

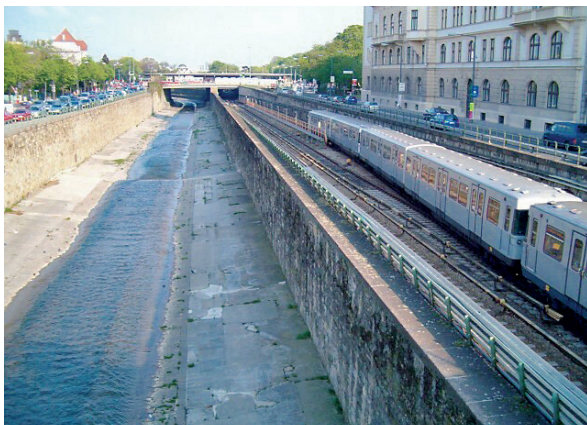
KAKO SU SE BEČ I AUSTRIJA SUOČILI S OLUJOM (CIKLONOM) BORIS (RUJAN 2024.)

dr. sc. Ognjen Bonacci, prof. emerit., dr. sc. Tanja Roje-Bonacci, prof. emerit.

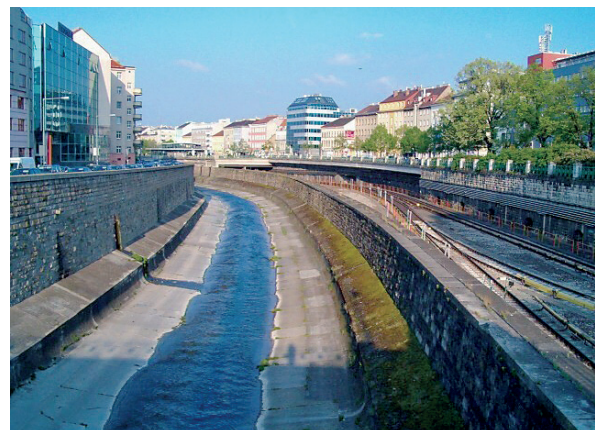
Dana 11. rujna 2024. dijelove središnje Europe zahvatila je oluja (ciklona) Boris, koja je bila praćena ekstremnim oborinama i snažnim vjetrovima. Sljedećeg dana oluja je pogodila južnu Poljsku. U nekim dijelovima te zemlje palo je 200 mm kiše u manje od 24 sata, što je uzrokovalo poplave u mnogim gradovima. Dana 13. rujna, na sjeveru Češke Republike palo je preko 500 mm kiše, što je izazvalo poplave koje su uzrokovale goleme štete na stambenim i industrijskim objektima, cestama i mostovima.

Sljedećeg dana, 14. rujna 2024. oluja je stigla u Rumunjsku. Obilne oborine koje su se kretale oko 250 mm u 24 sata uzrokovale su bujične poplave, potapanje brojnih naselja, oštećenje oko 5000 domova i razaranje dviju brana. Četiri dana kasnije, 18. rujna, oluja Boris zahvatila je sjever Italije. Procjenjuje se da je živote izgubilo najmanje 20 ljudi, sedam u Rumunjskoj, pet u Poljskoj, četvero u Češkoj, troje u Austriji i jedan u Italiji.

Imenovanje snažnih oluja i ciklona je relativno nova praksa, koja postoji u SAD-u već desetljećima. Ova praksa još uvijek nije ujednačena u svim europskim državama. Primjera radi navodi se da je talijanski *Servizio Meteorologico* oluju nazvao Boris, a Slobodni univerzitet u Berlinu istog ju je dana (11. rujna 2024.) nazvao Anett. Prva europska oluja koja je dobila ime nazvana je Abigail i pojavila se 10. listopada 2015. godine. Cilj davanja imena olujama nalazi se u potrebi izbjegavanja zabuna koje su nastajale zbog različitih naziva u medijima, javnosti, ali i struci za istu oluju.



Slika 1: Korito Bečke rijeke – uzvodno (fotografirala Tanja Roje-Bonacci)



Slika 2: Korito Bečke rijeke – nizvodno (fotografirala Tanja Roje-Bonacci)



Slika 3: Fotografija snimljena u trenutku naglog porasta protoka Bečke rijeke 15. rujna 2024. (<https://blogs.egu.eu/geolog/2024/09/26/september-2024-flooding-in-central-europe-the-austrian-experience/>).

