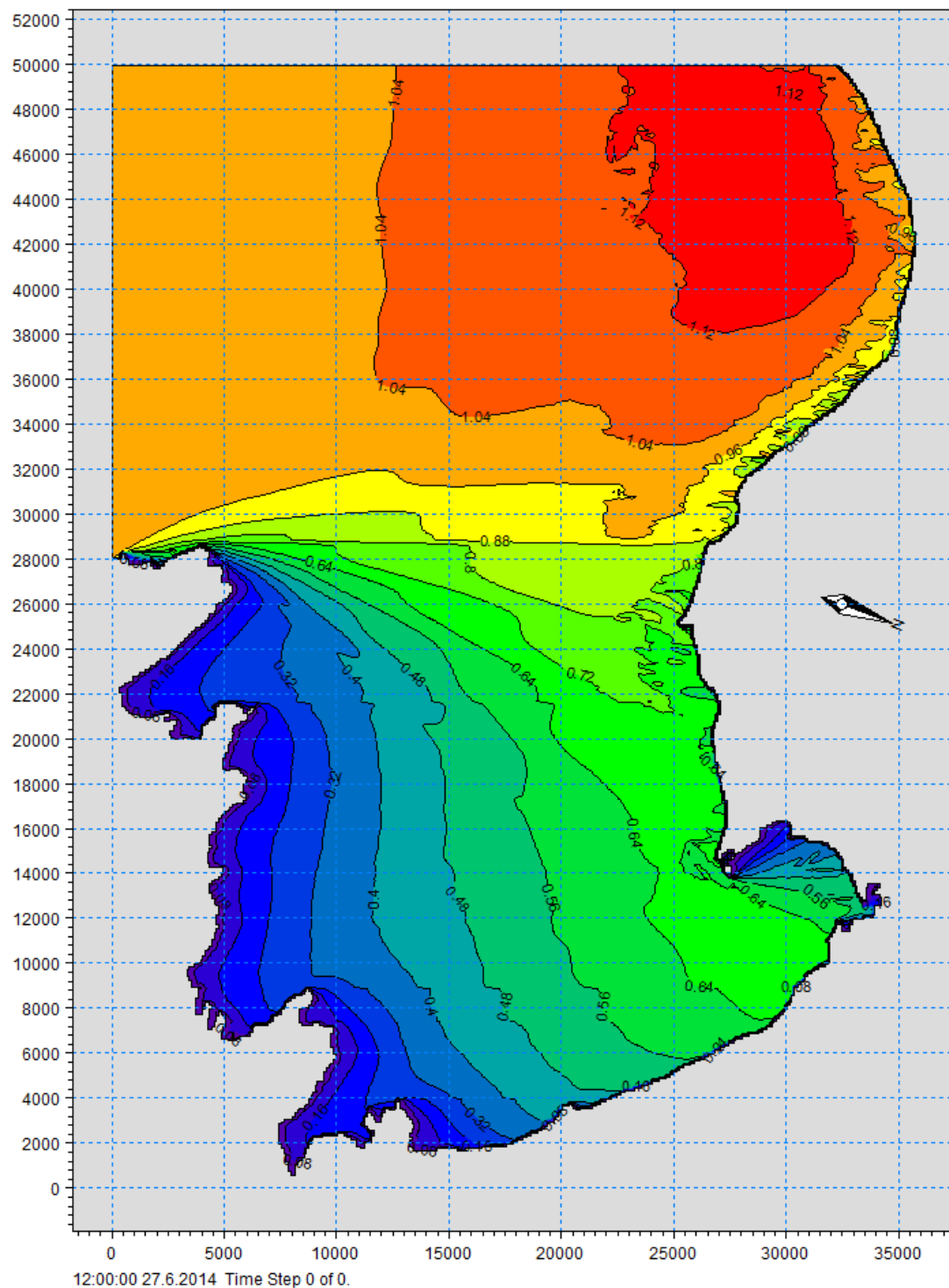
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri burji iz smeri 90°



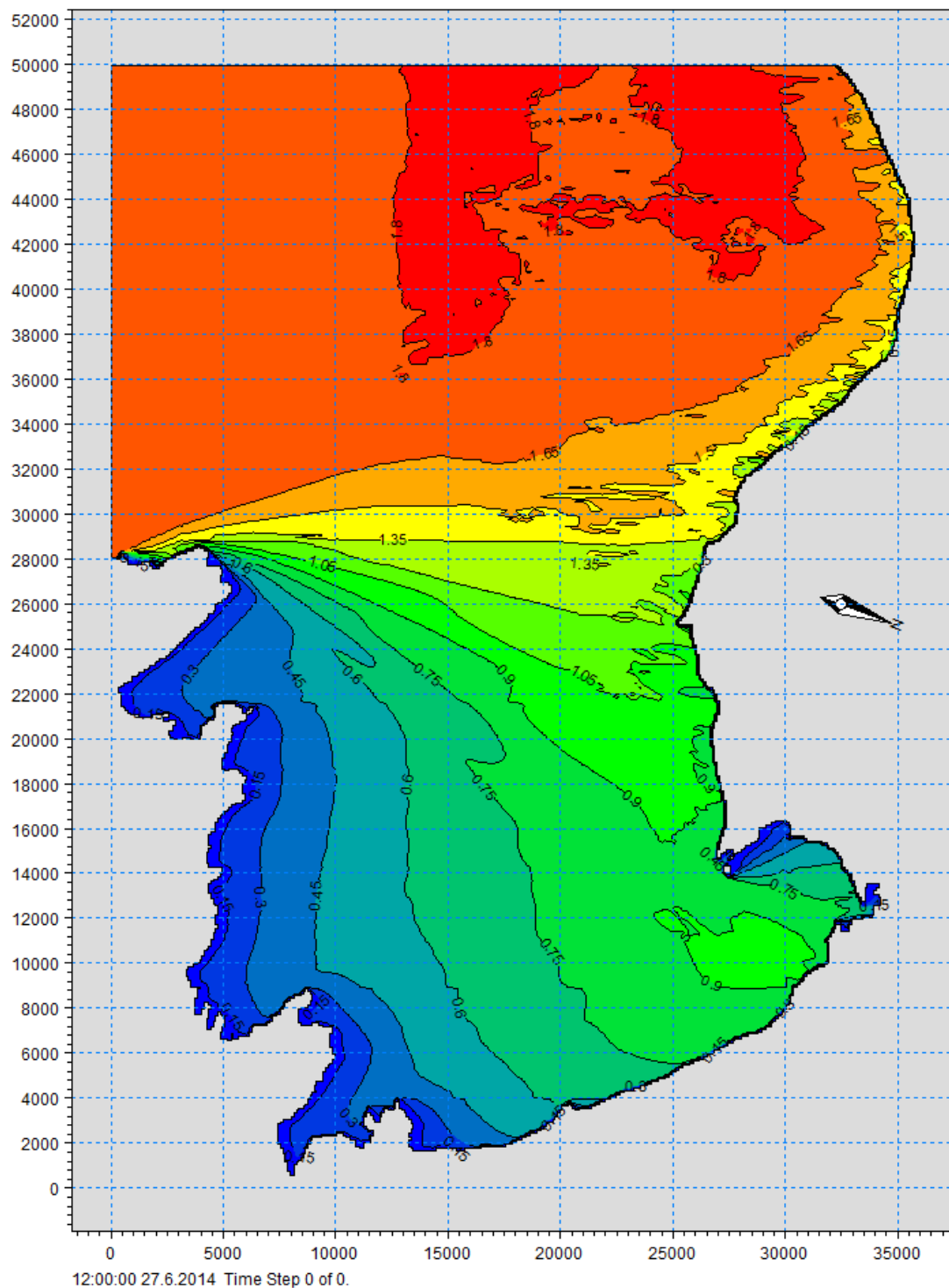
PRILOGA 4: Višina značilnih valov (m) pri jugu iz smeri 160°



Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{10}, V_2)$ pri jugu iz smeri 160°



