

# Obalni gradovi i izazov porasta razine mora

---

Vrtarić, Timon

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:074847>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek

**Timon Vrtarić**

**Obalni gradovi i izazov porasta razine mora**

Prvostupnički rad

Mentor: prof. dr. sc. Danijel Orešić

Ocjena: \_\_\_\_\_

Potpis: \_\_\_\_\_

Zagreb, 2020. godina.



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek

Prvostupnički rad

## Obalni gradovi i izazov porasta razine mora

Timon Vrtarić

**Izvadak:** U ovom radu prikazat će se čimbenici koji utječu na promjene razine mora, te posebno suvremeni uzroci i moguće posljedice eustatičkog porasta razine mora. U glavnom dijelu raspravljat će se o mogućim i stvarnim posljedicama porasta razine mora u obalnim gradovima. Kroz primjere će se prikazati različite strategije i načini borbe gradskih sredina s ovom pojavom danas. S obzirom na trendove, obalni gradovi morat će definirati i dugoročne strategije u odnosu na predviđene promjene razine mora.

27 stranica, 10 grafičkih priloga, 3 tablica, 68 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

**Ključne riječi:** Obalni gradovi, porast razine mora, klimatske promjene, obalna ranjivost, adaptacija

**Voditelj:** prof. dr. sc. Danijel Orešić

**Tema prihvaćena:** datum sjednice Vijeća GO-a na kojoj je odobrena tema

**Datum obrane:** 24. 9. 2020.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geography

Undergraduate Thesis

**Coastal cities and the challenge of rising sea levels**

Timon Vrtarić

**Abstract:** This paper will present the factors influencing sea level changes, especially contemporary causes and possible consequences of eustatic sea level rise. The main part will discuss the possible and real consequences of rising sea levels in coastal cities. Through examples, different strategies and ways of combating urban areas with this phenomenon today will be presented. Given the trends, coastal cities will also need to define long-term strategies in relation to projected sea level changes.

27 pages, 10 figures, 3 tables, 68 references; original in Croatian

**Keywords:** Coastal cities, sea level rise, climate change, coastal vulnerability, adaptation

**Supervisor:** Danijel Orešić, PhD, Full Professor

Undergraduate Thesis title accepted: datum sjednice Vijeća GO na kojoj je odobrena tema

Undergraduate Thesis defense: 24/09/2020

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia

## SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| <b>1. UVOD</b> .....   | 1  |
| <b>2. PROMJENE RAZINE MORA</b> .....                               | 2  |
| 2.1 MJERENJE RAZINE MORA.....                                      | 2  |
| 2.2 EUSTATSKE TRANSGRESIJE.....                                    | 2  |
| 2.3 NEEUSTATSKE TRANSGRESIJE.....                                  | 5  |
| <b>3. UTJECAJI PODIZANJA RAZINE MORA</b> .....                     | 6  |
| 3.1 POTAPANJE KOPNA I POPLAVE.....                                 | 6  |
| 3.2 OBALNA EROZIJA.....  | 8  |
| 3.3 NESTAJANJE OBALNIH EKOSUSTAVA.....                             | 9  |
| 3.4 SALINIZACIJA I UTJECAJ NA LJUDE.....                           | 10 |
| <b>4. KONCEPTI ADAPTACIJE PORASTU RAZINE MORA I PRIMJERI</b> ..... | 11 |
| 4.1 ČVRSTA OBRANA.....   | 12 |
| 4.2 EKOSISTEMSKA OBRANA.....                                       | 13 |
| 4.3 REKULTIVACIJA ZEMLJE UZVODNO.....                              | 15 |
| 4.4 PRILAGODBA.....  | 16 |
| 4.5 POVLAČENJE.....  | 18 |
| <b>5. PRIMJERI</b> .....   | 22 |
| 5.2 DELTA PROJEKT.....   | 22 |
| 5.1 PROJEKT MOSE.....  | 24 |
| <b>6. ZAKLJUČAK</b> .....  | 26 |
| <b>7. IZVORI I LITERATURA</b> .....                                | 28 |

## 1. UVOD

Porast razine mora, dominantna pokretačka sila promjena obalnih regija, preuzima ulogu sve važnijeg faktora opasnosti za ljude i urbana područja obalnih zona širom svijeta krećući se ruku pod ruku s klimatskim promjenama. Geološkim je istraživanjima utvrđeno da je razina mora, zbog prirodnih klimatskih faktora u prošlosti, bila veoma nestabilna, a dovoljno o tome govori činjenica da je u posljednjem glacijalnom periodu razina mora bila niža za 130 metara (Williams, 2013). U relativno novije vrijeme, u zadnjih 3000 godina do sredine 19. stoljeća razina mora je bila poprilično stabilna i nije pokazivala znakove većih oscilacija. Tijekom 20. stoljeća, razina mora je počela rasti s globalnim prosjekom od 1.7 mm/god, što je bilo dovoljno da se zapitamo o posljedicama koje bi nas mogle dočekati (Williams, 2013). Trenutno povećanje razine mora iznosi oko 3.3 mm/god, što je gotovo duplo povećanje od posljednja dva desetljeća (Baynes, 2020). Mnoge su regije još i izloženije tom problemu zbog svojih lokalnih geofizičkih i/ili oceanografskih karakteristika, kao što su i neke regije u povoljnijoj situaciji zbog podignute zemlje (Williams, 2013). Motrenja su dokazala i štetan utjecaj emisije ugljičnih spojeva, koji još od industrijske revolucije dovode do povećanja srednje globalne temperature zraka i oceana odnosno do topljenja ledenjaka i ekspanzije mora (Oppenheimer, 2019). Razina mora kontinuirano raste i očekivan je daljni rast desetljećima ispred nas, ako ne dođe do promjena – smanjenja unosa ugljika u atmosferu. Regije niskih obala do deset metara nadmorske visine, delte i većina otoka najranjivija su područja glede porasta razine mora, uzimajući u obzir i činjenicu da na tim područjima živi više od 10% svjetskog stanovništva. (Williams, 2013) Budući da je, prema svemu sudeći, porast razine mora na Zemlji nastanjenoj ljudima nemoguće zaustaviti, bitno je planirati gradnju prema novim izazovima i živjeti u skladu s novom konfiguracijom prostora uključujući adaptacije bez kojih neće biti moguće živjeti.

## 2. PROMJENE RAZINE MORA

Promjene morske razine u vremenu mogu biti globalne ili eustatske i regionalne ili neeustatske. Globalne su one kod kojih dolazi do istovremene transgresije ili regresije na cijeloj Zemlji. To su eustatske promjene morske razine. Nastaju zbog promjene volumena vode u oceanskim prostorima, ili zbog promjene volumena oceanskog prostora. Regionalne promjene morske razine nastaju zbog spuštanja ili izdizanja pojedinih obalnih prostora, najčešće zbog regionalnih tektonskih poremećaja, uslijed slijeganja zbog kompakcije dijela šelfa, ili zbog izostatskog izravnavanja. (Juračić, 2013)

### 2.1 MJERENJE RAZINE MORA

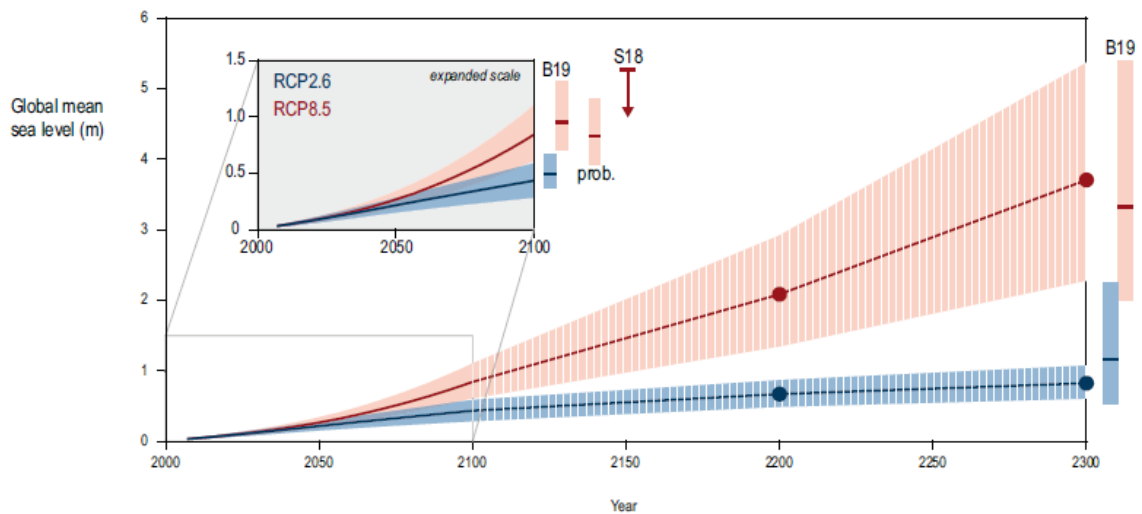
U vremenima ubrzanog porasta razine mora, precizna su mjerenja relativne i eustatske promjene razine mora ključna u predviđanjima uvjeta života obalnih gradova u nadolazećim godinama. Tehnike mjerenja razine mora iznimno su se promijenile posljednjih desetljeća, zahvaljujući razvoju računalnih tehnologija koje su omogućile digitalno snimanje, pohranu velike količine podataka te daljinsko prikupljanje i mjerenje podataka. Danas se koriste dva glavna pristupa: mjerenja morske visine na licu mjesta u jednom vremenskom trenutku, mareografom i satelitska mjerenja razine mora visinomjerom, koji mjeri prostorne i vremenske karakteristike promjena razine mora, ali s grubom razlučivošću u vremenu u usporedbi do sustava plime i oseke. (Vilibić, 2005)

### 2.2 EUSTATSKA TRANSGRESIJA

Veliki dio slatke vode na Zemlji je smrznut, pohranjen je u ledenjake diljem svijeta, najvećeg postotka na grenlandskom i antarktičkom ledenom pokrivaču. Otapanjem leda zaleđenih masiva, voda teče u oceane i razina mora raste. Kada bi se svi ledenjaci i ledeni pokrov otopili, globalna razina mora porasla bi za više od 60 metara. (Baynes, 2020) NASA kontinuirano mjeri težinu ledenjaka i ledenih pokrivača, satelitima GRACE od 2002. do 2017. godine, te satelitima GRACE-Follow On od 2018. Ovi sateliti nedvosmisleno pokazuju da se ledeni pokrivači Grenlanda i Antarktika, kao i glečeri, smanjuju. I Međunarodni panel za klimatske promjene (IPCC) i američka Nacionalna procjena klime zaključuju da je gubitak leda najviše doprinio