Oluja Boris posljednja je i najrazornija u nizu oluja koje su izazvale katastrofalne poplave u Europi tijekom posljednjih 500 godina. Zanimljivo je uočiti da se Beč relativno uspješno nosio s njenim posljedicama te su u njemu izbjegnute velike štete. Pripreme i mjere koje je izvršio ovaj grad mogu ponuditi vrijedne lekcije drugim urbanim područjima koja se suočavaju sa sličnim izazovima. Dok su se Beč pa donekle i cijela Austrija relativno dobro nosili s poplavama uzrokovanim olujom Boris, središnja Europa suočila se s teškim razaranjima, s više od 20 izgubljenih života i cijelim gradovima koji su evakuirani, poput Nyse u Poljskoj.



Slika 4: Karta središnjeg dijela grada Beča na kojoj su vidljivi dijelovi sustava obrane od poplave vodama Dunava

Beč, glavi grad Austrije, je ogromno i vrhunski organizirano urbano središte u kojem živi oko 1.900.000 stanovnika. Deseti je najveći grad Europske unije, daleko najveći grad Austrije i njezino političko, gospodarsko i kulturno središte. Kroz njegovo središte protječe najveća Europska rijeka Dunav, a u nju se u samom središtu grada ulijeva bujični potok nazvan Bečka rijeka.

Prethodno navedeno jasno ukazuje da je Beč već po svom prirodnom položaju i okruženju ugrožen kako bujičnim poplavama tako i poplavama koje može uzrokovati moćna rijeka Dunav. S poplavama se Beč suočava već stoljećima i čini se da ih relativno uspješno rješava. To je najbolje dokazano na primjeru kako se suočio s olujom Boris (<https://blogs.egu.eu/geolog/2024/09/26/september-2024-flooding-in-central-europe-the-austrian-experience/>).

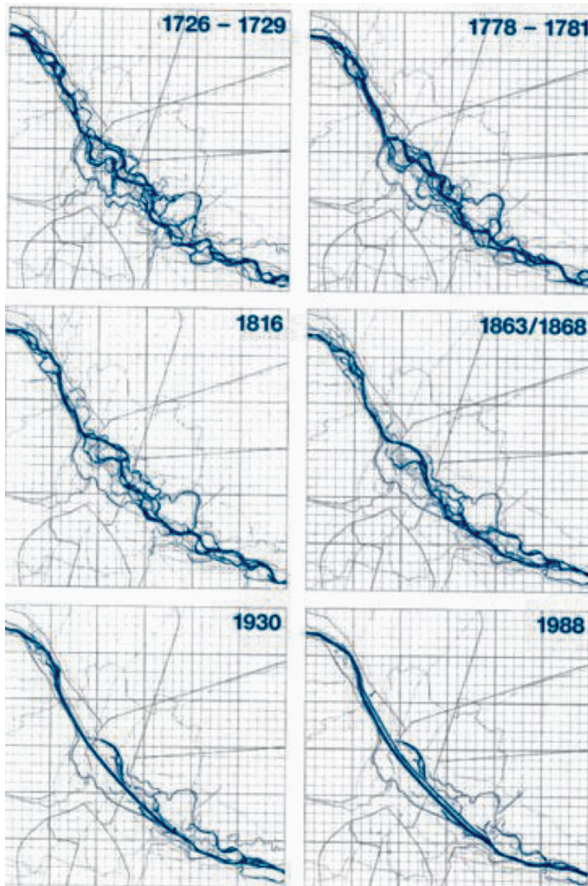
Da bi čitateljima bila jasnija sva kompleksnost problematike obrane od različitih vrsta poplava Beča, navest će se nekoliko bitnih podataka vezanih uz problematiku regulacije Bečke rijeke i rješavanje regulacije Dunava kroz urbano tkivo ovog izvanredno uređenog grada.

