



Tenojoen ja Pulmankijoen havainnointi: pitkän ajanjakson jokiuoman ja hydrologian muutokset

Eliisa Lotsari, Aalto University, eliisa.s.lotsari@aalto.fi

Ville Kankare, University of Turku, ville.kankare@utu.fi

DIWA webinar, 27.3.2026



Tutkimusalue

- Tenojoki:
 - havainnointia 2007 lähtien
- Sivujoki Pulmankijoki:
 - avouomatilanteiden havainnointia 2005 lähtien
 - jäänalaisten olojen havainnointia 2014 lähtien.





Digital
Waters

Pitkäaikainen havainnointi / Pulmankijoki esimerkkinä



ILMATIETEEN LAITOS
MÉTÉOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

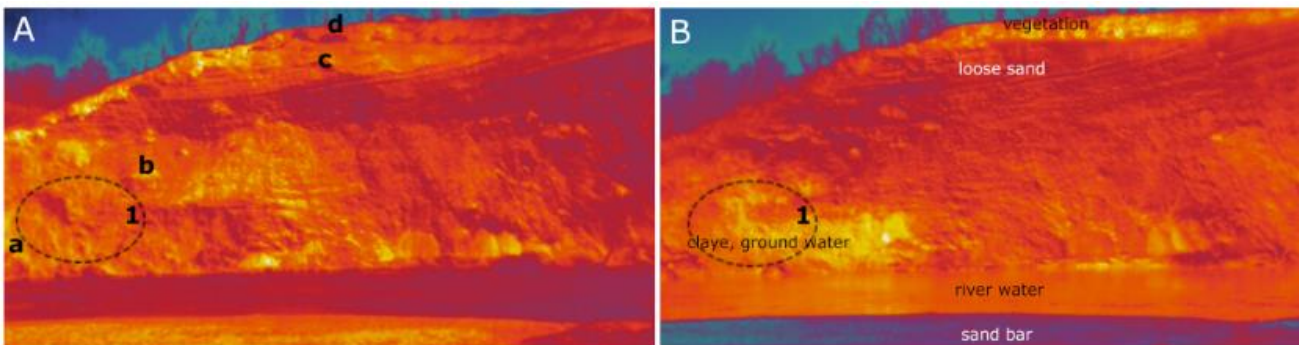
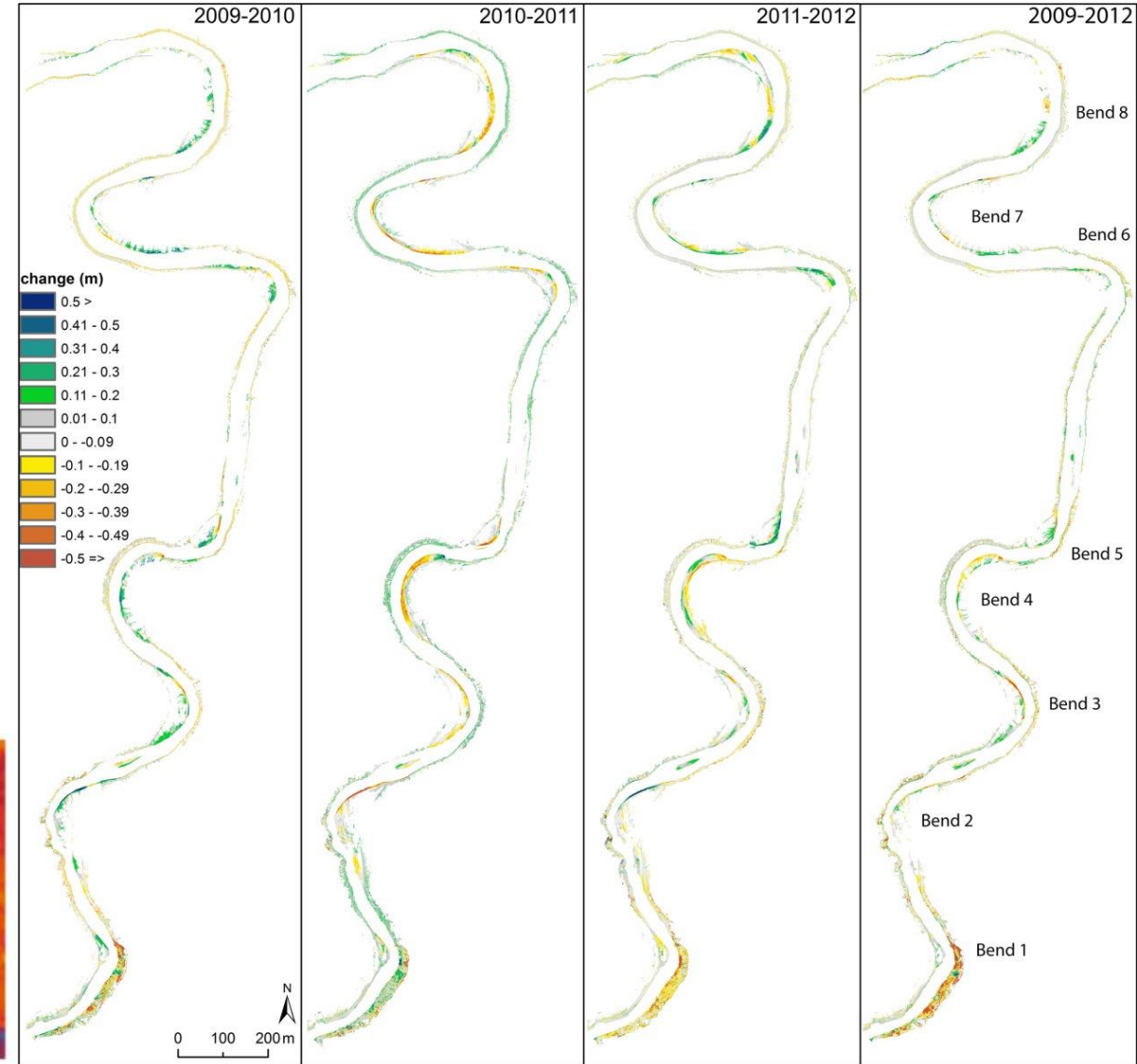
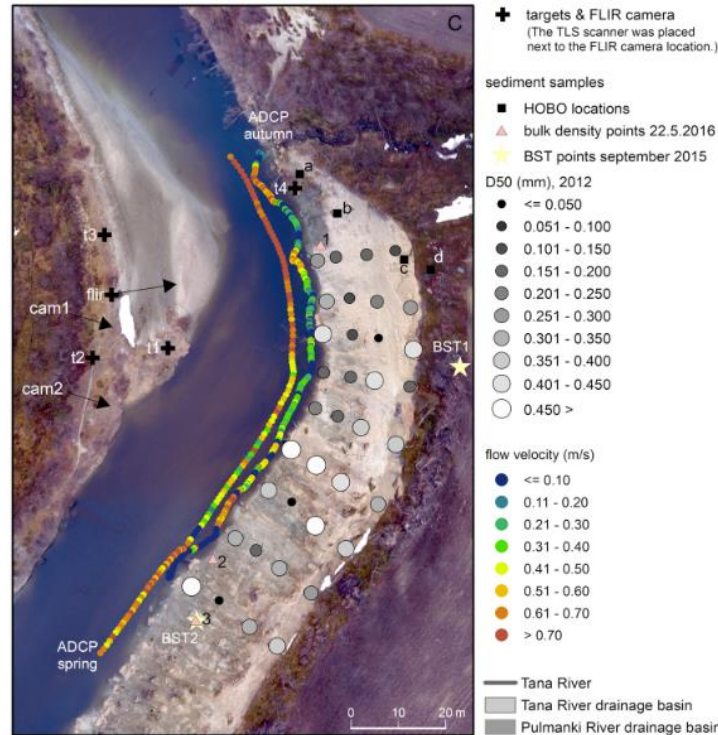


