

RAZPRAVE

**REGIONALNE SPREMEMBE MORSKE GLADINE:
PODATKI, VPLIVNI DEJAVNIKI IN POSLEDICE**

AVTOR

dr. Blaž Komac

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika,
Novi trg 2, SI – 1000 Ljubljana
blaz.komac@zrc-sazu.si, <https://orcid.org/0000-0003-4205-5790>

DOI: <https://doi.org/10.3986/GV95201>

UDK: 551.461:551.583(262+262.3)

COBISS: 1.02

IZVLEČEK

Regionalne spremembe morske gladine: podatki, vplivni dejavniki in posledice

V članku predstavljamo podatke o meritvah dviganja morske gladine, od globalne ravni, prek Sredozemskega in Jadranskega morja do Tržaškega zaliva. Svetovno morje se je v 20. stoletju dvignilo za 0,2 m. V Sredozemskem morju je dviganje regionalno zelo različno, v Jadranskem morju se gladina dviga s hitrostjo približno 1,7 mm/leto, v Egejskem morju pa kar 5 mm/leto. V Tržaškem zalivu je dviganje gladine dokumentirano že od rimske dobe, v zadnjih desetletjih je povprečno 1,7 mm/leto. Obravnavamo dejavnike, ki vplivajo na višino morske gladine, kot so dvig temperature in posledično raztezanje oceanov, taljenje ledu, tektonika in ciklični pojavi, kot je severnoatlantska oscilacija, zaradi katerih je stopnja dviga morske gladine regionalno različna. Poplave morja so v zadnjem času 1,5-krat pogostejše kot pred desetletji, zato bo za obalna mesta bolj kot prilagajanje na višjo morsko gladino pomembno prilagajanje na večjo pogostost visokih plim, nevihtnih valov in morskih poplav.

KLJUČNE BESEDE

spremembe morske gladine, globalne podnebne spremembe, napovedi dviga morske gladine, morske poplave, Sredozemsko morje, Jadransko morje, Slovenija

ABSTRACT

Regional sea level rise: data, drivers and effects

In this article we present data on measurements of sea level rise, from the global level across the Mediterranean and Adriatic Sea to the Gulf of Trieste. Global sea level has risen by 0.2 m in the 20th century. In the Mediterranean, the rise varies from region to region, with the Adriatic Sea rising at a rate of around 1.7 mm/year and the Aegean even at 5 mm/year. In the Gulf of Trieste, sea level rise has been documented since Roman times and has averaged 1.7 mm/year in recent decades. We consider the factors that influence sea level rise, such as temperature rise, the resulting expansion of the ocean, ice melt, tectonics and cyclical phenomena such as the North Atlantic Oscillation, which cause the rate of sea level rise to vary regionally. Sea flooding has recently become 1.5 times more frequent than decades ago. Adapting to the increasing frequency of high tides, storm surges and flooding will therefore be more important for coastal cities than adapting to higher sea levels.

KEY WORDS

sea level changes, global climate change, sea level projections, sea flooding, Mediterranean Sea, Adriatic Sea, Slovenia

Uredništvo je prispevek prejelo 23. maja 2023.

1 Uvod

Globalna evstatična morska gladina je razdalja med srednjo morskno gladino in fiksnim izhodiščem, kakršno je središče Zemlje. Nanjo vplivajo številni dejavniki, kot so tektonski, ledeniški, hidrološki in izostatični vplivi. V geološki zgodovini so spremembe dosegale več sto metrov in so najpogosteje posledica tektonskih premikov in sprememb podnebja (Šifrer 1965). Tako v kvartarju odsevajo zlasti razmerja v količini vode med kriosfero, deli Zemlje z vodo v trdnem stanju, in oceani (Lambeck in Nakiboglu 1984; Peltier in Tushingham 1991; Lambeck in Chappell 2001).

Globalne spremembe morske gladine je mogoče rekonstruirati le na tektonsko stabilnih območjih, kot so Bermudi in Bahami, drugod pa lahko za daljša obdobja govorimo zgolj o relativnih spremembah gladine glede na kopno (Antonioli s sodelavci 2007). Meritve relativne višine morske gladine glede na izbrano točko na obali oziroma na kopnem potekajo povečini od sredine 19. stoletja. Meritve izvajajo z mareografi, v zadnjih dveh desetletjih pa so pogostejše meritve geocentrične gladine morja glede na referenčni elipsoid s satelitsko altimetrijo. Povprečna ali srednja višina morske gladine na določeni izhodiščni točki opredeljuje (nadmorsko) višino bližnjega kopnega. Gibanje gladine morja v daljših obdobjih ocenjujejo tudi na podlagi meritev tektonskih premikov in sedimentoloških zapisov ter arheoloških najdb. Čeprav se lahko lokalne spremembe relativne morske gladine zelo razlikujejo od regionalnih ali globalnih zaradi prostorske spremenljivosti sprememb morske gladine, višine oceanskega dna in vpliva atmosfere, lahko srednjo gladino morja prostorsko in časovno povprečimo ter tako določimo regionalno ali globalno srednjo gladino morja. Ugotavljajo, da se ta v zadnjih desetletjih dviguje hitreje kot doslej (Church s sodelavci 2013).

Na višino morja v zadnjem času močno vplivajo spremembe kriosfere, ki povečajo dotok sladke vode, zato je spreminjanje gladine svetovnega morja v zadnjih desetletjih postalo kazalnik podnebnih sprememb (Stammer 2008; Yin, Griffies in Stouffer 2010). Učinek izmenjave lednih in vodnih gmot med kopnim in oceani na višino morja je dokaj hiter, saj se gladina morja prilagodi v nekaj dneh (Lorbacher s sodelavci 2012). Na višino morske gladine poleg tega vplivajo tudi morski tokovi, temperatura (Okumura s sodelavci 2009; Stammer s sodelavci 2011) ter slanost in gostota vode (Landerer, Jungclaus



MOJCA ROBIČ

Slika 1: Morske poplave omejujejo različne dejavnosti, med katere spada tudi prehajanje mednarodne morske meje – Piran.

in Marotzke 2007; Yin s sodelavci 2010; Gregory in Lowe 2000), kratkoročno pa spremembe zračnega tlaka, vremenski pojavi, plimovanje in valovanje (White, Church in Gregory 2005; Miller in Douglas 2007; Zhang in Church 2012). Nenazadnje na vodni krog in s tem na višino morja vpliva tudi človek, na primer z zadrževanjem vode v jezerih, rabo vode v industriji in kmetijstvu ter spremembami pokrovnosti, ki vplivajo na vodni odtok in evapotranspiracijo (Sahagian 2000; Wada s sodelavci 2010).

V prvem delu članka predstavljamo izsledke meritev sprememb morske gladine v slovenskem morju, Tržaškem zalivu, Jadranskem in Sredozemskem morju ter v svetovnem oceanu. V drugem delu podajamo pregled prihodnjih sprememb oziroma naraščanja gladine morja s poudarkom na Tržaškem zalivu ter Jadranskem in Sredozemskem morju ter razpravljamo o nekaterih vzrokih dviganja morske gladine. Posebno pozornost posvečamo ekstremnim dogodkom, kakršne so morske poplave, ki bodo v prihodnje pogostejše kot doslej (slika 1).

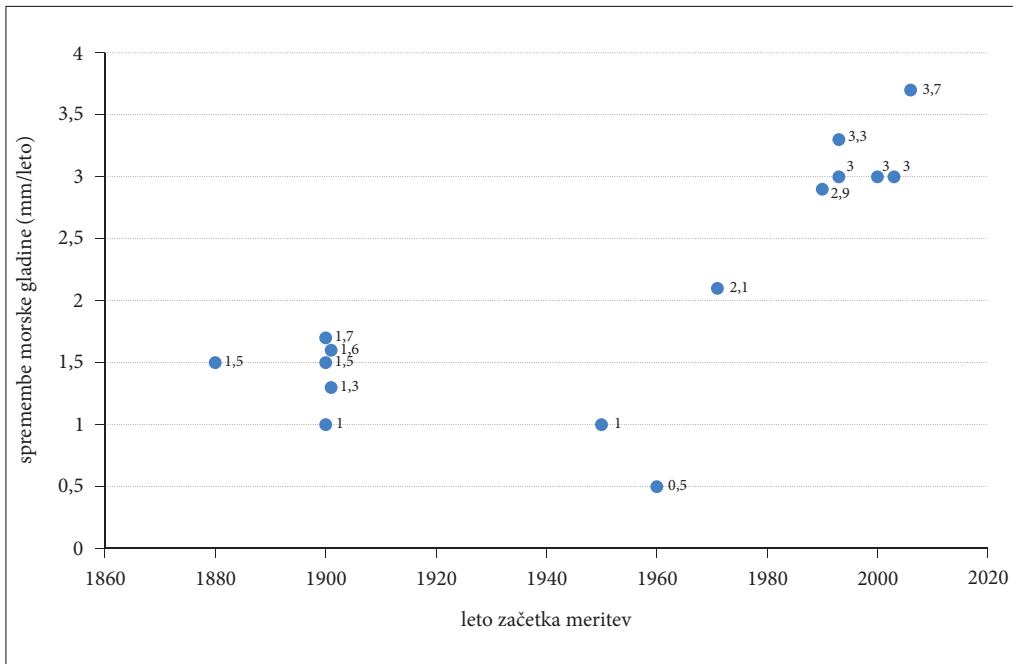
2 Dosedanje spremembe morske gladine

2.1 Svetovno morje

Po podatkih Mednarodnega panela za podnebne spremembe IPCC (Church s sodelavci 2013) se je hitrost dviganja morske gladine povečala na prehodu iz 19. v 20. stoletje. Med letoma 1901 in 2010, ko se je morje dvignilo za 0,17 do 0,21 m, je obsegala med 1,5 in 1,9 mm/leto. V obdobju 1950–2000 je gladina svetovnega morja naraščala za 1,8 mm/leto (Church s sodelavci 2004), od sedemdesetih let dalje je narasla na okrog 2 mm/leto (Palmer s sodelavci 2021) in v devetdesetih letih dosegla 3 mm/leto (Kazalci ... 2016; Nerem s sodelavci 2018). Med letoma 1993 in 2010 je dosegla 2,8–3,6 mm/leto, kar je podobno kot v obdobju med letoma 1920 in 1950 (Church in White 2006; 2011; Hay s sodelavci 2015). Po drugih podatkih je povprečna hitrost naraščanja gladine svetovnega morja v 20. stoletju okrog 1,5 mm/leto (Douglas 2001; Masina in Lamberti 2013; Global ... 2022; Palmer s sodelavci 2021). V splošnem je hitrost dviganja večja v zadnjih desetletjih. Church s sodelavci (2013) navaja vrednost 1,8 mm/leto in ugotavlja, da se je hitrost dviganja gladine od več kot 1 mm/leto pred letom 1950 najprej zmanjšala na manj kot 0,5 mm/leto v šestdesetih letih 20. stoletja in do leta 2000 narasla na 3 mm/leto (slika 2).

Po svetu so velike razlike in dviganje gladine je ponekod nižje od povprečja, drugod pa izrazito nadpovprečno. Regionalne stopnje spreminjanja morske gladine za severno poloblo ($2,0 \pm 0,2$ mm/leto) so večje od južne ($1,1 \pm 0,2$ mm/leto), z globalnim povprečjem $1,8 \pm 0,5$ mm/leto (Wöppelmann s sodelavci 2014). Tako se je gladina Atlantika po letu 1960 dvigala za 1,0–2,2 mm/leto (Tsimplis in Baker 2000; Tsimplis in Josey 2001), v New Yorku pa za 0,3 mm/leto oziroma za 22 cm od leta 1950 (Parsons s sodelavci 2023). Na Novi Zelandiji se je gladina Tihega oceana med letoma 1500 in 1900 dvigala počasneje ($0,3 \pm 0,3$ mm/leto) kot v 20. stoletju ($2,8 \pm 0,5$ mm/leto (Gehrels s sodelavci 2008)). Na ameriški vzhodni obali je bilo dvigovanje v obdobju 1880–1980 $2,3$ mm/leto severno od 40 stopinj zemljepisne širine in 3 mm/leto južno od te ločnice. Relativni dvig morske gladine na Tuvaluju v obdobju 1950–2001 je 2 ± 1 mm/leto (Church, White in Hunter 2006), podobno v Mehiškem zalivu ($2,8$ mm/leto). Nasprotno pa dviganje na atlantski obali Evrope v istem času z $0,8$ mm/leto ni doseglo milimetra na leto (Klein in Lichter 2009). Črno morje se je pred in po letu 1960 dvigalo s hitrostjo 2 mm/leto, v obdobju 1992–1996 pa z rekordno hitrostjo 27 mm/leto (Tsimplis in Baker 2000). Za obdobje 1993–2001 so velike stopnje dviga morske gladine tudi v zahodnem Tihem in vzhodnem Indijskem oceanu (30 mm/leto), v zahodnem Indijskem oceanu pa so zabeležili padec gladine za -10 mm/leto. Tudi na večjem delu zahodne ameriške obale se je gladina v obdobju 1993–2012 znižala (Church, White in Hunter 2006).