Bečka rijeka je vodotok (bujica) dug 34 kilometra, od čega 15 km njenog korita protječe kroz grad, i to kroz njegov najuži centar. Izvor se nalazi u zapadnom dijelu Bečke šume na nadmorskoj visini od 520 m nad morem (mnm). Ušće joj je na istočnom kraju središta Beča, gdje se ulijeva u rukavac Dunava nazvan Dunavski kanal na nadmorskoj visini od 155 mnm. Slivna površina ovog bujičnog vodotoka iznosi oko 230 km². Na [slikama 1 i 2](#)

moguće je uočiti kako je regulirano korito Bečke rijeke kroz sam grad. Radi se o prostranom kanalu uz koji se na lijevoj zapadnoj obali nalazi važna prometnica, a na desnoj istočnoj obali većim je dijelom prati linija podzemne željeznice.

Protoci Bečke rijeke podložni su velikim i vrlo brzim varijacijama. Protok Bečke rijeke može u par sati porasti od početnih 0,2 m³/s na oko 500 m³/s. Takve se pojave velikih voda dešavaju prosječno svako deset – dvadeset godina. Uzrokovane su intenzivnim kratkotrajnim oborinama, a nagli porasti protoka dešavaju se i tijekom proljetnog topljenja snijega. Protok Bečke rijeke tijekom oko 95 % vremena godišnje ne prelazi 0,5 m³/s. Na fotografiji koja se nalazi na [slikama 1 i 2](#) snimljena je uobičajena hidrološka situacija. Na [slici 3](#) snimljen je trenutak naglog porasta protoka Bečke rijeke 15. rujna 2024. (<https://blogs.egu.eu/geolog/2024/09/26/september-2024-flooding-in-central-europe-the-austrian-experience/>).

Dana 15. rujna 2024. u širem području Beča pale su rekordne količine oborina, koje su potopile prometnice. Bečka se rijeka iz mirnog potoka pretvorila u razornu bujicu. Došlo je do izlivanja vode iz korita te su na kratko vrijeme bile poplavljene tračnice podzemne željeznice što je poremetilo javni prijevoz. Tijekom pet dana u gradu je palo pet puta više oborina nego što je uobičajeno za cijeli rujna. Unatoč tome prijavljeno je samo deset lakših ozljeda i 15 evakuacija, što treba zahvaliti učinkovitom bečkom sustavu upravljanja poplavama. Posljednjih desetljeća Austrija je uložila



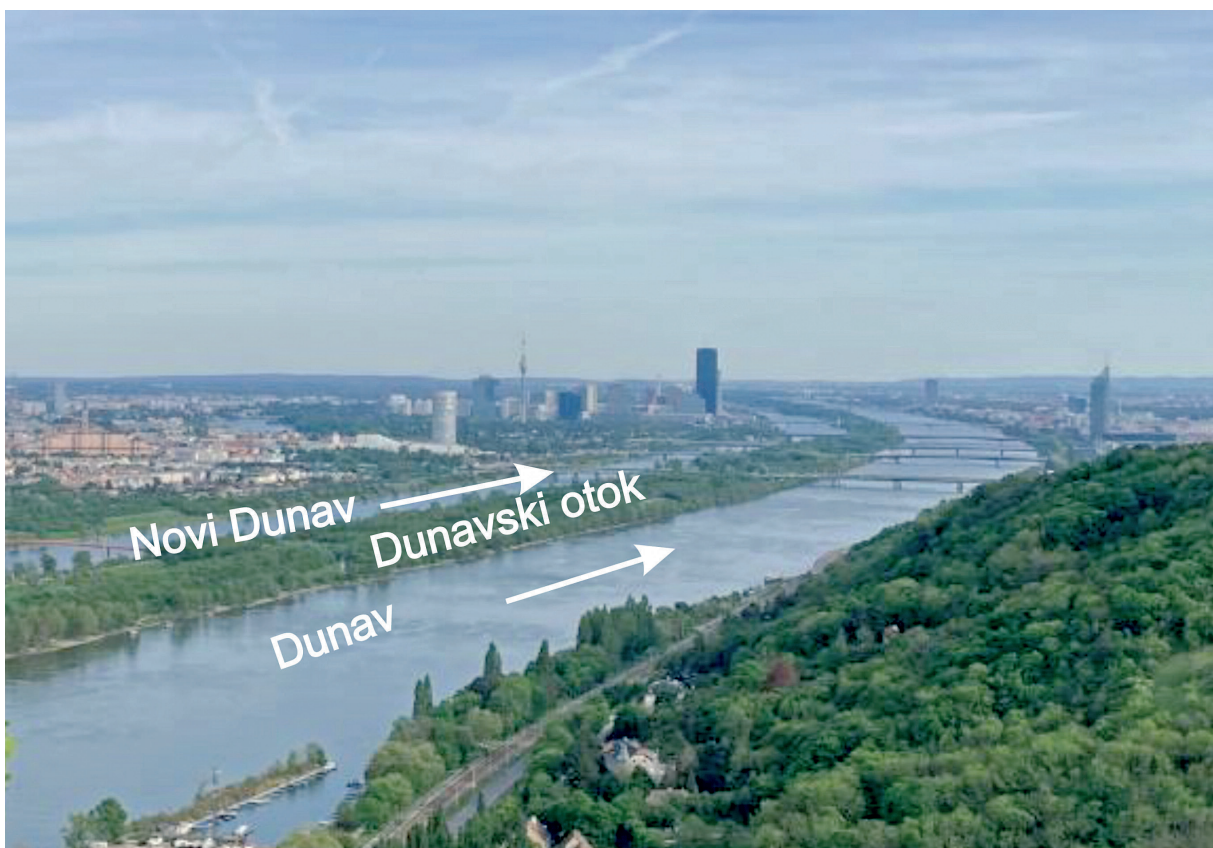
Slika 5: Regulacijski radovi vršeni na Dunavu u okolici Beča u razdoblju od 1826. do 1988.

