

Hidrološki monitoring morja na Agenciji Republike Slovenije za okolje in sodelovanje v projektu ESEAS RI

Igor Strojan *

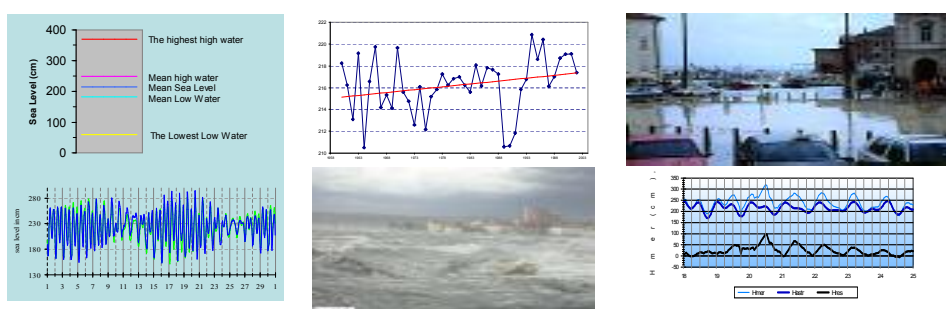
Povzetek

V prispevku je predstavljen hidrološki monitoring morja na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO). Posebej je opisan projekt Razvoj infrastrukture Evropske službe za višino morja (ESEAS RI), katerega rezultati delno prispevajo k razvoju nacionalnih geodetskih mrež. Eden od namenov prispevka je povečati uporabo podatkov in produktov monitoringa v raziskovalne in druge namene.

Predstavitev osnovnih dejavnosti in nekatera področja uporabe

ARSO opravlja svoje dejavnosti skladno z zakonskimi podlagami o državnem monitoringu naravnih pojavov in mednarodnimi sporazumi (www.arso.gov.si). Kvaliteto opravljanja del (QAQC) izkazuje z vsakoletnim potrjenim certifikatom ISO 9001. Na Sektorju za hidrologijo Urada za monitoring ARSO (prej Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije HMZ RS) opravljamo monitoring morja na podlagi meritev fizikalnih veličin morja na dveh obalnih postajah iz mreže ARSO in oceanografski boji Piran, katere lastnik je Morska biološka postaja Piran oz. Nacionalni inštitut za biologijo (MBP/NIB). V sklopu stalne službe hidrološkega monitoringa morja, ki deluje v organizacijski enoti površinskih voda so: neprekinjene meritve, spremljanja stanja, obdelave podatkov kot so kontrolne nivojske obdelave podatkov, analize in tvorbe različnih statističnih produktov, shranjevanje in izmenjevanje podatkov ter obveščanja in opozarjanja v vseh časovnih skalah.

Podatki meritev na morju imajo širok spekter uporabe. Podatki in produkti dolgoletnega niza višin morja so med drugim primerni za določanje geodetskih izhodišč, spremljanje variabilnosti višin morja, dnevnega režima plim in osek, dolgoletnih trendov nihanja gladine morja idr. Podatki meritev v realnem času in produkti prognoz so namenjeni obveščanje pred poplavami nižje ležečih predelov obale, varnosti plovbe idr. V zadnjem času se podatki pogosto uporabljajo pri analizah dveh najbolj verjetnih posledic klimatskih sprememb kot sta zviševanje gladine morja zaradi globalnih sprememb na daljši časovni skali in povečana pogostost odstopanj od običajnih višin morja.



Slika 1: Nekateri produkti in uporabe podatkov hidrološkega monitoringa

* Agencija R. Slovenije za Okolje, Vojkova 1b, Ljubljana

morja

Operativna mreža merilnih postaj in merjene veličine

Ob 46 km dolgi slovenski obali v severnem delu Jadranskega morja izvajamo meritve na naslednjih lokacijah:

na mareografski postaji v Kopru, kjer so se neprekinjene meritve višin morja pričele že leta 1958 in smo jo leta 2005 nadgradili,
na oceanografski boji Piran, katere lastnik je MBP/NIB.

Avtomatsko mareografsko postajo Luka Koper, ki deluje od leta 1990 dalje in je v neposredni bližini prenovljene mareografske postaje Koper ob koncu leta 2005 ukinjamo ter načrtujemo postavitve mareografske postaje v Piranskem zalivu.

