

Harjunpäänjoen kääntöuoman mitoitukseen liittyvät avotila- ja jääpatolaskennat

Sisältö

1. Johdanto.....	1
2. Taustaa.....	2
2.1. Tehtävänanto.....	2
2.2. Mallinnettavan alueen hydrologisia tietoja.....	3
2.2.1. Harjunpäänjoki.....	3
2.2.2. Kokemäenjoki.....	3
3. Avotilan tulvalaskennat nykyiselle Harjunpäänjoen alaosalle sekä kääntöuomalle.....	4
3.1. Taustaa.....	4
3.2. Reunaehdot ja mallinnettavan alueen valmistelu.....	4
3.3. Tulokset.....	6
4. Jääpatolaskennat nykyiselle Harjunpäänjoen alaosalle sekä kääntöuomalle.....	17
4.1. Taustaa.....	17
4.2. Virtausmallien valmistelu ja reunaehdot.....	17
4.2.1. Nykytila.....	17
4.2.2. Kääntöuoma.....	17
4.2.3. Reunaehdot.....	18
4.3. Tulokset.....	19
4.3.1. Nykytila.....	19
4.3.2. Kääntöuoma.....	24
4.3.3. Nykytilan ja kääntöuoman tulosten vertailu.....	32

1. Johdanto

Tämä raportti käsittelee Harjunpäänjoelle tehty virtausmallinnukset, joiden tavoitteena oli selvittää nykyisen Harjunpäänjoen ja Holminkosken alapuolelle suunnitellun Harjunpäänjoen kääntöuoman tulvavaaraa. Virtausmallinnukset on suoritettu sekä määritetyille avotilalle (ei jäätä) että erilaisissa jääpatotilanteissa.

Mallinnukset perustuvat Porin kaupungin suunnitelmiin (kääntöuoman linjaus) ja mittauksiin (Harjunpäänjoen poikkileikkausmittaukset), Maanmittauslaitoksen km²-korkeusmalliin, Kokemäenjoen viistokaikuluotauksiin (KAT Oy) sekä ympäristöhallinnon hydrologisiin havaintoihin.

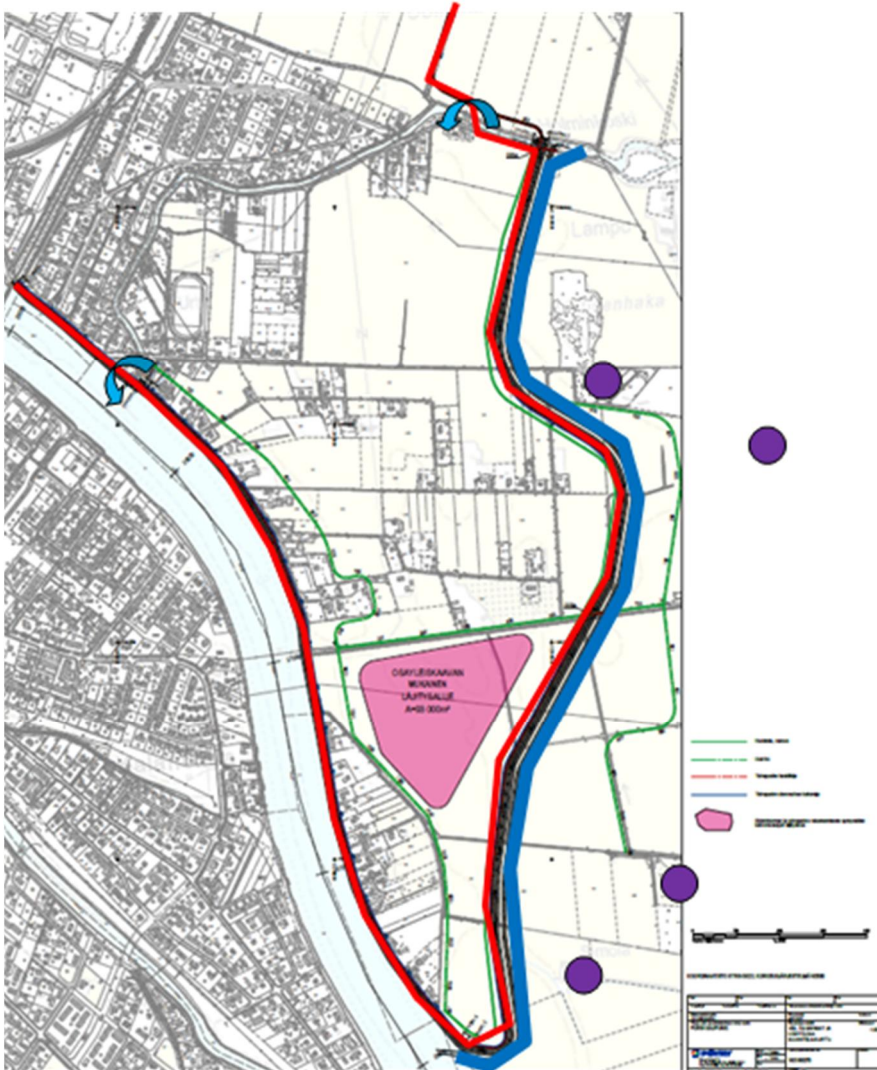
Mallinnuksia edelsi maastokäynti, jossa tutustuttiin sekä nykyiseen uomaan että suunnitellun kääntöuoman alueeseen. Maastokäynnin perusteella voidaan todeta, että Harjunpäänjoki vaikuttaa nykyisellään erittäin hankalasti tulvasuojeltavalta alueelta. Mikäli tulvatilanteessa Harjunpäänjoen rannalle tarvitaan esim. raskaita koneita purkamaan jääpatoja tai tekemään tulvasuojauksia on niitä tiiviin ja rantatörmille ulottuvan rakennuskannan vuoksi vaikea saada riittävän lähelle.

Seuraavassa esitettävien tulosten perusteella Harjunpäänjoen alaosan siirto ei aiheuta merkittävää tulvavaaran kasvua uoman itäpuolella avotilanteessa (ei jäätä) ja jääpatotilanteissa, jossa jäät kasautuvat Harjunpäänjoen alaosaan, tulvavaara pienenee.

2. Taustaa

2.1. Tehtävänanto

Harjunpäänjoen alaosan järjestelyn ratkaisuksi on päätetty kääntöuoma, joka laskisi Kokemäenjokeen Harjunpäänjoen Holminkosken alapuolelta etelään (kuva 1). Kääntöuoman länsirannalle ja Kokemäenjoen pohjoisrannalle Sunniemeen tehdään tulvapadot. Harjunpäänjoen alaosa jätetään sisäjärveksi.



Kuva 1. Toteutettavaksi esitetty Harjunpäänjoen kääntöuoman linjaus sekä tulvapatojen sijainti.

Hankkeen suunnittelua varten on selvittävä nykyisen Harjunpäänjoen tulvavaara sekä suunnitellun kääntöuoman mukainen tulvavaara muutamalla uomavaihtoehdolla, jotka poikkeavat toisistaan lähinnä pohjan leveyden osalta. Koska jääpadot ovat olennainen osa Porin tulvia, selvitetään myös jääpatojen vaikutusta em. uomissa.

Porin tulvasuojeluhankkeen johtoryhmässä (Pori & VAR-ELY) on päätetty, että Länsi-Suomen vesioikeuden 1983 antaman luvan mukaiset Kokemäenjoen vesipinnat ovat mitoittavat (taulukko 1). Varaus korkeampiin vesipintoihin vaatisi korkeampia patoja ja siten tulva-alueen laajenemista esim. Ulvilan kaupungin puolella.

Taulukko 1. Vesioikeuden 1983 luvan mukaiset mitoittavat Kokemäenjoen vesipinnat

	Padon harja N2000+m (N60+m)	Vesipinta N2000+m (N60+m)
Rautatiesilta, alavirran puoli	3,7 (3,3)	3,4 (3,0)
Varvourinjuovan yläpää (=kääntöuoman alapää)	3,8 (3,5)	3,5 (3,1)

Oletus on, että kuivavara on 0,3 metriä. Tämä ilmenee vuoden 1983 luvasta.

2.2. Mallinnettavan alueen hydrologisia tietoja

2.2.1. Harjunpäänjoki

Harjunpäänjoen valuma-alue (34.14) on pääosin Porin ja Ulvilan kuntien alueella sijaitseva 2. jakovaiheen vesistö Kokemäenjoen päävesistössä. Sen valuma-alue on ympäristöhallinnon valuma-aluekisterin mukaan 506 km² ja järvisuusprosentti 4,7 (lähde: ympäristöhallinnon valuma-aluekisteri). Valuma-alueen vedet purkautuvat Kokemäenjokeen Harjunpäänjokea pitkin, joka rajautuu alajuoksulla Porin Isojoenrannan ja Ulvilan Harjunpään kaupunginosaan.

Ympäristöhallinnolla on ollut Harjunpäänjoessa havaintoasema vuosina 1970-1991. Vuosittaisista ylivirtaamista voidaan suorittaa toistuvuusanalyysi ja määrittää Harjunpäänjoelle taulukon 2 mukaiset virtaamatoistuvuudet 95 % luottamusvälillä (ympäristöhallinnon HYD-valikko-ohjelma):

Taulukko 2. Harjunpäänjoen virtaamatoistuvuuksia virherajoihin

Toistumisaika (1 / vuotta)	Alaraja m ³ /s	Estimaatti m ³ /s	Yläaraja m ³ /s
5	29	35	41
10	32	41	49
15	34	44	53
20	35	46	56
25	36	48	59
30	37	49	61
50	39	53	66
100	42	58	73
250	46	65	83

Suurin jaksolla 1970-1991 havaittu Harjunpäänjoen virtaama on ollut 47 m³/s (28.4.1970). Havaintojakson keskiylivirtaama on 28 m³/s, keskivirtaama 4,7 m³/s ja keskialivirtaama 0,61 m³/s.

2.2.2. Kokemäenjoki

Harjunpäänjoki laskee Kokemäenjokeen, jolle voidaan määrittää vastaavat virtaamatoistuvuudet Harjavallan voimalaitoksen virtaamahavainnoista (taulukko 3). On huomattava, että valuma-alueen kasvaessa Harjavallasta Porin kaupunkiin, myös virtaamat kasvavat. Ao. taulukosta saa kuitenkin käsityksen virtaamien suuruusluokasta.

Taulukko 3. Kokemäenjoen virtaamatoistuvuuksia virherajoihin

Toistumisaika (1 / vuotta)	Alaraja m ³ /s	Estimaatti m ³ /s	Yläaraja m ³ /s
5	647	697	746
10	718	785	852
15	757	834	911
20	785	869	954
25	806	896	986
30	823	918	1012
50	850	952	1054
100	871	978	1086
250	935	1060	1186

Kokemäenjoen alaosalla on ollut useampi vedenkorkeuden havaintoasema. Lähimpänä alapuoliseksi reunaehdoksi määritettyä rautatiesillaa sijaitsee Lukkarinsannan havaintoasema, n. 900 metriä rautatiesillalta alavirtaan. Asema on toiminut vuodesta 2004. Aseman suurin havaittu vedenkorkeus on toistaiseksi ollut n. N2000+2,00 metriä. Näin lyhyellä havaintojaksolla yli kolmen metrin (N2000) vedenkorkeus olisi erittäin harvinainen tapahtuma, jopa harvinaisempi kuin keskimäärin kerran 250 vuodessa ja se vaatisi avotilan virtauksessa toteutuakseen erittäin suuren merivedenpinnan sekä virtaaman. Tehtävänannossa määritetty N2000+3,4 metrin vedenkorkeus saavutetaankin todennäköisemmin esim. Kokemäenjoen alaosan jääpatojen vaikutuksesta, jolloin vedenpinta voi pienelläkin virtaamalla ja merivedenkorkeudella nousta useita metrejä avotilan arvoja korkeammalle.

3. Avotilan tulvalaskennat nykyiselle Harjunpäänjoen alaosalle sekä kääntöuomalle

3.1. Taustaa

Avotilan laskennoilla tarkoitetaan ilman jääkannen vaikutuksia tehtäviä mallinnuksia. Laskennat on suoritettu HEC-RAS 5.0b –ohjelmiston 2-dimensionaalisella laskennalla. 2-dimensionaaliseen laskentaan päädyttiin, koska varsinkin nykytilannetta vastaavassa tilanteessa sekä Kokemäenjoen että Harjunpäänjoen uomien, sekä niitä ympäröivien tulva-alueiden välisiä vuorovaikutuskohtia, näytti olevan useita ja niitä oli haastavaa määrittää etukäteen. 1-dimensionaalinessa mallissa, jossa laskenta etenee etukäteen määritettyyn uomaan, virtaussuuntaan nähden kohtisuorasti asetettuja poikkileikkauksia pitkin, saattaa olla vaikea mallintaa realistisesti uomasta tulva-alueelle nousevan veden liikettä. 2-dimensionaalisessa mallissa määritetään monikulmioista koostuva laskentaverkko, jonka jokaiseen pisteeseen voidaan laskea mm. virtausnopeus xy-tasossa sekä vedenkorkeus, eikä siinä ole 1-dimensionaalisen mallinnuksen kaltaisia etukäteisoletuksia virtausreiteistä.

3.2. Reunaehdot ja mallinnettavan alueen valmistelu

Mallinnettu alue on esitetty mm. kuvassa 3. Alue rajoittuu Kokemäenjoen osalta saadun tehtävänannon mukaisesti rautatiesiltaan ja joen pohjoispuolella olevaan Harjunpään ja Sunniemen alueeseen. Kokemäenjokea otettiin mukaan malliin Koivistonluodolta saakka, jotta mahdollinen tulviminen joen pohjoispuolelle ja virtaus erityisen mielenkiinnon kohteena olevalla suunnitellun kääntöuoman lähistöllä olevalla tulva-alueella ei häiriintyisi liian lähellä tarkastelualueella olevan yläpuolisen reunaehdon, eli Kokemäenjoen virtaaman vuoksi. Harjunpäänjokea otettiin mukaan n. 2,7 kilometrin pituinen jakso alajuoksulta lukien. Aluerajaus tehtiin pohjois- ja itäreunan osalta niin, että tulva ei saavuta mallinnusalueen reunoja ja siten aiheuta virheellisiä virtausolosuhteita. Rajaus haettiin sopivaksi muutaman alustavan laskennan avulla.

Mallinnusalueetta kuvaavan laskentaverkon korkeustiedot otettiin Maanmittauslaitoksen, resoluutioltaan 2 metrin km²-korkeusmallista. Km²-korkeusmallin laatuluokan 1 korkeustarkkuus on keskimäärin 0,3 metriä ja sen tällä hetkellä tarkin mahdollinen Suomessa laajasti tuotettu korkeusmalli. HEC-RASin uusimmassa 5b-versiossa (elokuu 2015) laskentaverkkoon voi syöttää taiteviivoja. Taiteviivan tarkoitus on varmistaa, että maaston pinnan kaltevuudessa tapahtuvat muutokset toistuvat esim. muuten nelikulmion esitetystä korkeusmallista oikein. Tällaisia muutoksia tulvamallinnuksessa ovat mm. tielinjat, penkereet ja rantatörmät. Taiteviivan avulla voidaan esim. ehkäistä veden virtaus ennenaikaisesti padon toiselle.

Mallinnusalueen pohjana toimineeseen km²-korkeusmalliin tehtiin lisäksi seuraavia muutoksia:

- Kokemäenjoen pohjan korkeusarvot korvattiin resoluutioltaan 1 metrin viistokaikuluotausaineistolla, sillä km²-mallissa joen kohdalla oli keilausajankohdan vedenkorkeus (laserkeilaimen signaali ei läpäise vettä).
- Harjunpäänjoen pohjan korkeusarvot saatiin Porin kaupungin mittaamista poikkileikkauksista muodostetusta tyyppipoikkileikkauksesta. Poikkileikkausten graafisen tarkastelun lisäksi uoman muoto todettiin 8.10.2015 suoritettulla maastokäynnillä kauttaaltaan hyvin samanmuotoiseksi.
- Rautatiesillan alla oleva patoseinä lisättiin malliin käsin, sillä laserkeilauksessa malliin tallentui yläpuolisen sillan kansi. Lopullisessa km²-tuotteessa sillan kannet poistetaan ja maasto korvataan automaattisesti ympäröivällä korkeustiedolla. Tässä tapauksessa patoseinän korkeudet puuttuivat km²-mallista kokonaan sillan kannen alaiselta osalta.

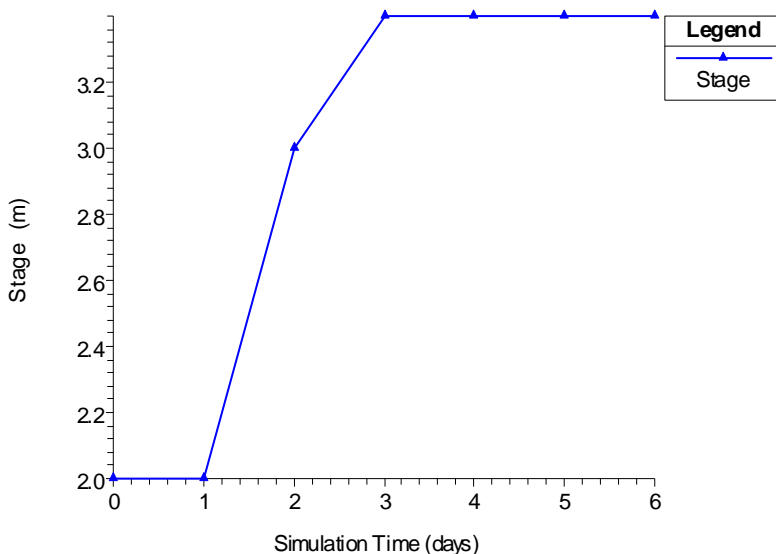
Suunnitelman mukaista laskenta-alueita varten laadittiin alkuperäisestä laskentaverkosta versio, johon lisättiin Harjunpäänjoen kääntöuoma sekä Harjunpään aluetta suojaava, Kokemäenjokea ja kääntöuomaa reunustava suojapato. Pato katkaisi myös alkuperäisen Harjunpäänjoen. Suojapadosta tehtiin laskentaa varten ”riittävän korkea”, eli sellainen, ettei vesi enää pääse Harjunpään alueelle. Padon varsinainen korkeus mitoitetaan laskettujen vedenkorkeuksien perusteella. Uuden uoman kaltevuus oli tasaisesti muuttuva: Uoman pohjan korkeusasema yläjuoksulla oli N2000-1,0 m ja alajuoksulla N2000-1,5 m. Korkeudet sovittiin 8.10.2015 suoritettun maastokäynnin yhteydessä pidetyssä kokouksessa. Kääntöuoman linjaus saatiin Porin kaupungilta. Kääntöuoman sijainti on esitetty mm. kuvassa 3.

Mallinnettaville alueille valittiin yhtenäinen pinnan karkeutta kuvaava ja veden virtaukseen häviöitä aiheuttava Manningin karkeuskerroin, 0,030.

Vaikka HEC-RASin lopulliset tulokset esitetäänkin korkeusmallin tarkkuutta vastaavassa 2 metrin resoluutiassa, laskee ohjelma simuloiteja varten suuremman resoluution ominaisuustaulukoita, joista ehkä tärkein on laskentaverkon solun vedenkorkeus-tilavuus-taulukko. Nämä arvot määrittävät virtaavien vesitilavuuksien jakautumisen laskentaverkon solujen kesken. Laskentaverkon resoluutioksi valittiin 6 metriä, joka tuotti koko laskenta-alueelle yhteensä n. 180 000 solua.

Alapuolisena reunaehtona toimi tehtävänannossa määritetty rautatiesillan vedenkorkeus N2000+3,4 metriä. Luku perustuu Länsi-Suomen vesioikeuden vuonna 1983 antamaan lupaan. Suunnitellun kääntöuoman ja Kokemäenjoen risteyksen kohdalle tehtävänannossa oli määritetty vedenkorkeus N2000+3,5 metriä. Tämä saavutetaan likimääräisesti, muutaman senttimetrin tarkkuudella nykytilaa kuvaavalla laskentamallilla, kun Kokemäenjoen virtaama on avotilassa n. 800 m³/s. Edellä mainittu virtaama-arvo valittiin laskentoihin Kokemäenjoen virtaamaksi. Tämä vastaa Harjavallan voimalaitoksen tiedoista tehdyllä toistuvuusanalyysillä noin keskimäärin kerran 12 vuodessa esiintyvää tulvaa. Harjunpäänjoen osalta virtaamaksi valittiin 50 m³/s, joka vastaa noin keskimäärin kerran 35 vuodessa esiintyvää tulvaa.