Pitkäaikainen havainnointi / Pulmankijoki esimerkkinä

- Hydrologia: Vedenkorkeus, virtaama, virtausnopeus, maaperän kosteus
- Aineskuljetus: vedenlaatu, pohja-aineskuljetus
- Topografia: uoman kaikuluotaus, maanpinnan muutokset, jokitörmien sortuminen, palsasuon muutokset (ikiroudan sulaminen)
- Jääprosessit: jään muodostuminen, jäänpaksuus, virtausolot
- Mittauskampanjoita 3 kertaa vuodessa 2014 alkaen: toukokuu, syys-lokakuu, helmikuu. Tätä aiemmin ~2 kertaa vuodessa (syksy, kevät)

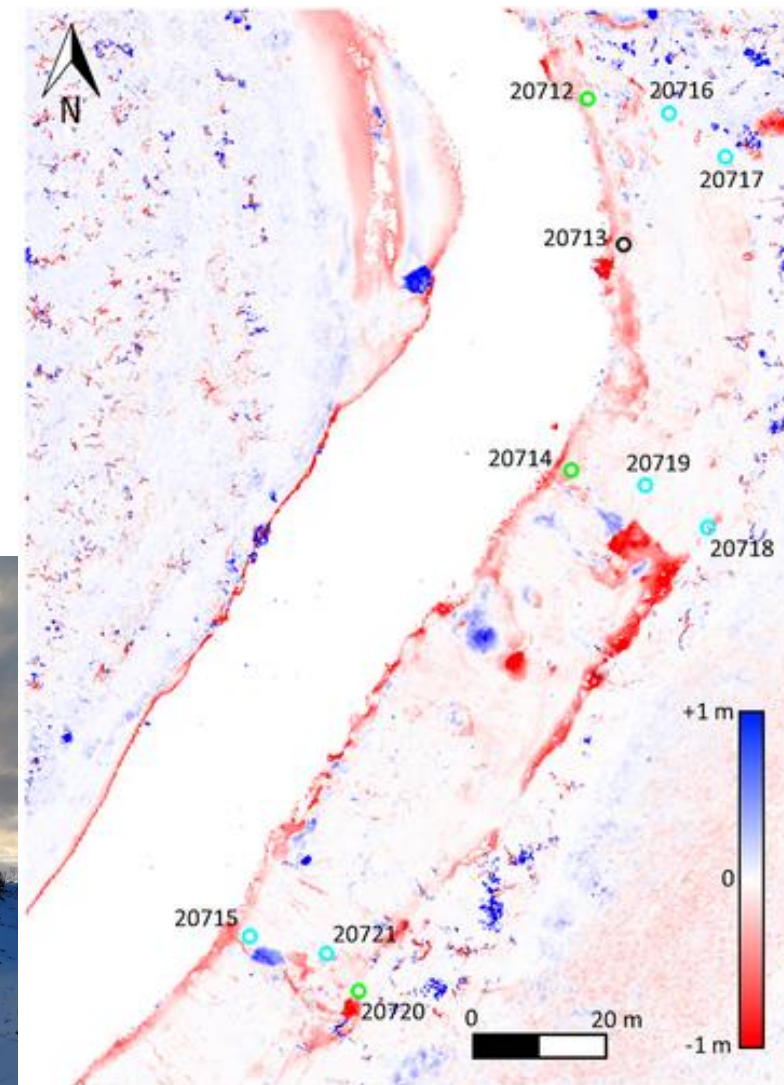
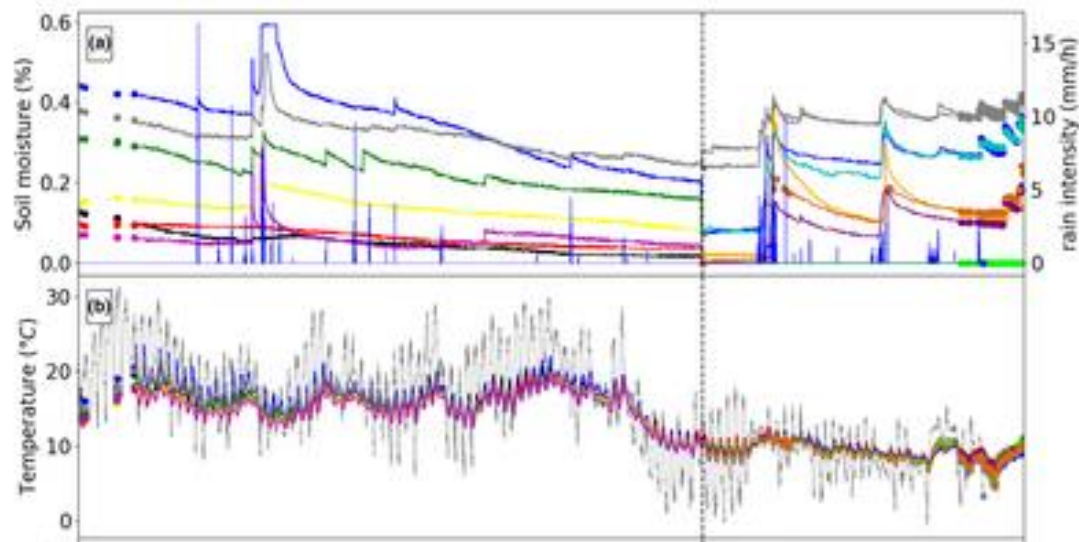
Jokiuoman muutokset

- Lotsari ym., 2019, ESPL DOI: 10.1002/esp.4796
- Lotsari ym., 2014, WRR (<https://doi.org/10.1002/2013WR014106>)



Maaperän kosteus, lämpötula, like ja suolaisuus: reaaliaikaista aineistoa maastosta

- Jäätymis-sulamis- syklit ja törmäeroosio.
- van Rooijen, E., Dietze, M., Lotsari, E. 2023. ESPL. <https://doi.org/10.1002/esp.5640>
- van Rooijen, E., Lotsari, E. 2024. Geomorphology. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109140>



