

# OCENA POPLAVNEGA IN POTRESNEGA TVEGANJA NA ČEZMEJNIH OBMOČJIH PO METODOLOGIJI PROJEKTA BORIS

Anže Babič<sup>1</sup>, Klaudija Lebar<sup>2</sup>, Matjaž Mikoš<sup>3</sup>, Simon Rusjan<sup>4</sup>, Andrej Vidmar<sup>5</sup>, Jure Žizmond<sup>6</sup>, Matjaž Dolšek<sup>7</sup>

## Povzetek

Za strateško načrtovanje krepitve potresne in poplavne odpornosti izbranega območja je smiselno analizirati tveganje z upoštevanjem vseh mogočih dogodkov obravnavanih nevarnosti in ne le arbitrarno izbrane scenarije. V okviru evropskega projekta BORIS smo zato razvili metodologijo za oceno tveganja zaradi potresov tektonskega izvora in rečnih poplav, ki omogoča ovrednotenje tveganja s povprečno letno izgubo oziroma povprečnim letnim stroškom obnove stavbnega fonda. V članku je najprej povzeta metodologija projekta BORIS. Prikazana in analizirana sta primera uporabe metodologije za čezmejni območji Slovenija-Italija in Slovenija-Avstrija, s poudarkom na predpostavkah ter omejitvah prikazanih rezultatov. Prikazani rezultati so v tej fazi raziskav informativni, saj je nujna dodatna validacija. Kljub temu so ocenjeni povprečni letni stroški zaradi poplav ali potresov v nekaterih občinah precej visoki, kar zahteva ukrepanje za zmanjšanje teh tveganj, še preden pride do ekstremnih naravnih pojavov. Največ izzivov pri analizah tveganja na čezmejnih območjih izhaja iz raznovrstnosti baz podatkov in modelov za analize tveganja, kar je posledica pomanjkljive urejenosti tega področja na evropski ravni. Potrebne so tudi dodatne raziskave, s katerimi bi uskladili izračun stroškov prenove stavb ne glede na poškodovanost, ki je lahko posledica izpostavljenosti različnim naravnim nevarnostim.

## ASSESSMENT OF FLOOD AND EARTHQUAKE RISK IN CROSS-BORDER AREAS ACCORDING TO THE METHODOLOGY OF THE BORIS PROJECT

### Abstract

*For the strategic planning of strengthening the earthquake and flood resilience of a selected area, it makes sense to analyse the risk by considering all the possible events of the considered natural hazards rather than arbitrarily selected scenarios. As part of the European project BORIS, we have therefore developed a methodology for the assessment of fluvial flood and tectonic earthquake risk. The methodology enables the evaluation of risk by an average annual loss or average annual cost of renovation of the building stock. This paper first provides an overview of the methodology used in the BORIS project, including examples of how the methodology has been applied in the Slovenia-Italy and Slovenia-Austria cross-border areas. These examples are thoroughly analysed, with a specific focus on the assumptions and limitations of the presented results. It is important to note that the results are informative at this stage of the research, because additional validation is still required. Nevertheless, the estimated average annual costs due to floods and/or earthquakes in some municipalities are notably high, demanding immediate action to reduce these risks even before such extreme natural events occur. The most significant challenges in risk analysis in cross-border areas predominantly arise from the diversity of databases and risk analysis models, which is a consequence of insufficient regulation of this domain at the European level. Consequently, additional research is needed to harmonise the estimation of building renovation costs regardless of the damage caused by various natural hazards.*

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, [anze.babic@fgg.uni-lj.si](mailto:anze.babic@fgg.uni-lj.si)

<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, [klaudija.lebar@fgg.uni-lj.si](mailto:klaudija.lebar@fgg.uni-lj.si)

<sup>3</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, [matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si](mailto:matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si)

<sup>4</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, [simon.rusjan@fgg.uni-lj.si](mailto:simon.rusjan@fgg.uni-lj.si)

<sup>5</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, [andrej.vidmar@fgg.uni-lj.si](mailto:andrej.vidmar@fgg.uni-lj.si)

<sup>6</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, [jure.zizmond@fgg.uni-lj.si](mailto:jure.zizmond@fgg.uni-lj.si)

<sup>7</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, [matjaz.dolsek@fgg.uni-lj.si](mailto:matjaz.dolsek@fgg.uni-lj.si)

## UVOD

Ovrednotenje potencialnih vplivov ekstremnih naravnih pojavov je ključno za ustrezno opredelitev in načrtovanje preventivnih omilitvenih ukrepov ter za

načrtovanje ukrepov zaščite in reševanja. Posamezna območja so običajno izpostavljena različnim nevarnostim. Po definiciji UNDRR (2016) se koncept »tveganja za več nevarnosti« (angl. *multi-hazard risk*) nanaša na izbor različnih nevarnosti, s katerimi se

sooča posamezna regija ali država, in na vidik pojava nesreč, ki se lahko zgodijo hkrati, kaskadno ali kumulativno skozi čas, ob upoštevanju potencialnih medsebojnih učinkov. Obravnavanje tveganja več nevarnosti na način, da se lahko zgodijo tudi hkrati, je zelo kompleksno. Posledice posameznih nevarnosti se zato običajno obravnavajo kot neodvisni dogodki. Tak način obravnave tveganja za več nevarnosti je bil uporabljen tudi v okviru projekta BORIS (BORIS, 2022b), ki je potekal v letih 2021 in 2022, in pri katerem so sodelovali partnerji iz petih držav. Slovenijo je, s podporo Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR) Ministrstva za obrambo, zastopala Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Glavni cilj projekta BORIS je bil razvoj usklajene metodologije za oceno poplavnega in potresnega tveganja na čezmejnih območjih, saj lahko usklajena metodologija na ravni lokalnih skupnosti olajša komunikacijo med deležniki in tako pripomore k pripravi načrtov Civilne zaščite oziroma načrtov zaščite in reševanja na širših območjih, tudi za potrebe čezmejnega načrtovanja ukrepov za zmanjševanje tveganj za naravne nesreče (Polese in sod., 2023). Več o dejavnostih projekta BORIS je na voljo v 36/2022 številki revije Ujma (Babič in sod., 2022a), v kateri so bila povzeta tudi izhodišča priprave skupne metodologije za čezmejno oceno poplavnega in potresnega tveganja ter so temeljila predvsem na pregledu sedanjih metod v posameznih sodelujočih državah in na razpoložljivosti različnih vrst podatkov.

