

Pohjois-Pohjanmaan ELY keskus

Pyhäjoen yksityiskohtaiset tulvavaarakartat välillä Joutenniva-Haapajärvi

27.11.2018

Insinööritoimisto Pekka Leiviskä

www.leiviska.fi

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	3
2 VESISTÖALUE.....	4
3 AINEISTOKUVAUS	5
3.1 Maastoaineisto	5
3.1.1 KM2 malli	5
3.1.2 Uoman syvyystiedot.....	6
3.1.3 Penkereet.....	7
3.1.4 Sillat	8
3.2 Virtausmallin rakenne	10
3.2.1 Mallinnusohjelmisto.....	10
3.2.2 Keskeiset rakenteet	10
4 KALIBROINTI.....	15
4.1 Aineiston valinta	15
4.2 Karkeuskertoimien valinta	16
4.3 Verifiointi.....	17
5 TULVAVAARAKARTAT.....	20
5.1 Tulvavaarakartan tyyppi	20
5.2 Vedenkorkeudet ja virtaamat	20
5.3 Tulosteet.....	22
6 MUUT VIRTAAAMALASKELMAT	23
6.1 Haapajärven HW N60+ 87,80...88,80 m	23
6.2 Vedenkorkeudet pengerrysalueiden kannalta	26
6.2.1 Suunnittelukorkeus	26
6.2.2 Vedenkorkeudet penkereiden yläpäässä järven HW nostolla	27
6.3 Jäätarkastelu	28
6.3.1 Yleiskuvaus.....	28
6.3.2 Teoria	28
6.3.3 Jääkannen vaikutus vedenkorkeuteen	30
6.3.4 Jääkannen vaikutus penkereiden tulvasuojaustoistuvuuteen	34
6.3.5 Yhteenvetoa jäävaikutuksesta	35
KIRJALLISUUS.....	36

1 JOHDANTO

Tässä työssä mallinnettiin Pyhäjoki Haapajärven-Joutennivan väliseltä alueelta. Laskenta-aineisto laadittiin 1D mallinnuksena, koska tarkoituksena oli tuottaa lukuisa määrä laskentatuloksia jokiuomasta Haapajärven muutossuunnitelman avuksi. Lisäksi työssä tuotettiin tulvavaarakartoituksen laskelmat tyypillisille tulvatilanteille HQ1/2...HQ1/1 000.

Laskennassa oli käytettävissä FCG:n syksyllä 2017 mittaamaa korkeusaineistoa jokiuomasta. Mittaukset oli suoritettu N60 korkeusjärjestelmässä ja tähän työhön ne muunnettiin työssä käytettyyn N2000 korkeusjärjestelmään. Koordinaattijärjestelmänä työssä on käytetty ETRS89-EU-REFTM35FIN järjestelmää.

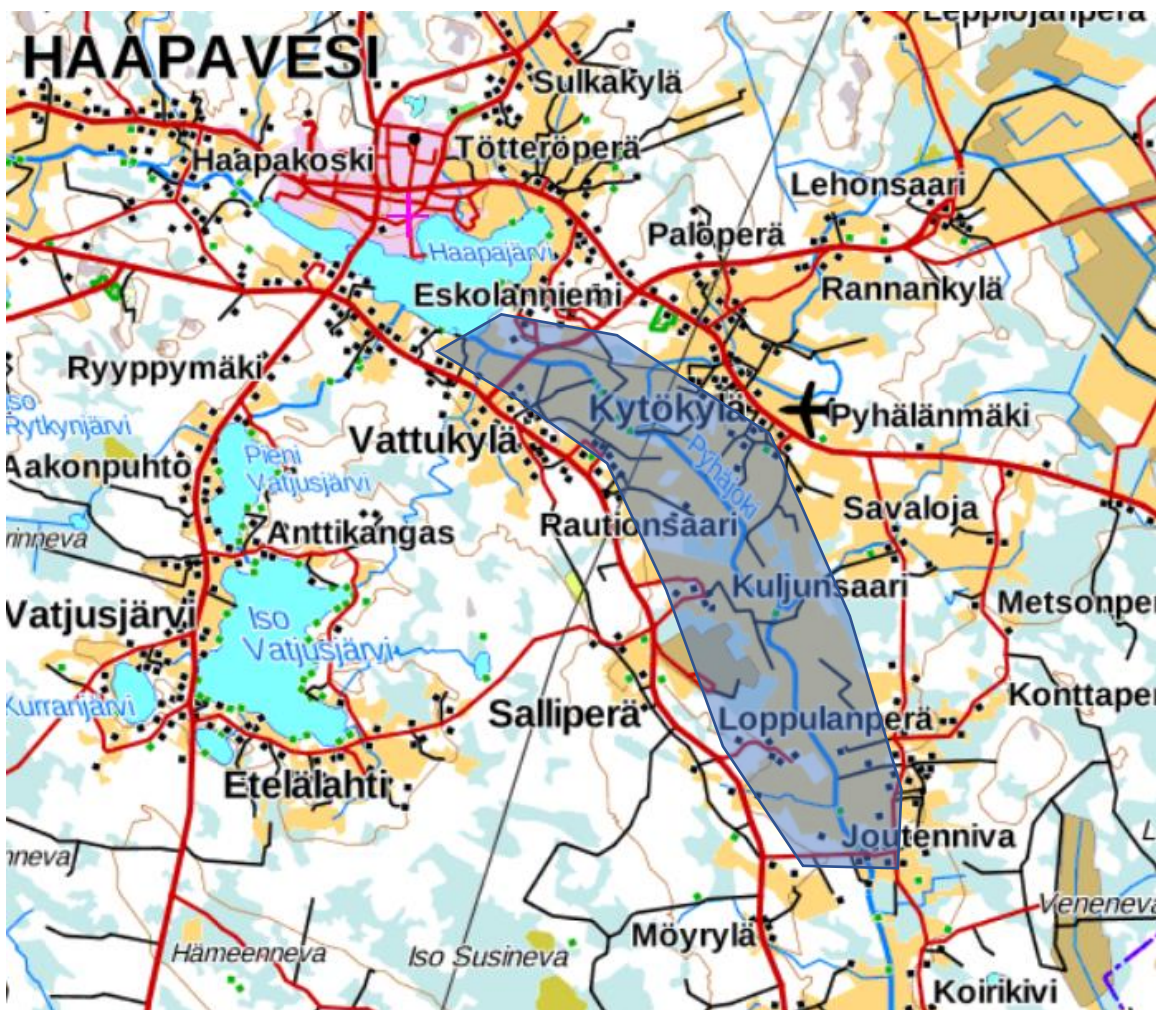
Korkeusjärjestelmien muunnostermit määritettiin Geodeettisen laitoksen (nyk. Maamittauslaitos) palvelun avulla:

<http://coordtrans.fgi.fi/transform-form.do>

$N60 + 0,40\text{m} = N2000$

$N43 + 0,53\text{m} = N2000$

Seuraavassa kuvassa on esitetty mallinnettu alue.



Kuva 1. Mallinnettu alue Pyhäjoesta välillä Haapajärvi-Joutenniva.

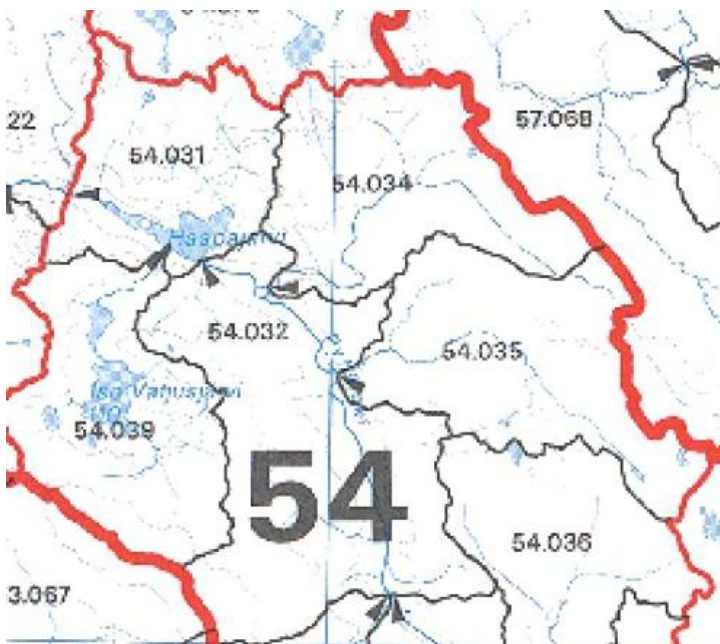
2 VESISTÖALUE

Valuma-alueen suuruus on esitetty mallinnetun alueen eri osa-alueilla seuraavassa taulukossa.

Taulukko 1. Vesistöalueiden osa-valuma-alueet (Ekholm 1993).

Nro	Nimi	Alaraja	F [km ²]	L [%]
54.031	Haapajärvi (p)	Haapajärvi	1 935	8,2
54.032	Kuljunssaaren a	Haapajärvi	1 830	8,1
54.024	Piipsanojan va	Pyhäjoki	60,7	0,0
54.035	Savalojan va	Pyhäjoki	65,0	0,5

Oheisessa kuvassa on esitetty osavaluma-alueiden sijainti.



Kuva 2. Mallinnetun alueen osavaluma-alueiden sijainti.

Alueella sijaitsevia hydrologisia havaintoasemia ovat

5400200 Haapajärvi W

5400250 Haapakoski Q

3 AINEISTOKUVAUS

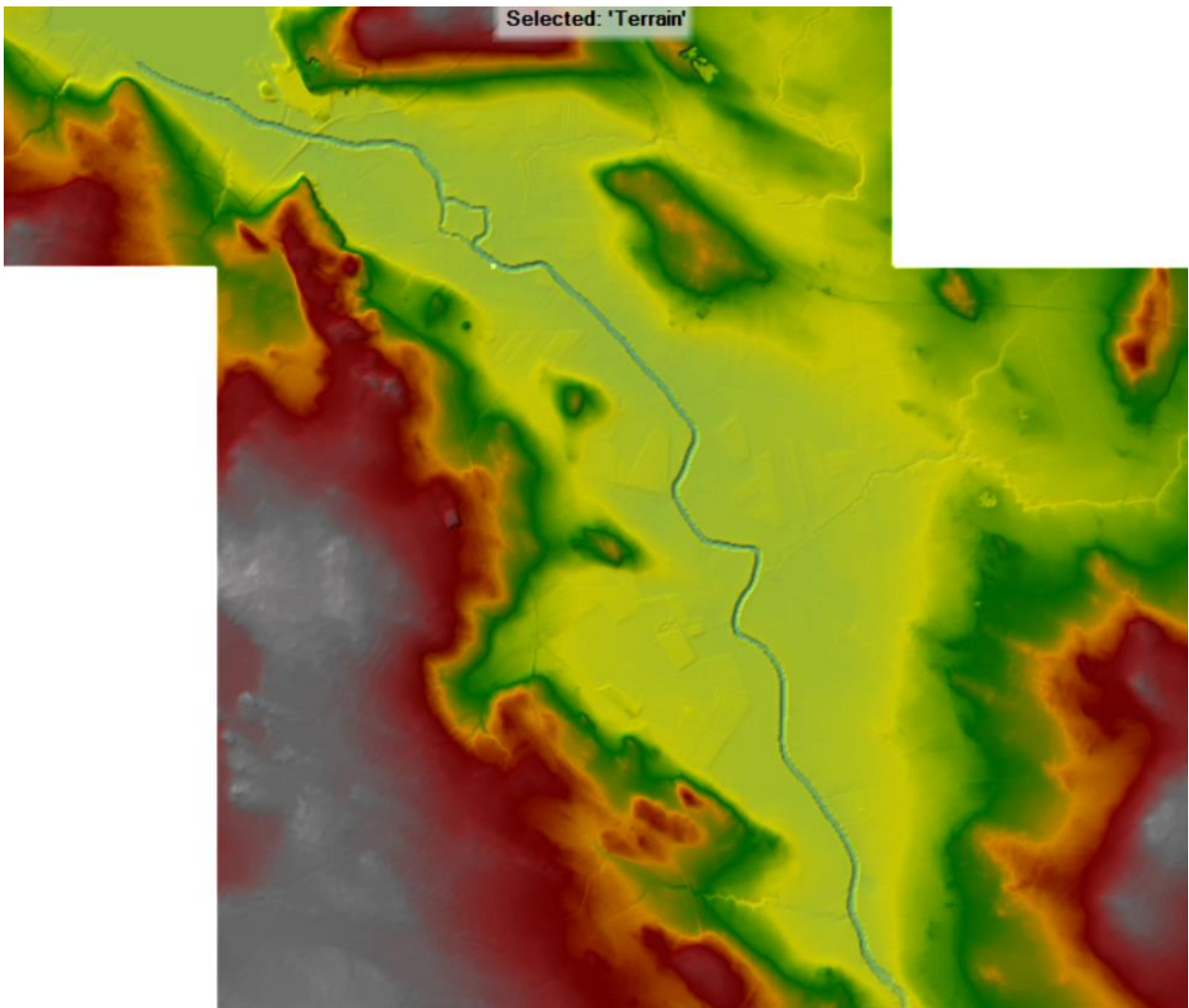
3.1 Maastoaineisto

3.1.1 KM2 malli

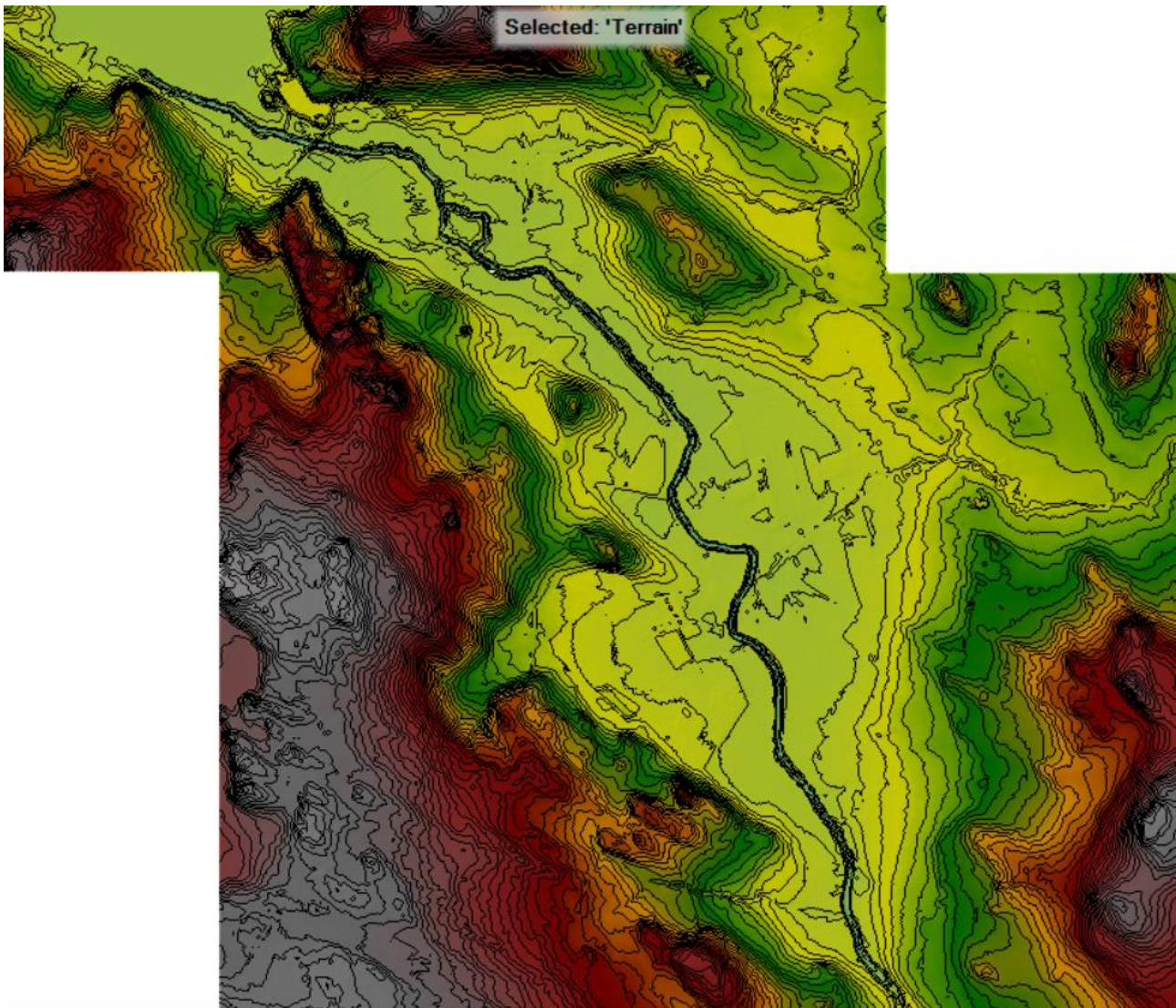
Maastoaineistona käytettiin KM2 mallia. Aineisto koko alueella oli ajantasaistettu 21.-22.5.2012 ja päivitetty 6.8.2015. Aineiston luokitus oli laatuluokka I-luokka (korkeustarkkuus keskimäärin 0,30 m). Kaikkiaan käytettäviä geotiff formaatissa olevia KM2 lehtiä oli 6 kpl.