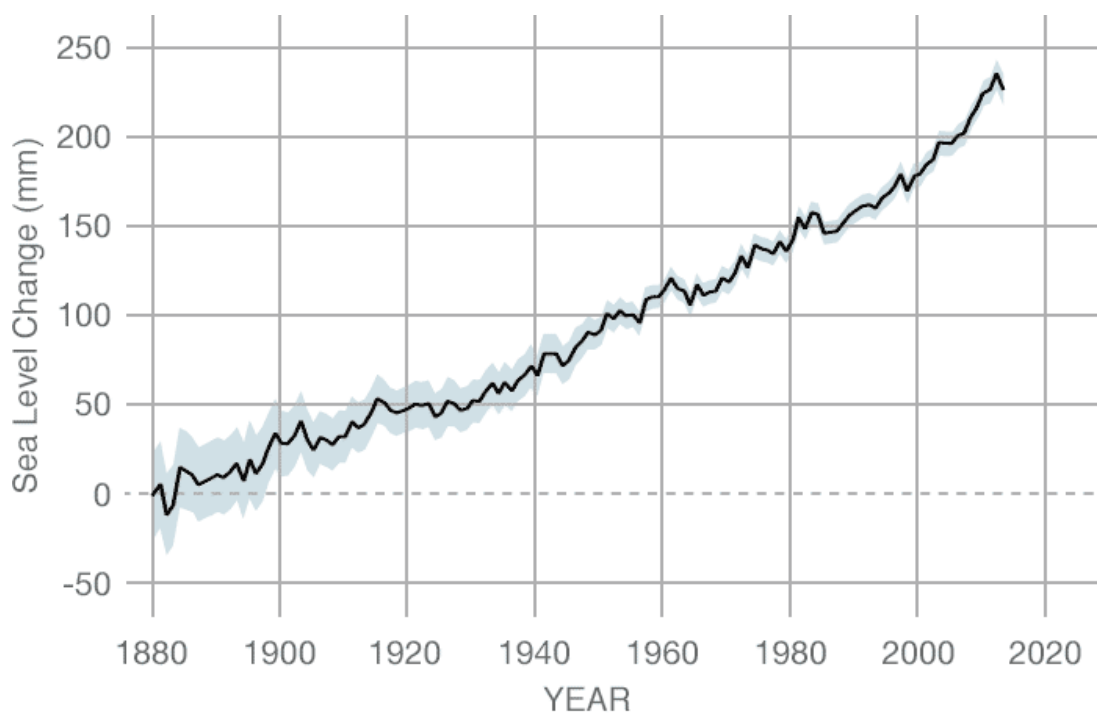
porastu razine mora tijekom posljednjih nekoliko desetljeća i da će doprinijeti rastu razine mora stoljećima ispred nas. (Baynes, 2020)



Sl. 1. Projekcija globalnog porasta razine mora do 2300. godine (crveno – porast globalne razine mora uz dosadašnju stopu ispuštanja CO<sup>2</sup> u atmosferu [RCP 8.5] plavo – porast globalne razine mora uz smanjenje do 2020. te uz prestanak ispuštanja CO<sub>2</sub> u atmosferu do 2100. [RCP 2.6])

Izvor: Oppenheimer, 2019

Zagrijavanje Zemlje prvenstveno je posljedica nakupljanja stakleničkih plinova koji zauzimaju toplinu, a oceani apsorbiraju više od 90 posto te zarobljene topline. (Baynes, 2020) Kako se ta toplina apsorbira, temperature oceana rastu, a voda se širi. Ova termalna ekspanzija pridonosi povećanju globalne razine mora. Mjerenja temperature morske površine, snimljena brodovima, satelitima i sensorima za zanošenje, zajedno s podzemnim mjerenjima i promatranjima globalnog porasta razine mora, pokazala su da je zagrijavanje gornjeg oceana uzrokovalo porast razine mora zbog toplinske ekspanzije 20. stoljeća, a to se lijepo može vidjeti i na sljedećem grafu.



Sl. 2. Promjena razine mora tijekom 20. stoljeća

Izvor: NASA, 2020

Korištenjem mjerenja na Argo profilnim plovcima znamo kako se ovo zagrijavanje nastavilo, uzrokujući otprilike jednu trećinu globalnog porasta razine mora koji su satelitski visinomjeri promatrali od 2004. godine. (Baynes, 2020) Oceani čine sastavni dio globalnog vodnog ciklusa: oborine, isparavanje i rijeke premještaju velike količine vode između kopna i oceana. Budući da se količina vode na Zemlji ne mijenja, promjena količine vode u jednoj komponenti mora se nadoknaditi u odnosu na drugu. Budući da se ciklus vode mijenja tijekom vremena, i količina vode pohranjene u oceanu varira tijekom vremena (Baynes, 2020). Primjerice, jake kiše nad Australijom, jugoistočnom Azijom i slivom Amazone - i posljedično skladištenje velike količine vode na kopnu - uzrokovale su pad globalne razine mora za 1 centimetar tijekom ciklusa La Niña od 2010. do 2011. godine. (Baynes, 2020) Ljudi također izravno mijenjaju količinu vode na kopnu, a time i količinu vode u oceanima. Globalna izgradnja velikih brana u rijekama dovela je do oduzimanja količine vode koja je jednaka 3 centimetra razine mora. (Baynes, 2020) S druge strane, na mnogim se mjestima troši podzemna voda iz vodonosnika za ljudsku upotrebu. Akviferi se ponovno ne pune pa ta voda na kraju završava u oceanima, što dovodi do globalnog porasta razine mora. (Baynes, 2020)

## 2.3 NEEUSTATSKA TRANSGRESIJA

Kada ledenjaci i ledeni pokrivači izgube na masi ili kada se hidrološki ciklus promijeni, rezultirajuće promjene razine mora varirat će od mjesta do mjesta. Znanstvenici taj fenomen nazivaju "efektom gravitacije, deformacije i rotacije". (Baynes, 2020) Pogotovo zbog gubitka leda, puno se vode premješta. Kao rezultat, oblik Zemlje, njezino gravitacijsko polje i način na koji se okreće se mijenjaju (Baynes, 2020). Teški ledeni slojevi potiskuju čvrstu zemlju pod svojom težinom prema dolje, a gravitacijsko privlačenje ledenih ploča privlači obližnju oceansku vodu. U međuvremenu povlačenje ledenih ploča na okolne oceane slabi, a voda se odmiče od ledenih pokrova. Gubitak ledene mase uzrokuje rezultirajući pad razine mora blizu ledenih pokrova, dok se na većoj udaljenosti tropi suočavaju s porastom razine mora povezanim s ledom za oko 20 posto više od globalne prosjeke. (Baynes, 2020) Iako je povećanje razine mora primarni pokretač obalnih promjena, kretanje kopna također je važno u nekim istim obalnim područjima. Relativna razina mora opisuje mjerenje uspona ili pada oceana u odnosu na kopno. Kada kopno tone, odnosno subsidira, to donosi prividan porast razine mora, dok kopno koje raste dovodi do prividnog smanjenja razine mora. Na nekim se mjestima subsidencija događa prirodnim procesima, a jedan od najvažnijih od njih je post-glacijalni odskok. Na kraju posljednjeg ledenog doba, prije nekih 10 000 godina, povlačenje masivnih ledenih pokrova iz Sjeverne Amerike i euroazijskog kontinenta olakšalo je opterećenje temeljnog plašta, duboko ispod Zemljine površine. (Baynes, 2020) Plašt je viskoznan, nije čvrst, pa se polako odbija, podižući sloj stijena iznad - litosferu - tijekom tisuća godina. Ovaj postupni rast, oporavak od posljednjeg ledenog doba, nastavlja se i danas, mijenjajući oblik oceanskih bazena i dovodeći do subsidencije duž mnogih obala. Iako se uzdizanje događa u blizini područja koja su gurnuta prema dolje opterećenjem ledene ploče prije 10 000 godina, subsidencija se događa u područjima koja su nekada bila na rubu ili ispupčenju tih drevnih ledenih slojeva. To se može vidjeti na istočnoj obali Sjedinjenih Država, gdje obale tonu zbog ovog propadanja, što je dovelo do visokih stopa porasta razine mora. Propadanje tla također može biti rezultat ljudske aktivnosti. Vađenje podzemne vode i ugljikovodika može uzrokovati zbijanje sedimenata. Subsidencija povezana s povlačenjem podzemnih voda može biti posebno izražena u riječnim deltama s velikim brojem stanovništva i ekstenzivnom poljoprivredom. (Baynes, 2020)

### 3. UTJECAJI PODIZNJA RAZINE MORA

Porast srednje razine mora i pojava ekstremih uvjeta ugrožavaju obalna područja nizom obalnih opasnosti, uključujući: trajno potapanje kopna previsokim srednjim razinama mora ili srednjim plimama i osekama, češće i/ili intenzivnije obalne poplave, pojačane obalne erozije, promjena i nestajanje obalnih ekosustava, salinizacija tla, podzemnih i površinskih voda te nestabilnostima odvodnje. (Oppenheimer, 2019) U pogledu narednog stoljeća, značajan bi se postotak otoka i obala niske nadmorske visine suočio s ozbiljnim obalnim opasnostima bez adekvatne adaptacije. Bez obzira o urbanosti, kontinentalnosti, geografskoj širini ili razini razvijenosti, manjak mjera prilagodbe mogao bi biti poguban za velik prostor, bio on naseljen ili ne. Nadalje, u ovom dijelu seminara biti će govora i o utjecajima na neke kritične morske ekosustave (močvare, mangrove, lagune, koraljne grebene i morske trave) kao i utjecajima na ulogu ekosustava kao obalne zaštite, te naravno, na ljudska društva (ljudi, imovina, infrastruktura, gospodarske i životne aktivnosti). Kao službeno tijelo izvještavanja o klimatskim promjenama, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - Međuvladin panel o klimatskim promjenama) je objavio "Razlozi Za Zabrinutost" (Reasons for Concern – RFC) izvješće o procjeni rizika za morske vrste nastalog zbog okiseljavanja mora te procjeni rizika za ljudske i prirodne subjekte od porasta razine mora. Prema tom izvješću, rizici podizanja razine mora su već detektirani globalno s trendom rapidnog porasta, stoga bi visoki stupnjevi rizika mogli donjeti negativne posljedice već i prije očekivanog porasta od 1 metra razine mora do kraja stoljeća. (Oppenheimer, 2019)

#### 3.1 POTAPANJE KOPNA I POPLAVE

Uzimajući u obzir porast razine mora između 25 i 123 cm do 2100. godine, bez prilagodbe bi globalno nestalo 0,2–4,6% populacije, s očekivanom godišnjom štetom koja bi iznosila 0,3–9,3% globalnog BDP-a. (Hinkel, 2014) Procjenjujući 120 gradova na globalnoj razini, Abadie (2020) otkriva da se pod ponderiranom kombinacijom vjerojatnih scenarija u 2100. godini New Orleans i Mumbai nalaze na drugom mjestu sa gotovo bilijun \$USD štete u svakom gradu, dok je na vrhu ljestvice Guangzhou Guangdong koji sa gotovo duplo više procjenjene štete, 1782 milijarde \$USD.

Tab. 1. Poredak najugroženijih gradova prema pretpostavljenoj šteti (u milijardama USD \$)

| RANG | GRAD                | NAJGORI SCENARIJ |       |        | RCP 8.5 SCENARIJ |       |        |
|------|---------------------|------------------|-------|--------|------------------|-------|--------|
|      |                     | 2050             | 2070  | 2100   | 2050             | 2070  | 2100   |
| 1    | Guangzhou Guangdong | 419,9            | 869,9 | 1782,2 | 330,8            | 678,1 | 1392,3 |
| 2    | Mumbai              | 162,2            | 459,8 | 976,4  | 112,4            | 328,5 | 734,5  |
| 3    | New Orleans         | 258,1            | 478,9 | 907,5  | 209,2            | 369,1 | 673,7  |
| 4    | Guayaquil           | 79               | 229,8 | 546,5  | 49,1             | 162,3 | 412,8  |
| 5    | Alexandria          | 79,3             | 215,2 | 481,2  | 50               | 148,4 | 352,4  |
| 6    | Shenzhen            | 68,1             | 197,9 | 460    | 42               | 141,5 | 346,4  |
| 7    | Calcutta            | 90,7             | 211,6 | 452,2  | 65,9             | 156,8 | 346,4  |
| 8    | Osaka-Kobe          | 120,9            | 224,9 | 431,3  | 101,1            | 180,9 | 342,3  |
| 9    | Bangkok             | 62               | 177,7 | 415,8  | 38,7             | 125,3 | 312,5  |
| 10   | Tokyo               | 96,2             | 178   | 341,7  | 79,8             | 141,7 | 270,4  |
| 11   | Tianjin             | 60,4             | 138,7 | 283,8  | 45,5             | 104,4 | 219,5  |
| 12   | Shanghai            | 32,4             | 115,7 | 287,3  | 15,7             | 78    | 212,1  |
| 13   | Nagoya              | 76,4             | 135,4 | 258    | 64,1             | 109,2 | 204,1  |
| 14   | Hai Phong           | 32               | 104   | 250,1  | 17,6             | 72,2  | 187,3  |
| 15   | Abidjan             | 32,7             | 90,8  | 205,1  | 20,9             | 64,4  | 152    |