Z nekajminutnim časovnim zamikom prenosa podatkov neprekinjeno spremljamo naslednje veličine:

- višino morja na obalni mareografski postaji Koper,
- temperaturo morja ob površini na obalni mareografski postaji Koper in temperaturo morja po celotni globini na oceanografski boji Piran,
- valovanje, morski tok in slanost na oceanografski boji Piran,
- višinam in temperaturi morja pripadajoče meteorološke ter geodetske parametre:
- zračni tlak, veter in temperaturo zraka na obalni postaji Koper,
- veter in temperaturo zraka na oceanografski boji Piran ter natančne GPS geodetske meritve mikrolokacije postaje Koper (spremljanje je v začetni testni fazi).



Slika 2: Obalni mareografski postaji Koper in Luka Koper ter oceanografska boja Piran.

Arhiv in dostop do podatkov

Interna računalniška baza podatkov vsebuje:

- nize urnih meritev, izračunanih astronomskih, residualnih in karakterističnih dnevni višin morja, temperatur morja in pripadajočih meteoroloških podatkov kot sta smer in hitrost vetra in zračni pritisk od leta 1960 dalje ter
- nize mesečnih podatkov slanosti morja iz različnih lokacij na slovenskem morju od leta 1985 dalje.

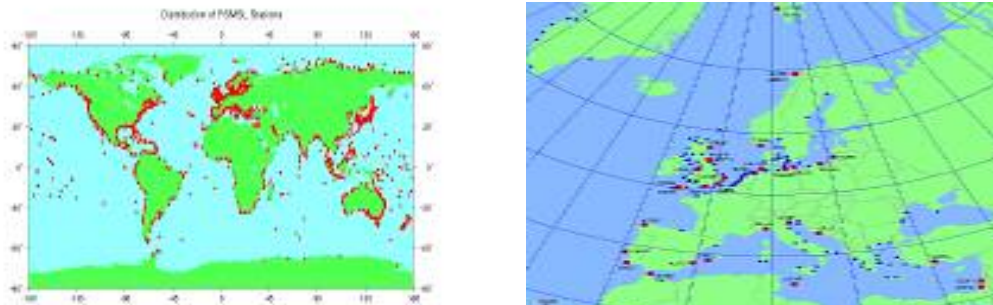
Podatki pripadajočih meteoroloških, oceanografskih in geodetskih GPS veličin, ki so namenjeni analizam višin morja, so terminsko usklajeni z nizom višin morja. V arhivu službe monitoringa morja hranimo tudi zapise neprekinjenih meritev višin morja na mareogramih, poročila opazovalcev, podatke geodetskih meritev ter meta podatke o lokacijah in drugih meritvah vse od leta 1958 dalje. V kratkem bodo omenjeni podatki vključeni v posodobljeno hidrološko bazo podatkov.

Podatke posredujemo in izmenjujemo skladno z zakonom o dostopu do podatkov javnega značaja ter standardi mednarodnih združenj. Dostop do podatkov je večinoma prost, v primeru ponovne uporabe dostopa do podatkov v komercialne namene se podatki zaračunavajo skladno s cenikom ARSO. Posebej vzpodbujamo uporabo podatkov v študijske in raziskovalne namene.

Izmenjava podatkov in sodelovanje v mednarodnih programih

Tradicionalno pošiljamo podatke v enega od dveh največjih zbirnih centrov višin morja v svetu Permanent Service of Mean Sea Level (PSMSL) (www.pol.ac.uk/psmsl). Podatki na mesečni in letni ravni ter izračunani PSMSL trend višin morja iz Koprja so preko PSMSL dostopni širokemu krogu raziskovalnih institucij.

Na spletnem portalu ESEAS (www.eseas.org) so identificiranim raziskovalcem in mednarodni javnosti na voljo večinoma isti nizi urnih podatkov kot v internem arhivu ARSO. Namesto karakterističnih dnevnih vrednosti so na ESEAS portalu dostopne residualne višine morja, ki so v največji meri odvisne od meteoroloških dejavnikov. V kratkem bodo na istem spletnem naslovu dostopni tudi ARSO neprekinjeni CGPS podatki, podatki meritev višin morja v realnem času, podatki meritev geodetskih kampanj v bližini obalne postaje Koper idr.



