5. INOVACIJSKI FORUM / ADRIATECH 2026

Uređaj „3 u 1”
za rano upozoravanje:

troškovno pristupačno rješenje interneta stvari (IoT)
za praćenje deformacija, vibracija
i potresnog odziva konstrukcija



prof. dr. sc. Meho Saša Kovačević
prof. dr. sc. Danijela Jurić Kaćunić
Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet

Rijeka, 26. listopada 2026.

CRISAFE · 101140336 | AI-Warn · 101254083
Co-funded by the European Union
Mehanizam Unije za civilnu zaštitu (UCPM)

4G-MONITOR · 100-017/26
Financira Europska unija – NextGenerationEU
Nacionalni plan oporavka i otpornosti 2021.–2026.

Kako omogućiti kontinuirano praćenje konstrukcija?

Što se događa između dva periodička mjerenja?



Dubrovnik · razvijen i ugrađen uređaj

Izazovi

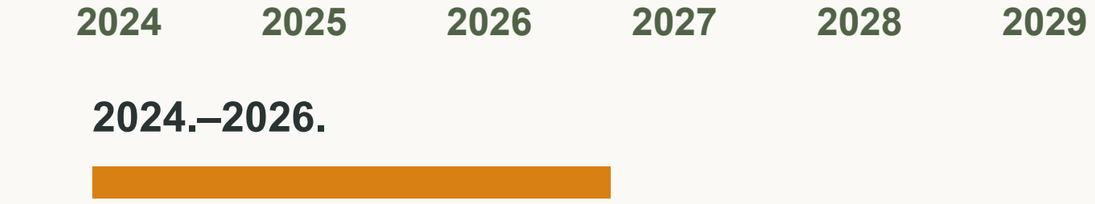
Cijena	Kako omogućiti praćenje na više lokacija?
Energija	Kako raditi bez mrežnog napajanja?
Prijenos	Kako dostaviti podatke s udaljenih lokacija?
Korištenje	Kako mjerenja učiniti korisnima za donošenje odluka?

> **Rješenje**
>
> **Razviti uređaje koji povezuju pristupačno mjerenje, autonomni rad i dostupne informacije u cjelovit sustav.**

Cilj je dovoljno rano prepoznati kada promjena postaje rizik.

Kontinuirani razvoj uz potporu EU projekata

Povezani projekti. Razdoblja koja se preklapaju. Kontinuitet razvoja.



CRI SAFE

Sufinancira Europska unija
Mehanizam Unije za civilnu zaštitu
UCPM · 101140336

4G MONITOR

Financira Europska unija
NextGenerationEU · NPOO 2021.–2026.
100-017/26

AI Warn

Sufinancira Europska unija
Mehanizam Unije za civilnu zaštitu
UCPM · 101254083

Svaki projekt nadograđuje prethodno razvijena znanja, uređaje i iskustva s terena.

Koje smo uređaje razvili u CRISAFE-u?

Polazište predstavljeno na ADRIATECH-u 2025.

Oborine



Kišomjer

Količina i intenzitet oborina

Vodostaj



Limnometar

Promjena razine vode

Potresni odziv



Akcelerometar

Ubrzanja u tri osi

Prikaz mjernih elemenata

Tri zasebna uređaja. Zajednička tehnološka osnova.

Kako razviti cjelovit sustav uz male troškove?

Dostupne komponente



Senzori i otvorene sheme mikrokontrolera

Obrada i pohrana

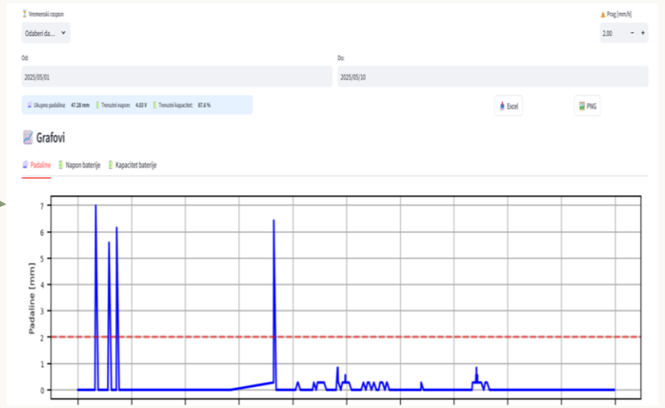
Python

PostgreSQL

Vlastiti programi
i baza podataka

Poslužitelj: moje drugo računalo u uredu.