Izvor: Abadie, et. al, 2020

Tab. 2. Poredak gradova prema izloženosti stanovništva obalnim poplavama 2007. I 2070.

| RANG | DRŽAVA           | AGLOMERACIJA    | IZLOŽENO STANOVNIŠTVO 2007. | IZLOŽENO STANOVNIŠTVO 2070. |
|------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1    | INDIJA           | KOLKATA         | 1929000                     | 14014000                    |
| 2    | INDIJA           | MUMBAI          | 2787000                     | 11418000                    |
| 3    | BANGLADEŠ        | DHAKA           | 844000                      | 11135000                    |
| 4    | KINA             | GUANGZHOU       | 2718000                     | 10333000                    |
| 5    | VIJETNAM         | HO CHI MINH     | 1931000                     | 9216000                     |
| 6    | KINA             | SHANGHAI        | 2353000                     | 5451000                     |
| 7    | TAJLAND          | BANGKOK         | 907000                      | 5138000                     |
| 8    | MIJANMAR         | RANGOON         | 510000                      | 4965000                     |
| 9    | SAD              | MIAMI           | 2003000                     | 4795000                     |
| 10   | VIJETNAM         | HAI PHONG       | 794000                      | 4711000                     |
| 11   | EGIPAT           | ALEXANDRIA      | 1330000                     | 4375000                     |
| 12   | KINA             | TIANJIAN        | 956000                      | 3790000                     |
| 13   | BANGLADEŠ        | KHULNA          | 441000                      | 3641000                     |
| 14   | KINA             | NINGBO          | 299000                      | 3305000                     |
| 15   | NIGERIJA         | LAGOS           | 357000                      | 3229000                     |
| 16   | OBALA BJELOKOSTI | ABIDJAN         | 519000                      | 3110000                     |
| 17   | SAD              | NEW YORK-NEWARK | 1540000                     | 2931000                     |
| 18   | BANGLADEŠ        | CHITTAGONG      | 255000                      | 2866000                     |
| 19   | JAPAN            | TOKYO           | 1110000                     | 2521000                     |
| 20   | INDONEZIJA       | JAKARTA         | 513000                      | 2248000                     |

Izvor: Nicholls, et. al, 2007

Za Europu se očekuje da će šteta od poplava porasti s 1,25 milijardi EUR danas na 93–960 milijardi EUR do kraja stoljeća. (Vousdoukas et al., 2018) Studije također potvrđuju nalaze zadnjih izvješća da su relativni troškovi i koristi od obalne prilagodbe nejednako raspoređeni po zemljama i regijama. (Diaz, 2016) Primjerice, dok se prosječni trošak zaštite i povlačenja prema predikcijama najgoreg scenarija u 2050. godini procjenjuje na ispod 0,09% nacionalnog BDP-a, veliki su relativni troškovi za male otočne države kao što su Marshallovi otoci (7,6%), Maldivi (7,5%), Tuvalu (4,6%) i Kiribati (4,1%) (Diaz, 2016). Nadalje, u globalnom prosjeku i za urbane i gusto naseljene regije, tvrda zaštita visoko je isplativa s povoljnim omjerima koristi i troškova, ali za siromašnija i rijede naseljena područja omjeri koristi i troškova obično su manji (Lincke i Hinkel, 2018.). Stoga će se bez značajnih novčanih paketa za potporu siromašnim područjima rizici od obalnih poplava razvijati nejednako tijekom ovog stoljeća, a bogatija i gusto naseljena područja dobro će biti zaštićena iza tvrdih građevina, a siromašnija, rijede naseljena područja trpjeti će gubitke i oštećenja, a na kraju će se povući s obale.

### 3.2 OBALNA EROZIJA

Nedavne globalne procjene erozije obale pokazuju da gubici zemljišta trenutno dominiraju nad dobicima od zemlje i da su ljudske intervencije glavni pokretač promjena obale (Luijendijk et al., 2018). Luijendijk (2018) procjenjuje da se tijekom razdoblja 1984.–2016. otprilike četvrtina svjetskih pješčanih plaža erodirala brzinama većim od 0,5 m godišnje, dok se oko 28% nagomilalo. Sve je više literature koje ukazuju da se obalna erozija javlja ili povećava, npr. na Arktiku, Brazilu, Kini, Kolumbiji, Indiji te duž velikog broja deltičkih sustava širom svijeta (Oppenheimer, 2019). Od posljednjeg izvještaja IPCC-a 2019. godine, raste uvažavanje i razumijevanje sposobnosti obalnih sustava da dinamički reagiraju na porast razine mora (Oppenheimer, 2019). Većina nizinskih obalnih sustava pokazuje korelaciju između bioloških i fizičkih procesa koji su im omogućili da tijekom prošlosti održavaju relativno stabilnu morfologiju pod umjerenim stopama porasta razine mora, do 0,3 cm godišnje, nekoliko tisućljeća (Woodruff et al., 2013). U globalnom pregledu višegodišnjih promjena na kopnenom području 709 atola, Duvat (2019.) pokazuje da u kontekstu bržeg porasta razine mora od globalne srednje vrijednosti, 73,1% otoka bilo je stabilno na površini, dok se 15,5% povećalo, a 11,4% smanjilo. Iako su antropogeni pokretači imali glavnu ulogu, posebno na urbanim otocima (npr. Stabilizacija obale obalnom obranom, povećanje veličine otoka kao rezultat melioracijskih radova), ovime se

sugerira da su ti otoci u proteklim desetljećima imali sposobnost održavanja svog kopna prirodnim prilagođavanjem na porast razine mora (Woodruff et. al, 2013).. Međutim, tvrdi se da bi se taj kapacitet mogao smanjiti u sljedećim desetljećima, zbog kombinacije većih stopa porasta razine mora, povećane energije valova i smjerova oluja, učinaka zagrijavanja oceana i zakiseljavanja na kritične ekosustave poput koraljnih grebena te zbog kontinuiranog povećanja antropogenog pritiska (Oppenheimer, 2019).

### 3.3 NESTAJANJE OBALNIH EKOSUSTAVA

Globalne obalne močvare smanjene su za polovicu od predindustrijskog razdoblja zbog utjecaja klimatskih i ne-klimatskih pokretača kao što su poplave, obalna urbanizacija, promjene u odvodnji i opskrbi sedimentima (Kirwan i Megonigal, 2013). Potencijalno jedna od najvažnijih eko-morfodinamičkih karakteristika koja omogućava relativno stabilnu morfologiju pod povećanjem razine mora je sposobnost močvarnih i mangrovih sustava da pojačaju hvatanje sedimenta, što zauzvrat omogućava plimnim močvarama da rastu i povećavaju proizvodnju i akumulaciju organskih materijala (Kirwan i Megonigal, 2013). Kada se zdravlje ekosustava održava i postoji dovoljno sedimenta koji podupiru njihov rast, ove su karakteristike općenito omogućile da se močvare i sustavi mangrova vertikalno grade brzinom jednakom ili većom od porasta razine mora do danas. (Kirwan i Megonigal, 2013). U puno gorjoj situaciji su koraljni grebeni koji se smatraju morskim ekosustavom koji je najviše ugrožen klimatskim promjenama oceana, posebno zagrijavanjem i zakiseljavanjem oceana, čak i prema najblažim scenariju porasta razine mora. (Gattuso et. al, 2015) Važno je spomenuti i morske trave, kao jedan od većih ekosistema u moru. Zbog njihove prirodne sposobnosti pojačavanja nakupljanja i u odsutnosti mehaničkog ili kemijskog uništavanja ljudskim aktivnostima, ne očekuje se da će porast razine mora ozbiljno utjecati na morsku travu, osim neizravno zbog povećanja utjecaja ekstremnih vremenskih događaja i valova na obalnu morfologiju kao i kroz promjene razine svjetlosti i kroz učinke na susjedne ekosustave (Saunders et. al, 2013). Također se pokazalo da ekstremni poplavni uzroci uzrokuju velike gubitke staništa morske trave (Saunders et. al, 2013). Ali u cjelini, na morsku će travu prvenstveno negativno utjecati izravni učinci povećane temperature mora na stope rasta i pojavu bolesti (Marba i Duarte, 2010)

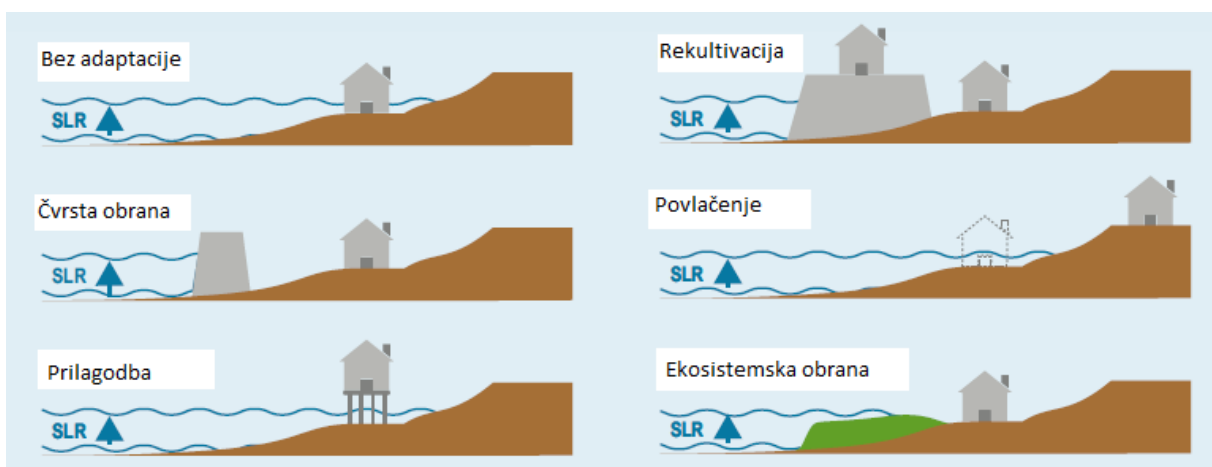
### 3.4 SALINIZACIJA I UTJECAJ NA LJUDE

S porastom razine mora očekuje se češći prodor slane vode u obalne vodonosnike i površinske vode i tla, koji ulaze dalje prema kopnu. Salinizacija podzemnih voda, površinskih voda i resursa tla također se povećava sa sušnim događajima na kopnu, smanjenjem ispuštanja rijeka u kombinaciji s vađenjem vode i porastom razine mora (Taylor et al., 2013). Porast razine mora će utjecati na poljoprivredu uglavnom potapanjem zemljišta, zaslanjivanjem resursa tla i slatke podzemne vode s posljedicama na proizvodnju, diverzifikaciju sredstava za život i sigurnost hrane, posebno u zemljama jako ovisnim o poljoprivredi. (Khanom, 2016). Porast razine mora može značajno utjecati na turizam i rekreaciju utjecajima na krajolike, kulturne značajke i kritičnu prometnu infrastrukturu poput luka i zračnih luka. Buduća atraktivnost turizma i rekreacije obalnih područja ovisit će također o promjenama temperature zraka, sezonalnosti i temperature mora. Buduće promjene klimatskih uvjeta u područjima podrijetla turista također će igrati ulogu u preoblikovanju turističkih tokova (Bujosa i Rosselló, 2013). Također postoji zabrinutost zbog učinka porasta razine mora na turističke objekte, u kontekstu u kojem turistička infrastruktura često doprinosi degradaciji prirodnog zaštitnog okoliša, na primjer, stiskom obale i obalna erozija kojom upravljaju ljudi. Opet, predviđanje je ograničeno nedostatkom znanstvenih studija o dugoročnim strategijama i prilagodljivim kapacitetima turističkih dionika (Hoogendoorn i Fitchett, 2018). Nedavne studije podupiru zaključak izvješća IPCC-a da se zagrijavanje i zakiseljavanje oceana smatraju utjecajnijim pokretačima promjena u ribarstvu i akvakulturi od porasta razine mora. Negativni učinci porasta razine mora na ribarstvo i akvakulturu su neizravni, degradacijom koraljnog grebena, smanjenem kvalitete vode u deltama i estuarijima, kao i na utjecaj na same luke oštećenjima. (Larsen et. al, 2014).