Aineisto oli valmiiksi N2000 korkeusjärjestelmässä ja etrs-tm35fin koordinaattijärjestelmässä.

Seuraavassa kuvassa on esitetty KM2 geotiff täydennettynä jokiuoman mittauksin.



Kuva 3. KM2 malli täydennettynä jokiuoman syvyysmittauksin.



Kuva 4. KM2 malli täydennettynä jokiuoman syvyysmittauksin sekä 1 metrin korkeuskäyrin.

3.1.2 Uoman syvyystiedot

Työn suorittivat FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy;stä Projektipäällikkö, rkm. Hannu Verronen sekä aputyöntekijänä, dipl. ins. Kari Kreuz. Mittauksen ajankohta oli 6.10, 24-25.10. sekä 31.10. 2017. (Verronen 2018)

Laitteistona mittauksissa oli

- Soutuvene Terhi Saiman
- Tallentava viistokaikuluotain Lowrance HDS Gen 3
- Tarkkuus Gps laitteisto Trimble 6800 VRS
- Bosch DLE50 Professional etäisyysmittari
- Rullamitta sekä vaaituslatta.

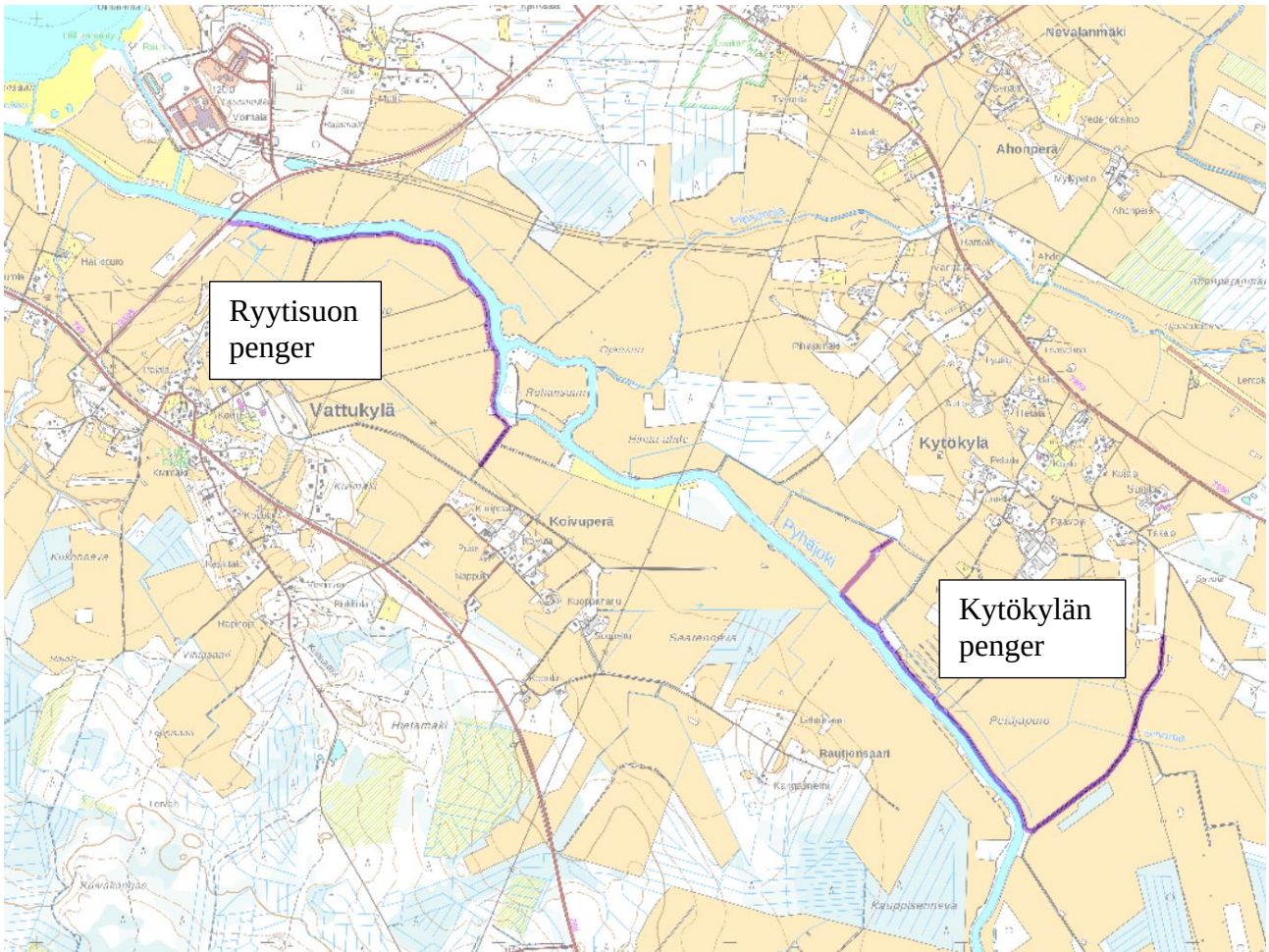
Tarkkuus GPS:n tiedot oli käsitelty Trimble Geomatics ohjelmalla, kaikuluotaimen tuottama aineisto Reefmaster 2.0 ohjelmalla sekä 3DWin maastomittausohjelmalla. 3DWin ohjelman avulla aineistosta oli muodostettu ruutuverkkomalli, josta tuotettiin ACAD sekä pisteaineisto.

Mittaukset oli toteutettu ETRSTM35 koordinaattijärjestelmään sekä N60 korkeusjärjestelmään.

Tähän työhön tiedot muunnettiin korkeusjärjestelmän osalta $N60+0,40 \text{ m} = N2000$.

3.1.3 Penkereet

Mallinnetulla alueella sijaitsee kaksi pengertä, joilla on suojeltu viljelysmaita. Penkereiden sijainti on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 5. Alueella sijaitsevat penkereet. (Taustakartta Maanmittauslaitos 2018).

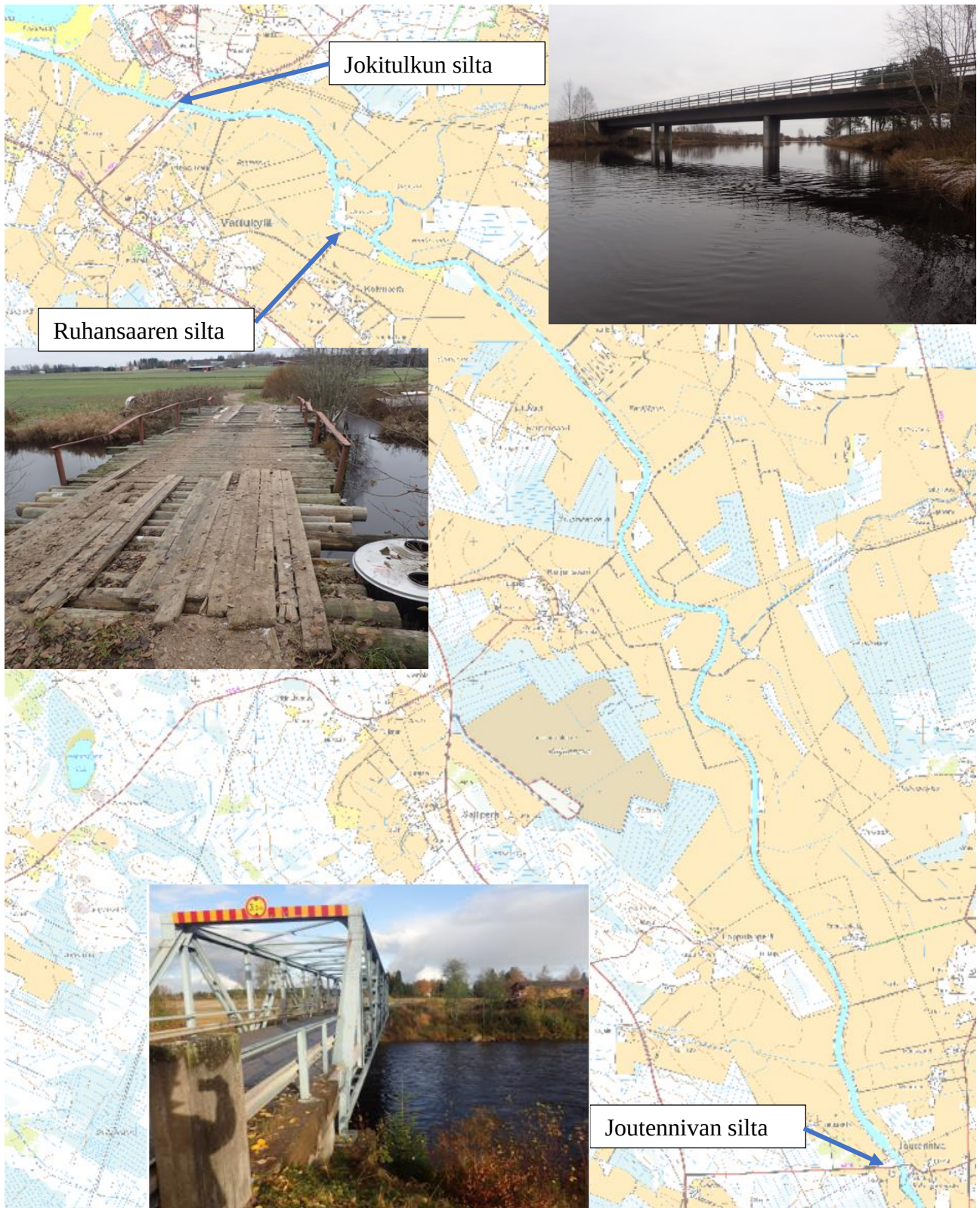
Ryytisuon penkereen tulvasuojaustoistuvuus on noin 1/20. Kytökylän penger suojaustulvantoistuvuus on selkeästi Ryytisuon pengertä alhaisempi (0,30 m alhaisempi mitoituskorkeus ja sijainti ylemmänä jokivarressa). (Ramboll Finland Oy 2014)

Taulukko 2. Alueella sijaitset pengeralueiden mitoitustiedot (Ramboll Finland Oy 2014).

Penger	Rakennettu	Mitoitus	Suojelualue [ha]	Suojelukohteet
Kytökylän penger	1996 - 1997	N60+89,2 painumavara 0,20 m	53	Viljelysmaita
Ryytisuon penger	1996 - 1997	N60+89,5 (n. HW1/20)	-	Viljelysmaita

3.1.4 Sillat

Alueella sijaitsee kolme siltaa. Sillat mallinnettiin vapaan virtausaukon mukaisesti käyttäen sillan kantta sekä mahdollisia siltapilareita mukana laskennassa. Seuraavassa kuvassa on esitetty alueella sijaitseva sillat.



Kuva 6. Alueen sillat. (Taustakartta Maanmittauslaitos 2018 ja valokuvat Hannu Verronen 2017).

3.2 Virtausmallin rakenne

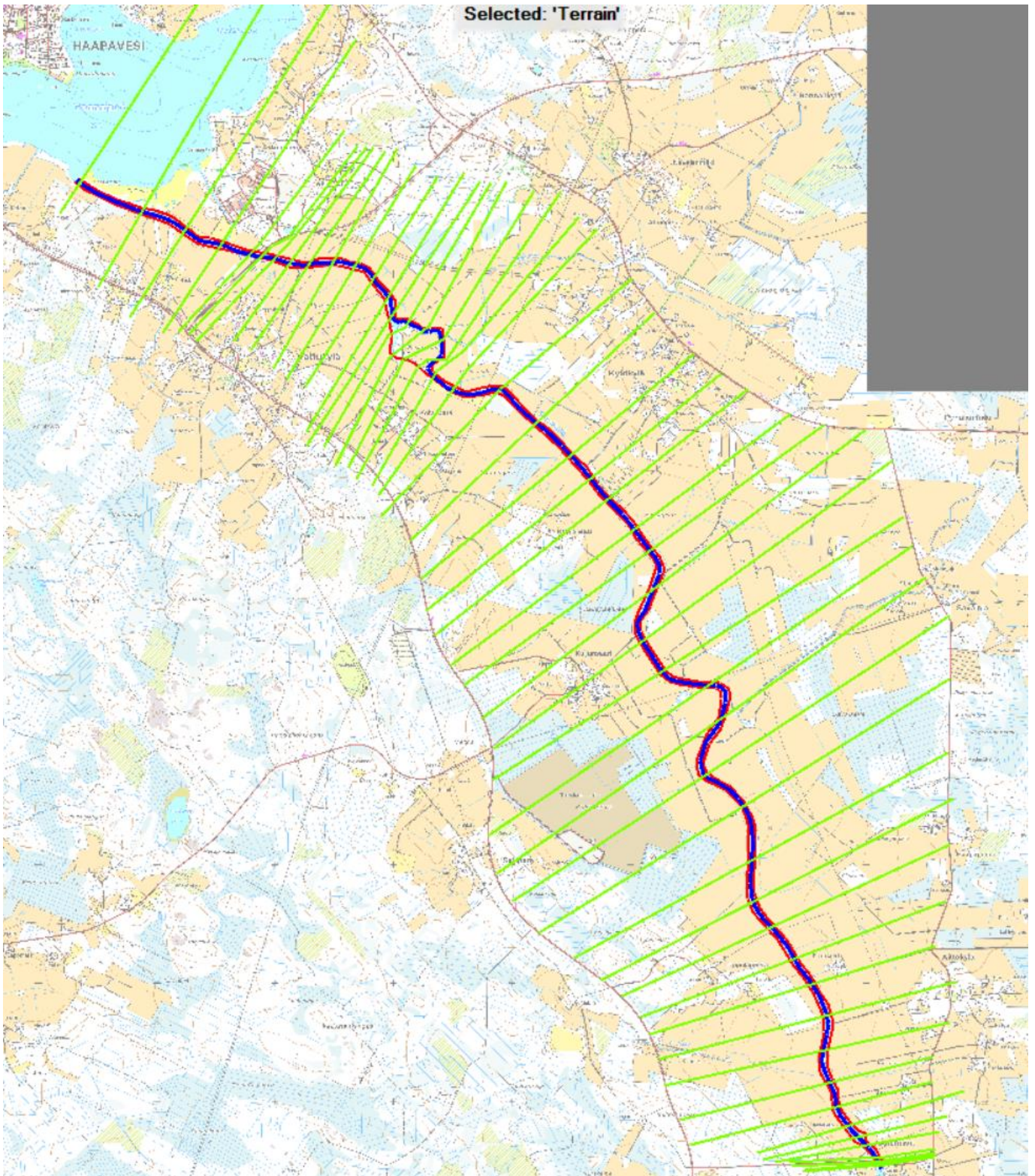
3.2.1 Mallinnusohjelmisto

Mallinnus toteutettiin HEC-RAS ohjelmiston 5.0.5 versiolla. Itse laskentamalli laadittiin 1D poikkileikkauksina, koska sillä tuli laskea säännöstelyn muutossuunnitelman avuksi varsin lukuisa määrä eri laskentavaihtoehtoja. Lisäksi mallinnuksessa tuli tarkastella myös tyypillisen jääkannen vaikutusta laskettuihin vedenkorkeuksiin.