Laskennoissa molempien jokien virtaamat olivat alusta asti tasaisia. Alapuolinen reunaehto sen sijaan päättyi N2000+3,4 metriin hitaasti kuvan 2 mukaisesti. Näin meneteltiin, sillä varsinkin nykytilannetta kuvaavassa laskennassa laajoja alueita olisi ollut heti laskennan alussa veden alla. Kun alapuolinen vedenkorkeus on laskennan alussa 1 vuorokauden verran tasolla N2000+2,0 metriä, pysyy vesi Kokemäenjoen uomassa ja virtausolosuhteet ehtivät vakiintua. Vedenkorkeus rautatiesillan kohdalla nousi tasolle N2000+3,4 metriä kolmen vuorokauden kuluessa ja laskentaa jatkettiin tässä tilanteessa vielä 3 vuorokautta. Kuudennen vuorokauden lopussa virtausolosuhteet ovat varmasti tasaantuneet ja voidaan suuremmalla varmuudella esittää tulokset tehtävänannon mukaisessa virtaustilanteessa. Laskennan aika-askel oli 30 sekuntia ja laskentamenetelmänä diffuusioaaltoyhtälö.



Kuva 2. Avotilan 2D-mallinnuksen alapuolinen reunaehto, vedenkorkeus N2000-tasossa

3.3. Tulokset

Taulukon 4 kuvissa on esitetty tulvatilanteen kehittyminen sekä nykytilan että suunnitellun kääntöoman mukaisessa tilanteessa.

Taulukko 4. Tulvatilanteen kehittyminen sekä nykytilassa että kääntöoman mukaisessa tilanteessa

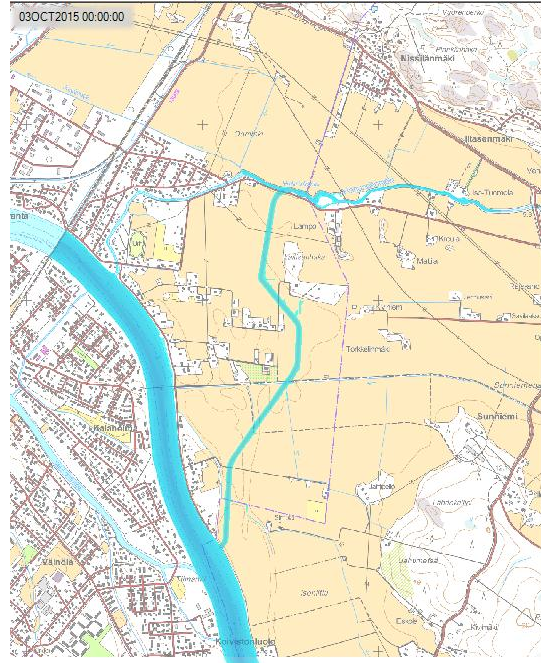
Nykytila

03OCT00:00 (0h)

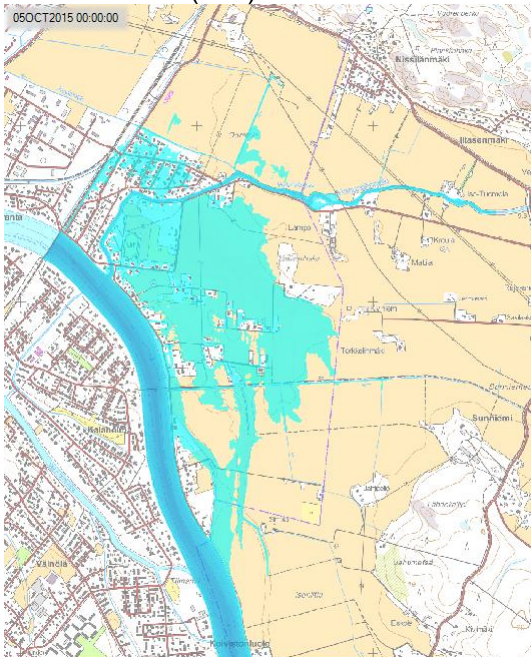


Kääntöoma

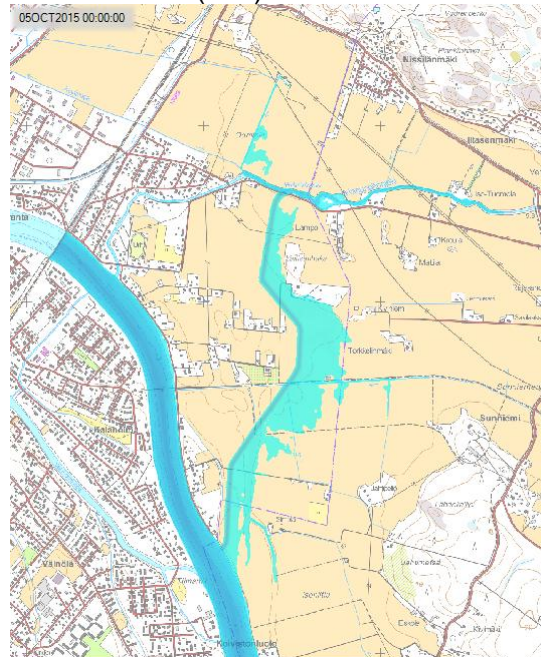
03OCT00:00 (0h)



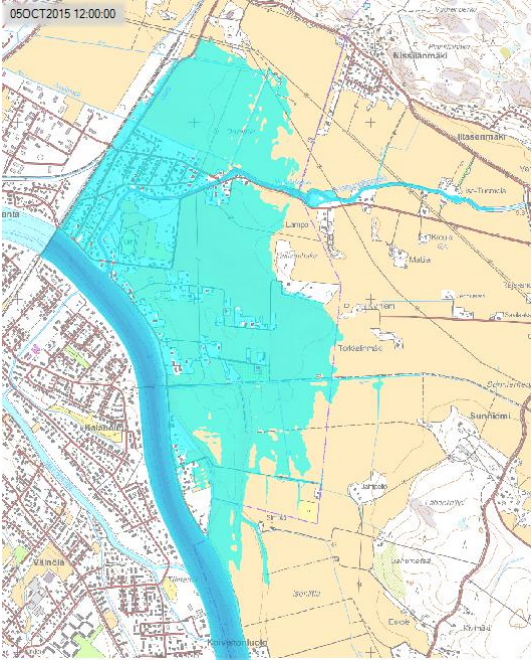
05OCT 00:00 (48h)



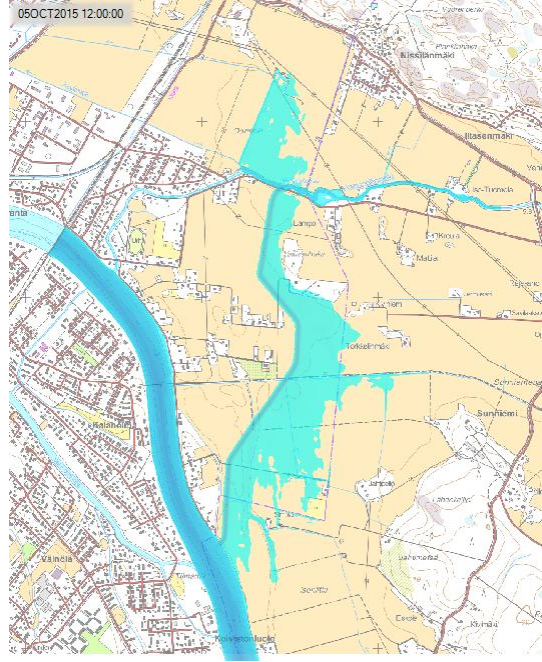
05OCT 00:00 (48h)



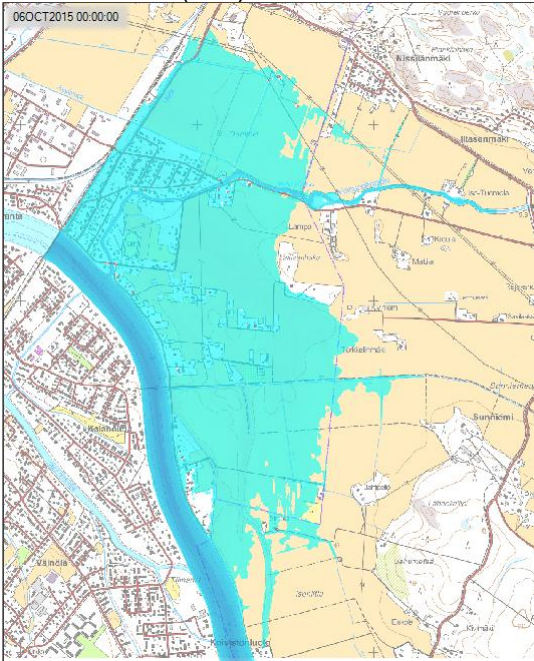
Nykytila
05OCT 12:00 (60h)



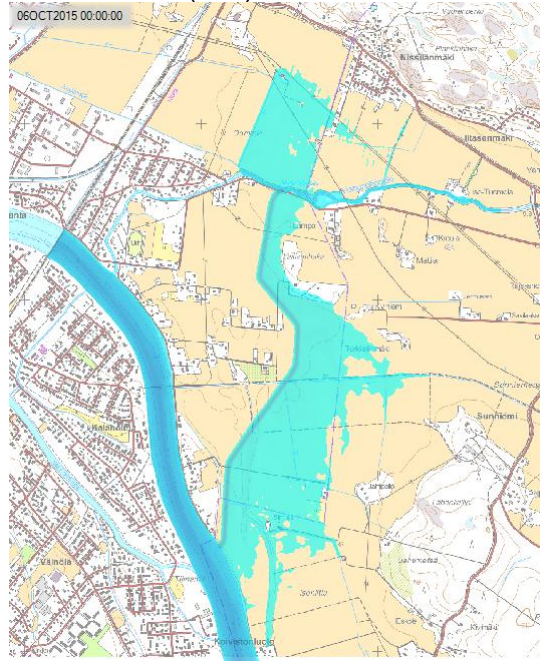
Kääntöuoma
05OCT 12:00 (60h)



Nykytila
06OCT00:00 (72h)

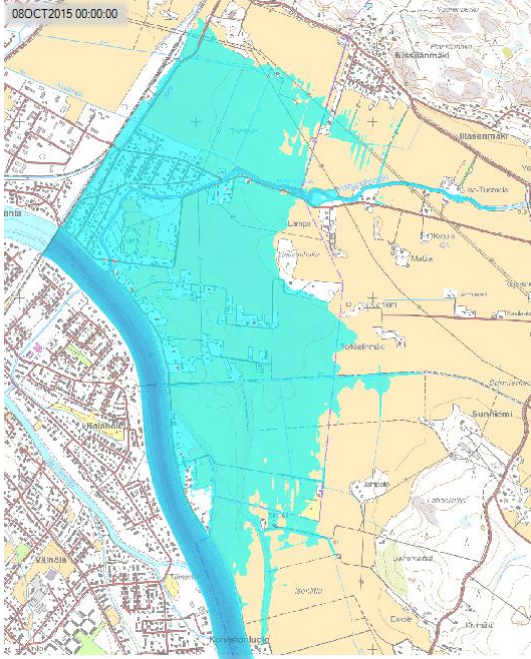


Kääntöuoma
06OCT00:00 (72h)



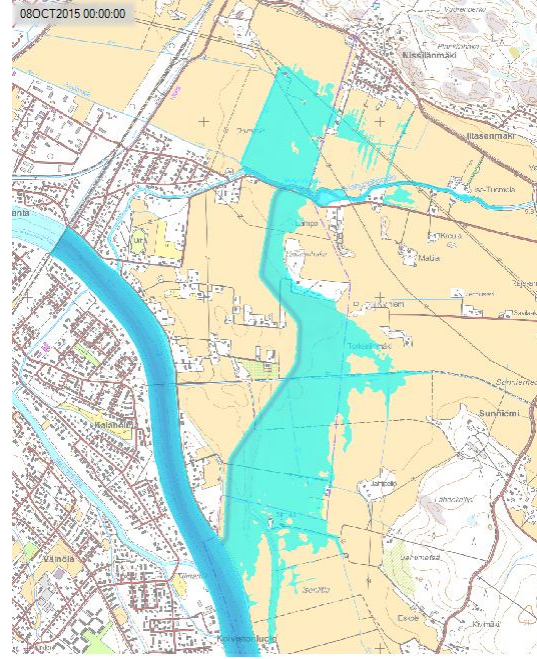
Nykytila

08OCT 00:00 (120 h)



Kääntöuoma

08OCT 00:00 (120 h)

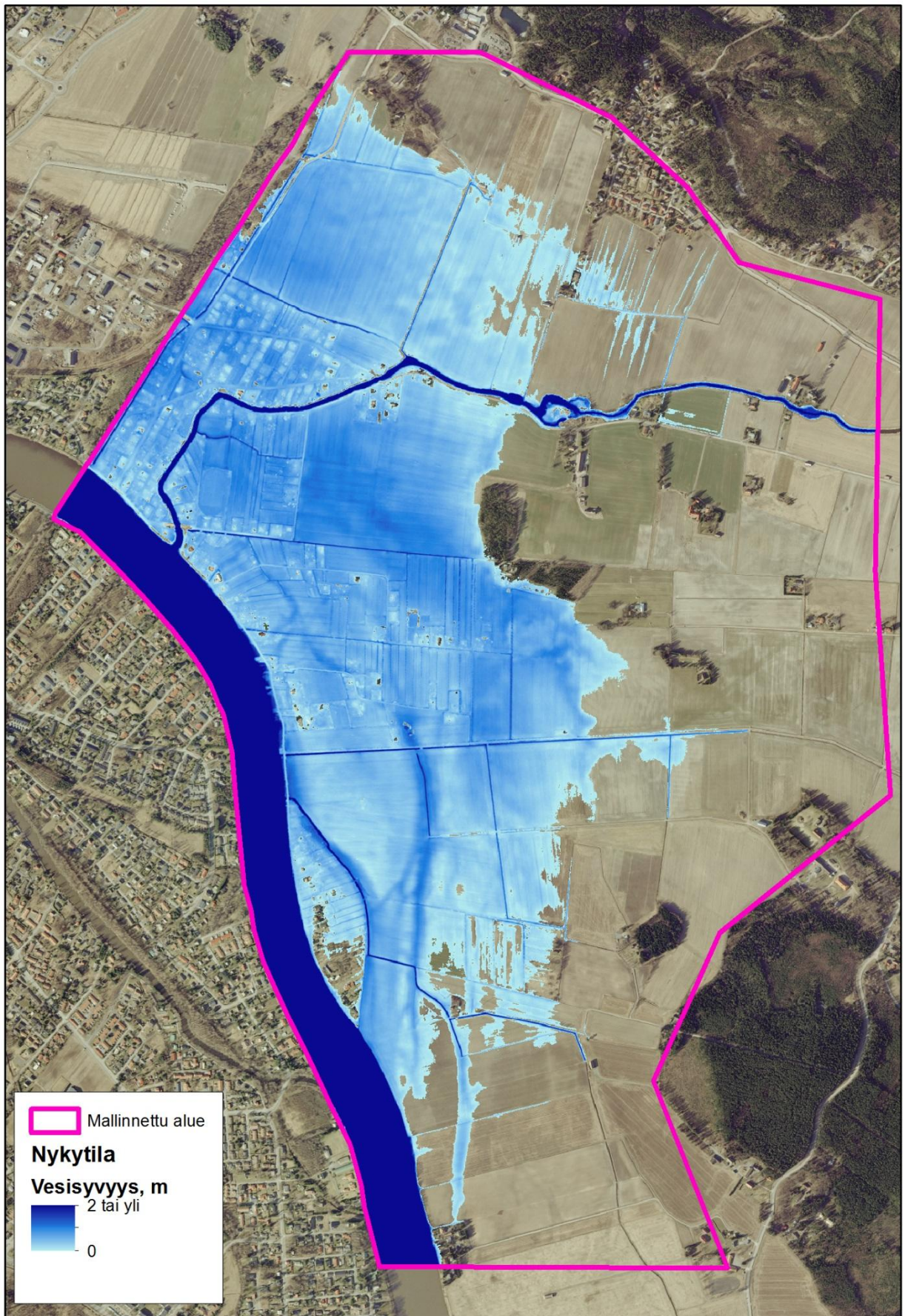


Kuvissa 3 ja 4 on esitetty nykytilan ja kääntöuoman mukaiset tulvan syvyydet. Kuvissa 5 ja 6 on puolestaan esitetty vastaavien tilanteiden vedenkorkeudet.

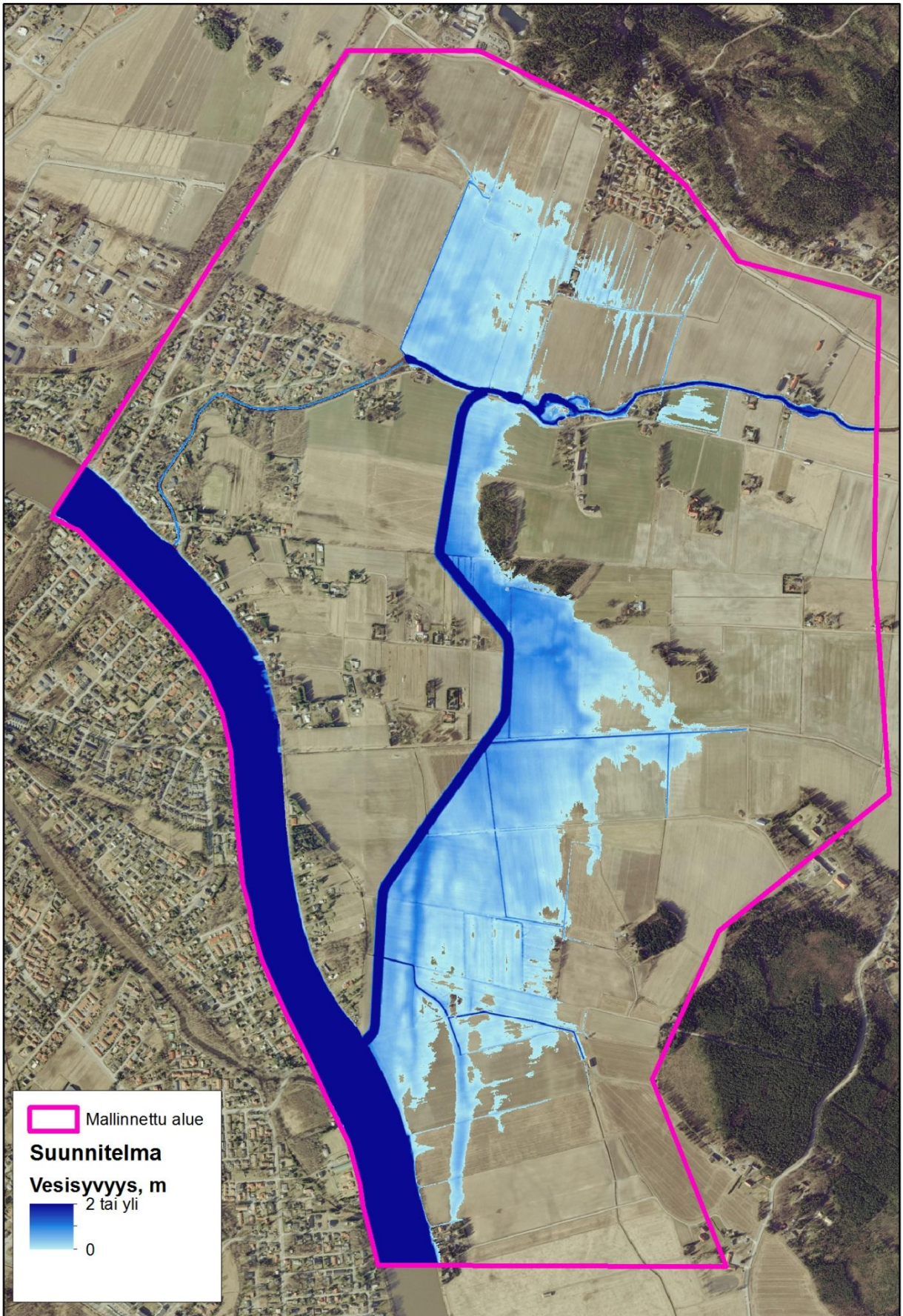
Kuvaan 7 on eritelty nykytilanteen ja kääntöuoman mukaisen tulvatilanteen yhteisiä ja erillisiä tulva-alueita. Kuvasta voidaan nähdä, että kääntöuoman lisäämisen myötä tulva-alue kasvaa hieman kääntöuoman itäpuolella, mutta ero tulvan kokonaispeittävyudessa on huomattavasti pienempi. Tulva-alueen kasvu itäpuolella johtunee suurimmaksi osaksi virtausalan pienentymisestä, kun kääntöuoman länsipuolella on riittävän suuri pato. Pieni osa kasvaneesta tulva-alueesta johtuu hieman suuremmasta kääntöuoman alaosan vedenkorkeudesta, joka on n. 10 cm korkeammalla kuin nykyisessä Harjunpäänjoessa.