Trenutno se morska gladina dviguje s hitrostjo $3-4$ mm/leto, kar napoveduje dvig med $0,3$ in $2,0$ m do leta 2100, odvisno od metodologije in vpliva uporabljenega scenarija emisij CO_2 (Kopp s sodelavci 2014; Yi s sodelavci 2015). Po satelitskih meritvah v obdobju 1993–2012 je ob upoštevanju popravka $-0,3$ mm/leto zaradi izostazije (Peltier 2009) stopnja dviganja morja $3,2$ mm/leto, a z mersko napako



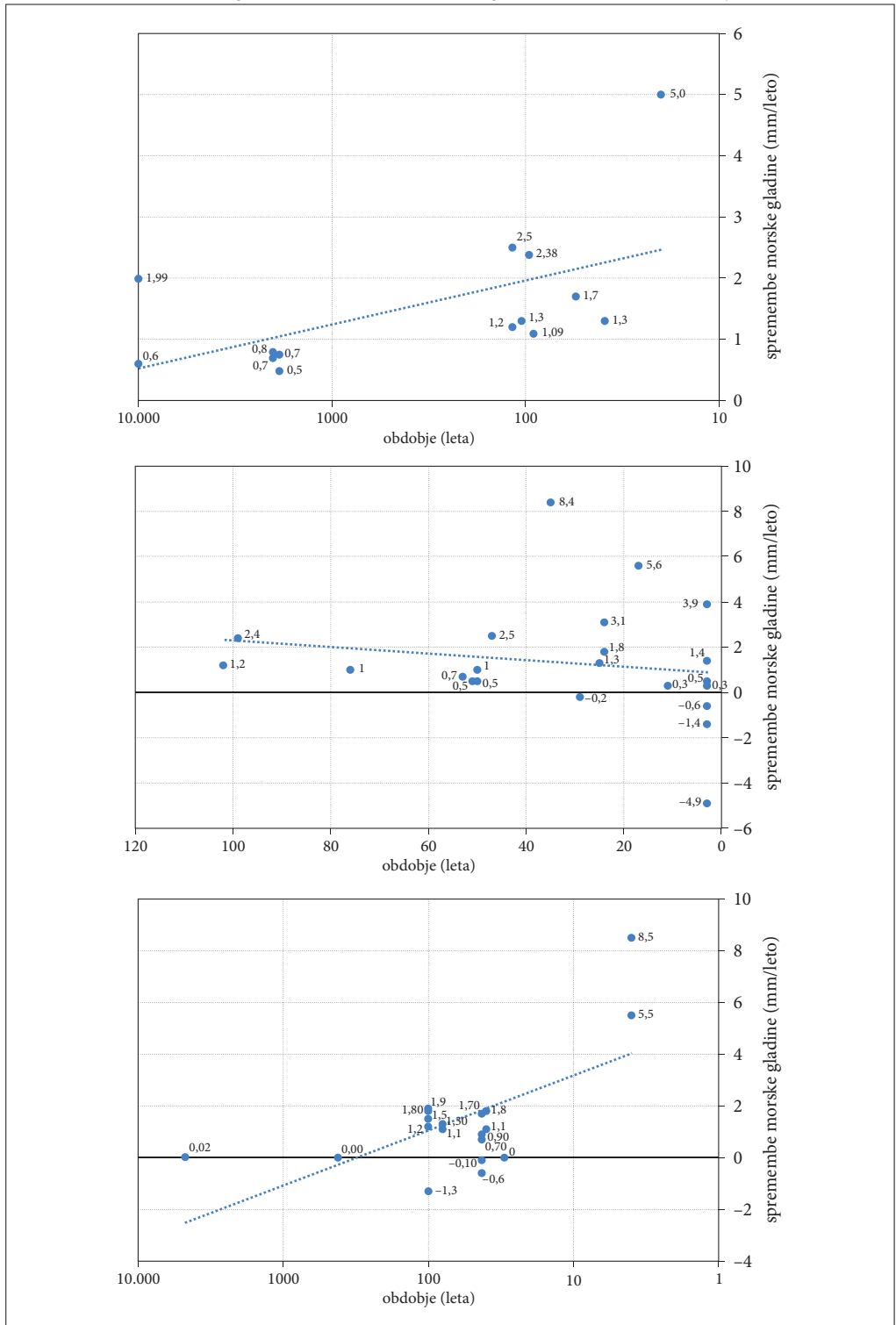
Slika 2: Hitrost dviganja gladine svetovnega morja v mm/leto (lastni izračuni po: Douglas 2001; Masina in Lamberti 2013; Klein in Lichter 2009; Kazalci ... 2016; Nerem s sodelavci 2018; Palmer s sodelavci 2021; Global ... 2022).

istega velikostnega reda, med 2,8 in 3,6 mm/leto (Ablain s sodelavci 2009). S satelitskimi metodami so južno od Krete v obdobju 1993–1999 izmerili dviganje gladine celo za 20,0 mm/leto (Cazenave s sodelavci 2001). Napaka meritev je pri satelitskem merjenju zaradi atmosfarske refrakcije, vpliva morskih tokov in premikanja kopnega večja za zaprta morja ter v bližini obale. Palmer s sodelavci (2021) navaja relativno mersko napako kar 44 %. Hitrost dviganja gladine svetovnega morja je odvisna od dolžine obdobja oziroma časa, ki je pretekel od začetka meritev (slika 2).

2.2 Sredozemsko morje

Sredozemsko morje je zaradi šibke povezanosti z oceani, razgibanosti obale, vročega podnebja ter dokaj majhnega dotoka rek in posledično negativne vodne bilance specifično tudi glede gibanja višine morja. V 20. stoletju je gladina po različnih ocenah naraščala med 1,1 mm/leto (Tsimplis s sodelavci 2005; 2008), 1,2 mm/leto (Tsimplis in Baker 2000; Tsimplis s sodelavci 2012), 1,3 mm/leto (Tsimplis s sodelavci 2005) in 1,5 mm/leto (Tsimplis in Baker 2000; Klein in Lichter 2009) ter 1,8 mm/leto (Tsimplis s sodelavci 2008; Antonioli s sodelavci 2020) in 2,1 mm/leto (Klein in Lichter 2009). Pospešeno dviganje v zadnjem stoletju nakazujejo tudi biomorfološki znaki oziroma obalno rastlinstvo (Laborel s sodelavci 1994; Tsimplis in Baker 2000). V obdobju 1960–2000 naj bi se po ugotovitvah Zerbinija s sodelavci (2017) gladina povprečno dvigala za 1,6 do 1,7 mm/leto, od leta 1960 do 1975 je bila stabilna, potem pa je naraščala s stopnjo med 1,1 in 1,8 mm/leto (Tsimplis s sodelavci 2008).

Slika 3: Odvisnost letnih sprememb višine morja od dolžine obdobja opazovanja za Tržaški zaliv (zgoraj) ter Jadransko (sredina) in Sredozemsko morje (spodaj) (lastni izračuni po virih iz slike 2). ► str. 14



Značilne so velike regionalne razlike v dviganju, ki je po devetdesetih letih 20. stoletja na vzhodu med 5 in 10 mm/leto (Cazenave s sodelavci 2002; Tsimplis s sodelavci 2008), nizko na zahodu, v Egejskem morju pa celo negativno (Cazenave s sodelavci 2002). Po letu 1960 so ponekod v Sredozemskem morju zabeležili celo upad za $-1,3$ mm/leto (Tsimplis in Baker 2000). Za osrednje in vzhodno Sredozemsko morje za obdobje 1958–2001 in 1960–1990 ugotovljajo nižanje gladine za $-0,6$ mm/leto oziroma stabilno gladino (Tsimplis s sodelavci 2005). V severnem Sredozemlju je gladina v 20. stoletju naraščala za $1,7$ mm/leto (Zerbini s sodelavci 2017), pri Marseillu v Franciji so za obdobje 1880–2000 izračunali dviganje morja v višini $1,1-2,2$ mm/leto (Brunel in Sabatier 2009).

Med letoma 4500 in 1500 pr. Kr. se je morska gladina dvigala za $0,4$ mm/leto, po letu 1500 pa se je dviganje upočasnilo na $0,2$ mm/leto. Pred letom 1960 je bila za Sredozemsko morje značilna rast gladine za $1,3-1,5$ mm/leto, medtem ko je v Črnem morju in na Atlantiku gladina naraščala od $1,8$ do $2,2$ mm/leto. Za novejšo obdobje 1993–2011 tudi za Sredozemsko morje navajajo vrednost $3,0 \pm 0,7$ mm/leto, pri čemer dvig morske gladine ne poteka linearno, temveč po dveh 2–3-letnih obdobjih, od katerih vsako prispeva k dvigu morske gladine za $2-3$ mm (Tsimplis s sodelavci 2013). Tudi za Sredozemsko morje, Jadransko morje in Tržaški zaliv je hitrost dviganja gladine morja odvisna od dolžine obdobja oziroma časa, ki je pretekel od začetka meritev (slika 3).

2.3 Jadransko morje

Ker je tudi obala Jadranskega morja tektonsko aktivna, je višino morske gladine mogoče opisati le relativno, glede na obalo. Hitrost naraščanja gladine se je v preteklosti povečevala. Onac s sodelavci (2022) poroča o dviganju $0,29$ mm/leto za obdobje 3260–2840 pr. Kr. in $0,09$ mm/leto za obdobje 2840 pr. Kr. do leta 1900. Večina navedb o sodobnem procesu je v razponu od rahlo negativnih vrednosti do $1,8$ mm/leto (Cazenave s sodelavci 2002; Tsimplis s sodelavci 2008; 2012). Potopljene vrtače v Lošinjskem kanalu kažejo na dvig gladine za 3 m od leta 4300 pr. Kr. ($0,47$ mm/leto), A. Faber pa je ocenil skoraj 2 m nižjo gladino v antiki (Brunović s sodelavci 2019). Arheološke najdbe v Jadranskem morju pri otoku Silba za zadnjih 1500 let kažejo na dviganje gladine v višini med $0,85$ in $1,92$ mm/leto (Parica 2015; 2022) oziroma za $0,80$ mm/leto za območje Pulja (Florido s sodelavci 2011). Pri Osorju na otoku Cres so za zadnjih 4000 let izračunali dviganje gladine za $0,63$ mm/leto (Draganits s sodelavci 2019).

Od začetka do sredine 20. stoletja se je Jadransko morje dvigalo povprečno za $1,0$ do $2,4$ mm/leto, k čemur tektonika prispeva približno 1 mm (Tsimplis s sodelavci 2012). Lambeck s sodelavci (2004) pa celo poroča, da naj bi se gladina od rimskih časov do danes dvignila le za 20 cm, vsa dodatna razlika pa gre na račun lokalnih vplivov, zlasti tektonskih premikov.