velika sredstva u zaštitu od poplava, posebice nakon razornih poplava koje su se pojavile 2002. i 2013. godine.

Na slici 4 nalazi se karta središnjeg dijela grada Beča na kojoj su vidljivi svi dijelovi sustava obrane od poplave vodama Dunava: Dunavski kanal, Dunav, Dunavski otok, Novi Dunav i Stari Dunav. Gradski sustav obrane od poplava, razvijen u razdoblju od 1870-ih do 1970-ih, dizajniran je da propusti protok od 14.000 m³/s. Na slici 5 prikazani su regulacijski radovi vršeni na Dunavu u okolici Beča u razdoblju od 1826. do 1988. Tijekom prolaska ciklona Boris maksimalni protok Dunava u Beču iznosio je oko 10.000 m³/s. Ključne komponente sustava uključuju Novi Dunav za kontrolu poplava na Dunavu i Dunavski otok, koji pomažu u upravljanju viškom vode (slika 6). Novi Dunav je zatvoren branama, formirajući jezero. Brane se otvaraju prije očekivane poplave, omogućujući njegovom koritu da prihvati vodu koja nadolazi tijekom nekoliko dana. Na taj se način smanjuje protok u glavnom koritu Dunava.

Poplave koje su se u Austriji pojavile 2002. prouzročile su štetu od 3 milijarde eura. Austrija je zbog toga uložila oko 60 milijuna eura godišnje u zaštitu od poplava, što je rezultiralo značajnim smanjenjem šteta. Kao rezultat poboljšanih mjera, štete od poplava koje su se pojavile 11 godina kasnije, bile su znatno manje te su procijenjene na 0,9 milijardi eura.

Međutim, izazovi i dalje postoje jer urbanizacija kao i smanjenje retencijskih (prirodno plavljenih) prostora povećavaju rizike unatoč postojećim mjerama zaštite, prije svega izgradnji nasipa. Naselja se i dalje intenzivno



Slika 6: Fotografija na kojoj su snimljeni korita Dunava i Novog Dunava te Dunavski otok

grade u poplavnim nizinama zaštićenim nasipima jer njihova izgradnja navodi stanovnike da podcjenjuju rizike od poplava. Na planetarnoj razini oko 2 milijarde ljudi živi u poplavnim područjima, a svijest o rizicima od poplava koja se desila s prolaskom vremena vrlo brzo blijedi (Blöschl i sur. 2015).

Za učinkovito upravljanje poplavama neophodna je temeljita priprema. U Austriji su precizne prognoze i vježbe upravljanja poplavama spasile živote tijekom nedavne poplave, ne samo u Beču nego i diljem zemlje. Značajnu ulogu su odigrale precizne prognoze o tome gdje su nasipi suočeni s rizikom od proboja i gdje su potrebne evakuacije. To se osobito odnosi na područje Donje Austrije, koja je bila ozbiljno pogođeno olujom Boris. Sustav za predviđanje poplava, koji je razvilo Tehničko Sveučilište u Beču (TU Wien), bio je od velike koristi tijekom ove poplavne epizode.