Pregled i upozorenja

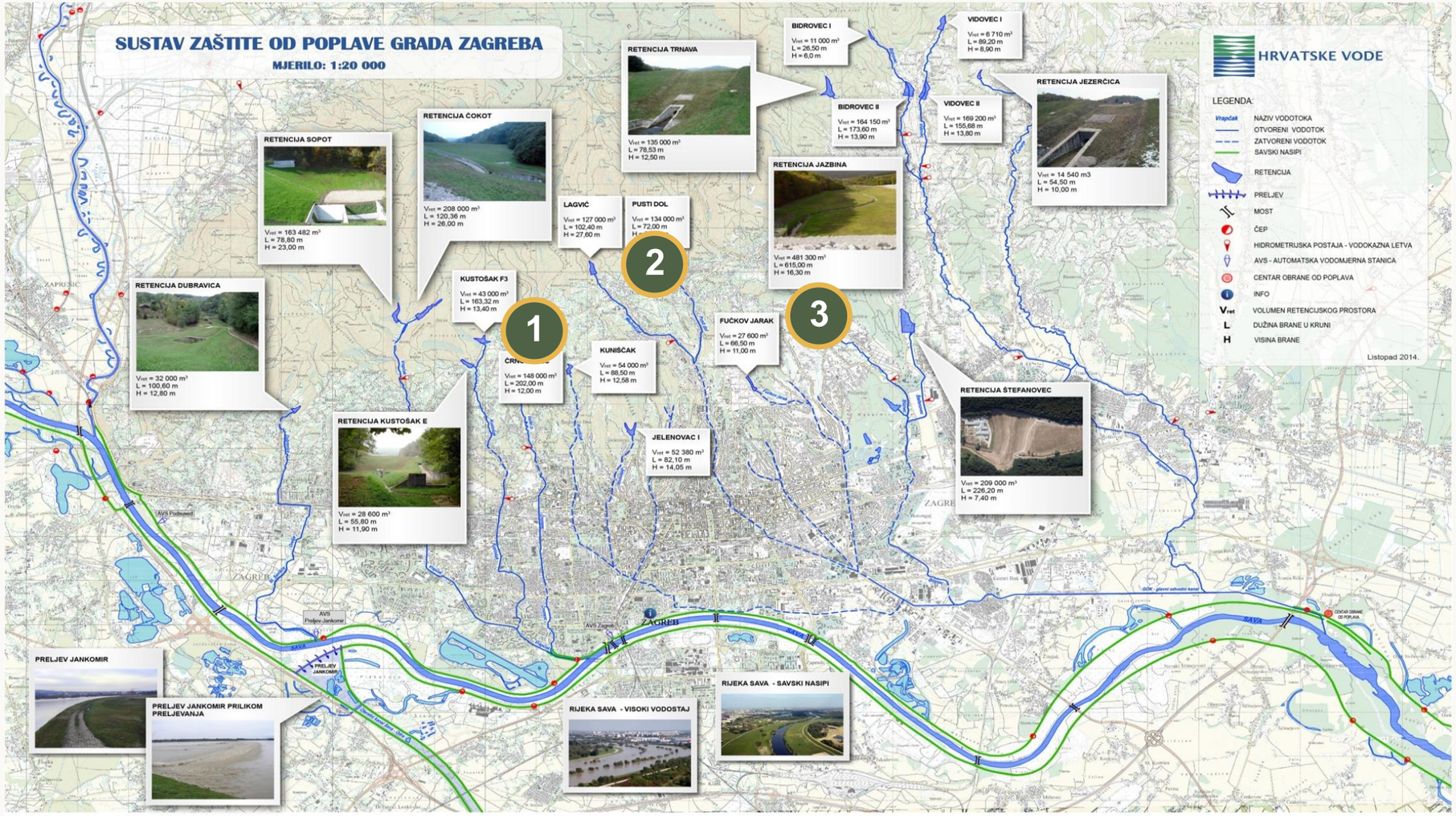


Web-aplikacija na računalu i mobitelu

Dostupni alati i vlastito znanje omogućuju pristupačan sustav.

Zašto je važno mjeriti na više lokacija?

Više lokacija. Više korisnih informacija.



Karta: Hrvatske vode, 2014.

DANAS

3 od 19

retencija s ugrađenim uređajima

1 Črnomerec
2 Pustodol
3 Jazbina

CILJ

Praćenje svih retencija

Što saznajemo povezivanjem oborina i vodostaja?

KIŠOMJER / TEŽIŠTE SLIVA JAZBINE



VODOSTAJ / PUSTODOL



Koliko kiše pada?

Količina i intenzitet oborina u težištu sliva.

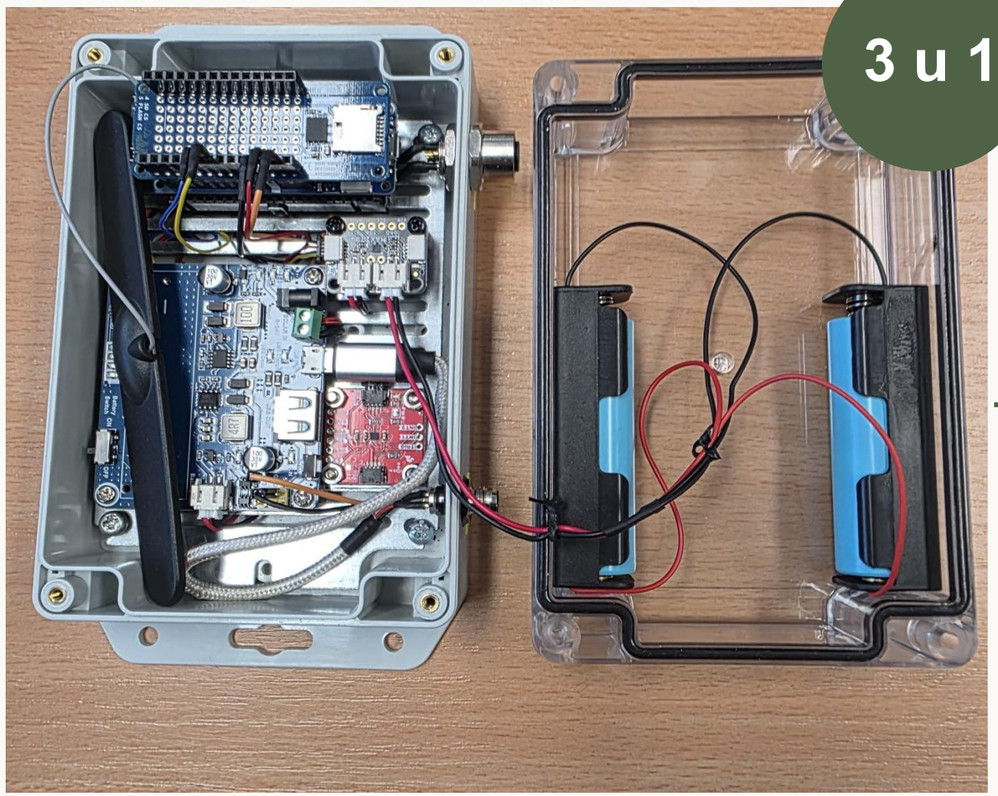
Kako se mijenja vodostaj?