Razlike med meritvami sodobnih mareografskih postaj so velike, med $-4,9$ mm/leto in $8,4$ mm/leto, odvisno od lokacije in obdobja meritev (slika 3). Povprečje sodobnih meritev na osmih lokacijah severnega Jadrana med letoma 2002 in 2005 je $-0,04$ mm/leto, brez upoštevanja Rovinja, ki z vrednostjo $-4,9$ mm/leto izstopa navzdol, pa še vedno majhen dvig za $0,66$ mm/leto. Podobne so sodobne vrednosti za Zadar ($0,3$ mm/leto za obdobje 1995–2006) in Trst (dviganje $0,5$ mm/leto za obdobje 2002–2005). Za 14 lokacij med Trstom in Barom je v 44 let dolgem obdobju povprečen dvig gladine $2,13$ mm/leto, brez upoštevanja izstopajoče vrednosti $8,4$ mm/leto za Porto Corsini pri Raveni pa $1,65$ mm/leto oziroma $1,32$ mm/leto brez vrednosti za Sućuraj ($5,6$ mm/leto) (Tsimplis s sodelavci 2005). Po Buble s sodelavci (2010) je skupno dviganje gladine Jadranskega morja velikostnega reda $0,84 \pm 0,04$ mm/leto, kar je za faktor štiri nižje od povprečja, pridobljenega s satelitskimi meritvami za globalno raven (Most ... 2023).

2.4 Tržaški zaliv

Severni del Jadranskega morja se razlikuje od Sredozemlja ne samo po legi, temveč tudi po manjši globini morja in obkroženosti s kopnim. Tržaški zaliv je namreč povprečno globok le okrog 20 m (Orožen Adamič 1991). Podatki mareografske postaje Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO)

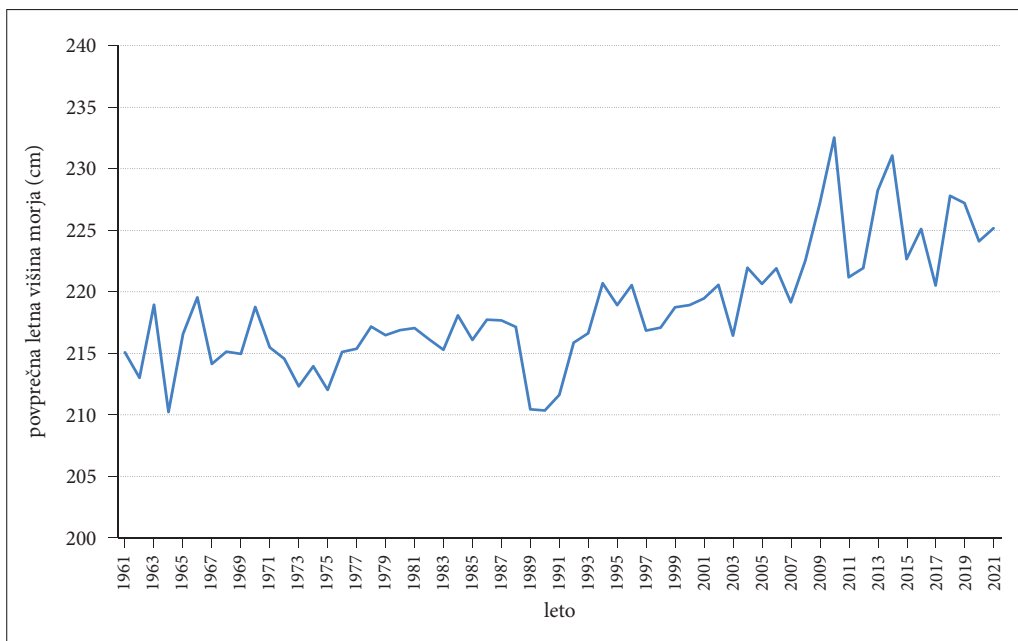
o višini morja v Kopru (Arhiv ... 2023), kažejo, da je srednja višina morja od leta 1960 upadala in se nato od sedemdesetih let 20. stoletja dvigala. Do leta 2000 je gladina vsako desetletje narasla največ za centimeter, potem pa za približno pet centimetrov na desetletje. Povprečna višina morja je bila v desetletju 2010–2019 za 10,22 centimetra višja od povprečne gladine v desetletju 1960–1969 (preglednica 1).

Razlika od začetne vrednosti za obdobje 1960–1969 do absolutnega letnega viška pri 234 cm je 18 cm. V celotnem obdobju se je morska gladina dvigala s hitrostjo 1,7 mm/leto, kar je skladno s podatki iz regije (Kazalci ... 2016). V prvem desetletju 21. stoletja pa se ni povečal le odklon od povprečja, temveč je narasla tudi spremenljivost pojava (slika 4).

Relativno dviganje morske gladine (glede na kopno) je tudi za slovensko obalo z arheološkimi dokazi dokumentirano že vsaj od rimske dobe. V Simonovem zalivu pri Izoli sta rimska pomola $1,5\text{ m} \pm 0,6\text{ m}$

Preglednica 1: Desetletno povprečje srednje letne višine morja v Kopru in razlika glede na izhodiščno desetletje (vir: Arhiv ... 2023).

dekada	desetletno povprečje srednje letne višine morja v Kopru (v cm)	razlika glede na 1960–1969 (v cm)
1960–1969	215,72	
1970–1979	215,53	-0,19
1980–1989	216,32	0,61
1990–1999	216,69	0,97
2000–2009	220,70	4,98
2010–2019	225,94	10,22



Slika 4: Srednja letna višina morja (v cm) za mareografsko postajo Koper med letoma 1960 in 2021 (vir: Arhiv ... 2023).



Slika 5: Morske poplave so v zadnjih letih Piran prizadele pogosteje kot v preteklosti.

pod morsko gladino. Zgradili so ju med 2. in 3. stoletjem, kar da hitrost naraščanja morske gladine 0,5–0,7 mm/leto (Antonionioli s sodelavci 2009). Furlani s sodelavci (2011) poroča za obdobje zadnjih 2000 let v Ankaranu in Miljah o dvigu 0,7–0,8 mm/leto, kar je nekaj manj od ocenjene hitrosti relativnega dvigovanja morske gladine za Tržaški zaliv v holocenu, ki znaša povprečno 1,3 mm/leto (Raicich 2007; Scarascia in Lionello 2013). Tudi za Trst poročajo za obdobje 1875–2011 o relativnem dvigu za $1,3 \pm 0,2$ mm/leto (Masina in Lamberti 2013), za obdobje 1909–2000 pa Klein in Lichter (2009) navajata dviganje morske gladine za 1,09 mm/leto v Trstu in 2,38 mm/leto v Benetkah. V obdobju 1890–2007 se je gladina morja v Trstu dvigala za 1,2 mm/leto, v Benetkah za 2,5 mm/leto in pri Raveni za 8,5 mm/leto (Carbognini, Teatini in Tosi 2009). Sicer pa zaradi tektonike in sedimentacije prihaja tudi do razlik med južnim (0,6 mm/leto) in severnim delom Tržaškega zaliva (1,99 mm/leto) (Furlani s sodelavci 2011).

3 Pričakovano dviganje morja v Sredozemskem morju

3.1 Dejavniki prihodnjega dviganje morske gladine

Do konca 21. stoletja se bo gladina dvignila na približno 95 % površine svetovnega morja, k čemur bosta največ prispevala termično raztezanje (30–55 %) in s 15–35 % taljenje ledenikov. Tako naj bi se svetovno morje med letoma 1990 in 2100 dvignilo za 0,5 do 1,4 metra oziroma za 0,91 mm/leto; povprečje dvajsetih različnih napovedi je 0,996 m (Church s sodelavci 2013). Lokalne napovedi dviganja gladine morja so nevhvaležne, saj bodo imele že majhne spremembe gladine kompleksne in nelinearne fizične, socialne, kulturne in tudi politične posledice ter tudi širše dolgoročne pokrajinske spremembe (Barnett s sodelavci 2020).

Ker so podnebne spremembe najpomembnejši kompleksni vzročni dejavnik dviganja globalne morske gladine, nanj posredno vplivajo emisije CO₂ (preglednica 2). Gladina svetovnega morja naj bi se do leta 2100 glede na referenčno obdobje 1995–2014 ob zelo nizkih emisijah (scenarij SSP1-1.9) dvigala s hitrostjo 5,23 mm/leto (0,28–0,61 m), ob zmernih emisijah (scenarij SSP2-4.5) s hitrostjo 6,98 mm/leto (0,44–0,76 m) in kar za 9,30 mm/leto (0,63–1,02 m) ob zelo visokih emisijah (scenarij SSP5-8.5) (Church s sodelavci 2013). Po drugih virih (Brunel in Sabatier 2009) so projekcije dviga nižje; morje naj bi se med letoma 2010 in 2100 dvigalo nekako v dosedanjih okvirih, za 0,14/0,49/1,22 mm/leto (Nerem s sodelavci 2018).

Za Sredozemsko morje med letoma 2010 in 2040/2050 napovedujejo najmanjši/povprečni dvig morske gladine za 9,8/25,6 cm, kar pomeni 2,45/6,40 mm/leto (Tsimplis s sodelavci 2008; Brunel in Sabatier 2009; Galassi in Spada 2014). Tudi Orlič in Pasarić (2013) pričakujeta visok dvig morske gladine Jadranskega morja od 0,5 do 2,0 m, kar pomeni med 6,25 mm/leto oziroma 25 mm/leto. Povprečni predvideni dvig morske gladine, 0,9–1,0 mm/leto, je v bližini Ravene, na severu in jugu Jadranskega morja pa se zmanjša na 0,4–0,5 mm/leto (Di Donato s sodelavci 1999). To je podobno sodobni vrednosti za Tržaški zaliv, ki je 4,5 ± 2,7 mm/leto za obdobje 1993–2011 in višje od vrednosti 3,2 ± 0,4 mm/leto, ki sta jih Church in White (2011) pridobila iz satelitskih podatkov, korigiranih z izostazijo velikosti 2,8 ± 0,8 mm/leto. Podatki kažejo negativno povezanost sprememb višine morja in dolžine podatkovnega niza, kar lahko kaže na izravnavo dolgoročnih meritev s tektonskimi in drugimi dejavniki ali pa na izrazito pozitivno spremembo dviganja gladine v novejšem času. Tako naj bi se po navedbah ARSO morska gladina na slovenski Obali (Koper) med letoma 2013 in 2100 dvignila za 5,75 mm/leto, kar je enak velikostni razred kot navedba dviganja v višini 5,0 mm/leto za obdobje 1995–2015 (Kazalci ... 2016).

Kot kaže, bodo lokalno in regionalno velika odstopanja od povprečnega naraščanja globalne gladine. Nekatere napovedi za Jadransko morje so nižje, kar nakazuje vpliv regionalnih dejavnikov. Za obdobje 2000–2100 navajajo povprečno hitrost dviganja v višini 0,8 mm/leto, kar je celo manj od dviganja v preteklosti, z razponom od 0,3 do 1,6 mm/leto (Di Donato s sodelavci 1999; Scarascia in Lionello 2013).