Kuvissa 8 ja 9 on lisäksi esitetty Rakennus- ja huoneistorekisterin mukaisia rakennuksia. Kuvassa 7 on esitetty kaikki rekisterin rakennukset ja kuvassa 8 asuinkäyttöön (joko tilapäinen tai pysyvä) tarkoitetut.

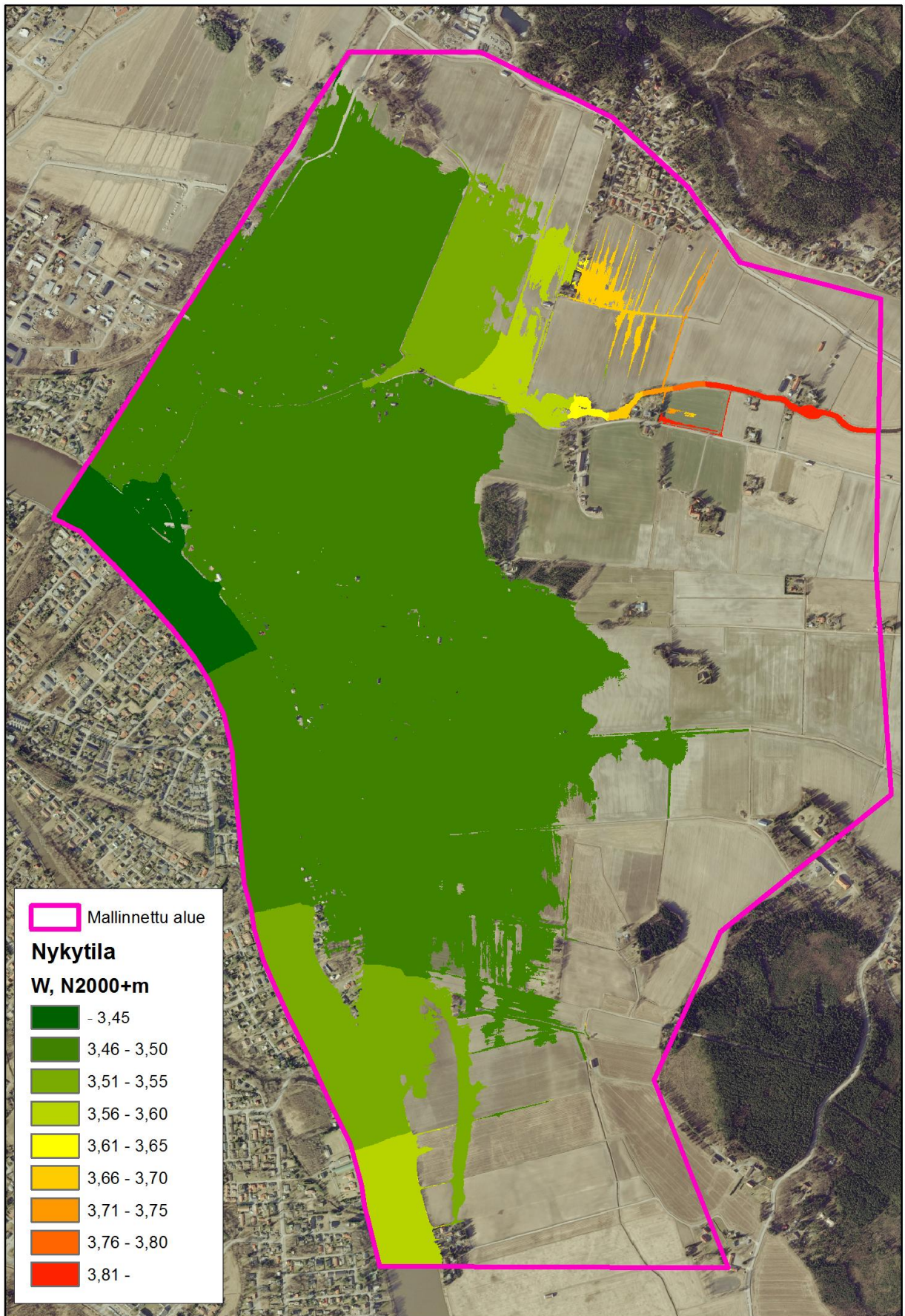
Kuvassa 10 on esitetty muutamien kääntöuoman itäpuolisten pisteiden avotilan tulvavedenkorkeudet sekä nykytilaisella että kääntöuoman mukaisella tilanteella. Kuten korkeuksista huomataan, nostaa kääntöuoma hieman (3-11 cm) vedenkorkeutta em. pisteillä. Tämä johtuu osin Harjunpään suojaamisesta johtuvasta tulva-alueen pienenemisestä ja siten myös virtausalan pienenemisestä. Toinen selittävä tekijä on kääntöuoman alaosan ja nykyisen Harjunpäänjoen alapuolinen vedenkorkeus. Koska kääntöuoma laskee Kokemäenjokeen ylävirtaan nykyisestä laskukohdasta, on vedenkorkeus kääntöuoman alaosassa n. 10 cm nykytilaista korkeammalla.



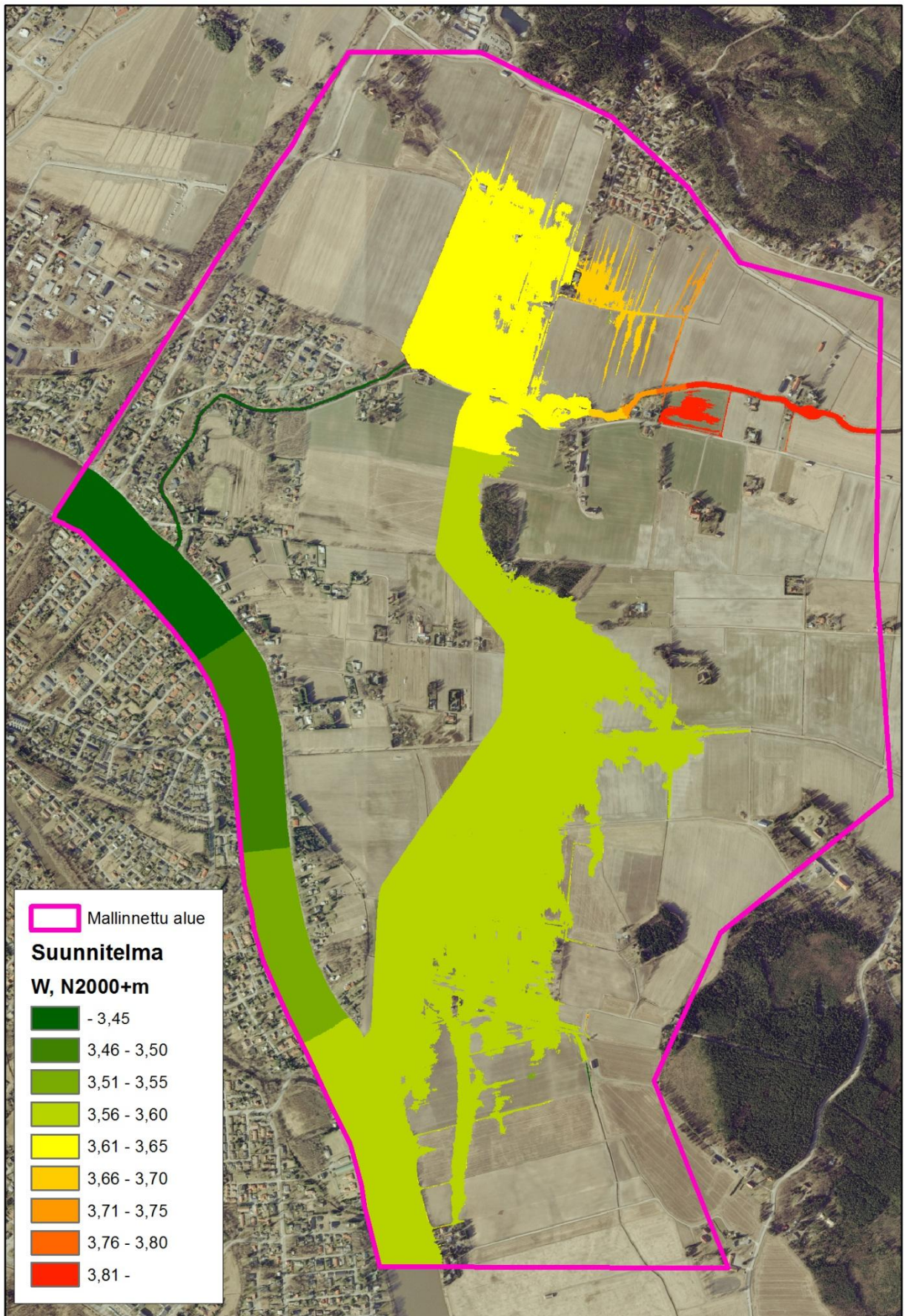
Kuva 3. Avotilan tulvakartta (vesisyvyys) nykyisen kaltaisessa Harjunpäänjoen tilanteessa, kun Kokemäenjoen virtaama on $800 \text{ m}^3/\text{s}$, rautatiesillan vedenkorkeus N2000+3,4 metriä ja Harjunpäänjoen virtaama $50 \text{ m}^3/\text{s}$.



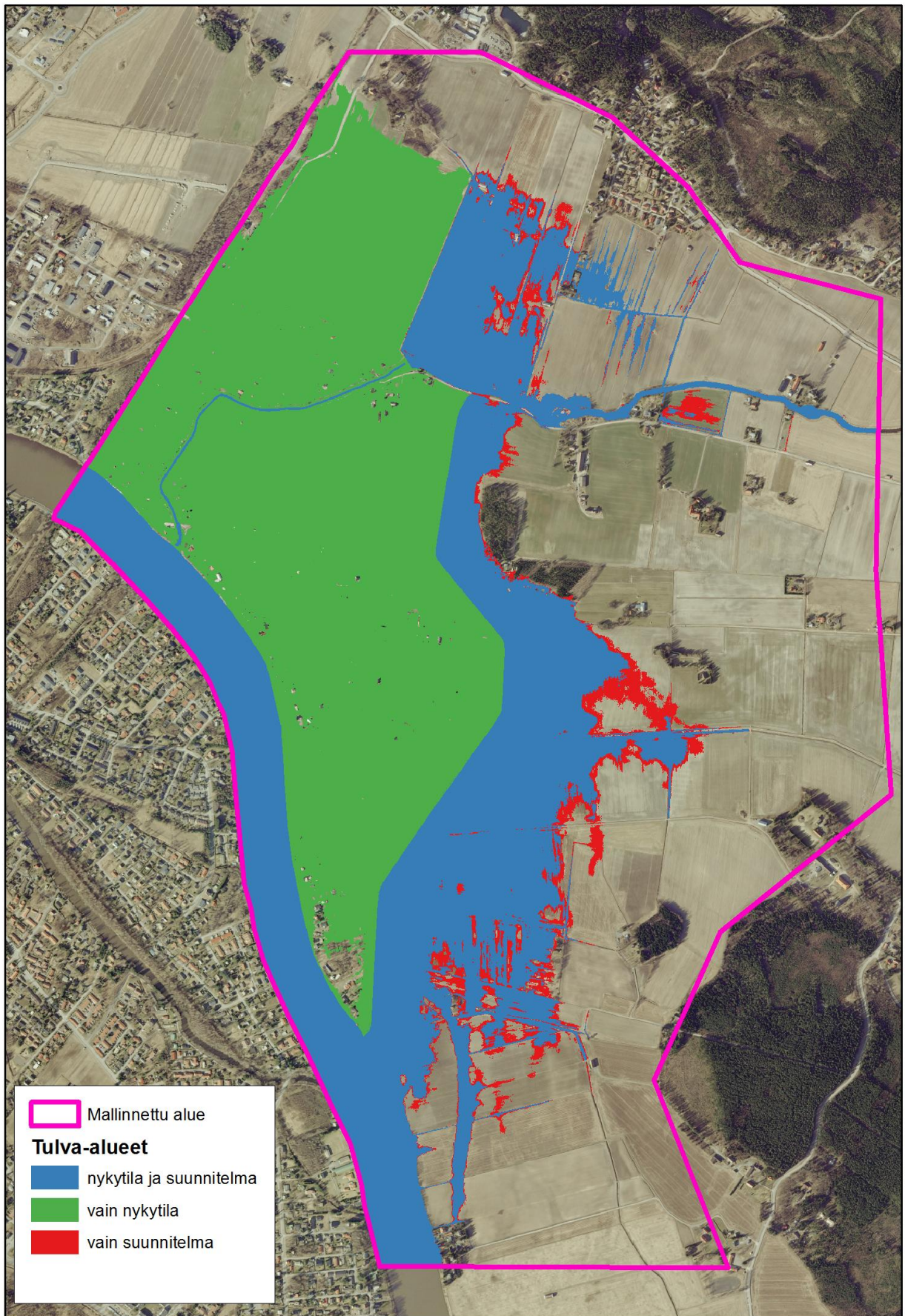
Kuva 4. Avotilan tulvakartta (vesisyvyys) kääntöuoman mukaisessa tilanteessa, kun Kokemäenjoen virtaama on 800 m³/s, rautatiesillan vedenkorkeus N2000+3,4 metriä ja Harjunpäänjoen virtaama 50 m³/s.



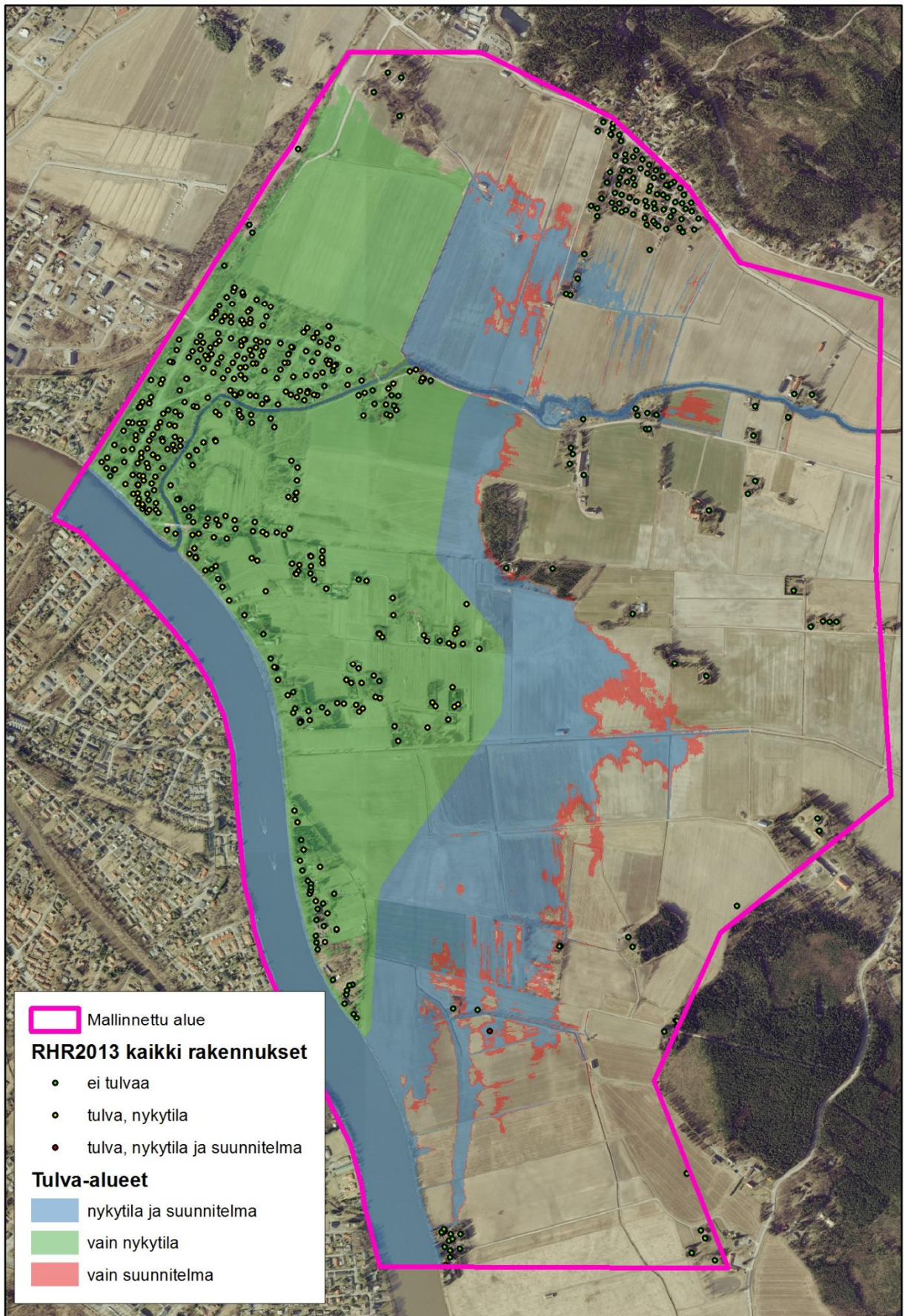
Kuva 5. Avotilan tulvakartta (vedenkorkeus) nykyisen kaltaisessa Harjunpäänjoen tilanteessa, kun Kokemäenjoen virtaama on 800 m³/s, rautatiesillan vedenkorkeus N2000+3,4 metriä ja Harjunpäänjoen virtaama 50 m³/s.



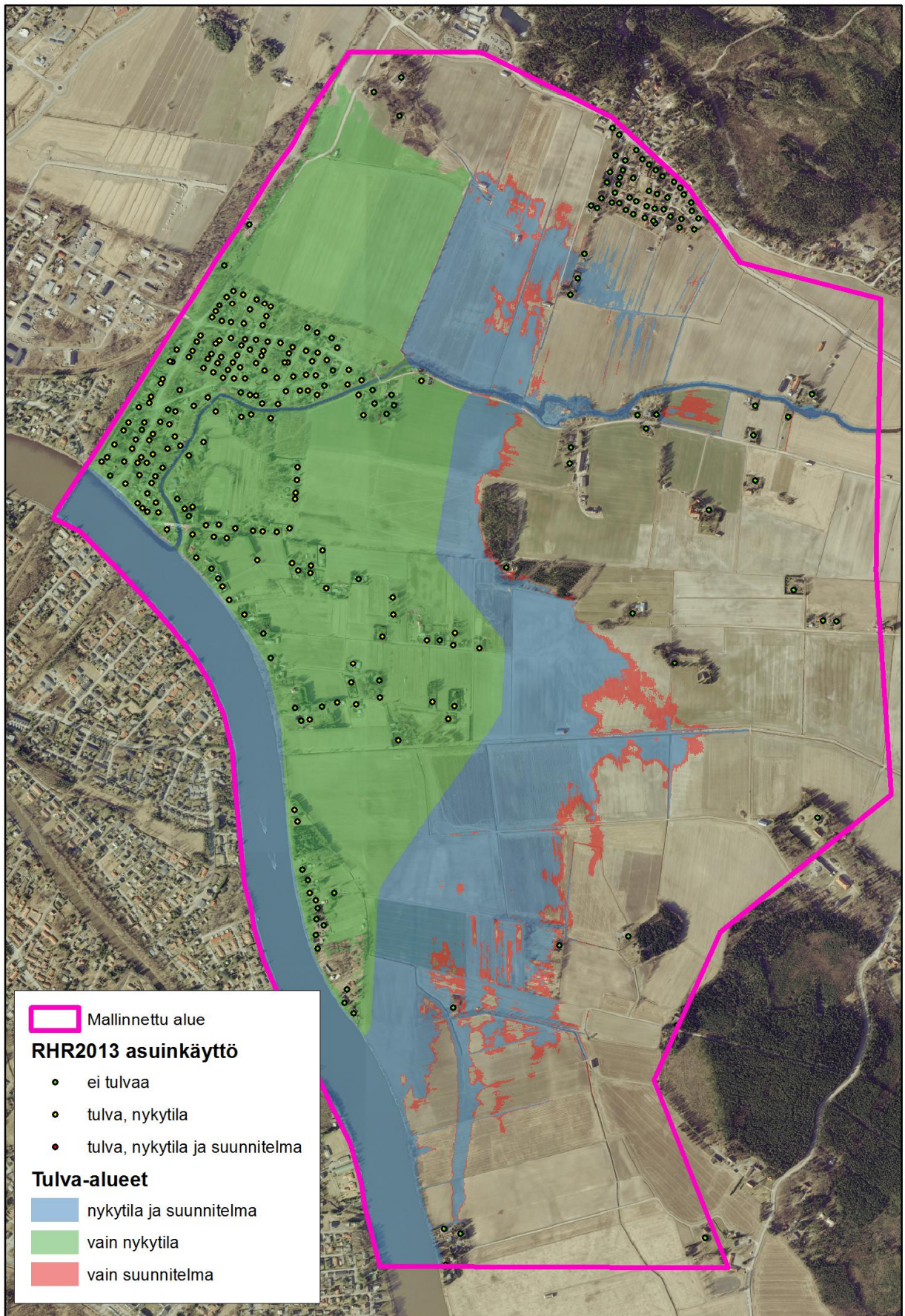
Kuva 6. Avotilan tulvakartta (vedenkorkeus) kääntauoman mukaisessa tilanteessa, kun Kokemäenjoen virtaama on 800 m³/s, rautatiesillan vedenkorkeus N2000+3,4 metriä ja Harjunpäänjoen virtaama 50 m³/s.