Promjena razine vode na svakoj retenciji.

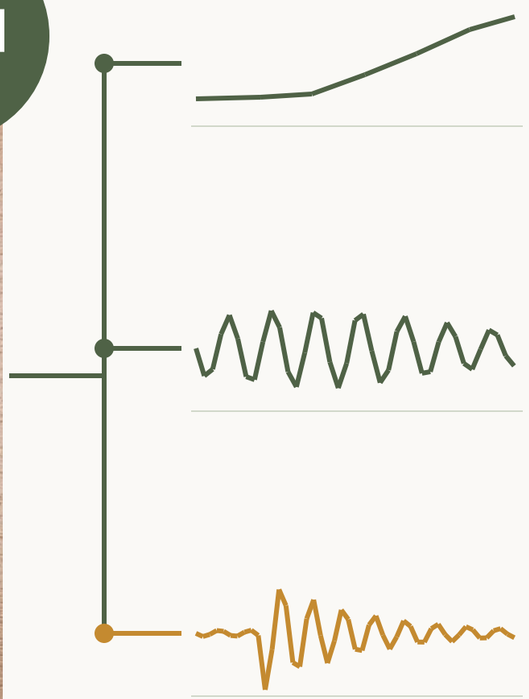
Povezivanje oborina i vodostaja daje podlogu za ranije upozoravanje.

Zašto tri mjerne funkcije u jednom uređaju?

Uređaj „3 u 1” za praćenje ponašanja konstrukcija



Razvojni prototip



Nagib

Spore promjene položaja

Vibracije

Promet, strojevi i radovi

Potresni odziv

Brzi zapis dinamičkog događaja



Tiltmetar



Minimate



Akcelerograf

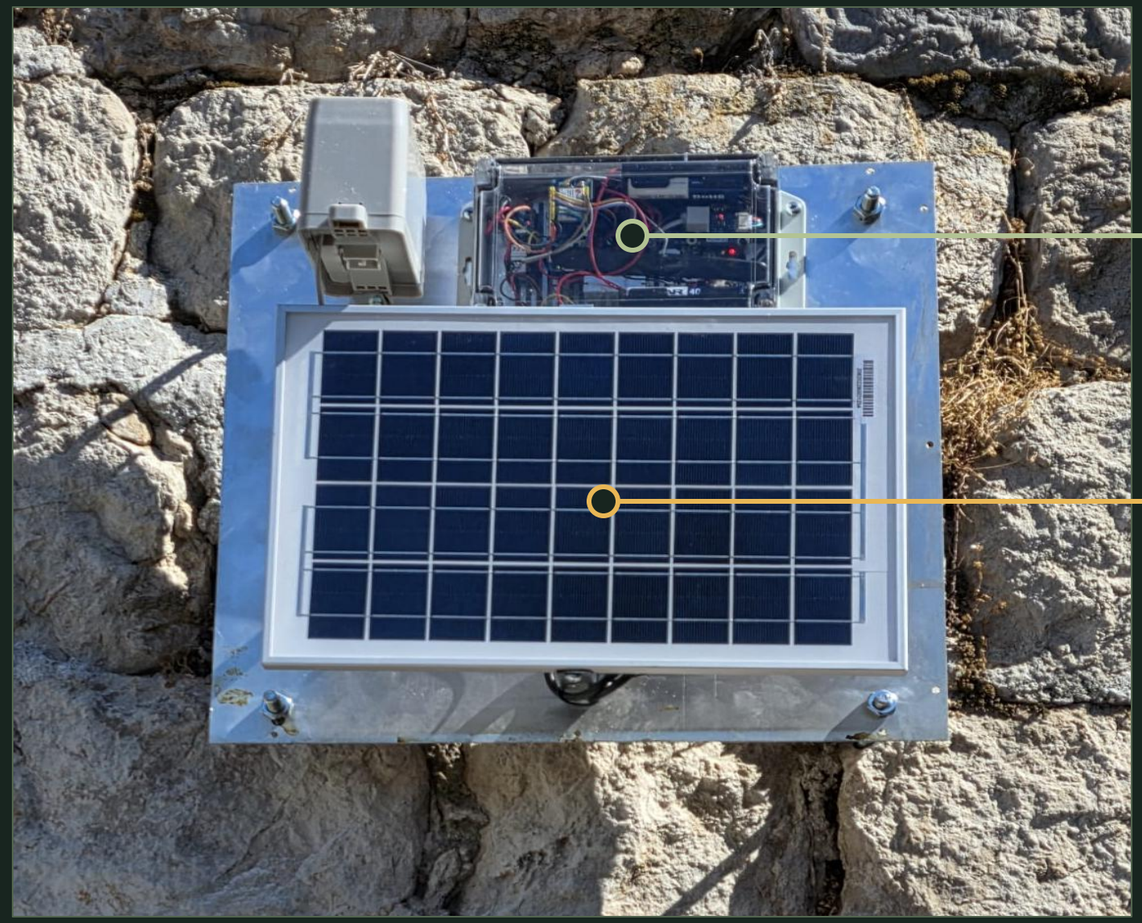
Shematski signali · komercijalni primjeri mjernih instrumenata

Tri mjerne funkcije u jednom pristupačnom uređaju.