Na raznolikost ocen poleg izhodiščnih podatkov o dosedanjih meritvah vplivajo raznolikost napovedi vpliva prihodnjih izpustov CO₂ na segrevanje ozračja, spremenljiv odziv taljenja ledu in oceanskih tokov na podnebne spremembe, občutljivost modelov na ocene prispevka ledenega pokrova k dvigu morske gladine ter ciklični dejavniki, kot so El Niño, severnoatlantska oscilacija in tihomorska dekadna oscilacija. Omenimo še naravno spremenljivost podnebja, termično raztezanje morja in regionalne dejavnike, kot je tektonika (Church s sodelavci 2013). Na gladino morja vplivajo tudi temperatura in slanost vode ter količina padavin (prim. Rizzi s sodelavci 2017), podoben vpliv ima vetrovnost, na slovenski Obali zlasti jugo, in lastna frekvenca nihanja Jadranskega morja. Med vplivnimi dejavniki izstopajo spremembe zračnega tlaka, in sicer sezonska nihanja v atmosferi ter kratkoročni vplivi, povezani z ekstremnimi dogodki. Ob poplavah morja novembra 2022 na slovenski Obali se je »zračni tlak znižal za skoraj

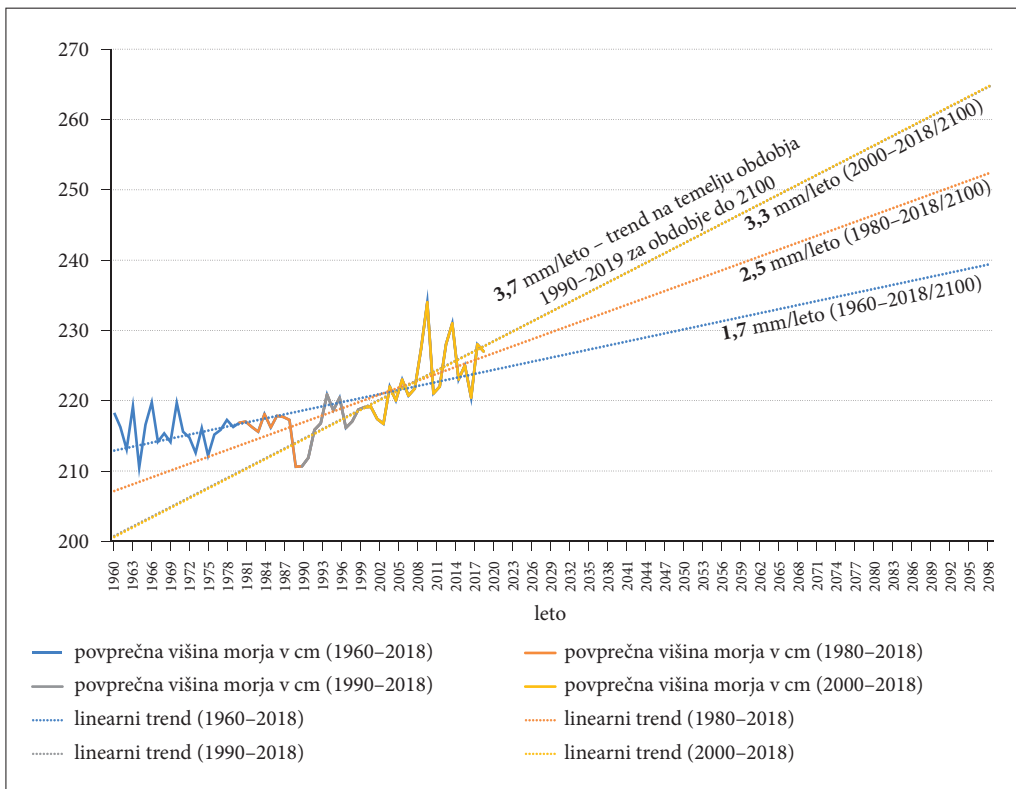
Preglednica 2: Primerjava napovedi dviga globalne morske gladine glede na različne modele, primerjava med obdobjema 1986–2005 in 2081–2100 (Church s sodelavci 2013).

model	dvig gladine za ... do ... mm		povprečni dvig gladine v mm	dvig gladine v mm/leto
RCP2.6	260	550	405	0,43
RCP4.5	320	630	475	1,17
RCP6.0	330	630	480	1,01
RCP8.5	450	820	635	1,32
RCP8.5	520	980	750	1,18
povprečno	380	720	549	1,02

20 hektopaskalov, kar je prispevalo k porastu gladine za okrog 20 cm, gladina pa se je zaradi narinjene vode z juga in lastne frekvence nihanja Jadrana skupaj dvignila za 40 centimetrov« (Kamenarič 2022). Nekateri regionalni modeli, ki upoštevajo temperaturo, slanost in zračni tlak dajejo nižje napovedi, za dvig gladine Jadranskega morja do konca stoletja za 0,89 mm/leto z razponom med 0,26 in 1,59 mm/leto (Scarascia in Lionello 2013).

Pri napovedih moramo upoštevati še večdesetletna nihanja povprečne gladine morja in nihanja, povezana s cikličnimi dogodki, kot La Niña leta 2011 (Boening s sodelavci 2012). Nihanje povprečne morske gladine na primeru Benetk kaže, da niti 25-letno obdobje ni primerno za izračunavanje trendov (Carbognin, Teatini in Tosi 2009) in bi morali uporabiti vsaj 50 let dolg podatkovni niz (Pachauri in Reisinger 2007; Tosi s sodelavci 2010), tudi zaradi 7-8-letne psevdocikličnosti, zabeležene na številnih sredozemskih obalnih postajah (Carbognin s sodelavci 2011). Toda za dolgoročne napovedi je tudi tako dolg časovni niz lahko problematičen zaradi ugotovljene šestdesetletne cikličnosti (Chambers, Merrifield in Nerem 2012; Pan in Lv 2021).

Za Jadransko morje so za obdobje 1872–2012 ugotovili 20-letno oscilacijo, ki jo povezujejo s severnoatlantsko oscilacijo (*North Atlantic Oscillation* – NAO; Gehrels s sodelavci 2020). NAO je obsežno nihanje atmosferskega tlaka med Azori in Islandijo, ki vpliva na podnebje v Evropi (Komac in Zorn 2023), zaradi anomalij v dotoku sladke vode in površinskega tlaka pa posredno vpliva na višino morske gladine. Z indeksom NAO je povezana srednja višina Sredozemskega morja, kar je vidno, ko iz opazovanja izločimo barotropne atmosferske učinke, ki jih povzročata veter in atmosferski tlak.



Slika 6: Srednja letna višina morja (v cm) in linearni trendi prihodnjega gibanja višine morja v odvisnosti od začetnega obdobja (Kazalci... 2016).

Koeficienta korelacije letnih vrednosti višine morja in višino, izmerjeno z inverznim barometričkim popravkom (*Inverse barometer corrected batimetry* – IBC) z zimskim NAO sta $-0,72$ oziroma $-0,65$. Vrednosti višine morja za obdobje 1958–2001 so povezane zlasti z zimskim NAO (koeficient korelacije $0,58$ do $0,68$) (Tsimplis s sodelavci 2013). Ob nizki vrednosti indeksa NAO je leta 2010 prišlo do dviga gladine morja za 12 cm, od česar so 8 cm pripisali spremembam atmosferskega tlaka in vetra, tretjino pa vplivu NAO (Galassi in Spada 2015). Tudi pozitivne anomalije na jadranskih mareografih v letih 2010 in 2011 je mogoče razložiti z naraščajočo fazo tega 20-letnega cikla (Galassi in Spada 2015), enako v Turčiji za obdobje 1975–2005 (Doğan s sodelavci 2015).

Po drugi strani pa drži, da krajša obdobja opazovanja pokažejo najnovejše spremembe, ki morda še niso razvidne iz dolgoročnih povprečij. Pri tem se moramo zavedati, da izbor in dolžina obdobja vplivata na izračun trenda. Po ocenah ARSO se je globalna morska gladina v obdobju 1900–2020 dvigala povprečno za $1,7$ mm/leto, glede na četrstoletno obdobje 1993–2018 za $3,3$ mm/leto in glede na dvanajstletno obdobje 2006–2018 za $3,7$ mm/leto. To pomeni dvakratno razliko pri oceni prihodnje stopnje dviganja in 20 cm razliko pri oceni dviga gladine do konca stoletja (slika 6).

V Tržaškem zalivu je poleg omenjenega znaten vpliv tektonike. Ponekod se ozemlje dviga za 1 do 2 mm/leto, drugod pa poseda tudi več kot -15 mm/leto. Povprečno dviganje ozemlja med Trstom, Benetkami in Raveno v obdobju 1896–2006 je $1,2 \pm 0,1$ mm/leto, se pa obala pri Tržiču/Monfalcone spušča za $-1,99$ mm/leto (Furlani s sodelavci 2011). Stopnja posedanja za Tržaški zaliv je med $-0,28$ mm/leto in $-1,09$ mm/leto (Antonioli s sodelavci 2009) in se povečuje: v zadnjih 2000 letih je bila $-0,51$ mm/leto, sodobna je $-1,75$ mm/leto. Jadranska obala od Tržaškega zaliva do južne Istre se je od rimskih časov tektonsko znižala približno za $1,0$ do $1,5$ m (Antonioli s sodelavci 2007; Faivre s sodelavci 2011). GPS meritve v Istri 1994–1996 so pokazale na posedanje celo $-6,5$ mm/leto pri Rovinju, $-2,3$ mm/leto pri Pulju in



Slika 7: Poplave morja bodo vplivale na različne dejavnosti, med drugim tudi na mobilnost.

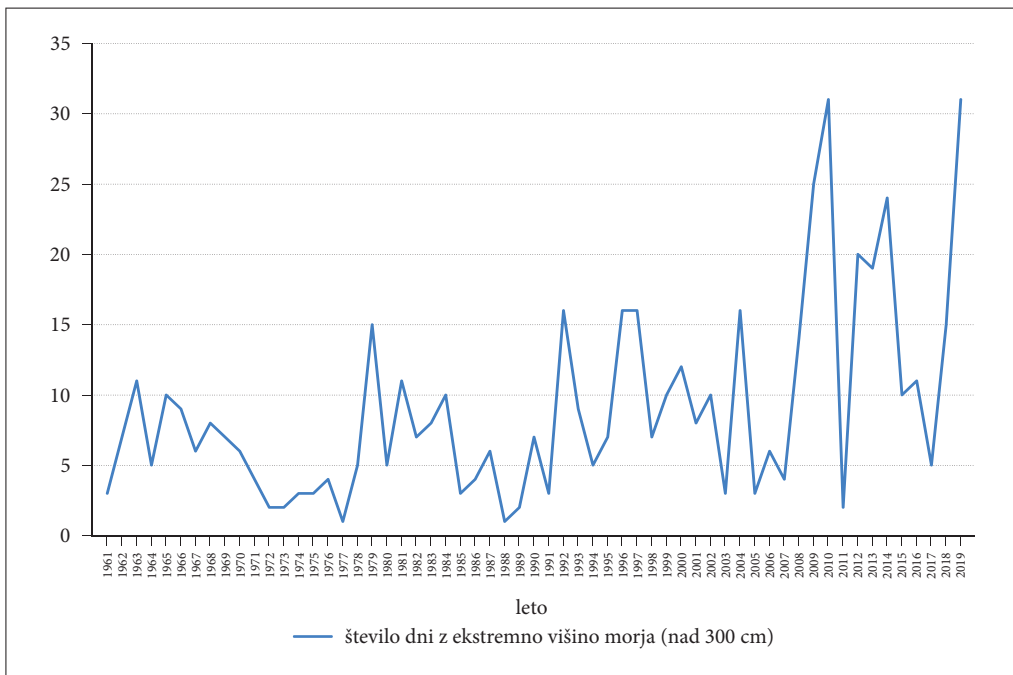
–2,7 mm/leto pri Maliji (Faivre s sodelavci 2011), tako da se površje Istre tektonsko znižuje za –0,63 do –0,89 mm/leto (Altner s sodelavci 2006; Florido s sodelavci 2011).

Tudi za slovensko obalo oziroma območje med Trstom in Savudrijo je značilno posedanje nad –1 mm/leto, kar pa je na ravni povprečja dolgoročnih meritev zabeleženega relativnega dviganja morske gladine. Sredi Tržaškega zaliva so zabeležili relativno spuščanje za –0,26 do –0,60 mm/leto in pri Tržiču relativno dviganje 0,26–0,55 mm/leto, enako v Sečovljah, kar lahko pripišemo tudi sedimentaciji (Antonoli s sodelavci 2009). V osrednjem Sredozemlju so v zadnjih dveh tisočletjih izmerili spremembe morske gladine za $-1,35 \pm 0,07$ m (0,68 mm/leto), z upoštevanjem glacio-hidrološke izostazije pa so podatke korigirali na pičlih $-0,13 \pm 0,09$ m (0,06 mm/leto) (Lambeck s sodelavci 2004).

Navedeno nakazuje, da je treba pri oceni naraščanja gladine poleg nihanja same morske gladine upoštevati tudi regionalne tektonske značilnosti, pa tudi geomorfne procese, kot sta erozija in sedimentacija, zaradi katere se višina obale ob izlivu rek spreminja, ustja pa napredujejo. V Škocjanskem zatoku je na primer povprečna naravna sedimentacija okrog 1 mm/leto (Culiberg 1995, 202), v Sečovljskih solinah 2,9 mm/leto, v Beneški laguni 0,8–1,0 mm/leto, v ustju Mirne od začetka 14. stoletja pa med 9 in 10 mm letno. Ustje Raše je na primer v 240 letih napredovalo za 4 km (Rubinić in Ozanić 1999; Zorn 2008).

