



SLOVENSKO DRUŠTVO
ZA MEHANIKO

Program srečanja
Kuhljevi dnevi 2026

Čatež, 16. - 18. september 2026

Sreda, 16. september 2026

18:30 – 20:00 Registracija udeležencev v hotelu **Terme Čatež**

20:00 – 22:00 Sprejemna pogostitev

Četrtek, 17. september 2026

7:30 – 8:25 Registracija udeležencev v hotelu **Terme Čatež**

8:25 – 8:30 Otvoritev srečanja: **prof. dr. Nenad Gubeljak**

8:30 – 9:30 Plenarno predavanje: **prof. dr. Marko Hočevar**
*Naslov: **Sedimentna erozija v vodnih turbinah***

9:30 – 10:50 Sekcija 1 A

Vodja sekcije: **prof. dr. Nenad Gubeljak**

- 9:30 M. Kegl, B. Harl, N. Gubeljak, J. Predan**
Uporaba konfiguracijskih sil pri izboljšavi mreže končnih elementov in optimizaciji oblike
- 9:50 L. Roblek, R. Kunc, A. Žerovnik, J. Korelc, L. Petrini**
Nova asimetrična funkcija za izboljšano modeliranje natezno-tlačne asimetrije in torzijskega odziva zlitin z oblikovnim spominom
- 10:10 T. Mušič, M. Česnik**
Ocena hitrosti poškodbe v dinamskem sistemu s kontaktno nelinearnostjo na podlagi frekvenčnih prenosnih funkcij s pomočjo 1D konvolucijske nevronske mreže
- 10:30 D. Fijavž, Ž. Žnidarič, S. Glodež, B. Nečemer**
Eksperimentalna analiza vpliva temperature na odpornost medicinskih katetrov proti prepogibanju in lokalni izgubi stabilnosti

10:50 – 11:10 Odmor

9:30 – 10:50 Sekcija 1 B

Vodja sekcije: **prof. dr. Jure Ravnik**

- 9:30 J. Wedel, N. Harl, P. Steinmann, M. Hriberšek, J. Ravnik**
Dinamika superelipsoidnih delcev v stensko omejeni turbulenci na osnovi DNS
- 9:50 J. Wedel, P. Steinmann, M. Hriberšek, J. Ravnik**
Viskoelastični mehki delci v enostavnem strižnem toku
- 10:10 M. Ramšak, T. Gomboc, M. Zadravec, J. Ravnik, G. Harih, A. Ličen, M. Hriberšek**
Numerična analiza pršilke za nos
- 10:30 I. Dominik Horvat, K. Vidjak, J. Wedel, J. Iljaž, B. Kamenik, D. Poljak, J. Ravnik**
Eksperimentalno podprto elektromagnetno-toplotno modeliranje segrevanja glave pri uporabi brezžičnih ušesnih slušalk

10:50 – 11:10 Odmor

11:10 – 12:30 Sekcija 2 A

Vodja sekcije: **prof. dr. Janko Slavič**

11:10 T. Hozjan, U. Rodman, S. Huč

Napovedovanje dolgoročnega obnašanja lesenega nosilca skozi celotno življenjsko dobo

11:30 T. Plavčak, D. Zupan

Ohranjanje energije in zagotavljanje zveznosti deformacijskih količin nelinearnih ravninskih nosilcev

11:50 M. Mir, B. Nečemer, J. Kaljun, A. Cupar, B. Hanželič, V. Plesec, G. Harih

Vpliv žarjenja na mehanske in geometrijske lastnosti 3D tiskanega PLA

12:10 F. Jerenec, M. Nishi, N. Novak, Z. Ren

Demonstracija postopka analize eksplozijskega vala pri avksetični zaščitni strukturi z uporabo Viper::Blast in LS-DYNA

12:30 – 14:00 Kosilo

11:10 – 12:30 Sekcija 2 B

Vodja sekcije: **prof. dr. Matjaž Hriberšek**

11:10 D. Godec, M. Hriberšek, J. Ravnik

Razvoj in validacija metode končnih volumnov za 3D model liofilizacije v viali

11:30 M. Založnik, B. Kamenik, M. Hriberšek, M. Zadravec

Numerična analiza vpliva procesnih parametrov na enakomernost zamrzovanja vial pri liofilizaciji s kontrolirano nukleacijo

11:50 N. Vovk, J. Wedel, S. Rustico, I. D. Horvat, B. Pulvirenti, P. Steinmann, J. Ravnik

Modeliranje vpliva izhlapevanja pri 3D CFD simulaciji segrevanja vlažne opeke v gospodinjski pečici

12:10 A. Roger, M. Fike

Meritev debeline mejne plasti na rotirajočem se disku v vodi z uporabo merilnega sistema LDA

