

41. Goljevščkov spominski dan v znamenju ukrepov za prilagajanje podnebnim spremembam

Udeležence je v imenu Oddelka za okoljsko gradbeništvo (OOG) na FGG najprej toplo pozdravila **izr. prof. dr. Nataša Atanasova** in uvodoma izpostavila dosežke oddelka v zadnjem letu. Tako letos v okviru nacionalnega Načrta za okrevanje in odpornost (NOO) zaključujejo projekte, preko katerih posodablajo študijske programe ter opremo v duhu digitalizacije in zelenega prehoda. Na OOG so posodobili laboratorij za mehaniko tekočin ter pričeli z vzpostavitvijo digitalnega dvojčka stavbe z namestitvijo senzorjev, s katerimi beležijo podatke z namenom optimizacije porabe energije, izboljšanja kakovosti bivanja v stavbi ter zbiranja okoljskih podatkov. Prav tako posodablajo kemijski laboratorij, kupujejo sodobno opremo ter načrtujejo gradnjo pilotnih sistemov, kot bosta npr. deževna vrtova z dotokom vode s strehe in s parkirišča, s katerima bodo spremljali učinkovitost čiščenja padavinske vode. Začetek gradnje poligona deževnih vrtov na OOG je predviden v mesecu maju 2025.



41. Goljevščkov spominski dan je potekal v prostorih UL FGG v Ljubljani.



Slika 2: Udeležence sta uvodoma pozdravili dr. Tanja Prešeren, direktorica Hidroinštituta (na levi) in izr. prof. dr. Nataša Atanasova, predstojnica Oddelka za okoljsko gradbeništvo. (foto: arhiv FGG)

Besedo je predala še direktorici Hidroinštituta **dr. Tanji Prešeren**, ki je prav tako izpostavila problematiko pomanjkanja kadrov (inženirjev hidrotehnične stroke) na inštitutu, ki sicer letos praznuje že 88. let svojega delovanja. Na inštitutu še vedno uspešno postavljajo fizične hidravlične modele, kar jim zagotavlja kontinuiteto, poslužujejo pa se tudi hibridnega modeliranja. V zadnjih dveh letih so z Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in inovacije (MVZI) prejeli sredstva za investicijsko vzdrževanje, s katerimi bodo poskrbeli za prenovo prostorov v njihovi stavbi, ki datira v leto 1948, kar jim bo omogočilo nadaljnje uspešno delo.

V nadaljevanju so sledili trije sklopi predavanj, in sicer prvi na temo metodologij in inovativnih rešitev, drugi na temo meritev in modeliranja procesov, tretji pa na temo urbanega vodnega kroga.

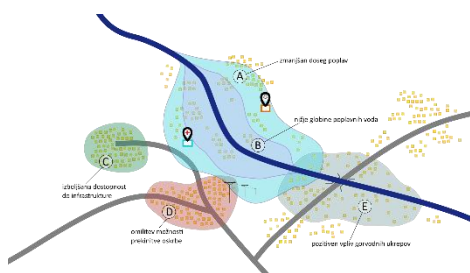
Udeležencem so zatem predstavili še prejemnici **Goljevščkovih nagrad za najboljše zaključni deli za leto 2024**. Prejeli sta ju **Laura Rant** za modeliranje evtrofikacije Blejskega jezera, in **Agata Pivk**, ki je pripravila analizo erozijske nevarnosti poplavnih površin z uporabo 2D hidravličnega modela premeščanja sedimentov.

Zakaj na FGG obeležujejo Goljevščkov spominski dan? Milovan Goljevšček (1901–1981) je bil vrhunski slovenski strokovnjak za hidrotehniko in izkoriščanje vodnih virov. Na tedanji Tehniški fakulteti v Ljubljani (predhodnici FGG) je iz geodezije in gradbeništva diplomiral leta 1927, po letu 1931 pa tu sprva deloval kot asistent, nato predavatelj, docent in vodja Inštituta za vodne zgradbe. V letu 1943 je doktoriral iz tehničnih znanosti z disertacijo s področja hidravlike, leta 1948 pa postal redni profesor. Do svoje upokojitve leta 1975 je pomembno sooblikoval hidrotehnično stroko v Sloveniji in v tedanji skupni državi Jugoslaviji. Bil je ključni pobudnik in organizator prenove in razvoja Vodogradbenega laboratorija v Ljubljani, prve raziskovalne ustanove s tega področja v nekdanji državi (današnji Hidroinštitut). Pod njegovim vodstvom so razvili sodobne laboratorijske zmogljivosti za hidravlične preiskave, kar je omogočilo vrhunske raziskave in podporo pri načrtovanju hidroenergetskih objektov po vsej Jugoslaviji. Goljevšček je bil avtor številnih znanstvenih razprav in knjig, sodeloval je na domačih in mednarodnih kongresih ter bil aktiven član različnih strokovnih komisij. Prejel je številna priznanja, med drugim Prešernovo nagrado (1949), Red dela I. in II. stopnje, nagrado Sklada B. Kidriča ter Red republike s srebrnim vencem.