#### 4. KONCEPTI ADAPTACIJE PROBLEMATICI PORASTA RAZINE MORA I PRIMJERI

Tehnologija i znanost primorane su usmjeriti se, zbog izazova koji se s mora prema kopnu, prema novim oblicima adaptacije obalnih prostora pred značajnom problematikom podizanja razine mora. Širom svijeta susrećemo se s čvrstim tehnikama obrane obale kao na primjer nasipima, morskim zidovima ili pregradama, koje pružaju predvidljive razine sigurnosti (Oppenheimer, 2019). Na sličan način funkcioniraju i ekosistemske adaptacije, samo što su one bazirane na organskim temeljima, a također stiču sve veću privlačnost pri obrani od mora, ali nažalost, one su opstojane samo u prostorima koji zadovoljavaju okolišne uvjete (Oppenheimer, 2019). Rekultivacija zemlje uzvodno sljedeći je način borbe s morem. Dugu tradiciju korištenja takvog oblika obrane, polderima, imaju države oko Sjevernog mora u Europi i istok Azije (Oppenheimer, 2019). Uz navedene oblike adaptacije porastu razine mora postoji i jednostavno prilagođavanje toj pojavi, živeći u skladu s uvjetima više razine mora, kao i posljednja „adaptacija“ – povlačenje s rizičnog prostora. Adaptacije kao takve, danas predstavljaju samo reakciju na trenutni rizik ili doživljenu katastrofu, no nisu osmišljene kao dugoročno rješenje. (Oppenheimer, 2019)



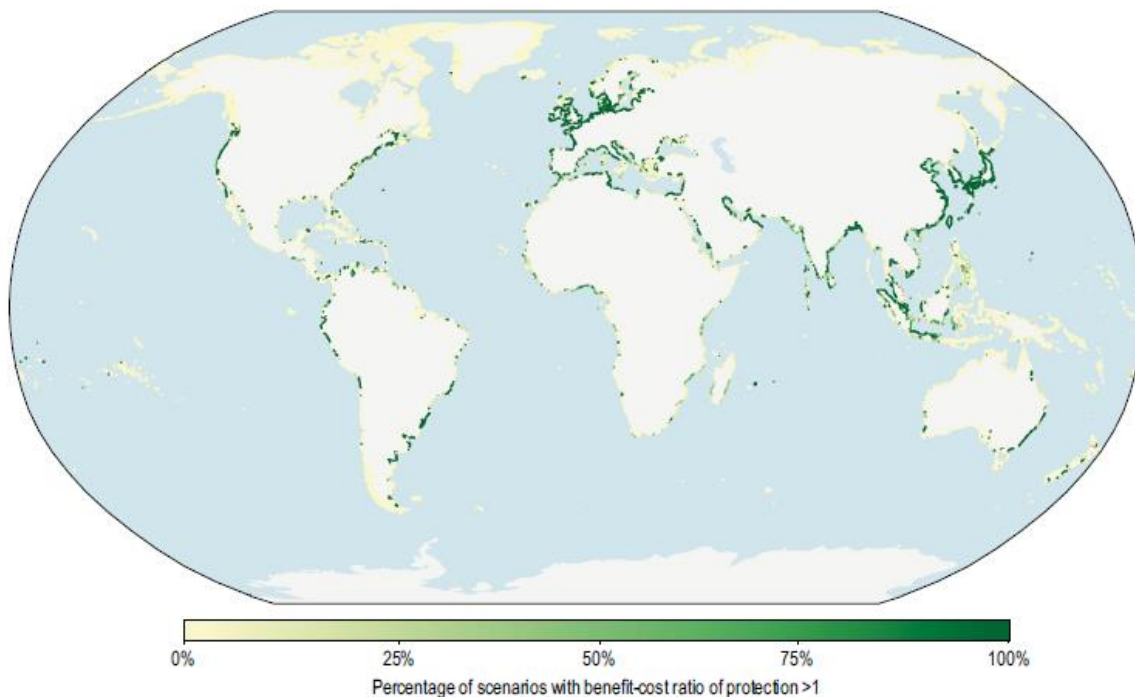
Sl. 3. Oblici adaptacije porastu razine mora

Izvor: Oppenheimer, 2019

## 4.1 ČVRSTA OBRANA

Čvrsta zaštita smanjuje obalni rizik i utjecaje mora blokirajući širenje vode u unutrašnjost i druge učinke ekstremnije razine mora. To uključuje tvrdi zaštitu kao što su nasipi, morski zidovi, lukobrani, barijere i ograde za zaštitu od poplava, erozije i prodora slane vode, zaštitu zasnovanu na širenju plaža i obala i prilagodba zasnovana na ekosustavu. Tri se potkategorije često primjenjuju u kombinaciji kao takozvane hibridne mjere (Nicholls, 2018.). Zaštita obale čvrstim branama raširena je širom svijeta, iako je teško procijeniti koliko ljudi od njih ima koristi. Trenutno najmanje 20 milijuna ljudi živi ispod normalne razine plime i oseke, na prostorima koji su zaštićeni čvrstim konstrukcijama i odvodnjom u zemljama poput Belgije, Kanade, Kine, Njemačke, Italije, Japana, Nizozemske, Poljske, Tajlanda, Velike Britanije i SAD-a (Nicholls, 2010.). Mnogo više ljudi koji žive iznad plime također su zaštićeni od porasta razine mora čvrstim konstrukcijama u većim gradovima širom svijeta. Koncentracija je ovih mjera u sjeverozapadnoj Europi i istočnoj Aziji, iako se opsežna obrana također nalazi u i oko mnogih obalnih gradova i delta. Većina glavnih nadogradnji obrane događa se tek nakon obalnih katastrofa. (Nicholls, 2010.) Nasipi su podignuti i ojačani nakon razorne obalne poplave 1953. u Nizozemskoj i Velikoj Britaniji, te 1962. u Njemačkoj. U New Orleansu, ulaganja u iznosu od 15 milijardi USD, uslijedila su nakon uragana Katrina 2005. (Fischetti, 2015.), a u New Yorku je savezna vlada stavila na raspolaganje 16 milijardi USD za oporavak od katastrofe i prilagodbu nakon Super oluje Sandy iz 2012. (NYC, 2015). Negativne strane mora ostavile su mnoge tragove na prostoru obitavanja ljudi stoga su pravovremene mjere neizostavne. Budući da je prostor ograničen, posebice u urbanim krajevima, korisne pogodnosti mogu se ostvariti kroz višenamjensku obranu od tvrde poplave, koja kombinira zaštitu od poplava s drugim urbanim funkcijama, poput parkirališta, zgrada, cesta ili rekreacijskih prostora, u jedan multifunkcionalni produkt (Stalenberg, 2013). Važna supovoljnost zaštite zasnovane na sedimentima, poput obnavljanja plaža i gospodarenja dinama, jest ta što ona čuva plažu i pripadajući okoliš, kao i turizam (Everard et. al, 2010) S druge strane, nedostaci tvrde zaštite uključuju izmjenu hidrodinamičkih i morfodinamičkih procesa, što zauzvrat može dovesti do problema sa poplavama i erozijom (Lee et. al, 2017.). Primjerice, zaštita postojeće obale u ušću i plimnim potocima može povećati pojačanje plima i oseka u gornjim dijelovima (Lee et. al, 2017.). Čvrsta zaštita također ometa ili onemogućava pomicanje kopnenih jedinica i ekosustava, što dovodi do gubitka staništa kao i zaštitne funkcije ekosustava (Pontee, 2013). Još jedan nedostatak podizanja tvrdih konstrukcija jest rizik od blokiranja razvojnog puta u kojem se razvoj pojačava iza sve viših i viših obrambenih konstrukcija, s eskalirajućim teškim

posljedicama u slučaju neuspjeha zaštite (Pontee, 2013). Što se tiče ekonomske isplativosti, procjene govore da troškovi izrade i održavanja čvrste zaštite ne premašuju cijenu štete koja bi nastala u slučaju katastrofa od obalnih poplava, u globalnom prosjeku, a za gradove i gusto naseljena područja tijekom 21. stoljeća isplativost gradnje čvrste obrane je još i veća (Hallegatte et. al, 2013).



Sl. 4. Karta isplativosti izgradnje brana (u postocima)

Izvor: Oppenheimer, 2019

#### 4.2 EKOSISTEMSKA OBRANA

Ekosistemska obrana može postojati i funkcionirati samo tamo gdje su uvjeti okoliša povoljni određenom ekosustavu. Šume mangrova, slane močvare i grebeni javljaju se duž oko 40-50% svjetskih obala (Burke, 2011). Međutim, ne postoji jasna procjena globalne duljine obale pokrivena ekosustavima relevantnim za ekosistemsku obranu pred porastom razine mora. Mangrove se javljaju na tropskim i subtropskim obalama i pokrivaju 138 000–152 000 km<sup>2</sup> u oko 120 zemalja (Spalding, et. al, 2010). Najmanje 150 000 km obale u preko 100 zemalja ima koristi od prisutnosti koraljnih grebena, a procjenjuje se da oni globalno štite preko 100 milijuna ljudi od poplava izazvanih valovima (Burke, 2011.). Opseg ostalih obalnih staništa manje je poznat, procjenjuje se da se slane močvare javljaju u 99 zemalja, posebno u visokim geografskim širinama, s gotovo 5.500.000 ha mapiranih (Burke, 2011).



Sl. 5. Šume mangrove

Izvor: [indonesiawaterportal.com](http://indonesiawaterportal.com)

Važno je naglasiti da je ovaj tip obrane naravi održivog razvoja što uključuje očuvanje ili obnavljanje obalnih ekosustava poput močvara i grebena. Mjere ekosustavne obrane štite obalu slabljenjem valova, u slučaju močvarnih olujnih tokova, djelujući kao prepreke i pružajući prostor za zadržavanje (Shepard, et. al, 2011.). povećanjem nadmorske visine i smanjenjem brzine erozije hvatanjem i stabiliziranjem obalnih sedimenata (Shepard, et. al, 2011.), kao i nakupljanje organske tvari i detritusa (Shepard, et. al, 2011.) Nedavno je globalna analiza 69 studija pokazala da su ekosustavi u prosjeku smanjili visinu valova između 35-71% na promatranim mjestima (Narayan et. al, 2016). Globalne analize pokazuju da prirodne i umjetne morske trave mogu umanjiti visinu valova i energiju za čak 40%, odnosno 50% (Fonseca i Cahalan, 1992.), dok se koraljnim grebenima smanjuje ukupna energija valova za 94–98% (Narayan et. al, 2016). Obrane temeljene na ekosustavima pružaju višestruke koristi, poput smanjenja ugljika (Siikamäki et. al, 2012), prihoda od turizma , povećanje produktivnosti obalnog ribolova, poboljšanje kvalitete vode, osiguravanje sirovina za hranu, lijekove, gorivo i građevinarstvo, te niz nematerijalnih i kulturnih blagodati koje pomažu u poboljšanju otpornosti zajednica ranjivih na opasnosti od razine mora (Oppenheimer, 2019). U usporedbi s tvrdim strukturama poput morskih zidova, mjere ekosistemskih obrana, posebno obalne močvare,

zahtijevaju više zemlje, a konkurencija za kopno često je razlog zašto su ekosustavi u prvom redu pali (Oppenheimer, 2019). Na razvijenim obalama, ovo zemljište često nije dostupno. U takvim slučajevima, hibridnim se mjerama kombiniraju prirodne mjere sa čvrstim mjerama poput sadnje mangrovih šuma ispred nasipa koje mogu svakako pružiti učinkovito rješenje (Dasgupta et. al, 2019.).