Fotografije: GEOKON · Specto Technology / Instantel · Kinemetrics

Kako uređaj samostalno radi na terenu?

Napajanje, potrošnja i prijenos podataka čine jednu cjelinu



Dubrovnik · ugrađeni uređaj

Solarno punjenje

Panel i regulator pune bateriju
i osiguravaju stabilno napajanje.

Baterija i štedljivi rad

Mala potrošnja između aktivnih ciklusa.
Nadzor napona i stanja baterije.

Mjerenje i slanje podataka

Učestalost prema mjernoj zadaći.
I komunikacija troši energiju.

Kako podaci stižu i s udaljenih lokacija?

Vezu prilagođavamo lokaciji. Podaci stižu u isti sustav.

Wi-Fi

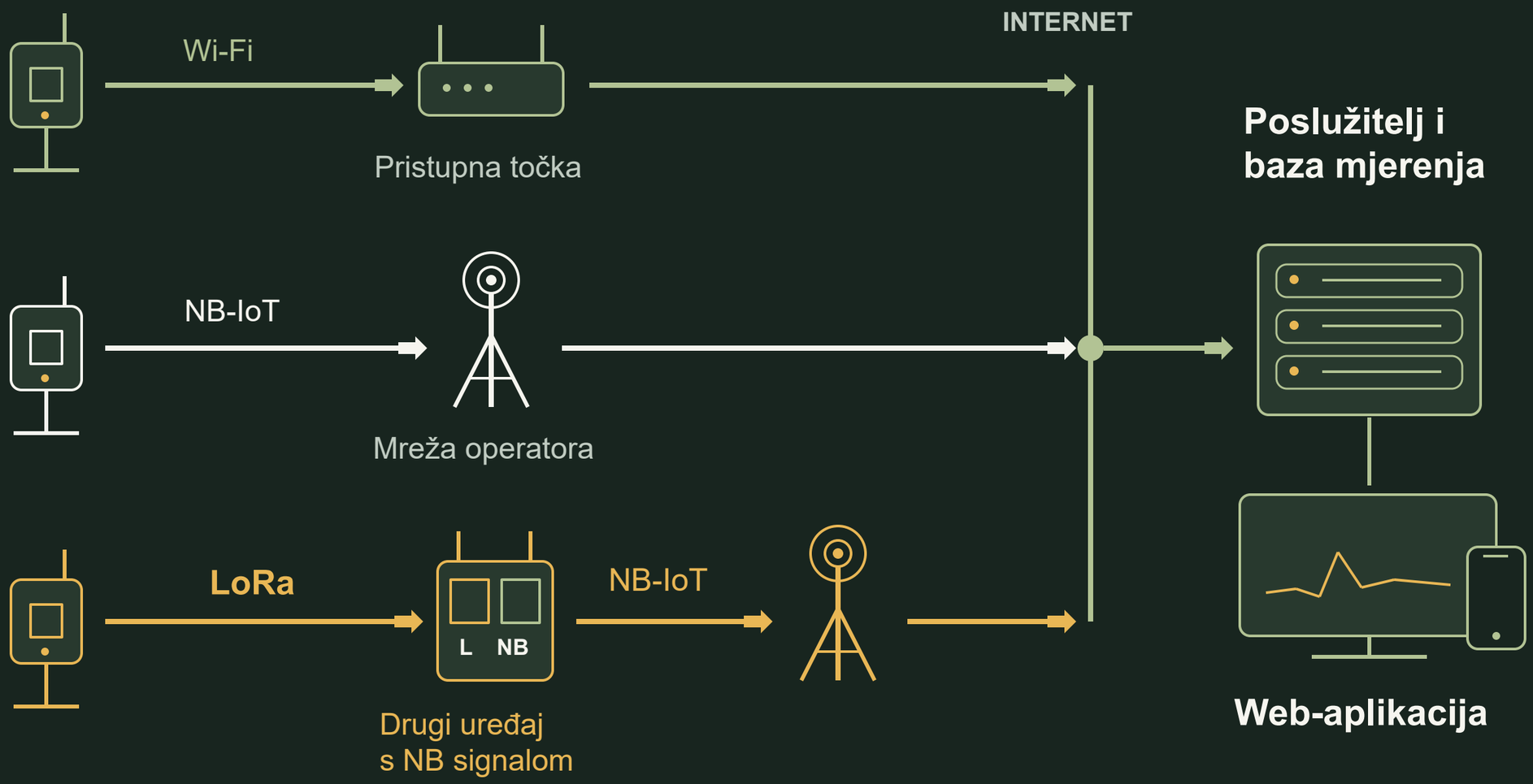
Gdje postoji
lokalna mreža

NB-IoT

Izravno preko
mobilne mreže

Izravna LoRa veza

Kad na lokaciji
nema NB signala



LoRa ovdje znači izravnu radio vezu između dva uređaja.