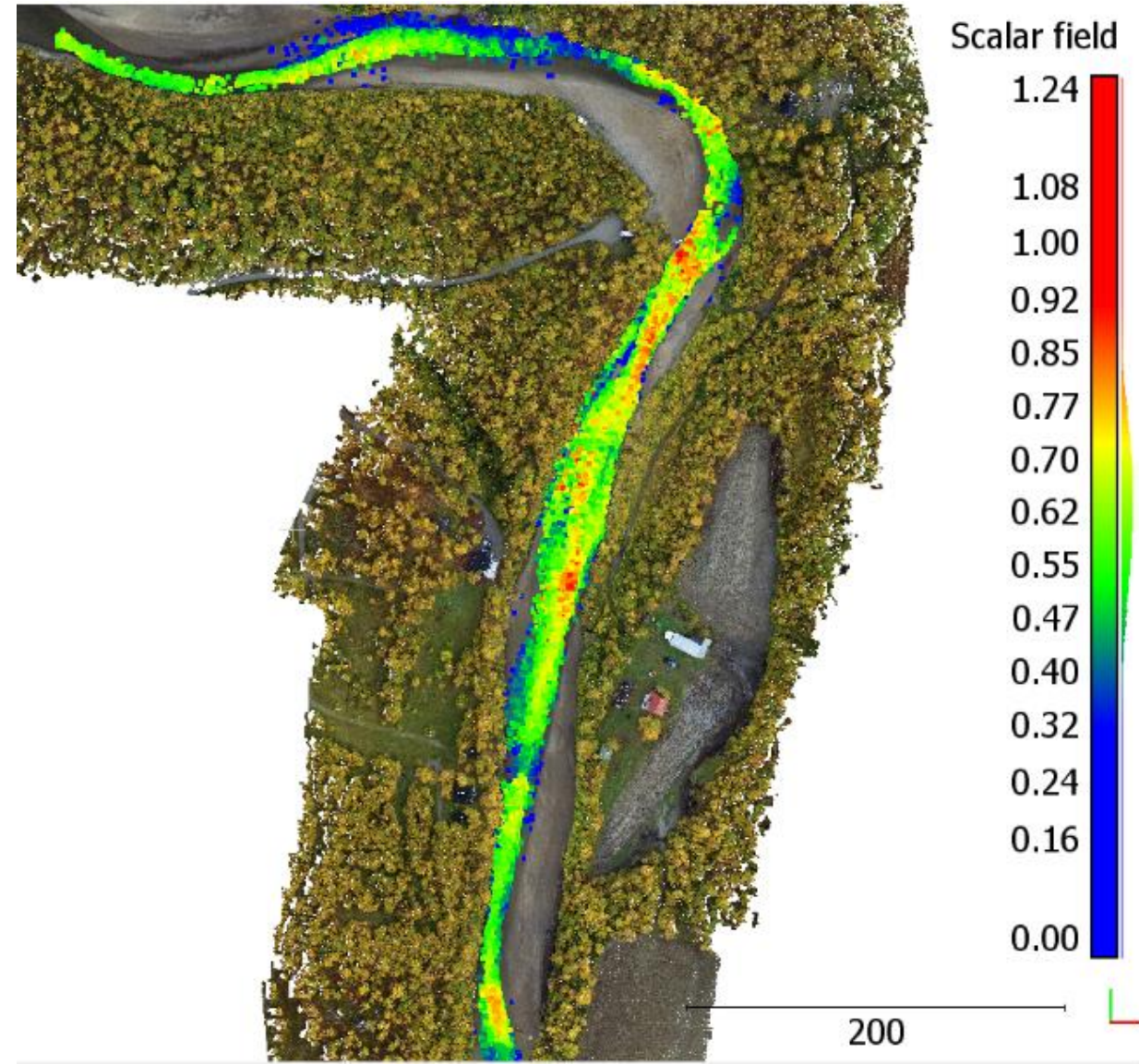
Ilmakuvaus

- Matrice M300 system, esimerkkinä:
 - Multi-spektraalinen kamera (10 kanavaa), Micasense: vedenlaadun analyysit työn alla.
 - Lämpökamera (wiris)
 - Ikiroudan muutokset, uomaverkoston muutokset, törmän eroosio, maan sulaminen, pohjaveden suotautuminen.
 - Virtausnopeuksien laskenta videoaineistosta.
 - Rgb-kamerat
 - Pintamallin rakentaminen.
 - Virtausnopeuksien laskenta videoaineistosta.



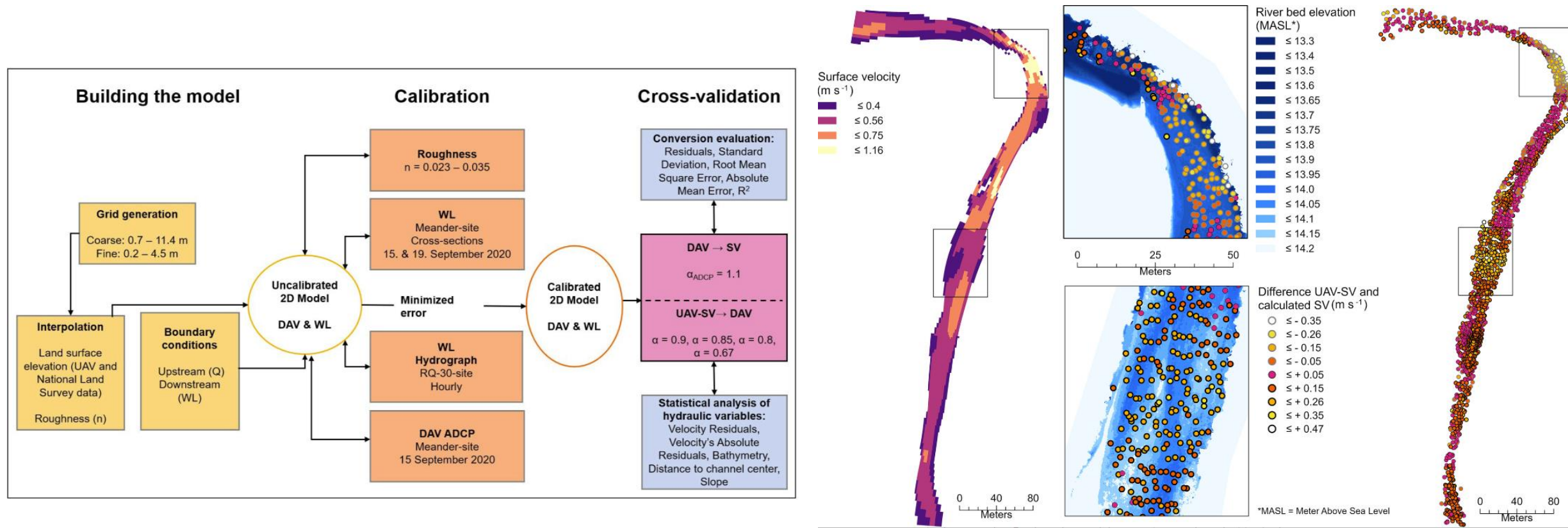
Pintavirtauksen määrittäminen

- Kehitetty edullisia havainnointimenetelmiä virtausnopeuden, morfodynamiikan ja jään kehittymisen havainnoimiseksi (drone, staattiset aikasarjakuvat, AI)
- Mahdollista käyttää virtaamien määrittämiseen muuten hankalasti mitattavista luonnonoloista (jääpadot, matalan veden tilanteet, isot tulvat ja koskialueet) -> prosessien havainnointi, mutta myös mallien parannettu kalibrointi.