V tem članku je opisana metodologija projekta BORIS za oceno poplavnega in potresnega tveganja na čezmejnih območjih, predstavljeni so rezultati uporabe metodologije na čezmejnih pilotnih območjih Slovenija-Italija (SI-IT) in Slovenija-Avstrija (SI-AT), naslovljene pa so tudi omejitve uporabe metodologije in predstavljenih rezultatov oziroma izzivi, ki bi jih bilo smiselno obravnavati v prihodnje.

Ker je ocena tveganj naravnih pojavov v Sloveniji večinoma izvedena na podlagi izbranega scenarija (poteka) naravnega pojava, je smiselno poudariti, da metodologija projekta BORIS za oceno poplavnega in potresnega tveganja na čezmejnih območjih ocenjuje tveganje za izgube v izbranem časovnem obdobju (npr. 1 leto, 50 let) in ne odraža rezultatov konkretnih scenarijev ekstremnih naravnih pojavov. Tak pristop je smiselno uporabiti za analize potresnega tveganja zaradi krepitve potresne odpornosti preden pride do močnega potresa (Dolšek in sod., 2020; ICPD, 2018). V okviru projekta je bila za prikaz rezultatov uporabljene metodologije razvita spletna platforma (na

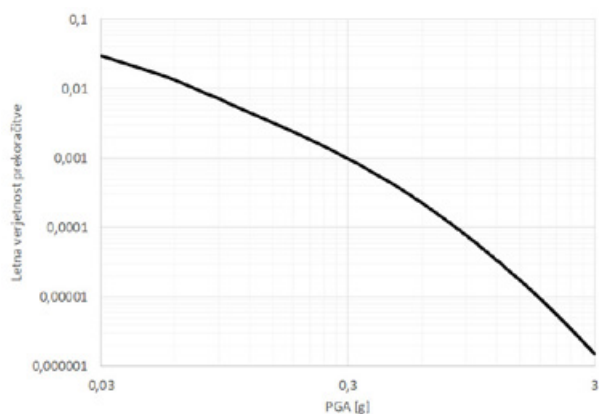
voljo na zahtevo), glavni rezultati pa so predstavljeni v poročilih projekta BORIS, objavljenih na spletni strani projekta <https://www.borisproject.eu/>.

## METODOLOGIJA PROJEKTA BORIS ZA OCENO POTRESNEGA TVEGANJA

Potresno tveganje je odvisno od potresne nevarnosti, potresne ranljivosti objektov in njihove izpostavljenosti. Pri časovno opredeljeni oceni potresnega tveganja, ki je uporabljena v tej študiji, so ti dejavniki vpeljani s štirimi modeli: model potresne nevarnosti, model izpostavljenosti, model potresne ranljivosti in model posledic. Modeli so vneseni v integral tveganja, ki se uporablja tudi pri analizah stavbnega fonda na nacionalni ravni (npr. Dolšek in sod., 2020; ICPD, 2018). Rezultati tovrstne ocene tveganja so izraženi v obliki povprečnih posledic v danem časovnem intervalu (npr. v dobi enega leta). V tej študiji se osredotočamo na neposredno ekonomsko škodo zaradi naravnih nesreč, zato posledice izražamo z evri.

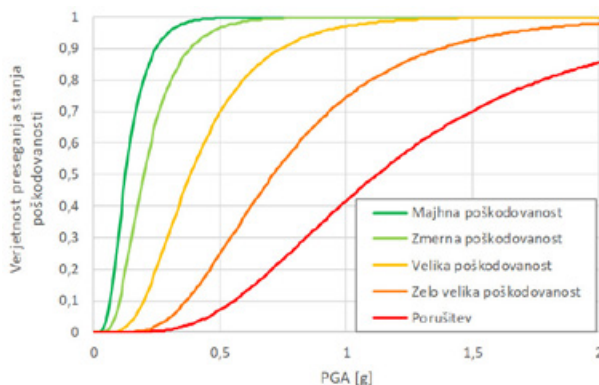
**Model potresne nevarnosti** izraža verjetnost presejanja različnih ravni intenzitete gibanja tal v danem časovnem intervalu in je bil v tej študiji definiran z naborom krivulj potresne nevarnosti (slika 1), od katerih se vsaka nanaša na različno občino. Upoštevani so bili le potresi tektonskega izvora. Intenziteto gibanja tal zaradi potresa smo opredelili z maksimalnim vršnim pospeškom tal PGA. Da bi zagotovili doslednost predpostavk pri čezmejnem modeliranju potresne nevarnosti, smo namesto nacionalnih modelov uporabili evropski model potresne nevarnosti ESHM2020 (Danciu in sod., 2021). Zaradi omejitve modela ESHM2020, da posreduje potresno nevarnost le za skalnata tla, je bil dodatno uporabljen tudi model učinka lokalnih tal na intenziteto potresa. Ta je bil definiran s faktorji tal, ki jih predstavlja osnutek nove različice standarda Evrokod 8 (CEN, 2022) in so odvisni od hitrosti strižnega valovanja zgornjih slojev temeljnih tal. Za slovenske občine so bile vrednosti hitrosti strižnega valovanja tal povzete po prejšnji študiji (Dolšek in sod., 2020), ki je temeljila na geoloških kartah (Ferlan in Herlec, 2000; Ferlan in Herlec, 2002) in povezavi med geologijo terena ter tipom tal (POTROG-5, 2013).

**Model izpostavljenosti** opredeljuje lastnosti ogroženih objektov na način, ki omogoča njihovo povezavo z modelom ranljivosti in modelom posledic. Kot ogrožene objekte smo v tej študiji obravnavali le stanovanjske stavbe. Model izpostavljenosti vključuje



**Slika 1:** Primer krivulje potresne nevarnosti za občino Kanal ob upoštevanju učinka lokalnih tal na intenziteto potresa

**Figure 1:** Example of a seismic hazard curve for the municipality of Kanal, considering the effect of the local soil on ground motion intensity