Slika 3: Kartiranje območij rečne erozije (vir: izr. prof. dr. Sašo Petan, FGG)

I. METODOLOGIJE IN INOVATIVNE REŠITVE



Predavatelji prvega sklopa so predstavili metodologije in inovativne rešitve: **Matej Sečnik** s Fakultete za strojništvo je predstavil HEU projekt H-HOPE, v okviru katerega poteka razvoj sistemov za pridobivanje skrite vodne energije, **izr. prof. dr. Simon Rusjan** (FGG) pa razvoj metodologije za oceno razvitosti erozijskih procesov in kartiranje erozijske nevarnosti na območjih celinskih voda in morja. Zadnje

predavanje je v tem delu prispevala **dr. Tanja Prešeren** (Hidroinštitut), ki je prikazala metodologijo izkazovanja prispevka projekta k zmanjševanju poplavne ogroženosti.

Razvoj inovativnih sistemov za pridobivanje skrite vodne energije

Matej Sečnik je poudaril, da so podnebne spremembe pokazale potrebo po obnovljivih virih energije ter zmanjšanih emisijah in porabi. Zato so se v projektu H-HOPE lotili razvoja nove hidroenergetske rešitve, ki bo lahko izrabljala energijo iz doslej še neizrabljenih virov: potokov, cevni sistemov in odprtih kanalov. Naprava za izkoriščanje kinetične energije vodnega toka v odprtih kanalih izkorišča pojav vrtnčastih tokov - von Karmanovih vrtincev, in deluje že pri majhnih hitrostih toka (že od 0,5 m/s naprej), najvišji izkoristek naprave pa znaša približno 7 %. Izdelana je na način "naredi sam" in z metodo 3D tiska. S tem projektom želijo spodbuditi mlade, da postanejo aktivni udeleženci prehoda na zeleno energijo.



Razvoj metodologije za oceno razvitosti erozijskih procesov in kartiranje erozijske nevarnosti na območjih poplavljanja celinskih voda in morja



Sodobni pristopi k obvladovanju poplavnih tveganj naj bi kot pomemben element ocenjevanja poplavne nevarnosti vključevali tudi presojo potencialne razvitosti rečnih erozijskih procesov. Med poplavnim dogodkom avgusta 2023 so bili prav intenzivni erozijski procesi eden glavnih vzrokov za obsežno škodo. V številnih praktičnih primerih analiz poplavne nevarnosti se pojavljajo težave pri ocenjevanju pričakovanega prostorskega obsega in intenzivnosti rečne erozije, ki je opisana kot kombinacija procesov globinske in bočne erozije na območjih strug

vodotokov in procesov odplavljanja ter odlaganja erodiranega materiala na poplavnih območjih. **Izr. prof. dr. Simon Rusjan** je v prispevku predstavil nekatere rezultate ciljnega raziskovalnega projekta, katerega osnovni cilj je razvoj metodologije za analizo potencialne razvitosti rečnih erozijskih procesov ter erozije obale morja. Namen predlagane metodologije je omogočiti izboljšano ocenjevanje in kartiranje območij erozijske nevarnosti zaradi poplavljanja celinskih voda in morja. To bo doseženo z vključevanjem razpoložljivih terenskih podatkov o erozijskih procesih, analizo zgodovinskih hidromorfoloških podatkov ter uporabo rezultatov hidravličnega modeliranja. Predstavil je tudi nekatere tuje pristope k ocenjevanju in vrednotenju rečne erozije ter primere preizkusa metodologije (od enostavnejših do zahtevnejših analiz) na izbranih testnih območjih.