Näin 2D laskentavaihtoehto ei tuntunut työhön käyttökelpoiselta. 2D malli laadittiin kuitenkin laskennan apuvälineeksi, jotta voitiin rajata riittävä laskenta-alue poikkileikkauksien osalta sekä tarkastella miten sivu-uomat näyttäisivät vaativan leveyttä laskennalle. Koska niiden vaikutus jäi aika pieneksi 2D mallinnuksessa ja 1D laskennassa saavutettiin hyvin samankaltainen vedenkorkeuden nousu sivu-uomissa, ei sivu-uomia 1D mallinnuksessa mallinnettu omina uominaan vaan ne korvattiin sivutulovirtaamina.

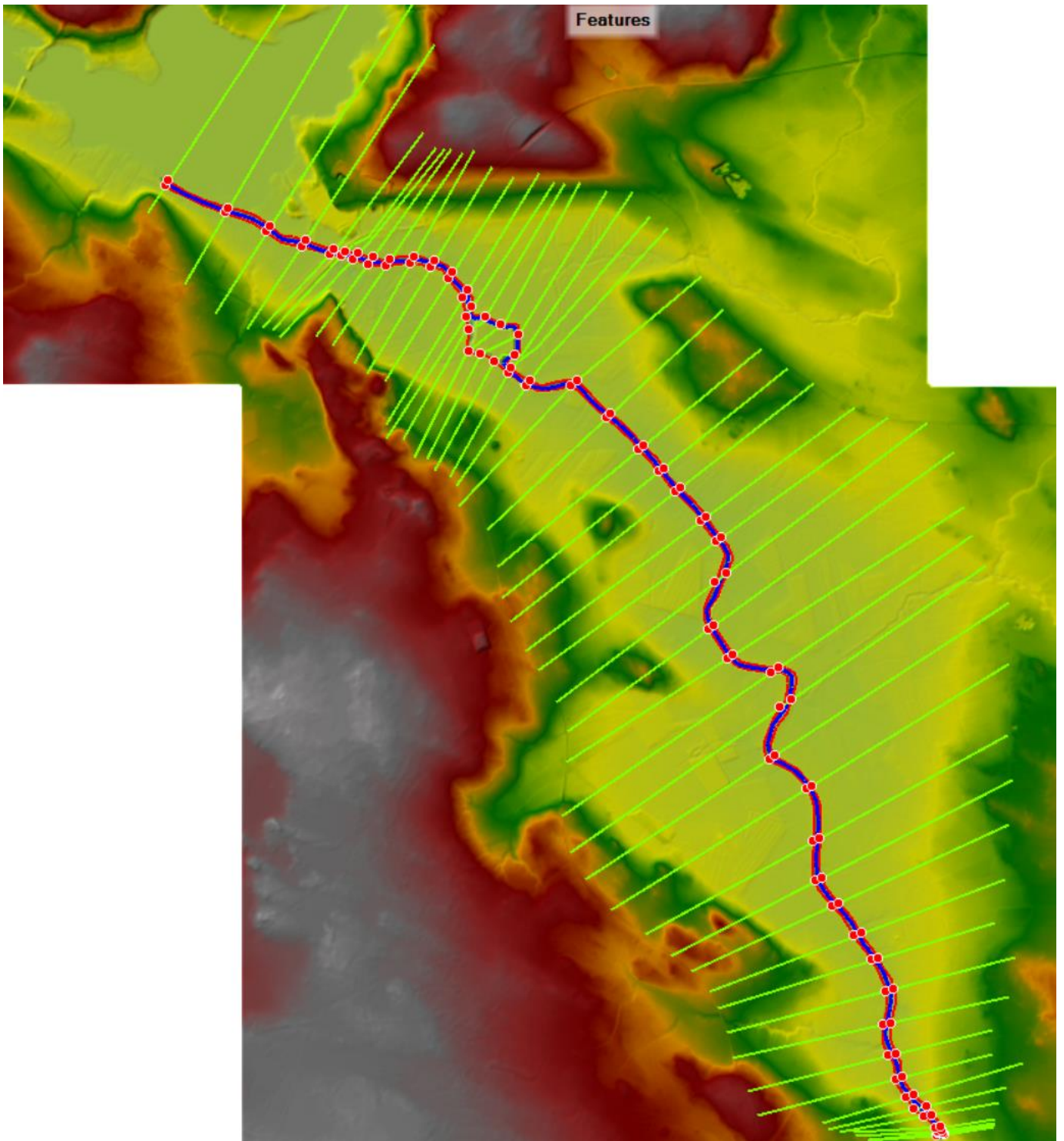
3.2.2 Keskeiset rakenteet

Mallinnukseen luotiin 1D poikkileikkaukset. Poikkileikkaukset ulotettiin niin pitkälle, että niillä voitiin laskea sekä HQ1/1000 mukainen virtaama että erilaiset säännöstelylaskelmiin tehtävät järven ylärajan yläpuolella tehtävät laskelmat. Seuraavassa kuvassa on esitetty laaditut 1D poikkileikkaukset peruskarttapohjalla esitettynä.



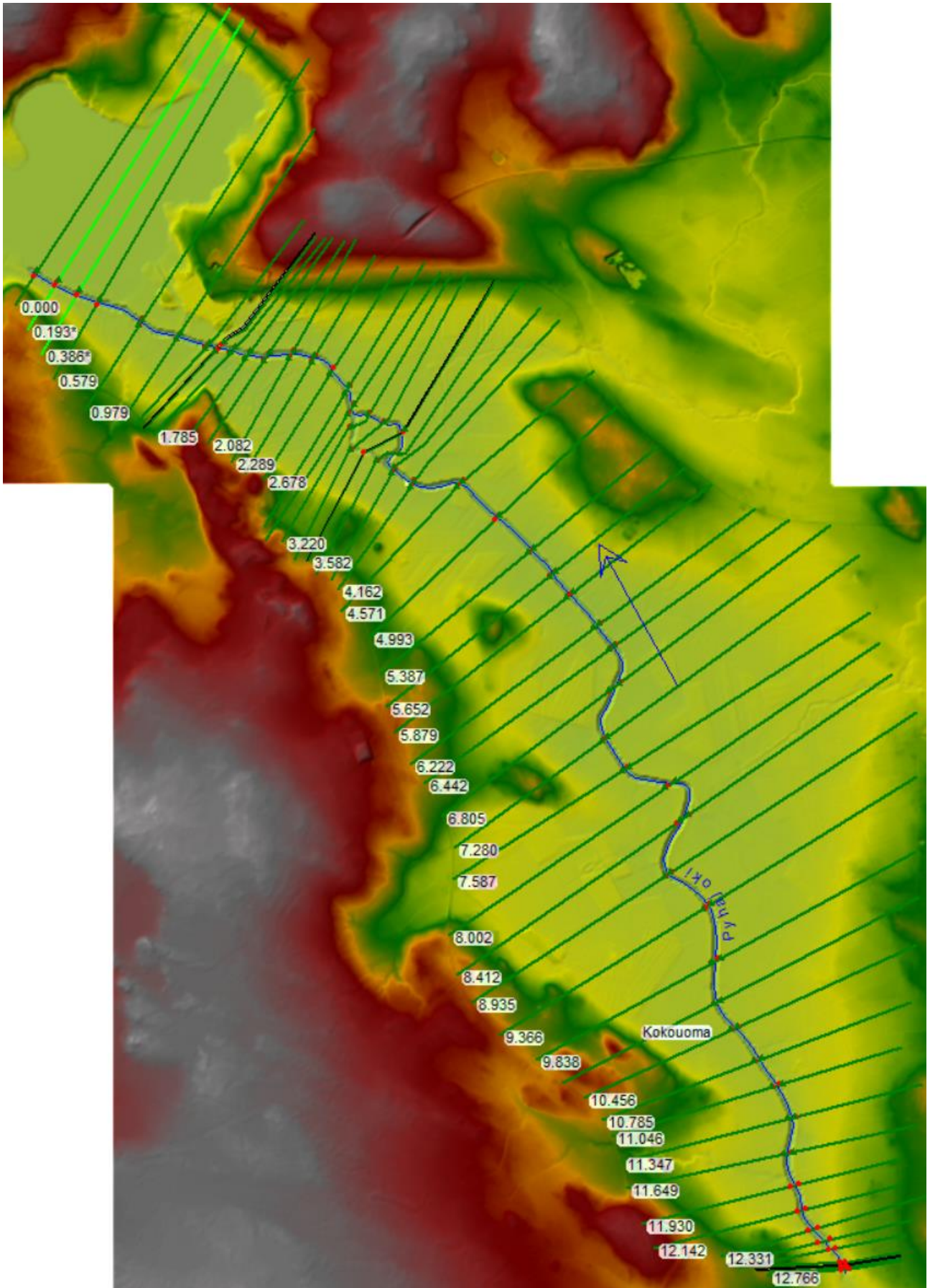
Kuva 7. Laskentapoikkileikkaukse peruskartalla. (taustakartta 06/2018 Maanmittauslaitos)

KM2 geotiff aineiston pohjalla on helpompi hahmottaa alueen korkeuseroja. Seuraavassa kuvassa on esitetty poikkileikkaukset geotiff pohjalla täydennettynä tulva-alueen rajalla (Bank Stations).



Kuva 8. Laskentapoikkileikkaukset geotiff pohjalla, kuvassa myös tulva-alueen ja uoman rajat (Bank Stations) on merkitty punaisilla pisteillä.

Seuraavassa vielä poikkileikkaukset numeroituina.



Kuva 9. Poikkileikkaukset numeroituina, etäisyydet kilometreinä mallin alaosalta lukien. Tarkempi kartta liitteessä 5.

Malliin lisättiin lasekntapoikkileikkausten lisäksi

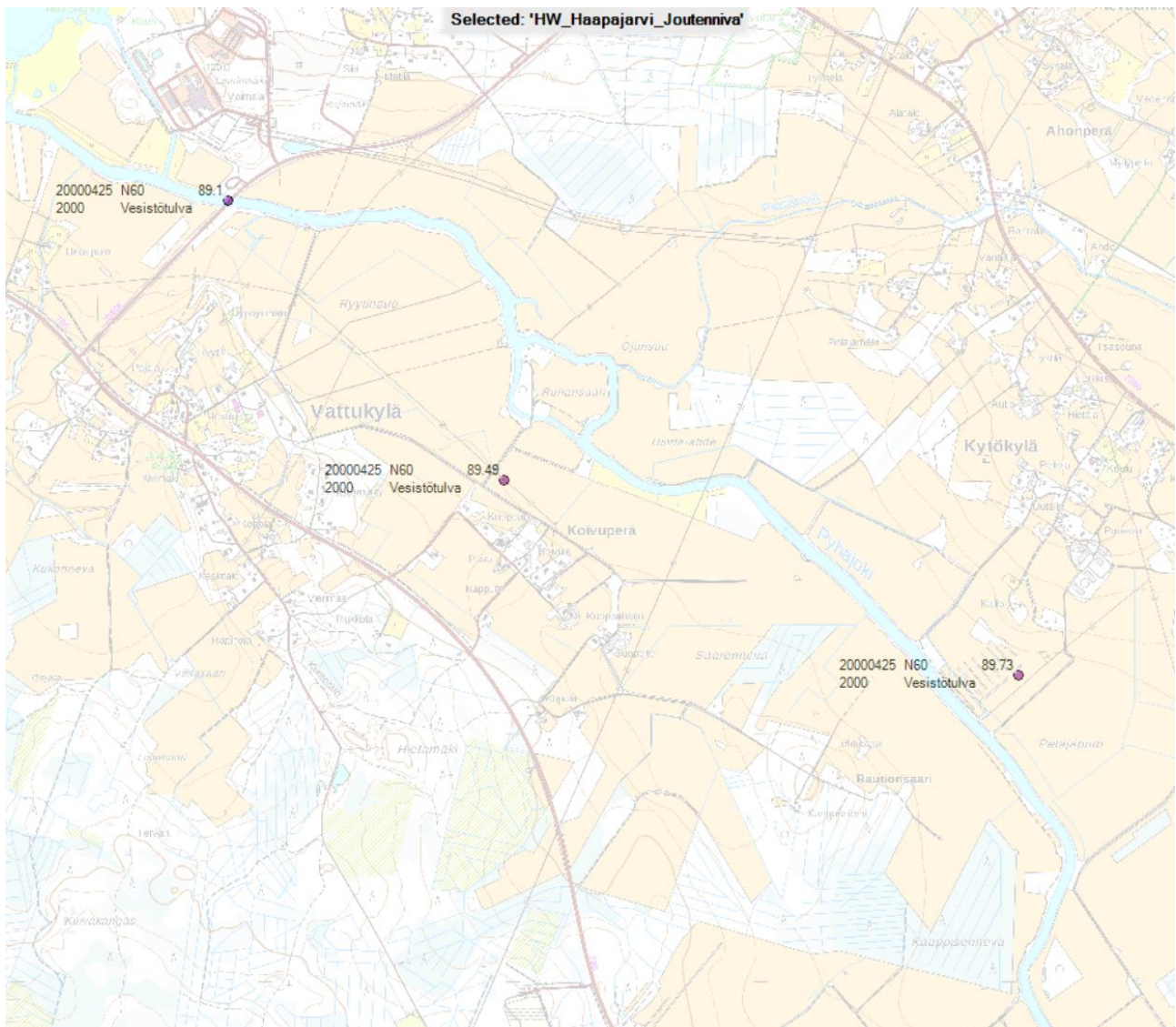
- sillat (3 kpl). Jokitulkun ja Joutennivan siltojen tiedot lisättiin siltojen piirustuksista ja Ruhansaaren yksityistien sillan tiedot täydennettiin FCG syksyllä 2017 mittaamien siltatietojen perusteella.
- Piipsanoja ja Savaloja sivutulovirtaamina
- rajattiin poikkileikkauksissa Ryytisuon ja Kytökylä pengerrysalueet tulvasuojelluiksi alueiksi KM2 mallissa olevan korkeuden mukaisesti. Tulvasuojellulla alueella tausta-alueen virtaama huomioidaan vasta vedenkorkeuden noustua pengerharjan yläpuolelle.
- lisäksi edellä olevan kaltaisia rajauksia toteutettiin myös muissa jokiuoman kohdissa, joissa rantapenger näyttää merkittävästi nousevan korkeammalle kuin tausta-alueen pellot
- yläpuolisena reunaehtona virtaama
- alapuolisena reunaehtona Haapajärvässä oli laskentatilanteen mukaan joko vedenkorkeus (kalibrointi), aiempien tulvakarttojen mukainen laskettu vedenkorkeus (tulvakartat) tai Suomen ympäristökeskuksen vesistömalliin tallentama tulva-ajan purkautumiskäyrä (säännöstelylaskelmat)

4 KALIBROINTI

4.1 Aineiston valinta

Kalibrointiaineistoksi valittiin kevättulva 2000. Aineisto oli toistuvuudeltaan hieman HQ1/20 mukaisten virtaamaa suurempi ja tulvan ajalta oli käytettävissä muutamia mitattuja vedenkorkeushavainnot jokivarresta. Samoin alueelta oli käytettävissä POPELYssä tehty tulvarajaus ilmakuvalta kevättulvan osalta.

Tulvahavainnot oli toteutettu 25.4.2000 tehdyin mittauksin. Tulvahavaintojen sijainti kartalla ilmenee seuraavasta karttakuvasta.



Kuva 10. Kevättulvalla 25.4.2000 mitatut vedenkorkeushavainnot. Taustakartta 06/2018 Maanmittauslaitos.