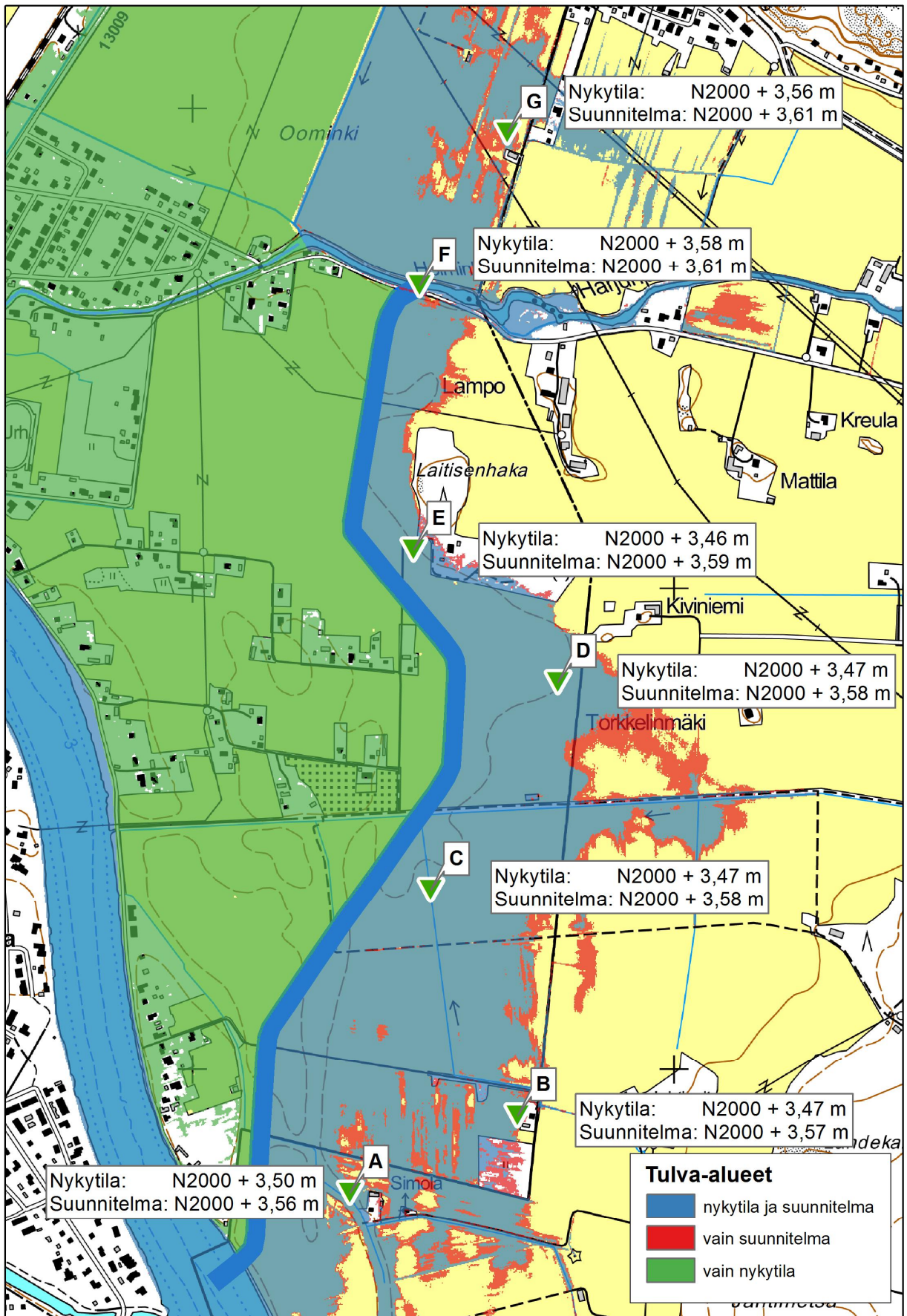
Kuva 7. Harjunpäänjoen nykytilan ja kääntöoman tulva-alueiden yhtäläisyydet ja eroavaisuudet, kun Kokemäenjoen virtaama on $800 \text{ m}^3/\text{s}$, rautatiesillan vedenkorkeus N2000+3,4 metriä ja Harjunpäänjoen virtaama $50 \text{ m}^3/\text{s}$.



Kuva 8. Harjunpäänjoen nykytilan ja kääntöuoman tulva-alueiden yhtäläisyydet ja eroavaisuudet, kun Kokemäenjoen virtaama on 800 m³/s, rautatiesillan vedenkorkeus N2000+3,4 metriä ja Harjunpäänjoen virtaama 50 m³/s. Mukana koko RHR2013 aineisto mallinnetulta alueelta.



Kuva 9. Harjunpäänjoen nykytilan ja kääntöuoman tulva-alueiden yhtäläisyydet ja eroavaisuudet, kun Kokemäenjoen virtaama on 800 m³/s, rautatiesillan vedenkorkeus N2000+3,4 metriä ja Harjunpäänjoen virtaama 50 m³/s. Mukana mallinnetun alueen RHR2013 aineisto asuinkäytössä olevien rakennusten osalta.



Kuva 10. Vedenkorkeuksien vertailu tietyillä kääntauoman itäpuolella olevilla pisteillä Harjunpäänjoen nykytilaisella ja kääntauoman mukaisella tulvatilanteella, kun Kokemäenjoen virtaama on 800 m³/s, rautatiesillan vedenkorkeus N2000+3,4 metriä ja Harjunpäänjoen virtaama 50 m³/s

4. Jääpatolaskennat nykyiselle Harjunpäänjoen alaosalle sekä kääntöuomalle

4.1. Taustaa

HEC-RASin jäälaskennassa haluttuihin poikkileikkauksiin voidaan määrittää kiinteän jääkannen paksuus. Näille poikkileikkauksille määritetään vielä erikseen mm. jääkannen virtaushäviöitä aiheuttava Manningin karkeuskerroin. Jääkannen vaikutusta voidaan mallintaa sekä stationäärisen että muuttuvan virtauksen laskennassa. Poikkileikkauksen lisääntynyt märkäpiiri johtaa usein avotilannetta (ei jääkantta) korkeampiin vedenkorkeuksiin. Kiinteän jääkannen lisäksi poikkileikkauksiin voidaan myös määrittää muodostumaan jääpato. Näihin poikkileikkauksiin määritetään lisäksi tarkentavia ominaisuuksia kuten jääpadon huokoisuus ja suurin sallittu virtausnopeus jääkannen alla. Se mitä jääpatolaskentaan ei voi määrittää, on jääpadossa olevan jään määrä. Jään määrä riippuu sekä määritetyn jääpatoalueen laajuudesta, virtausolosuhteista että uoman muodosta. Ohjelma laskee edellä mainituista tekijöistä tasapainotilan ja jään määrä voidaan tarkistaa vasta laskentatuloksista.

Kuten edellä luetelluista eri jääpatotilanteiden mallinnukseen liittyvistä tekijöistä ja laskennassa käytettävistä muuttujista havaitaan, on jääpatotilanteen mallintaminen usean seikan yhteensattuma. Näin on toki myös todellisuudessa ja muutamien yksittäisten jääpatoskenaarioiden mallintaminen voi johtaa siihen, että tutkimuskohteesta jää huomaamatta jokin muuttujayhdistelmä joka tuottaa esimerkiksi erityisen korkean tulvavedenkorkeuden. Vastaavasti sama korkea tulvavedenkorkeus voidaan saavuttaa erikseen tarkasteltuina pienillä virtaamilla tai jäämäärillä, jos muut tekijät, kuten jääpadon sijainti tai alapuolinen vedenkorkeus ovat sopivat.

Suomen ympäristökeskuksessa on kehitetty HEC-RASin jääpatolaskentaan herkkyyksianalyysityökalua, joka generoi jokijäälaskentaan liittyvistä muuttujista automaattisesti satoja satunnaisia yhdistelmiä ja edelleen valmiita laskentatiedostoja. Työkalun avulla käyttäjä voi määrittää kullekin muuttujalle halutunlaisen vaihteluvälin, joka voi kuvata esimerkiksi jäänlähtöajan virtaamaa ja uoman alapuolista vedenkorkeutta. Yksittäiselle muuttujalle on erittäin vaikeaa määrittää kiistatonta arvoa, joten esimerkiksi jääkannen ominaisuuksille voidaan määrittää vaihteluväli, jolta arvot todennäköisesti löytyvät. Saaduista tuloksista voidaan nähdä kunkin muuttujan vaikutus esimerkiksi vedenkorkeuteen ja tehdä johtopäätöksiä mitkä seikat ovat kullekin kohteelle merkityksellisiä.

4.2. Virtausmallien valmistelu ja reunaehdot

4.2.1. Nykytila

Harjunpäänjoen nykyisestä uomasta laadittiin yhteensä 38 poikkileikkausta käsittävä 1-dimensionaalinen HEC-RAS-virtausmalli, joka ulottui Kokemäenjoelta Holminkoskelle. Poikkileikkausten etäisyys oli n. 50 metriä ja uomajakson pituus 1,8 kilometriä. Uoman ulkopuolisten osien korkeudet otettiin Maanmittauslaitoksen km²-korkeusmallista ja varsinainen uoma 2-dimensionaalista mallia varten tehdystä tyyppipoikkileikkauksesta. Poikkileikkausten rajaus tehtiin avotilan 2-dimensionaalisten tulvamallinnusten perusteella, joista nähtiin miten Harjunpäänjoen ja korkealla olevan Kokemäenjoen virtaus esim. tulva-alueella jakaantuu. Poikkileikkauksiin määritettiin passiivisen virtauksen alue 50 metriä varsinaisen uoman ulkopuolelle, koska oletettiin, että suurin osa veden virtauksesta tapahtuu varsinaisen uoman kohdalla ja sen välittömässä läheisyydessä.

On huomioitava, että jääpatomalli ei ota kantaa tulva-alueelle mahdollisesti muuta kautta tulevan veden vaikutuksesta. Vuorovaikutus Kokemäenjoen kanssa tapahtuu ainoastaan mallin alimman poikkileikkauksen ja siihen määritetyn vedenkorkeuden kanssa.

4.2.2. Kääntöuoma

Jääpatotilanteiden mallinnusta varten kääntöuomasta laadittiin yhteensä 54 poikkileikkausta käsittävä 1-dimensionaalinen HEC-RAS-virtausmalli. Noin 2,6 kilometriä pitkä uoma ulottui Kokemäenjoelta Holminkoskelle. Keskimäärin noin 50 metrin välein laadittuihin poikkileikkauksiin interpoloitiin nykytilaisen korkeusmallin korkeudet. Varsinaiset kääntöuoman mitat syötettiin HEC-RASin suunnittelutyökalulla, jossa uoma voidaan syöttää mm. puolisuunnikkaan muotoisella poikkileikkauksella ja halutuilla korkeusasemilla. Laskentoja varten muodostettiin kolme tyyppipoikkileikkausta (taulukko 5), joissa uoman pohjan leveys vaihteli. Uoman luiskat olivat joka vaihtoehdossa 1:3 (korkeuden suhde leveyteen) ja kaltevuus vakioitiin tasaiseksi 8.10.2015 maastokäynnin yhteydessä pidetyssä kokouksessa sovittujen uoman ylä- ja alajuoksun pohjan korkeusasemien (taulukko 1) mukaisesti. Uoman linjaus tehtiin Porin kaupungilta saadun paikkatietoaineiston perusteella. Poikkileikkauksiin määritettiin passiivisen

virtauksen alue 50 metriä varsinaisen uoman ulkopuolelle, koska oletettiin, että suurin osa veden virtauksesta tapahtuu varsinaisen uoman kohdalla ja sen välittömässä läheisyydessä. Uoman Harjunpään alueen puoleinen osa oletettiin ”riittävän korkeaksi”, eli pengerialinja niin korkeaksi ettei vesi pääse missään vaiheessa sen yli.

On huomioitava, että jääpatomalli ei ota kantaa tulva-alueelle mahdollisesti muuta kautta tulevan veden vaikutuksesta. Vuorovaikutus Kokemäenjoen kanssa tapahtuu ainoastaan mallin alimman poikkileikkauksen ja siihen määritetyn vedenkorkeuden kanssa.

Taulukko 5. Kääntöuoman laskennoissa käytettyjen uomavaihtojen tyypipoikkileikkausten mitat.

	Uomavaihtoehto 1	Uomavaihtoehto 2	Uomavaihtoehto 3
Pohjan leveys	5 m	10 m	15 m
Luisakaltevuus	1:3	1:3	1:3
Pohjan korkeusasema uoman yläjuoksulla	N2000 -1,0 m	N2000 -1,0 m	N2000 -1,0 m
Pohjan korkeusasema uoman alajuoksulla	N2000 -1,5 m	N2000 -1,5 m	N2000 -1,5 m

HEC-RASin uoman suunnittelutyökalu laskee sillä tehtävistä uomista karkeat kaivu- ja täyttömasset, jotka perustuvat poikkileikkauksen pinta-alaan tehtävään muutokseen sekä poikkileikkauksen ja sen virtaussuunnassa alavirtaan olevan poikkileikkauksen etäisyyteen. Tarkasteltavista vaihtoehdoista muodostuu seuraavat taulukon 6 mukaiset kaivumasset. Massat ovat laskentatavan vuoksi ohjeellisia, ja kunnon massalaskenta kannattaa suorittaa esim. paikkatieto-ohjelmalla korkeusmallia vasten. Karkeitakin massoja voidaan kuitenkin käyttää johtopäätösten tekemiseen esim. kaivuun kustannusten nousun ja siitä saatavan tulvasuojeluhyödyn muodossa.

Taulukko 6. Kääntöuoman laskennoissa käytettyjen uomavaihtoehtojen kaivumasset HEC-RASin laskemana.

Vaihtoehto	Kaivumassa (m ³)
Vaihtoehto 1 (uoman pohjan leveys 5 m)	160 650
Vaihtoehto 2 (uoman pohjan leveys 10 m)	206 640
Vaihtoehto 3 (uoman pohjan leveys 15 m)	252 740

4.2.3. Reunaehdot

Erilaisia laskentavaihtoja muodostettiin kuhunkin uomavaihtoehtoon 297 kpl. Määrä juontuu yhden HEC-RASin sisältämän maksimilaskentavaihtojen määrästä (99 kpl), eli kutakin vaihtoehtoa varten määritettiin kolme täyttä HEC-RAS-laskentaa. Herkkyyksianalyysityökaluun syötettyjen muuttujien arvot on esitetty kuvassa 11. Jääpadon alareunan määrittävät poikkileikkaukset määritettiin molempiin malleihin mahdollisimman yhdenmukaisesti uoman alaosaan.

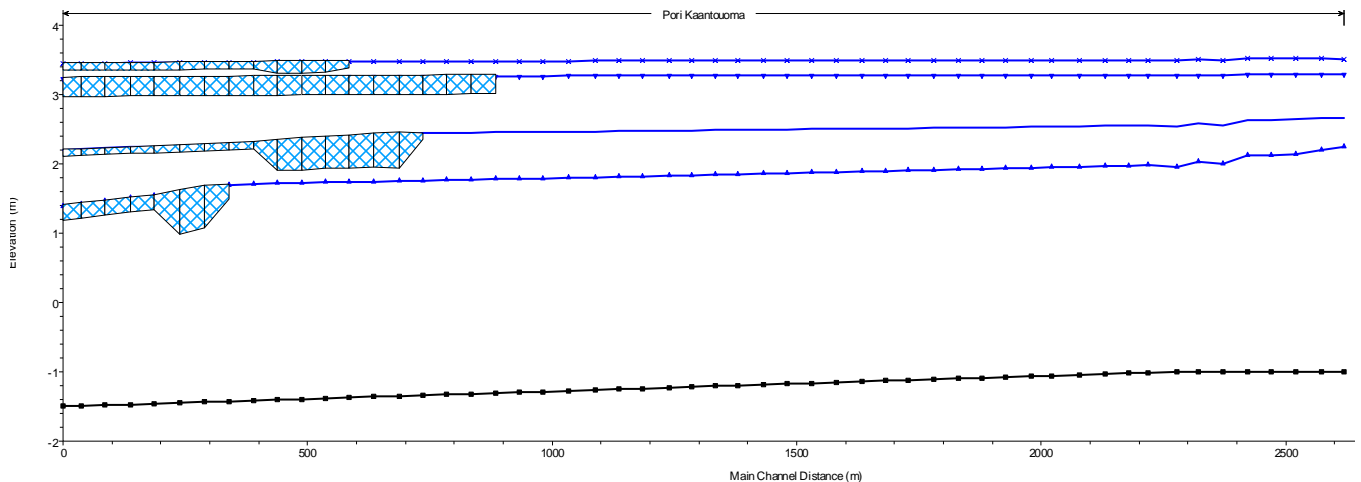
	Minimi	Maksimi	Yksikkö
Manningin karkeuskerroin, uoma	0.025	0.04	-
Manningin karkeuskerroin, uoman ulkopuoli	0.1	0.1	-
Jääkannen paksuus	0.05	0.3	m
Jääkannen karkeuskerroin	0.025	0.06	-
Sisäinen kitkakulma	43	47	°
Jääpadon huokoisuus	0.35	0.45	-
Pitkittäis/leveysuuntaisen jännityksen suhde	0.3	0.35	-
Jääpadon alainen maksimivirtaus	1.25	10	m/s
Virtaama	10	40	m ³ /s
Alapuolinen vedenkorkeus	1.1	3.5	N2000+m
Jääpadon alareunan paikka (poikkileikkaus)	0.038	0.536	-
Jääpadon pituus	50	400	m

Kuva 11. Herkkyyksianalyysityökaluun syötetyt ja jääpatolaskennassa käytetyt reunaehdot sekä laskentaparametrit.

Edellä esitettyjä reunaehtoja ja laskentaparametreja sovellettiin identtisinä kaikkiin kolmeen uomavaihtoehtoon. Näin tuloksista voidaan tehdä vertailuja.

4.3. Tulokset

Yhden jääpatotilanteen tulokset pitävät jo itsessään sisällään lukuisia tuloksia, sillä kullekin poikkileikkaukselle on laskettu mm. vedenkorkeus, jään paksuus ja virtausnopeus. Kuvassa 12 on esitetty esimerkki neljästä käänntöuman satunnaisesti valitusta jääpatotilanteen vedenkorkeuden pituusprofiilista.