Metodologija izkazovanja prispevka projekta k zmanjševanju poplavne ogroženosti

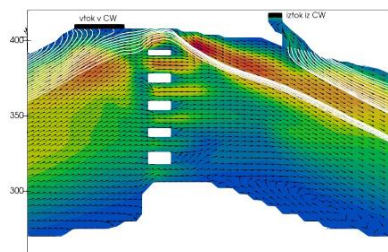


Dr. Tanja Prešeren je predstavila metodologijo, s katero je mogoče oceniti, koliko prebivalcev in katera območja bi imela korist od predvidenih protipoplavnih ukrepov, ter prikazala praktični primer njene uporabe. Metodologija temelji na zanesljivih podatkih in jasnih merilih ter omogoča, da načrtovalci na sistematičen način ocenijo, komu bodo ti ukrepi pomagali. Pri tem uporabljajo prostorske podatke in primerjajo stanje pred in po izvedbi ukrepov. Pri tem se upoštevajo različni dejavniki, kot so: koliko se zmanjša obseg poplav, ali se izboljša dostop do

pomembne infrastrukture, ali se zmanjša možnost, da bi bile motene ključne storitve (npr. oskrba z vodo, elektriko), ali ukrepi ugodno vplivajo tudi na območja nižje ob reki (dolvodno). Na podlagi teh analiz se določi, koliko ljudi ima koristi od ukrepov in na katerih območjih se te koristi pojavljajo – bodisi neposredno (npr. zaščita doma) ali posredno (npr. boljša prometna dostopnost).



II. MERITVE IN MODELIRANJE PROCESOV



Predavatelji drugega sklopa so predstavili meritve in modeliranje procesov: **Marko Blagojevič** je predstavil raziskavo, ki preučuje zmožnost modeliranja hidravličnih razmer na sotočju dveh deročih tokov za napovedovanje položaja vodne gladine v super kritičnih pogojih z uporabo računalniške dinamike tekočin (RDT). Analizo odstopanj zabeleženih pretokov v verigi HE na Soči je predstavil **mag. Primož Rodič**, o izpustih

hladilne vode iz krške nuklearke in toplotnih procesih v akumulaciji HE Brežice pa je prispevek pripravil **zaslužni profesor dr. Rudi Rajar** (FGG).

3D numerične simulacije kompleksnih hidravličnih razmer na sotočju dveh deročih tokov



Raziskava se ukvarja z računalniškim modeliranjem toka vode, natančneje z napovedovanjem višine vodne gladine, ko se združita dva hitro tekoča (deroča) vodna toka. V takih primerih so pogoji superkritični, kar pomeni, da je voda zelo hitra in se obnaša zelo dinamično – težje jo je natančno simulirati. **Marko Blagojevič** je pojasnil, da so za modeliranje uporabili metodo RDT, kar pomeni, da so s pomočjo računalnika simulirali, kako se voda giblje. Pri tem so uporabili dva različna modela za turbulentno gibanje vode: $k-\omega$ SST – običajen model za

turbulence, in $k-\omega$ SST SAS – naprednejši model, ki se bolje prilagaja različnim skalam (velikostim) tokov. Poleg tega so uporabili dva večfazna modela: VOF (Volume of Fluid) – model, ki sledi površini med vodo in zrakom, in Mixture – model, ki obravnava zrak in vodo kot mešanico. Rezultate simulacij so primerjali z dejanskimi meritvami, opravljenimi z metodo LIDAR, ki z laserskim skeniranjem zaznava površino vode. Ugotovili so, da so računalniške simulacije (RDT) v povprečju dobro ujele višino vodne gladine, podobno kot jo je izmeril LIDAR. Vsaka metoda pa ima tudi svoje pomanjkljivosti: RDT simulacije ne morejo zaznati zelo majhnih vrtincev in zračnih mehurčkov, ker so ti premajhni za mrežo, ki jo uporablja računalniški model, LIDAR meritve pa ne morejo meriti pod vodno gladino, imajo pa tudi mrtve kote in omejen doomet. Najboljši rezultati (najbolj podobni LIDAR meritvam) so bili doseženi z modelom $k-\omega$ SST v kombinaciji z VOF.

Analiza neskladja zabeleženih pretokov v verigi HE na Soči

Kot je povedal **mag. Primož Rodič**, so v raziskavi obravnavali težave pri merjenju pretokov reke Soče med posameznimi hidroelektrarnami (HE Solkan, HE Plave in HE Doblar). Pri primerjavi visokih vodostajev so opazili, da so med elektrarnami nastajala velika odstopanja v izmerjenih pretokih, ki jih ni bilo mogoče pojasniti s fizikalnimi razlogi – zato so bila potrebna dodatna preverjanja in izboljšave.