3.2 Pričakovani prihodnji ekstremni dogodki v slovenskem morju

Manj kot glede višine morja je razhajanje glede ocen, da bodo v Sredozemlju številčnejši ekstremni dogodki in z morjem povezane nevarnosti (Climate ... 2021). Obalna mesta na severu Jadranskega morja so bila že pogosto prizadeta zaradi morskih poplav (sliki 5 in 7). V Benetkah je bilo v zadnjih 150 letih (od leta 1872) kar 324 poplav (2,2-letno), v zadnjih 30 letih pa jih je bilo trikrat več – 187 oziroma 6,2 morski poplavi letno (Ferrain s sodelavci 2022; Grafici ... 2023).



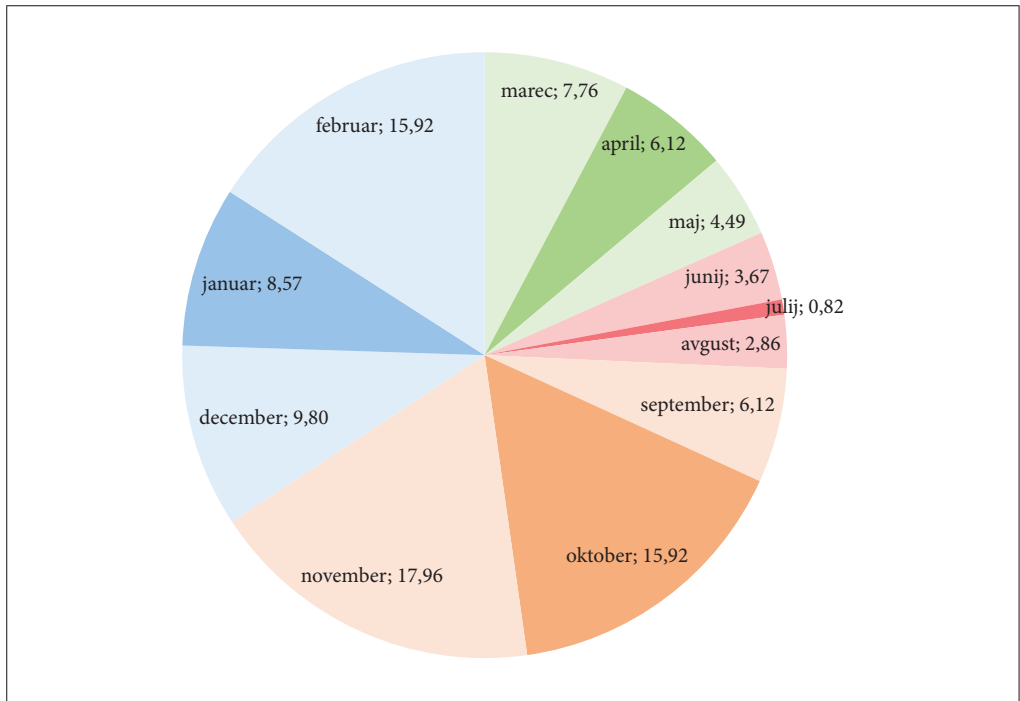
Slika 8: Število dni z morskimi poplavami v Kopru po letih (Arhiv ... 2023).

V Sloveniji vsakoletne morske poplave obsegajo blizu odstotka, ekstremni dogodki pa slabe štiri odstotke ozemlja obalnih občin, pri čemer obsegajo v občini Piran približno šestino ozemlja. V obdobju od 1963 do 2003 je morje 256-krat povzročilo manj obsežne poplave, 36-krat poplave srednjega obsega, v letih 1967, 1970, 1980, 1981, 1983, 1987, 1994, 1996 in 1997, 2000, 2004, 2008–2010, 2012–2014 ter 2018 in 2019 pa so bile poplave zelo obsežne (Robič in Vrhovec 2002; Kolega 2006; Arhiv ... 2023).

Pogostost morskih poplav (po kriterijih ARSO so to dogodki z višino morske gladine 300 cm na mareografski postaji v Kopru) je narasla od 5–10 letno med šestdesetimi in sedemdesetimi leti na 10–15 v osemdesetih in devetdesetih letih 20. stoletja, v 21. stoletju pa je preseгла 15 dogodkov letno (slika 8). Naraščanje števila morskih poplav v Kopru je močno povezano z naraščanjem morske gladine ($r_{xy} = 0,62$; $N = 59$), z indeksom NAO pa je v nizki negativni korelaciji ($r_{xy} = -0,27$). V Kopru se je med letoma 1960 in 2020 pogostost morskih poplav povečala približno za faktor 1,5, srednja višina gladine ob poplavah pa je narasla s 315,1 na 317,0 cm. Srednje vrednosti najvišje višine so upadale od šestdesetih let 20. stoletja (394 cm) do nižka v devetdesetih letih (340 cm), desetletje kasneje so narasle na 372 cm in v zadnjem desetletju ostale na tej ravni.

Ob linearnem trendu bi se število poplavnih dogodkov do konca stoletja povečalo za petkrat; tako da že pri dvigu gladine za 10–20 cm napovedujejo podvojitve njihove pogostosti (Vitousek s sodelavci 2017). V Piranu bi ob dvigu gladine morja za 30 cm do leta 2100 že pogoste poplave morja prizadele 38 % stavb; pričakovana je letna škoda v višini 2,4 milijona evrov (Alivio 2021). Ob 50-centimetrskem dvigu morske gladine ob visoki plimi bi morje zajelo 700 ha obale s približno 25 centimetri vode na najnižjih delih (Coastal ... 2021).

Za prihodnost domnevajo, da bodo morske poplave celo dvajsetkrat bolj pogoste kot do sedaj (Ličer 2018; Global ... 2022).

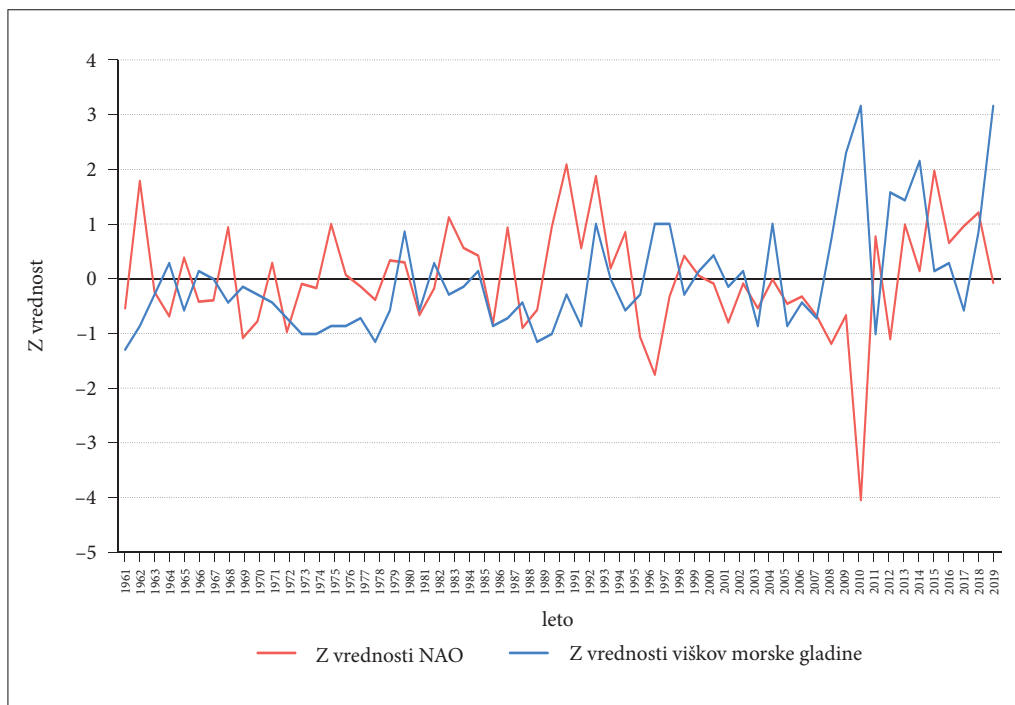


Slika 9: Delež (%) poplav morja po mesecih v Kopru v obdobju 1961–2019, z barvami so prikazani letni časi (Arhiv ... 2023).

Poleg pozitivnega trenda poplavnih dogodkov v zadnjem času opažamo tudi njihovo večjo spremenljivost (slika 8), zato linearen prihodnji trend ni nujen – v Kopru namreč v zadnjem desetletju (2010–2019) opažamo celo rahlo negativno ali vsaj ničelno povprečje razlik višine morja med zaporednimi leti. Tudi v Benetkah kažejo letne vrednosti povprečne višine morja za 25 let velika nihanja in trende, ki so močno odvisni od izbora oziroma dolžine opazovanega obdobja (Carbognin, Teatini in Tosi 2009; Onac s sodelavci 2022).

V obdobju 1961–2019 je bilo zaradi vetrov, zračnega tlaka in plimskih valov ter viharnih valov največ poplav v hladni polovici leta, to je novembra, oktobra in decembra, sledita januar in februar. Po letnih časih je bilo največ poplav jeseni (40 %) in pozimi (34 %), najmanj pa poleti (7 %) in spomladi (18 %) (slika 9). Letno število dogodkov je v obdobju od 1961–1970 do 2011–2020 naraslo spomladi (indeks 1,44) in pozimi (1,22), upadlo je jeseni (0,86), poleti pa je ostalo približno enako (0,97). Razmere so dokaj spremenljive; v obdobju 1971–1980 je bil nižek morskih poplav spomladi in poleti, desetletje kasneje pa jeseni in pozimi. V desetletju 1991–2000 je bil višek poplav poleti, naslednje desetletje jeseni, med 2011 in 2020 pa jeseni in pozimi. Povezanost časovne razporeditve po mesecih med leti je statistično značilna.

Odvisnost najvišjih višin morja od NAO je manj enoznačna. V zadnjih dveh desetletjih so bile najvišje višine morja najprej pri nižjih vrednostih NAO, v desetletju 2001–2010 smo zabeležili pomanjkanje najvišjih višin gladine morja pri negativnem indeksu NAO, v zadnjem desetletju pa povečanje spremenljivosti oziroma pogostosti izjemnih višin gladine morja pri pozitivnih vrednostih indeksa NAO (slika 10). To je pomembna sprememba v primerjavi s preteklostjo, ko so bile morske poplave v Sredozemlju (Tsimplis in Josey 2001) in na evropski obali Atlantskega oceana (Landerer in Volkov 2013) povezane z negativnimi vrednostmi NAO. Tudi za Trst je bil korelacijski koeficient višine morja pozimi in NAO za obdobje 1950–2009 enak $-0,87$ (Calafat, Chambers in Tsimplis 2012). V zadnjem

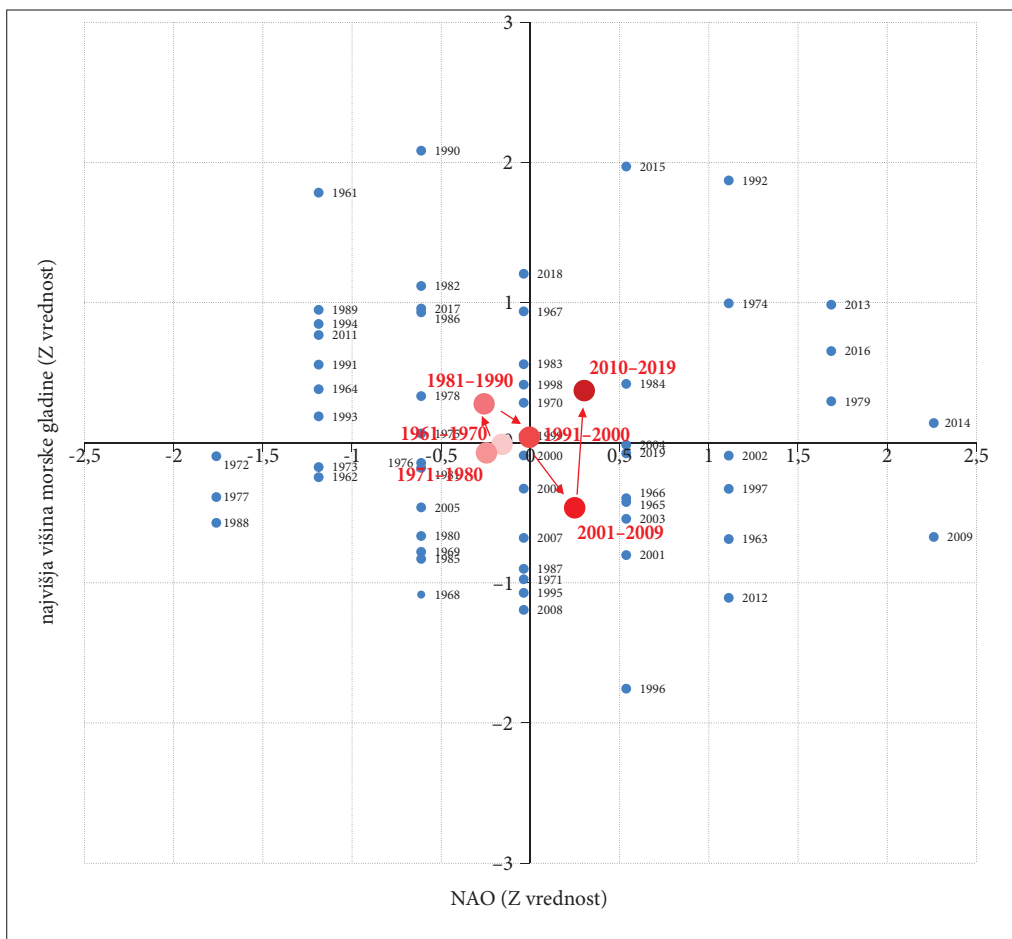


Slika 10: Z vrednosti NAO in morskih poplav v Kopru kažejo obratno sorazmerje in večjo spremenljivost po letu 2010.

desetletju je visoka spremenljivost obeh nizov podatkov, kar dodatno otežuje napovedovanje prihodnjih trendov. NAO in višina morja v Kopru sta povečini pozitivno povezana (slika 10), v Sredozemskem morju je ta povezanost zelo očitna pozimi (Martínez-Asensio s sodelavci 2014).