Tulvatilanne 25.4.2000:

5400250 Haapakosken virtaama $210 \text{ m}^3/\text{s}$,

virtaama mallin alaosalla $1830/1935 * 210 = 198,6 \text{ m}^3/\text{s}$

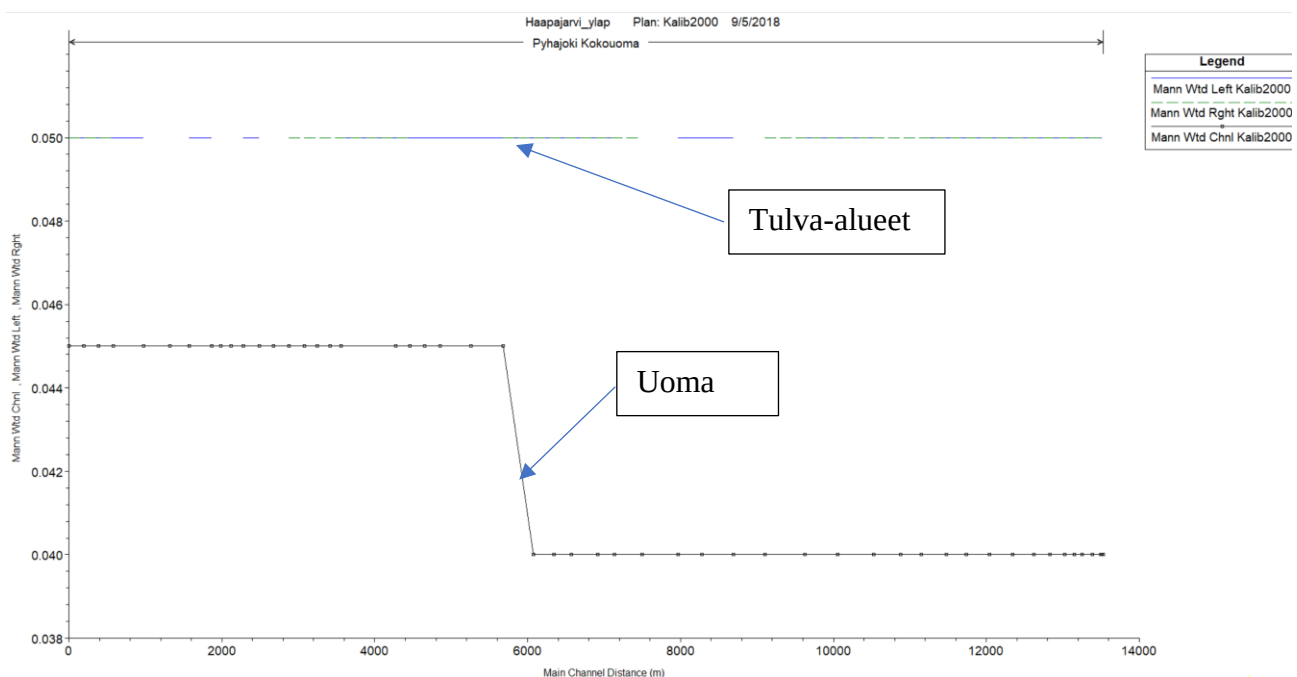
Piipsanojasta $60,7 / 1935 * 210 \text{ m}^3/\text{s} = 6,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Savalojasta $65,0 / 1935 * 210 \text{ m}^3/\text{s} = 7,1 \text{ m}^3/\text{s}$

Koska Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämästä HYTREK tietokannasta ei ollut saatavissa Haapajärvelle tulva-ajan vedenkorkeutta, oletettiin vedenkorkeuden mallin alaosalla eli Haapajärvestä asetuneen aiemmin laadituissa tulvakartoissa HW1/20 mukaiselle vedenkorkeudelle N2000 89,11 m. Vuoden 1984 – 2017 Gumbelin jakauman mukaan tulvan toistuvuus on ollut virtaaman osalta noin HQ1/20 (207,50 m³/s vs. havaittu 210 m³/s).

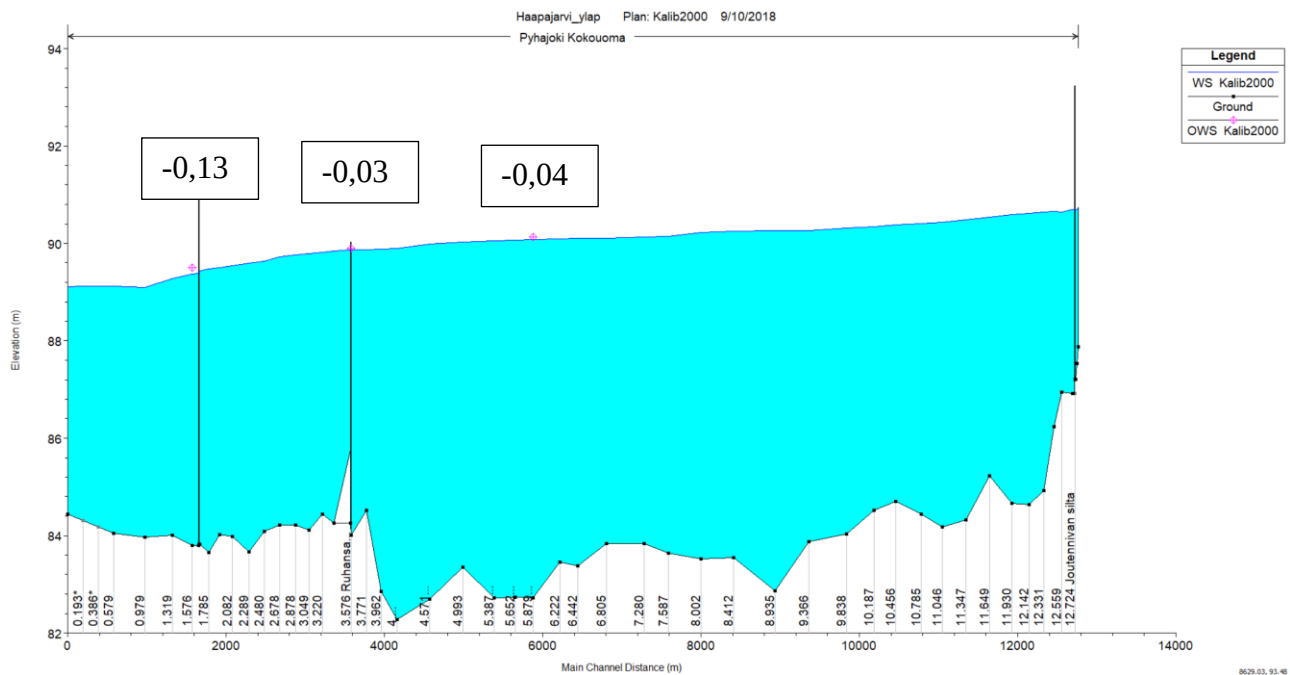
4.2 Karkeuskertoimien valinta

Mallin laskentaa verrattiin vuoden 2000 havaintoihin. Mallille valittiin karkeuskertoimet tulva-alueen osalle 0,05 ja uomassa karkeuskerroin vaihteli välillä 0,040 – 0,045 ollen laskentajakson alaosilla suurimmillaan. Seuraavassa kuvassa on pituusleikkauksena esitetty karkeuskertoimen muuttuminen laskentajaksolla.



Kuva 11. Kalibroitu karkeuskerroin uomamallissa.

Käytetyillä karkeuskertoimilla mallin laskenta on hyvin lähellä havaintoarvoja.



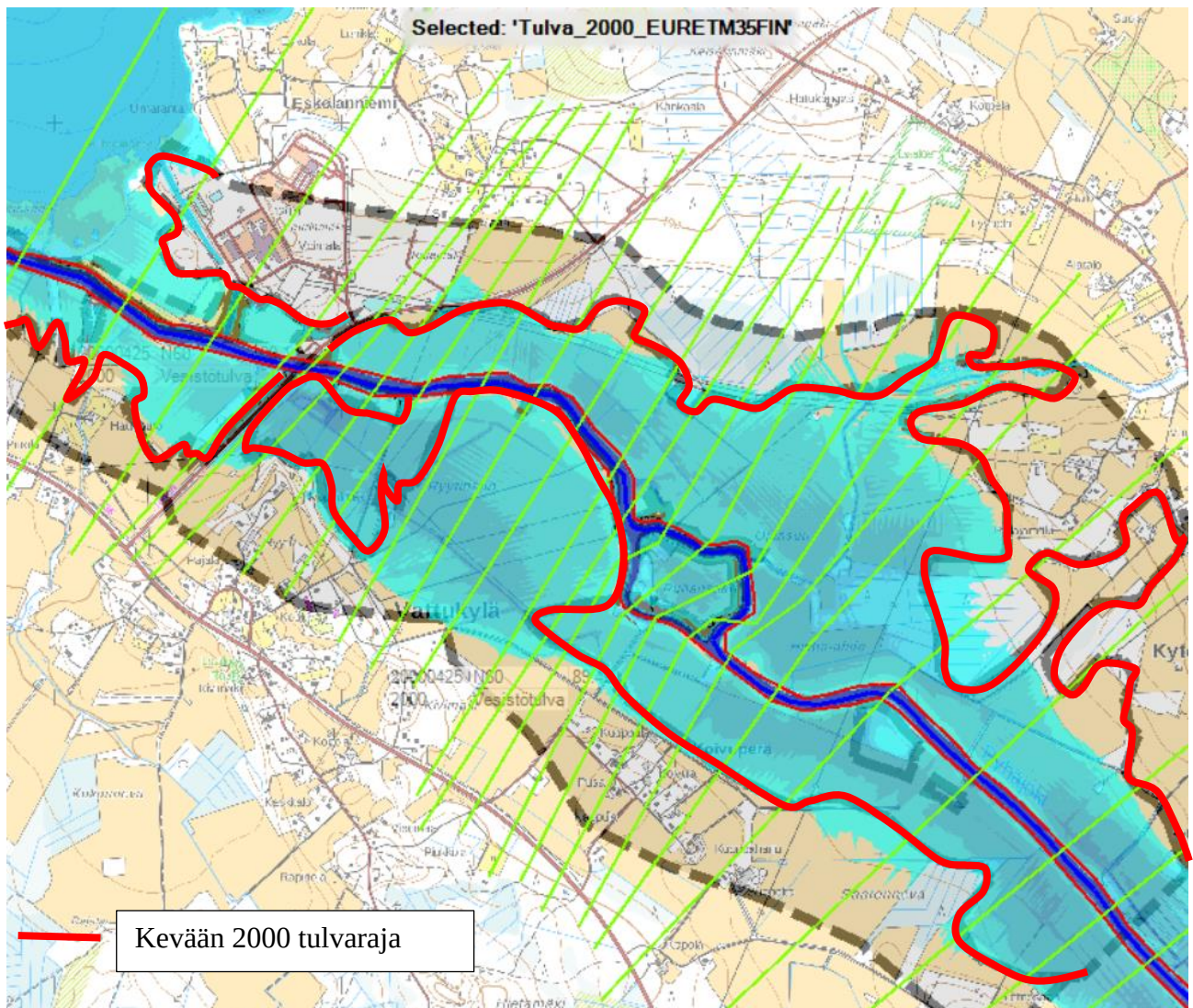
Kuva 12. Mallilla laskettu vedenkorkeus 25.4.2000 ja havainnot 3 kpl. Kuvassa lisäksi laskettu erotus havaittu vedenkorkeus – laskettu.

Aineisto saatiin kohtalaisen hyvin sovitettua aineistoon. Hieman epävarmuutta mallin alaosan kalibroinnin tarkkuuteen aiheutuu siitä, että tarkkaa vedenkorkeutta järvelle ei ole tiedossa. Koska karkeuskertoimen arvo mallin alimman sillan eli Jokitulkun sillan alapuolella oli jo valittu varsin suureksi eli arvoon 0,045, ei sitä katsottu enää aiheelliseksi kasvattaa kalibrointitarkkuuden parantamiseksi.

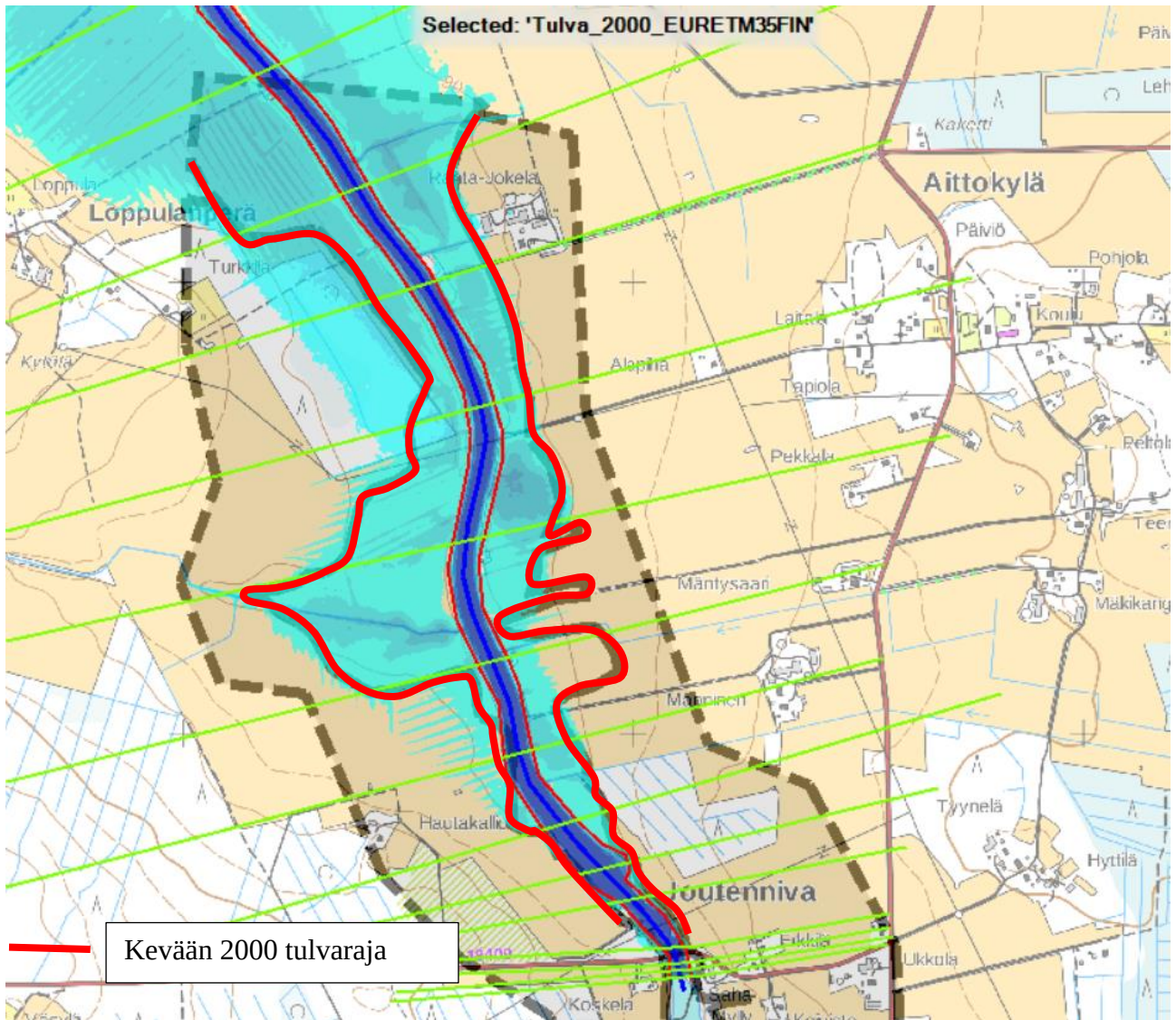
Toisaalta laskenta Jokitulkun sillan yläpuolella käyttäytyy hyvin ja mallin laskenta on hyvin lähellä havaittuja arvoja, ero havaittuihin vedenkorkeuksiin on enimmillään vain -0,04 m.

