

# KOKEMÄENJOEN HYDRAULINEN MALLINNUS

JÄÄPATOJEN AIHEUTTAMAT TULVATILANTEET  
TULEVAISUUDEN SKENAARIOISSA

Risto Kirves  
Harri Koivusalo  
Teemu Kokkonen

# Sisällysluettelo

<b>Sisällysluettelo</b>	<b>1</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>2</b>
<b>2 Menetelmät</b>	<b>3</b>
2.1 Yleistä . . . . .	3
2.2 InfoWorksin mallin parametrisointi . . . . .	4
<b>3 Laskentatulokset</b>	<b>9</b>
3.1 Nykytilan mukaiset vedenkorkeudet . . . . .	9
3.1.1 Pääuoma . . . . .	9
3.1.2 Luotsinmäenhaara . . . . .	11
3.1.3 Raumanjuopa . . . . .	12
3.2 Nykytilan mukaiset virtaamat ja virtausnopeudet . . . . .	16
3.3 Tulevaisuuden tilanteen mukaiset uomaverkoston vedenkorkeudet . . . . .	21
3.3.1 Pääuoma . . . . .	21
3.3.2 Luotsinmäenhaara . . . . .	24
3.3.3 Raumanjuopa . . . . .	26
3.4 Tulevaisuuden tilanteen mukaiset virtaamat ja virtausnopeudet . . . . .	28
<b>4 Johtopäätökset</b>	<b>33</b>
<b>Lähdeluettelo</b>	<b>34</b>

# 1 Johdanto

Tässä raportissa käsitellään Porin tulvasuojeluhankkeen osalta tehtyjä Kokemäenjoen alaosan hydraulisia laskelmia. Laskelmilla on pyritty selvittämään Kokemäenjoen alaosan tulvimista Porin kaupungin alueella sekä nykytilan että ennustetun tulevaisuuden tilanteen mukaisissa suuren virtaaman sekä jääpatojen aiheuttamissa tulvatilanteissa. Laskelmat ovat jatkoa aiemmin tehdyille Kokemäenjoen hydraulisille laskelmille, joissa on tutkittu Kokemäenjoen tulvimista nykytilassa suurella virtaamalla ja erityyppisissä jääpatotilanteissa (*Kirves*, 2011). Nykytilan mukaiseen uomaverkostoon mahdollisesti muodostuvien jääpatojen vaikutuksia tulvatilanteisiin ovat aiemmin tutkineet *Huokuna ja Aaltonen* (2009) sekä *Huokuna* (2007).

Kokemäenjoki on aiheuttanut tulvia erityisesti joen suuosassa Porin kaupungin alueella noin 10 – 20 vuoden välein. Tulvatilanteet ovat ajoittuneet joko talveen tai kevääseen ja tyypillisesti tulvan syntymiseen on vaikuttanut Porin kaupungin kohdalle kasautuneet jäät. Hankalin tulvatilanne Poriin syntyy joen jäätymisvaiheessa tai keväällä jäiden lähtiessä liikkeelle, kun Kokemäenjoen virtaama on suuri ja merivesi on korkealla. Pahan tulvatilanteen aiheuttama vahingonvaara on Porissa Suomen suurin. Kaupungissa asuu noin 80 000 ihmistä, joista noin 20 000 asunto on vaarassa hankalan tulvatilanteen sattuessa. Tilanne aiheuttaisi alueelle merkittävää taloudellista vahinkoa. (*Verta ja Triipponen*, 2011; *Koskinen*, 2006; *Vuola*, 2010)

Tässä työssä tulvatilanteiden aiheuttamien vedenkorkeuksien laskentaan on käytetty InfoWorks RS -ohjelmistoa ([www.innovyze.com/products/infoworks\\_rs/](http://www.innovyze.com/products/infoworks_rs/)). Ohjelmistolla voidaan mallintaa numeerisesti avouomavirtausta ja tulvavesialueita. Vedenkorkeuksien määrittämiseen jokiuomassa erilaisissa virtaustilanteissa on käytetty yksiulotteista laskentamallia.