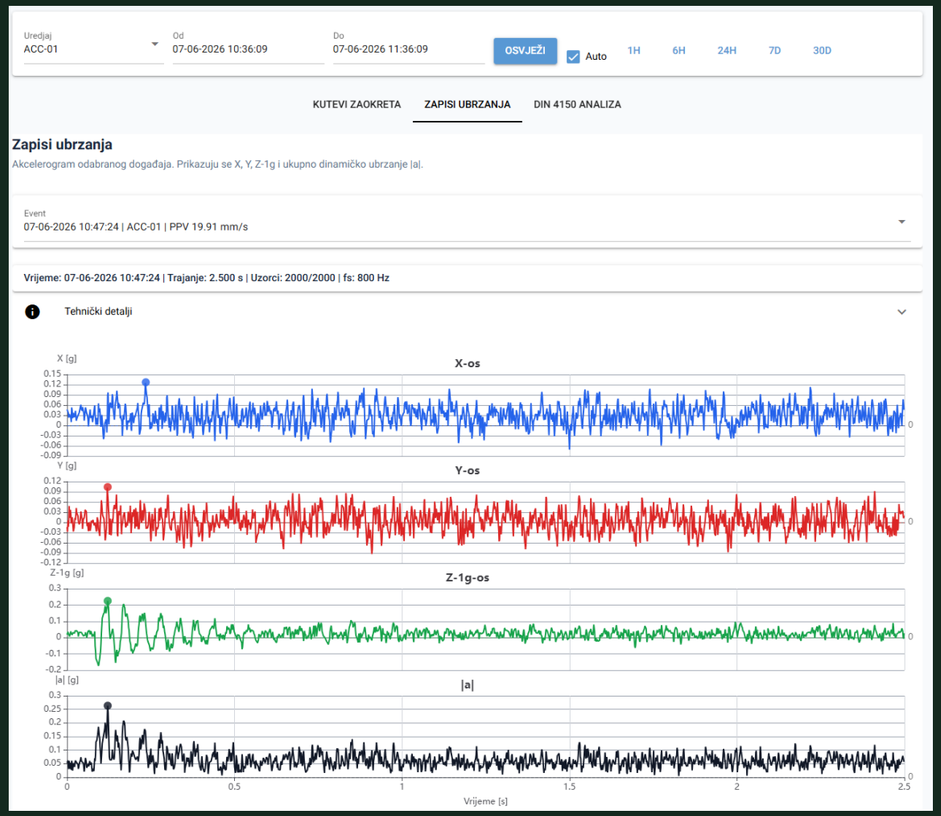
Kako korisnik pristupa mjerenjima i upozorenjima?

Odabir uređaja i razdoblja · spremljeni događaji · pragovi upozorenja

Pregled nagiba i pragova



Odabir i pregled dinamičkog događaja

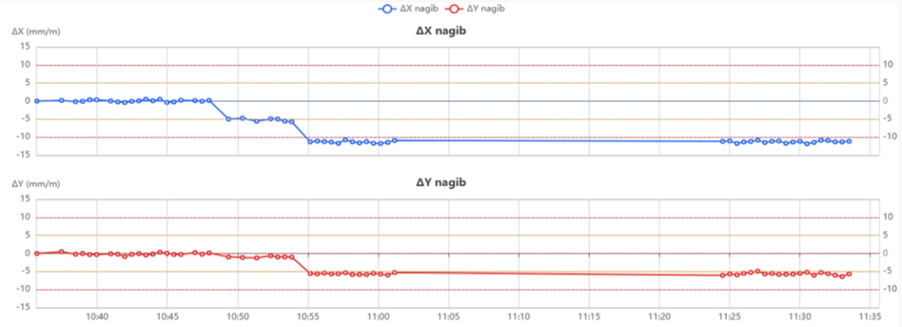


Svaki korisnik bira svoj prikaz. Upozorenje skreće pozornost na promjenu.

Što nam mjerenja govore o ponašanju konstrukcije?

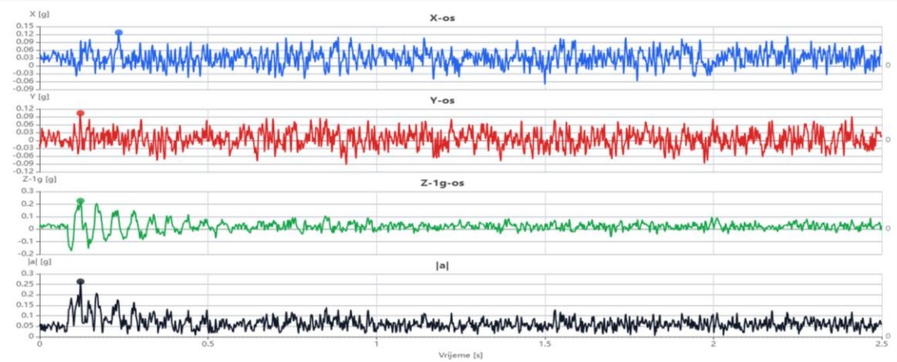
Promjena nagiba · zapis događaja · procjena utjecaja vibracija

Promjena nagiba



Promjena ostaje prisutna: ΔX ≈ −11 mm/m.