4.3 Verifiointi

Mallin laskentaa verrattiin myös ilmakuvista määritettyyn tulva-alueeseen. Oheisessa on muutama kuva ilmakuvaton ja mallin laskeman aineiston välillä. Ilmakuvausaineistosta puuttuu osa keskialueesta ilmakuvauksessa tapahtuneen filmirikon vuoksi. Ilmakuvausaineistolla voidaan kuitenkin todentaa, että malli käyttäytyy hyvin myös laskentajakson yläosalla, josta varsinaisia vedenkorkeusmitauksia ei oltu tehty.



Kuva 13. Tulvarajaus kevään 2000 tulvasta ja mallin laskenta mallin alaosaalla. (Taustakartta 06/2018 Maanmittauslaitos)



Kuva 14. Tulvarajaus kevään 2000 tulvasta ja mallin laskenta mallin yläosalla. (Taustakartta 06/2018 Maanmittauslaitos)

Mallin kalibroinnin yhteenvedona voidaan todeta, että hienoinen epävarmuus alimman sillan (jokitulkun sillan) alapuoliselle alueelle valitulle karkeuskertoimelle jää voimaan eikä sitä käytettävissä olevan aineiston perusteella havaintojen osalta voitu sulkea pois.

Tulvatilanteella mitattujen havaintojen ja verifioimalla laskentaa tulvasta tehdyn ilmakuvauksen avulla, voidaan kalibrointilaskentaa pitää kohtalaisen tarkkana.

Kalibroinnin tuloksena poikkileikkauskohtaiset vedenkorkeudet on tulostettu liitteeseen 1.

5 TULVAVAARAKARTAT

5.1 Tulvavaarakartan tyyppi

Laskennasta toteutettiin tulvavaarakartoitus. Koska käytettävissä oli I laatuluokkaan liittyvä KM2 malli ja uoma oli tarkemittattu, voidaan aineisto luokitella yksityiskohtaiseksi tulvavaarakartaksi.

5.2 Vedenkorkeudet ja virtaamat

Laskentamallin reunaehtoina käytettiin aiemmin laaditun tulvavaarakartoituksen Haapajärven vedenkorkeuksia. Suurimmat korkeudet HW1/100...1/1 000 on määritetty Veijalaisen toimesta vesistömallilla ja sietä pienemmät samassa työssä laaditusta Gumbel jakaumasta. (Veijalainen 2007)

Siten tässä työssä käytettiin alapuolisena reunaehtona mallille Haapajärven aiemman tulvakartoituksen mukaisia vedenkorkeuksia.

Taulukko 3. Haapajärven vedenkorkeudet (Veijalainen 2007).

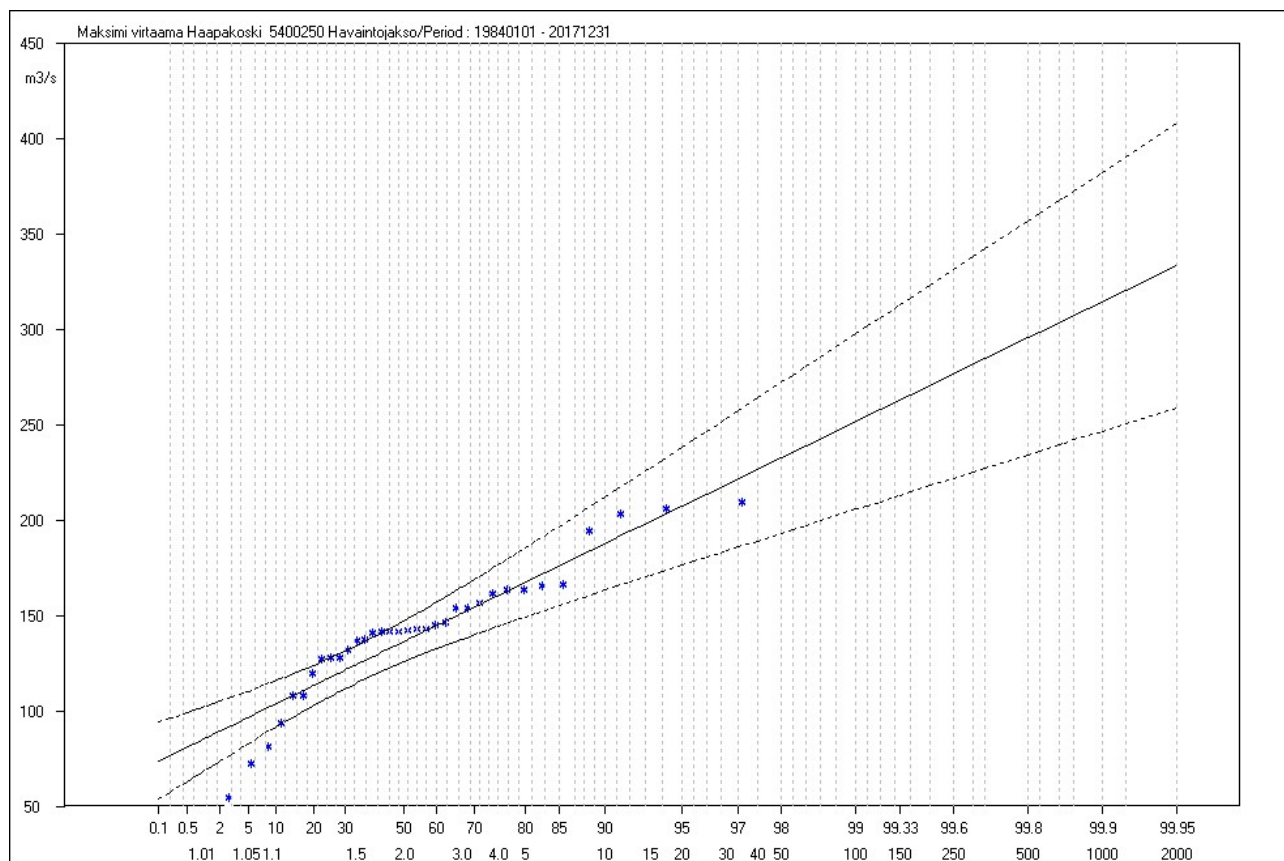
Toistuvuus	Vedenkorkeus N2000
HW1/2	88,44
HW1/5	88,72
HW1/10	88,93
HW1/20	89,11
HW1/50	89,35
HW1/100	89,55
HW1/250	89,67
HW1/1 000	89,83

Toistuvuudet HW1/2...HW1/10 on arvioitu Veijaliasen (2007) raportissa sivulla 8 esitetystä toistuvuusjakaumasta.

Virtaamat laskettiin Suomen ympäristökeskuksen toimittamista vuosijakson 1984 – 2017 havaintoasema 5400250 Haapakosken virtaamista.

Taulukko 4. Virtaama eri toistuvuuksilla vuosijaksolla 1984 – 2017 5400250 Haapakoski.

Toistuvuus	Virtaama [m ³ /s]
HQ1/2	143
HQ1/5	167
HQ1/10	188
HQ1/20	208
HQ1/50	233
HQ1/100	252
HQ1/250	277
HQ1/1 000	315



Kuva 15. Haapakosken 1 vrk ylivirtaaman toistuvuus ajanjaksolla 1984 – 2017.

Laaditulle mallille virtaamat laskettiin hyödyntäen Haapakosken virtaamahavaintoja vertaluvesistö-laskennan avulla seuraavaan taulukon mukaisesti.

Taulukko 5. Haapakosken ja verstailuvesistölaskennan avulla lasketut virtaamat eri osille mallinnusalueetta.

Toistuvuus	Haapakoski [m ³ /s]	Mallin alaraja [m ³ /s]	Piipsanoja [m ³ /s]	Savaloja [m ³ /s]	Mallin yläraja [m ³ /s]
HQ1/2	143	135.2	4.5	4.8	126.0
HQ1/5	167	157.9	5.2	5.6	147.1
HQ1/10	188	177.8	5.9	6.3	165.6
HQ1/20	208	196.7	6.5	7.0	183.2
HQ1/50	233	220.4	7.3	7.8	205.2
HQ1/100	252	238.3	7.9	8.5	222.0
HQ1/250	277	262.0	8.7	9.3	244.0
HQ1/1 000	315	297.9	9.9	10.6	277.5

5.3 Tulosteet

Aineiston osalta on tulostettu vedenkorkeudet liitteeseen 2. Luonnoskartat eri tulvantoistuvuutta vastaavista tilanteista on esitetty liitteessä 3.

Varsinainen lopullisten tulvakarttojen taittaminen tapahtuu POPELYssä tai Suomen ympäristökeskuksessa. Tässä on laskennasta tuotettu vain sdf-tiedostot

6 MUUT VIRTAAAMALASKELMAT

6.1 Haapajärven HW N60+ 87,80...88,80 m

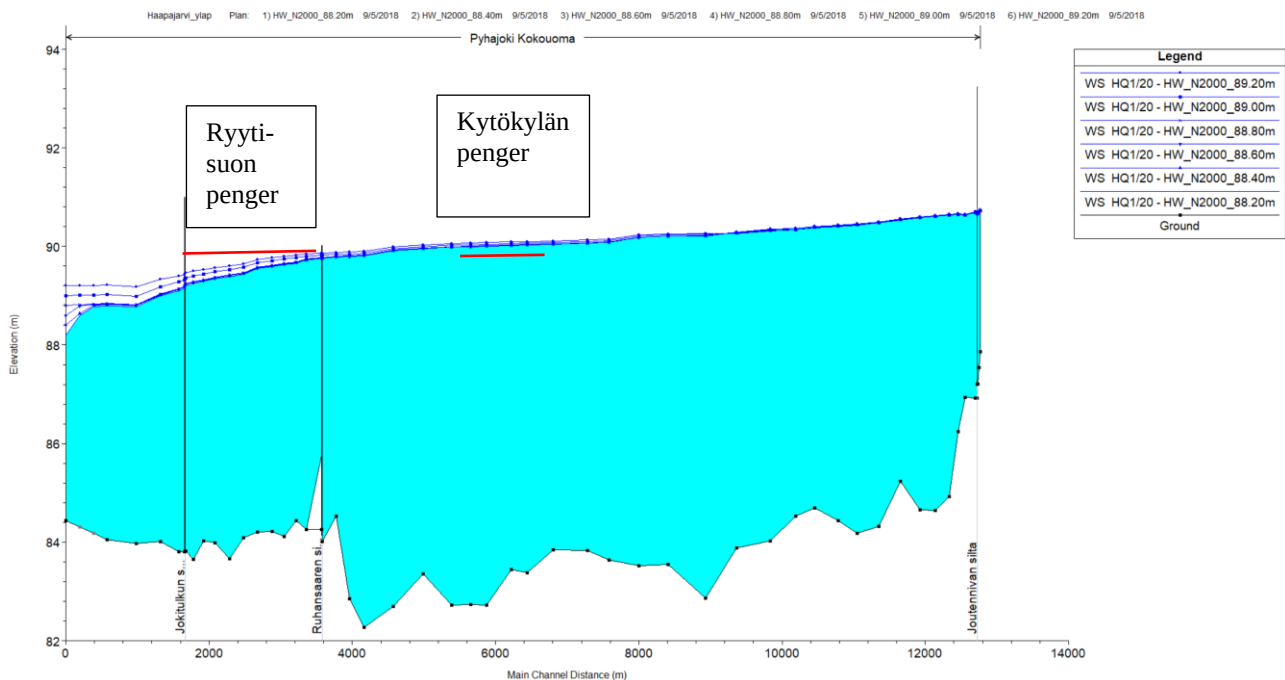
Tässä tarkasteltiin vedenkorkeuden muutoksen vaikutusta jokiuomassa eri tulvatilanteilla HQ2...1000. Laskennassa mallin alaosalla eli Haapajärvellä käytettiin HW vedenkorutta N60+ 87,80 m eli N2000 +88,20 m. Kyseisestä arvosta järven vedenkorkeutta nostettiin 0,20 m välein aina 1,0 m korotuksen saakka ja toteutettiin mallilla tarkastelu, mitä se vaikuttaa vedenkorkeuksiin yläpuolisella jokiosuudella.

Joen varrella vaikutuksien arvioimiseksi laadittiin tarkastelu:

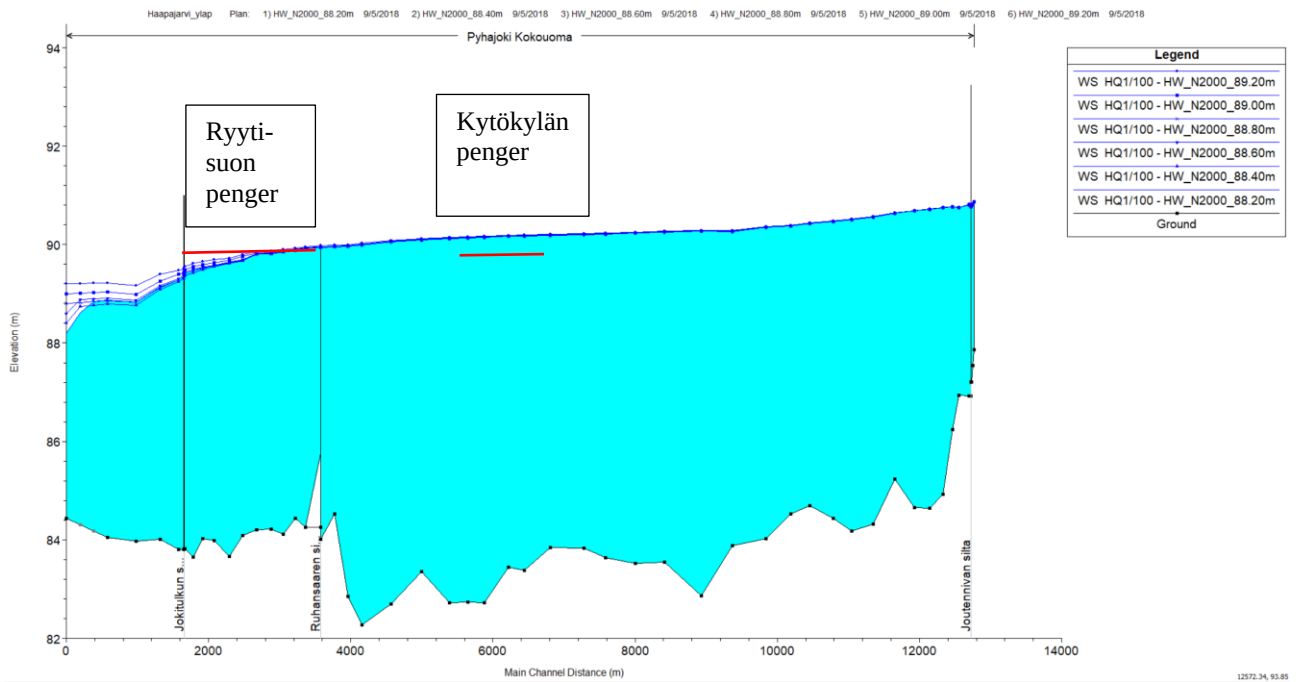
- pituusleikkauksena eri tulvatilanteissa vedenkorkeuden nousu, kun järven HW korkeutta muutetaan 0,20 m välein.

Seuraavissa kolmessa kuvassa on esitetty pituusleikkauksena HQ1/20, HQ1/100 sekä HQ1/1 000 tulvatilanteessa Haapajärven HW korkeuden noston vaikutus. Järven vedenkorkeuden vaikutus näkyy selvemmin pienemmän tulvantoistuvuuden mukaisissa tulvissa, jolloin vaikutus ulottuu jonkin matkaa Ruhansaaren sillan yläpuoliselle alueelle.