Slika 3: Operativni mreži mednarodnega zbirnega centra za višine morja PSMSL (levo) in Evropske službe za višine morja ESEAS (desno), v kateri je vključena tudi mareografska postaja Koper.

V ARSO Mesečnem biltenu in Hidrološkem letopisu redno objavljamo prispevke o plimovanju in temperaturi morja, ki jih bomo v začetku naslednjega leta dopolnili s prispevki o vseh merjenih fizikalnih veličinah hidrološkega monitoringa morja. Vsako leto izdelamo publikacijo Prognozirano plimovanje morja v Koprskem zalivu, v kateri objavljamo izračunane astronomske višine morja. Omenjene publikacije si uporabniki lahko ogledajo tudi na spletnem portalu ARSO (www.arso.gov.si/podrocja/vode/porocila_in_publicacije).

Občasno imamo stike s strokovno sorodnimi mednarodnimi združenji, ki delujejo večinoma v sklopu Svetovne meteorološke organizacije (WMO), Medvladne oceanografske komisije IOC ter geodetskimi združenji.



Slika 4: ARSO publikaciji Mesečni bilten in Hidrološki letopis, v katere so vključena redna mesečna in letna poročila hidrološkega monitoringa morja in redna letna publikacija Prognozirano plimovanje morja v Koprskem zalivu.

Razvoj hidrološkega monitoringa na morju in nekaj časovnih mejnikov

Za razvoj monitoringa višine morja je zanimivo nekaj naslednjih časovnih mejnikov oz. dogodkov:

1958:	Pričetek delovanja mareografske postaje v Kopru. HMZ RS opravlja meritve in zapis podatkov o meritvah, podatke pošilja JRM v Splitu.
1990:	HMZ RS prične opravljati dejavnosti monitoringa morja
1994:	Prvi predlogi prenove mareografske postaje Koper, pričetek mednarodnih geodetskih kampanjskih GPS meritev in meritev absolutne gravimetrije v bližini mareografske postaje Koper v sklopu aktivnosti državne geodetske službe. Tridnevna predavanja g. Hansa Seegerja, enega od avtorjev modela geoida, na povabilo g. Dušana Miškoviča iz Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS) v Ljubljani.
1996:	Interna projektna naloga Hidrometeorološkega Zavoda Republike Slovenije (HMZ RS): »Program opazovanja višine morja«.
1997:	Predlog o ustanovitvi mešane komisije v okviru programa opazovanj višin morja; začetek sodelovanja v COST 40 projektu »Evropski opazovalni sistem za višine morja« (European Sea-level Observing System)
2000:	Članstvo HMZ RS v novoustanovljeni službi ESEAS.
2002:	Začetek projekta ESEAS-RI, v katerega se je vključil tudi ARSO.
2005:	Zaključek projekta ESEAS-RI. Kot nadaljevanje dejavnosti je bil oddan predlog projekta Opazovalno-opozorilni sistem za višine morja v primeru naravnih nesreč (Sea Level Hazard Observing System, SLHOS) na razpis šestega evropskega okvirnega programa raziskav (Sixth Framework Programme, FP6) na temo Globalne spremembe in ekosistemi (Global Change and Ecosystems).

V zadnjih letih smo tako uspeli razširiti nabor veličin, ki jih delimo na:

- višinam morja pripadajoče geodetske (CGPS) in meteorološke podatke s prenovljene postaje Koper ter
- oceanografske parametre valovanje morja, morskega toka in temperature po celotni globini morja ter slanost morja z oceanografske boje, katere lastnik je MBP/NIB.

Za razvoj hidrološkega monitoringa morja je bilo posebej pomembno sodelovanje v projektu Razvoj infrastrukture Evropske službe za višine morja (ESEAS RI).

Sodelovanje v projektu Razvoj infrastrukture Evropske službe za višine morja ESEAS-RI

Triletni projekt ESEAS-RI (European Sea Level Service - Research Infrastructure, <http://www.eseas.org/eseas-ri/>), ki se je končal novembra 2005, je bil namenjen razvoju infrastrukture Evropske službe za višino morja (ESEAS). Koordinator projekta je bila norveška geodetska uprava (Statens Kartverk). Sodelovalo je 21 znanstvenih in strokovnih institucij iz različnih, večinoma evropskih držav, med katerimi je ARSO sodeloval z zunanjimi sodelavci.