#### 4.3 REKULTIVACIJA ZEMLJE UZVODNO

Rekultivacijom zemlje uzvodno stvara se novo povišeno zemljište gradeći prema moru, smanjujući obalni rizik za zaleđe. To uključuje nastajanje zemlje iznad razine mora punjenjem tla pijeskom ili drugim materijalom, sadnju vegetacije da se podrži prirodna konsolidacija zemljišta i okolnih niskih područja, što se naziva polderizacijom, što također zahtijeva odvodnju i često sustave crpljenja (Wang, et.al, 2014). Otimanje zemlje moru ima dugu povijest u većini područja gdje ima gustog obalnog stanovništva i nedostatka zemlje. To uključuje rekultivaciju putem poldera oko južnog Sjevernog mora (Njemačka, Nizozemska, Belgija i Engleska) i Kine (Wang, et. al, 2014), što se podudara s regijama u kojima postoji velika tvrda zaštita.



Sl.6. Polderi

Izvor: channelnewsasia.com

Rekultivacija se također dogodila u svim većim obalnim gradovima do određenog stupnja, čak i samo zbog stvaranja luka i lučkih područja podizanjem obalnih platforma iznad normalne razine plima i oseka ispunom taloga (Oppenheimer, 2019). Na nekim strmim obalama, gdje ima malo ravnog zemljišta, poput Hong Konga, iskapa se materijal s povišenih područja kako bi se stvorio temelj za izgradnju zemljišta u moru. Globalno se procjenjuje da je tijekom posljednjih 30 godina iz mora „niknulo“ oko 33.700 km<sup>2</sup> zemljišta (oko 50% više nego što je izgubljeno), a najveći dobitak bilježi se u mjestima poput Dubaija, Singapura i Kine (Wang et.al, 2014.) Slično tvrdoj zaštiti, rekultivacija zemlje uzvodno je široko rasprostranjena i učinkovita tehnologija i može pružiti predvidljive razine sigurnosti. Ako se cijelo kopneno područje uzdigne iznad visine ekstremnih razina mora, preostali su rizici niži u odnosu na tvrdu zaštitu jer ne postoji rizik od katastrofalnog obrambenog neuspjeha. Glavna korisna prednost rekultivacije je stvaranje nove zemlje. Glavni nedostaci uključuju zaslanjivanje podzemnih voda, pojačanu eroziju i gubitak obalnih ekosustava i staništa te rast obalnog poplavnog područja (Li et. al, 2014.; Wang i sur., 2014). Primjerice, u Kini je oko 50% obalnih ekosustava izgubljeno zbog otimanja zemlje moru, što dovodi do niza utjecaja poput gubitka biološke raznolikosti, smanjenja vrsta ptica i morskih zajednica, smanjenog pročišćavanja vode i češćih štetnih cvjetanja algi. (Li et. al, 2014).

#### 4.4 PRILAGODBA

Prilagodba uključuje različite biofizičke i institucionalne reakcije koje ublažavaju obalni rizik i utjecaje smanjenjem ranjivosti stanovnika priobalja, ljudskih aktivnosti, ekosustava i izgrađenog okoliša, omogućujući tako nastanjivost obalnih područja usprkos sve većim razinama opasnosti (Trang, 2016.). Mjere prilagodbe za eroziju i poplave uključuju građevinska pojačanja, podizanje nadmorske visine kuće, podizanje na više katove i plutajuće kuće i vrtove (Trang, 2016.). Zaštita od poplave može uključivati uporabu građevinskih projekata i materijala koji čine strukture manje osjetljivima na štete od poplave i / ili sprječavaju ulazak poplavnih voda u građevine. Primjeri uključuju plutajuće kuće u Aziji, poput Vijetnama (Trang, 2016.), podizanje kuća u donjoj delti Nigera (Musa et. al, 2016.), izgradnju verandi s vrećama s pijeskom i policama u kućama za podizanje robe tijekom poplava u obalnim zajednicama u Kamerunu (Munji et. al, 2013.). U gradu Semarang u Indoneziji stanovnici su se prilagodili obalnim poplavama povišenjem kuća za 50–400 cm ili premještanjem robe na sigurnija mjesta, bez strukturnih promjena (Buchori et. al, 2018.). Zajednice u Nizozemskoj eksperimentiraju s

plutajućim / amfibijskim kućama koje se mogu prilagoditi različitim vodostajima, a slična se razmatranja raspravljaju i u drugim prostorima, primjerice u Bangkoku (Nilubon et. al, 2016.)



Sl. 7. Plutajuće kuće

Izvor: waterstudio.nl

Mjere prilagodbe mogu biti vrlo učinkovite za trenutne uvjete i mali porast razine mora, također kupujući vrijeme za pripremu za budući porast. Priče o uspjehu uključuju slučaj Bangladeša gdje su poboljšana rana upozorenja, izgradnja skloništa i izrada planova evakuacije pomogli smanjiti smrtnu slučajevu od poplava i ciklona (Haque et. al, 2012.). Međutim, nepismenost, nedostatak svijesti i loša komunikacija još uvijek ometaju učinkovitost ranih upozorenja (Haque i et. al, 2012.) Glavna je pogodnost prilagodbe poboljšana otpornost in situ zajednica bez povlačenja ili korištenja zemlje i resursa za izgradnju mjera zaštite. Specifične mjere prilagodbe imaju različite pogodnosti, kao što su kuće na kilavicama, koje ne štite samo od poplava, već i od divljih životinja. Prilagoba ima potencijal održati krajobraznu povezanost koja omogućava pristup oceanu, kao i migraciju ekosustava prema kopnu, barem do neke mjere. Kuće na povišenim temeljima ostavljaju prostor za poplavnu vodu, dok zaštita od poplave održava nizak hidrostatički pritisak na zgrade tako da su strukture manje sklone oštećenjima tijekom poplave (FEMA, 2014). Glavni nedostatak prilagodbe je što zapravo ne sprječava poplave ili

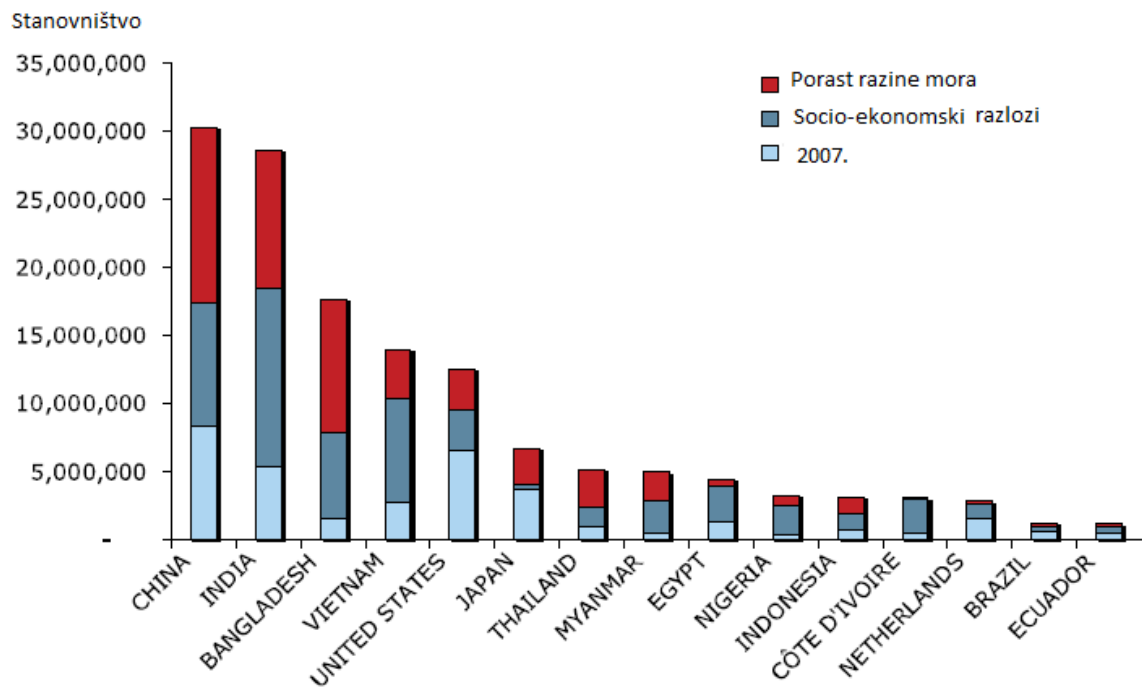
zaslanjivanje, što bi moglo imati posljedice koje se ne rješavaju samom mjerom prilagodbe. Primjeri uključuju plavljenje područja na kojem su kuće zaštićene od poplave, ali školovanje djece i poslovanje ipak su poremećeni. Može biti potrebno i značajno čišćenje nakon što poplavna voda uđe u zgrade, uključujući uklanjanje taloga, ostataka ili kemijskih ostataka (FEMA, 2014). Također, mjere zaštite od poplave zahtijevaju poznavanje i priopćavanje i razumijevanje trenutnog rizika od poplava putem studija mapiranja opasnosti od poplava i informacija o upozorenju na poplave (Zhu et. al, 2010.). Mala poduzeća mogu se suočiti s poteškoćama u oporavku od poplava zbog nedostatka budućeg planiranja (Hoggart et. al, 2014).

#### 4.5 POVLAČENJE

Povlačenje smanjuje obalni rizik premještanjem izloženih ljudi, imovine i ljudskih aktivnosti iz obalne zone opasnosti. To uključuje sljedeća tri oblika: **a**) migracija, što je dobrovoljno trajno ili polutrajno premještanje osobe najmanje jedne godine (Adger et. al, 2014.) **b**) raseljavanje, koje se odnosi na nehotično i nepredviđeno kretanje ljudi zbog utjecaja na okoliš ili političkih ili vojnih nemira (Black et. al, 2013), **c**) preseljenje, koje se također naziva upravljano povlačenje ili upravljano prestrojavanje, koje obično pokreću, nadziru i provode vlade s nacionalne na lokalne razine, a obično uključuje mala mjesta i / ili zajednice (Wong et. al, 2014). Upravljano preuređivanje također se može provesti u svrhu stvaranja novog staništa. Te se tri podkategorije ne mogu točno razdvojiti - svaka odluka kućanstva o povlačenju može biti teoretski 'dobrovoljna', ali u praksi može biti rezultat vrlo ograničenog izbora. Raseljavanje se sigurno događa kao odgovor na ekstremne događaje, ali neki od onih koji se povlače mogu imati druge mogućnosti. Programi preseljenja mogu se osloniti na poticaje poput otkupa zemlje koji kućanstva usvajaju dobrovoljno. Potreba za povlačenjem i drugim mjerama odgovora može se smanjiti izbjegavanjem novih razvojnih aktivnosti u područjima sklonima ozbiljnim porastom razine mora. Primjerice, nakon uragana Katrina, sveobuhvatni plan za održivu obalu Louisiane preporučio je preseljenje nekoliko zajednica u sljedećih 50 godina zbog očekivanog porasta razine mora, a već se događa preseljenje stanovnika s otoka Isle de Jean Charles (Barbier, 2015). U Shismarefu, zajednici Iñupiat na Aljasci, povećana erozija obale potaknula je preseljenje pod vodstvom vlade (Bronen i Chapin, 2013). Na Tihom oceanu trenutni obalni rizici pogoršani porastom razine mora potiču preseljenje stanovnika pod vodstvom vlade Taro, glavnog grada provincije Choiseul na Salomonovim otocima (Albert i et. al, 2018.). 2014. vlada Kiribatija kupila je zemljište na Vanua Levu, drugom po veličini otoku Fidži, u svrhu



ekonomskog razvoja i osiguranja hrane, ali vjeruje se da je ta kupovina u biti povezana s budućim preseljenjem na Fidži (Hermann i Kempf, 2017.) . U jugoistočnoj Aziji, vlada Vijetnama upravlja preseljenjem ruralnog stanovništva iz područja koja su sklona katastrofama izložena obalnim rizicima u delti Mekonga u velika industrijska područja s velikom potražnjom za radnom snagom, poput Ho Chi Minh City i Can Tho City (Collins et al ., 2017).