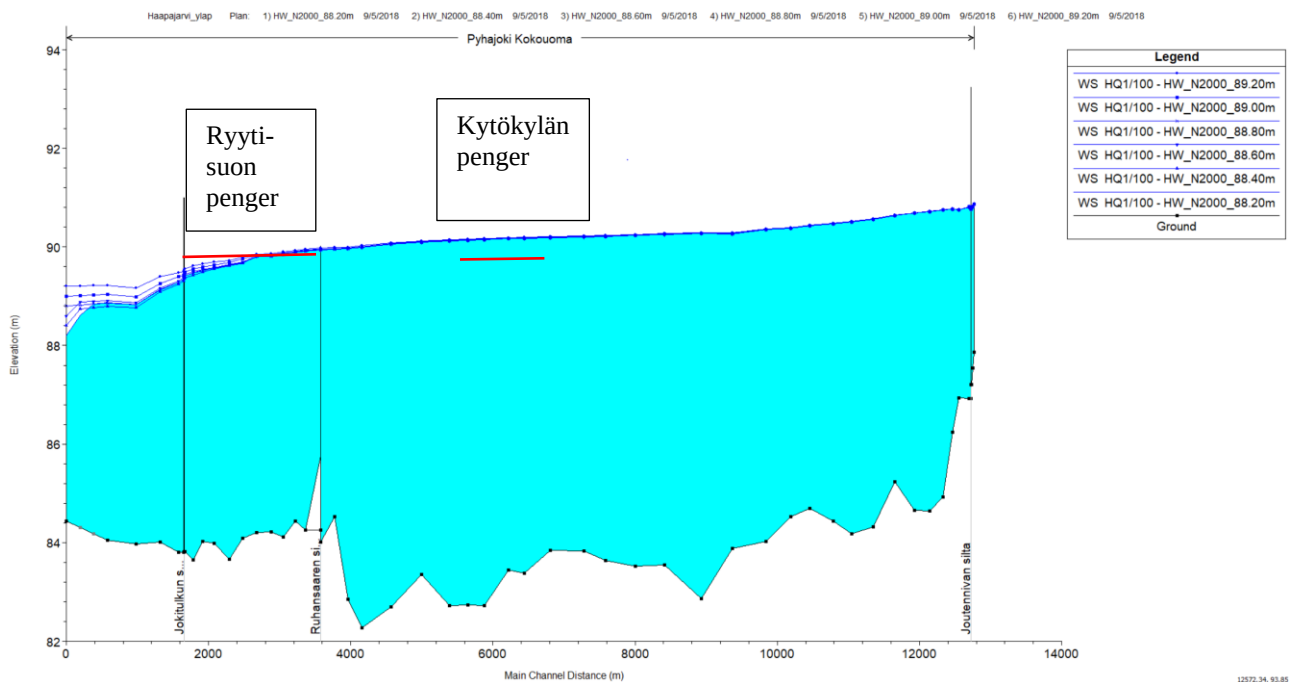
Tulvan harvinaistuessa välille HQ1/100 – HQ1/1000 vaikutus ulottuu hieman lyhyemmälle matkalle, ulottuen noin Ruhansaaren sillalle saakka.



Kuva 16. Pyhäjoen pituusleikkaus HQ1/20 mukaisella tulvalla, kun Haapajärven vedenkorkeus vaihtelee välillä HW N2000 +88,20 m...89,20 m.

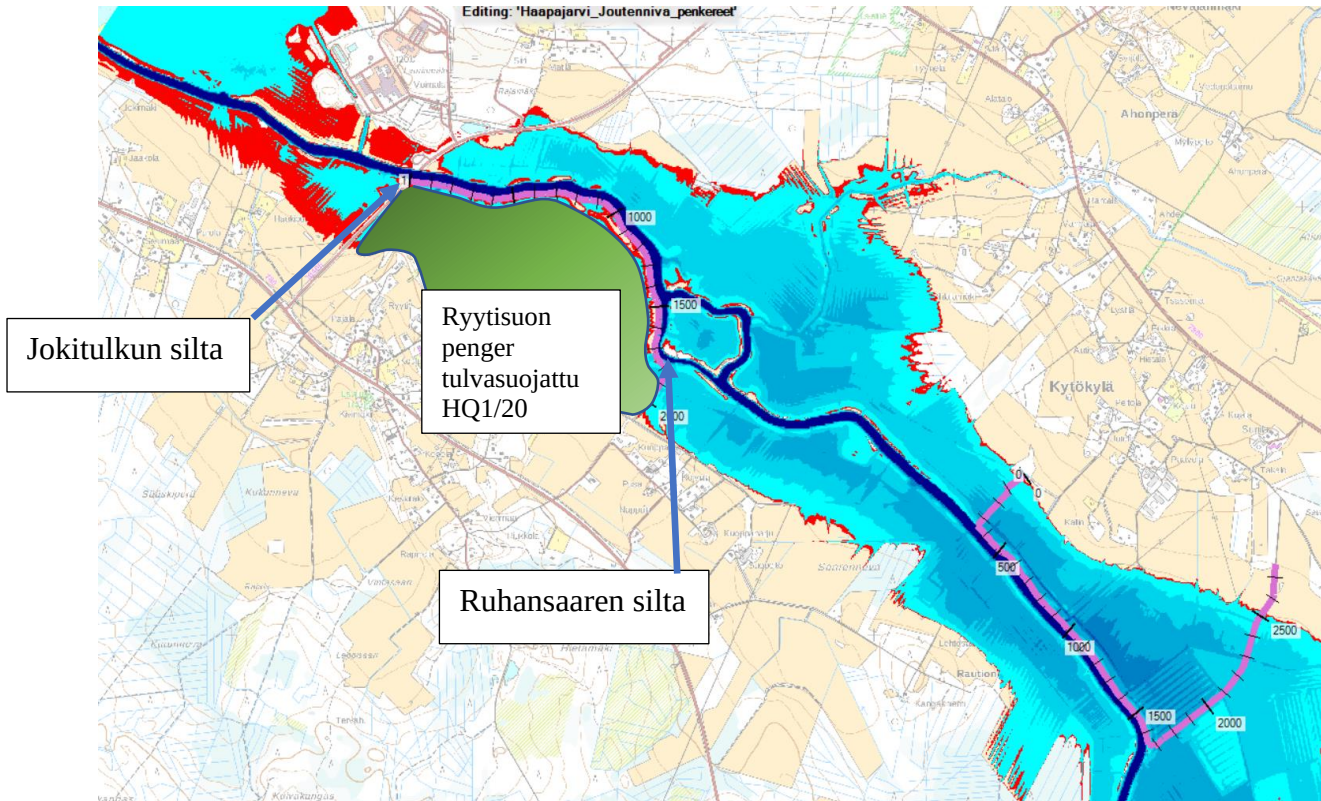


Kuva 17. Pyhäjoen pituusleikkaus HQ1/100 mukaisella tulvalla, kun Haapajärven vedenkorkeus vaihtelee välillä HW N2000 +88,20 m...89,20 m.

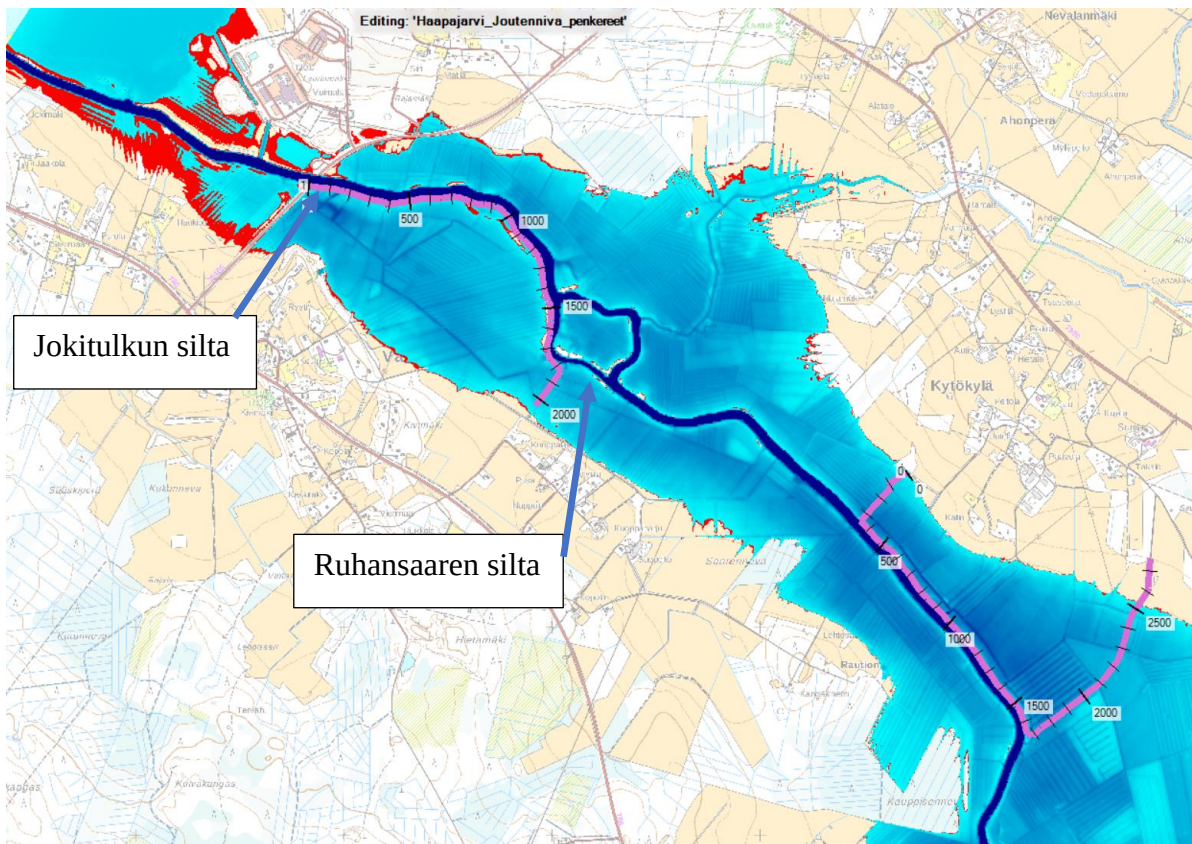


Kuva 18. Pyhäjoen pituusleikkaus HQ1/1 000 mukaisella tulvalla, kun Haapajärven vedenkorkeus vaihtelee välillä HW N2000 +88,20 m...89,20 m

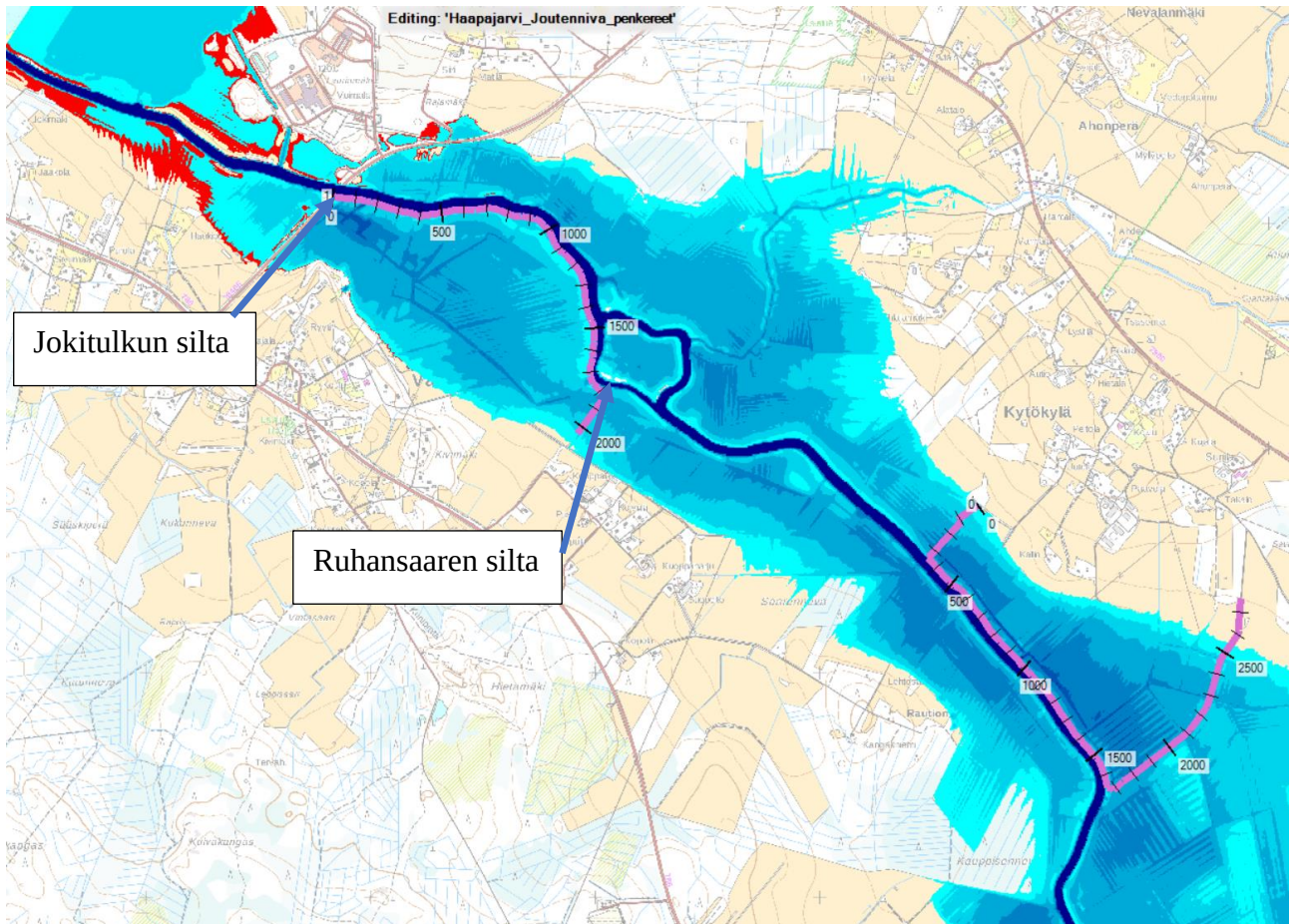
Tarkastelemalla eri tulvatilanteita kartalla on seuraavassa vertailtu HQ1/20 tilanteessa Haapajärven vedenkorkeuksia HW N2000 +88,20 m sekä +89,20 m.



Kuva 19. HQ1/20 veden peittävyys Haapajärven yläpuolella mukaisella tulvalla, kun Haapajärvessä vedenkorkeus HW N2000 +88,20 m (sininen väri) sekä +89,20 m (punainen väri).



Kuva 20. HQ1/100 veden peittävyys Haapajärven yläpuolella mukaisella tulvalla, kun Haapajärvessä vedenkorkeus HW N2000 +88,20 m (sininen väri) sekä +89,20 m (punainen väri).



Kuva 21. HQ1/1 000 veden peittävyys Haapajärven yläpuolella mukaisella tulvalla, kun Haapajärven vedenkorkeus HW N2000 +88,20 m (sininen väri) sekä +89,20 m (punainen väri).

Liitteeseen 4 on koostettu karttakuvia eri tulvantoistuvuuksista, joissa on Haapajärven HW 0,2 m lisäksi aina 1,0 korotukseen saakka. Liitteessä 5 on esitetty poikkileikkausten sijainti ja numerointi. Liitteessä 6 on numeerinen tuloste eri tulvatilanteista Haapajärven eri vedenkorkeuksilla.

6.2 Vedenkorkeudet pengerrysalueiden kannalta

6.2.1 Suunnittelukorkeus

Ryytisuon penger on suunniteltu korkeuteen N60+ 89,5 (N2000 +89,9), jonka on arvioitu vastaavan tulvanvedenkorkeuden toistuvuutta noin HW1/20. (Ramboll Finland Oy 2014)

Tässä työssä tarkasteltiin laskentamallin avulla, mikä olisi laskennallinen tulvan toistuvuus. Koska penkereelle on ilmoitettu mitoituksena vain yksi korkeus, verrattiin kyseistä korkeutta laskentamallin osalta penkereen ylävirranpuoleisimman laskentapoikkileikkauksen kohdalle. Vedenkorkeudet tässä työssä toteutetun mallin laskemana eri toistuvuuksia vastaavasti on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 6. Lasketut vedenkorkeudet Ryytisuon penkereen yläpään kohdalla.