Pomen projekta je bil, poleg drugih širokih možnosti uporabe rezultatov, prispevek k sodobnim geodetskim izzivom, reševanju aktualnih okoljskih problemov družbe (kot so npr. podnebne spremembe) ter evropsko povezovanje sorodnih institucij in strokovnjakov. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) se je z rezultati projekta pridružila najbolj razvitim evropskim pomorskim državam.

Vsebina projekta je vključevala razvoj opazovalne mreže na osnovi novih tehnologij meritev in testiranje sodobne instrumentalne opreme, izdelavo kriterijev in standardov meritev, prenovo obstoječih nizov podatkov, dostop do podatkov, analize in študije na osnovi podatkov daljinskih meritev, razširjanje produktov in rezultatov projekta ter posredno vključevanje novih kadrov v ESEAS.

Agencija Republike Slovenije za okolje je bila skupaj z zunanjimi sodelavci vključena v naslednje tri delovne skupine projekta:

- razvoj metod za kontrolo kvalitete opazovanj višin morja,
- analiza višin morja na letni do desetletni časovni skali,
- razvoj opazovalne mreže.

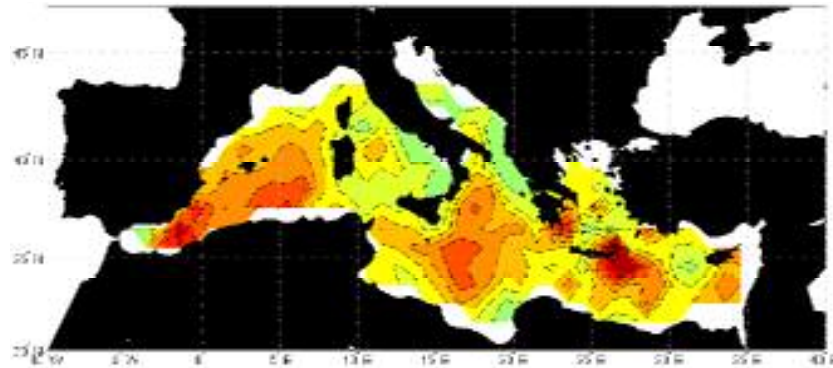
Rezultati sodelovanja v projektu ESEAS RI

V sklopu razvoja metod za kontrolo kvalitete opazovanj so bili doseženi naslednji rezultati:

- sodelovanje pri določitvi lokacij in tipov meritev v evropski opazovalni mreži višin morja,
- sodelovanje pri izdelavi kriterijev in standardnih izvajanj kvalitete meritev ter njihova vpeljava na ARSO,
- prenova 45 letnega niza višine morja v Kopru ter pripadajočih meteoroloških in oceanografskih podatkov ter izračuni statističnih vrednosti višin morja v Kopru,
- omogočen dostop javnosti do urnih nizov višin morja v Kopru in pripadajočih podatkov preko ESEAS spletnega portala.

ARSO je sodeloval pri izdelavi empiričnega modela variabilnosti višin morja na letni do desetletni časovni skali, ki naj bi s pomočjo primernih oceanografskih in atmosferskih meritev, ocenil ploskovne vrednosti višine morja v Sredozemlju. Rezultati so pokazali, da na desetletni časovni skali k variabilnostim višini morja najbolj prispeva statično raztezanje morske vode, ki je funkcija temperature in slanosti. Statično raztezanje morske vode je bilo izračunano s pomočjo meritev vertikalnih profilov temperatur in slanosti morske vode. Na letni časovnih skali variabilnost višin morja poveča tudi dinamičen prispevek (kot npr. vetrovno in pritiskovo siljenje). S pomočjo ploskovnih meritev višin morja satelitske

altimetrije in atmosferskih polj smo s statističnimi metodami poiskali povezanost teh dveh parametrov. Taka povezava nam je služila kot osnova za izdelavo statističnega modela višin morja.