**Slika 2:** Primer krivulj potresne ranljivosti za razred zidanih stavb z največ tremi etažami, zgrajenimi do leta 1965

**Figure 2:** Example of seismic fragility curves for the class of masonry buildings of up to three storeys constructed before 1965

skupno število stavb v občini in njihove deleže v različnih razredih stavb. Ti so bili definirani z materialom nosilne konstrukcije, obdobjem gradnje in intervalom števila etaž. Pri materialu nosilne konstrukcije smo ločili med armiranobetonskimi in zidanimi stavbami, ki predstavljajo zelo velik del stavbnega fonda na obravnavanih območjih. Stavbe z nosilno konstrukcijo iz drugih materialov smo porazdelili med armiranobetonske in zidane stavbe, in sicer po postopku, ki so ga predlagali Dolce in sod. (2021). Glede na obdobje gradnje smo ločili med stavbami, zgrajenimi pred letom 1965, med letoma 1965 in 1981 ter po letu 1981, skladno z razvojem standardov za potresno odporno projektiranje na območju današnje Slovenije (Dolšek in sod., 2020; Babič in sod., 2022b). Glede na število etaž smo razlikovali med stavbami z največ tremi etažami in stavbami z vsaj štirimi etažami. Poleg tega smo z modelom izpostavljenosti za vsako občino in razred stavb opredelili skupno neto tlorisno površino, ki neposredno vpliva na ekonomske izgube in je določena kot vsota neto tlorisnih površin vseh obravnavanih stavb, definiranih skladno s SIST ISO 9836 (SIST, 2018). Vse podatke za slovenske občine smo pridobili iz Registra nepremičnin (GURS, 2021).

**Model potresne ranljivosti** opisuje, koliko so obravnavani objekti med potresi podvrženi nastanku poškodb. V tej študiji smo model definirali s krivuljami ranljivosti, ki predstavljajo verjetnosti nastopa izbranih stanj poškodovanosti stavbe pri pogoju PGA (npr. slika 2). Vsaka krivulja ranljivosti ustreza enemu razredu stavb in enemu stanju poškodovanosti. Pri tem so stanja poškodovanosti določena z izbiro lestvice poškodovanosti. Običajno se uporabljata lestvici EMS98 (Grünthal, 1998) in HAZUS (FEMA,

2015), ki poleg stanja brez poškodb vsebujeta pet oziroma štiri stanja poškodovanosti. V Sloveniji je bila pri razvoju krivulj ranljivosti (Dolšek in sod., 2020) uporabljena lestvica HAZUS, v Italiji lestvica EMS98, v Avstriji pa krivulje ranljivosti še niso bile razvite. Zaradi harmonizacije modela ranljivosti smo za države uporabili lestvico EMS98, pri tem pa uporabili postopek pretvorbe med lestvicama EMS98 in HAZUS (Lagomarsino in Giovinazzi, 2006). Pri definiciji parametrov krivulj ranljivosti smo izhajali iz nacionalnih modelov ranljivosti. Ker ti modeli predstavljajo povprečno ranljivost stavb v celotni državi, so lahko za posamezna območja, sploh ob državnih mejah, večji. Zato smo parametre krivulj ranljivosti za vsak del slovensko-italijansko čezmejnega območja definirali kot linearno kombinacijo nacionalnih modelov iz obeh obmejnih držav. Koeficiente v linearni kombinaciji smo določili v odvisnosti od (1) podobnosti med tipologijami stavb v danem delu čezmejnega območja in obeh nacionalnih ozemljih kot celotah ter (2) razlik med metodologijami, uporabljenimi pri razvoju nacionalnih modelov ranljivosti (BORIS, 2022a). Tega pristopa pri slovensko-avstrijskem čezmejnem območju nismo mogli uporabiti, saj krivulje ranljivosti za območje Avstrije še niso razvite. Za obe čezmejni območji smo uporabili slovenske krivulje ranljivosti, pri tem pa upoštevali, da je bil razvoj standardov za potresno odporno projektiranje v Avstriji nekoliko počasnejši kot na območju Slovenije.

**Model posledic** opredeljuje pričakovane posledice kot funkcijo stanja poškodovanosti in značilnosti stavb v danem razredu. Upoštevalo se lahko različne vrste posledic, odvisno od izbranih kazalnikov tveganja. V projektu BORIS (2022b) je bilo izbranih več

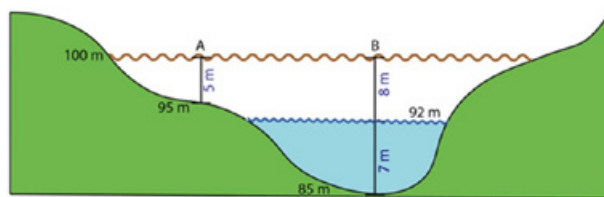
kazalnikov tveganja. V tem članku se osredotočamo le na ekonomske izgube v evrih. Ekonomske izgube so bile ovrednotene za vsak razred stavb v vsaki občini, in sicer kot produkt relativnega stroška obnove (glede na strošek nadomestitve, skladne s trenutnimi standardi), odvisnega od stanja poškodovanosti stavb v danem razredu in občini, stroška nadomestitve 1 m<sup>2</sup> neto tlorisne površine ter skupne stanovanjske tlorisne površine stavb v danem razredu in občini. Za pet stanj poškodovanosti z lestvice EMS-98 so bili uporabljeni enaki relativni stroški obnove stavbe za vse dele obravnavanih čezmejnih območij: 0,02, 0,1, 0,35, 0,6 in 1 (Dolce in sod., 2021; Dolšek in sod., 2020). Pri strošku nadomestitve stavb za slovenske občine smo upoštevali vrednost 1250 EUR za 1 m<sup>2</sup> neto tlorisne površine (Dolšek in sod., 2020), za italijanske in avstrijske občine pa vrednost 1350 EUR za 1 m<sup>2</sup> neto tlorisne površine (Dolce in sod., 2021). Treba je poudariti, da sta bili ti vrednosti ocenjeni pred letom 2021 in da sta glede na rast cen v gradbeništvu v zadnjem obdobju precej podcenjeni.