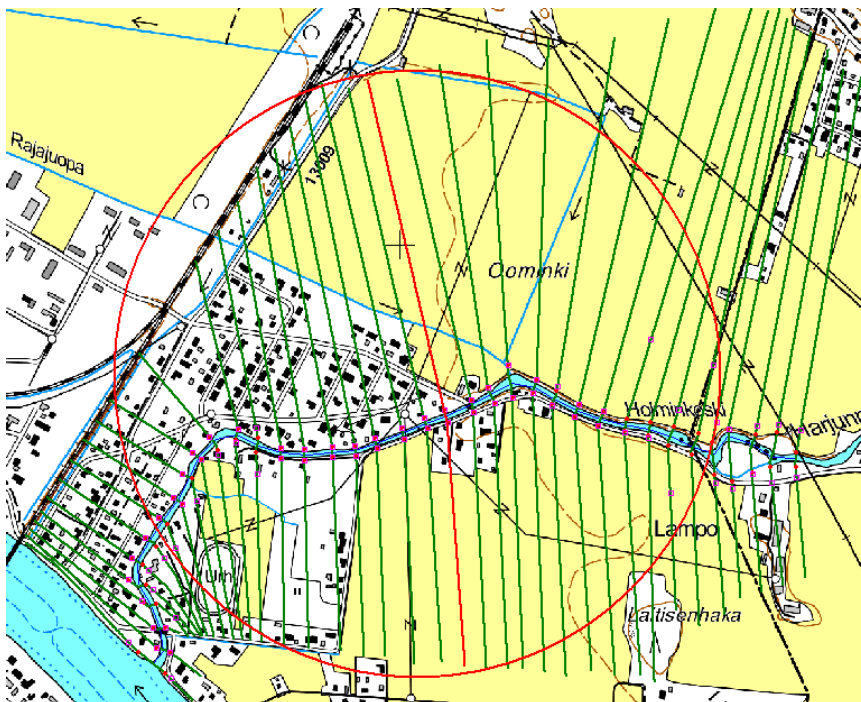


Kuva 12. Esimerkkejä jääpatoprofiileista Harjunpäänjoen käänntöumassa.

Kun jääpatolaskentoja on satoja, saadaan näistä varsin suuri joukko tuloksia, jotka voidaan esittää eri tavoin. Näiden laskentojen tulokset esitetään pääosin vedenkorkeuksina eri muuttujien suhteen. Tulokset esitetään tietyille poikkileikkauksille pistepilvinä, joista voidaan tarkastella eri tekijöiden (esim. virtaama, jääpadoon jään määrä, alapuolinen vedenkorkeus) merkitystä vedenkorkeuden suuruuteen. Kullekin poikkileikkaukselle on lisäksi laskettu jakaumamuotoinen (minimi, mediaani, maksimi sekä 25 ja 75 prosentin fraktiilit) vedenkorkeus ja niistä on tehty karttapohjainen esitys tulvan peittävyuden suhteen.

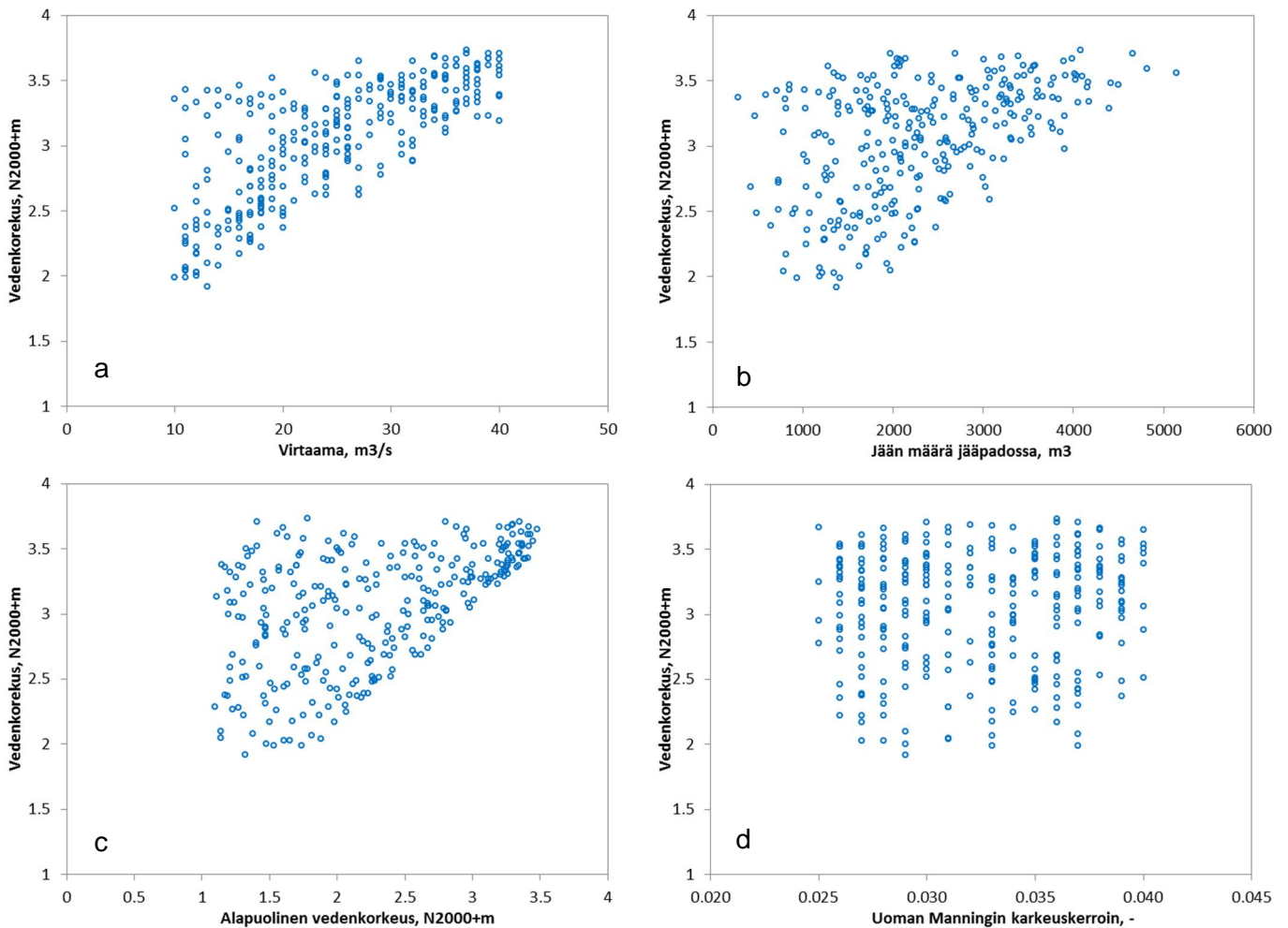
4.3.1. Nykytila

Kuvassa 13 on esitetty nykytilaisessa uomageometriassa olevan poikkileikkauksen 1,015 sijainti, joka on paalunumeronsa perusteella n. 1 km Kokemäenjoelta ylävirtaan. Kuvissa 14a-d on puolestaan esitetty em. poikkileikkaukselle lasketut vedenkorkeudet virtaaman, jääpatolaskennan jäämäärän, alapuolisen vedenkorkeuden ja uoman Manningin karkeuskertoimen suhteen.



Kuva 13. Poikkileikkauksen 1,015 sijainti nykytilaa kuvaavassa Harjunpäänjoen mallissa.

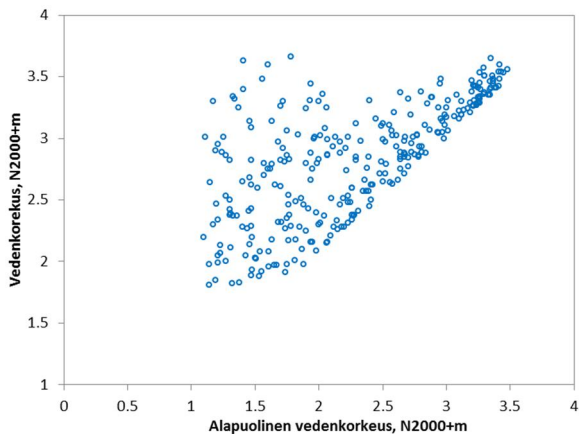
Miten kuvia 14a-d tulkitaan? Kukin kuva esittää samalle poikkileikkaukselle (1,015) laskettuja 297 jääpatotilanteen vedenkorkeuksia (pystyakseli). Kussakin kuvassa on siis samat tiedot, mutta ne on ryhmitelty kuvan vaakasuuntaisella akselilla esitettävän suureen mukaan.



Kuva 14. Nykytilanteen mukaiselle Harjunpäänjoen poikkileikkaukselle 1,015 lasketut jääpatotilanteen vedenkorkeudet.

Kuvasta 14a nähdään, että vaikka virtaama Harjunpäänjoessa olisi vain noin $10 \text{ m}^3/\text{s}$, voi vedenkorkeus poikkileikkauksessa 1,051 saavuttaa matalien N2000+2,00 korkeuksien lisäksi korkean tason N2000+3,40 m. Kun virtaama kasvaa lähemmäs $40 \text{ m}^3/\text{s}$, kapenee vedenkorkeuden vaihteluväli välille N2000+3,19...3,70 m. Sama kuvio toistuu sekä jään määrän (kuva 14b) että alapuolisen vedenkorkeuden kohdalla (kuva 14c): Kun vaak akselin arvo kasvaa, pienenee vedenkorkeuden vaihteluväli vain voidaan saavuttaa vain suurimpia vedenkorkeuksia. Kuvasta 14d puolestaan nähdään, että uoman Manningin karkeuskertoimella ei juuri voida selittää vedenkorkeutta.

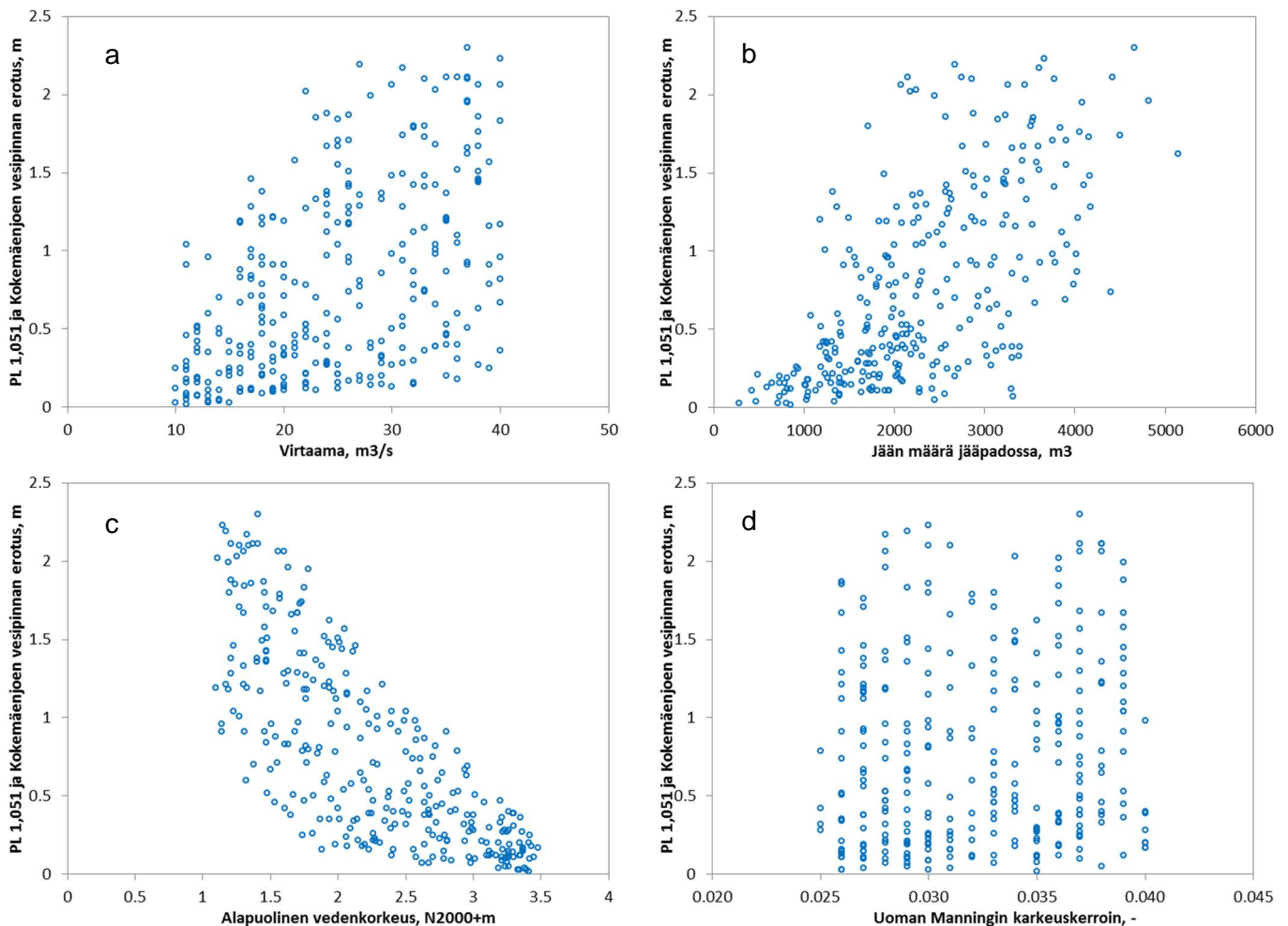
Tulokset ovat hyvin samantapaisia, kun tarkastellaan Harjunpäänjoen muita poikkileikkauksia. Ainoastaan Kokemäenjoen vedenkorkeuden vaikutus korostuu, kun siirrytään kohti Kokemäenjokea. Kuvassa 15 on Kokemäenjoen vedenkorkeuden ja poikkileikkauksen 0,428 (n. 430 metriä Kokemäenjoelta ylävirtaan) välinen yhteys.



Kuva 15. Harjunpäänjoen poikkileikkauksen 0,428 jääpatotilanteen mukaiset vedenkorkeudet Kokemäenjoen vedenkorkeuden suhteen.

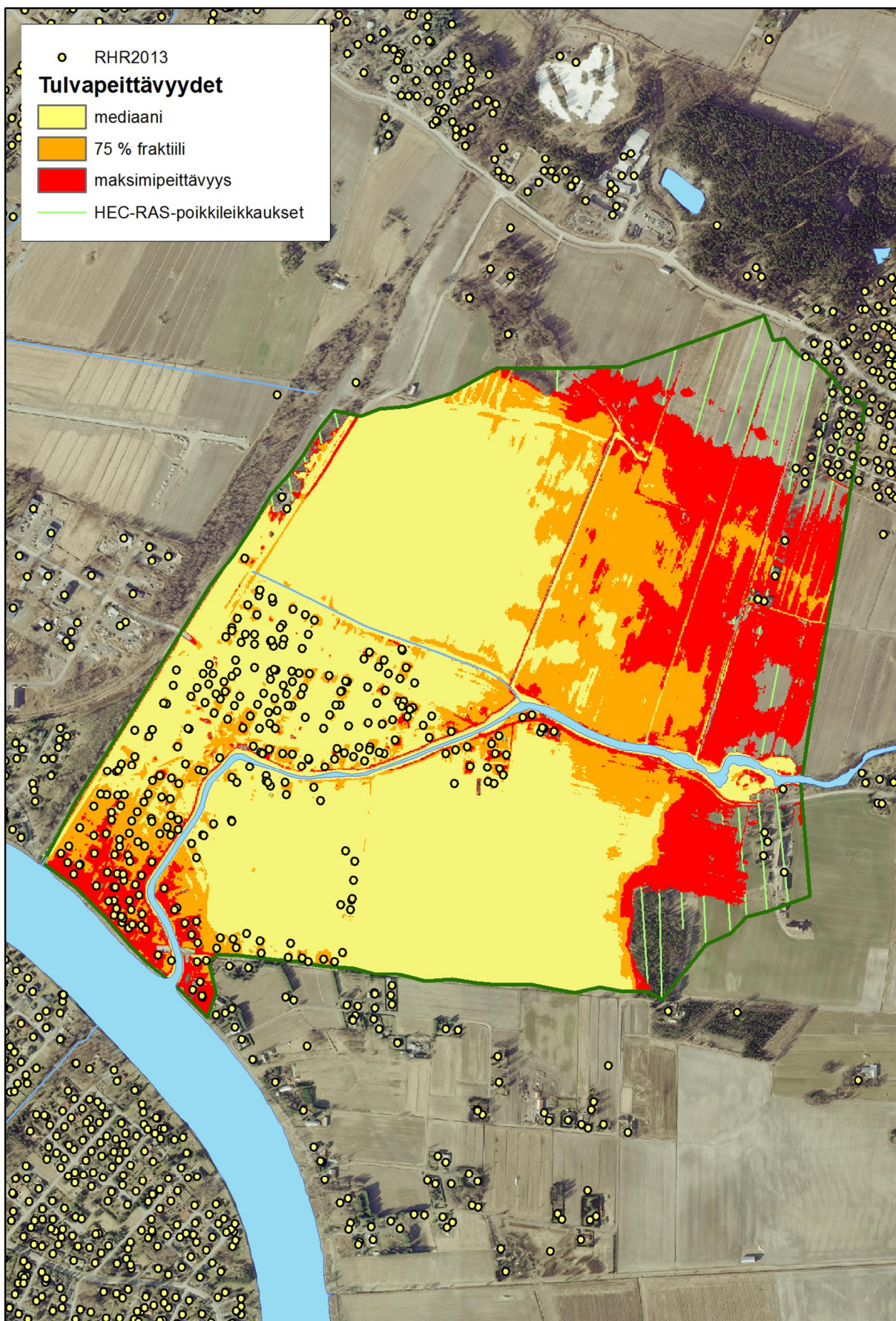
Poikkileikkaukselle 1,051 mallinnettu suurin jääpatotilanteen vedenkorkeus (N2000+3,73 m) annetulla muuttujien vaihteluvälillä saavutettiin virtaamalla 37 m³/s, alapuolisella vedenkorkeudella N2000+1,78 m, jäämäärällä 4083 m³ sekä Manningin karkeuskertoimella 0,036. Muutamaa senttimetriä matalampia vedenkorkeuksia saavutettiin myös paljon pienemmillä yksittäisillä parametriarvoilla, mm. puolet pienemmällä jäämäärällä ja 37 cm matalammilla Kokemäenjoen vedenkorkeuksilla.

Kuviin 16a-d on puolestaan kerätty poikkileikkauksen 1,051 ja Harjunpään alimman poikkileikkauksen (Kokemäenjoen vedenpinta) välisten vedenkorkeuksien erotus. Kun virtaama kasvaa, kasvaa myös em. poikkileikkauksien vedenkorkeuksien erotus sekä niiden vaihteluväli. Sama pätee myös jään määrään. Suuri Kokemäenjoen vedenkorkeus puolestaan pienentää vedenkorkeuden erotusta ja sen vaihteluväliä. Uoman Manningin karkeuskerroin ei selitä juuri millään tavalla vedenkorkeuden nousua siirryttäessä Kokemäenjoelta ylävirtaan.



Kuva 16. Nykytilanteen mukaiselle Harjunpäänjoen poikkileikkaukselle 1,015 laskettujen jääpatotilanteiden ja Kokemäenjoen vedenkorkeuksien erotukset eri muuttujien suhteen.

Kuvassa 17 on esitetty Harjunpäänjoen nykyiselle uomalle lasketuista jääpatotilanteista muodostettu tulvanpeittävyyskartta, jossa jokaiselle poikkileikkaukselle lasketusta 297 vedenkorkeudesta on laskettu mediaani, maksimi ja 75 % fraktiili. Laskennalla on pyritty huomioimaan ainoastaan Harjunpäänjoen vaikutus. Suurilla Kokemäenjoen vedenkorkeuksilla vesi leviäisi muualta tulva-alueelle.



Kuva 17. Laskettujen jääpatotilanteiden mukainen tulvan peittävyyskartta (maksimi, mediaani, 75% fraktiili) nykyisellä Harjunpään uomalla.

Taulukkoon 7 on kerätty koko nykyisen Harjunpäänjoen poikkileikkauksien mallinnettujen jääpatotilanteiden mukaisten vedenkorkeuksien minimi, mediaanit ja maksimit sekä niiden 25 ja 75 prosentin fraktiilit.