Slika 5: Variabilnost višin morja v Sredozemskem morju

Mareografsko postajo v Kopru, ki je pričela z delovanjem leta 1958, smo v sklopu ESEAS RI in s podporo državne geodetske službe (GURS/GIRS/FGG) leta 2005 prenovili in nadgradili. Na postaji potekajo neprekinjene meritve različnih hidroloških, geodetskih in meteoroloških veličin (višino in temperaturo morja, natančen položaj postaje, zračni pritisk, veter idr). Višine morja merimo sočasno z instrumentom na plovec ter dvema radarskima merilnikoma, od katerih je eden nameščen izven objekta, drugi pa v objektu. V novo zgrajenem objektu, ki je temeljen s piloti v trdno podlago 10 m pod morskim dnom z neprekinjenimi GPS meritvami spremljamo vertikalno stabilnost merilnih instrumentov za višine morja z istim velikostnim redom meritev kot je ocenjeni trend naraščanja višin morja (1 mm/leto). Tehnologija meritev nam omogoča neprekinjeno ločevanje zemeljskih oz. tektonskih pomikov od sprememb višin morja. Višinsko stabilnost bomo v sodelovanju z državno geodetsko službo predvidoma spremljali tudi z občasnimi meritvami absolutne gravimetrije na bližnji lokaciji Socerb ter z nivelmansko navezavo na primarno nacionalno višinsko točko v Kopru. Postaja je navezana na zemeljski geoid in elipsoid ter je primerna za umerjanje meritev satelitske altimetrije. Meteorološke veličine nam skupaj s podatki z oceanografske boje v Piranu omogočajo analitičen pristop k obravnavi podatkov višin morja. S prenov postaje v Kopru opuščamo zapis na neskončen papir, naknadno digitaliziranje podatkov ter spremljanje delovanja postaje z opazovalcem. Pogostost avtomatskega prenosa podatkov meritev je možno prilagajati uporabi podatkov. V bližnji prihodnosti se bo v sklopu načrtovanega EU projekta opazovalno opozorilnega sistema ESEAS SLHOS frekvenca podatkov povečala iz polurnih na minutne časovne termine. V času prenove postaje Koper smo v neposredno bližino nekaj metrov od prenovljene postaje postavili nadomestno postajo, ki jo bomo ukinili po enoletnem sočasnem delovanju s prenovljeno postajo. Z nadgradnjo mareografske postaje v Kopru smo se kar najbolj približali sodobnim mednarodnim priporočilom meritev višin morja. Postaja je vključena v evropsko opazovalno mrežo ESEAS. V ESEAS nacionalnem centru na ARSO podatke obdelujemo in posredujemo domačim in mednarodnim uporabnikom.



Slika 6: Mareografska postaja Koper do leta 2005 (levo) in kot eden rezultatov ESEAS RI nadgrajena mareografska postaja Koper po letu 2005 (desno).

Sočasno s projektom ESEAS RI sta v letu 2005 ARSO in MBP/NIB nadgradili oceanografsko bojo Piran z ADCP merilnim instrumentom za spremljanje valovanja in morskih tokov. ARSO je izvedel nakup, sodelavci MBP pa so ob koncu leta 2005 poskrbeli za montažo in avtomatski prenos podatkov blizu realnega časa. Valovanje morja v tem času uvajamo v ARSO hidrološki monitoring morja.

Za uresničevanje ciljev projekta smo v tem obdobju razširili sodelovanje s posameznimi zunanji sodelavci in naslednjimi institucijami:

- GURS/GIRS/FGG s sporazumom o sodelovanju in pogodbo,
- MBP/NIB v okviru večletnih pogodbenih obveznosti,
- Harpha d.o. o. ter z nekaterimi drugimi institucijami s pogodbami.

Zaključek in načrti v naslednjih letih

Hidrološki monitoring morja na ARSO se je v zadnjih letih dokaj hitro razvijal. Z rezultati projekta ESEAS RI se je dobro vključil v sorodne evropske aktivnosti, prispeval k razvoju nacionalnih geodetskih mrež ter drugih uporab podatkov.