## 2 Menetelmät

### 2.1 Yleistä

Laskennoissa käytettiin InfoWorks RS -virtausmallinnusohjelman versiota 12.5. Ohjelmistolla on mahdollisuus mallintaa sekä yksi- että kaksiulotteista virtausta. Jokiuoman virtaaman laskentaan käytettiin yksiulotteista laskentamallia ja veden leviämiseen tulva-alueille kaksiulotteista mallia.

Avouomassa tapahtuva virtaus voidaan kuvata Saint Venantin yhtälöillä, jotka perustuvat massan ja liikemäärän säilymiseen. Massan säilyminen edellyttää, että uoman osaan tuleva vesimäärä on yhtäsuuri kuin siitä poistuva ja siihen mahdollisesti varastoituva vesimäärä. Samoin liikemäärän säilyminen perustuu oletukseen, että uoman osaan tulevan ja siitä poistuvan liikemäärän muutosnopeuksien erotus on yhtäsuuri kuin uoman osassa liikkuvaan vesimäärään kohdistuvien voimien summa.

Saint Venantin yhtälöt voidaan esittää seuraavasti:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta \cdot Q^2}{A} \right) + g \cdot A \frac{\partial h}{\partial x} = -g \cdot A \cdot S \quad (2)$$

jossa

- $t$  on aika
- $x$  on etäisyys pituussuunnassa
- $h$  on vedenpinnan korkeus
- $q$  on uoman sivulta tuleva virtaama
- $\beta$  on liikemäärän korjauskerroin
- $S$  on pituussuuntaiset kitkahäviöt, ja
- $g$  on putoamiskiihtyvyys

Yhtälön (2) termi  $S$ , eli pituussuuntaiset kitkahäviöt, voidaan ratkaista esimerkiksi käyttäen Manningin yhtälöä, jolloin

$$S = \frac{n^2 \cdot Q^2}{R^{4/3} \cdot A^2} \quad (3)$$

jossa

- $n$  on Manning kerroin
- $Q$  on virtaama
- $R$  on hydraulinen säde, ja
- $A$  on uoman poikkileikkauksen pinta-ala

Saint Venantin yhtälöt voidaan käytännössä ratkaista vain numeerisesti. Yleisesti käytettyjä menetelmiä yhtälöiden ratkaisuun ovat differenssimenetelmä (*finite difference method*), FE-menetelmä (*finite element method*), ja FV-menetelmä (*finite*