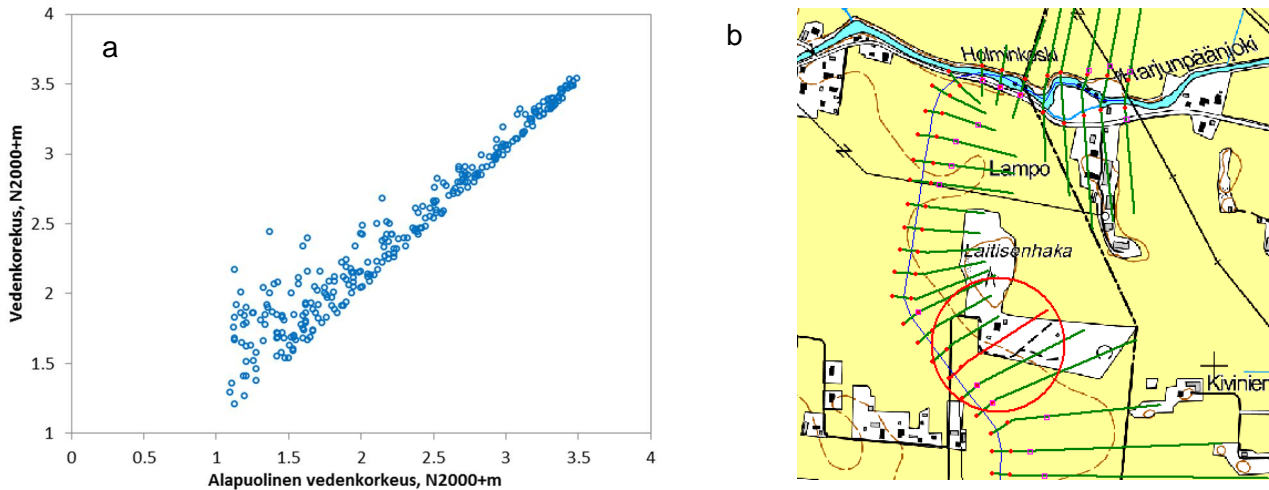
Taulukko 7. Laskettujen jääpatotilanteiden poikkileikkauskohtaiset minimi-, mediaani-, maksimivedenkorkeudet sekä 25 ja 75 % fraktiilit nykytilaiselle Harjunpäänjoelle.

Poikki-leikkaus	Pohjan korkeus	Minimi	25%	Mediaani	75%	Maksimi
1.806	-1.00	2.02	2.79	3.26	3.49	3.83
1.755	-1.00	2.01	2.80	3.26	3.50	3.84
1.707	-1.00	2.00	2.79	3.25	3.49	3.83
1.657	-1.00	2.00	2.79	3.25	3.49	3.83
1.606	-1.00	2.00	2.79	3.25	3.49	3.83
1.562	-1.00	1.99	2.78	3.23	3.47	3.82
1.511	-1.00	1.99	2.78	3.24	3.48	3.82
1.466	-1.00	1.98	2.77	3.23	3.46	3.81
1.416	-1.01	1.98	2.77	3.22	3.45	3.80
1.363	-1.02	1.97	2.76	3.21	3.44	3.79
1.311	-1.03	1.96	2.75	3.20	3.43	3.78
1.260	-1.04	1.95	2.74	3.19	3.43	3.77
1.212	-1.05	1.94	2.73	3.17	3.42	3.76
1.164	-1.06	1.95	2.73	3.18	3.42	3.77
1.117	-1.08	1.93	2.71	3.17	3.41	3.75
1.073	-1.09	1.92	2.69	3.15	3.40	3.74
1.015	-1.10	1.92	2.69	3.15	3.39	3.73
0.971	-1.11	1.91	2.69	3.14	3.39	3.73
0.920	-1.12	1.90	2.69	3.13	3.37	3.72
0.862	-1.13	1.89	2.68	3.10	3.36	3.71
0.818	-1.14	1.88	2.68	3.09	3.36	3.70
0.771	-1.15	1.87	2.68	3.08	3.36	3.70
0.713	-1.16	1.86	2.64	3.06	3.35	3.69
0.665	-1.17	1.85	2.62	3.02	3.33	3.68
0.614	-1.19	1.85	2.60	3.01	3.31	3.68
0.567	-1.20	1.84	2.55	2.98	3.29	3.67
0.518	-1.21	1.83	2.51	2.93	3.27	3.67
0.474	-1.22	1.83	2.47	2.90	3.26	3.66
0.428	-1.23	1.81	2.43	2.87	3.25	3.66
0.376	-1.24	1.72	2.36	2.82	3.21	3.64
0.325	-1.25	1.59	2.28	2.73	3.16	3.63
0.275	-1.26	1.43	2.20	2.63	3.08	3.57
0.226	-1.27	1.36	2.10	2.52	3.02	3.51
0.174	-1.29	1.31	2.05	2.47	2.99	3.51
0.129	-1.30	1.26	1.97	2.39	2.96	3.50
0.078	-1.31	1.20	1.83	2.27	2.89	3.49
0.035	-1.32	1.15	1.73	2.24	2.84	3.48
0.000	-1.33	1.10	1.70	2.23	2.84	3.48

4.3.2. Kääntöuoma

Kuvassa 18a on esitetty uomavaihtoehto 2:n (pohjan leveys 10 metriä) mukaiset vedenkorkeudet poikkileikkauksessa 1,531 (tarkempi sijainti esitetty kuvassa 18b) alapuolisen vedenkorkeuden, eli Kokemäenjoen vedenpinnan suhteen.

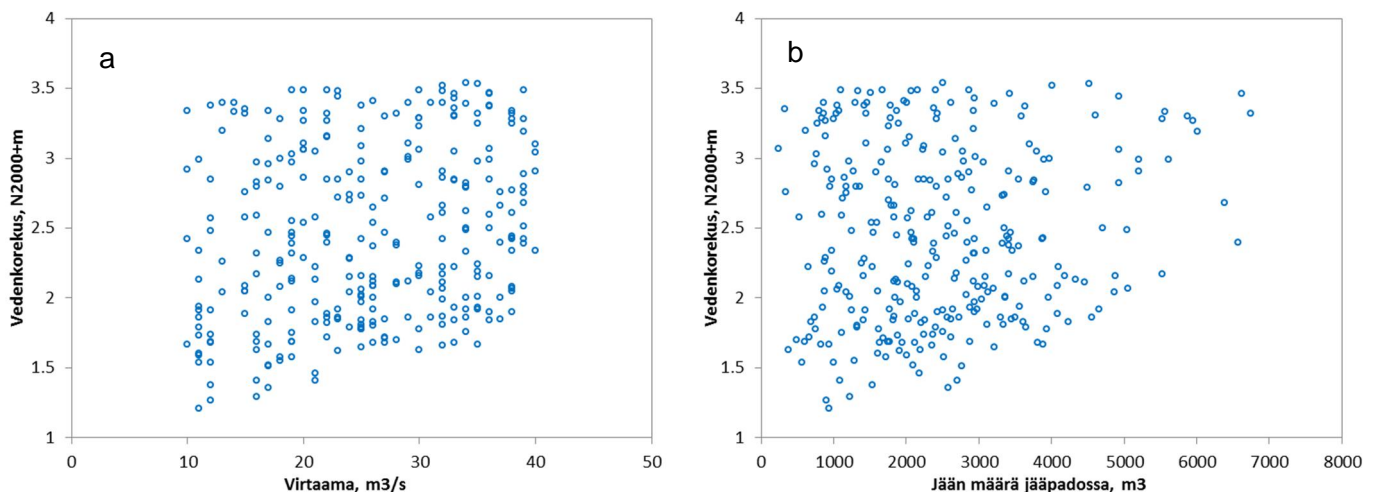
Kuvasta nähdään, että lasketuilla jääpatotilanteilla poikkileikkauksen vedenkorkeus korreloi erittäin hyvin Kokemäenjoen vedenkorkeuden kanssa. Suuria vedenkorkeuksia esiintyy poikkileikkauksessa vain, jos Kokemäenjoen vedenkorkeus on korkealla. Tämä siitakin huolimatta, että tulokset sisältävät kaikkien muiden muuttujien vaihtelun, kuten virtaaman ja jään määrän. Korrelaatio on vahva etenkin korkeimpien, yli N2000+2,5 metrin vedenkorkeuksien osalta. Kääntöuoman vedenkorkeuksien riippuvuus Kokemäenjoen vedenkorkeudesta onkin tämän mallinnuksen yksiselitteisimpiä tuloksia.



Kuva 18. Poikkileikkauksen 1,532 vedenkorkeuden ja Kokemäenjoen vedenkorkeuden välinen suhde uomavaihtoehto 2 mukaisessa tilanteessa (kuva a) sekä poikkileikkauksen 1,531 sijainti (kuva b, punaisen ympyrän sisällä oleva poikkileikkaus).

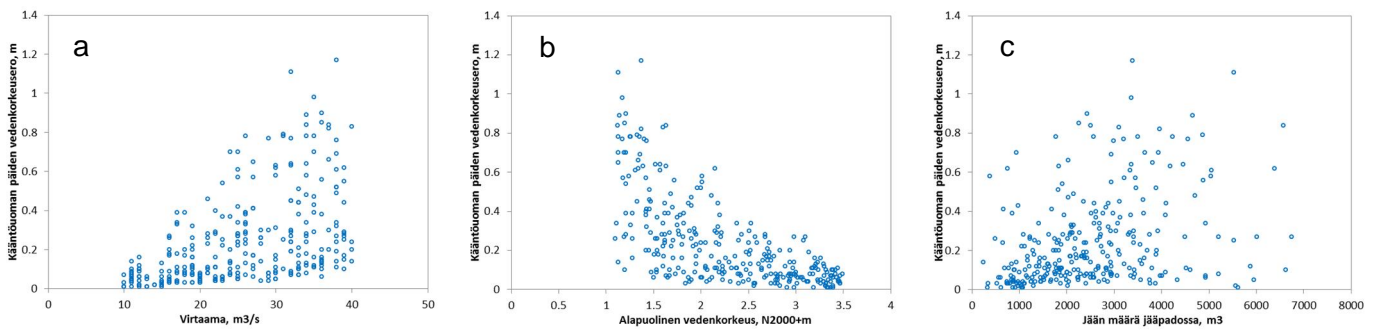
Virtaaman ja jään määrän suhdetta poikkileikkauksen 1,531 vedenkorkeuksiin tarkastellaan kuvissa 19a ja 19b. Näissä ei ole havaittavissa samanlaista korrelaatiota kuin poikkileikkauksen vedenkorkeuden ja alapuolisen vedenkorkeuden välillä. Kuvista nähdään, että korkeita N2000+3,5 metrin vedenkorkeuksia saavutetaan niin 10 ja 40 m³/s virtaamilla kuin 1100 ja 6600 m³ jäämäärillä. Kuvista voidaan lisäksi havaita, että mitä suurempi virtaama ja jään määrä on, sitä pienemmäksi vedenkorkeuden vaihteluväli käy. Vaihteluvälin kapeneminen ei kuitenkaan ole suuri: pienillä arvoilla poikkileikkauksen vedenkorkeuden vaihteluväli on lähes 2,5 metriä ja suurimmilla arvoilla noin 1,0-2,0 metriä.

Kuvien 18 ja 19 tulokset on esitetty poikkileikkaukselle 1,531. Tulokset ovat kuitenkin hyvin samansuuntaisia koko kääntöuoman ja Harjunpäänjoen alueella. Mitä lähemmäksi Kokemäenjoeta mennään, sitä voimakkaampi on joen vedenkorkeuden vaikutus vedenkorkeuksiin.



Kuva 19. Poikkileikkauksen 1,531 vedenkorkeuden ja Harjunpäänjoen virtaaman (kuva a) sekä vedenkorkeuden ja jääpadon jäämäärän (kuva b) välinen suhde uomavaihtoehto 2 mukaisessa tilanteessa.

Absoluuttisten vedenkorkeuksien lisäksi voidaan tarkastella kääntöuoman ala- ja yläpään välistä vedenkorkeuseroa ja miten se voidaan selittää eri muuttujilla. Kuvassa 20a-c on esitetty uomavaihtoehto 2:n mukaiset vedenkorkeuserot virtaaman, alapuolisen vedenkorkeuden ja jääpadon jäämäärän mukaan. Pienillä virtaamilla vedenkorkeuksien erotus jää odotetusti pieneksi, sillä pieni virtaama aiheuttaa pienet virtaushäviöt ja siten lähes vaakasuoran vesipinnan. Vedenkorkeuksien erotus on sitä pienempi, mitä korkeammalla Kokemäenjoen vedenkorkeus on. Jääpadon jään määrässä kuvio ei ole edellisten tapaan yhtä yksiselitteinen.



Kuva 20. Kääntöuoman ylä- ja alapään välinen vedenkorkeusero uomavaihtoehto 2 mukaisessa tilanteessa virtaaman (kuva a), alapuolisen vedenkorkeuden (b) ja jään määrän (c) suhteen.

Koska tehtävänantona oli määrittää kääntöuomalle riittävä koko, on yksittäisten poikkileikkausten lisäksi pystyttävä vertailemaan uomavaihtoehtoja keskenään. Tämä on lähes 300 pistettä sisältävien kuvien kohdalla haastavaa. Kuvassa 21 on rinnakkain uomavaihtoehtojen 1-3 vedenkorkeuksia poikkileikkaukselta 1,531 jääpadon jäämäärän, alapuolisen vedenkorkeuden ja Harjunpäänjoen virtaaman suhteen. Kuviin on piirretty punaisia viivoja auttamaan pienten erojen havaitsemisessa.

Kuten kuvan c vedenkorkeuksien ja jään määrän suhdetta kuvaavasta kuvasta nähdään, ei uoman virtausalan kasvattaminen juuri laske suurimpia N2000+3,5 metrin tasolla olevia suurimpia tulvakorkeuksia. Näissä laskennoissa käytetyillä reunaehdoilla ja parametreilla pohjan leveyden kasvattaminen 5 metrillä alentaa karkeasti arvioiden suurimpia jääpatotilanteiden tulvakorkeuksia n. 5 cm.

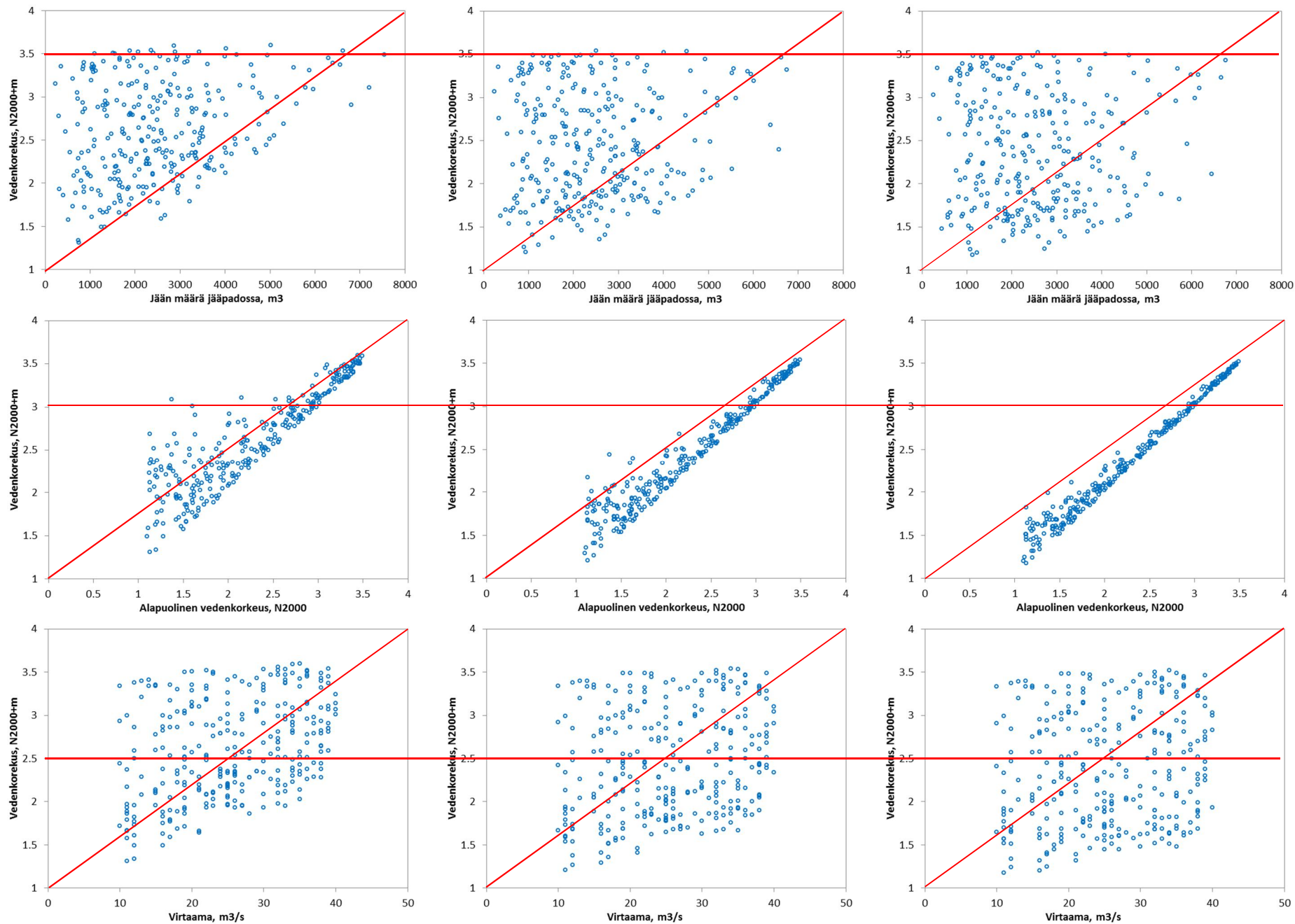
Uoman pohjan leventäminen ja sitä kautta virtausalan kasvattaminen tekee kääntöuoman jääpatotilanteiden aikaisista vedenkorkeuksista entistä riippuvaisempia Kokemäenjoen vedenkorkeudesta. Muista kuin Kokemäenjoen vedenkorkeudesta aiheutuvien, poikkileikkauksen vedenkorkeutta nostavien tekijöiden (jään määrä, uoman ja jääkannen karkeuskerroin, jääpadon sijainti yms.) vaikutus joko lievenee tai poistuu kokonaan, kun uoman pohjaa ja siten virtausalaa kasvatetaan.

Uoman pohjaa leventämällä jääpatotilanteiden aikaisten vedenkorkeuksien vaihtelu suurilla virtaamilla kasvaa hieman siten, että joukossa esiintyy myös matalampia vedenkorkeuksia.

Uomavaihtoehto 1 (B: 5 m)

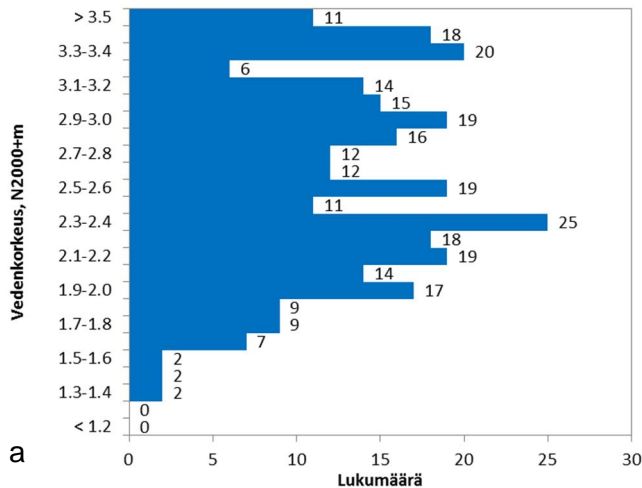
Uomavaihtoehto 2 (B: 10 m)

Uomavaihtoehto 3 (B: 15 m)



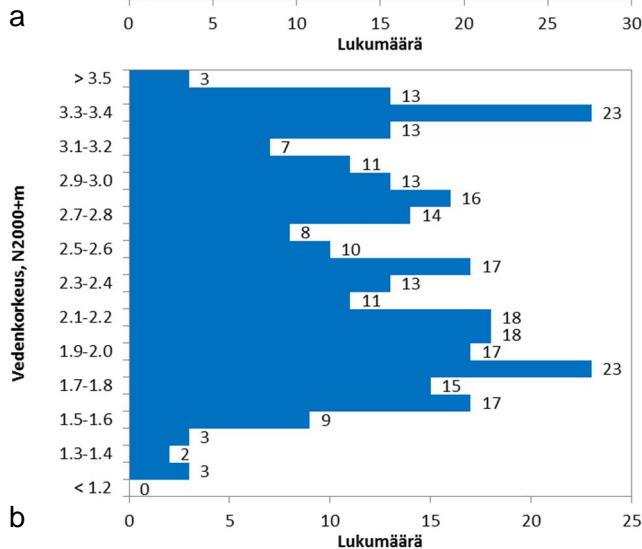
Kuva 21. Uomavaihtoehtojen 1-3 vedenkorkeuksia poikkileikkauksen 1,531 kohdalta jään määrän, Kokemäenjoen vedenkorkeuden ja Harjunpäänjoen virtaaman suhteen.

Poikkileikkaukselle 1,531 laskettujen jääpatotilanteiden vedenkorkeustuloksia eri uomavaihtoehdoilla on esitetty lisäksi jakaumakuvina kuvassa 22.