Da povezanost ni enoznačna, kaže analiza urnih podatkov višine morja iz Trsta za obdobje 1939–2001. V tem obdobju pojavljanje šibkih in zmernih neurij ni imelo določnega trenda, pogostost močnih neurij pri pozitivnih in negativnih vrednostih NAO pa se je celo zmanjšala (Raicich 2007). V Benetkah na podlagi urnih meritev višine morja od leta 1940 dalje ugotavljajo, da ni mogoče ugotoviti trenda dogodkov z izjemno visoko višino morja, če od podatkov odštejemo učinek regionalnega dviga gladine morja (Masina in Lamberti 2013).

Ob večji spremenljivosti podatkov v zadnjem času lahko za zdaj ugotovimo le to, da je prihodnje gibanje oziroma dviganje višine morja nepredvidljivo. Ravno zato pa bo treba najti nove načine prilagajanja obalnih mest, ki so pomembna z vidika kulturne dediščine in se že srečujejo s pomanjkanjem ukrepov na področju prilagajanja večji pogostosti izjemnih pojavov, kakršni so visoke plime,



Slika 11: Razmerje med najvišjimi vrednostmi morske gladine oziroma poplavnimi dogodki in srednjo višino morja se je med letoma 1961 in 2019 močno spremenilo. Rdeče oznake prikazujejo povprečja po desetletjih, puščice pa gibanje med njimi (vir: ARSO; NOAA).

nevihtni valovi in morske poplave. Poleg gradbenih rešitev, kot so zidovi, kamnometi in nasipi, bo treba vključiti tudi mehke ukrepe (Komac in Zorn 2020), ki se osredotočajo na okolje, družbo in kulturo (Adger s sodelavci 2009; David s sodelavci 2021). To je posebej pomembno v pokrajinah, kjer bo mogoča rešitev le preseljevanje (McMichael, Ktonivauliku in Powell 2019), glede česar se že srečujemo z odporom (Farbotko, Stratford in Lazrus 2016). Nenazadnje je pomembno ozaveščanje, saj je znano, da tudi velike naravne nesreče približno po desetletju pozabi kar polovica prebivalstva (Komac 2009). Zato ni naključje, da so v medijih že več kot stoletje stalnica povedi, ki se začnejo z: »*Ljudje ne pomnijo*« (Kamenarič 2022). Za ozaveščanje o tem pojavu so bile v Piranu, Izoli, Kopru in Sečoveljskih solinah postavljene oznake visokih voda (Frantar s sodelavci 2018).

4 Sklep

V članku smo opisali dviganje morske gladine, ki ga opažajo povsod po svetu, ugotovljamo pa, da je proces geografsko in časovno raznolik. Gladina svetovnega morja se dviga s hitrostjo med 1,5 in 1,9 mm/leto, ponekod meritve v zadnjem desetletju presegajo 3 mm/leto, v Indijskem oceanu, na primer, pa se celo znižuje. Tudi Sredozemsko morje se dviga med 1,1 in 1,8 mm/leto, na vzhodu pa gladina zaradi večje zaprtosti in izhlapevanja celo upada. Tudi tukaj je dviganje gladine hitrejšo v novejšem času. Jadransko morje se je v 20. stoletju dvigalo povprečno med 1,0 in 2,4 mm/leto, kar potrjujejo tudi datacije arheoloških ostankov, ki so danes pod gladino.

Ocenjena hitrost dviganja morske gladine je namreč odvisna od dolžine obdobja, v katerem so potekale meritve – krajše (novejše) obdobje ponavadi izkazuje višjo rast. Pomemben dejavnik, ki ga pogosto ne upoštevajo, je vpliv posedanja sedimentov in tektonskega spuščanja kopnega. Na ocene prihodnjega dviga morske gladine vpliva tudi način meritev, s katerim so pridobili podatke. Starejše meritve temeljijo na klasičnih hidrografskih meritvah z letvijo, sodobne pa potekajo s sateliti. Pri slednjih so višja povprečja meritev zaradi dejstva, da se meri celoten vodni stolpec na večji površini. Obdobje teh meritev je krajše, kar prav tako otežuje dolgoročne napovedi.

V severnem Jadranu in tudi Tržaškem zalivu na meritve sprememb morske gladine, ki potekajo na kopnem, vplivata tektonika in krčenje sedimentov ter s tem povezano posedanje površja. Podobno je na slovenski Obali, kjer se gladina dviga z relativno hitrostjo okoli 1,3 mm/leto. Napovedi dviganja morske gladine nakazujejo na dvig za približno 55 cm do konca stoletja, kar da hitrost dviganja med 0,5 in 1 mm/leto. Da je treba upoštevati tudi druge dejavnike, kaže dejstvo, da je na tem območju zelo podobnega velikostnega reda tektonsko spuščanje obale.

Spremembe višine morske gladine so z vidika človeškega življenja razmeroma počasen pojav, zato je njihovo dožemanje oteženo (Barnett s sodelavci 2020). Kompleksen pojav je rezultat različnih dejavnikov, med katerimi izpostavljamo naraščanje temperature in posledično raztezanje morja, taljenje ledu in ekstremne vremenske pojave, posedanje sedimentov in tektoniko. Ker celo vpliv podnebnih sprememb na dvig gladine morja ni enoznačen, je pri napovedih prihodnjih trendov nujna previdnost. Nanjo nas navaja tudi odvisnost sprememb morske gladine od večdesetletnih oscilacij, kakršna je NAO, zaradi česar je pri napovedih nujno treba navesti, na podlagi katerih podatkov so izračunane.

Manjša kot pri napovedih dviganja morske gladine pa so razhajanja glede večje pogostosti ekstremnih dogodkov, saj že majhen dvig gladine močno poveča njihovo večje število. In prav to opažamo tudi na slovenski Obali, kjer morje vsako leto več kot desetkrat poplavi približno 1 % dolžine obale. Največ poplav je jeseni in pozimi (skupaj 74 %), najmanj pa poleti.

Morske poplave imajo pomembne posledice za poselitvena območja, gospodarstvo in zdravje. Večji dogodki lahko presežejo dosedanje ekstreme in so zato nepričakovani. Naselja in infrastruktura so bili povečini zgrajeni z uporabo podatkov o povratnih dobah, ki so temeljili na meritvah iz preteklosti, dvig morske gladine pa ustvarja nove razmere, ki se jim moramo še prilagoditi (Dvig... 2021). Toda tudi pri načrtovanju strategij in ukrepov moramo upoštevati (Tomšič 2019), da so nekatere napovedi prihodnjega

dviganja morja zasnovane na kratkoročnih nizih podatkov, odzivi naravnih sistemov na »motnje« pa so pogosto nelinearni (Bulatović 2019). Razmislek je dolgoročno pomemben, saj moramo prostorski razvoj in obalne protipoplavne ukrepe načrtovati upoštevaje čim natančnejše podatke, ki so nam na razpolago, predvsem pa jih pravilno interpretirati in upoštevati vse vplivne dejavnike in okoliščine, predvsem pa dejavnosti ne utemeljevati na podatkih, ki so zgolj prevzeti iz drugih pokrajin.

Zahvala: Članek je nastal v okviru raziskovalnega programa Geografija Slovenije (P6-0101), ki ga financira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije.

5 Viri in literatura

Ablain, M., Cazenave, A., Valladeau, G., Guinehut, S. 2009: A new assessment of the error budget of global mean sea level rate estimated by satellite altimetry over 1993–2008. *Ocean Science* 5-2. DOI: <https://doi.org/10.5194/os-5-193-2009>

Adger, W. N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D. R., Naess, L. O., Wolf, J., Wreford, A. 2009: Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change* 93. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9520-z>

Alivio, M. B. 2021: Evaluation of flood damage caused by rising sea levels. *Magistrsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani*. Ljubljana.

Altiner, Y., Bačić, Ž., Bašić, T., Coticchia, A., Medved, M., Mulić, M., Nurçe, B. 2006: Present-day tectonics in and around the Adria plate inferred from GPS measurements. *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia*. Geological Society of America Special Papers 409. DOI: [https://doi.org/10.1130/2006.2409\(03\)](https://doi.org/10.1130/2006.2409(03))

Antonioli, F., Anzidei, M., Lambeck, K., Auriemma, R., Gaddi, D., Furlani, S., Orrù, P., Solinas, E., Gaspari, A., Karinja, S., Kovačić, V., Surace, L. 2007: Sea-level change during the Holocene in Sardinia and in the northeastern Adriatic (central Mediterranean Sea) from archaeological and geomorphological data. *Quaternary Science Reviews* 26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.06.022>

Antonioli, F., De Falco, G., Lo Presti, V., Moretti, L., Scardino, G., Anzidei, M., Bonaldo, D., Carniel, S., Leoni, G., Furlani, S., Marsico, A., Petitta, M., Randazzo, G., Scicchitano, G., Mastronuzzi, G. 2020: Relative sea level rise and potential submersion risk for 2100 on 16 coastal plains of the Mediterranean Sea. *Water* 12-8. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12082173>

Antonioli, F., Ferranti, L., Fontana, A., Amorosi, A., Bondesan, A., Braitenberg, C., Dutton, A., Fontolan, G., Furlani, S., Lambeck, K., Mastronuzzi, G., Monaco, C., Spada, G., Stocchi, P. 2009: Holocene relative sea-level changes and vertical movements along the Italian and Istrian coastlines. *Quaternary International* 206, 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.11.008>

Arhiv površinskih voda. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana. Medmrežje: https://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Jadransko%20morje (23. 5. 2023).

Barnett, R. L., Charman, D. J., Johns, C., Ward, S. L., Bevan, A., Bradley, S. L., Camidge, K., Fyfe, R. M., Gehrels, W. R., Gehrels, M. J., Hatton, J., Khan, N. S., Marshall, P., Maezumi, S. Y., Mills, S., Mulville, J., Perez, M., Roberts, H. M., Scourse, J. D., Shepherd, F., Stevens, T. 2020: Nonlinear landscape and cultural response to sea-level rise. *Science Advances* 6-45. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb6376>

Benac, Č., Arbanas, Ž., Pavlovec, E. 1991: Postanak i geotehničke osobitosti doline izaljeva Raše. *Pomorski zbornik* 29-1.