Sl. 8. Poredak država prema izloženosti stanovništva porastu razine mora 2007. i 2070. s uključenim socio-ekonomskim faktorom  
Izvor: Nicholls, et. al, 2007

Upravljanje preuređivanje provedeno u svrhu stvaranja staništa, poboljšano upravljanje rizikom od poplave i progresivnija zaštita obalnog područja sve je su popularnije u Europi, ali obično uključuje male projekte i malo ljudi ako ih uopće ima. Model koji projicira buduće kretanje populacije na razini američkih država izloženih poplavi kombiniran je s empirijskim modelom potencijalnih migracijskih odredišta kako bi se proizvela prva zajednička analiza *razina mora / migracijska analiza migrantskih odredišta* (Hauer, 2017.) Pod pretpostavkom da će kućanstva s prihodima većim od 100 000 \$USD godišnje imati dovoljno resursa da ostanu i prilagode se, utvrđeno je da će se zbog porasta razine mora od 1,8 metra do 2100. raseliti preko dva milijuna ljudi na jugu Floride. Generalizirani model predviđa da će se 0,9 milijuna ljudi migrirati zbog porasta razine mora u Bangladešu do 2050. i 2,1 milijuna do 2100. godine, uglavnom interno,

sa značajnim implikacijama prehrane, skloništa i zaposlenosti u određnim područjima (Davis et. al, 2018.).

Tab. 3. Poredak gradova po potencijalnoj šteti od poplave nastale propuštanjem mjera zaštite (u milijardama USD \$) u 2007. i 2070.

| RANG | DRŽAVA     | AGLOMERACIJA    | IZLOŽENA IMOVINA 2007. (U MILIJARDAMA USD\$) | IZLOŽENA IMOVINA 2070. (U MILIJARDAMA USD\$) |
|------|------------|-----------------|--|--|
| 1    | SAD        | MIAMI           | 416,29                                       | 3513,04                                      |
| 2    | KINA       | GUANGZHOU       | 84,17  | 3357,72                                      |
| 3    | SAD        | NEW YORK-NEWARK | 320,20                                       | 2147,35                                      |
| 4    | INDIJA     | KOLKATA         | 31,99  | 1961,44                                      |
| 5    | KINA       | SHANGHAI        | 72,86  | 1771,17                                      |
| 6    | INDIJA     | MUMBAI          | 46,20  | 1598,05                                      |
| 7    | KINA       | TIANJIAN        | 29,62  | 1231,48                                      |
| 8    | JAPAN      | TOKYO           | 174,29                                       | 1207,07                                      |
| 9    | KINA       | HONG KONG       | 35,94  | 1163,89                                      |
| 10   | TAJLAND    | BANGKOK         | 38,72  | 1117,54                                      |
| 11   | KINA       | NINGBO          | 9,26   | 1073,93                                      |
| 12   | SAD        | NEW ORLEANS     | 233,69                                       | 1013,45                                      |
| 13   | JAPAN      | OSAKA - KOBE    | 215,62                                       | 968,96                                       |
| 14   | NIZOZEMSKA | AMSTERDAM       | 128,33                                       | 843,70                                       |
| 15   | NIZOZEMSKA | ROTTERDAM       | 114,89                                       | 825,68                                       |
| 16   | VIJETNAM   | HO CHI MINH     | 26,86  | 652,82                                       |
| 17   | JAPAN      | NAGOYA          | 109,22                                       | 623,42                                       |
| 18   | KINA       | QINGDAO         | 2,72   | 601,59                                       |
| 19   | SAD        | VIRGINIA BEACH  | 84,64  | 581,69                                       |
| 20   | EGIPAT     | ALEXANDRIA      | 28,46  | 563,28                                       |

Izvor: Nicholls, et. al, 2007

Ostali ishodi povlačenja, osim onog za učinkovito smanjenje rizika i ujecaja porasta razine mora, složeni su i utječu na podrijetlo i odredište. Općenito, povlačenje utječe na društvene mreže, pristup uslugama te ekonomske i socijalne prilike i nekoliko pokazatelja blagostanja (Jones i Clark, 2014). Društveno-ekonomske koristi migracije za pojedince i kućanstva mogu uključivati poboljšani pristup zdravstvenim i obrazovnim uslugama, kao i tržištima rada (Wrathall i Suckall, 2016.). Odredišta mogu doživjeti ekonomsku ekspanziju, jer se stanovništvo i kapital premještaju i pružaju novi izvor rada, kapitala i inovacija u kopnena područja (Wrathall i Suckall, 2016.). Nedostaci migracije i raseljavanja na odredištu mogu biti povećana konkurencija za resurse i na tržištima rada, pritisak na usluge u prvom redu i na socijalnu koheziju kao rezultat povećane kulturne ili etničke napetosti (Werz i Hoffman, 2015).

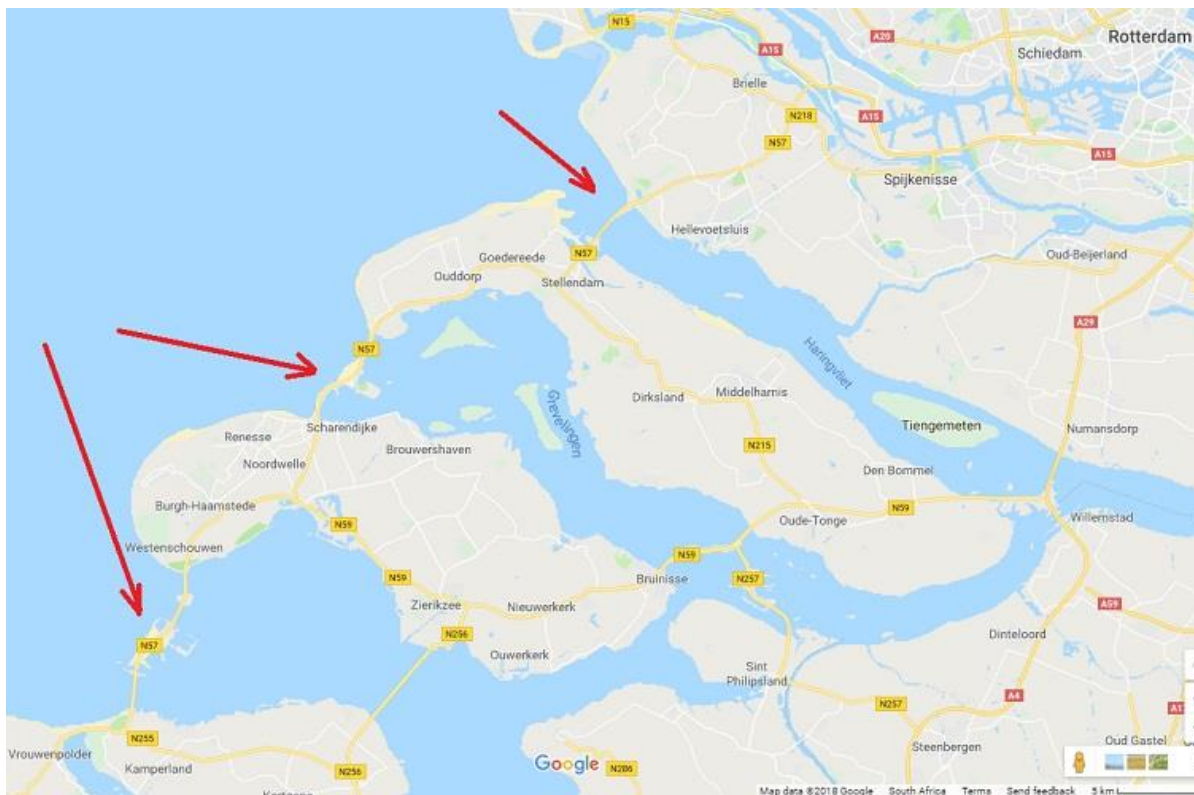
Proaktivno planiranje, uključujući sudjelovanje i savjetovanje s onima koji su u opasnosti, može poboljšati ishode. Vlade mogu pomoći migrantima kroz reforme politike kako bi se omogućilo preseljenje u brzorastuće gospodarske regije u zemlji. Ishodi povlačenja za zajednicu podrijetla i odredišta također se mogu poboljšati izgradnjom ljudskog kapitala migranata (vještine, zdravstvo i obrazovanje), smanjenjem troškova migracije i pružanjem poboljšanih zaštitnih mreža za migrante na njihovim odredištima (Gemenne i Blocher, 2017.).

## **5. PRIMJERI DELTA PROJECTS I PROJEKT MOSE**

### **5.1 DELTA PROJECTS**

Delta Projects niz je građevinskih projekata na jugozapadu Nizozemske za zaštitu velikog područja kopna oko delte Rajne-Meuse-Scheldt od mora. Radovi se sastoje od brana, nasipa i olujnih ograda, smještenih u provincijama Južna Holandija i Zeeland (Koningsveld, 2008). Cilj konstrukcije bio je skratiti nizozemsku obalu, smanjujući tako broj nasipa koji su se morali podići (Koningsveld, 2008). Ušća rijeka Rajne, Meuse i Schelde bila su podložna poplavama tijekom stoljeća. Nakon izgradnje Afsluitdijka (1927. - 1932.), Nizozemci su počeli proučavati nasipanje delte Rajne-Mause. Razvijeni su planovi za skraćivanje obalne crte i pretvaranje delte u skupinu slatkovodnih obalnih jezera. Skraćivanjem obale, trebalo bi podizati manje nasipa (Koningsveld, 2008). Zbog neodlučnosti, i kasnije, Drugog svjetskog rata malo se poduzimalo. Tek su 1950. godine izgrađene dvije brane na ušćima, Brielse Gat kod Brielle i Botlek kod Vlaardingen što su bili prvi projekti prije „Deltaplana“ (Koningsveld, 2008). Nakon poplave u Sjevernom moru 1953. godine, osnovana je Komisija za radove Delta koja će istraživati uzroke i razvijati mjere za sprečavanje takvih katastrofa u budućnosti. Pregledali su neke stare planove i smislili "Deltaplan". Svrha Delta plana uglavnom je obrambena i nije za melioraciju kao mnogi drugi primjer iz regije. Delta plan je nacionalni program i zahtijeva suradnju između državne vlade, pokrajinskih vlasti, općinskih vlasti i vodnih odbora. Plan se sastojao od blokade ušća ušća Oosterschelde, Haringvliet i Grevelingen. To je smanjilo duljinu nasipa izloženih moru za 700 kilometara. Ušća Nieuwe Waterwega i Westerschelde trebala su ostati otvorena zbog važnih brodskih putova do luka Rotterdam i Antwerpen. Nasipe duž ovih plovničkih putova trebalo je povećati i ojačati. Radovi bi se kombinirali s cestovnom i plovnom infrastrukturom kako bi se potaknulo gospodarstvo pokrajine Zeeland i poboljšala veza između luka Rotterdam i Antwerpen. 1953. godine došlo je do katastrofe od olujnih udara koja je odnijela 1835 života i poplavila 165.000 hektara zemlje u Nizozemskoj (Koningsveld, 2008). Nizozemska se morala osigurati od sličnih ekstremnih katastrofa. 1958. godine donesen je Zakon o delti i započeti su radovi na skraćivanju ukupne dužine obalne crte, a time i dužine potencijalno osjetljive obalne obrane. Opsežni istraživački rad, proveden u prvim desetljećima Delta projekta, bio je usmjeren na tehničku izvedivost visoko inovativnog inženjeringa konstrukcija. To je uključivalo istraživački rad na hidrodinamici i morfologiji obalnog područja kako bi se mogla zajamčiti stabilnost građevina. Razine sigurnosti novih i / ili ojačanih obalnih obrambenih građevina definirane su na temelju učestalosti pojave ekstremnih razina olujnih udara, što bi trebalo dovesti do male vjerojatnosti neuspjeha (Koningsveld, 2008). Učestalosti pojavljivanja