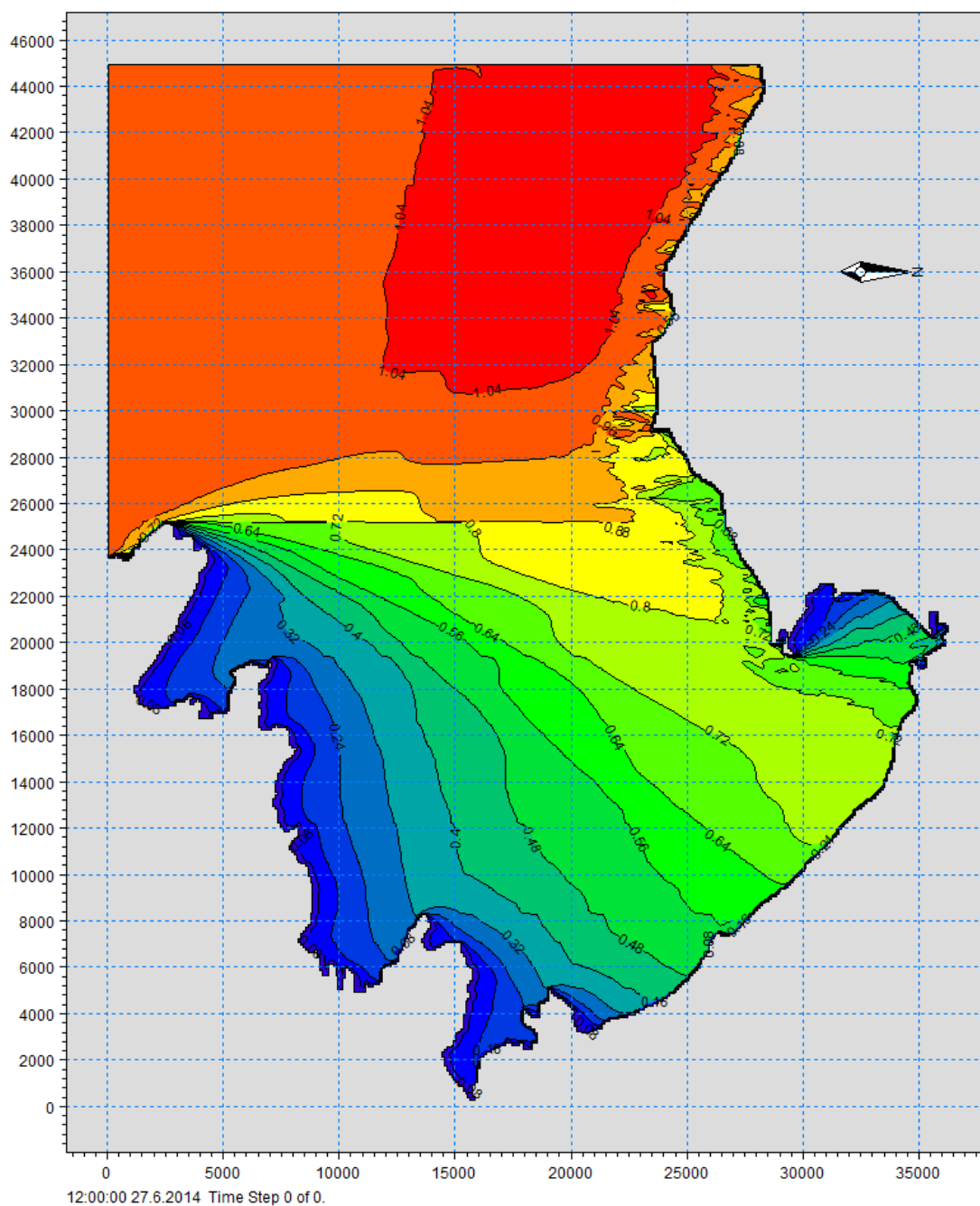
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{100}, V_2)$ pri jugu iz smeri 160°



Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri jugu iz smeri 160°



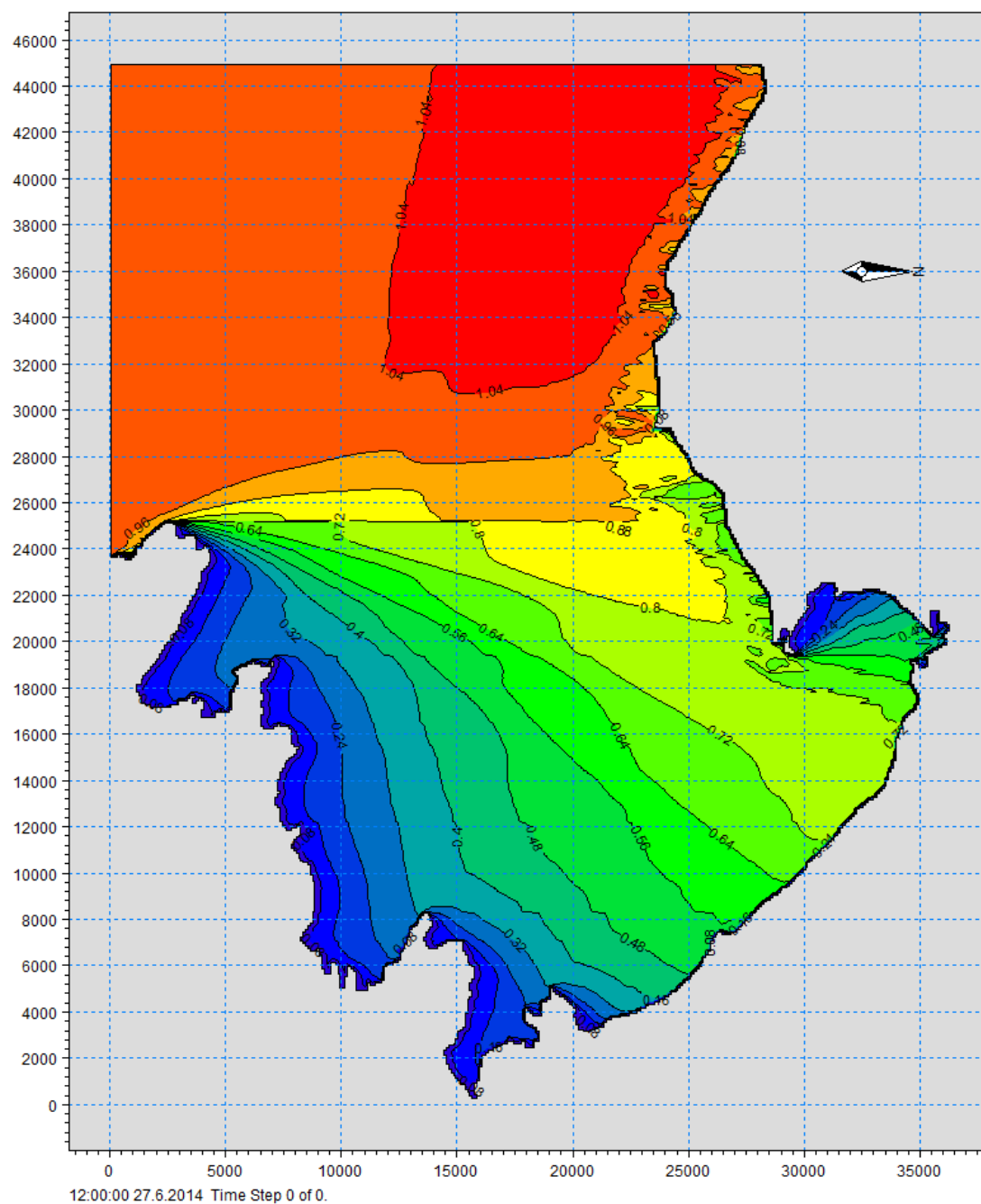
PRILOGA 5: Višina značilnih valov (m) pri jugu iz smeri 180°