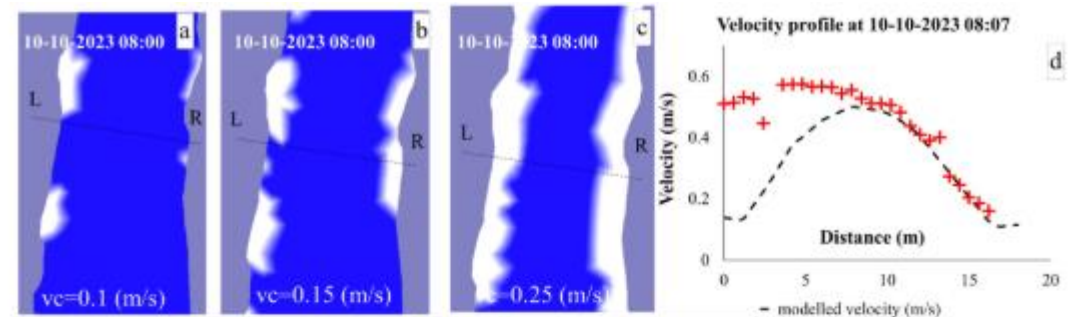
Kaksiulotteisen mallin parantaminen droneilla kuvatun videoaineiston ja siitä lasketun virtausnopeusaineiston perusteella.

- Yhteistyössä “Technical University of Dresden”:n kanssa.
- <https://doi.org/10.1002/esp.5853>



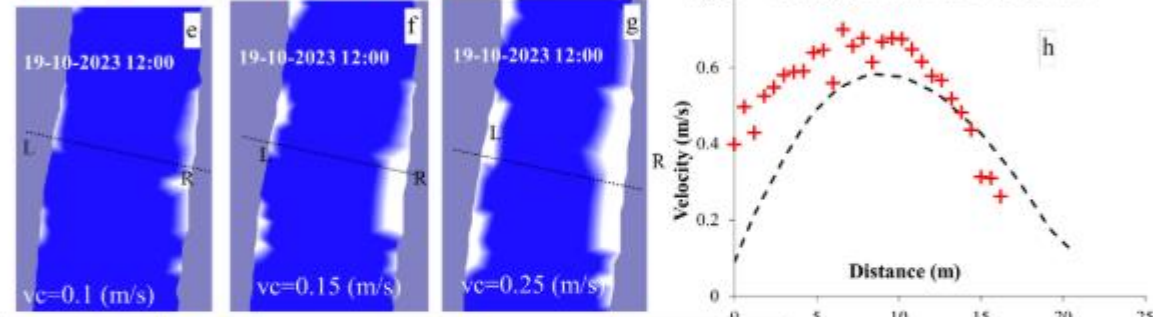
Jään ja virtausnopeuden kehitys

- Pintavirtaus mahdollista analysoida jatkuvatoimisesti.
- Takala ym. 2025, Journal of Hydrology (<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132447>)
- Saberi ym. 2025, Hydrological Processes (<https://doi.org/10.1002/hyp.70127>)



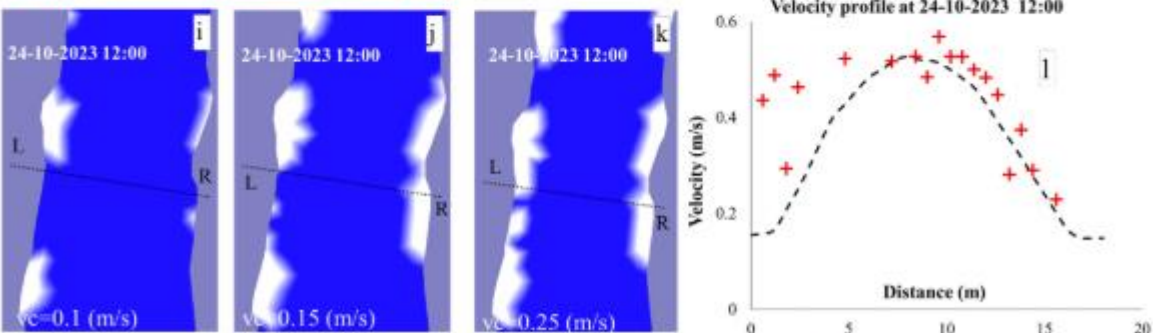
| Border ice – No.1 | Measured | Modelled (vc=0.1) | Modelled (vc=0.15) | Modelled (vc=0.25) |
|-------------------|----------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Right side | 3.6 m | 0 m, E = -3.6 m | 3.5 m, E = -0.1 m | 4.8 m, E = -1.2 m |
| Left side | 0 m | 0 m, E = 0 m | 0.5 m, E = 0.5 m | 4.3 m, E = 4.3 m |
| sum of (E) | | 3.6 m | 0.6 m | 5.5 m |

E = Difference between modelled and observed value



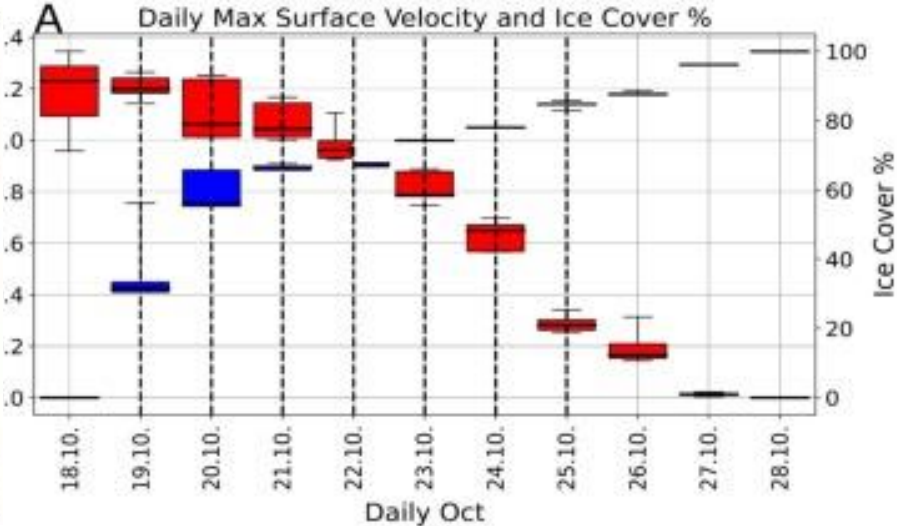
| Border ice – No.2 | Measured | Modelled (vc=0.1) | Modelled (vc=0.15) | Modelled (vc=0.25) |
|-------------------|----------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Right side | 4.8 m | 1.8 m, E = -2 m | 4.6 m, E = -0.2 m | 5.2 m, E = 0.4 m |
| Left side | 0 | 0.5 m, E = 0.5 m | 0.8 m, E = 0.8 m | 2.9 m, E = 2.9 m |
| sum of (E) | | 2.5 m | 1.0 m | 3.3 m |

E = Difference between modelled and observed value



| Border ice – No.3 | Measured | Modelled (vc=0.1) | Modelled (vc=0.15) | Modelled (vc=0.25) |
|-------------------|----------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Right side | 4.2 m | 0.0 m, E = -4.2 m | 4.2 m, E = 0 m | 4.2 m, E = 0 m |
| Left side | 0 | 0.0 m, E = 0 m | 0.8 m, E = 0.8 m | 2.9 m, E = 2.9 m |
| sum of (E) | | 4.2 m | 0.8 m | 2.9 m |