utvrđene su za svaki dio obale na temelju detaljnih vremenskih serija razine vode koje obuhvaćaju razdoblje više od 100 godina. Relativni porast razine mora od 10-20 cm / stoljeće tijekom posljednjih nekoliko stoljeća uzet je u obzir pri projektiranju i izgradnji obalne obrane (Koningsveld, 2008). Viša kritična razina dizajna također je uključivala posljedice budućeg porasta razine mora, iako se tada nije uzimalo u obzir ubrzanje porasta razine mora. Ekonomski povoljni uvjeti pokrenuli su promjenu društvene percepcije, što je zahtijevalo pomirenje sigurnosti s pitanjima zaštite okoliša, a pritisak javnosti doveo je do revizije Delta plana. Nakon granje brana na bazenima Haringvliet i Grevelingen prema izvornom planu parlament je 1979. ipak odlučio sačuvati morske mjene i morske močvare istočnog Scheldta s bogatom florom i bogatom faunom te ribolovom školjaka s visokim prinosom. To je rezultiralo izgradnjom barijere za olujne udare u ulazia u plimni bazen istočnog Scheldta koja se može zatvoriti kad se približe olujni valovi.



Sl. 9. Sistem brana u sklopu projekta Delta  
Izvor: google.maps

To je označilo drugu prekretnicu u povijesti nizozemskog upravljanja vodama. Nakon tisuću godina prilagodbe i još tisuću godina strategija zaštite, Nizozemska će sada usvojiti integriraniji pristup. Slučaj istočnog Scheldta pokazuje prve znakove nadolazeće promjene paradigme koja utječe na sve tri komponente trokuta: politiku, upravljanje i znanje. Delta projekt prvotno je

osmišljen u vremenskom razdoblju u kojem su se ekološka svijest i ekološki učinci inženjerskih projekata jedva uzimali u obzir. Iako je razina svijesti o okolišu tijekom godina rasla, Delta projekt u prošlosti je prouzročio brojne nepovratne učinke na okoliš. blokiranje ušća smanjilo je duljinu nasipa koji bi se inače morali graditi za zaštitu od poplava, ali je također dovelo do velikih promjena u vodenim sustavima. Na primjer, plime i oseke su nestale, što je rezultiralo manje glatkim prijelazom iz morske u slatku vodu. Flora i fauna patile su od ove zamjetne promjene. Uz to, rijeke su se prekrile zagađenim muljem, jer više nije bilo otvorenog prolaza u more (Koningsveld, 2008). Porast razine mora igrao je strukturnu ulogu u razvoju obalnog okoliša Nizozemske. S vremenom se ljudski odgovor razvio od individualne zaštite do kolektivne akcije protiv poplava. U početku je to bilo skromno, ali evoluiralo je prema intervencijama velikih razmjera, tako da evolucija obale i ljudski odgovor međusobno djeluju. Nizozemska je naučila živjeti s činjenicom da je porast razine mora u tijeku i prihvaća da su povezani utjecaji suvremeno pitanje. Povijest upravljanja vodama u Nizozemskoj može se vidjeti kao demonstracija ciklusa politika koji se razvijaju prema integriranom upravljanju obalnim područjem. Osvrćući se unatrag, može se zaključiti da ovaj proces prelaska s individualne na nacionalnu odgovornost nije bio beznačajan. Trebalo je dva tisućljeća da se dođe do nacionalne strategije obalne obrane (Koningsveld, 2008). Rastuće stanovništvo i gospodarstvo zatražili su organizaciju infrastrukture za prijevoz, melioraciju i zaštitne radove na nacionalnoj razini. Godine 1798. osnovana je nacionalna organizacija Rijkswaterstaat koja je razvijala i održavala sve radove vezane uz vodu na nacionalnoj razini. Danas su odgovornosti za upravljanje vodama definirane ustavom, zakonima i podzakonskim aktima i vertikalno su integrirane s nacionalne na lokalnu razinu (Koningsveld, 2008).

## 5.2 PROJEKT MOSE

Poplava u Veneciji 1966. pokrenula je mnoga istraživanja, studije i konceptualna rješenja. Doneseni su mnogi zakoni za zaštitu Venecije i uključena je međunarodna zajednica jer je Venecija dio svjetske arhitektonske baštine (Nadilo, 2014). Uz pomoć talijanske vlade uspostavljen je poseban konzorcij stručnjaka nazvan Venezia Nuova koji predlaže projekt MOSE. Zapravo je to integrirani sustav zaštite koji se sastoji od niza pomičnih brana koje mogu izolirati Venecijansku lagunu od Jadranskog mora zbog plimnih valova u rasponu od 110 cm do tri metra (Nadilo, 2014). Predviđeno je da se čelični kapci smješteni u posebnim betonskim spremnicima na morskom dnu i naslanjaju se na čelične i betonske pilote. Oni su šuplji i

napunjeni vodom, a ako je potrebno, odnosno kada se najavi dolazak opasnog plimnog vala, u njih se unosi zrak i pusti voda u isto vrijeme. Tako se zatvarač podiže i stvara prepreku protiv plimnog vala. Kad opasnost prestane, voda se ispušta u brane i zrak ispušta iz njih da bi se vratio u njihove betonske "krevete". Amortizeri su instalirani na tri posebno nadograđena i povećana ulaza zaštićena posebnim lukobranima - Lido, Malamocco i Chioggia (Nadilo, 2014). Zapravo su to specifične rupe u kojima se kontrolira pad i uspon plime. Predviđeno je postavljanje do 79 brana ovog tipa, od kojih će na ulazu u Lido 41, na ulazu u Malamocco 18 i na ulazu u Chioggiu 18 takva obrana biti moguća. da u potpunosti zaštiti cijelu venecijansku lagunu. Odabrane su 550 km<sup>2</sup> i inovativne i nikad primijenjene mobilne zapreke jer se pretpostavlja da ustavni sustavi, poput onih koji se koriste za zaštitu plitkog obalnog područja u Nizozemskoj, nepovratno utječu na čitav biotop lagune zatvorene i tako osiguravaju dolazak morske vode u područje lagune neposredno nakon opasnosti od prolaska vodenog vala (Nadilo, 2014). Vjeruje se da bi takav sustav mogao zaštititi Venecijansku lagunu sljedećih stotinu godina. Trajnost šupljih čeličnih barijera procjenjuje se na 50 godina, bez obzira na globalno zagrijavanje i efekt staklenika, kao i očekivani porast razine mora. Pokretne brane imat će širinu od oko 20 m, a visina će varirati između 20 i 30 m, ovisno o dubini mora. Za takvo novo rješenje provedene su brojne studije, proračuni, ispitivanja, analize i eksperimenti, a mjesta, materijali i sustavi podizanja posebno su proučeni. Između 1988. i 1992. u Voltabarozzu u Padovi ispitivani su manji modeli podmorskih brana. Tada je sustav podizanja brana uspješno testiran u prirodi 2013. godine (Nadilo, 2014)



Sl. 10. Venecijanska laguna zaštićena branama projekta MOSE  
Izvor: Nadilo, 2014

## 6. ZAKLJUČAK

Rizici od porasta razine mora već su uočljivi za sve razmatrane prostore te se očekuje da će se rizik povećati tijekom ovog stoljeća u gotovo svim nižim obalnim područjima bez obzira na njihove specifičnosti ili prirodu. U nedostatku visoke adaptacije, očekuje se da će se rizik značajno povećati na gradskim otocima atola i arktičkim obalnim zajednicama čak i u scenariju smanjenja ispuštanja CO<sup>2</sup> u atmosferu s globalnim prestankom ispuštanja do 2100. (RCP2.6), a također se očekuje i da će svi prostori doživjeti visoke razine rizičnih posljedica u scenariju nastavka ispuštanja CO<sub>2</sub> istim intenzitetom (RCP8.5). Kako se globalne klimatske promjene povećavaju, razina mora, u kombinaciji s morskim mjenama, olujama i poplavama, sve više ugrožavaju obalne i otočne zajednice. Zaštita se može postići gradnjom nasipa ili morskih zidova te održavanjem prirodnih obilježja poput mangrove ili koraljnih grebena. Zajednice se također mogu prilagoditi povratom zemljišta iz mora i prilagodbom zgrada za suočavanje s poplavama. Međutim, sve mjere imaju svoje granice, a nakon što se dostignu, ljudi će se u konačnici morati povući. Današnji odabiri utječu na to kako će obalni ekosustavi i zajednice moći odgovoriti na porast razine mora u budućnosti. Smanjivanje emisija stakleničkih plinova ne bi samo smanjilo rizike, već bi otvorilo više mogućnosti prilagodbe. Porast razine mora, kao i koncept adaptacije, razlikovat će se regionalno i lokalno, pa mjere za smanjenje rizika povezanih sa porastom razine mora poprimaju različite oblike ovisno o lokalnim okolnostima. Čvrsta zaštita, poput nasipa i morskih zidova, može učinkovito smanjiti rizik do par metara porasta razine mora, ali neizbježno je da se dosegnu ograničenja. Takva zaštita donosi koristi koje premašuju njezine troškove u nižim obalnim područjima koja su gusto naseljena, kao što je slučaj s mnogim obalnim gradovima i nekim malim otocima, ali općenito, siromašnije regije neće si moći priuštiti tvrdi zaštitu. Održavanje zdravih obalnih ekosustava, poput mangrova ili koraljnih grebena, može pružiti "meku zaštitu" i druge blagodati. Porast razine mora se također može 'prilagoditi' podizanjem zgrada na obalnoj liniji. Zemljište se može povratiti iz mora izgradnjom prema van i prema gore. Na obalnim mjestima gdje je rizik vrlo velik i ne može se učinkovito smanjiti, 'povlačenje' s obale jedini je način za uklanjanje takvog rizika. Izbjegavanje novih razvojnih tokova u područjima izloženim obalnim opasnostima i porastu razine mora također izbjegava dodatni rizik. Za one koji si ne mogu priuštiti zaštitu, smještaj ili mjere prilagodbe, ili kada takve mjere više nisu održive ili učinkovite, povlačenje postaje neizbježno. Milijuni ljudi koji žive na nizinskim otocima suočavaju se s ovom perspektivom, uključujući stanovnike malih otočnih država u razvoju, nekih gusto naseljenih, ali slabije



razvijenih delta, ruralnih obalnih sela i gradova i arktičkih zajednica koje se već suočavaju s topljenjem leda i neviđenim promjenama vremena. Rezultirajući utjecaji na različite kulture i načine života mogli bi biti poražavajući. Teški kompromisi su stoga neizbježni pri donošenju društvenih odluka o porastu razine mora. Institucionalizacija procesa koji vode do poštenih i pravednih ishoda je izazov, ali izazov od vitalne važnosti.

## 7. IZVORI I LITERATURA

Abadie, L.M., Jackson, L.P., Murieta, E.S., Jevrejeva, S., Galarraga, I., 2020: Comparing urban coastal flood risk in 136 cities under two alternative sea-level projections: RCP 8.5 and an expert opinion-based high-end scenario, *Ocean and Coastal Management* 193 (2020)

Adger, W.N. et al., 2014: Human security, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Albert, S. et al., 2018: Heading for the hills: climate-driven community relocations in the Solomon Islands and Alaska provide insight for a 1.5 C future. *Reg. Environ. Change*, 18(8), 2261–2272.