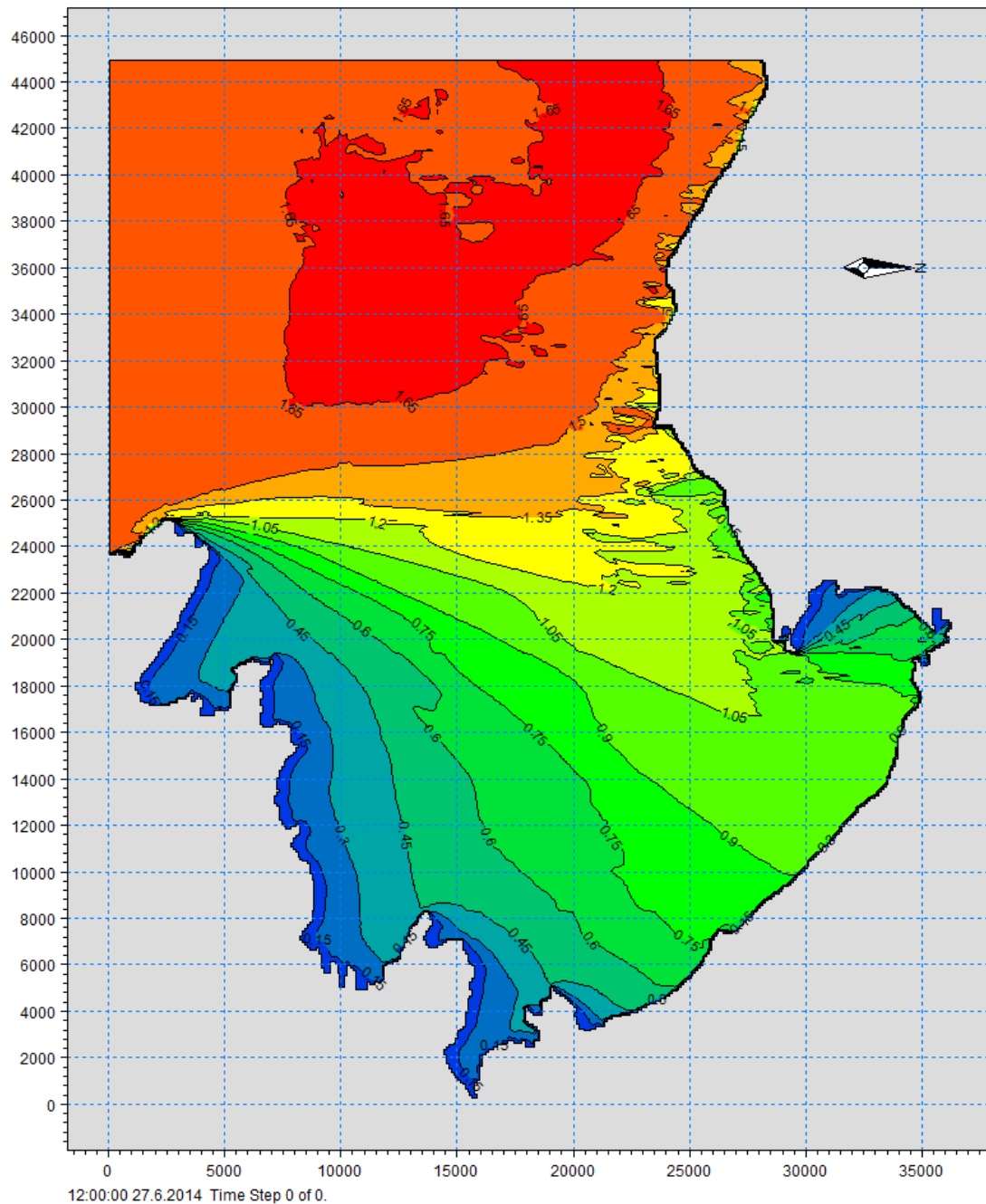
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{10}, V_2)$ pri jugu iz smeri 180°



Naloga I/2/1: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji
Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 2014



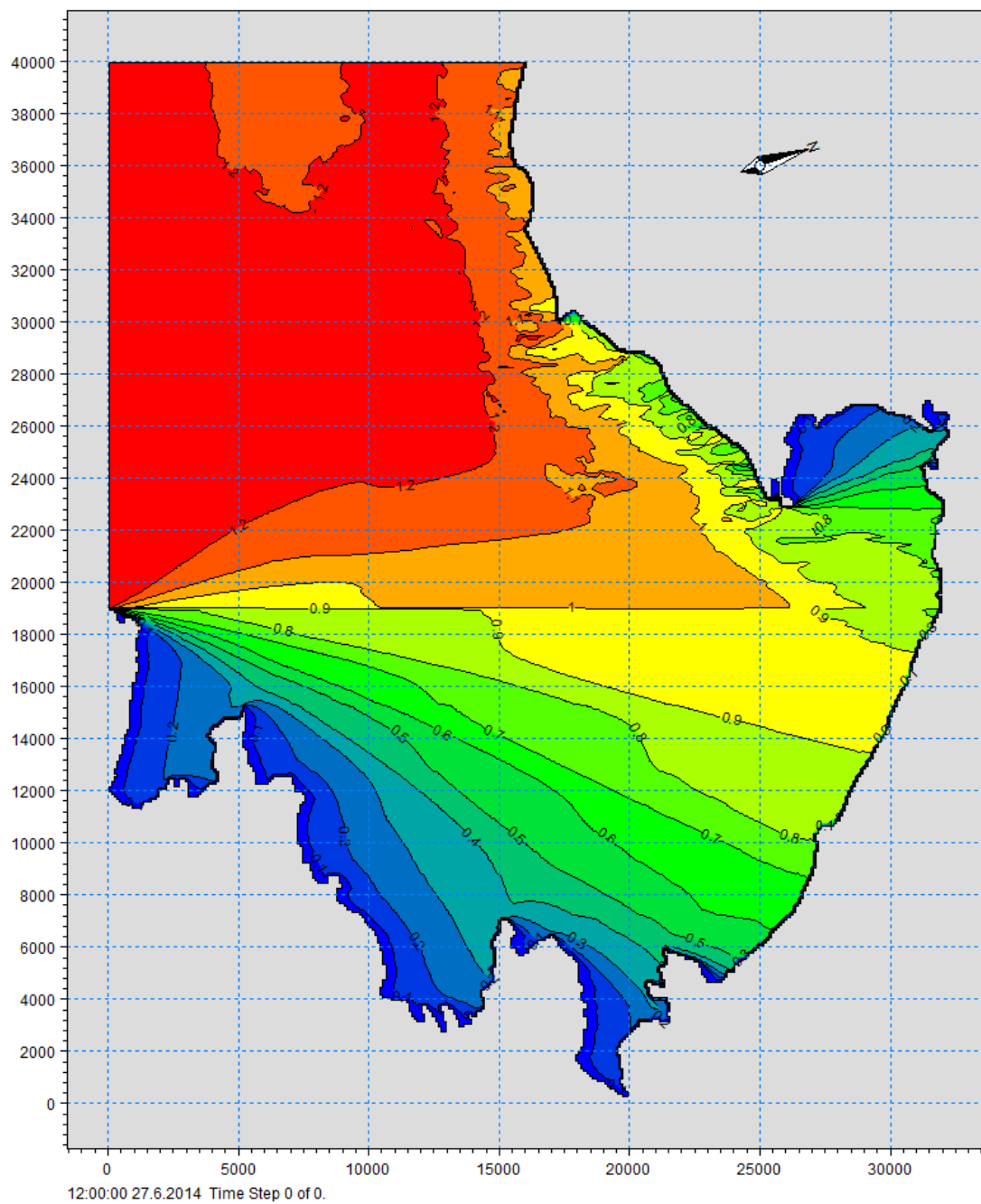
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{100}, V_2)$ pri jugu iz smeri 180°



Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri jugu iz smeri 180°



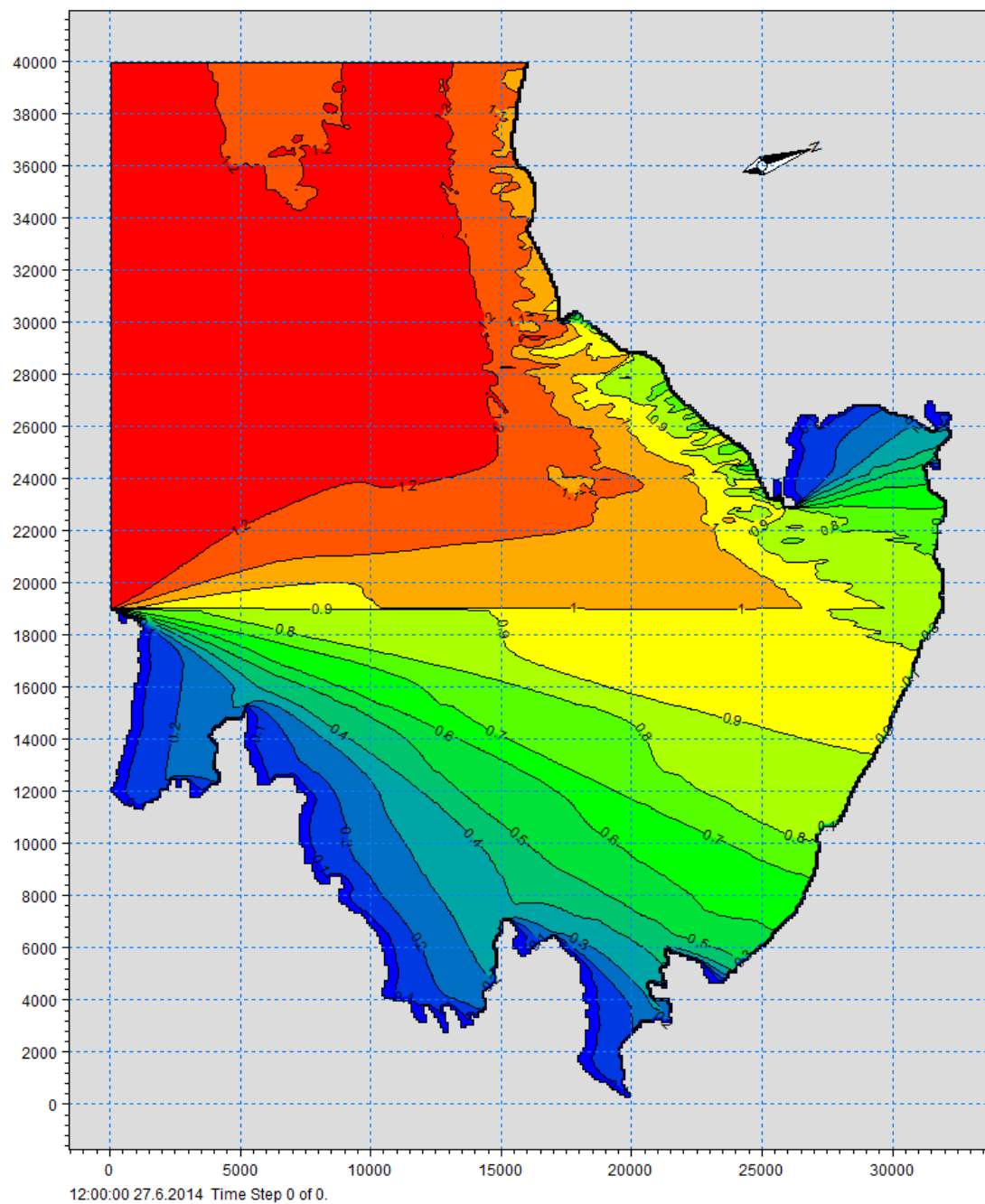
PRILOGA 6: Višina značilnih valov (m) pri jugu iz smeri 200°



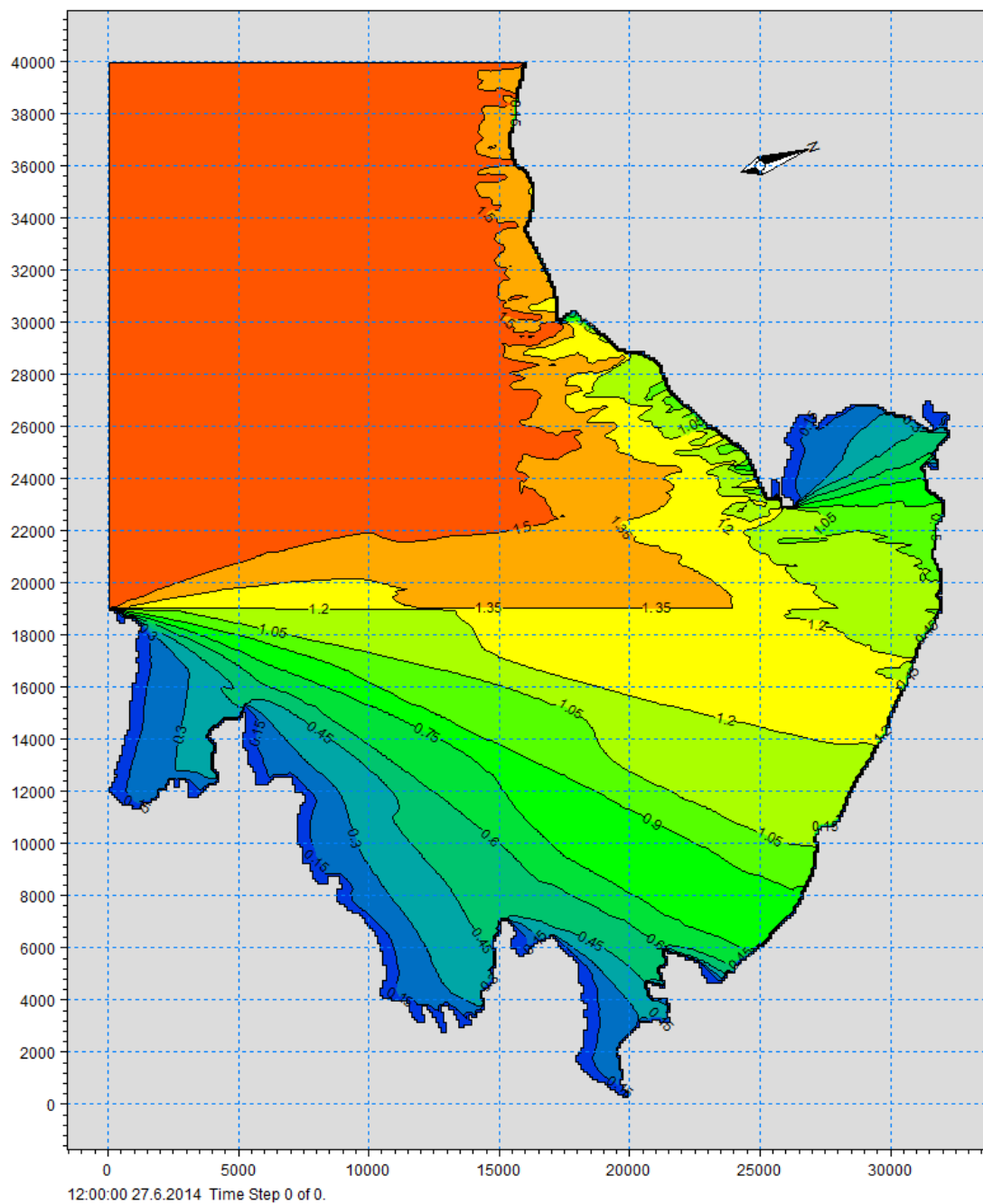
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{10}, V_2)$ pri jugu iz smeri 200°



Naloga I/2/1: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji
Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 2014