## METODOLOGIJA PROJEKTA BORIS ZA OCENO POPLAVNEGA TVEGANJA

V metodologiji projekta BORIS za oceno poplavnega tveganja se je sledilo splošnim usmeritvam za oceno ogroženosti zaradi poplav kot kombinaciji poplavne nevarnosti in ranljivosti oziroma izpostavljenosti prek upoštevanja različnih elementov ranljivosti (Direktiva 2007/60/ES). Ob tem je treba poudariti, da metodologije, ki se uporabljajo za oceno poplavnega tveganja v posameznih državah konzorcija projekta BORIS, niso neposredno združljive in da med načini opredelitve poplavnega tveganja obstajajo pomembne razlike, ki so bile v okviru projekta prepoznane, v predlogu metodologije pa tudi precej usklajene. Že pri oceni poplavne nevarnosti, ki med posameznimi državami članicami konzorcija (Italija, Avstrija in Slovenija) izkazuje največjo usklajenost z vidika metodološkega pristopa izvedbe hidroloških in hidravličnih analiz, lahko ugotovimo precej različne pristope k administrativni določitvi razredov poplavne nevarnosti (Babič in sod., 2022a). Še večje razlike so bile prepoznane v pristopih, ki se uporabljajo za določitev elementov ranljivosti (npr. upoštevanje števila prebivalcev, gospodarskih dejavnosti, različne infrastrukture) in nadaljnjo skupno oceno poplavnega tveganja. Harmoniziran pristop projekta BORIS za oceno poplavnega tveganja obsega model poplavne nevarnosti, model izpostavljenosti, model ranljivosti in model posledic, ki so na kratko opisani v nadaljevanju. Kot element

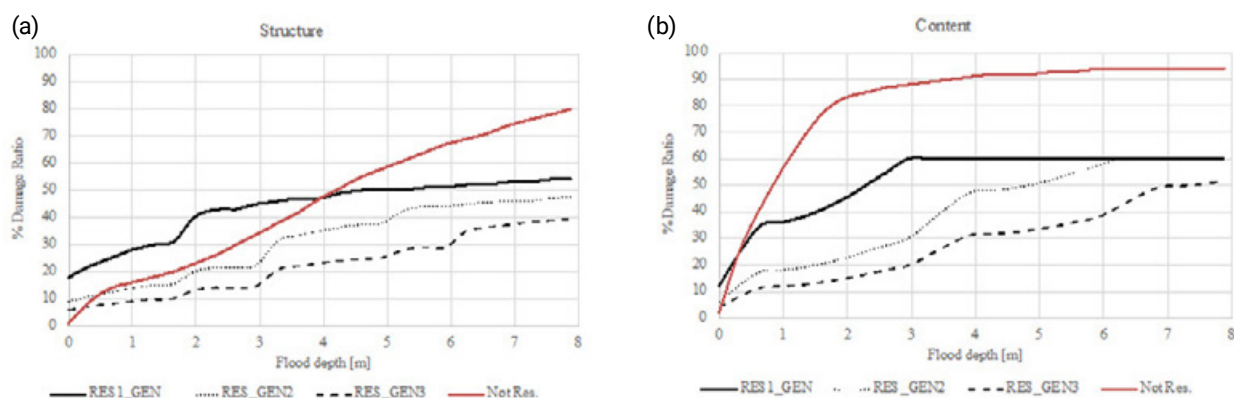
ogroženosti smo, enako kot pri potresnem tveganju, upoštevali stanovanjske stavbe.

**Model poplavne nevarnosti** obsega izdelavo kart poplavne nevarnosti (KPN) za izbrane poplavne dogodke z določeno povratno dobo. Zaradi usklajevanja nacionalnih izračunov se globine vodnega toka interpolirajo za izbrana čezmejna območja in se tako pridobijo podatki o obsegih poplavljanja za poljubne povratne dobe poplav. Za tovrstno analizo se uporabijo veljavne KPN v posameznih državah (pripravljene skladno z Direktivo 2007/60/ES) in digitalni model terena (DTM) v ločljivosti vsaj 5 m x 5 m. Cilj tega koraka so homogene KPN (za enake povratne dobe), ki na podlagi razvite metodologije omogočajo nadaljnjo izdelavo KPN z opredelitvijo poplavnih scenarijev (razširitev-doseg in globina poplave) s povratnimi dobami od 10/30 let do 300/500 let z vnaprej določenim časovnim korakom (npr. 10 let). Ob tem je treba opozoriti, da gre pri tovrstni ekstrapolaciji poplavnih razmer za poenostavitev poplavne situacije predvsem z vidika morebitnih specifičnih lokalnih hidravličnih razmer. Za izvedbo tega koraka je bil uporabljen algoritem FwDET (angl. *Floodwater Depth Estimation Tool*) (Cohen in sod., 2019; Peter in sod., 2020), ki na podlagi ugotovljenih obsegov poplavnih območij in DTM omogoča določitev globine vodnega toka. Pri uporabi metode FwDET se je izhajalo iz razpoložljivih podatkov DTM za analizirana čezmejna slovensko-italijanska in slovensko-avstrijska območja. Za reševanje morebitnih lokalnih neskladij med DTM in poplavno ogroženimi območji ali lokalnih anomalij je bilo uporabljeno orodje za naknadno obdelavo, ki je na voljo v orodju GRASS GIS (GRASS Development Team, 2020). S tem pristopom lahko globino poplavne vode povežemo z določeno povratno dobo poplavnega dogodka, vendar smo za enake povratne dobe poplavnega dogodka na celotnem čezmejnem območju in za povečanje števila razpoložljivih KPN uporabili metodo interpolacije



**Slika 3:** Shematski prikaz postopka interpolacije obsega razlivanja poplavnih voda z uporabo algoritma FwDET ob poplavah celinskih voda (Cohen in sod., 2019)

**Figure 3:** Schematic representation of the flood extent interpolation process using the FwDET algorithm for inland water floods (Cohen et al., 2019)



**Slika 4:** Škodne krivulje metodologije HAZUS za (a) konstrukcijo in (b) opremo stavb različnega števila nadstropij (črne črte označujejo stanovanjske stavbe, rdeče črte pa nestanovanjske stavbe; številka v legendi pomeni število etaž, pri čemer 3 pomeni tri etaže ali več) (FEMA, 2009). Vpliv zgodnjega opozarjanja za poplave pri škodnih krivuljah ni upoštevan.

**Figure 4:** Loss curves of the HAZUS methodology for (a) building construction and (b) building equipment for different numbers of storeys (black lines represent residential buildings, red lines represent non-residential buildings; the number in the legend indicates the number of storeys, where 3 indicates three storeys or more) (FEMA, 2009). The impact of early flood warnings on damage curves is not considered.

KPN med dvema različnima povratnima dobama, pri čemer smo izhajali iz posebnih krivulj, ki povezujejo lastnosti poplavnega dogodka (obseg in prostornina vode) z različnimi povratnimi dobami. Shematsko je postopek interpolacije obsega razlivanja-dosega in globine poplavnih voda prikazan na sliki 3.