Boening, C., Willis, J. K., Landerer, F. W., Nerem, R. S. Fasullo, J. 2012: The 2011 La Niña: So strong, the oceans fell. *Geophysical Research Letters* 39-19. DOI: <https://doi.org/10.1029/2012GL053055>

Brunel, C., Sabatier, F. 2009: Potential influence of sea-level rise in controlling shoreline position on the French Mediterranean Coast. *Geomorphology* 107, 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.05.024>

Brunović, D., Miko, S., Ilijanić, N., Peh, Z., Hasan, O., Kolar, T., Šparica Miko, M., Razum, I. 2019: Holocene foraminiferal and geochemical records in the coastal karst dolines of Cres Island, Croatia. *Geologia Croatica* 72-1. DOI: <https://doi.org/10.4154/gc.2019.02>

Buble, G., Bennett, R., Hreinsdóttir, S. 2010: Tide gauge and GPS measurements of crustal motion and sea level rise along the eastern margin of Adria. *Journal of Geophysical Research* 115-B2. DOI: <https://doi.org/10.1029/2008JB006155>

Bulatović, K. 2019: Globalnih napovedi ne moremo le prenesti v Piranski zaliv. Medmrežje: <https://www.ostro.si/si/razkrinkavanje/objave/globalnih-napovedi-ne-moremo-le-prenesti-v-piranski-zaliv> (22. 5. 2023).

Calafat, F. M., Chambers, D. P., Tsimplis, M. N. 2012: Mechanisms of decadal sea level variability in the eastern North Atlantic and the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research* 117-C9. DOI: <https://doi.org/10.1029/2012JC008285>

Carbognin, L., Teatini, P., Tosi, L. 2009: The impact of relative sea level rise on the Northern Adriatic Sea coast, Italy. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 127. DOI: <https://doi.org/10.2495/RAV090121>

Carbognin, L., Teatini, P., Tosi, L., Tomasin, A. 2011: Present relative sea level rise in the northern Adriatic coastal area. *Coastal and Marine Spatial Lanning*. Roma. Medmrežje: <http://eprints.bice.rm.cnr.it/10023> (10. 3. 2023).

Cazenave, A., Bonnefond, P., Mercier, F., Dominh, K., Toumazou, V. 2002: Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges. *Global and Planetary Change* 34, 1-2. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(02\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(02)00106-6)

Cazenave, A., Cabanes, C., Dominh, K., Mangiarotti, S. 2001: Recent sea level change in the Mediterranean Sea revealed by Topex/Poseidon satellite altimetry. *Geophysical Research Letters* 28-8. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000GL012628>

Chambers, D. P., Merrifield, M. A., Nerem, R. S. 2012: Is there a 60-year oscillation in global mean sea level? *Geophysical Research Letters* 39-18. DOI: <https://doi.org/10.1029/2012GL052885>

Church, J. A., White, N. J., Coleman, R., Lambeck, K., Mitrovica, J. X. 2004: Estimates of the regional distribution of sea-level rise over the 1950–2000 period. *Journal of Climate* 17-13. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<2609:EOTRDO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<2609:EOTRDO>2.0.CO;2)

Church, J. A., Monselesan, D., Gregory, M. J., Marzeion, B. 2013: Evaluating the ability of process based models to project sea-level change. *Environment Research Letters* 8-1. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014051>

Church, J. A., White, N. J. 2006: A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical Research Letters* 33-1. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005GL024826>

Church, J. A., White, N. J. 2011: Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics* 32, 4-5. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9119-1>

Church, J. A., White, N. J., Hunter, J. R. 2006: Sea-level rise at tropical Pacific and Indian Ocean islands. *Global and Planetary Change* 53-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.04.001>

Climate change 2021 – The physical science basis. Working group 1 contribution to the Sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva. Medmrežje: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf (23. 5. 2023).

Coastal region threatened by rising sea level. STA, 10. 1. 2021. Medmrežje: <http://znanost.sta.si/2853470/coastal-region-threatened-by-rising-sea-level> (23. 5. 2023).

Culiberg, M. 1995: Dezertifikacija in reforestacija slovenskega Krasa. Poročilo o raziskovanju paleolitika, neolitika in eneolitika v Sloveniji 22. Ljubljana.

David, C. G., Hennig, A., Ratter, B. M. W., Zahid, V. R., Schlurmann, T. 2021: Considering socio-political framings when analyzing coastal climate change effects can prevent maldevelopment on small islands. *Nature Communications* 12. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26082-5>

Di Donato, G., Negredo, A. Sabadini, R., Vermeersen, L. L. A. 1999: Multiple processes causing sea-level rise in the central Mediterranean. *Geophysical Research Letters* 26-12. DOI: <https://doi.org/10.1029/1999GL900258>

Doğan, M., Cigizoglu, H. K., Sanli, D. U., Ulke, A. 2015: Investigation of sea level anomalies related with NAO along the west coasts of Turkey and their consistency with sea surface temperature trends. *Theoretical and Applied Climatology* 121. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1247-3>

Douglas, B. C. 2001: An introduction to sea level. *International Geophysics* 75. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(01\)80004-8](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(01)80004-8)

Draganits, E., Gier, S., Doneus, N., Doneus, M. 2019: Geoarchaeological evaluation of the Roman topography and accessibility by sea of ancient Osor (Cres Island, Croatia). *Austrian Journal of Earth Sciences* 112-1. DOI: <https://doi.org/10.17738/ajes.2019.0001>

Dvig morske gladine bo do leta 2100 močno prizadel tudi slovensko Istro. *Politikis*, 10. 1. 2021. Medmrežje: <https://www.politikis.si/2021/01/dvig-morske-gladine-bo-do leta-2100-mocno-prizadel-tudi-slovensko-istro> (22. 5. 2023).

Faivre, S., Fouache, E., Ghilardi, M., Antonioli, F., Furlani, S., Kovačič, V. 2011: Relative sea level change in western Istria (Croatia) during the last millennium. *Quaternary International* 232, 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.05.027>

Farbotko, C., Stratford, E., Lazrus, H. 2016: Climate migrants and new identities? The geopolitics of embracing or rejecting mobility. *Social and Cultural Geography* 17-4. DOI: <https://doi.org/10.1080/14649365.2015.1089589>

Ferrarin, C., Lionello, P., Orlić, M., Raicich, F., Salvadori, G. 2022: Venice as a paradigm of coastal flooding under multiple compound drivers. *Science Report* 12. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09652-5>

Florido, E., Auriemma, R., Faivre, S., Radić Rossi, I., Antonioli, F., Furlani, S., Spada, G. 2011: Istrian and Dalmatian fish tanks as sea-level markers. *Quaternary International* 232, 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.09.004>

Frantar, P., Ulaga, F., Draksler, A., Bat, M., Jarnjak, M. 2018: Akcija postavljanja oznak visokih voda v Sloveniji 2014–2018. 29. Mišičev vodarski dan. Maribor.

Furlani, S., Biolchi, S., Cucchi, F., Antonioli, F., Buseti, M., Melis, R. 2011: Tectonic effects on Late Holocene sea level changes in the Gulf of Trieste (NE Adriatic Sea, Italy). *Quaternary International* 232, 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.06.012>

Galassi, G., Spada, G. 2014: Sea-level rise in the Mediterranean Sea by 2050: Roles of terrestrial ice melt, steric effects and glacial isostatic adjustment. *Global and Planetary Change* 123A. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.10.007>

Galassi, G., Spada, G. 2015: Linear and non-linear sea-level variations in the Adriatic Sea from tide gauge records (1872–2012). *Annals of Geophysics* 57. DOI: <https://doi.org/10.4401/AG-6536>

Gehrels, W. R., Dangendorf, S., Barlow, N. L. M., Saher, M. H., Long, A. J., Woodworth, P. L., Piecuch, C. G., Berk, K. 2020: A preindustrial sea-level rise hotspot along the Atlantic coast of North America. *Geophysical Research Letters* 47-4. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019GL085814>

Gehrels, W. R., Hayward, B. W., Newnham, R. M., Southall, K. 2008: A 20th century acceleration of sea-level rise in New Zealand. *Geophysical Research Letters* 35-2 DOI: <https://doi.org/10.1029/2007GL032632>

Global and European sea level rise. European Environment Agency, 2022. Medmrežje: <https://www.eea.europa.eu/ims/global-and-european-sea-level-rise> (9. 3. 2023).

Grafici e statistiche. Centro Previsioni e Segnalazioni Maree. Venezia. Medmrežje: <https://www.comune.venezia.it/it/content/grafici-e-statistiche> (23. 5. 2023).

Gregory, J. M., Lowe, J. A. 2000: Predictions of global and regional sea-level rise using AOGCMs with and without flux adjustment. *Geophysical Research Letters* 27-19. DOI: <https://doi.org/10.1029/1999GL011228>

Hay, C. C., Morrow, E. D., Kopp, R. E., Mitrovica, J. X. 2015: Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise. *Nature* 517. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14093>

- Kamenarič, K. 2022: Sečoveljske soline: Tako visoke vode ne pomnimo v svoji 20-letni zgodovini. 24ur.com, 22. 11. 2022. Medmrežje: <https://www.24ur.com/novice/slovenija/sečoveljske-soline-tako-visoke-vode-ne-pomnimo-v-svoji-20-letni-zgodovini.html> (23. 5. 2023).
- Kazalci okolja – Višina morja [MR02]. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2016. Medmrežje: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/visina-morja-4> (9. 3. 2023).
- Klein, M., Lichter, M. 2009: Statistical analysis of recent Mediterranean Sea-level data. *Geomorphology* 107, 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.027>
- Kolega, N. 2006: Slovenian coast sea floods risk. *Acta geographica Slovenica* 46-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS46201>
- Komac, B. 2009: Social memory and geographical memory of natural disasters. *Acta geographica Slovenica* 49-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS49107>
- Komac, B., Zorn, M. 2020: Pomen negradbenih ukrepov za poplavno varnost. *Geografski vestnik* 92-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV92106>
- Komac, B., Zorn, M. 2023: Impact of climate change on snowpack and avalanches in Slovenia: The Soča Valley case study. *Geographia Polonica* 96-1. DOI: <https://doi.org/10.7163/GPol.0244>
- Kopp, R. E., Horton, R. M., Little, C. M., Mitrovica, J. X., Oppenheimer, M., Rasmussen, D. J., Strauss, B. H., Tebaldi, C. 2014: Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites. *Earth's Future* 2-4. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014EF000239>
- Laborel, J., Morhange, C., Lafont, R., Le Campion, J., Laborel-Deguen, F., Sartoretto, S. 1994: Biological evidence of sea-level rise during the last 4500 years on the rocky coasts of continental southwestern France and Corsica. *Marine Geology* 120, 3-4. DOI: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0025-3227(94)90059-0)
- Lambeck, K., Chappell, J. 2001: Sea level change through the last glacial cycle. *Science* 292-5517. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1059549>
- Lambeck, K., Anzidei, M., Antonioli, F., Benini, A., Esposito, A. 2004: Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change. *Earth and Planetary Science Letters* 224, 3-4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.05.031>
- Lambeck, K., Nakiboglu, S. M. 1984: Recent global changes in sea level. *Geophysical Research Letters* 11-10. DOI: <https://doi.org/10.1029/GL011i010p00959>
- Landerer, F. W., Jungclaus, J. H., Marotzke, J. 2007: Regional dynamic and steric sea level change in response to the IPCC-A1B scenario. *Journal of Physical Oceanography* 37. DOI: <https://doi.org/10.1175/JPO3013.1>
- Landerer, F. W., Volkov, D. L. 2013: The anatomy of recent large sea level fluctuations in the Mediterranean Sea. *Geophysical Research Letters* 40-3. DOI: <https://doi.org/10.1002/grl.50140>
- Ličer, M. 2018: Podnebne spremembe in naraščanje gladine morja v Severnem Jadranu. Medmrežje: <https://www.nib.si/mbp/sl/home/news/902-podnebne-spremembe-in-narascanje-gladine-morja-v-severnem-jadranu> (23. 5. 2023).
- Lorbacher, K., Marsland, S. J., Church, J. A., Griffies, S. M., Stammer, D. 2012: Rapid barotropic sea-level rise from ice-sheet melting scenarios. *Journal of Geophysical Research* 117-C6. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011JC007733>
- Martínez-Asensio, A., Marcos, M., Tsimplis, M., Gomis, D., Josey, S., Jordà, G. 2014: Impact of the atmospheric climate modes on Mediterranean sea level variability. *Global and Planetary Change* 118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.03.007>
- Masina, M., Lamberti, A. 2013: A nonstationary analysis for the Northern Adriatic extreme sea levels. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 118-9. DOI: <https://doi.org/10.1002/jgrc.20313>
- McMichael, S., Ktonivauliku, M., Powell, T. 2019: Planned relocation and everyday agency in low-lying coastal villages in Fiji. *The Geographical Journal* 185-3. DOI: <https://doi.org/10.1111/geoj.12312>
- Miller, L., Douglas, B. C. 2007: Gyre-scale atmospheric pressure variations and their relation to 19th and 20th century sea level rise. *Geophysical Research Letters* 34-16. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007GL030862>

Most recent GMSL release. Boulder. Medmrežje: <http://sealevel.colorado.edu> (23. 5. 2023).