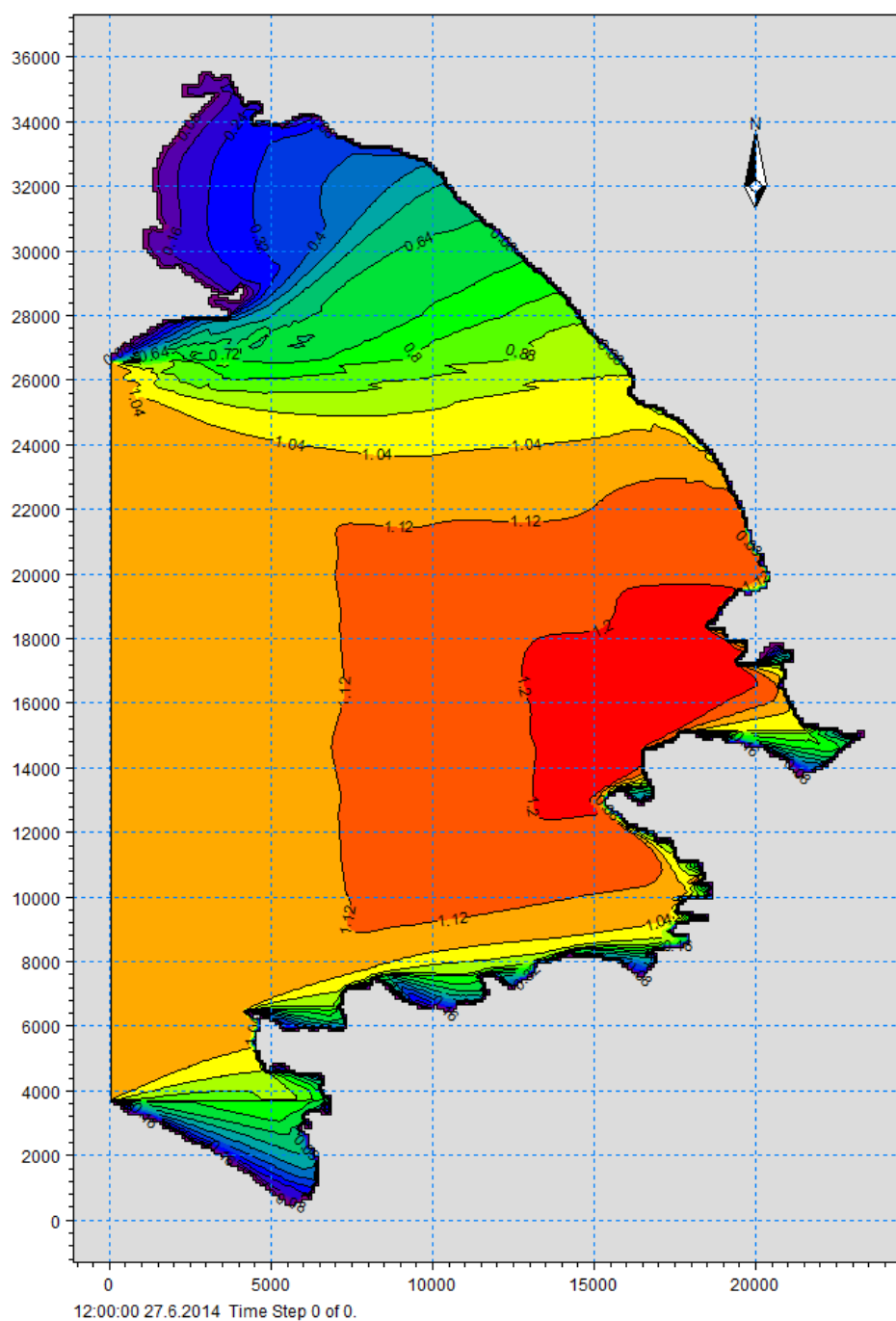
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{100}, V_2)$ pri jugu iz smeri 200°



Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri jugu iz smeri 200°



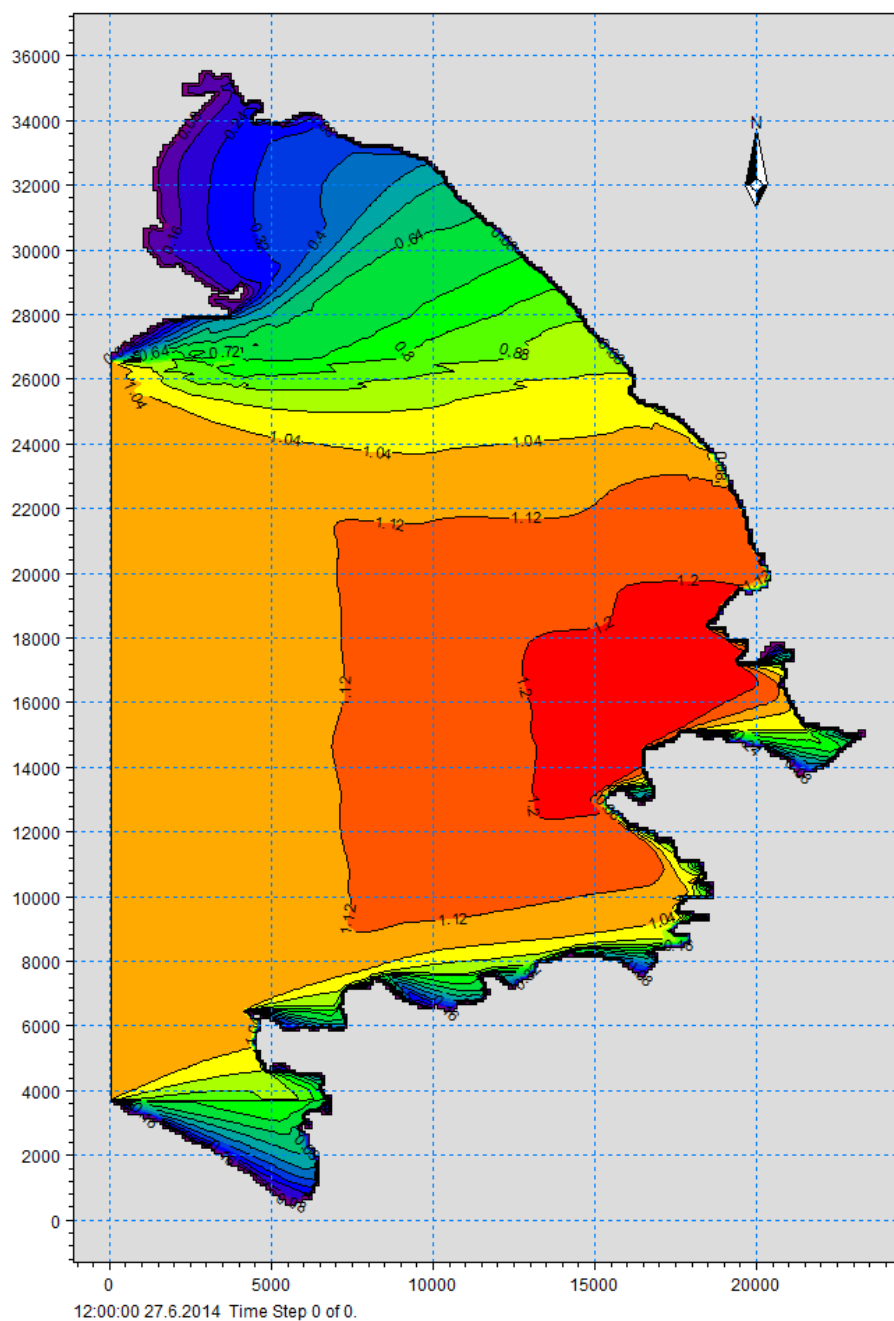
PRILOGA 7: Višina značilnih valov (m) pri tramontani iz smeri 270°



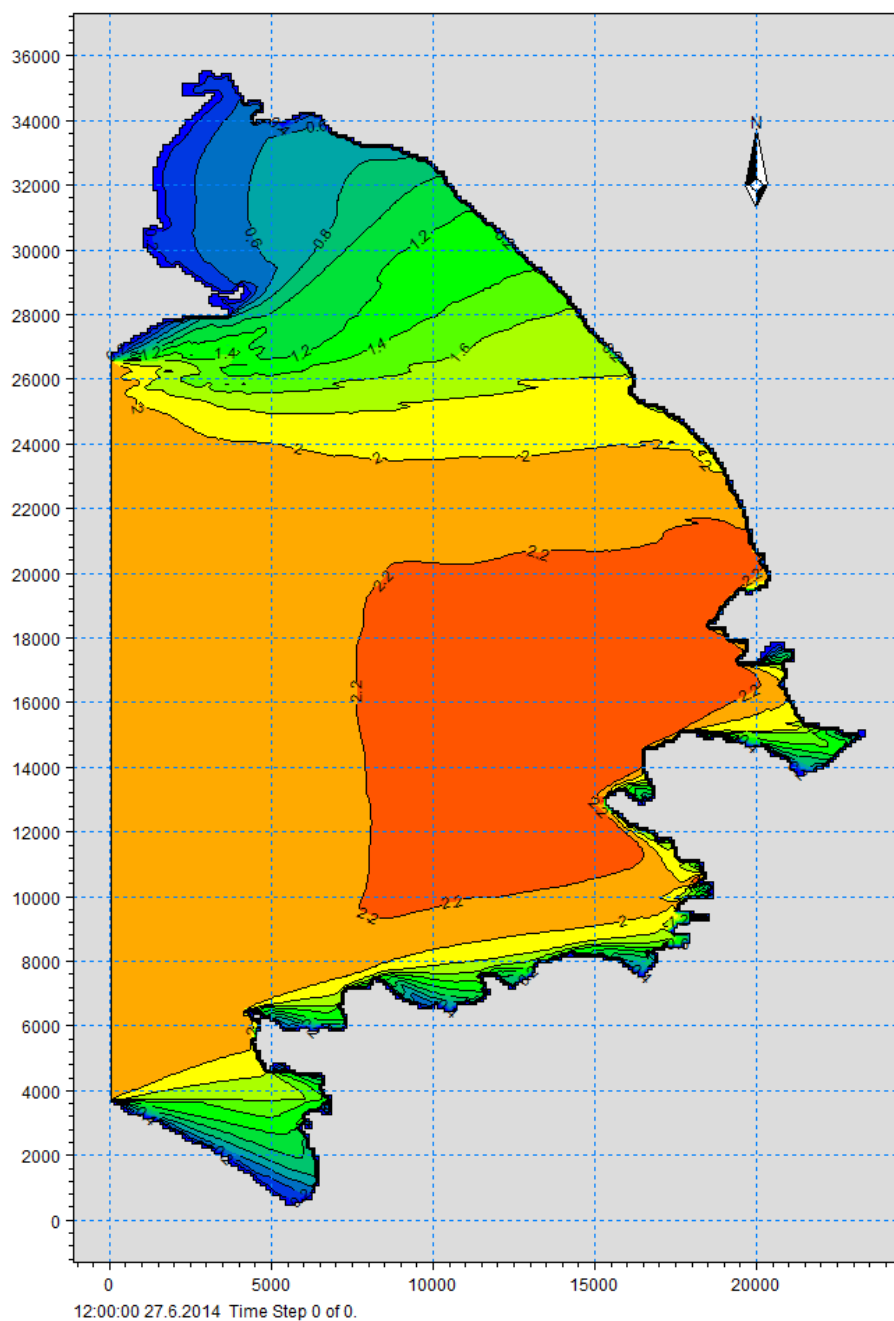
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{10}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 270°