**Model izpostavljenosti.** Pri razvoju modela izpostavljenosti je bilo treba uskladiti prostorsko merilo razpoložljivih podatkov o elementih izpostavljenosti. Pri tem se lahko uporabijo naslednji podatkovni viri in postopki:

1. Podatki o izpostavljenosti (pozidano območje in prebivalstvo) na globalni ravni, kot so podatki o objektih OpenStreetMap (OSM) in podatkovni sloj Global Human Settlement Layer (GHS-BUILT-S) (Pesaresi in Politis, 2022). Prednost teh zbirk podatkov je, da ob manjši prostorski ločljivosti pokrivajo velika območja in tako zahtevajo minimalno osnovno znanje o izpostavljenosti za izvedbo osnovnih analiz tveganja.
2. Razpoložljivi natančnejši državni in občinski podatki o prostorski razporeditvi prebivalstva in njegovi gostoti, ki so vezani na površino posameznih stavb in popisne podatke o prebivalstvu.
3. Prilagoditev prostorske ločljivosti uporabljenih podatkov o izpostavljenosti. Uporabijo se informacije o površinah stavb za določitev prostorske porazdelitve naslednjih kazalnikov: število prebivalcev (ki se lahko uporabi za oceno števila izpostavljenih ljudi); ekonomske vrednosti pozidave in drugi dejavniki, ki opisujejo ranljivost pozidave. Kadar je le mogoče, se postopek prilagoditve prostorske ločljivosti podatkov nadzoruje s podatki iz točke 2.

Opis zgradb se pridobi v okolju GIS z združevanjem več virov geografskih podatkov, ki so na voljo na različnih (nacionalnih) institucionalnih podatkovnih portalih.

Metodologija projekta BORIS vsebuje informacije o rabi prostora in prebivalstvu na prostorski ravni občin. Posamezni dodatni podatki večje prostorske ločljivosti so se zato ustrezno prilagodili in uskladili na prostorsko enoto občine.

**Model ranljivosti.** V okviru metodologije projekta BORIS je bila kot osnovna knjižnica podatkov o ranljivosti posameznih elementov privzeta metodologija HAZUS (FEMA, 2009), ki predstavlja standardizirano zbirko orodij in podatkov za ocenjevanje tveganja zaradi različnih naravnih nesreč. Uporabljene so bile škodne krivulje za različne skupine objektov, ki prevladujejo znotraj analiziranih čezmejnih območij (primer na sliki 4).

**Model posledic.** V usklajeni metodologiji je bil kot element za oceno posledic poplavnih dogodkov uporabljen podatek o okvirnem številu potencialno prizadetih prebivalcev in gospodarske posledice v smislu pričakovane letne škode (PLŠ) oziroma pričakovanih letnih izgub in verjetne maksimalne škode (VMŠ).

Zgoraj opisani koraki oziroma modeli so predlagani za izvedbo osnovne ocene poplavnega tveganja, ki temelji na enakih vrstah podatkov o vsakem elementu analize poplavnega tveganja v različnih državah. Osnovni vodili sta poenostavitev in ponovljivost postopka, saj se tako zmanjša negotovost zaradi

uporabe različnih potencialno nehomogeniziranih vhodnih podatkov. Analiza v okviru projekta BORIS je bila opravljena na ravni občin, vendar ob razpoložljivosti natančnejših podatkov metodologija omogoča izdelavo prostorsko podrobnejših analiz.

### Ocena povprečne letne izgube v evrih zaradi potresov na čezmejnih slovensko-italijanskih in slovensko-avstrijskih območjih

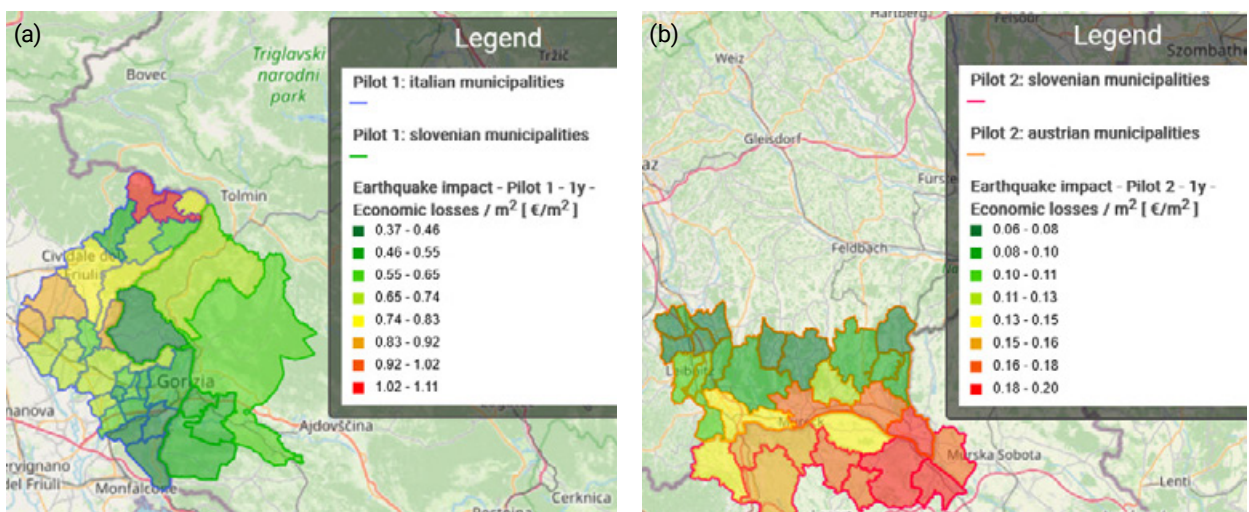
Ocenjeno potresno tveganje na obravnavanem čezmejnem slovensko-italijanskem območju je razmeroma visoko. Povprečne ekonomske izgube v enem letu znašajo približno 5,0 mio EUR na leto, od tega 1,8 mio EUR na leto na slovenski in 3,2 mio EUR na leto na italijanski strani meje. Najvišje in najnižje izgube so bile izračunane za občini Nova Gorica v Sloveniji in Drenchia v Italiji. Če izgube normiramo glede na celotno stanovanjsko neto tlorisno površino (SNTP) v občini (slika 5a), v enem letu v povprečju pričakujemo med 0,37 EUR/m<sup>2</sup> (občina Sagrado) in 1,11 EUR/m<sup>2</sup> (občina Savogna), v primeru slovenskih občin pa med 0,42 EUR/m<sup>2</sup> (občina Brda) in 0,70 EUR/m<sup>2</sup> (občina Kanal). Zanimiva je primerjava med rezultati za občini Nova Gorica in Gorizia, kjer se normirane izgube razlikujejo le za 5 % (višje v Novi Gorici). Stavbni fond občine Gorizia je starejši. Stavbe, grajene pred uvedbo standardov za potresnoodporno projektiranje, predstavljajo 51 % skupne SNTP, medtem ko je v občini Nova Gorica delež SNTP takih stavb 35 %. Po drugi strani pa se občini opazno razlikujeta v deležu SNTP armiranobetonskih stavb, ki so potresno manj

ranljive od zidanih stavb. V občini Nova Gorica ta delež znaša 23 %, v občini Gorizia pa 48 %. Posledično je potresna ranljivost obeh stavbnih fondov primerljiva kljub razliki v njuni starosti.