Po posodobljeni infrastrukturi monitoringa morja se nameravamo v nadaljevanju posvetiti uporabi izgrajene infrastrukture. Tako načrtujemo v naslednjem nekajletnem obdobju:

- skupaj s članicami ESEAS identificirati ogroženost in ranljivost morskih in obalnih področij ter nadgraditi opazovalni in opozorilni sistem za potrebe katastrofalnih dogodkov vključno z možnostjo tsunamijev,
- nadgraditi opazovalno mrežo z mareografsko postajo v Piranskem zalivu ter opazovalnimi postajami v območju somornice,
- razširiti mednarodno izmenjavo podatkov in sodelovanje
- nadaljevati in razširjati sodelovanje s slovenskimi inštitucijami ter vzpodbujati uporabo podatkov.

Načrtovane aktivnosti nameravamo uresničiti skladno s:

- prilagajanjem evropskim smernicam,

- v sklopu pričakovanega projekta ESEAS SLHOS za katerega predlog smo oddali novembra letos na razpisu EU FP6 Global change and Ecosystems ter
- glede na možnosti z dodatnimi predlogi za razpis Norveškega finančnega mehanizma in/ali podobnih EU skladov.

Publikacije v času ESEAS RI

Objave v mednarodnih revijah:

- Klemen Bergant, Mojca Sušnik, Igor Strojan, Andrew G. P. Shaw 2005: Sea Level Variability at Adriatic coast and its relationship to atmospheric forcing. *Annales Geophysicae*, 23 (1997-2010)
- Kay Sušelj, Michael N. Tsimplis, Klemen Bergant: Is the Mediterranean Sea Level Variability Predictable? (poslano za objavo v *Physics and Chemistry of the Earth*)
- Kay Sušelj, Klemen Bergant: Mediterranean Oscillation Index, the Main Mode of Atmospheric Variability Above the Mediterranean Region. (poslano za objavo v *Geophysical Research Letters*)

Prispevki na delavnicah:

- Mojca Robič, Igor Strojan, Špela Vrhovec, Kristina Slijepčević 2005: contribution of ESEAS-RI to renovation of data string in Koper, Slovenia. Workshop on Sea Level Variations (5.-6. October 2005, Split)
- Xiuhua Zhang, Espen Isaksen, Hans-Peter Plag, Lesley Rickards, Elizabeth Bradshaw, Maria Jesus Garcia, Hasan Yildiz, Marzenna Sztobryn, Igor Strojan, Eimuntas Parseliunas, Theo Kardaras, Chrissa Tsele, George Malliaris, Andreas Nikolaidis, P. Zacharaki, Dov S. Rosen, Isaac Gertman, Irina Lunin, Ryszard Zdunek, Fabio Raichich: Development of observing sites oriented data services-towards an operational European Sea Level Service. Workshop on Sea Level Variations (5.-6. October 2005, Split)
- Luciana Fenoglio-Marc, Kay Sušelj: Interdecadal model for the sea surface height in the Mediterranean Sea. Workshop on Sea Level Variations (5.-6. October 2005, Split)
- A. G. P. Shaw, M. N. Tsimplis, O. B. Andersen, L. Fenoglio-Marc, N. Kjær, K. Sušelj: Sea level trends derived from short sea level records and with decadal and inter-decadal variability removed. Workshop on Sea Level Variations (5.-6. October 2005, Split)
- Kay Sušelj, Michael N. Tsimplis, Klemen Bergant: Atmospheric forcing on sea surface height variability in the Mediterranean Sea. Workshop on Sea Level Variations (5.-6. October 2005, Split)
- Kay Sušelj, Vlado Malačič: Sea surface height variability of the Mediterranean Sea related to sea level pressure. Workshop on Sea Level Variations (5.-6. October 2005, Split)
- B. Černač, I. Strojan, D. Radovan : Technical aspects of upgrading PMMGPS Station Koper - Adriatic Sea. Workshop on Observing and Understanding Sea Level Variations (1.-3. November 2004, Malta)
- Klemen Bergant, Mojca Sušnik, Igor Strojan, Kay Sušelj and Andrew G.P.Shaw: Reconstruction of tide gauge measurements at Adriatic, Aegean and Black Sea coasts. Workshop on Observing and Understanding Sea Level Variations (1.-3. November 2004, Malta)
- Kay Sušelj, Michael N. Tsimplis: Is the Mediterranean Sea Level Predictable? Workshop on Observing and Understanding Sea Level Variations (1.-3. November 2004, Malta)