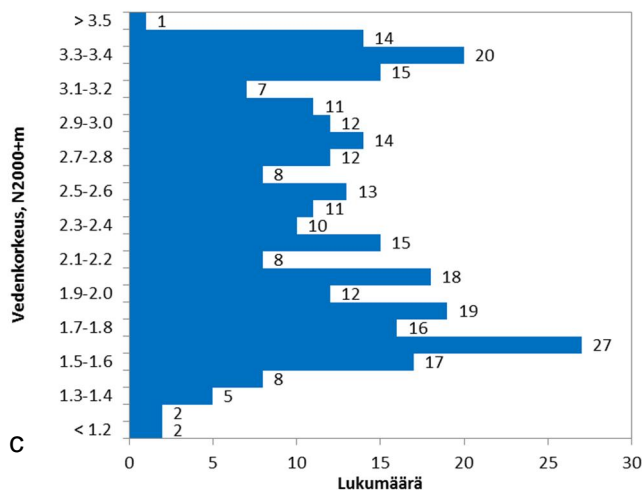
Kun uoman pohjan leveys on 5 metriä, lasketuissa jääpatotilanteissa esiintyy

- yli N2000+3,5 m vedenkorkeuksia 11 tapauksessa (4 %)
- yli N2000+3,3 m vedenkorkeuksia 49 tapauksessa (16 %)
- yli N2000+3,0 m vedenkorkeuksia 84 tapauksessa (28 %)
- yli N2000+2,5 m vedenkorkeuksia 162 tapauksessa (55 %)



Kun uoman pohjan leveys on 5 metriä, lasketuissa jääpatotilanteissa esiintyy

- yli N2000+3,5 m vedenkorkeuksia 3 tapauksessa (1 %)
- yli N2000+3,3 m vedenkorkeuksia 39 tapauksessa (13 %)
- yli N2000+3,0 m vedenkorkeuksia 70 tapauksessa (24 %)
- yli N2000+2,5 m vedenkorkeuksia 131 tapauksessa (44 %)



Kun uoman pohjan leveys on 5 metriä, lasketuissa jääpatotilanteissa esiintyy

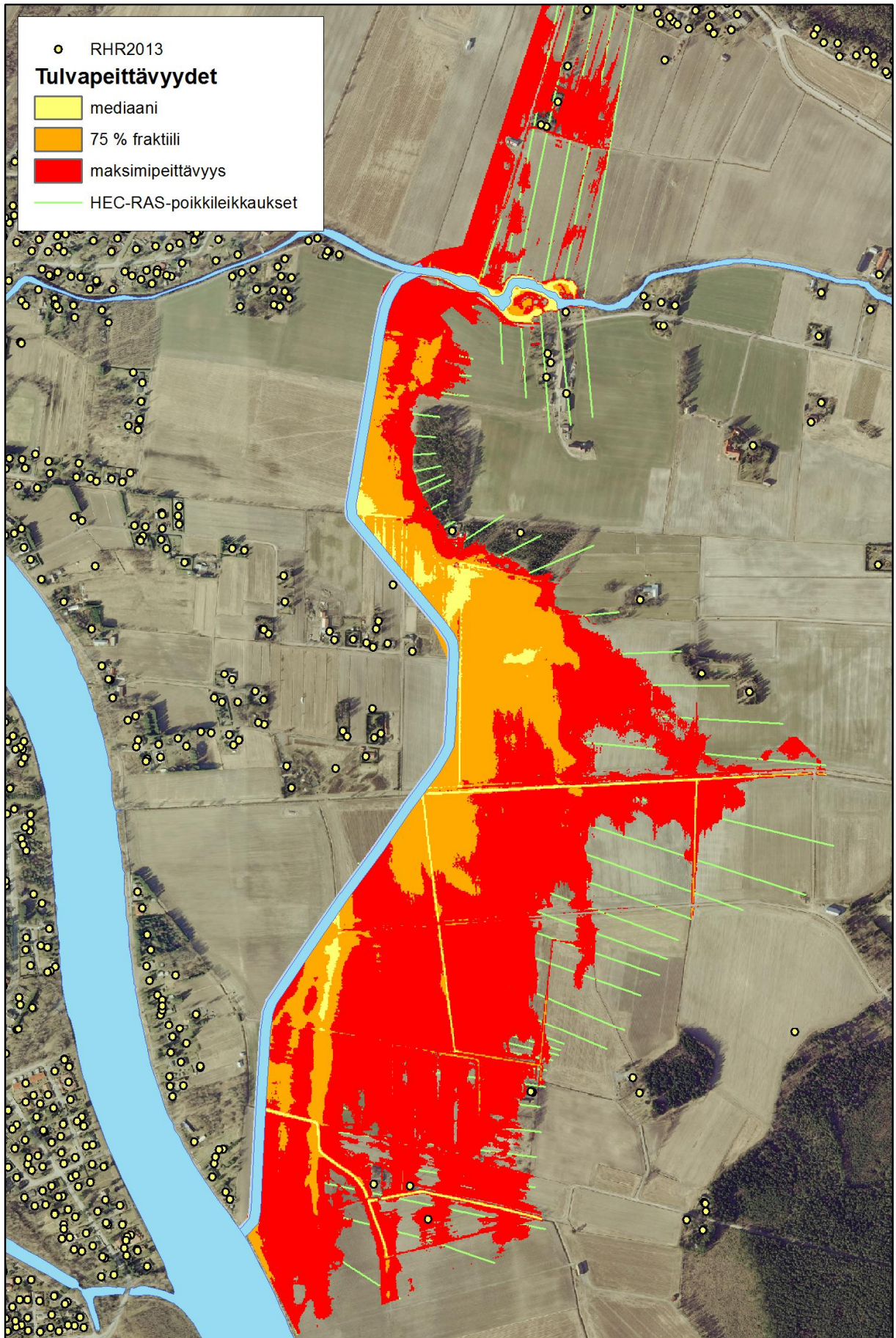
- yli N2000+3,5 m vedenkorkeuksia 1 tapauksessa (<1 %)
- yli N2000+3,3 m vedenkorkeuksia 35 tapauksessa (12 %)
- yli N2000+3,0 m vedenkorkeuksia 68 tapauksessa (23 %)
- yli N2000+2,5 m vedenkorkeuksia 127 tapauksessa (43 %)

Kuva 22. Laskettujen jääpatotilanteiden vedenkorkeuksien jakautuminen poikkileikkauksella 1.531 vaihtoehdoissa 1 (a), 2 (b) ja 3 (c).

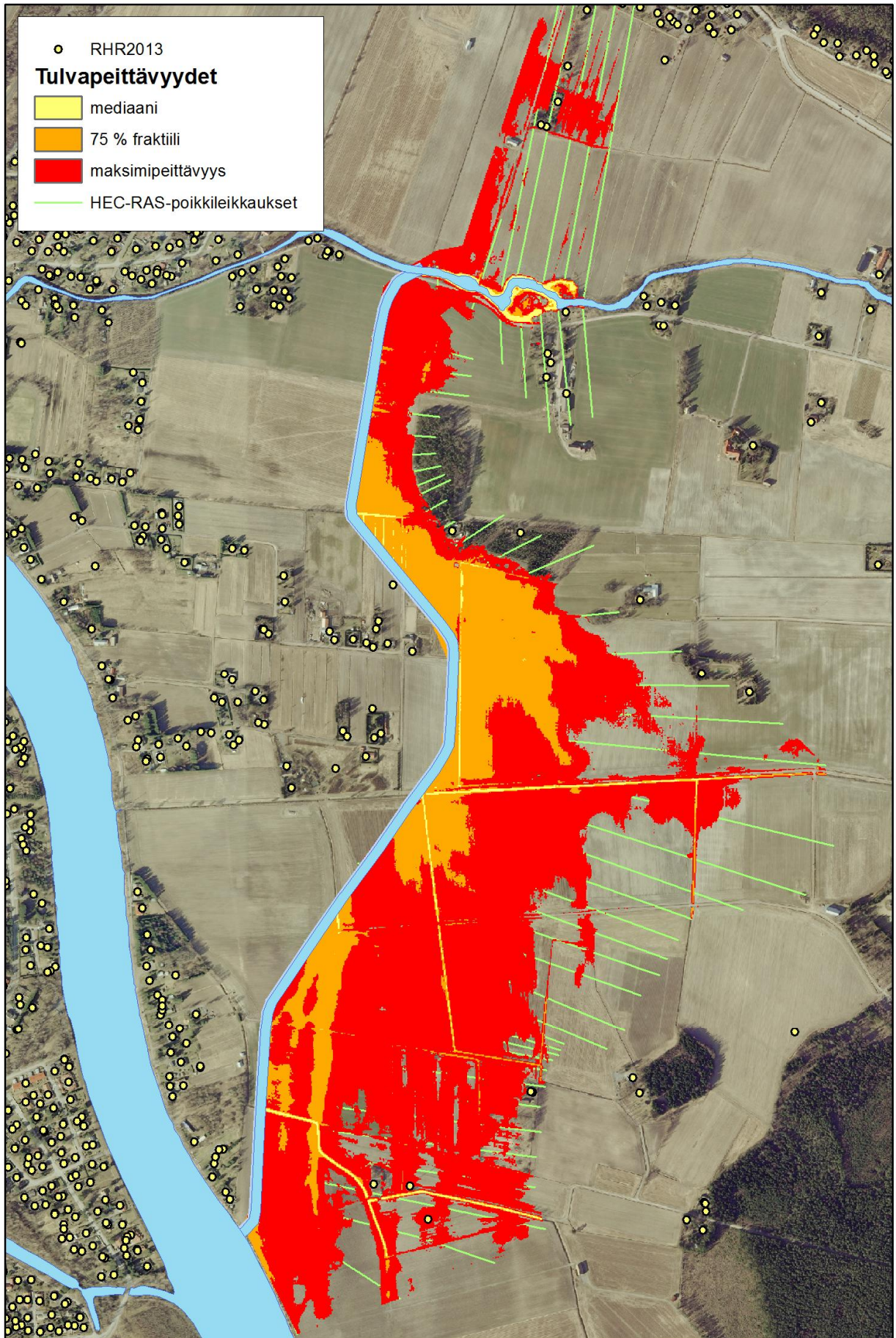
Numeerisen ja graafisen tarkastelun lisäksi uomavaihtoehdoista 1-3 tehtiin tulvavaarakartta. Kullekin poikkileikkaukselle lasketuista 297 vedenkorkeuksista poimittiin korkein arvo, mediaani ja 75 prosentin fraktiili. Näistä aineistoista muodostettiin tulvan peittävyyskartat (kuvat 23-25).

Eri vaihtoehtojen maksimipeittävyksiä voi puolestaan vertailla kuvasta 26.

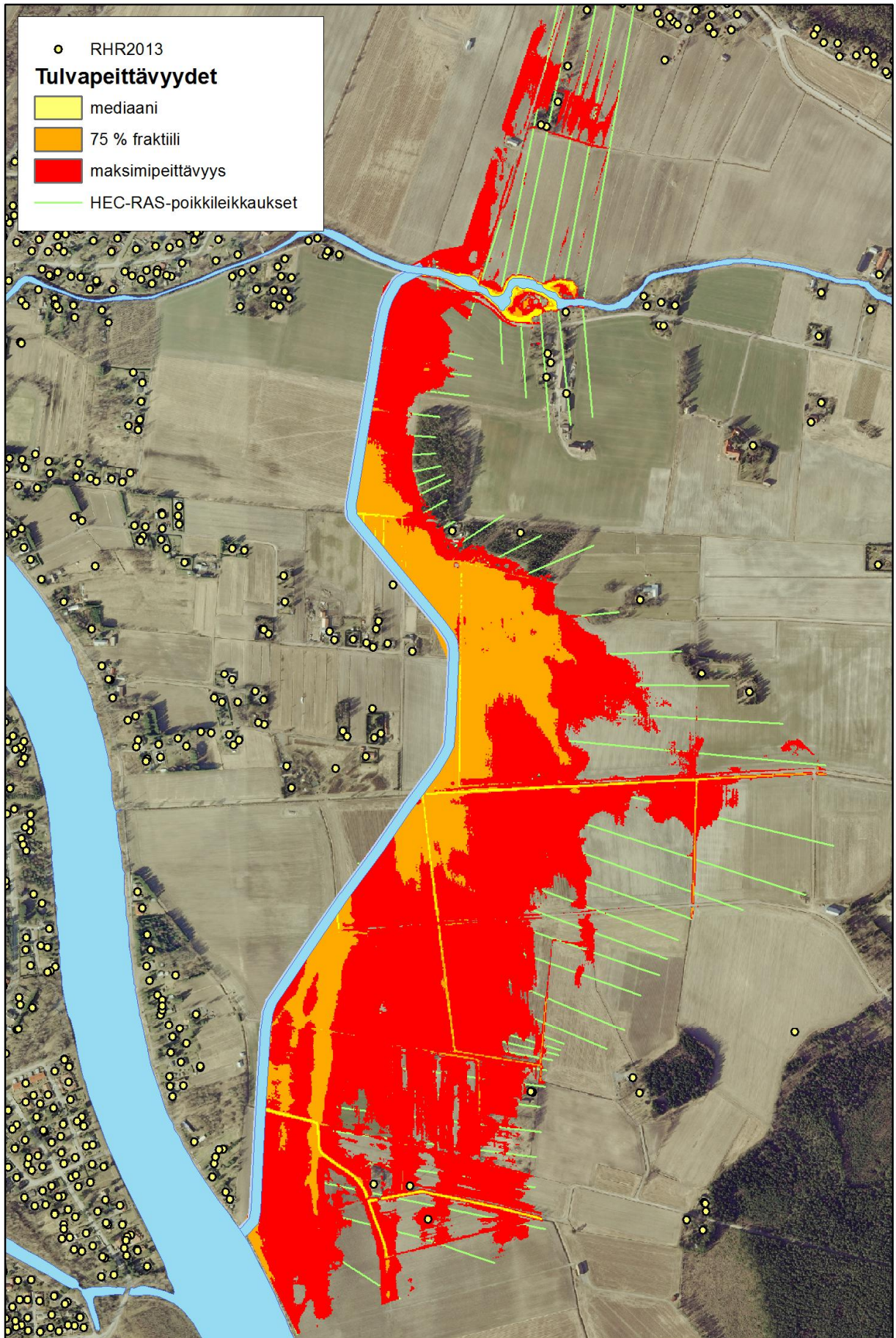
Taulukko 8 sisältää poikkileikkaukskohtaiset minimi-, mediaani-, maksimivedenkorkeudet sekä 25 ja 75 % fraktiilit vaihtoehdoille 1, 2 ja 3.



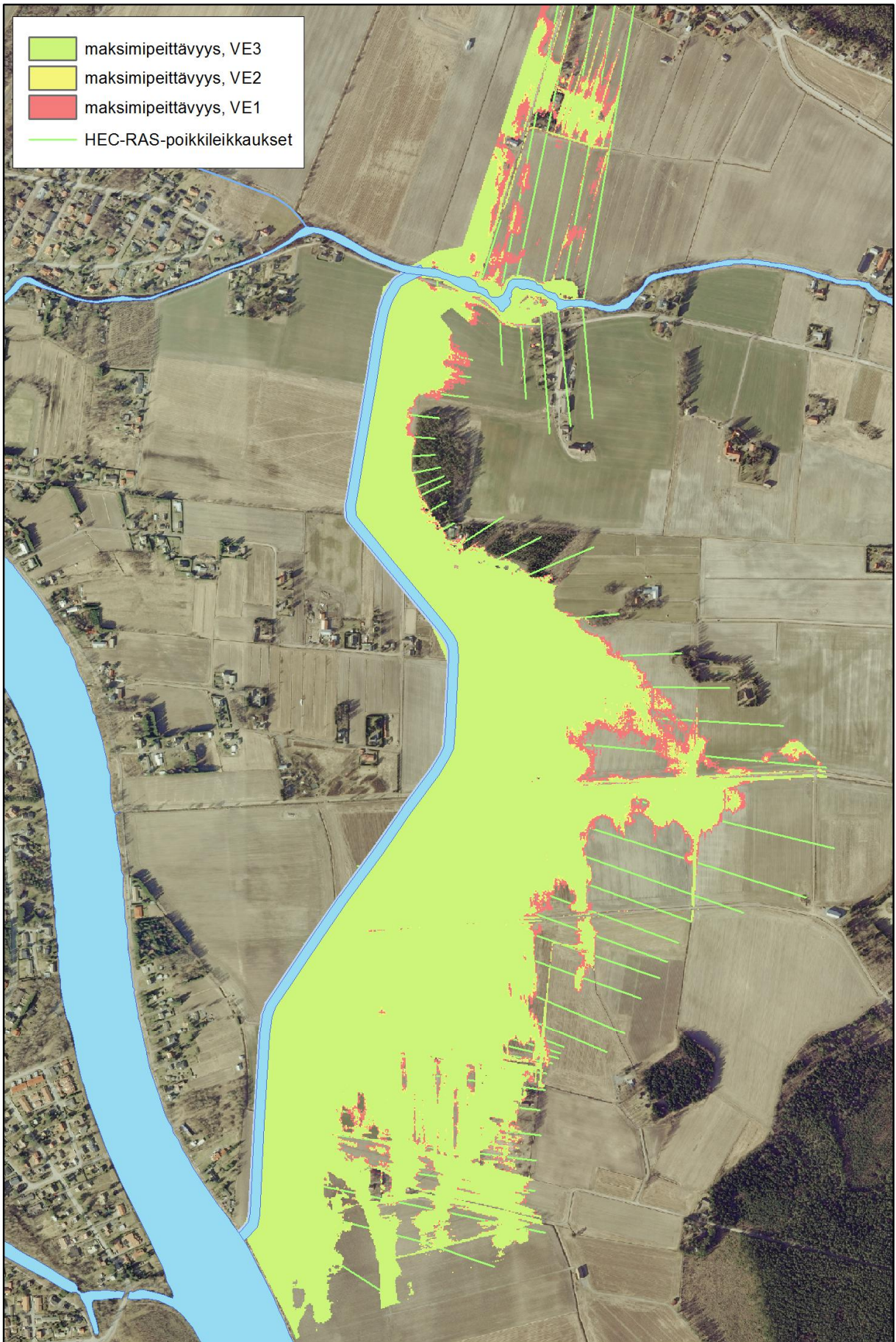
Kuva 23. Laskettujen jääpatotilanteiden mukainen tulvan peittävyyskartta (maksimi, mediaani, 75% fraktiili) vaihtoehdon 1 mukaisella uomalla, kun uoman pohjan leveys on 5 metriä.



Kuva 24. Laskettujen jääpatotilanteiden mukainen tulvan peittävyyskartta (maksimi, mediaani, 75% fraktiili) vaihtoehdon 2 mukaisella uomalla, kun uoman pohjan leveys on 10 metriä.



Kuva 25. Laskettujen jääpatotilanteiden mukainen tulvan peittävyyskartta (maksimi, mediaani, 75% fraktiili) vaihtoehdon 3 mukaisella uomalla, kun uoman pohjan leveys on 15 metriä.



Kuva 26. Laskettujen jääpatotilanteiden mukainen tulvan peittävyyskartta vaihtoehtojen 1, 2 ja 3 maksimipeittävyyksillä, joissa uoman pohjan leveydet ovat 5, 10 ja 15 metriä.

Taulukko 8. Laskettujen jääpatotilanteiden poikkileikkauskohtaiset minimi-, mediaani-, maksimivedenkorkeudet sekä 25 ja 75 % fraktiilit vaihtoehdoille 1, 2 ja 3, joissa uoman pohjan leveydet ovat 5, 10 ja 15 metriä.