Na obravnavanem čezmejnem slovensko-avstrijskem območju je ocenjeno potresno tveganje nižje. Povprečne ekonomske izgube v dobi enega leta znašajo približno 1,4 mio EUR na leto. Tretjina izgub je pričakovana v slovenskih, dve tretjini pa v avstrijskih občinah. Najvišje in najnižje izgube so bile izračunane za avstrijski občini Leibnitz in Lang, kjer se v dobi enega leta zaradi potresov pričakuje 230.000 oziroma 9000 EUR izgub. Normirane izgube na SNTP (slika 5b) se v dobi enega leta gibljejo med 0,06 EUR/m<sup>2</sup> (občina Sankt Anna am Aigen) in 0,20 EUR/m<sup>2</sup> (občina Bad Radkersburg). Med slovenskimi občinami v čezmejnem območju najnižje normirane izgube v enem letu pričakujemo v občini Kungota (0,15 EUR/m<sup>2</sup>), najvišje pa v občini Gornja Radgona (0,19 EUR/m<sup>2</sup>).

### Ocena povprečne letne izgube v EUR zaradi poplav na čezmejnih slovensko-italijanskih in slovensko-avstrijskih območjih

Ocena poplavnega tveganja na pilotnem območju Slovenija-Italija je relativno visoka – s povprečnimi ekonomskimi izgubami v vseh obravnavanih občinah na obeh straneh meje v višini 6 mio EUR na leto (slika 6a). Delež povprečnih letnih ekonomskih izgub med slovenskimi občinami znaša približno 30 %. Najmanjše in največje ekonomske izgube zaradi



Slika 5: Povprečne letne izgube, normirane na stanovanjsko neto tlorisno površino, [EUR/m<sup>2</sup>] zaradi potresnega tveganja po občinah na (a) slovensko-italijanskem in (b) slovensko-avstrijskem čezmejnem območju

Figure 5: Average annual losses, normalized to residential net floor area, [EUR/m<sup>2</sup>] due to seismic risk by municipality in the cross-border area (a) Slovenia-Italy and (b) Slovenia-Austria

poplavnega tveganja so ocenjene za dve italijanski občini, in sicer za Doberdò del Lago (brez pričakovanih izgub) in Gradisca d'Isonzo (1,2 mio EUR). Na stanovanjsko neto tlorisno površino normirane ocene pričakovanih izgub zaradi poplavnega tveganja na slovensko-italijanskem območju znašajo med 0 (občina Doberdò del Lago) in 3,76 EUR/m<sup>2</sup> (občina Gradisca d'Isonzo) (slika 6a).

Med slovenskimi občinami znaša povprečna vrednost normiranih ocen pričakovanih izgub 0,79 EUR/m<sup>2</sup>, najvišje vrednosti so v občini Šempeter-Vrtojba (2,04 EUR/m<sup>2</sup>) in najnižje v občini Brda (0,14 EUR/m<sup>2</sup>).

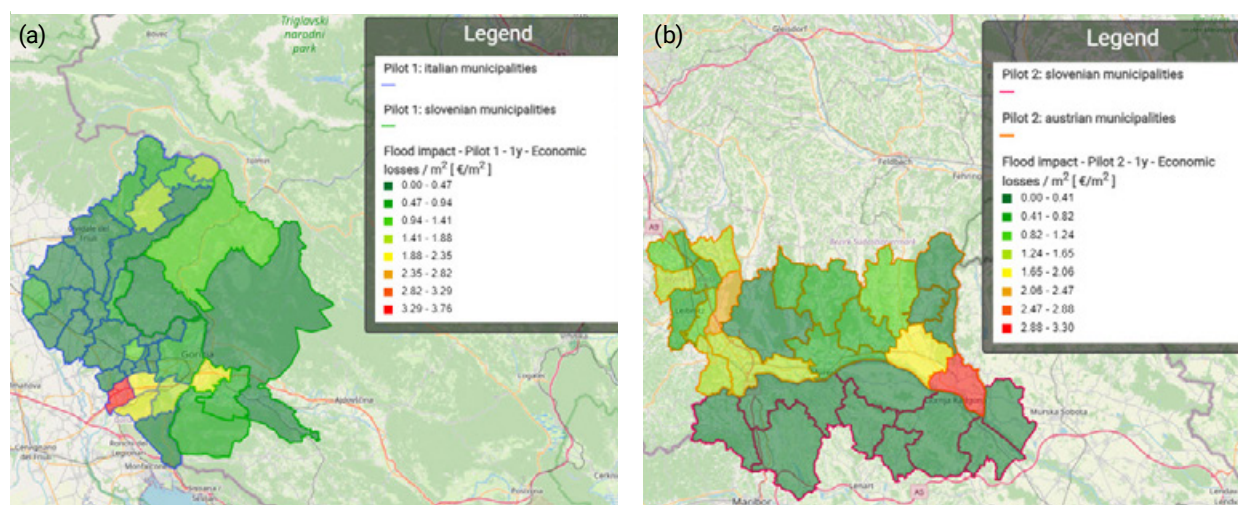
Na pilotnem slovensko-avstrijskem območju znaša skupna ocena poplavnega tveganja 8,2 mio EUR na leto (slika 8a), od česar delež povprečne letne izgube med slovenskimi občinami zaradi poplavnega tveganja znaša 6 %. Najvišja povprečna letna izguba je bila ocenjena za občino Bad Radkersburg (1,6 mio EUR na leto), kjer je tudi normirana pričakovana letna izguba zaradi poplavnega tveganja najvišja, in sicer znaša 3,3 EUR/m<sup>2</sup> (slika 6b). Med devetimi slovenskimi občinami so bile največje povprečne letne izgube ocenjene za občini Šentilj in Gornja Radgona (približno 130.000 EUR/leto), najmanjše pa za občini Benedikt (brez pričakovanih letnih izgub) in Tišina (5000 EUR/leto).