Nerem, R. S., Beckley, B. D., Fasullo, J. T., Hamlington, B. D., Masters, D., Mitchum, G. T. 2018: Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Earth, Atmospheric and Planetary Sciences* 115-9. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1717312115>

Okumura, Y. M., Deser, C., Hu, A., Timmermann, A., Xie, S. P. 2009: North Pacific climate response to freshwater forcing in the Subarctic North Atlantic: Oceanic and atmospheric pathways. *Journal of Climate* 22. DOI: <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2511.1>

Onac, P. B., Mitrovica, J. X., Ginés, J., Asmeron, Y., Polyak, V. J., Tuccimei, P., Ashe, E. L., Fornós, J. J., Hoggard, M. J., Soudson, S., Ginés, A., Soligo, M., Villa, I. M. 2022: Exceptionally stable preindustrial sea level inferred from the western Mediterranean Sea. *Science Advances* 8-26. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abm6185>

Orlić, M., Pasarić, Z. 2013: Semi-empirical versus process-based sea-level projections for the twenty-first century. *Nature Climate Change* 3. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1877>

Orožen Adamič, M. 1991: Podvodni Triglav. *Geografski obzornik* 39-1.

Pachauri, R. K., Reisinger, A. (ur.) 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Geneva.

Palmer, M. D., Domingues, C. M., Slangen, A. B. A., Boeira Dias, F. 2021: An ensemble approach to quantify global mean sea-level rise over the 20th century from tide gauge reconstructions. *Environmental Research Letters* 16-4. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abdae>

Pan, H., Lv, X. 2021: Is there a quasi 60-year oscillation in global tides? *Continental Shelf Research* 222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104433>

Parica, M. 2015: Kasnoantičko pristanište u uvali Pocukmarak na otoku Silbi. *Archaeologia Adriatica* 9. DOI: <https://doi.org/10.15291/archo.1193>

Parica, M. 2022: Soline pored Korčule – neolitičko naselje sagrađeno na danas potopljenom umjetnom otočiću. *Lanterna* 5.

Parsons, T., Wu, P.-C., Wei, M., D'Hondt, S. 2023: The weight of New York City: Possible contributions to subsidence from anthropogenic sources. *Earth's Future* 11. DOI: <https://doi.org/10.1029/2022EF003465>

Peltier, W. R. 2009: Closure of the budget of global sea level rise over the GRACE era: The importance and magnitudes of the required corrections for global glacial isostatic adjustment. *Quaternary Science Review* 28-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.04.004>

Peltier, W. R., Tushingham, A. M. 1991: Influence of glacial isostatic-adjustment on tide gauge measurements of secular sea-level change. *Journal of Geophysical Research Solid Earth* 96-B4. DOI: <https://doi.org/10.1029/90JB02067>

Raicich, F. 2007: A Study of early Trieste sea level data (1875–1914). *Journal of Coastal Research* 23-4. DOI: <https://doi.org/10.2112/04-0325.1>

Rizzi, J., Torresan, S., Zabeo, A., Critto, A., Tosoni, A., Tomasin, A., Marcomini, A. 2017: Assessing storm surge risk under future sea-level rise scenarios: a case study in the North Adriatic coast. *Journal of Coastal Conservation* 21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11852-017-0517-5>

Robič, M., Vrhovec, T. 2002: *Poplavljanje morske obale. Nesreče in varstvo pred njimi*. Ljubljana.

Rubinić, J., Ozanić, N. 1999: Influence of the sedimentation process on the Raša River mouth on the outflow regime of coastal springs. *Proceedings XXVIII IAHR Congress*. Graz. Medmrežje: <https://www.iahr.org/library/infor?pid=13843> (22. 12. 2023).

Sahagian, D. 2000: Global physical effects of anthropogenic hydrological alterations: Sea level and water redistribution. *Global Planetary Change* 25, 1-2. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(00\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(00)00020-5)

Scarascia, L., Lionello, P. 2013: Global and regional factors contributing to the past and future sea level rise in the Northern Adriatic Sea. *Global and Planetary Change* 106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.03.004>

Stammer, D. 2008: Response of the global ocean to Greenland and Antarctic ice melting. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 113-C6. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006JC004079>

- Stammer, D., Agarwal, N., Herrmann, P., Kohl, A., Mechoso, C. R. 2011: Response of a coupled ocean-atmosphere model to Greenland ice melting. *Surveys in Geophysics* 32. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9142-2>
- Šifrer, M. 1965: Nova geomorfološka dognanja v Koprskem primorju. *Geografski zbornik* 9.
- Tomšič, M. 2019: Napoved: obala Jadrana bo do leta 2100 drastično spremenjena. *Medmrežje*: <https://web.archive.org/web/20190715100112/https://siol.net/digisvet/novice/napoved-obala-jadrana-bo-do-leta-2100-drasticno-spremenjena-501014> (22. 5. 2023).
- Tosi, L., Teatini, P., Strozzi, T., Carbognin, L., Brancolini, G., Rizzetto, F. 2010: Ground surface dynamics in the northern Adriatic coastland over the last two decades. *Rendiconti Lincei-Scienze Fisiche e Naturali* 21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12210-010-0084-2>
- Tsimplis, M. N., Álvarez-Fanjul, E., Gomis, D., Fenoglio-Marc, L., Pérez, B. 2005: Mediterranean Sea level trends: Atmospheric pressure and wind contribution. *Geophysical Research Letters* 32-20. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005GL023867>
- Tsimplis, M. N., Baker, T. F. 2000: Sea level drop in the Mediterranean Sea: An indicator of deep water salinity and temperature changes? *Geophysical Research Letters* 27-12. DOI: <https://doi.org/10.1029/1999GL007004>
- Tsimplis, M. N., Calafat, F. M., Marcos, M., Jordà, G., Gomis, D., Fenoglio-Marc, L., Struglia, M. V., Josey, S. A., Chambers, D. P. 2013: The effect of the NAO on sea level and on mass changes in the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 118-2. DOI: <https://doi.org/10.1002/jgrc.20078>
- Tsimplis, M. N., Josey, S. A. 2001: Forcing of the Mediterranean Sea by atmospheric oscillations over the North Atlantic. *Geophysical Research Letters* 28-5. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000GL012098>
- Tsimplis, M. N., Raicich, F., Fenoglio-Marc, L., Shaw, A. G. P., Marcos, M., Somot, S., Bergamasco, A. 2012: Recent developments in understanding sea level rise at the Adriatic coasts. *Physics and Chemistry of the Earth: Parts A/B/C* 40-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.11.007>
- Tsimplis, M., Marcos, M., Somot, S., Barnier, B. 2008: Sea level forcing in the Mediterranean Sea between 1960 and 2000. *Global and Planetary Change* 63-4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.07.004>
- Vitousek, S., Barnard, P., Fletcher, C., Frazer, N., Erikson, L., Storlazzi, C. D. 2017: Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. *Scientific Reports* 7. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01362-7>
- Wada, Y., van Beek, L. P. H., van Kempen, C. M., Reckman, J. W. T. M., Vasak, S., Bierkens, M. F. P. 2010: Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters* 37-20. DOI: <https://doi.org/10.1029/2010GL044571>
- White, N. J., Church, J. A., Gregory, J. M. 2005: Coastal and global averaged sea level rise for 1950 to 2000. *Geophysical Research Letters* 32-1. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004GL021391>
- Wöppelmann, G., Marcos, M., Santamaría-Gómez, A., Martín-Míguez, B., Bouin, M.-N., Gravelle, M. 2014: Evidence for a differential sea level rise between hemispheres over the twentieth century. *Geophysical Research Letters* 41-5. DOI: <https://doi.org/10.1002/2013GL059039>
- Yi, S., Sun, W., Heki, K., Qian, A. 2015: An increase in the rate of global mean sea level rise since 2010. *Geophysical Research Letters* 42-10. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015GL063902>
- Yin, J. J., Griffies, S. M., Stouffer, R. J. 2010: Spatial variability of sea level rise in twenty-first century projections. *Journal of Climate* 23-17. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3533.1>
- Zerbini, S., Raicich, F., Prati, C. M., Bruni, S., Del Conte, S., Errico, M., Santi, E. 2017: Sea-level change in the Northern Mediterranean Sea from long-period tide gauge time series. *Earth-Science Reviews* 167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.02.009>
- Zhang, X. B., Church, J. A. 2012: Sea level trends, interannual and decadal variability in the Pacific Ocean. *Geophysical Research Letters* 39-21. DOI: <https://doi.org/10.1029/2012GL053240>
- Zorn, M. 2008: Erozijski procesi v hrvaškem delu »Sive Istre«. *Geografski vestnik* 80-2.

6 Summary: Regional sea level rise: data, drivers and effects

(translated by the author)

In this article, we have described the rise in sea level that can be observed worldwide, but varies geographically and over time. The predicted rate of sea level rise varies depending on the scenario of future greenhouse gas emissions; sea levels could rise at a rate of 1.5 to 1.9 mm/year, with measurements exceeding 3 mm/year in some locations. The Mediterranean Sea is rising at a rate of 1.1 to 1.8 mm/year, and in the east, sea levels are actually falling due to increasing containment and evaporation. The Adriatic Sea has risen on average between 1.0 and 2.4 mm/year in the 20th century, which is confirmed by the dating of archaeological remains that now lie beneath the water surface.

The estimated rate of sea level rise depends on the length of the period over which the measurements were taken – shorter (more recent) periods tend to show a higher rise. An important factor that is often not taken into account is the influence of sediment contraction and tectonic subsidence. The measurement method used to obtain the data is also an important factor influencing estimates of future sea level rise – older measurements are based on conventional hydrographic measurements with a staff gage, while modern measurements are carried out with satellites, which have higher average values due to the fact that the entire water column is measured over a larger area. Also, the time period of these measurements is shorter, which also makes long-term predictions more difficult.

In the northern Adriatic and in the Gulf of Trieste, the land-based measurements of sea level changes are influenced by tectonics and sediment contraction and the associated subsidence of the surface. Therefore, on the Slovenian coast, the sea level is rising at a relative rate of around 1.3 mm/year. Forecasts for sea level rise indicate a rise of around 55 cm by the end of the century, which corresponds to a rate of rise of 0.5 to 1 mm/year. Other factors must also be taken into account as shown by the fact that tectonic subsidence of the coasts in the area is occurring at roughly the same rate.

Changes in sea level are a relatively slow phenomenon from the perspective of human life, making them difficult to perceive. To make matters worse, they are heterogeneous, i.e. the sea levels drops in some places and rises in others within the same sea. This complex phenomenon is the result of a variety of factors, including rising temperatures and the resulting expansion of the sea, melting ice and extreme weather events, the deposition of sediments and, most importantly, tectonics. Therefore, even the effects of climate change on sea level rise are not clear and caution is urgently needed when predicting future trends. The dependence of sea level changes on multi-decadal variations such as the NAO is also a reminder of this, which is why it is essential to specify in the projections on which data basis they are calculated.

However, there is less disagreement about the greater frequency of extreme events than there is about sea level rise predictions. Even a small rise in sea level significantly increases the number of extreme events. The effects of rising sea levels are even more severe in the Adriatic, which is shallower and more sensitive to sea level changes. On the Slovenian coast, the sea floods about 1% of the coastline more than ten times a year. Most flooding occurs in the fall and winter (74% in total), the least in the summer.

The effects of sea level rise are particularly severe for coastal communities. These areas are already vulnerable to flooding, erosion and storms, and rising sea levels exacerbate these risks. It is important to understand the causes and consequences of sea level rise in order to develop effective adaptation strategies and build resilient coastal communities. In the long term, spatial development and coastal flood protection measures must take into account the most accurate data available and, above all, be interpreted correctly.