E = Difference between modelled and observed value

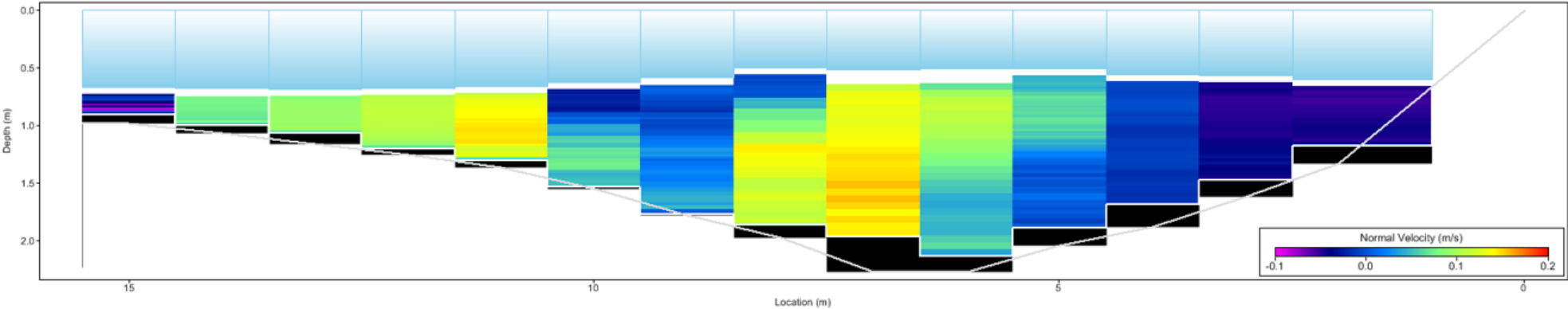
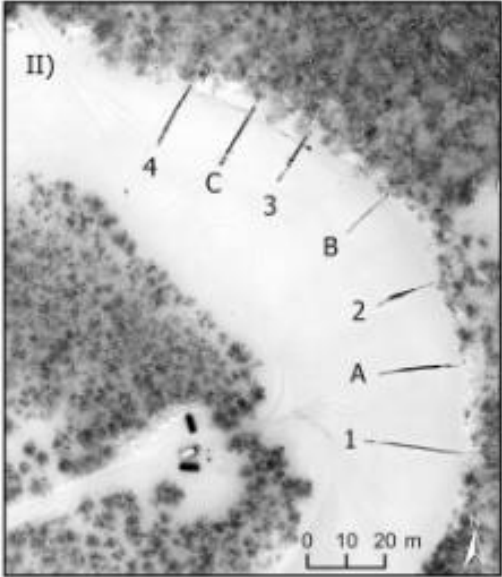


Hyyteen muodostuminen

- 20.Oct 2021 21. Oct 2021 22. Oct 2021

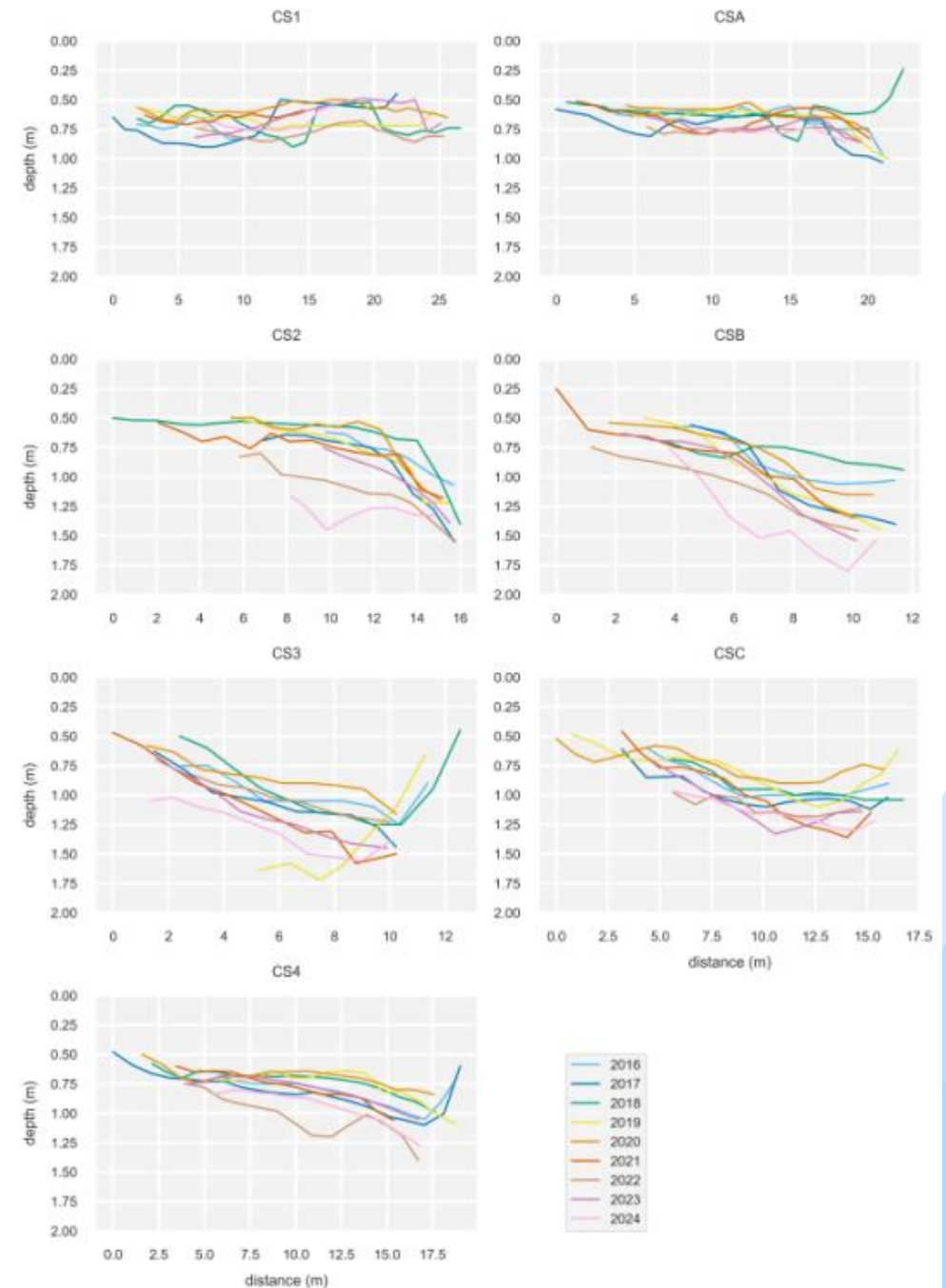
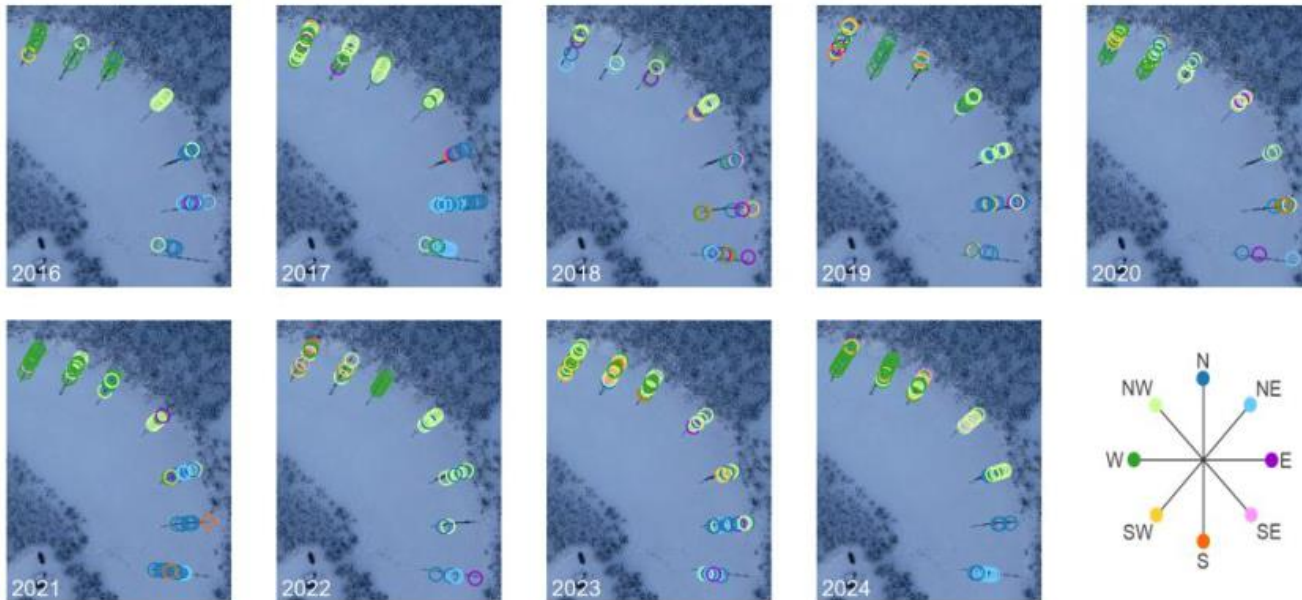
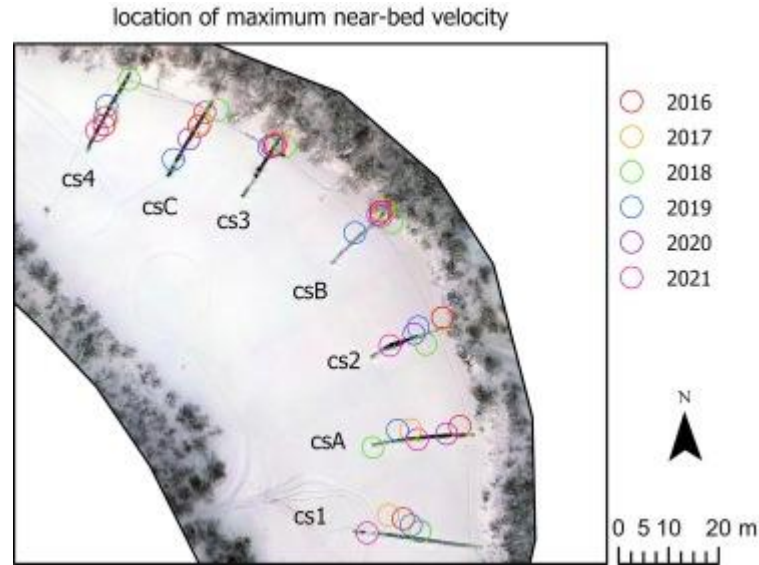