U St. Pöltnu je tijekom tri dana palo ukupno 350 mm oborina, što je gotovo dvostruko više od 100-godišnje količine oborina. Kao posljedica toga u nekim manjim bujičnim potocima u Donjoj Austriji vršni su protoci bili skoro tri puta viši od procijenjenih 100-godišnjih protoka. To je najbolje moguće uočiti na primjeru Perschlinga, malog bujičnog vodotoka u blizini St. Pöltena. Na njemu se pojavio vršni protok od 276 m³/s sa slivnog područja od samo 55 km². Proračunima je definirana vrijednost njegovog 100-godišnjeg protoka u iznosu od 108 m³/s, a do sada je najveći zabilježeni protok iznosio 102 m³/s. Pri tome treba imati na umu da u kolovozu gotovo da nije bilo oborina, što je rezultiralo suhim tlom. Ekstremne oborine uzrokovale su formiranje dramatičnih bujičnih tokova, tj. naglih poplava (*flash flood*) u lokalnim vodotocima, uzrokujući značajne štete. Razaranja i štete su znatno povećani uslijed formiranja muljnih tokova koje je nosila poplavna voda.

Poplave koje su se pojavile 2024. kao posljedica oluje Boris pokazale su koliko u praksi zaštita od poplava može biti učinkovita korištenjem retencija kod manjih vodotoka i nasipa kod onih većih. Bitno je shvatiti da oni svoju ulogu vrše samo do određene razine protoka. Nakon što poplave prijeđu ovu razinu, neophodno je evakuirati stanovništvo.

Ove najnovije ekstremne poplave utjecale su i na realnije shvaćanje učinkovitosti sustava obrane od poplava temeljenih na prirodi i usmjerenih prema tzv. zelenim rješenjima. Radi se o obnavljanju prirodnih plavljenih prostora. Tu su uključene mjere poput obnove močvara i prirodnih korita rijeka, ponovnog povezivanja poplavnih nizina, zelenih krovova i pošumljavanja. Oni pružaju ekološke i estetske prednosti, ali njihova je učinkovitost u gospodarenju vodom nijansirana i vrlo različite učinkovitosti u svakom pojedinom slivu. Prednosti uključuju pojačano obnavljanje podzemne vode kroz propusne pločnike u urbanim područjima i smanjenje rizika od klizišta i lavina putem pošumljavanja padina. Iako se rješenja temeljena na prirodi često hvale kao sredstva za ublažavanje ekstremnih regionalnih poplava, treba biti svjestan činjenice da je njihova

učinkovitost ograničena.

Iskustvo iz Austrije pokazuje da bi obnova rijeke i zeleni krovovi imali zanemariv utjecaj na poplavu u rujnu 2024. budući da je njihov dodatni kapacitet infiltracije minimalan u usporedbi s količinama oborina koje su pale tijekom te epizode.

Bitno je da se ove katastrofalne poplave uzrokovane olujom Boris što detaljnije izuče jer se učinkovitost borbe protiv budućih poplava treba zasnivati na stjecanjima iskustava uzrokovanih događajima iz prošlosti. To je jedini ispravni put za uočavanje grešaka koje su bile rađene tijekom prošlih događaja.

Prilagodnost na pojave poplava je ključna jer studije pokazuju da klimatske promjene dovode do intenzivnijih oluja i poplava u određenim europskim regijama (Blöschl i sur. 2019). Ljeto 2024. bilo je jedno od najtoplijih zabilježenih u svijetu i u Europi, a Sredozemno more doseglo je vrlo visoke temperature površine mora. Ova neobična toplina omogućila je oluji Boris da preuzme više energije i vlage, povećavajući intenzitet oluje. Osim toga, sjeverna Europa iskusila je povećane poplave zbog pomaka prema sjeveru u globalnim obrascima padalina, potaknutih promjenom sustava tlaka između Arktika i ekvatora. Brzo zagrijavanje Arktika, uzrokovano topljenjem leda, smanjuje refleksiju i povećava apsorpciju sunčeve svjetlosti, pridonoseći ovom trendu.