Tulvan toistuvuus	Laskettu vedenkorkeus penkereen yläpäässä N60+ [m]	Laskettu vedenkorkeus penkereen yläpäässä N2000+ [m]
HW1/2	88.87	89.27
HW1/5	89.12	89.52
HW1/10	89.29	89.69
HW1/20	89.43	89.83
HW1/50	89.54	89.94
HW1/100	89.62	90.02
HW1/250	89.64	90.04
HW1/1 000	89.77	90.17

Kuten edellä olevasta taulukosta havaitaan, on Ryytisuon penkereen tulvavedenkorkeuden n. HW1/20 mukaista toistuvuutta kuten sen suunnittelukorkeus (N60+ 89,5) on arvioitu olevan.

Kytökylän penger on suunniteltu korkeuteen N60+ 89,2 (N2000 +89,6). Penkereen painumavaran on arvioitu lisäksi olevan 0,20 m. Penkereelle ei ole erikseen arvioitu tulvanvedenkorkeuden toistuvuutta. (Ramboll Finland Oy 2014)

Taulukko 7. Lasketut vedenkorkeudet Kytökylän penkereen yläpään kohdalla.

Tulvan toistuvuus	Laskettu vedenkorkeus penkereen yläpäässä N60+ [m]	Laskettu vedenkorkeus penkereen yläpäässä N2000+ [m]
HW1/2	89.32	89.72
HW1/5	89.51	89.91
HW1/10	89.59	89.99
HW1/20	89.69	90.09
HW1/50	89.76	90.16
HW1/100	89.82	90.22
HW1/250	89.86	90.26
HW1/1 000	89.95	90.35

Edellä olevasta taulukosta havaitaan, että Kytökylän penkereen kohdalla toistuvuus ei ole tarkasteltavien toistuvuuksien joukossa. Mikäli painumavara 0,20 m huomioidaan, ylttäisi penger sen osalta suojaus tulvan toistuvuustasoon HW1/2 saakka.

6.2.2 Vedenkorkeudet penkereiden yläpäässä järven HW nostolla

Tarkastelemalla penkereiden yläpäässä vedenkorkeuden nostoa ylärajasta HW N60 +87,80 m on seuraavassa tarkasteltu vedenkorkeuden muuttumista ylärajasta 0,20 m nousuin aina HW N60 +88,80 m saakka.

Seuraavassa taulukossa on esitetty mitoitusvirtaamalla HQ1/20 tilanne Ryytisuon penkereen osalta. Tarkasteluun on otettu penkereen ylävirran pään puoleisin poikkileikkaus, josta on tulostettu laskentavedenkorkeudet eri Haapajärven HW korkeuksien avulla.

Taulukko 8. Vedenkorkeusvaikutus HQ1/20 mitoitusvirtaamalla Ryytisuon penkereen ylävirran puoleisen laskentapoikkileikkauksen kohdalla.

Haapajärven vedenkorkeus N2000	Vedenkorkeus Ryytisuon ylä- virran puoleisessa päässä N60+ [m]	Vedenkorkeus Ryytisuon ylä- virran puoleisessa päässä N2000 [m]
HW_N2000_88.20m	89.28	89.68
HW_N2000_88.40m	89.29	89.69
HW_N2000_88.60m	89.30	89.70
HW_N2000_88.80m	89.33	89.73
HW_N2000_89.00m	89.40	89.80
HW_N2000_89.20m	89.45	89.85

Kuten edellä esitetystä taulukosta havaitaan, ei vedenkorkeus nouse millään tarkastelluilla vedenkorkeuksilla yli penkereen mitoitusarjankorkeuden N60+ 89,5 m (N2000+ 89,9 m). Kokonaisuudessaan +1,00 m HW korkeuden nosto Haapajärvestä vaikuttaa Ryytisuon penkereen ylävirran puoleisessa päässä +0,17 m.

Toisaalta voidaan pohdiskella, että Veijalaisen (2007) Haapajärvelle arvioima ja tässä työssä tulva-vaarakarttojen laadinnassa käytetty HW1/20 on N60+ 88,71 m (N2000+ 89,11 m). Kyseinen korkeus vastaa edellä olevassa taulukossa tilannetta, jossa Haapajärven vedenkorkeus olisi noin HW +0,90 m korkeammalla. Tässä tarkastelussa kuten ei myöskään aiemmassa tulvavaarakarttatarkastelussakaan vesi vielä noussut Ryytisuon penkereen harjan ylitse. Käytännön havainnoissa keväällä 2000 vesi nousi osittain Ryytisuon penkereen tausta-alueelle. Tulvan toistuvuus tällöin vastasikin yli HQ1/20 mukaista virtaaman toistuvuutta.

Kytökylän penkereen yläpään (suunnittelukorkeus N60+ 89,2 m) kohdalla vedenkorkeudet ylittävät kaikilla tarkastelluilla tilanteilla jo mitoitusvirtaamalla HQ1/2. Siten Kytökylälle ei tarkastelua tässä työssä lasketuilla virtaamilla ole toteutettu. Kytökylän tulvansuojaustoistuvuus asettuu alle HQ1/2 toistuvuuden.

6.3 Jäätarkastelu

6.3.1 Yleiskuvaus

Mallinnus toteutettiin myös jäätarkasteluna. Tällöin joen osalle tasainen 0,70 jääkansi ja toteutettiin vertailulaskelmat tilanteissa Haapajärven HW vedenkorkeus N60+ 87,80 m sekä N60+ 88,80 m (vastavat korkeudet laskentamallissa N2000+ 88,20 m sekä N2000+89,20 m).

6.3.2 Teoria

Tähän raporttiin on koostettu vain hyvin lyhyt katsaus HEC-RAS mallin käyttämästä taustateoriasta jäiden aiheuttamaan virtausvastukseen liittyen. Tarkempaa tietoa löytyy aineistojen manuaaleista. (US Army Corps of Engineers 2010).

Tarkasteltaessa jään vaikutusta käytettävään karkeuskertoimeen ja sitä kautta veden virtaukseen HEC-RAS laskennassa uoman karkeus lasketaan jääkannen ja uoman pohjan karkeuskertoimien avulla seuraavaa Belokon-Sabaneev (1) yhtälöä käyttäen

$$n_c = \left(\frac{n_b^{3/2} + n_i^{3/2}}{2} \right)^{2/3}$$

Where: n_b = the bed Manning's roughness value.

n_i = the ice Manning's roughness value. (1)

Hydraulisen säteen laskennassa vaikuttaa sekä jään peittämän alan leveys B_i että kastuneen uoman pohjan mukaisesti määritetty piirin pituus (märkäpiiri P_b). Laskenta toteutetaan yhtälöllä (2).

$$R_i = \frac{A_i}{P_b + B_i} \quad (2)$$

Seuraavaan taulukkoon on koostettu erilaisen jään vaikutusta sen aiheuttamaan karkeuteen. Alkutilasta kun jää on vasta muodostunut ja on hyvin sileää, on käytettävä karkeuskerroin merkittävästi pienempi kuin esim. loppukeväästä, jolloin jää on jo ikääntynyttä ja osin jo haurastunutta alaosaltaan. Tällöin pinta on karkeampaa ja sen myötä virtausvastus on suurempi.

Taulukko 9. Karkeuskertoimen n arvot erilaisille jäätyypeille.

The suggested range of Manning's n values for a single layer of ice

Type of Ice	Condition	Manning's n value
Sheet ice	Smooth	0.008 to 0.012
	Rippled ice	0.01 to 0.03
	Fragmented single layer	0.015 to 0.025
Frazil ice	New 1 to 3 ft thick	0.01 to 0.03
	3 to 5 ft thick	0.03 to 0.06
	Aged	0.01 to 0.02

HEC-RAS ohjelmistolla voidaan tarkastella myös jääpadon aiheuttamaa padotuksen suuruutta. Tällöin valittavavissa olevat kertoimet valitaan sen mukaan koostuuko jää minkälaisista jäälohkareista ja toisaalta miten paksu on muodostuva jääpato. Seuraavassa taulukossa on esitetty kyseisiä arvoja. On huomattava että taulukon arvot on esitetty jalkoina [ft]. Arvot voidaan muuttaa metreiksi arvolla: 1 ft = 0,3048 m.

Taulukko 10. Jääpadolle eri padon paksuuksilla käytettävä karkeuskertoimen n arvo.

The suggested range of Manning's n values for ice jams			
Thickness	Manning's n values		
ft	Loose frazil	Frozen frazil	Sheet ice
0.3	-	-	0.015
1.0	0.01	0.013	0.04
1.7	0.01	0.02	0.05
2.3	0.02	0.03	0.06
3.3	0.03	0.04	0.08
5.0	0.03	0.06	0.09
6.5	0.04	0.07	0.09
10.0	0.05	0.08	0.10
16.5	0.06	0.09	-

Tarkastelemalla edellä esitettyjä arvoja voidaan todeta seuraavia asioita jään ja jääpatojen vaikutuksesta:

- Jään karkeus lisääntyy alkusyksyn hyvin sileästä kohti kevään karkeampia arvoja. Siten keväällä samanvahvuinen jääkansi aiheuttaa suuremman virtausvastuksen kuin syksyinen vastaava. Tämän seurauksena vedenpinta nousee joessa keväällä hieman syksyistä vastaavaa tilannetta ylemmäksi samalla veden virtaamalla, vaikka jään vahvuus olisi molemmissa sama.
- Virtausvastusta aiheutuu merkittävästi enemmän joessa, kun siinä on jäätä mukana. Tällä on vedenkorkeutta nostava vaikutus. Toisaalta jään määrä kevättä kohden talven mittaan kasvaa. Samalla jää paksuuntuessaan pienentää veden virtaukselle vapaasti käytettävissä olevaa poikkileikkausalaa. Tällä on vedenpintaa nostava vaikutus, aivan kuten karkeuskertoimellakin on edellä esitetty.
- Jääpadon syntymistilanteessa sen paksuus vaikuttaa mallissa käytettävään karkeuskertoimeen. Mitä paksumpi jääpato on, sitä suurempia karkeuskertoimen arvoja sille myös käytetään. Eli jääpadon aiheuttaman vedenkorkeusvaikutuksen kannalta tässä mielessä tilanne pahenee padon toisaalta paksuuntumisen että paksummalle jääpadolle käytettävän karkeuskertoimen lisääntymisen myötä. Lisäksi laskennassa paksumpi jääpato vie veden virtaukselta vapaata käytettävissä olevaa poikkileikkausalaa heikentäen joessa virtaavan veden läpäisykapasiteettia.

6.3.3 Jääkannen vaikutus vedenkorkeuteen

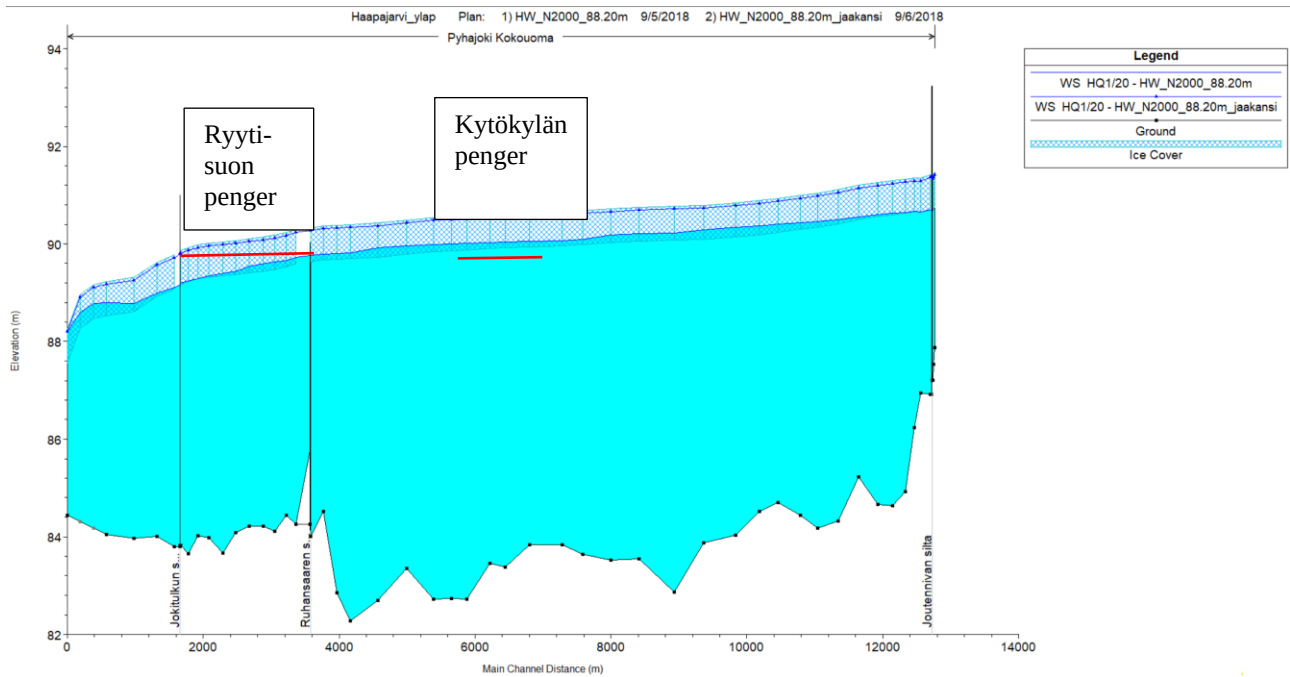
Jään vaikutusta vedenkorkeuksiin arvioitiin 0,70 m paksuisen jääkannen avulla. Laskennassa käytettiin tarkastelussa HQ1/20 virtaamaa. Vedenkorkeusvaikutukset tarkasteltiin Haapajärven HW sekä HW+ 1,0 m. Tällöin tarkasteluun valikoitui HWN2000 +88,20 m sekä +89,20 m.

On todennäköistä, etteivät jäät pysy paikallaan enää näin suurella virtaamalla. Tässä työssä kuitenkin toteutettiin laskelmat mainitun kaltaiselle tilanteelle.

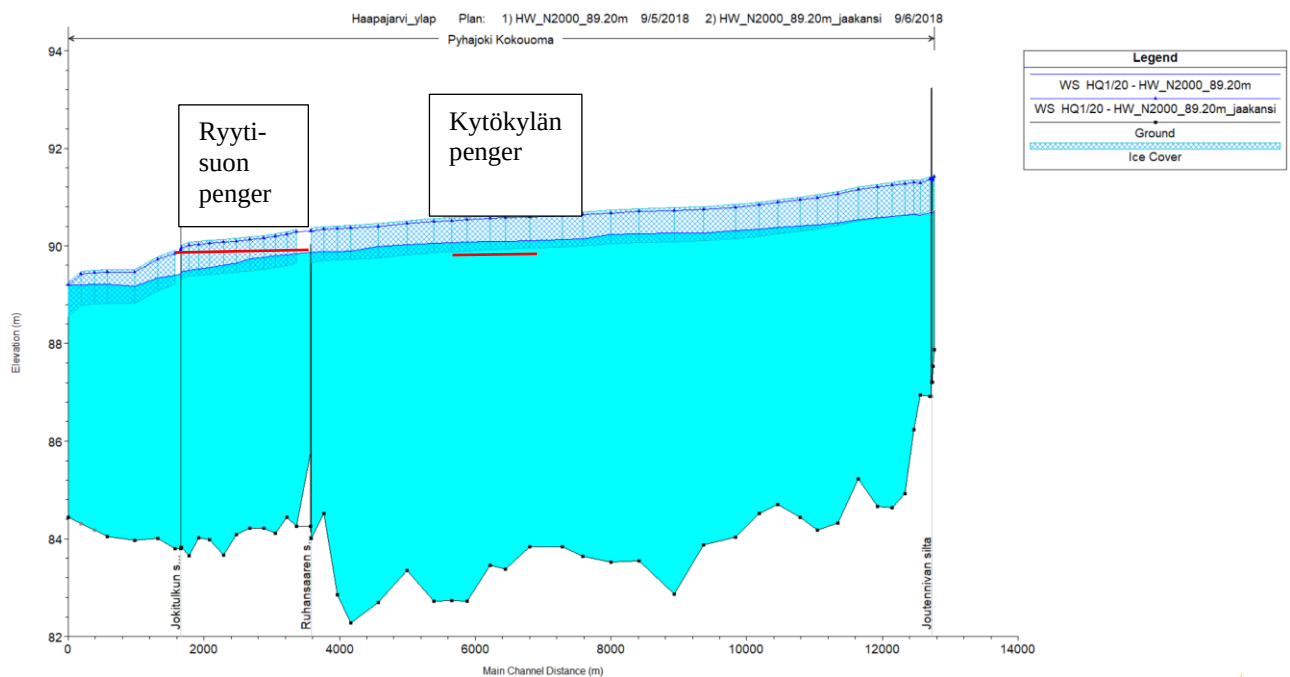
Tässä on oletettu, että jääkansi on virtaamatilanteessa jo ikääntynyt ja sen jääkannelle käytetty karkeuskerroin on 0,020. Seuraavassa taulukossa on esitetty käytetyt parametrit jääkannen laskennassa.