Za analizo so zbrali vse obstoječe pretočne krivulje za omenjene elektrarne. Nato so izvedli hidravlično presojno in volumsko analizo 55 visokovodnih valov, zbranih od leta 2013 naprej. Na podlagi teh analiz so, kjer je bilo potrebno, predlagali popravke parametrov pretočnih krivulj in načinov obratovanja elektrarn, da bi dosegli bolj natančne meritve pretokov, bolj usklajeno razmerje med posameznimi stopnjami hidroelektrarn, ter skladnost z dejansko razporeditvijo prispevnih površin.



Verifikacija simulacij toplotnih procesov pri Nuklearni elektrarni Krško



Zasluzni profesor dr. Rudi Rajar je uvodoma pojasnil, da pri izpustu hladilne vode iz Nuklearne elektrarne Krško (NEK) velja ekološki pogoj, da se temperatura vode v akumulaciji HE Brežice zaradi delovanja elektrarne ne sme zvišati za več kot 3 °C. Da to zagotovijo, s pomočjo toplotne bilance izračunavajo dovoljeni vnos toplote v vodo, obenem pa stalno merijo temperaturo na iztoku iz akumulacije – pri spodnji vodi HE Brežice. Vendar so tam občasno zaznali bistveno višjo temperaturo, kot bi jo pričakovali. Da bi ugotovili vzroke za to "toplotno anomalijo", so izvedli

podrobne meritve temperature na različnih mestih v bazenu, in sicer pri stabilnih obratovalnih pogojih ter leta 2024 tudi med nenadnimi spremembami pretoka v akumulaciji. Numerične simulacije pri teh pogojih so razkrile, da so v poletnih mesecih temperature v akumulaciji zelo neenakomerno porazdeljene. Posledično se lahko na merilni točki občasno pojavijo višje temperature od povprečnih. Možni vzroki za ta pojav so lokalni močni vetrovi, nagle spremembe pretoka na HE Brežice ali neenakomerno sončno sevanje. NEK z upoštevanjem vseh navedenih ugotovitev skuša zagotoviti način obratovanja, ki ne bo povzročal toplotne anomalije.

III. URBANI VODNI KROG



Predavatelji tretjega sklopa so se posvetili urbanemu vodnemu krogu: **Mark Bryan Alivio** je najprej predstavil študijo o tem, kako učinkovito posamezne vrste dreves v mestnem okolju vplivajo na odvodnjo padavinske vode. **Izr. prof. dr. Nataša Atanasova** je predstavila vlogo zelenih sten v urbanih okoljih, zlasti z vidika uporabe sive vode, **asist. dr. Matej Radinja** pa je kot del vseživljenjskega izobraževanja v skladu z EU priporočili predstavil uvedbo *mikrodokazil* na Univerzi v Ljubljani, namenjenih implementaciji interdisciplinarnega pristopa pri načrtovanju odprtih in zelenih javnih površin v korelaciji z modro-zeleno infrastrukturo.

Kako mestna drevesa prispevajo k obvladovanju padavinske vode?



Mestna drevesa pomembno prispevajo k upravljanju padavinske vode, saj padavine usmerjajo v različne komponente hidrološkega cikla. Kot je pojasnil **Mark Bryan Alivio**, so v tej študiji ocenili potencial zmanjšanja odtoka padavinske vode pri dveh vrstah mestnih dreves - brezi (*Betula pendula* Roth.) in črnem boru (*Pinus nigra* Arnold) v treh scenarijih (breza, bor, mešani nasad vrst) za posamezne padavinske dogodke z uporabo izboljšane modela SWMM z novo dodanim modulom za krošnje dreves.

Postopek prestrezanja padavin, implementiran v posodobljenem modelu SWMM, je učinkovito zajel dinamiko prepuščanja padavin skozi krošnjo in po deblu pri obeh vrstah dreves v različnih fenoloških obdobjih. Scenarij z mešanim nasadom dreves se je izkazal za učinkovitejšega pri zmanjševanju tako prostornine odtoka kot koničnega pretoka padavinske vode (za 20–25 %) v primerjavi s scenarijema nasadov posameznih vrst. Analiza vodne bilance je dodatno poudarila prispevek prestrezanja padavinske vode v krošnjah h koristim zmanjševanja odtoka, ki jih prinašajo mestna drevesa. Ti izsledki poudarjajo širšo vrednost vključevanja raznolikih drevesnih vrst v zelene mestne ukrepe.