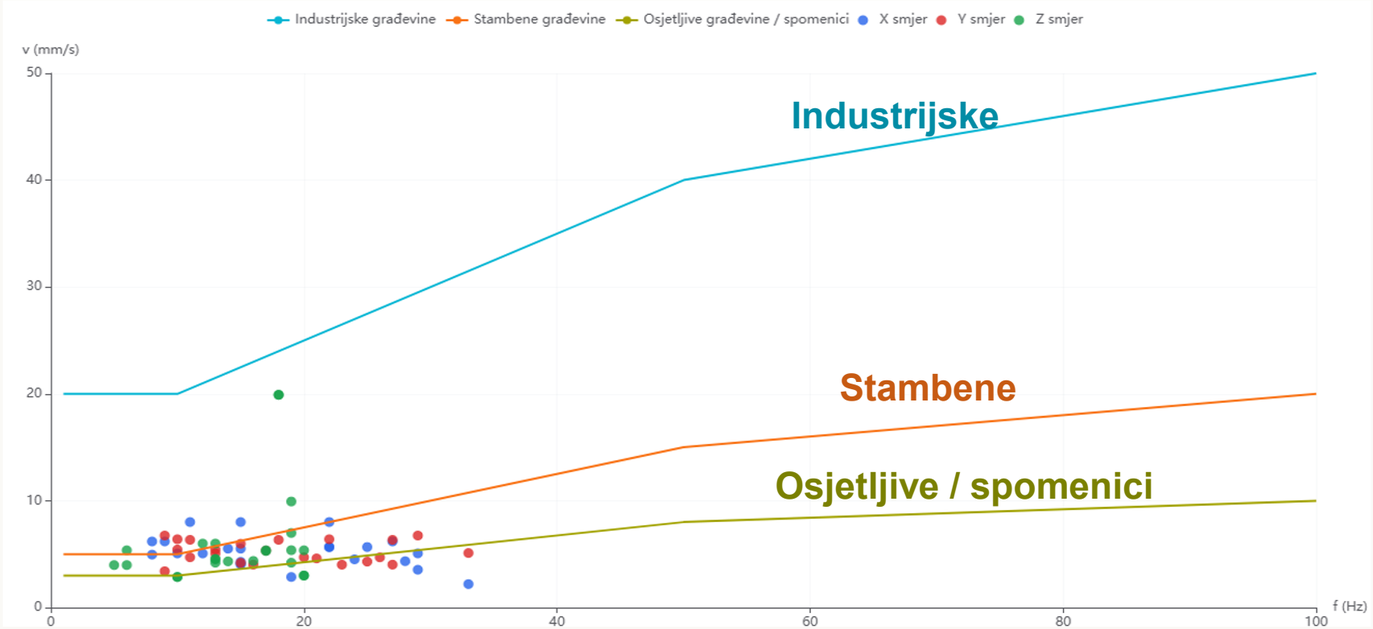
Ubrzanja tijekom događaja



Kada se javlja vrh i kako odziv slabi?

DIN 4150-3: utjecaj na građevine

Vršna brzina: 19,91 mm/s · frekvencija: 18 Hz



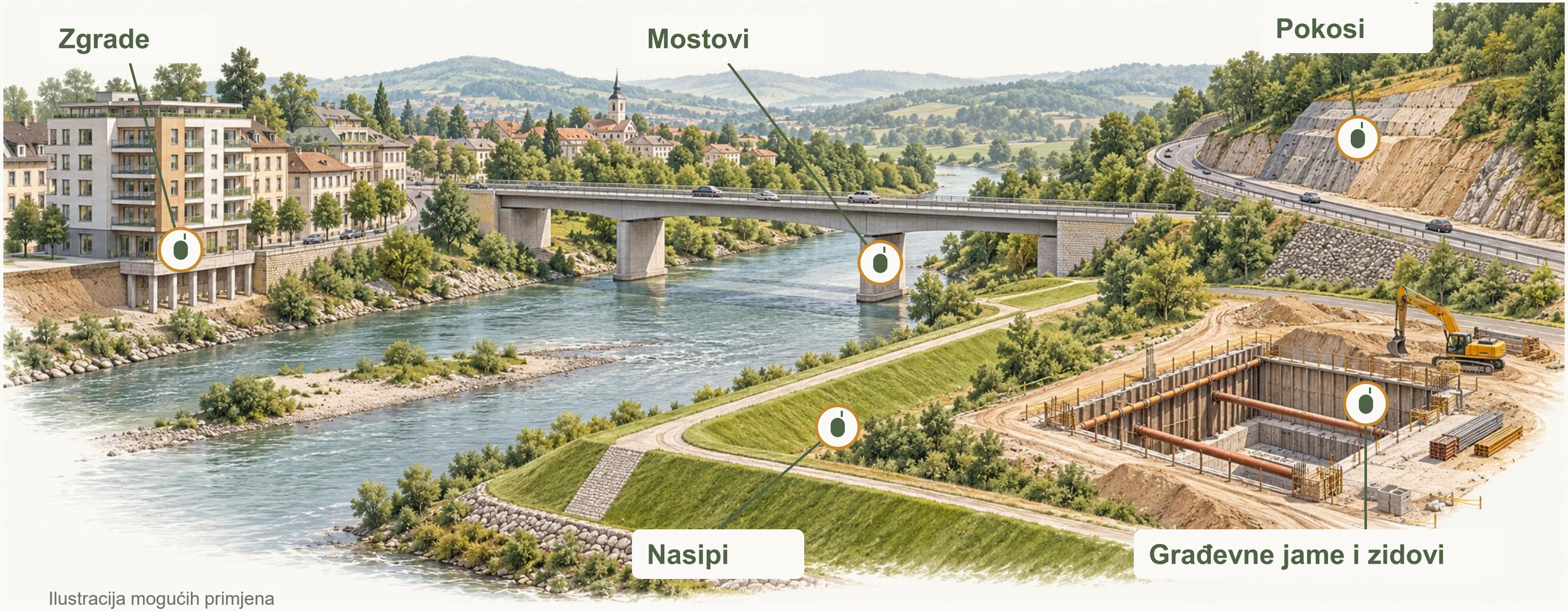
Isti događaj — različiti kriteriji prema vrsti građevine.