## Omejitve metodologije

Metodologija in spletna platforma projekta BORIS sta razviti do stopnje, ki omogoča sorazmerno

enostavno implementacijo analize potresnega in poplavnega tveganja na katero koli čezmejno območje, pri čemer je treba poudariti, da je treba metodologijo še dodatno preveriti, in sicer tako s stališča natančnosti izračuna izgub za posamezno nevarnost kot tudi s stališča primerjave rezultatov med izgubami zaradi potresnega in poplavnega tveganja.

Omejitev rabe ali prenosa metodologije projekta BORIS izhaja iz nepopolnih vhodnih podatkov in natančnosti modelov, kot je pojasnjeno drugje (Babič in sod., 2022a). Problemi se lahko pojavijo z razpoložljivostjo potrebnih vhodnih podatkov v posameznih državah, z vidika omejitev rabe posameznih vrst podatkov, neskladnosti med državami z vidika ločljivosti in z vidika števila ter vrst kategorij nominalnih vrst podatkov (npr. različno število razredov tveganja, različne vrste stavb itn.). Pri metodi za oceno poplavnega tveganja, pri kateri vhodni podatki predstavljajo KPN posameznih držav, je bila kot potencialna omejitev rabe izpostavljena možnost napak pri opredelitvi poplavnega območja in razredov poplavne nevarnosti zaradi napačne interpretacije modelskih rezultatov. Na čezmejnih območjih je pri poplavnem tveganju treba vnaprej odpraviti morebitna neskladja pri določitvi KPN, ki izhajajo iz različnih metodologij v posameznih državah (BORIS, 2022c). Zdi se, da je izračun potresne nevarnosti, vsaj po Evropi, bolj skladen med državami, kot pa način izdelave KPN, ki jih morajo države članice ES pripraviti glede na usmeritve, ki so v Poplavni direktivi (Direktiva 2007/60/ES). Po drugi strani ima skoraj vsaka država svojo metodologijo



Slika 6: Povprečne letne izgube, normirane na stanovanjsko neto tlorisno površino, [EUR/m<sup>2</sup>] zaradi poplavnega tveganja po občinah na (a) slovensko-italijanskem in (b) slovensko-avstrijskem čezmejnem območju

Figure 6: Average annual losses, normalized to residential net floor area, [EUR/m<sup>2</sup>] due to flood risk by municipality in the cross-border area (a) Slovenia-Italy and (b) Slovenia-Austria

za izračun potresne ranljivosti in število tipov (razredov) stavb, kar je posledica dejstva, da postopek analize potresnega tveganja na evropski ravni sploh ni reguliran.

Zaradi nepreverjenosti rezultatov je treba opozoriti na previdnost pri njihovi uporabi in primerjavi z drugimi študijami ter interpretaciji. Izgube zaradi poplav so precej odvisne od upoštevanih škodnih krivulj, ki pogosto ne odražajo višine stroška za vzpostavitev funkcionalnega stanja. Čeprav je rezultat analiz za poplavno in potresno tveganje prikazan z enako mero, torej s pričakovano letno izgubo, so potrebne dodatne raziskave, da bi lahko trdili, da te izgube lahko seštevamo oziroma relativno primerjamo, saj konsistentnost metodologij za oceno potresnih in poplavnih izgub v projektu BORIS ni bila analizirana. Poleg tega vpliv zgodnjega opozarjanja pri škodnih krivuljah za poplave ni bil upoštevan, zaradi česar so izgube zaradi poplav lahko precenjene.

## SKLEPNE MISLI

Analiza tveganja zaradi različnih naravnih nevarnosti je kompleksna, ne le zaradi raznovrstnosti in slučajnosti ekstremnih naravnih pojavov, kot so poplave ali potresi, ampak tudi zaradi različne obravnave tveganja, ki se lahko ovrednoti za izbrane scenarije ekstremnih naravnih pojavov ali za izbrano časovno obdobje. Slednji način odraža posledice celotne palete scenarijev naravnih pojavov. Zato je primernejši za preventivno delovanje v smeri krepitev odpornosti, kar je bil tudi cilj projekta BORIS.

Poleg omenjenih kompleksnosti smo pri razvoju in uporabi metodologije za oceno potresnega in

poplavnega tveganja na čezmejnih območjih reševali še druge izzive, ki so povezani s stopnjo razpoložljivosti vhodnih podatkov in z usklajevanjem praks analize tveganja različnih držav. Metodologija projekta BORIS zato odraža tudi nekatere kompromisne rešitve, ki so posledica obravnave dveh izbranih naravnih pojavov in zaradi usklajevanj med sosednjimi državami.

Končni cilj raziskav je, da bodo rezultati tovrstnih ocen tveganja uporabni za odločevalce na lokalni in državni ravni, in sicer kot osnova pri razvoju strategij za krepitev odpornosti skupnosti pred naravnimi nesrečami. V tej fazi raziskav so prikazani rezultati bolj informativni, saj je nujna dodatna validacija tako metodologije kot tudi rezultatov predstavljenih primerov. Ne glede na to je bil s projektom BORIS storjen prvi korak v smeri ovrednotenja tveganja s časovno-opredeljenimi kazalniki tveganja in upoštevanjem več različnih naravnih nevarnosti, s čimer je omogočena postopna širitev analize tveganja z upoštevanjem dodatnih vrst naravnih nevarnosti.

## ZAHVALA

Projekt BORIS je financiral Generalni direktorat Evropske komisije za evropsko civilno zaščito in evropske operacije humanitarne pomoči (GA 101004882). Dejavnosti je delno sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS (danes Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS) v okviru raziskovalnih programov Vodarstvo in geotehnika (P2-0180) in Potresno inženirstvo (P2-0185). Prispevek povzema rezultate dela vseh partnerjev projekta BORIS.