12:30 – 14:00 Kosilo

14:00 – 15:20 Sekcija 3

Vodja sekcije: **prof. dr. Zoran Ren**

14:00 ***R. Petrovčič, M. Česnik, J. Slavič***

Temperaturna odvisnost parametrov utrujanja 3D-natisnjenih PEEK struktur

14:20 ***M. Zupan, J. Slavič***

3D-natisnjeni pametni metamateriali v enem procesu

14:40 ***A. Nikonov, B. Zupančič, M. Nagode, J. Klemenc***

Modalna analiza disperzije Lambovih valov v trislojnih plastovitih kompozitnih ploščah s kontrastnimi materialnimi lastnostmi slojev

15:00 ***P. Kočman, I. Planinc, B. Čas***

Točne uklonske sile večetažnih ter večpoljnih jeklenih ravninskih okvirjev

15:20 **Konec prispevkov prvega dne**

16:00 – 19:30 Izlet v Kostanjevico na Krki

20:00 – Slavnostna večerja

Petek, 18. september 2026

9:00 – 10:20 Sekcija 4

Vodja sekcije: **prof. dr. Nejc Novak**

9:00 T. Vrtač, D. Ocepek, G. Čepon

Hibridni pristop za tvorbo učnih podatkov za strojno učenje pri diagnostiki poškodovanosti spojev v sestavljenih konstrukcijah

9:20 Ž. Donik, F. Jerenec

Zasnova pacientu prilagojene nepokrite žilne opornice na podlagi geometrijske karakterizacije aorte

9:40 A. Rikić, M. Borovinšek

Poissonovo razmerje rotiranih vbočenih avksetičnih struktur

10:00 B. Glaser

Predstavitev projekta JEK2

10:20 – 11:20 Odmor s sekcijo posterjev

11:20 – 12:20 Sekcija 5

Vodja sekcije: **prof. dr. Dejan Zupan**

11:20 T. Hrovat, J. Urevc, M. Halilović

Razvoj simulacijskega okolja TimoLab za analizo odzivnih spektrov okvirnih konstrukcij

11:40 M. Motaln, T. Vuherer, T. Lerher

Kalibracija numeričnih modelov nekohezivnih praškov in sipkih trdnin

12:00 N. Novak, V. Skaza, O. Al-Ketan, M. Vesenjaj, Z. Ren

Numerično modeliranje mehanskega odziva stohastičnih TPMS-struktur, izdelanih z dodajalno tehnologijo in litjem

12:20 – 13:40 Kosilo

13:40 – Zaključek srečanja

Povzetek plenarnega predavanja

Plenarno predavanje: **prof. dr. Marko Hočvar**

Naslov: **Sedimentna erozija v vodnih turbinah**

Predavanje V Evropski uniji nam je uspelo povečati proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov iz 15 % (2005) na več kot 47 % (2025). Slovenija pri tem zaostaja (iz 34 % v 2005 na 40 % v 2025)¹. Vloga vodnih elektrarn v elektroenergetskem omrežju se pri tem spreminja, čeprav ostaja pomembna. Stoletje nazaj so zagotavljale pasovno energijo, danes pa predvsem vršno energijo, shranjevanje energije in fleksibilnost elektroenergetskega omrežja, npr. v povezavi z račjo krivuljo proizvodnje in porabe električne energije.

Število vodnih elektrarn in proizvodnja električne energije iz vodnih elektrarn v Evropski uniji ne naraščata. Razlog temu je, da je Evropska unija uveljavila več direktiv s področja varovanja okolja, predvsem Okvirne vodne direktive in Strategije Evropske unije za biotsko raznovrstnost. Novih vodnih elektrarn tako večinoma ni več mogoče umestiti v prostor, vsaka vodna elektrarna namreč močno spreminja tok reke in življenje v njej. Pomemben del vpliva vodne elektrarne na reko je prekinitev toka sedimentov. V prihodnosti se bo zato morda nujno del sedimentov moral pretočiti preko pretočnega trakta vodnih turbin. Do sedaj je bil najboljši način za preprečevanje toka sedimentov skozi vodno turbino usedanje sedimentov v zgornjem rezervoarju. Sedimentno erozijo delov vodnih turbin bomo podrobneje obravnavali v nadaljevanju.

Predavanje v uvodnem delu vsebuje razmislek o toku v turbinskih strojih in sicer o spremembah hitrosti in tlaka ter o sekundarnih tokovih, kot so npr. puščanje preko vrha lopatice, puščanje v špranji, vrtinci v kotu, vrtinci v obliki podkve, Karmanovi vrtinci, zastojni tok, itd.

Sedimentna erozija je posledica več procesov kot so udarjanja delcev v toku v steno pod ostrim ali topim natočnim kotom, ter z veliko ali majhno hitrostjo. Sedimentno erozijo na splošno opisujemo z modeli kot je Tabakoffov model ali njemu podobni modeli. Hitrost sedimentne erozije je odvisna od hitrosti toka na izbrano potenco, ki znaša med 2 in 4, natočnega kota, pod katerim delec zadane površino, koncentracije delcev v toku, velikosti, oblike in trdote delcev ter značilnosti površine.