Ispod industrijske krivulje; iznad krivulja za stambene i osjetljive građevine.

DIN 4150-3:2016-12. Prekoračenje samo po sebi ne dokazuje oštećenje.

Gdje se uređaj može primijeniti?

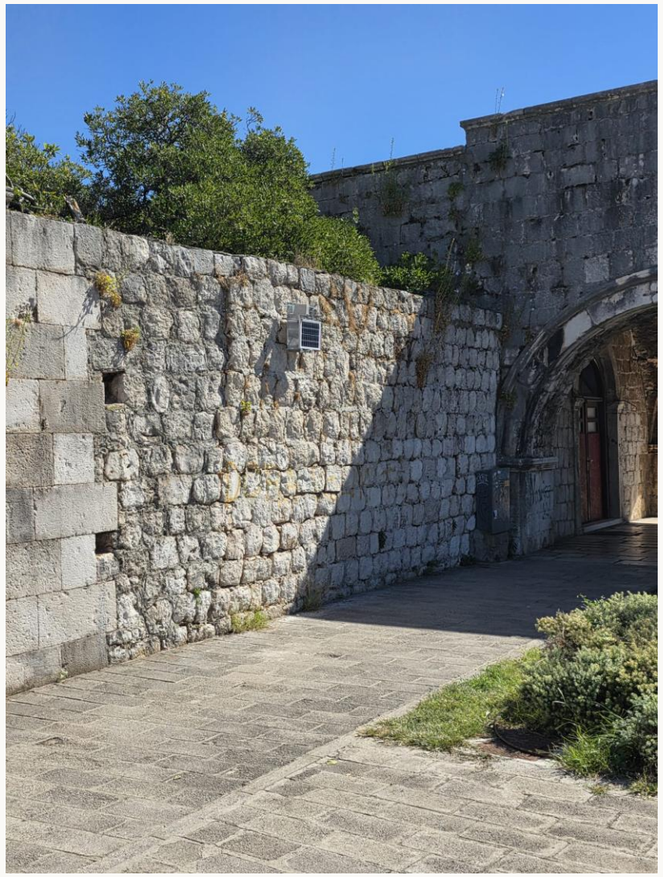
Nagib, vibracije i potresni odziv u cijelom građevinarstvu



Ilustracija mogućih primjena

Što dobivamo mjerenjem kiše izravno na konstrukciji?