## Viri in literatura

- Babič, A., Lebar, K., Mikoš, M., Rusjan, S., Lazar Sinković, N., Vidmar, A., Žižmond, J., Dolšek, M., 2022a. Projekt BORIS: Izhodišča za razvoj ocene poplavnega in potresnega tveganja na čezmejnih območjih. *Ujma* 36, 290–300.
- Babič, A., Žižmond, J., Dolšek, M., 2022b. Potresno tveganje stavbnega fonda v Sloveniji. *Gradbeni vestnik*, 71: 34–47.
- BORIS, 2022a. Deliverable 4.1: Guidelines for cross-border risk assessment: Shared framework for single and multirisk assessment at cross-border sites. <http://www.borisproject.eu/wp-content/uploads/2022/06/BORIS-Deliverable-D4.1.pdf>, 3. 5. 2023.
- BORIS, 2022b. Deliverable 5.1: Seismic risk, flood risk and multi-risk assessment at pilot cross-border sites. [http://www.borisproject.eu/wp-content/uploads/2022/12/BORIS-Deliverable-D5.1-Seismic-risk-flood-risk-and-multi-risk-assessment-at-pilot-cross-border-sites\\_final.pdf](http://www.borisproject.eu/wp-content/uploads/2022/12/BORIS-Deliverable-D5.1-Seismic-risk-flood-risk-and-multi-risk-assessment-at-pilot-cross-border-sites_final.pdf), 3. 5. 2023.
- BORIS, 2022c. Deliverable 5.2: Consolidated version of the guidelines for cross-border risk assessment. <http://www.borisproject.eu/wp-content/uploads/2023/01/BORIS-Deliverable-D5.2-submitted.pdf>, 4. 5. 2023.
- CEN, 2022. prEN 1998-1-1:2021 – Eurocode 8: Earthquake resistance design of structures, Working draft, CEN/TC 250/SC 8 N 1141.
- Cohen, S., Raney, A., Munasinghe, D., Loftis, J. D., Molthan, A., Bell, J., Rogers, L., Galantowicz, J., Brakenridge, G. R., Kettner, A. J., Huang, Y., Tsang, Y., 2019. The Floodwater Depth Estimation Tool (FwDET v2.0) for Improved Remote Sensing Analysis of Coastal Flooding. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19, 2053–2065.
- Danciu, L., Nandan, S., Reyes, C., Basili, R., Weatherill, G., Beauval, C., Rovida, A., Vilanova, S., Sesetyan, K., Bard, P.-Y., Cotton, F., Wiemer, S., Giardini, D., 2021. The 2020 update of the European Seismic Hazard Model: Model Overview. EFERH Technical Report 001, v1.0.0. <https://doi.org/10.12686/a15>.



9. Direktiva 2007/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2007 o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti.
10. Dolce, M., Protta, A., Borzi, B., da Porto, F., Lagomarsino, S., Magenes, G., Moroni, C., Penna, A., Polese, M., Speranza, E., Verderame, G. M., Zuccaro, G., 2021. Seismic risk assessment of residential buildings in Italy. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 2999–3032. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-01009-5>.
11. Dolšek, M., Žižmond, J., Babič, A., Lazar Sinkovič, N., Jamšek, A., Gams, M., Isaković, T., 2020. Seizmični stresni test stavbnega fonda Republike Slovenije (2020-2050), Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo.
12. Ferlan, M., in Herlec, U., 2000. Digitalna geološka karta in GIS. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999-2000 : zbornik referatov simpozija, Ljubljana, 26. september 2000. str. 209–225.
13. Ferlan, M., in Herlec, U., 2002. Konceptualni model GIS-a za geologijo. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001-2002. str. 87–95.
14. FEMA, 2009. Multi-Hazard Loss Estimation Methodology: Flood Model (HAZUS-MH MR5) Technical Manual; Federal Emergency Management Agency: Washington, D.C., USA.
15. FEMA, 2015. HAZUS MH 2.1, Technical Manual, Multi-Hazard Loss Assessment Methodology. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., USA.
16. GRASS Development Team, 2020. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.8. Open Source Geospatial Foundation. <https://grass.osgeo.org>.
17. GURS, 2021. Real Estate Register. Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia. Retrieved May 21, 2021. <https://eprstor.gov.si/imps/srv/api/records/26252870-5100-4408-a3e0-54ea80eb3612>.
18. Grünthal, G., 1998. European Macroseismic Scale, Chaiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, vol. 15 Luxembourg.
19. ICPD, 2018. Presidency of the Council of Ministers Italian Civil Protection Department. National Risk Assessment. Overview of the Potential Major Disasters in Italy: Seismic, Volcanic, Tsunami, Hydro-Geological/hydraulic and Extreme Weather, Droughts and Forest Fire Risks; ICPD: Rome, Italy.
20. ISTAT, 2011. 15° Censimento generale della popolazione–Dati sulle caratteristiche strutturali della popolazione, delle abitazioni e variabili. <http://www.istat.it/it/archivio/104317>, 10. 5. 2020.
21. Lagomarsino, S., in Giovinazzi, S., 2006. Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings, *Bulletin of Earthquake Engineering* 4:415–443.
22. MONG, 2023. Mestna občina Nova Gorica, Proračun 2023. <https://www.nova-gorica.si/proracun/45591/proracun-2023>.
23. Mori, F., Mendicelli, A., Moscatelli, M., Romagnoli, G., Peronace E., Naso G., 2020. A new Vs30 map for Italy based on the seismic microzonation dataset. *Engineering Geology*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105745>.
24. Pesaresi, M., and Politis P., 2022. GHS built-up surface grid, derived from Sentinel2 composite and Landsat, multitemporal (1975-2030). European Commission, Joint Research Centre (JRC). doi:10.2905/D07D81B4-7680-4D28-B896-583745C27085.
25. Peter, B., Cohen, S., Lucey, R., Munasinghe, D., Raney, A., 2020. »A Google Earth Engine implementation of the Floodwater Depth Estimation Tool (FwDET-GEE)«. <https://doi.org/10.7910/DVN/JQ4BCN>, Harvard Dataverse, V5.
26. Polese, M., Tocchi, G., Dolšek, M., Babič, A., Faravelli, M., Quaroni, D., Borzi, B., in sod., 2023. Seismic risk assessment in transboundary areas: the case study on the border between Italy and Slovenia. *Procedia Structural Integrity*, Vol. 44 No. 2022, pp. 123–130.
27. POTROG-5, 2013. Potresna ogroženost v Sloveniji za potrebe Civilne zaščite, Delovno področje – 5: Izdelava strokovnih podlag za določitev potresne obtežbe na obravnavanih območjih, Zaključno poročilo, P 904/11-610-2, ARSO, Ljubljana, junij 2013.
28. SIST, 2018. SIST ISO 9836: Standardi za lastnosti stavb – Definicija in računanje indikatorjev površine in prostornine.
29. Worden, C. B., in Heath, D. C., 2019. Global Vs30 model based on topographic slope, with custom embedded maps, United States Geological Survey.