V vodnih turbinah informacije o natočnem kotu ne poznamo, saj je vodna turbina regulirana in je glavna smer toka usmerjena vedno v isti smer kot lopatica gonilnika. Udarci delcev v lopatice gonilnika ali stene turbine so zato predvsem posledice sekundarnih tokov. Erozijski model pri vodnih turbinah je zato delno drugačen² kot v dinamiki tekočin uveljavljeni Tabakoffov model. S sedimentno erozijo obravnavamo globino poškodb, ki je sorazmerna hitrosti toka na potenco 3.4 , koeficienta materiala, koeficienta toka in velikosti turbine.

V skladu s standardom² lahko globino erozije vrednotimo v absolutnem smislu za vsak posamezen gradnik vodne turbine, ali pa primerjalno s primerjavo dveh turbin. Standard² predpostavlja za različne dele turbin različne koeficiente toka. Vrednosti koeficientov toka bomo komentirali s stališča prisotnosti in intenzitete sekundarnih tokov na vsakem posameznem mestu. V vodilniku je

koeficient toka najvišji, to lahko razložimo s hkratnim nastankom vrtinca v obliki podkve in puščanjem v špranji. V relativnem smislu pa standard2 podaja razmerje med časom med obnovami za referenčno in obravnavano turbino. Obravnavali bomo tudi poenostavljeno vrednotenje sedimentne erozije preko produkta koncentracije sedimentov in vodnega padca.

V drugem delu bomo predstavili in obravnavali priporočila za oblikovanje gonilnikov, ki so primernejši za delovanje pri visokih koncentracijah sedimentov, kot so zmanjšanje števila lopatic gonilnika, zaščitni nanosi in uporaba previsa. To bomo napravili za vse tri glavne izvedbe vodnih turbin in predstavili slike poškodb zaradi sedimentne erozije na šobah, vodilnikih in gonilnikih^{3,4}. Področje vodnih turbin je v Evropski uniji v zadnjih desetletjih v raziskavah slabo zastopano. V tretjem in zadnjem delu predavanja bomo pregledali možnosti za raziskovalno delo pri razvoju vodnih turbin, ki bi delovale pri visokih koncentracijah sedimentov. V preteklosti so se raziskave meritev erozije opravljale na merilnih postajah za materialne teste, kjer je curek toka z visoko hitrostjo natekal na vzorec materiala pod različnimi koti. Uporabljene hitrosti toka so bile višje kot dejanske pri vodnih turbinah, smer hitrosti pa vedno dobro določena, zato je bil prenos rezultatov v obeh smereh mogoč samo v omejenem obsegu. Pri uporabi nižjih hitrosti se je pojavljala težava pri merjenju jakosti erozijskih poškodb. V prihodnosti bodo raziskave sedimentne erozije v vodnih turbinah potekale na namenskih merilnih postajah, ki bodo delovale pri hitrostih toka in koncentracijah sedimentov, ki ne bodo mnogo višje od tistih, ki se pojavljajo v praksi. Omogočen bo vpliv študija sekundarnih tokov, za katere smo v tem prispevku že omenili, da ključno vplivajo na sedimentno erozijo v vodnih turbinah. To bo omogočalo boljši prenos iz laboratorija na model in prototip. Prve take merilne postaje že nastajajo⁴, toda žal ne v Evropski uniji. Ker bodo erozijske poškodbe zelo blage, se bo moral spremeniti tudi način merjenja in vrednotenja poškodb. Kot možne načine merjenja navajamo optične metode interferometrijo, konfokalno mikroskopijo in metodo spreminjanja fokusa, ki se lahko uspešno uporabljajo tudi za konveksne, konkavne, neravne ter zrcalne površine.

Literatura

1. Eurostat, "47% of EU's electricity came from renewables in 2025," Eurostat News, 19. mar. 2026. [Na spletu]. Dostopano: <https://ec.europa.eu/eurostat/fr/web/products-eurostat-news/w/ddn-20260319-2>. [Dostop: 1. jul. 2026].
2. International Electrotechnical Commission (IEC), 2019. IEC 62364:2019 Hydraulic machines – Guidelines for dealing with hydro-abrasive erosion in Kaplan, Francis and Pelton turbines. Geneva: IEC.
3. S. Chitrakar et al., "Review on Sediment Erosion Challenges in Hydraulic Turbines," Sedimentation Engineering, 2017.
4. R. Poudel et al., "Experimental study of the effects on performance of Francis turbine due to sediments in flow," Journal of Physics: Conference Series, vol. 2752, no. 1, art. 012207, 2024.