Barbier, E.B., 2015: Hurricane Katrina's lessons for the world. *Nature*, 524(7565), 285.

Baynes, K., 2020: *Understanding Sea Level*, <https://sealevel.nasa.gov/understanding-sea-level>

Black, R. et al., 2013: Migration, immobility and displacement outcomes following extreme events. *Environ. Sci. Policy*, 27, S32–S43.

Bronen, R. and F. S. Chapin, 2013: Adaptive governance and institutional strategies for climate-induced community relocations in Alaska. *PNAS*, 110(23), 9320–9325.

Buchori, I. et al., 2018: Adaptation to coastal flooding and inundation: Mitigations and migration pattern in Semarang City, Indonesia. *Ocean Coast. Manage*, 163, 445–455.

Bujosa, A. and J. Rosselló, 2013: Climate change and summer mass tourism: the case of Spanish domestic tourism. *Clim. Change*, 117(1–2), 363–375.

Burke, L., K. Reytar, M. Spalding, A. Perry, 2011: Reefs at Risk Revisited. *World Resources Institute, Washington, DC*, 130-pp.

Channel News Asia: Fending off the floods – 5 things to know about polders and how they could work in Singapore, <https://www.channelnewsasia.com/news/climatechange/netherlands-climate-change-5-things-polders-sea-level-11903152> (preuzeto 19.9.2020.)

Collins, N., S. Jones, T.H. Nguyen and P. Stanton, 2017: The contribution of human capital to a holistic response to climate change: learning from and for the Mekong Delta, Vietnam. *Asia Pacific Business Review*, 23(2), 230–242

Dasgupta, S. et al., 2019: Quantifying the protective capacity of mangroves from storm surges in coastal Bangladesh. *PLoS One*, 14(3),

Davis, K.F., A. Bhattachan, P. D'Odorico and S. Suweis, 2018: A universal model for predicting human migration under climate change: examining future sea level rise in Bangladesh. *Environ. Res. Lett.*, 13(6), 064030.

Diaz, D.B., 2016: Estimating global damages from sea level rise with the Coastal Impact and Adaptation Model (CIAM). *Clim. Change*, 137 (1–2), 143–156.

- Duvat, V.K., 2019: A global assessment of atoll island planform changes over the past decades. *WiRes. Clim. Change*, 10(1), e557.
- Everard, M., L. Jones and B. Watts, 2010: Have we neglected the societal importance of sand dunes? An ecosystem services perspective. *Aquat. Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 20(4), 476–487.
- FEMA, 2014: Homeowner’s Guide to Retrofitting P-312. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., USA., [www.fema.gov/media-library-data/1404148604102-f210b5e43aba0fb393443fe7ae9cd953/FEMA\\_P-312.pdf](http://www.fema.gov/media-library-data/1404148604102-f210b5e43aba0fb393443fe7ae9cd953/FEMA_P-312.pdf)
- Fischetti, M., 2015: Is New Orleans Safer Today Than When Katrina Hit 10 Years Ago? *Sci. American*
- Fonseca, M.S. and J.A. Cahalan, 1992: A preliminary evaluation of wave attenuation by four species of seagrass. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 35(6), 565–576.
- Gattuso, J.-P. et al., 2018: Ocean solutions to address climate change and its effects on marine ecosystems. *Front. Mar. Sci.*, 5, 337.
- Gemenne, F. and J. Blocher, 2017: How can migration serve adaptation to climate change? Challenges to fleshing out a policy ideal. *Geogr. J.*, 183(4), 336–347
- Hallegatte, S., C. Green, R.J. Nicholls and J. Corfee-Morlot, 2013: Future flood losses in major coastal cities. *Nat. Clim. Change*, 3(9), 802.
- Haque, U. et al., 2012: Reduced death rates from cyclones in Bangladesh: what more needs to be done? *Bull. World Health Organ.*, 90, 150–156.
- Hauer, M.E., 2017: Migration induced by sea level rise could reshape the US population landscape. *Nat. Clim. Change*, 7(5), 321.
- Hermann, E. and W. Kempf, 2017: Climate change and the imagining of Migration: Emerging discourses on Kiribati’s land purchase in Fiji. *Contemp. Pac.*, 29(2), 231–263.
- Hinkel, J. et al., 2014: Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea level rise. *PNAS*, 111(9), 3292–3297.
- Hoggart, S. et al., 2014: The consequences of doing nothing: the effects of seawater flooding on coastal zones. *Coast. Eng. J.*, 87, 169–182.
- Hoogendoorn, G. and J.M. Fitchett, 2018: Tourism and climate change: A review of threats and adaptation strategies for Africa. *Current Issues in Tourism*, 21(7), 742–759.
- Indonesia water portal: 3 steps to scaling up nature-based solutions for climate adaptation <https://www.indonesiawaterportal.com/news/3-steps-to-scaling-up-nature-based-solutions-for-climate-adaptation.html> (preuzeto 19.9.2020.)
- Jones, N. and J. Clark, 2014: Social capital and the public acceptability of climate change adaptation policies: a case study in Romney Marsh, UK. *Clim. Change*, 123(2), 133–145.
- Juračić, M., 2013: *Morska razina, obale I njihove promjene*  
<http://geol.pmf.hr/~mjuracic/predavanja/Geol%20mora%2007%20obale.pdf>

- Khanom, T., 2016: Effect of salinity on food security in the context of interior coast of Bangladesh. *Ocean Coast. Manage*, 130, 205–212.
- Kirwan, M.L. and J.P. Megonigal, 2013: Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea level rise. *Nature*, 504(7478), 53–60.
- Koningsveld, M. van, Mulder, J.P.M., Stive, M. J. F., Valk, L. van der, Weck, A. W. Van Der, 2008: Living with Sea-Level Rise and Climate Change: A Case Study of the Netherlands, *Journal of Coastal Research*, Mar., 2008, Vol. 24, No. 2 (Mar., 2008), pp. 367-379, 444-445
- Larsen, J.N. et al., 2014: Polar regions. In Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Part B: Regional Aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R. et al. (eds.)], *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*, pp. 1567–1612.
- Lee, S.B., M. Li and F. Zhang, 2017: Impact of sea level rise on tidal range in Chesapeake and Delaware Bays. *J. Geophys. Res-Oceans*, 122(5), 3917–3938.
- Li, Y. et al., 2014: Coastal wetland loss and environmental change due to rapid urban expansion in Lianyungang, *Jiangsu, China. Reg. Environ. Change*, 14(3), 1175–1188.
- Lincke, D. and J. Hinkel, 2018: Economically robust protection against 21st century sea level rise. *Global Environ. Chang.*, 51, 67–73.
- Luijendijk, A. et al., 2018: The State of the World’s Beaches. *Nature Sci. Rep.*, 8, 1–11.
- Munji, C.A. et al., 2013: Vulnerability to coastal flooding and response strategies: the case of settlements in Cameroon mangrove forests. *Environ. Dev.*, 5, 54–72.
- Musa, Z.N., I. Popescu and A. Mynett, 2016: Assessing the sustainability of local resilience practices against sea level rise impacts on the lower Niger delta. *Ocean Coast. Manage*, 130, 221–228.
- Nadilo B., 2014: Zaštita Venecije od poplava, *Grđevinar* 7/2014, 673-680
- Narayan, S. et al., 2016: The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. *PLoS One*, 11(5)
- NASA, 2020: Sea Level (preuzeto 16.9.2020.) <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>
- Nicholls, R.J., Hanson, S., Herweijer, C., Patmore, N. , Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Chateau, J., Muir-Wood, R., 2007: Ranking of the world's cities most exposed to coastal flooding today and in the future, *OECD Environment Working Paper No. 1*
- Nicholls, R.J., 2010: Impacts of and responses to sea-level rise. *Understanding sea level rise and variability*, 17–51, [Church et al. (eds.)], *Blackwell Publishing Ltd, West Sussex, UK*
- Nicholls, R.J., 2018: Adapting to Sea level Rise. *Resilience: The Science of Adaptation to Climate Change* [Zommers, Z. and K. Alverson (eds.)]. *Elsevier, Oxford, UK*, pp. 13–29

- Nilubon, P., W. Veerbeek and C. Zevenbergen, 2016: Amphibious Architecture and Design: A Catalyst of Opportunistic Adaptation?—Case Study Bangkok. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 470–480.
- Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari, 2019: Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities, *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*
- Pontee, N., 2013: Defining coastal squeeze: A discussion. *Ocean Coast. Manage*, 84, 204–207.
- Saunders, M.I. et al., 2013: Coastal retreat and improved water quality mitigate losses of seagrass from sea level rise. *Global Change Biol.*, 19(8), 2569–2583
- Siikamäki, J., J.N. Sanchirico and S.L. Jardine, 2012: Global economic potential for reducing carbon dioxide emissions from mangrove loss. *PNAS*, 109(36),
- Spalding, M., M. Kainuma and L. Collins, 2010: World Atlas of Mangroves. *Earthscan, London, UK*, 336-pp.
- Stalenberg, B., 2013: Innovative flood defences in highly urbanised water cities, *Climate Adaptation and Flood Risk in Coastal Cities*, [Aerts et al. (eds.)], 145–164. *Earthscan, Oxon, UK*
- Trang, N.T.T., 2016: Architectural Approaches to a Sustainable Community with Floating Housing Units Adapting to Climate Change and Sea Level Rise in Vietnam. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 10(2), 168–179.
- Taylor, R.G. et al., 2013: Ground water and climate change. *Nat. Clim. Change*, 3(4), 322–329.
- Vilibić, I., Orlić, M., Čupić, S., Domijan, N., Leder, N., Mihanović, H., Pasarić, M., Pasarić, Z., Srdelić, M., Strinić, G., 2005: A new approach to sea level observations in Croatia, *Geofizika*, Vol. 20, 2005
- Vousdoukas, M.I. et al., 2018: Climatic and socioeconomic controls of future coastal flood risk in Europe. *Nat. Clim. Change*, 8(9), 776.
- Wang, W., H. Liu, Y. Li and J. Su, 2014: Development and management of land reclamation in China. *Ocean Coast. Manage*, 102, 415–425.
- Waterstudio: Are the floating houses of the Netherlands a solution against the rising seas? <https://www.waterstudio.nl/are-the-floating-houses-of-the-netherlands-a-solution-against-the-rising-seas/> (preuzeto 16.9.2020)
- Webb, A. P., Kench, P. S., 2019: The dynamic response of reef islands to sea-level rise: Evidence from multi-decadal analysis of island change in the Central Pacific, *Global and Planetary Change* (2010)

Werz, M. and M. Hoffman, 2015: Climate change, migration, and the demand for greater resources: challenges and responses. *SAIS Rev. Int. Aff.*, 35(1), 99–108.

Williams, S.J., 2013: Sea-level rise implications for coastal regions, *Understanding and Predicting Change in the Coastal Ecosystems of the Northern Gulf of Mexico*, Journal of Coastal Research, Special Issue No. 63, pp. 184–196

Woodruff, J.D., J.L. Irish and S.J. Camargo, 2013: Coastal flooding by tropical cyclones and sea level rise. *Nature*, 504(7478), 44–52.

Wong, P.P. et al., 2014: Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 361–409.

Wrathall, D.J. and N. Suckall, 2016: Labour migration amidst ecological change. *Migration and Development*, 5(2), 314–329.

Zhu, X., M. M. Linham and R. J. Nicholls, 2010: Technologies for Climate Change Adaptation: Coastal Erosion and Flooding. TNA Guidebook Series, Roskilde: Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi  
<http://orbit.dtu.dk/files/5699563/Technologies%20for%20Climate%20Change%20Adaptation-Coastal%20Erosion%20and%20Flooding.pdf>