Naloga I/2/1: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji
Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 2014



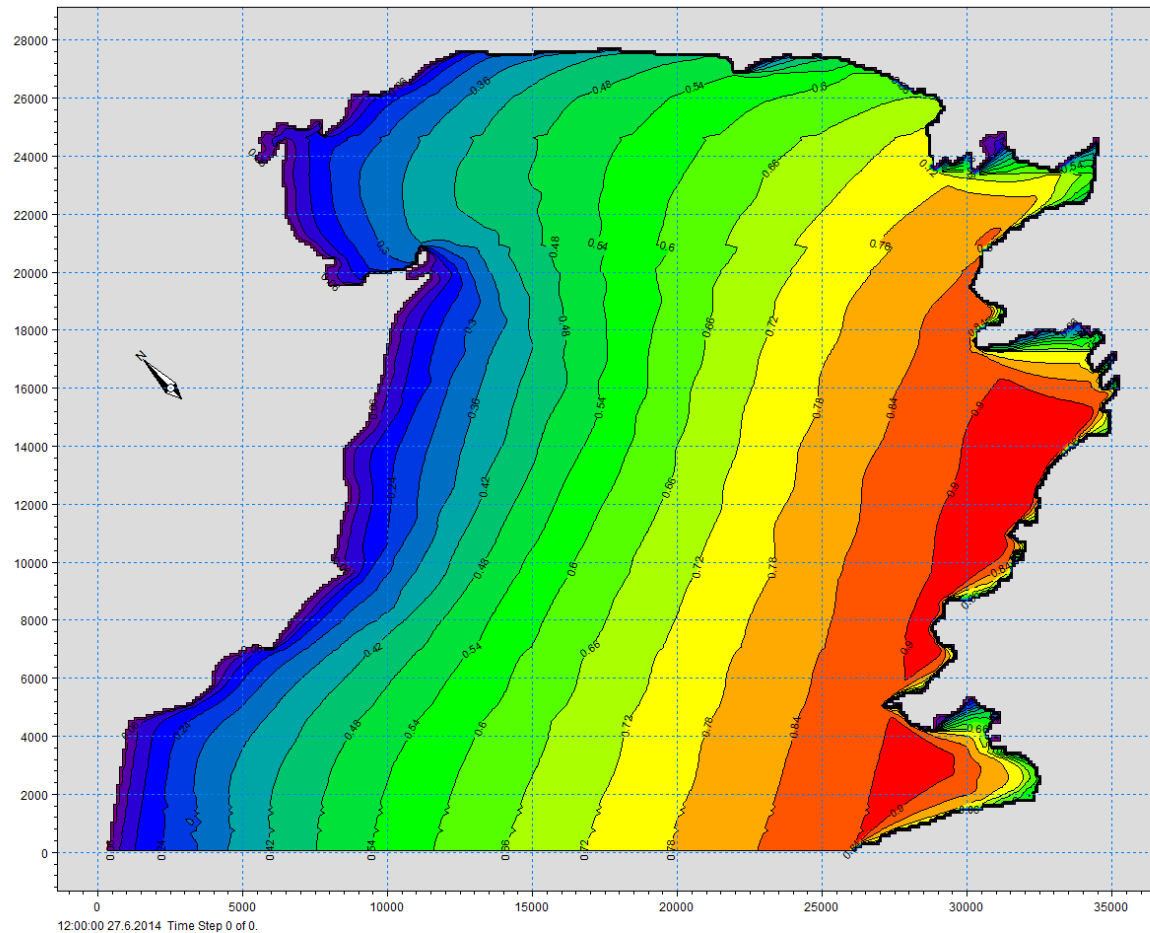
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{100}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 270°



Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri tramontani iz smeri 270°



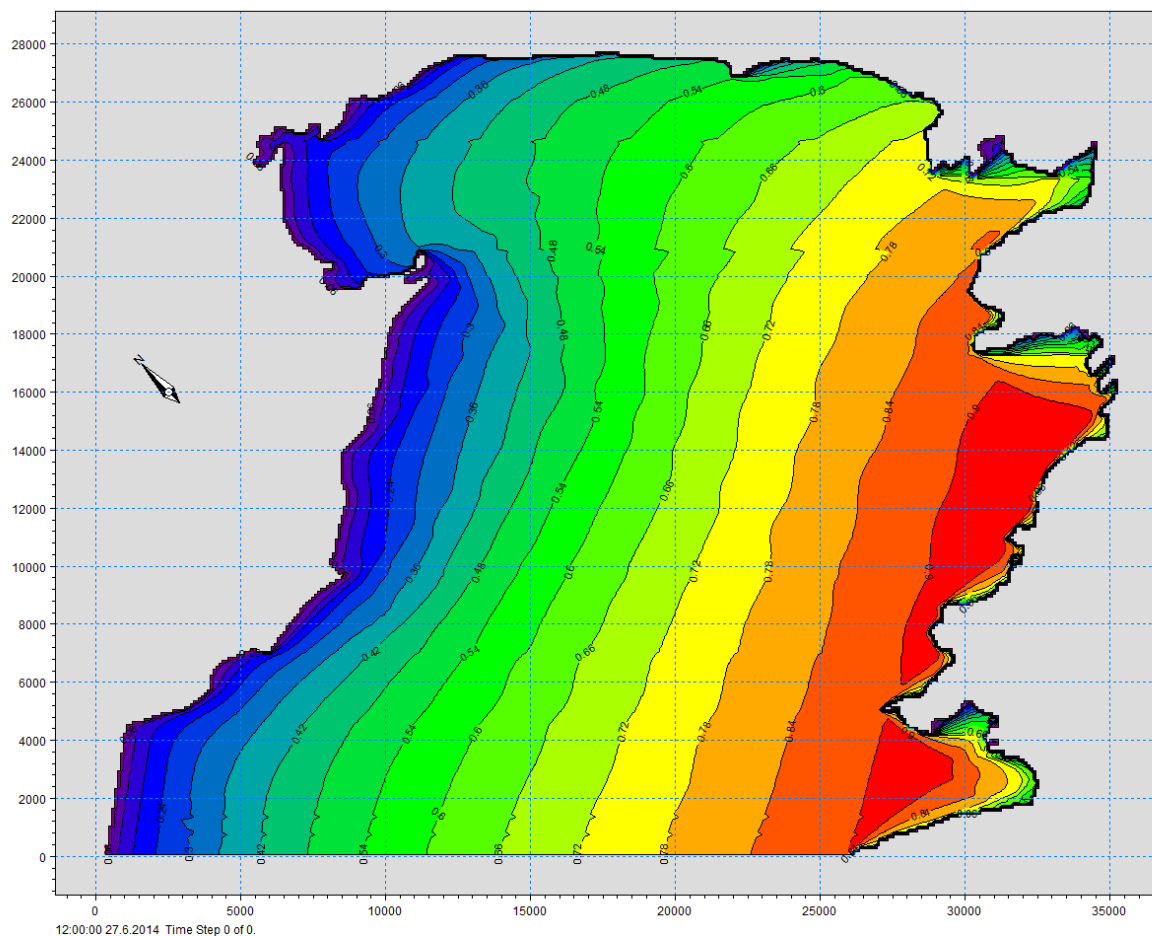
PRILOGA 8: Višina značilnih valov (m) pri tramontani iz smeri 315°