RainAccel „4 u 1” · razvijen i ugrađen u Dubrovniku



Dubrovnik · ugrađeni uređaj



RainAccel · detalj izvedbe

Tri funkcije u jednom uređaju

Nagib

Vibracije

Potresni odziv

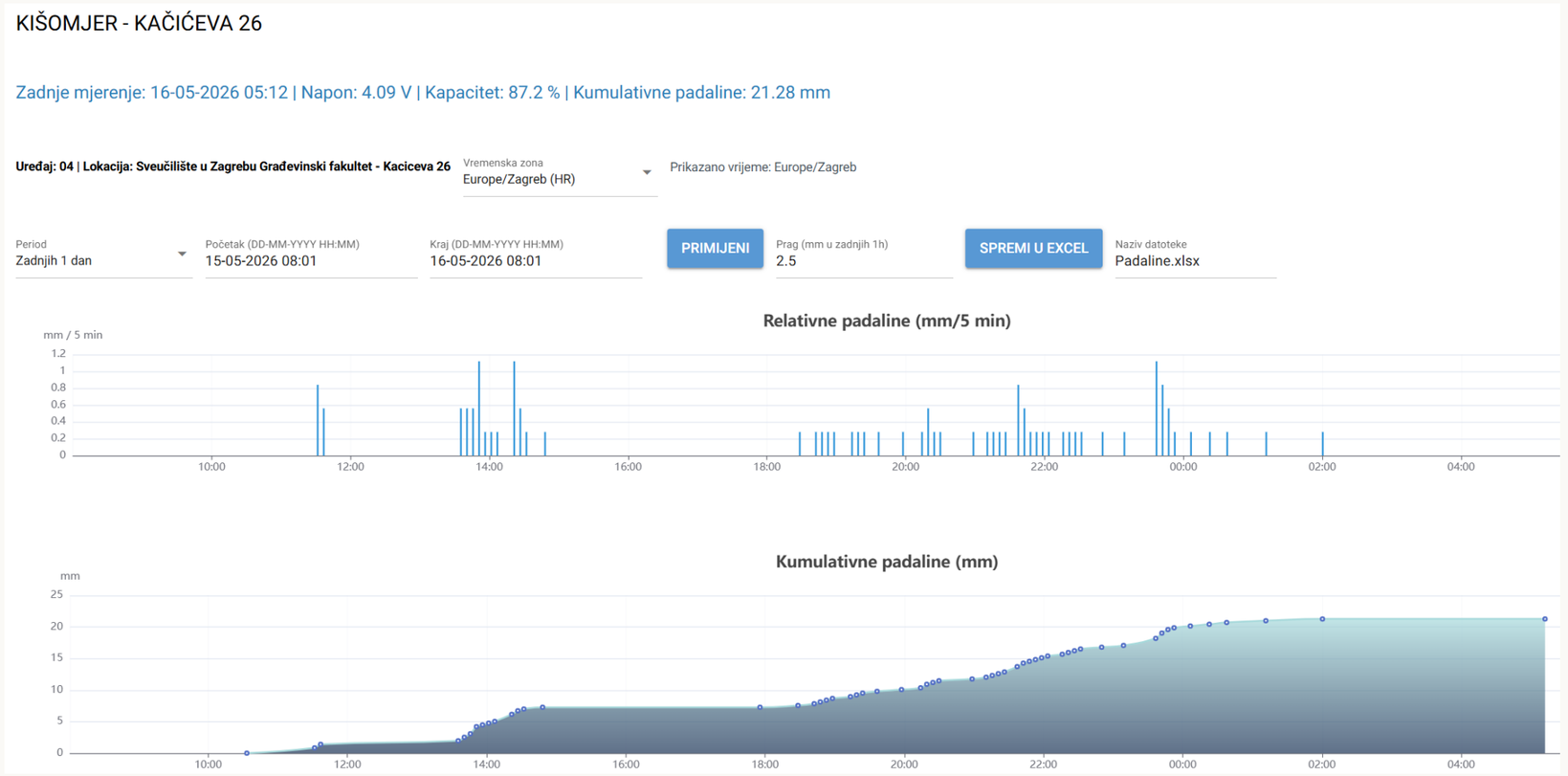
+ Oborine

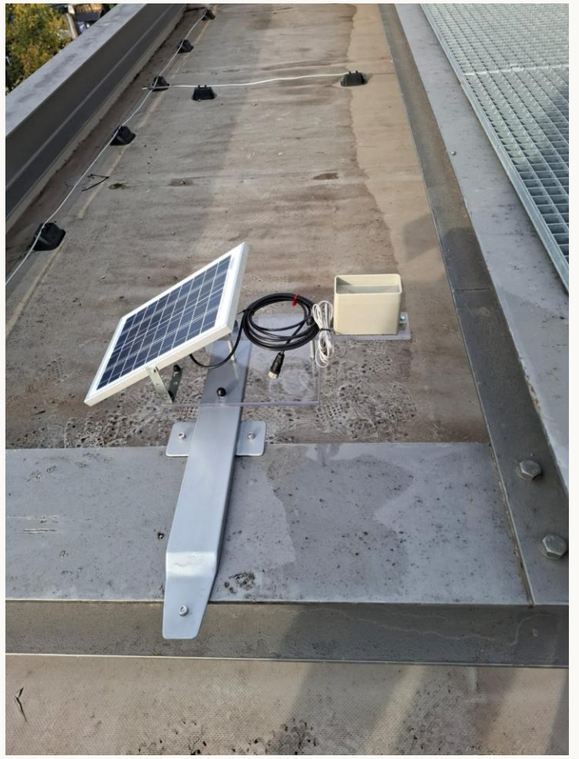
Lokalno mjerenje kiše
uz praćenje ponašanja konstrukcije

Oborine i odziv konstrukcije — na istoj lokaciji.

Kako lokalno mjerenje postaje dostupna informacija?

Pada li kiša na Fakultetu? Provjerite prije polaska.





Lokalno mjerenje na krovu Fakulteta

Lokalno mjerenje vrijedi više kada je informacija dostupna korisniku.

Kako iskoristiti AI za prepoznavanje neuobičajenog ponašanja?

Planirani razvoj u projektima 4G-MONITOR i AI-Warn





Fotografija s dodanim efektima · zapisi nisu rezultati mjerenja ni treniranog modela

Učiti uobičajeno ponašanje

Povezati povijesne i nove podatke o oborinama i odzivu konstrukcije.

Prepoznati odstupanje

Izdvojiti promjenu koja odstupa od naučenog ponašanja lokacije.

Procijeniti rizik

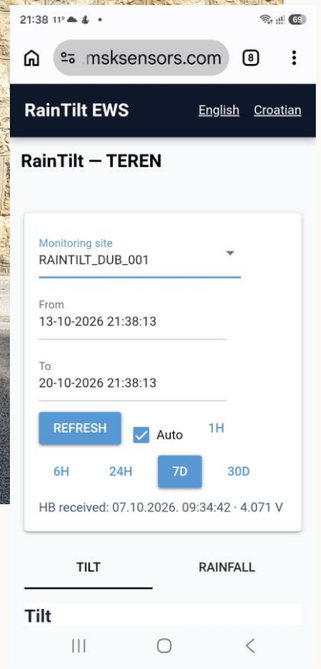
Povezati AI nalaz, stručno znanje i pragove za konkretnu lokaciju.

AI izdvaja promjene. Inženjersko znanje daje im značenje.

4G-MONITOR · 100-017/26 Financira Europska unija · NextGenerationEU · NPOO 2021.–2026.
AI-Warn · 101254083 Sufinancira Europska unija · Mehanizam Unije za civilnu zaštitu (UCPM)

Kada monitoring ostvaruje svoju vrijednost?





Mjerenje na terenu → informacija korisniku

Pristupačni uređaji omogućuju više mjernih lokacija.

Višefunkcionalnost daje više informacija o svakoj lokaciji.

Dostupni podaci pomažu ljudima donijeti pravodobne odluke.

Cilj je dovoljno rano prepoznati kada promjena postaje rizik.



Hvala na pažnji!

Pitanja i rasprava

prof. dr. sc. Meho Saša Kovačević
prof. dr. sc. Danijela Jurić Kaćunić

Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

msk@grad.hr