Jäänalainen havainnointi



Jäänalainen virtaus

- Lotsari ym. 2022, Journal of Hydrology. (<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128610>)
- Lintunen ym., WRR, 2026. <https://doi.org/10.1029/2025WR042447>



Pohja-aineskuljetus

- Välimäki ym., lähetetty,
Journal of Hydrology



Vedenalainen kuvaaminen



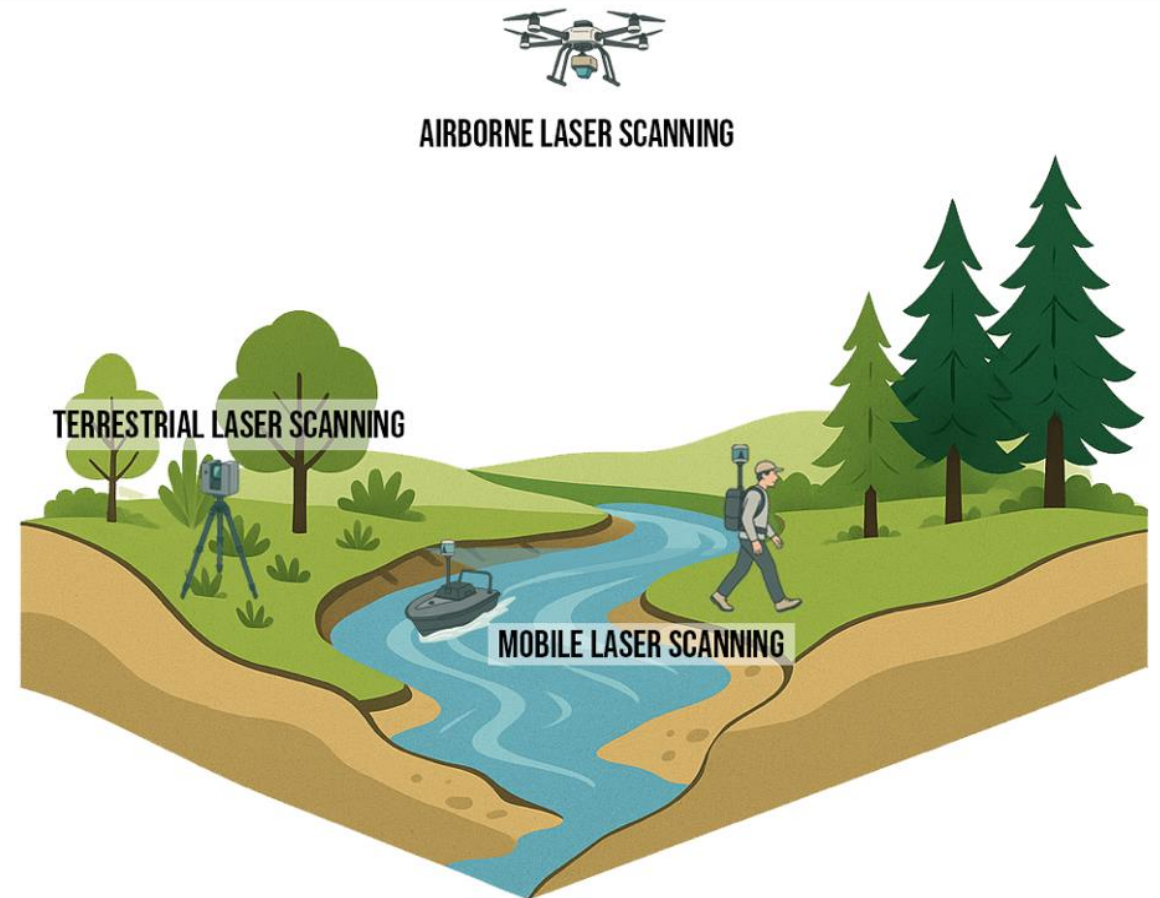
Jään ja uoman pohjan topografia

- Videot -> topografian määrittäminen
- Jään ja uoman pohjan karkeus selville -> edesauttaa mallinnusmenetelmiä. (Vaahtera ym., arvioinnissa)
- Vaahtera ym. Lähetetty/arvioinnissa.