Zemlje sjeverno od Alpa, uključujući Austriju, Njemačku i Francusku, doživjele su porast poplava u posljednjih 30 godina. Blöschl i sur. (2020) ustanovili su da je ovo razdoblje jedno od najpogođenijih poplavama u Europi u posljednjih 500 godina. Razorne europske poplave koje su se pojavile 2021. godine odnijele su više od 200 života i uzrokovale ogromne štete. Ukazale na neophodnost poboljšanja pripravnosti na njihovo sve češće i sve razornije pojavljivanje. Poplava 2024. također ilustrira neadekvatnost oslanjanja samo na statističke metode za procjenu opasnosti od poplava od ekstremnih događaja.

Bertola i sur. (2023) naglašavaju da je za bolje upravljanje poplavama neophodno kombinirati pristupe temeljene na analizi prirodnih procesa i korištenju statističkih metoda, zajedno s procjenama povijesnih podataka o poplavama. Spomenuta studija ukazala je da bi intenzivnija razmjena prekograničnih iskustava s poplavama mogla biti ključna za europske zemlje kako bi poboljšale spremnost za nalaženje učinkovitijih odgovora na sve ekstremnije vremenske prilike. Analize objavljene u ovom članku otkrile su da se 95,5 % povijesnih megapoplava moglo predvidjeti na temelju prošlih pojava u sličnim regijama. Studija je naglasila da, iako su megapoplave rijetke u određenim zemljama, one su češće diljem Europe. Ta činjenica ukazuje da je moguće očekivati takve lokalne poplave i tamo gdje se do sada nisu pojavile.

S obzirom na to da jedan od osam Europljana živi u područjima potencijalno sklonim poplavama, modeli koji predviđaju povećanje ekstremnih oborina u

sjeverozapadnoj Europi sugeriraju da će se ovaj trend vrlo vjerojatno nastaviti, a možda i intenzivirati (<https://blogs.egu.eu/geolog/2024/09/26/september-2024-flooding-in-central-europe-the-austrian-experience/>).

Iskustvo Austrije definitivno je potvrdilo da se učinkovita borba protiv poplava mora voditi kontinuirano i tijekom sljedeće četiri etape:

1) **Znatno prije pojave poplava.** U razdoblju kad ih nema, treba provoditi strukturne, ali i nestrukturne preventivne mjere.

2) **Neposredno prije nailaska poplavnog vala** ključnu ulogu treba odigrati prognoza i sustav ranog uzbunjivanja.

3) **Tijekom pojave same katastrofe** neophodno je pružiti najintenzivniju potporu ugroženim područjima i stanovništvu. U toj se etapi vrše žurne akcije za ublažavanje negativnih posljedica koje su upravo tada kritične.

4) **U razdoblju koje nastupa poslije katastrofe** obnavljaju se srušeni objekti, rehabilitiraju ljudski i prirodni resursi te se poduzimaju djelatnosti za stvaranje novih i učinkovitijih preventivnih mjera koje odgovaraju specifičnim uvjetima. Da bi se ti ciljevi mogli

ostvariti, bitno je detaljno izučiti sve aspekte poplave, kako one klimatološko-hidrološke tako i one vezane uz učinkovitosti i funkcioniranje sustava tijekom katastrofe.

I da se zaključi (Bonacci 2017):

1) Raspoloživi mjereni podaci o poplavama su nedostadni, što predstavlja bitnu prepreku za učinkovitije upravljanje poplavama.

2) Mjere zaštite koje se poduzimaju su katkad kontraproduktivne. One mogu rezultirati većim štetama od onih koje se javljaju da nisu poduzete.

3) Različite vrste poplava koje se javljaju u različitim sredinama (prirodnim i društvenim) zahtijevaju različite mjere zaštite. Slijepo i nekritičko prenošenje tuđih iskustava može uzrokovati više štete nego biti od koristi.

4) Treba se suočiti s definitivnim zaključkom da ne postoji sustav obrane od poplava koji garantira apsolutnu sigurnost.

5) Istovremeno treba shvatiti da poplave donose i brojne koristi osobito za ekološku varijabilnost, plodnost tla i prihranjivanje podzemnih voda. Treba naći rješenje da ih se što bolje iskoristi.