Taulukko 11. Jääkannen laskennassa käytetyt parametrit.

ver	Statio	LOB ice Thickness	Chan ice Thickness	ROB ice Thickness	LOB ice Mann n	Chan ice Mann n	ROB ice Mann n	Ice Specific Gravity	Ice Jam Chan (y/n)	Ice Jam OB (y/n)	Friction Angle	Porosity	Stress K1 ratio	Max Velocity	Ice Cohesion	Fixed Mann n (y/n)
1	7.96	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
2	7.95	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
3	7.94	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
4	7.93	Bridge														
5	7.92	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
6	7.83	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
7	7.77	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
8	7.69	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
9	7.57	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
10	7.44	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
11	7.26	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
12	7.07	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
13	6.89	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
14	6.73	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
15	6.53	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
16	6.36	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
17	6.14	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
18	5.85	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
19	5.58	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
20	5.25	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
21	5	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
22	4.74	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
23	4.55	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
24	4.25	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
25	4.02	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
26	3.88	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
27	3.67	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
28	3.53	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
29	3.37	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
30	3.12	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
31	2.86	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
32	2.61	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
33	2.49	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
34	2.37	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
35	2.25	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
36	2.24	Bridge														
37	2.12	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
38	2.03	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
39	1.92	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
40	1.81	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
41	1.69	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
42	1.57	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
43	1.45	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
44	1.32	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
45	1.22	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
46	1.13	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
47	1.06	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
48	1.05	Bridge														
49	1	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
50	0.84	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
51	0.63	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
52	0.38	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
53	0.26000*	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
54	0.14000*	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y
55	0.02	0.7	0.7	0.7	0.02	0.02	0.02	0.916	n	n	45	0	0.33	1.524	0	y

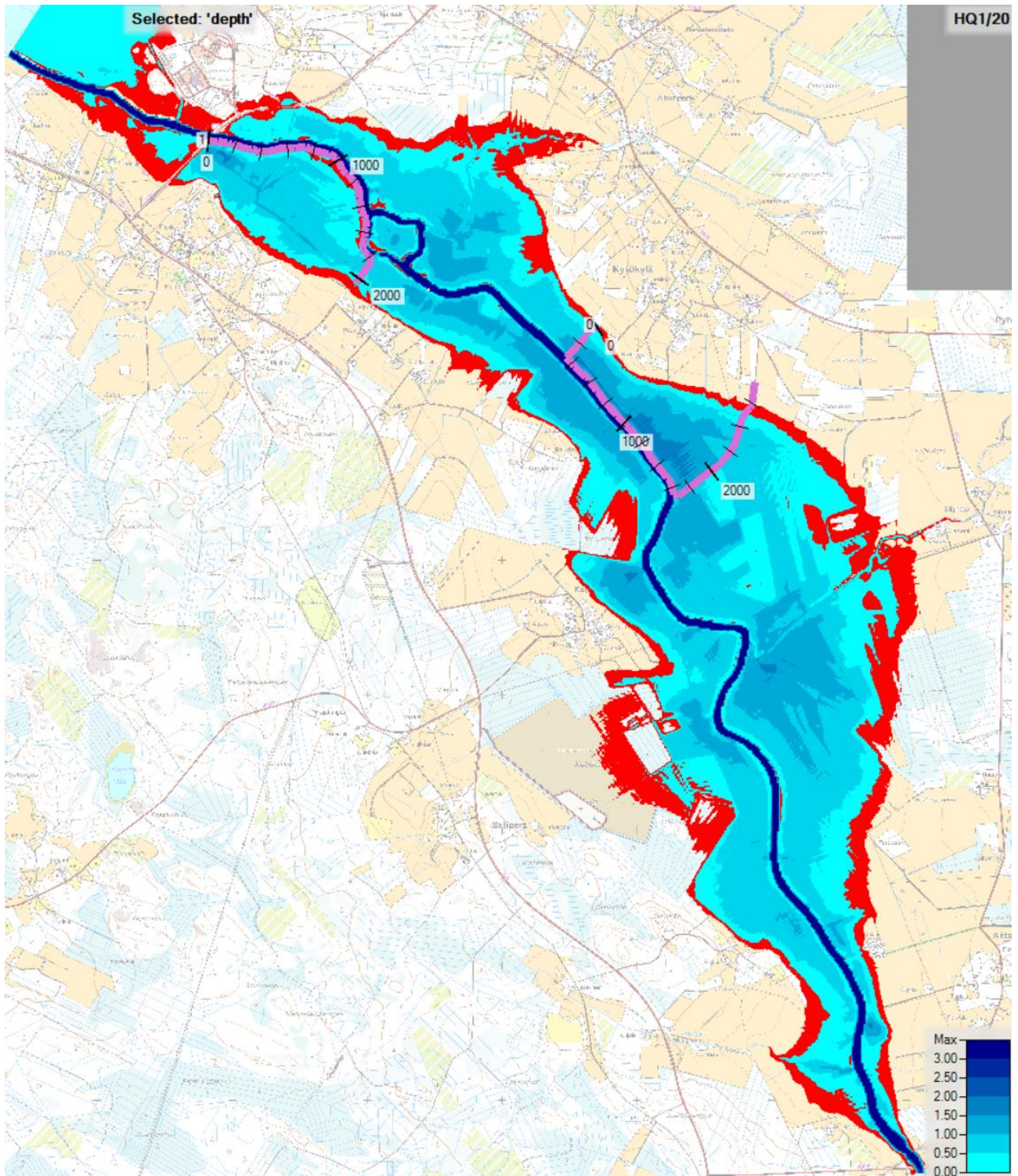


Kuva 22. Vedenkorkeudet virtaamatilanteessa HQ1/20 avovesi ja ikääntynyt jääkansi keväällä. Haapajärven lähtövedenkorkeus HW N2000+88,20 m.

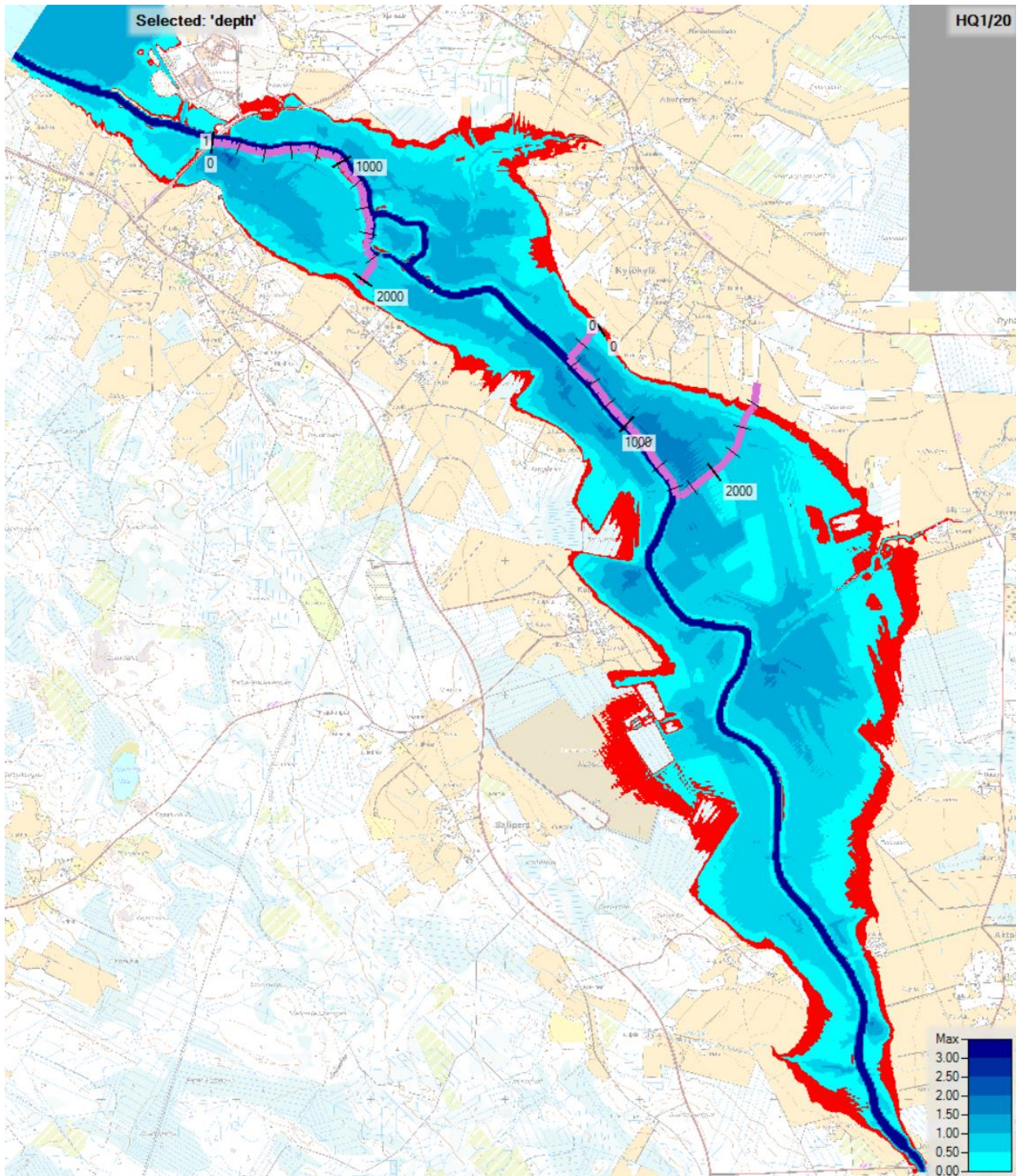


Kuva 23. Vedenkorkeudet virtaamatilanteessa HQ1/20 avovesi ja ikääntynyt jääkansi keväällä. Haapajärven lähtövedenkorkeus on metrillä korotettu eli HW N2000+89,20 m.

Jääkansi aiheuttaa vedelle virtausvastusta ja sen seurauksena vesipinta nousee avovesitilannetta korkeammalle. Seuraavissa kuvissa on esitetty avovesi/jääkansi tilanne HQ1/20 nykyisellä HW ja metrin korotetulla HW korkeudella.



Kuva 24. HQ1/20 tulvan peittävyys Haapajärven HW N2000 88,20 m lähtövedenkorkeudella avovesitilanteessa (sininen) ja jääkannen vaikutuksesta (punainen).



Kuva 25. HQ1/20 tulvan peittävyys Haapajärven HW N2000 89,20 m lähtövedenkorkeudella avovesitilanteessa (sininen) ja jääkannen vaikutuksesta (punainen).

6.3.4 Jääkannen vaikutus penkereiden tulvasuojaustoistuvuuteen

Edellä olevista jääkannen veden korkeuksiin vaikuttavista laskelmista voidaan päätellä, että jää vaikuttaa merkittävästi uoman vedenkorkeuksiin. Jos tilannetta tarkastellaan tarkemmin Ryytisuon penkereen ylävirran puoleisimman laskentapoikkileikkauksen kohdalla, niin huomataan että

vedenkorkeus HQ1/20 nousee avovesitilanteen korkeudesta N2000 +89,73 m jäätilanteessa korkeuteen N2000 +90,23 m. Laskennassa käytettiin jääkannen vahvuutena arvoa 0,70 m.

Jäillä on siten merkittävä vaikutus. Mikäli jäät pysyttelevät keväällä poikkeuksellisen pitkään paikoillaan, riittää jo selvästi pienempi tulvavirtaaman toistuvuus siihen, että esim. Ryytisuon penkereen avovesitilanteen mukainen suunnittelukorkeus voisi ylittyä.

6.3.5 Yhteenvedoa jäävaikutuksesta

Yhteenvetona jäätarkastelusta voidaan todeta, että jokiuomassa oleva jää voi nostaa avovesitilanteeseen verrattuna likimain lähes verran vesipintaa kuin jääkannen paksuus on. Mikäli jäät pysyttelevät keväällä myöhään paikoillaan tulvavirtaaman noususta huolimatta, saattaa jo pienempi virtaaman toistuvuus HQ1/20 aiheuttaa vedenkorkeuden nousun Ryytisuon penkereen harjan ylitse.

Jäiden viipyessä myöhään keväällä, voidaan aiemmin esitettyjä karttakuvia tarkastelemalla havaita, että Haapajärven HW vedenkorkeuden metrin korotus näkyy merkittävimmin lähinnä mallin alaosalla, eli Jokitulkun sillan alapuolella. Tästä ylöspäin vedenkorkeusmuutos pienenee kohti Ruhan saaren siltaa ja sen yläpuolisella alueella HW korotuksen vaikutusta ei enää merkittävästi ole havaittavissa. Sinänsä on tietenkin huomattava, että jäiden esiintyminen nostaa ylipäänsä vedenkorkeutta merkittävästi avovesitilanteeseen verrattuna.

Haapajärven HW vedenkorkeuden noston osalta jäätilanteessa vedenkorkeuden merkittävimmät vaikutukset ovat samankaltaisia, mikä oli havaittavissa myös avovesitarkastelun perusteella. Eli vaikutukset ulottuvat merkittävästi alimman Jokitulkun sillan alapuoliselle alueelle pieneten kohti Ruhan saaren siltaa. Sen yläpuolisella alueella ei merkittävää vedenkorkeuden nousua ole enää havaittavissa Haapajärven HW korkeuden korottamisesta tässä tarkastellulla metrin enimmäiskorotuksella.

Jääpadon synnystä mahdollisesti aiheutuvaa padotusta tässä työssä ei ole erikseen arvioitu.

Tyrnävällä 27.11.2018



Pekka Leiviskä, DI

Insinööritoimisto Pekka Leiviskä
Vauhtipyörä 4, 91800 Tyrnävä
www.leiviska.fi

KIRJALLISUUS

Latvala V.-P., Kettunen K., Utriainen O., Myllyniemi H., Sippel K. ja Vehviläinen B. 2017. Haapajärven säännöstelyn alustava tarkastelu. Pohjois-Pohjanmaan ELY, Suomen ympäristökeskus. 21.3.2017.

Ramboll Finland Oy, 2014. Pyhäjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma.
[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvariskien_hallintasuunnitelmat/Pyhajoen_vesistoalueen_tulvariskien_hall\(38182\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvariskien_hallintasuunnitelmat/Pyhajoen_vesistoalueen_tulvariskien_hall(38182))

US Army Corps of Engineers, 2010. HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual 4.1. Hydrologic Engineering Center.

Veijalainen N. 2007. Pyhäjoen Pyhäjärven ja Haapajärven kerran 100, 250 ja 1000 vuodessa toistuvien tulvien suuruuksien arviointi. Suomen ympäristökeskus, hydrologian yksikkö. 8.1.2007.

Verronen H. 2018. Uomageometriamittaukset Pyhäjoella välillä Pyhäjoen luusua Haapajärvessä – Joutenniva. Mittausraportti. FCG Finish Consultin Group. 26.3.2018.