Laserkeilaus- menetelmät

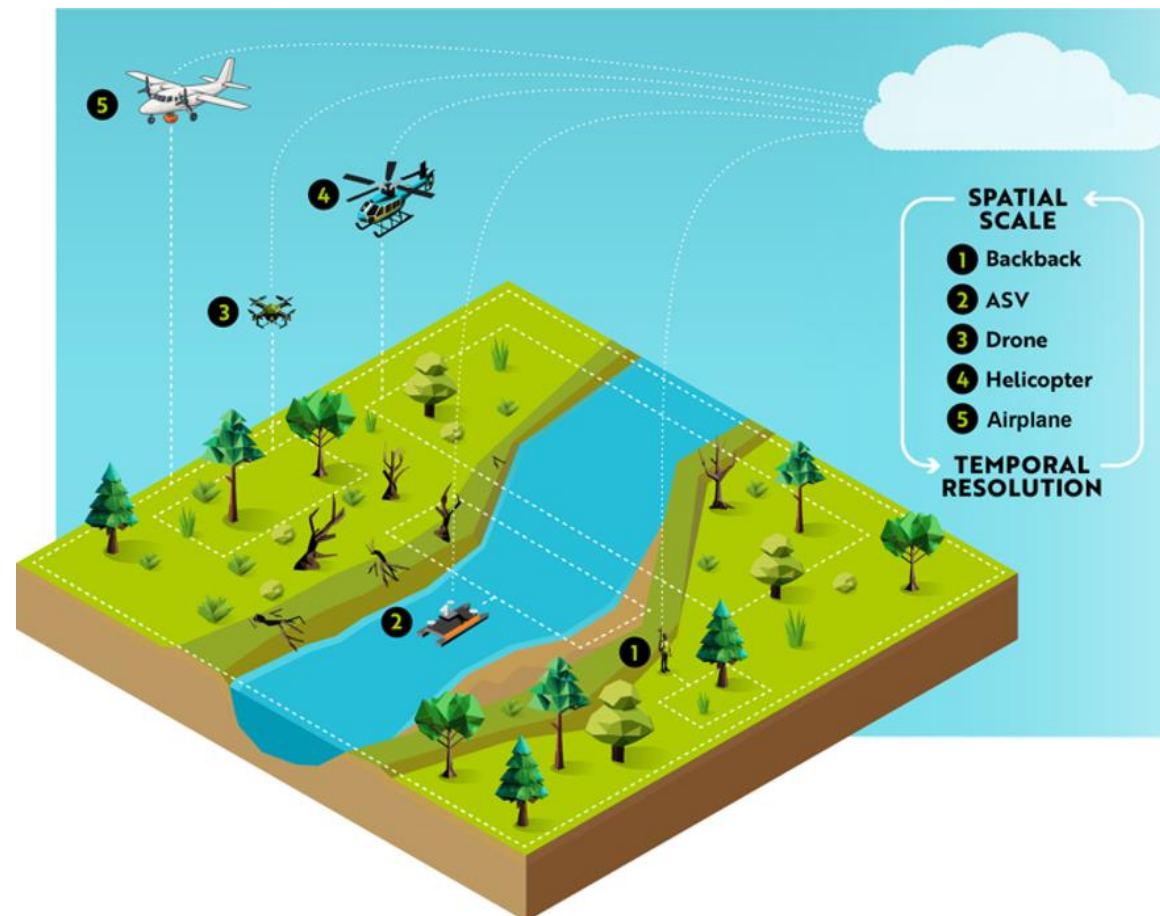
LASERKEILAUS - PERUSIDEA

- Tapa havainnoida ympäristöä yksityiskohtaisesti
- Luo kolmiulotteisen pistepilven, jossa jokaiselle havainnolle on x, y, z -koordinaatit
- Pistepilven yksityiskohtaisuus (resoluutio) riippuu mittausjärjestelmästä ja -tavasta



LASERKEILAUS - PERUSIDEA

- **Mittausalustat:**
 - **Terrestrial** – Liikkuva tai paikallaan
 - **Airborne** – Drone, helikopteri, lentokone
- **Mittaussensorit:**
 - Yksi- tai useampi aallonpituus
 - Ominaisuudet vaihtelevat
 - Nopea teknologinen kehitys
- **Mittaustrategian tärkeys**
 - Aineiston laadun varmistus



MIKSI TÄMÄ ON TÄRKEÄÄ?

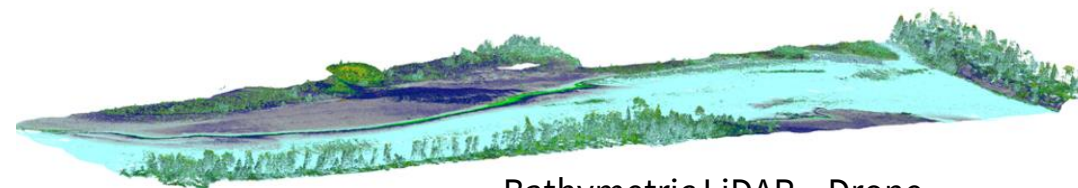
MUUTOKSEN HAVAINNOINNIN NÄKÖKULMASTA:

- **Erot spatiaalisessa ja ajallisessa resoluutiassa**
 - Määrittelee mitä tunnuksia pistepilvistä on mahdollista laskea
 - Aineiston laadun varmistus keskiössä
 - Muutoksen tulkinta ja epävarmuustekijät
 - Aineiston keruun ja analysoinnin raskaus / kustannukset
- **Mitä ominaisuutta tai ilmiötä ja sen muutosta haluat havainnoida?**

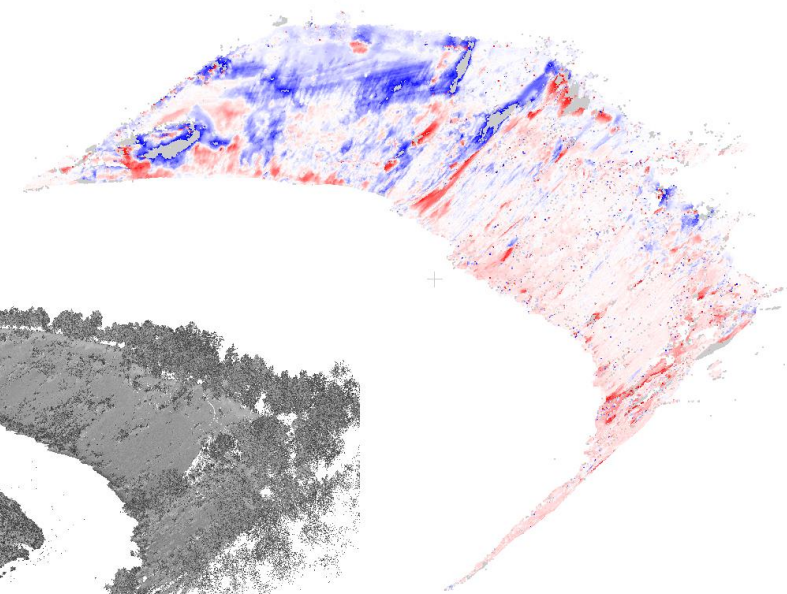


AINUTLAATUISIA AINEISTOJA

- Pitkät aikasarjat Pulmankijoelta
- Monikanavalaserkeilaus Tenojoelta
- Uudet vihreän aallonpituuden laserkeilaimet
 - Drone vs. vedenalainen