6) Koncept nazvan "Živjeti s poplavama" potrebno je prihvatiti i primijeniti u praksi (ali kako?!). ■

LITERATURA

Bertola, M.; Blöschl G.; Bohac, M.; Borga, M.; Castellarin, A.; Chirico, G. B.; Claps, P.; Dallan, E.; Danilovich, I.; Ganora, D.; Gorbachova, L.; Ledvinka, O.; Mavrova-Guirguinova, M.; Montanari, A.; Ovcharuk, V.; Viglione, A.; Volpi, E.; Arheimer, B.; Aronica, G. T.; Bonacci, O.; Čanjevac, I.; Csik, A.; Frolova, N.; Gnanndt, B.; Gribovski, Z.; Gül, A.; Günther, K.; Guse, B.; Hannaford, Jamie; Harrigan, Shaun; Kireeva, Maria; Kohnová, Silvia; Komma, J.; Kriauciuniene, J.; Kronvang, B.; Lawrence, D.; Lüdtke, S.; Mediero, L.; Merz, B.; Molnar, P.; Murphy, C.; Oskoruš, D.; Osuch, M.; Parajka, J.; Pfister, L.; Radevski, I.; Sauquet, E.; Schröter, K.; Šraj, M.; Szolgay, J.; Turner, S.; Valent, P.; Veijalainen, N.; Ward, P. J.; Willems, P.; Živković, N. 2023. Megafloods in Europe can be anticipated from observations in hydrologically similar catchments. *Nature Geoscience*. 16: 982–988. DOI: 10.1038/s41561-023-01300-5.

Blöschl, G.; Gaál, L.; Hall, J.; Kiss, A.; Komma, J.; Neste, T.; Parajka, J.; Perdigão, R. A. P.; Plavcová, L.; Rogger, M.; Salinas, J. L.; Viglione, A. 2015. Increasing river floods: fiction or reality? *WIREs Water*. 2(4). 329–344. DOI:10.1002/wat2.1079.

Blöschl, G.; Hall, J.; Parajka, J.; Perdigão, R. A. P.; Merz, B.; Arheimer, B.; Aronica, G. T.; Bilibashi, A.; Bonacci, O.; Borga, M.; Čanjevac, I.; Castellarin, A.; Chirico, G. B.; Claps, P.; Frolova, N.; Gorbachova, L.; Gul, A.; Hannaford, J.; Harrigan, S.; Kireeva, M.; Kiss, A.; Kjeldsen, T. R.; Kohnová, S.; Koskela, J. J.; Ledvinka, O.; Macdonald, N.

Mavrova Guirguinova, M.; Mediero, L.; Merz, R.; Molnar, P.; Montanari, A.; Murphy, C.; Osuch, M.; Ovcharuk, V.; Radevski, I.; Salinas, J. L.; Sauquet, E.; Šraj, M.; Szolgay, J.; Viglione, A.; Volpi, E.; Wilson, D.; Zaimi, K.; Živković, N. 2019. Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*. 573 (7772): 108–111. DOI:10.1038/s41586-019-1495-6.

Blöschl, G.; Kiss, A.; Viglione, A.; Barriendos, M.; Böhm, O.; Brázdil, R.; Coeur, D.; Demarée, G.; Llasat, M. C.; Macdonald, N.; Retsö, D.; Roald, L.; Schmockler-Fackel, P.; Amorim, I.; Bělinová, M.; Benito, G.; Bertolin, C.; Camuffo, D.; Cornel, D.; Doktor, R.; Elleder, L.; Enzi, S.; Garcia, J. C.; Glaser, R.; Hall, J.; Haslinger, K.; Hofstätter, M.; Komma, J.; Limanówka, D.; Lun, D.; Panin, A.; Parajka, J.; Petrić, H.; Rodrigo, F. S.; Rohr, C.; Schönbein, J.; Schulte, L.; Silva, L. P.; Toonen, W. H. J.; Valent, P.; Waser, J.; Wetter, O. 2020. Current European flood-rich period exceptional compared with past 500 years. *Nature*. 583 (7817): 560–566. DOI:10.1038/s41586-020-2478-3.

Bonacci, O. 2017. Floods: new concepts emerge – old problems remain. U: *WMHE 2017 – 15th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering* (ur. Bekić, D.; Carević, D.; Vouk, D.). Građevinski fakultet. Zagreb. 19–26.

<https://blogs.egu.eu/geolog/2024/09/26/september-2024-flooding-in-central-europe-the-austrian-experience/> (pristupljeno 20. listopada 2024.)