Čiščenje in ponovna uporaba sive vode v različnih tipih zelenih sten

Zelene stene vse bolj pridobivajo pozornost zaradi svoje estetske vrednosti ter večnamenske uporabe pri blaženju učinka urbanega toplotnega otoka in hrupa, čiščenju zraka in spodbujanju biotske raznovrstnosti. Zelene stene se pogosto namakajo s pitno vodo, nekatere pa so zasnovane kot sistemi za čiščenje sive vode. Siva voda, ki nastaja pri vsakodnevni rabi v gospodinjstvih (npr. pri umivanju, prhanju, pranju perila ali pomivanju), lahko kot zanesljiv in stalen vir pri nekaterih uporabah nadomesti deževnico ali pitno vodo.



Izr. prof. dr. Nataša Atanasova je pojasnila, da so na FGG v tej študiji proučevali delovanje običajne okrasne zelene stene, ki se namaka s sivo vodo, in jo primerjali z zeleno steno, zasnovano za čiščenje sive vode. Spremljali so stresni odziv rastlin v okrasni steni ter učinkovitost odstranjevanja onesnaževal. Rezultati kažejo, da lahko siva voda podpira rast rastlin brez izrazitega stresa. Tako okrasna kot funkcionalna stena, namenjena čiščenju sive vode, sta v prvih 6 mesecih učinkovito odstranjevali ključna onesnaževala iz sive vode. Prispevali sta k zmanjšanju vsebnosti organskih snovi (KPK, BPK), hranil (dušikovih spojin $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$) ter čistilnih kemikalij oz. detergentov iz gospodinjstev (anionskih surfaktantov) v sivi vodi. Raziskava poudarja potencial ponovne uporabe sive vode v mestni zeleni infrastrukturi ter njen prispevek k zmanjševanju okoljskega vpliva in ohranjanju vodnih virov.

Mikrodokazilo: Implementacija modro-zelene infrastrukture v načrtovanje in oblikovanje prostora

Slovenska naselja in mesta še niso dovolj odporna na ekstremne vremenske dogodke in močno zaostajajo za nekaterimi evropskimi mesti, kjer modro-zelena infrastruktura (MZI) že predstavlja sestavni del sistemskih rešitev. Zaostanek je posledica pomanjkanja celovitega in informiranega odziva s strani odločevalcev ter izrazitega primanjkljaja strokovnih kapacitet za implementacijo MZI.

Asist. dr. Matej Radinja je pojasnil, da uspešna uvedba tovrstne infrastrukture zahteva interdisciplinaren pristop, ki vključuje znanja s področij vodarstva, prostorskega načrtovanja, krajinske arhitekture ter okoljskih procesov in tehnologij. Obstoječi izobraževalni sistem v Sloveniji zaenkrat še ne ponuja tovrstnih znanj v celoviti in povezani obliki. Zato je bil v okviru projekta *UL za trajnostno družbo – ULTRA* zasnovan in izveden program **mikrodokazila »Implementacija modro-zelene infrastrukture v načrtovanje in oblikovanje prostora«**.



Omenjeni tečaj je bil tako namenjen spodbujanju interdisciplinarnega pristopa pri načrtovanju odprtih in zelenih javnih površin v povezavi z elementi MZI. Prva izvedba (2024) je pokazala velik interes in pozitiven odziv udeležencev iz različnih strok in sektorjev, kar potrjuje dolgoročno potrebo po izvajanju tovrstnih programov ter po vključevanju vsebin s področja MZI v obvezne kurikulumne na terciarni ravni izobraževanja. Druga izvedba bo letos (2025) potekala v dveh sklopih (spomladi in jeseni).

Mikrodokazilo je potrdilo o pridobljenem znanju v okviru krajših izobraževalnih programov znotraj vseživljenjskega učenja. Namenjeno je dopolnilnemu učenju, ne nadomešča pa formalnih diplomskih in podiplomskih študijev. Uporabo mikrodokazil za krepitev zaposljivosti in spodbujanje interdisciplinarnih znanj spodbujata tako EU kot Univerza v Ljubljani (UL). UL je do danes potrdila več kot 80 mikrodokazil, vključno z mikrodokazilom na temo MZI, ki prinaša odgovor na izzive urbanizacije z naslavljanjem prilagajanja mest podnebnim spremembam.



Fotografije: arhiv FGG, 10. 4. 2025

V nadaljevanju je sledila zanimiva **okrogla miza** z naslovom **Izzivi pri prilagajanju upravljanja z vodami na podnebne spremembe** ([povezava](#)).