Bathymetric LiDAR – Drone



Maastolaserkeilaus aikasarja



Vedenalainen laserkeilain

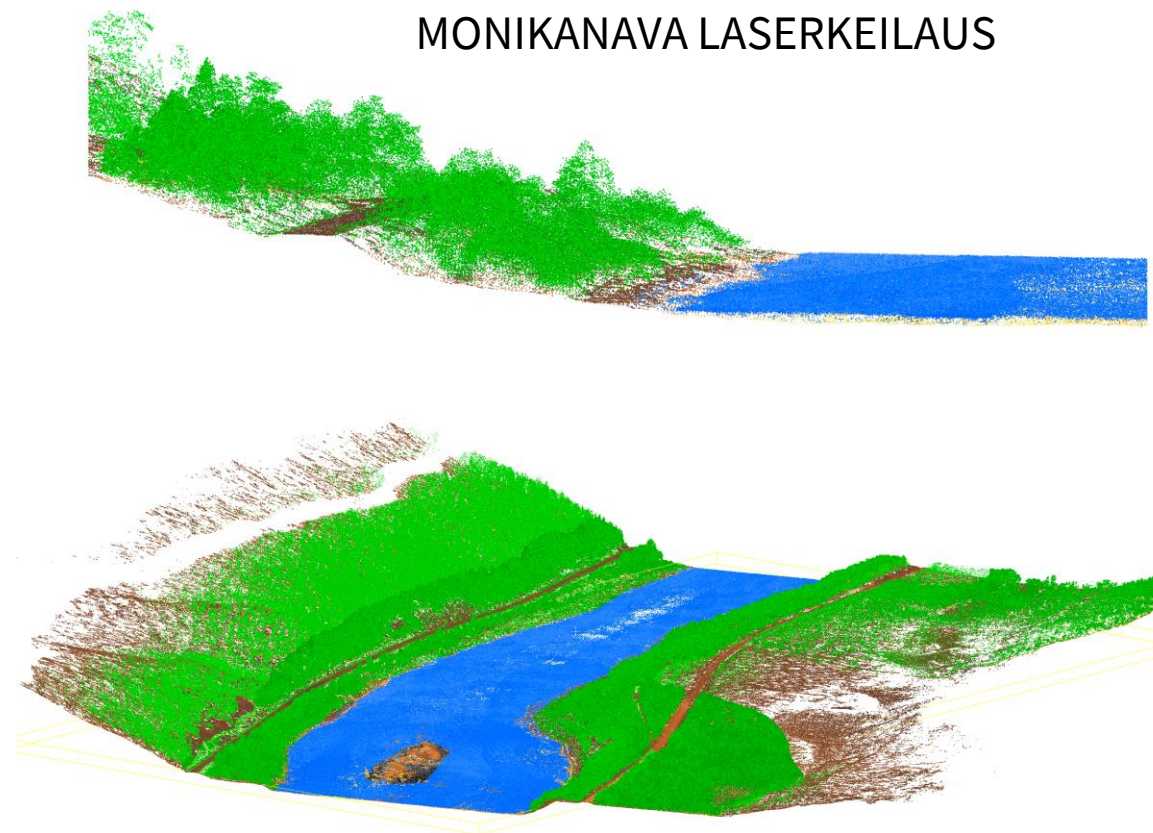


TENOJOKI

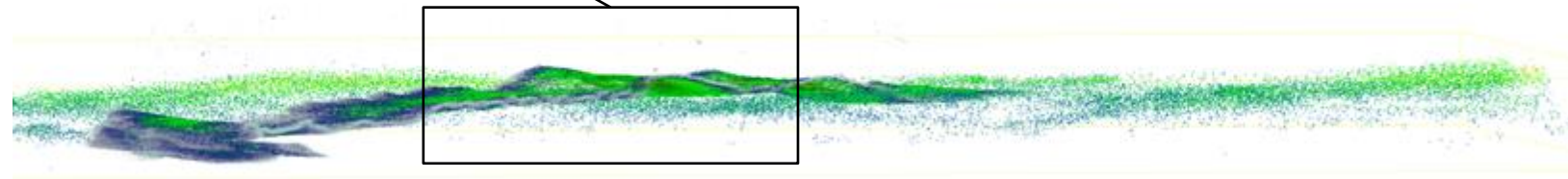
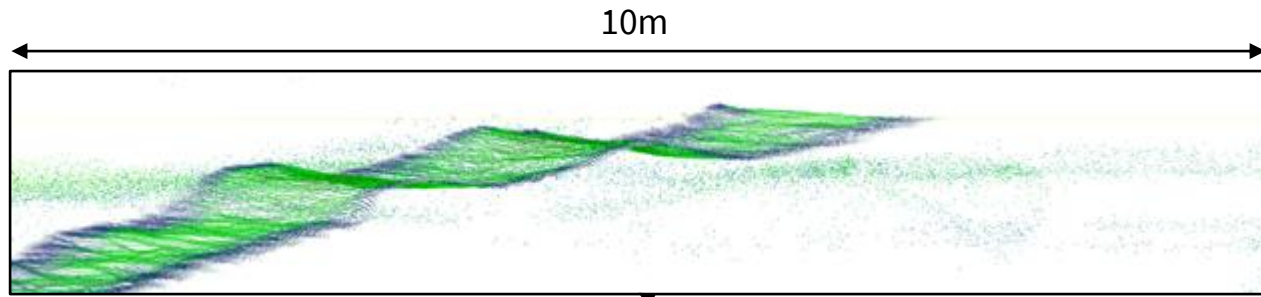
Emmy Kärkkäinen - DIWA PhD Pilot

“Seasonal Dynamics of Instream Mesohabitats Over a Long Section of a Large Subarctic River”

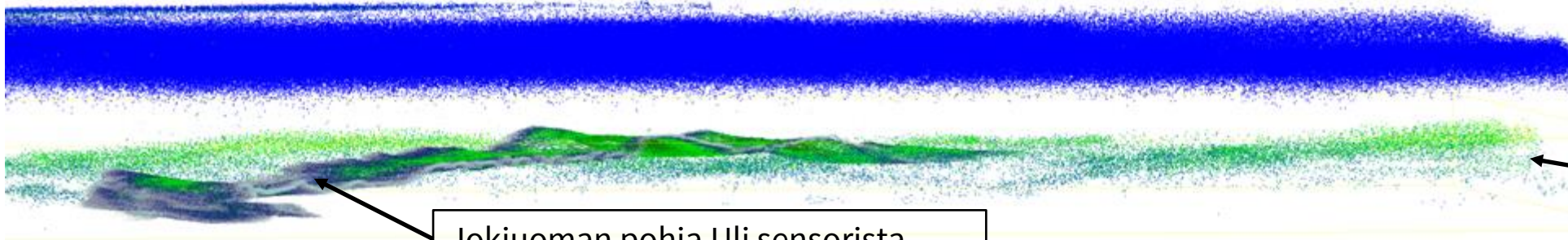
- Tutkimuksessa käytössä ainutlaatuinen **monikanava laserkeilausaineisto**
 - Kolme eri aallonpituutta (1550/905/**532** nm)



JOKIUOMAN PISTEPILVI



Jokiuoman pohja



Vedenpinta ABS sensorista

Jokiuoman pohja ABS sensorista

Jokiuoman pohja Uli sensorista

Kiitos!

Web page: www.digitalwaters.fi

Instagram: [diwa_flagship](https://www.instagram.com/diwa_flagship)

IG Threads: [@diwa_flagship](https://www.igthreads.com/@diwa_flagship)



Research Council
of Finland