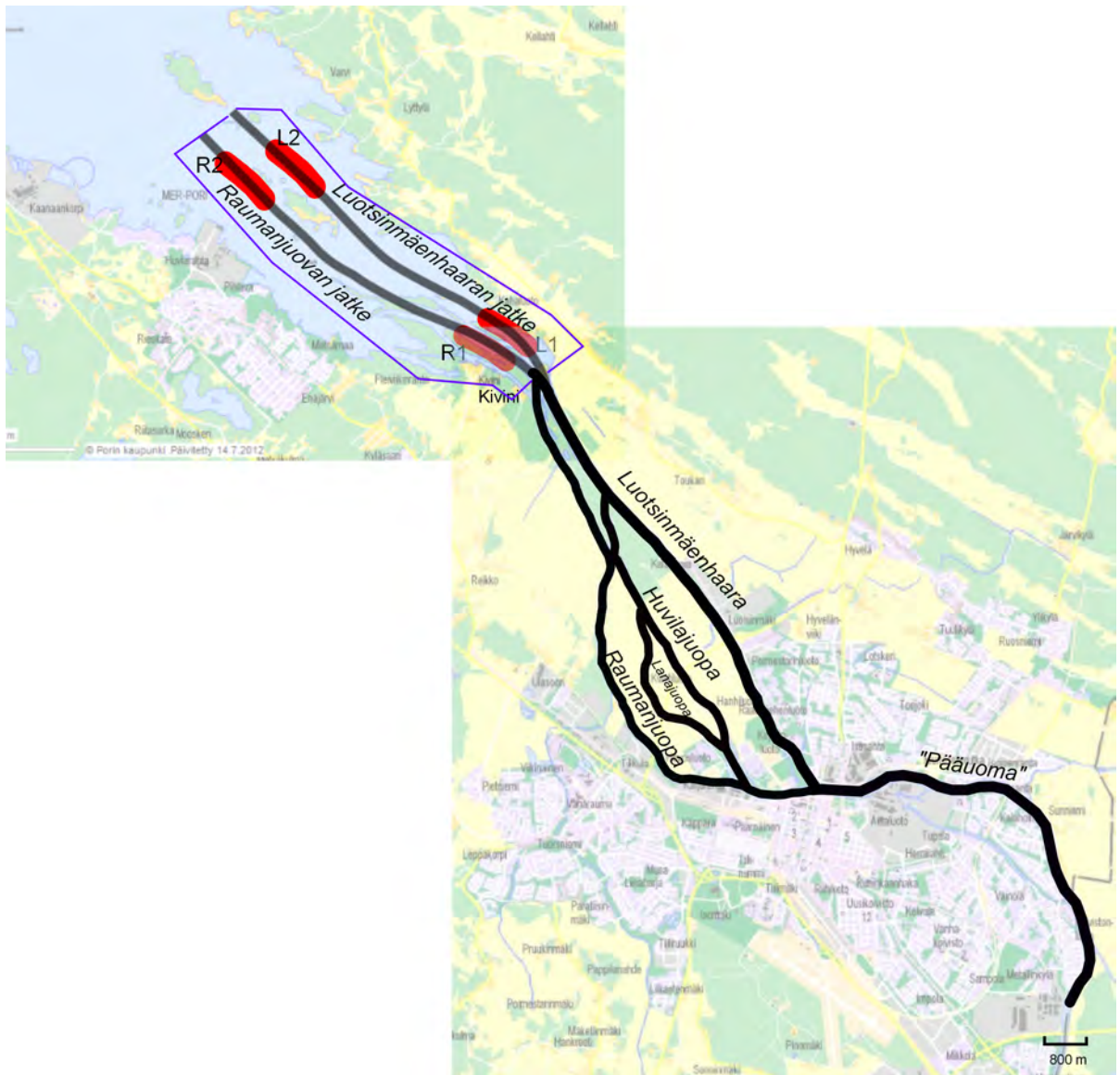
*volume method*) (Szymkiewicz, 2010). InfoWorks RS käyttää yksiulotteisen avoumavirtauksen laskennassa differenssimenetelmää ([www.innovyze.com/products/infoworks\\_rs/](http://www.innovyze.com/products/infoworks_rs/)). Differenssimenetelmän eri ratkaisutavoista ohjelmistossa on sovellettu Preissmannin menetelmää, jota ovat käsitelleet tarkemmin muun muassa *Abbot ja Basco* (1989). Menetelmällä on mahdollista muuttaa Saint Venantin yhtälöt lineaariseen muotoon ja ratkaista virtaama  $Q$  ja vedenpinnan korkeus  $h$  valituissa kohdissa uomajaksoa. Kaksiulotteisessa laskennassa InfoWorks RS käyttää FV-menetelmään perustuvaa MULFLOOD-sovellusta (*Alcrudo ja Mulet-Marti*, 2005).

## 2.2 InfoWorksin mallin parametrisointi

Tässä työssä on käsitelty sekä suuresta virtaamasta aiheutuvia tavanomaisia vesitulvatilanteita että jäästä aiheutuvia tulvatilanteita numeerisella virtausmallilla. Tulvatilanteita on mallinnettu nykyisen mukaisissa sekä ennustetuissa tulevaisuuden olosuhteissa. Mallinnuksessa käytetyn maastomallin ovat tehneet Porin yliopistokeskuksessa Jari Turunen, Pekka Ruusuvoori ja Tarmo Lipping. Maastomalli kuvaa ennustettua Kokemäenjoen alaosaa vuonna 2110. Nyky- ja tulevaisuudentilanteiden laskentaan on käytetty samaa maastomallia. Simulointitulanteiden erot ajanjaksojen kesken muodostuvat käytettyjen erilaisten alapuolisten reunaehtojen (merivedenkorkeuden), virtaamien sekä jääpatojen paikan suhteen.