Poikki-leikkaus	Pohjan korkeus	Vaihtoehto 1 (pohjan leveys 5 m)					Vaihtoehto 2 (pohjan leveys 10 m)					Vaihtoehto 3 (pohjan leveys 15 m)				
		Minimi	25%	Mediaani	75%	Maksimi	Minimi	25%	Mediaani	75%	Maksimi	Minimi	25%	Mediaani	75%	Maksimi
2.630	-1.00	1.47	2.36	2.73	3.14	3.66	1.37	2.16	2.52	3.02	3.58	1.33	2.09	2.43	2.99	3.55
2.580	-1.00	1.45	2.34	2.73	3.15	3.67	1.35	2.14	2.51	3.03	3.59	1.30	2.03	2.44	2.99	3.56
2.533	-1.00	1.44	2.33	2.71	3.14	3.66	1.32	2.11	2.51	3.02	3.59	1.27	1.97	2.43	2.99	3.56
2.484	-1.00	1.43	2.33	2.70	3.14	3.66	1.30	2.09	2.50	3.01	3.59	1.25	1.94	2.42	2.99	3.56
2.424	-1.00	1.43	2.33	2.69	3.14	3.66	1.30	2.09	2.50	3.01	3.58	1.25	1.94	2.42	2.99	3.56
2.371	-1.00	1.40	2.27	2.63	3.13	3.63	1.27	2.00	2.44	2.99	3.56	1.21	1.84	2.34	2.96	3.53
2.320	-1.00	1.40	2.28	2.65	3.13	3.64	1.27	2.03	2.47	2.99	3.57	1.21	1.86	2.36	2.96	3.54
2.278	-1.00	1.38	2.26	2.63	3.12	3.63	1.25	1.97	2.42	2.99	3.55	1.19	1.81	2.32	2.95	3.52
2.218	-1.01	1.38	2.27	2.63	3.12	3.63	1.25	1.99	2.44	2.99	3.56	1.20	1.82	2.33	2.96	3.53
2.179	-1.02	1.37	2.26	2.63	3.12	3.63	1.25	1.98	2.43	2.99	3.56	1.20	1.82	2.33	2.96	3.53
2.130	-1.03	1.37	2.26	2.62	3.12	3.62	1.24	1.97	2.43	2.99	3.56	1.19	1.82	2.33	2.96	3.53
2.077	-1.04	1.36	2.25	2.62	3.12	3.62	1.24	1.96	2.43	2.99	3.56	1.19	1.81	2.33	2.96	3.53
2.022	-1.05	1.36	2.24	2.61	3.11	3.62	1.24	1.95	2.42	2.99	3.55	1.19	1.81	2.33	2.96	3.53
1.979	-1.06	1.35	2.23	2.61	3.11	3.62	1.24	1.94	2.42	2.99	3.55	1.19	1.81	2.33	2.96	3.53
1.928	-1.08	1.35	2.23	2.61	3.10	3.61	1.23	1.94	2.42	2.99	3.55	1.19	1.81	2.32	2.95	3.53
1.878	-1.09	1.34	2.22	2.61	3.10	3.61	1.23	1.94	2.42	2.99	3.55	1.19	1.81	2.32	2.95	3.53
1.829	-1.10	1.34	2.22	2.61	3.10	3.61	1.23	1.94	2.42	2.99	3.55	1.18	1.81	2.32	2.95	3.53
1.781	-1.11	1.33	2.21	2.60	3.09	3.61	1.22	1.93	2.41	2.99	3.55	1.18	1.80	2.31	2.95	3.53
1.728	-1.12	1.32	2.21	2.59	3.09	3.61	1.22	1.93	2.41	2.99	3.55	1.18	1.79	2.31	2.95	3.53
1.683	-1.13	1.32	2.20	2.59	3.09	3.61	1.22	1.93	2.41	2.99	3.55	1.18	1.79	2.31	2.95	3.52
1.633	-1.14	1.32	2.20	2.59	3.08	3.60	1.22	1.92	2.41	2.98	3.55	1.18	1.79	2.31	2.95	3.52
1.582	-1.15	1.31	2.19	2.58	3.08	3.60	1.21	1.92	2.40	2.98	3.55	1.18	1.79	2.30	2.95	3.52
1.531	-1.16	1.31	2.19	2.58	3.07	3.60	1.21	1.91	2.40	2.98	3.54	1.18	1.79	2.30	2.95	3.52
1.480	-1.17	1.30	2.18	2.57	3.07	3.60	1.21	1.91	2.40	2.98	3.54	1.17	1.79	2.30	2.95	3.52
1.432	-1.19	1.30	2.17	2.57	3.06	3.60	1.21	1.91	2.40	2.98	3.54	1.17	1.78	2.30	2.95	3.52
1.380	-1.20	1.29	2.16	2.56	3.06	3.60	1.20	1.90	2.40	2.98	3.54	1.17	1.78	2.30	2.95	3.52
1.334	-1.21	1.29	2.16	2.55	3.05	3.59	1.20	1.90	2.39	2.98	3.54	1.17	1.78	2.30	2.95	3.52
1.285	-1.22	1.28	2.15	2.55	3.05	3.59	1.20	1.90	2.39	2.97	3.54	1.17	1.78	2.29	2.95	3.52
1.239	-1.23	1.28	2.14	2.54	3.05	3.59	1.20	1.89	2.39	2.97	3.54	1.17	1.78	2.29	2.95	3.52
1.184	-1.24	1.27	2.13	2.53	3.05	3.59	1.20	1.89	2.39	2.97	3.54	1.17	1.78	2.29	2.95	3.52
1.136	-1.25	1.27	2.13	2.53	3.04	3.59	1.19	1.88	2.38	2.97	3.54	1.17	1.78	2.29	2.95	3.52
1.088	-1.26	1.26	2.12	2.53	3.04	3.59	1.19	1.88	2.38	2.97	3.54	1.16	1.77	2.29	2.95	3.52
1.034	-1.27	1.26	2.11	2.52	3.04	3.58	1.19	1.87	2.37	2.97	3.54	1.16	1.77	2.29	2.95	3.52
0.980	-1.29	1.25	2.11	2.51	3.03	3.58	1.19	1.87	2.37	2.97	3.54	1.16	1.76	2.29	2.95	3.52
0.932	-1.30	1.25	2.10	2.51	3.03	3.58	1.18	1.86	2.37	2.97	3.53	1.16	1.76	2.29	2.95	3.52
0.885	-1.31	1.25	2.09	2.51	3.02	3.58	1.18	1.86	2.37	2.96	3.53	1.16	1.76	2.28	2.95	3.52
0.834	-1.32	1.24	2.09	2.51	3.02	3.58	1.18	1.86	2.36	2.96	3.53	1.16	1.76	2.28	2.95	3.52
0.785	-1.33	1.24	2.08	2.50	3.02	3.57	1.18	1.86	2.36	2.96	3.53	1.16	1.75	2.28	2.95	3.52
0.736	-1.34	1.23	2.07	2.49	3.01	3.57	1.18	1.85	2.35	2.96	3.53	1.16	1.75	2.28	2.95	3.51
0.687	-1.35	1.23	2.06	2.49	2.99	3.57	1.17	1.85	2.35	2.96	3.53	1.15	1.75	2.28	2.94	3.51
0.635	-1.36	1.23	2.05	2.49	2.99	3.57	1.17	1.84	2.34	2.96	3.53	1.15	1.74	2.27	2.94	3.51
0.584	-1.37	1.22	2.02	2.48	2.99	3.56	1.17	1.82	2.34	2.95	3.53	1.15	1.74	2.27	2.94	3.51
0.536	-1.38	1.22	2.01	2.47	2.98	3.56	1.17	1.81	2.32	2.95	3.53	1.15	1.74	2.26	2.94	3.51
0.488	-1.39	1.21	1.99	2.45	2.97	3.56	1.17	1.80	2.32	2.95	3.53	1.15	1.71	2.26	2.94	3.51
0.438	-1.40	1.21	1.96	2.43	2.97	3.56	1.17	1.78	2.29	2.95	3.52	1.15	1.70	2.26	2.94	3.51
0.390	-1.41	1.21	1.92	2.40	2.97	3.55	1.16	1.76	2.27	2.94	3.52	1.15	1.69	2.25	2.94	3.51
0.339	-1.43	1.20	1.90	2.37	2.96	3.54	1.16	1.75	2.26	2.94	3.52	1.15	1.68	2.24	2.94	3.51
0.288	-1.44	1.20	1.85	2.35	2.95	3.54	1.16	1.73	2.26	2.94	3.51	1.14	1.67	2.24	2.94	3.50
0.238	-1.45	1.19	1.82	2.31	2.95	3.53	1.16	1.70	2.25	2.94	3.51	1.14	1.66	2.24	2.93	3.50
0.186	-1.46	1.18	1.78	2.29	2.94	3.52	1.15	1.68	2.24	2.94	3.50	1.13	1.65	2.23	2.93	3.50
0.138	-1.47	1.17	1.72	2.26	2.94	3.51	1.14	1.66	2.24	2.93	3.50	1.12	1.65	2.22	2.93	3.50
0.085	-1.48	1.15	1.68	2.24	2.94	3.50	1.13	1.65	2.22	2.93	3.50	1.11	1.64	2.21	2.93	3.49
0.038	-1.49	1.13	1.65	2.22	2.93	3.49	1.11	1.63	2.21	2.93	3.49	1.11	1.63	2.21	2.93	3.49
0.000	-1.50	1.10	1.62	2.20	2.93	3.49	1.10	1.62	2.20	2.93	3.49	1.10	1.62	2.20	2.93	3.49

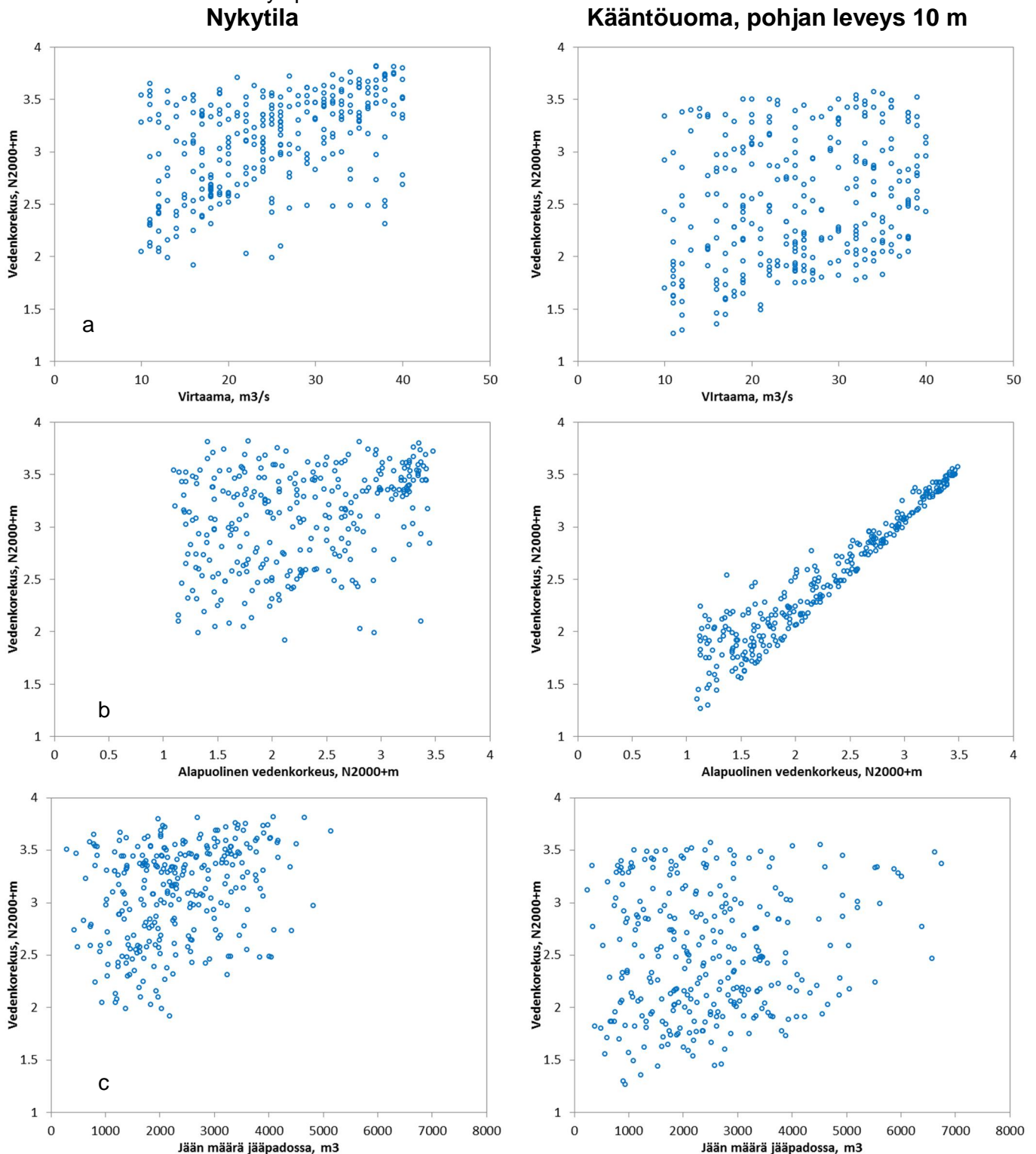
4.3.3. Nykytilan ja kääntöuoman tulosten vertailu

Jääpatolaskentojen vertailu on haastavaa, sillä patojen vaikutus vedenpintoihin on hyvin paikallista ja laskentatavasta johtuen veden leviämisen mallinnus tulva-alueella tapahtuu kohtisuorasti määritettyihin poikkileikkauksiin nähden. Lisäksi mallinnetut alueet eivät täydellisesti leikkaa toisiaan ja kääntöomalaskennoissa oli oletettu ”riittävän” korkea lännen puoleinen suojapato.

Sekä nykytilan virtausmallissa että kolmessa kääntöomavaihtoehdossa mallien neljä ylintä poikkileikkausta olivat kuitenkin identtisiä. Lisäksi juuri suunnitellun kääntöuoman yläpuolelta, varsinaisesta Harjunpäänjoesta voidaan tunnistaa sekä nykytilan että suunnitelmavaihtoehtojen malleista poikkileikkauspari, jonka etäisyys on n. 11 metriä joka uoman pienellä kaltevuudella ei juuri aiheuta eroja vedenkorkeuteen. Näin ollen voidaan esimerkiksi tehdä vertailua ylimpien poikkileikkausten

vedenkorkeuksien välillä sekä kunkin laskennan ylimpien ja alimpien poikkileikkausten vedenpintojen erotuksen välillä.

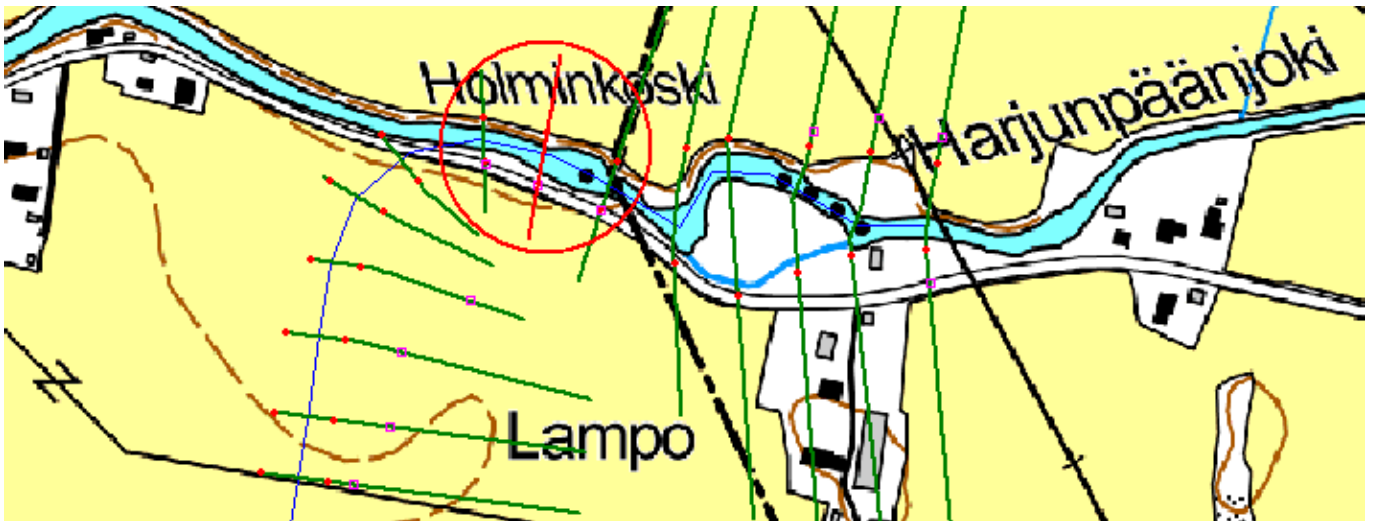
Kuvissa 27 a-c on esitetty nykytilan ja kääntöomavaihtoehto 2:n (uoman pohjan leveys 10 m) vedenkorkeudet virtaaman, alapuolisen vedenkorkeuden ja jääpadon jäämäärän suhteen juuri suunnitellun kääntöuoman yläpuolelta.



Kuva 27. Nykytilaisen Harjunpäänjoen ja 10 metriä leveän pohjan omaavan kääntöuoman tulosten vertailua.

Kuten kuvasta 27 nähdään, ovat suurimmat vedenkorkeudet kääntöumalla (N2000+3,47 m) n. 25 cm alempana kuin nykytilanteessa (N2000+3,82 m). Lisäksi kääntöumalla voidaan saavuttaa myös matalampia vedenkorkeuksia laajemmalla virtaamaskaalalla. Kääntöuoman vedenkorkeudet ovat hyvin riippuvaisia Kokemäenjoen vedenkorkeudesta ja vaikka uoma on hieman pidempi ja siten jäämäärät jääpadoissa voivat olla suurempia, ei tässä tutkimuksessa generoiduilla muuttujilla silti saatu nykytilaa korkeampia vedenkorkeuksia.

Taulukossa 9 on vielä esitetty kuvassa 28 esitetyille poikkileikkauksille sekä kahdelle muulle kääntöomavaihtoehdolle lasketut vedenkorkeuksien jakaumat. 297 lasketusta jääpatotilanteesta lasketuista jakaumista voidaan mm. nähdä, että kaikilla kääntöomavaihtoehdoilla mediaanivedenkorkeudet jäävät n. 0,6-0,9 metriä alemmaksi kuin nykytilassa. Samoin maksimivedenkorkeudetkin ovat kaikilla suunnitelmavaihtoehdoilla n. 0,2-0,4 metriä nykytilan korkeuksia matalampia.



Kuva 28. Poikkileikkauksen 2.320 sijainti kääntöoman mukaisissa virtausmalligeometrioissa.

Taulukko 9. Juuri kääntöoman yläpuolella sijaitsevien Harjunpäänjoen nykytilaisen ja kääntöomavaihtoehtojen vedenkorkeusjakaumatietoja (N2000+m)

	Paalulukema	Minimi	25 %	Mediaani	75 %	Maksimi
Nykytila	1.511	1,99	2,78	3,24	3,48	3,82
Kääntöoma (pohja 5 m)	2.320	1,40	2,28	2,65	3,13	3,64
Kääntöoma (pohja 10 m)	2.320	1,27	2,03	2,47	2,99	3,57
Kääntöoma (pohja 15 m)	2.320	1,21	1,86	2,36	2,96	3,54

Taulukossa 10 on puolestaan esitetty kuvassa 10 näkyvien pisteiden vedenkorkeudet jääpatotilanteessa. Kääntöoman osalta esitetään vaihtoehdon 2 (uoman pohjan leveys 10 m) tulokset suurimpien laskettujen vedenkorkeuksien (poikkileikkausten maksimivedenkorkeus) osalta. Nykyisen Harjunpäänjoen jääpatotilanteen vedenkorkeus pisteessä C on arvioitu virtausmallin lähimpänä olevan poikkileikkauksen mukaan, sillä nykytilanteen virtausmalligeometria ei aivan kattanut pisteen sijaintia. Pisteille D-G ei voida antaa nykytilanteen mukaista jääpatovedenkorkeutta, sillä ne sijaitsevat kaukana virtausmallin poikkileikkauksista ja muutenkin jääpadon vaikutusalueesta, jonka vuoksi vedenkorkeuden määrittäminen on haastavaa 1-dimensionaalisella mallilla. Näiden pisteiden vedenkorkeus on kuitenkin todennäköisesti pisteen C (N2000+3,79 m) ja Kokemäenjoen vedenkorkeuden (N2000 + 3,4...3,5 m) väliltä.

Taulukko 10. Eräiden kääntöoman itäpuolisten pisteiden vedenkorkeuksia nykytilaisen Harjunpäänjoen ja kääntöoman (uoman pohjan leveys 10 m) mukaisessa jääpatotilanteessa.

Pisteen tunnus	Pohjois-koordinaatti (EUREF TM35FIN)	Itäkoordinaatti (EUREF TM35FIN)	Jääpatotilanteen vedenkorkeus nykytilanteessa (N2000+m)	Jääpatotilanteen vedenkorkeus kääntöoman mukaisessa tilanteessa (N2000+m)
A	6826743,2	227 327,5		3,50
B	6826904,2	227 675,7		3,52
C	6827374,5	227 495,0		3,53
D	6827806,3	227 758,8		3,54
E	6828082,5	227 459,6	3,79	3,55
F	6828630,8	227 472,0	3,80	3,56
G	6828949,4	227 654,4	3,82	3,57