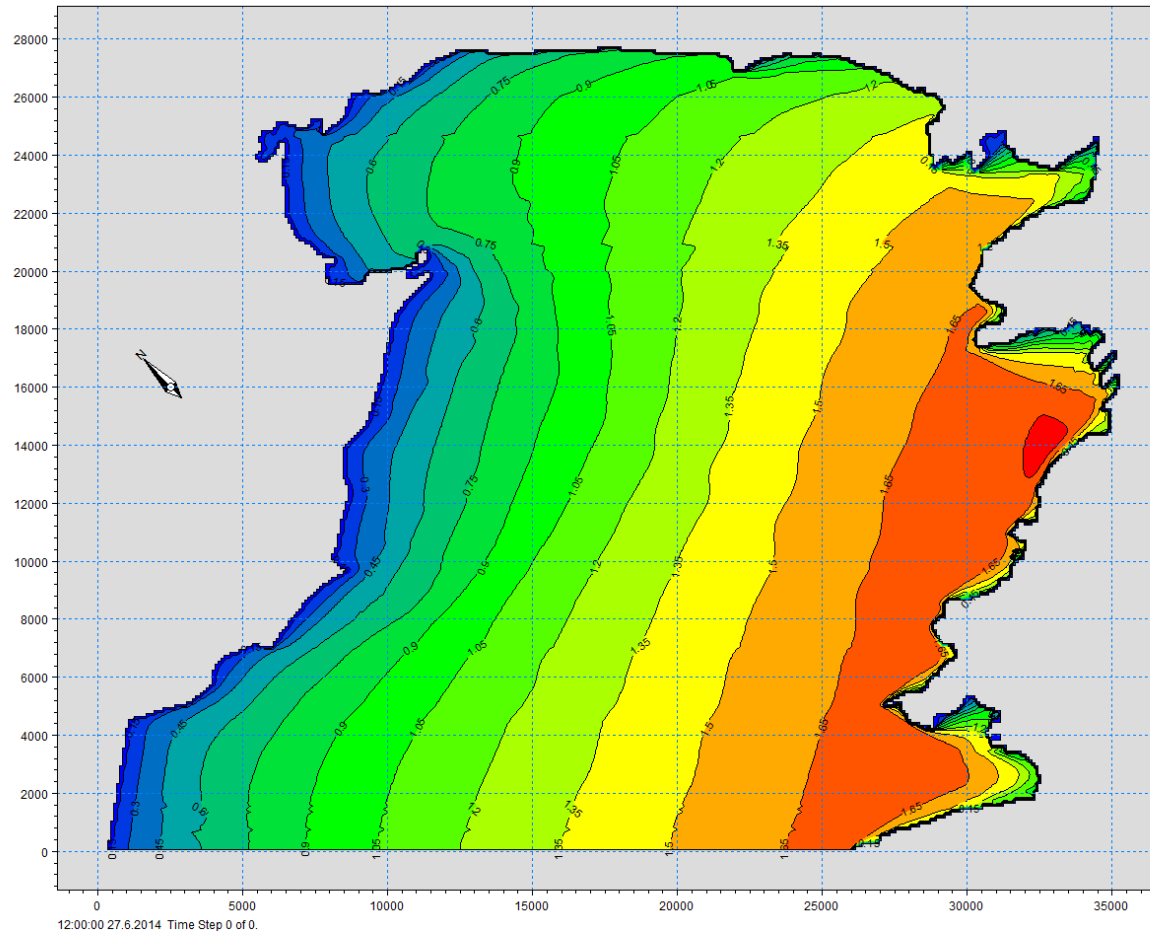
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{10}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 315°



Naloga I/2/1: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji
Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 2014



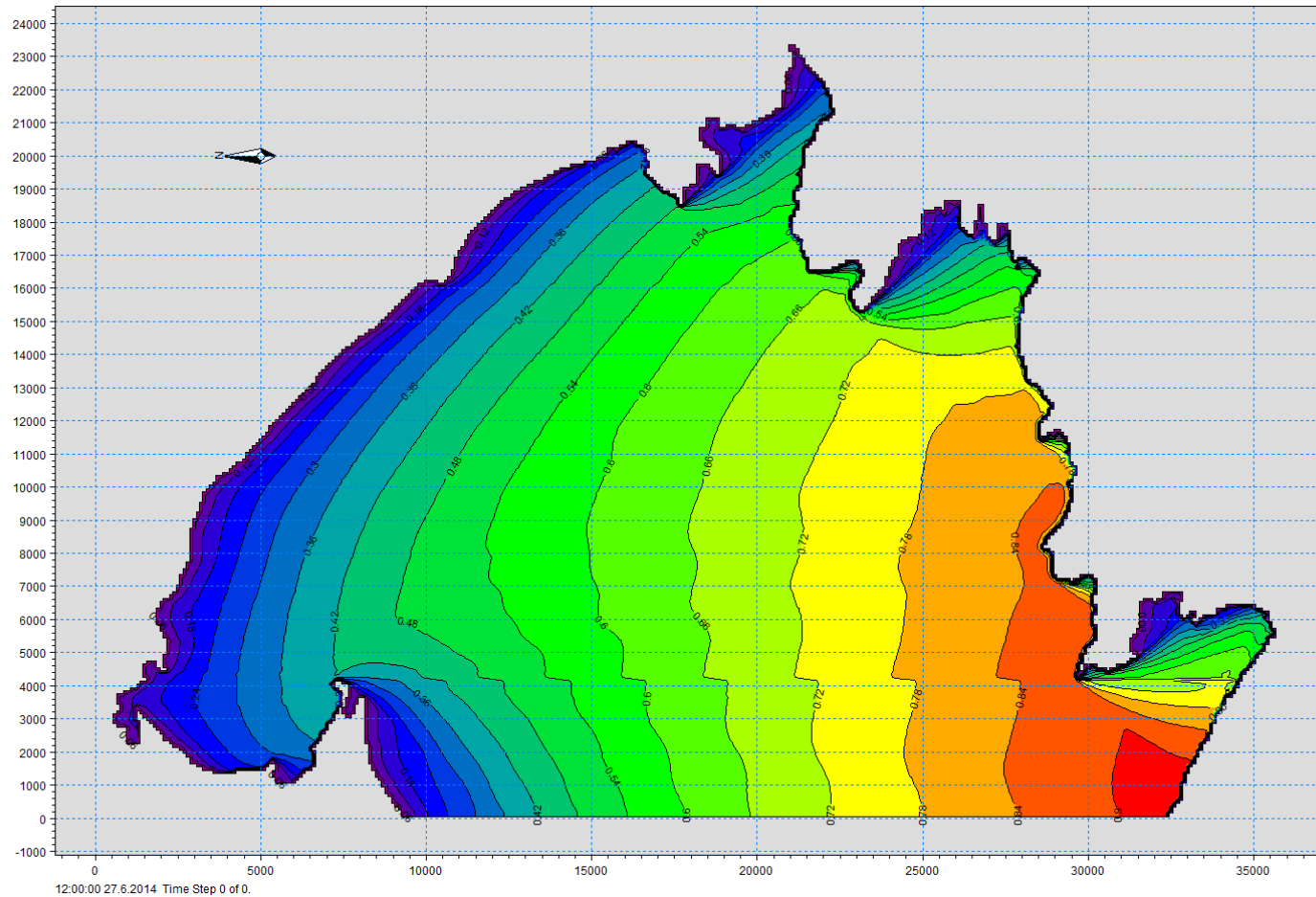
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{100}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 315°



Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri tramontani iz smeri 315°



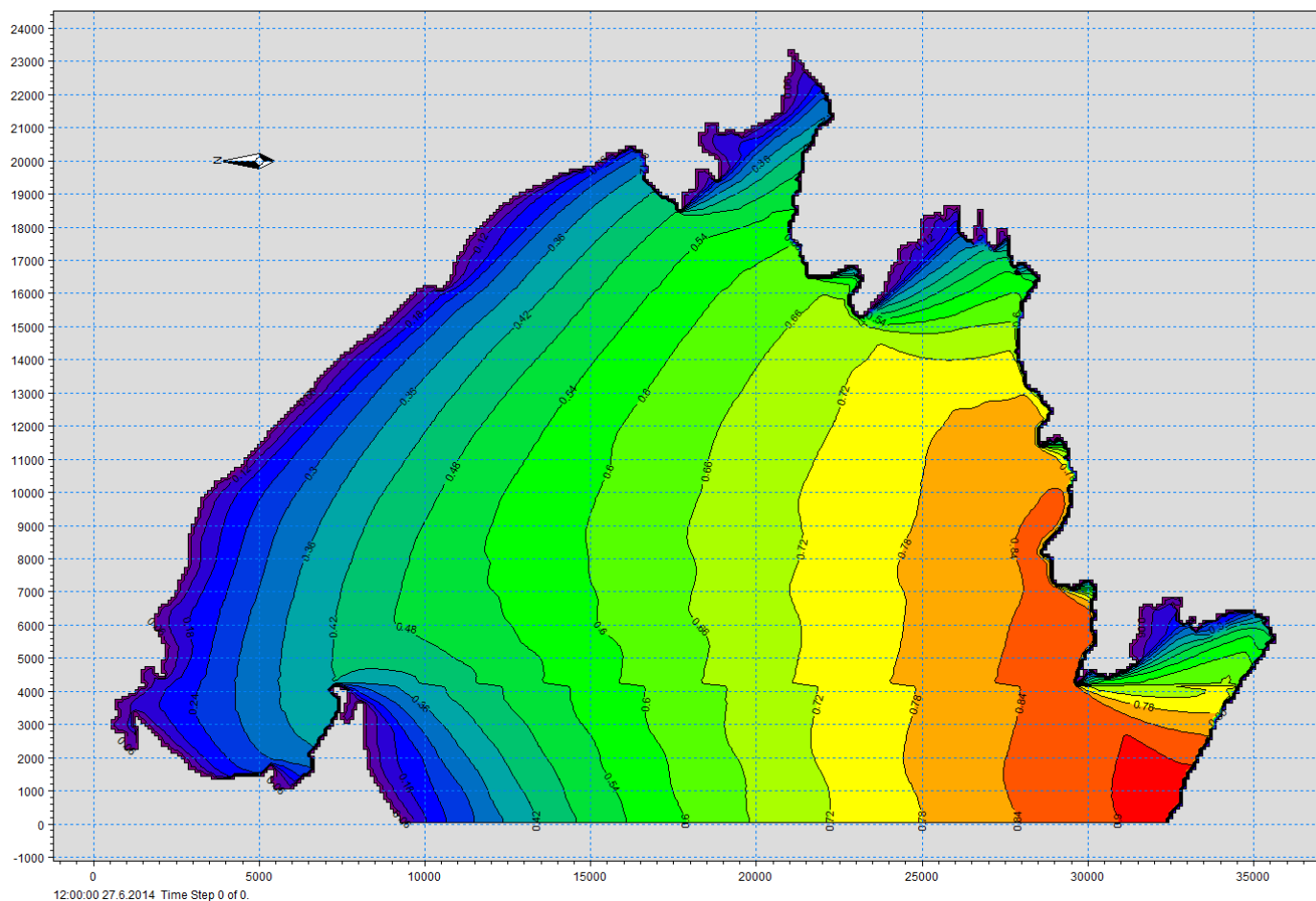
PRILOGA 9: Višina značilnih valov (m) pri tramontani iz smeri 360°



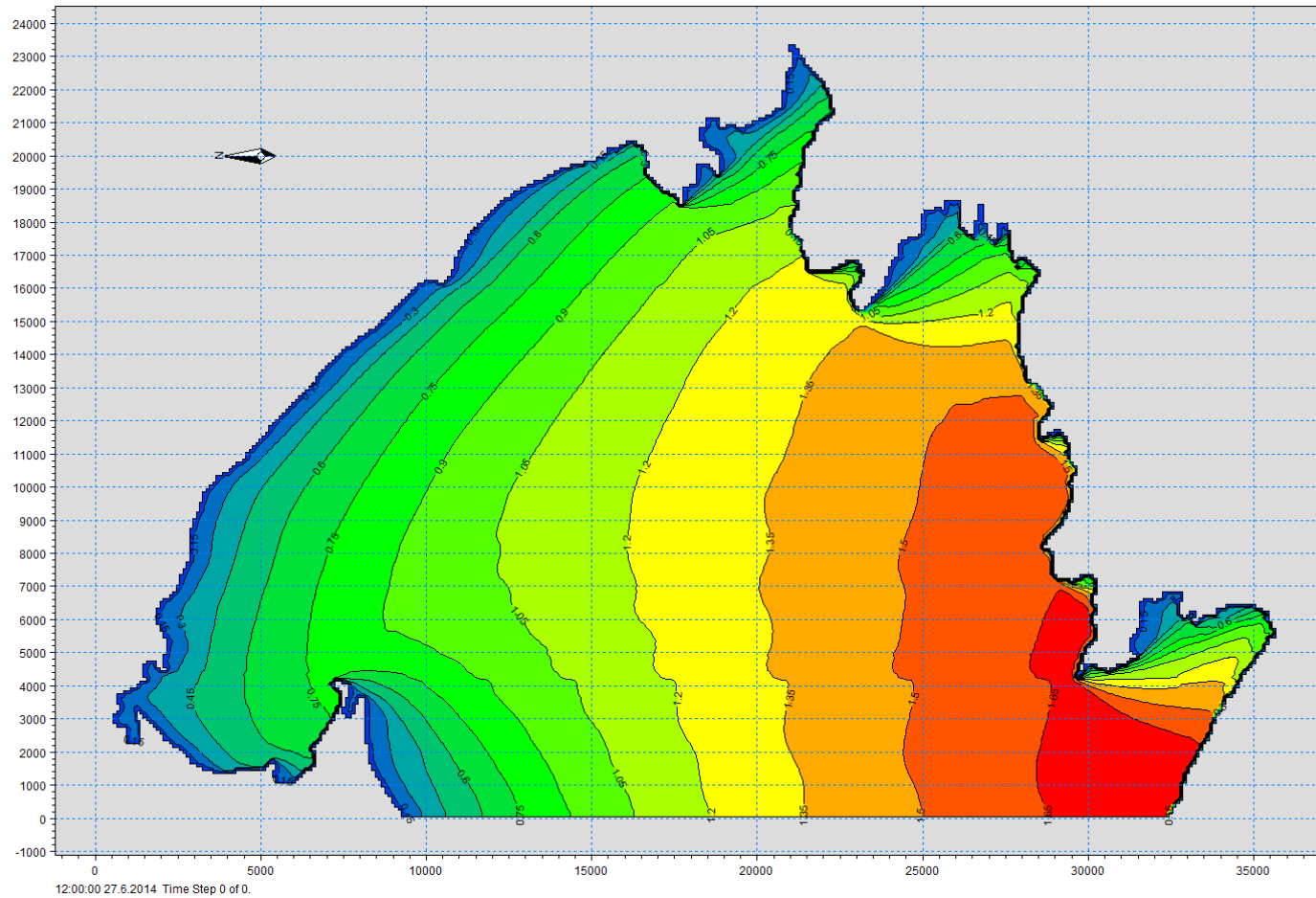
Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{10}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 360°



Naloga I/2/1: Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov poplavne nevarnosti za dve območji pomembnega vpliva poplav v Republiki Sloveniji
Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 2014



Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{100}, V_2)$ pri tramontani iz smeri 360°



Višina značilnih valov (m): Val $f(P_{500}, V_{50})$ pri tramontani iz smeri 360°



PRILOGA 10: Pregledna situacija; M 1:5000



PRILOGA 11: Situacija KPN – dosegi poplavnih linij G_{10} , G_{100} in G_{500} ; M 1:2500



PRILOGA 12: Situacija KPN – globine pri G_{10} ; M 1:2500



PRILOGA 13: Situacija KPN – globine pri G_{100} ; M 1:2500



PRILOGA 14: Situacija KPN – globine pri G_{500} ; M 1:2500



PRILOGA 15: Situacija KRPN – razredi poplavne nevarnosti; M 1:2500