Kuvassa 1 on esitetty laskelmissa käytetty uomaverkosto. Laskentaan käytetyt uomien ulkopuoliset tulva-alueet on rajattu sinisellä viivalla. Näiden lisäksi tulva-alueet sijaitsevat kaikilla uomien välisillä alueilla luotojen alueella sekä Luotsinmäenhaaran jatkeen ja Raumanjuovan jatkeen välissä. Kivinin kapeikko erottaa uomaverkoston kahteen osaan, josta Kivinin kapeikon yläpuolinen osa on nykytilan mukainen ja vastaavasti alapuolinen osa kuvastaa ennustetun tulevaisuuden mukaisia Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan uomien jatkeita. Koska laskennassa käytetty uomaverkosto kuvastaa vasta tulevaisuudessa mahdollisesti vallitsevaa tilannetta, mallia ei luonnollisesti voitu kalibroida. Tässä työssä käytetty nykytilanteen mukainen osa uomaverkostosta ja sen parametrisointi vastaa tätä edeltäneissä laskelmissa (*Kirves*, 2011) käytettyä laskentamallia, jonka todettiin toimivan samoin kalibrointi- ja validointitulanteissa.

Porin kaupungista noin 20 kilometrin päässä sijaitsevan Harjavallan voimalaitoksen kohdalla Kokemäenjoen keskiylivirtaama (MHQ) on nykyisin  $622 \text{ m}^3/\text{s}$  ja kerran sadassa vuodessa toistuva ylivirtaama (HQ 1/100) on  $1081 \text{ m}^3/\text{s}$ . Laskelmissa on käytetty kokonaisvirtaamia  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $Q=1100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Simuloinneissa yläpuolisena reunaehtona käytettiin virtaamaa, jonka arvo laskennan alkuhetkellä oli  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tämän jälkeen virtaaman annettiin nousta 36 tunnin aikana mallinnettavaan tulvavirtaamaan  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  tai  $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mallinnettavan virtaaman annettiin jatkua tämän jälkeen tasaisena edelleen 36 tuntia. Alapuolisena reunaehtona käytettiin vedenkorkeutta uomaverkoston alapuolisessa päätepiesteessä. Laskennan alkuhetkellä alapuolisen reunaehdon arvo oli  $N2000+0,0 \text{ m}$ , jonka annettiin nousta 24 tunnin kuluessa eri laskentaskenaarioissa halutulle alapuolisen reunaehdon lopputasolle.



**Kuva 1:** Virtausmallin uomarakenne, uomien nimet sekä jääpatojen paikat.

Kuvassa 2 on esitetty suurimpien uomien, eli pääuoman, Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan pohjan korkeuden pituusprofiilikuvat. Taulukosta 1 taas selviää laskennassa käytetyt uomien ja tulva-alueiden karkeuskertoimet sekä uomien keskimääräinen leveys.

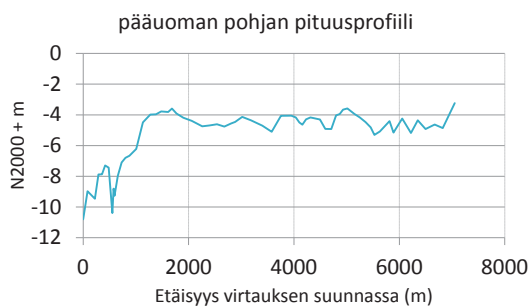
Tulvimisen kannalta ratkaisevia olosuhteita ovat joen virtaama, meriveden korkeus, sekä mahdollisesti kehittynyt jääpatotilanne. Jääpadoista aiheutuvista tulvatilanteista työssä on mallinnettu virtaustilanteita, joissa jääpato kehittyy Luotsinmäenhaaran tai Raumanjuovan jatkeen tiettyihin kohtiin Kivinin kapeikon jälkeen. Simuloinneilla on tutkittu eri jääpatotilanteiden vaikutuksia uomaverkoston vedenkorkeuksiin. Jääpato syntyessä liikkeelle lähteneet jäät kasaantuvat tiettyyn uoman kohtaan muodostaen veden virtaamista haittaavan tulpan, jolloin uoman vedenkul-

jetuskyky pienenee. Jääpato on usein kärjestään paksumpi ja jääkansi ohenee joen ylävirtaa kohti.

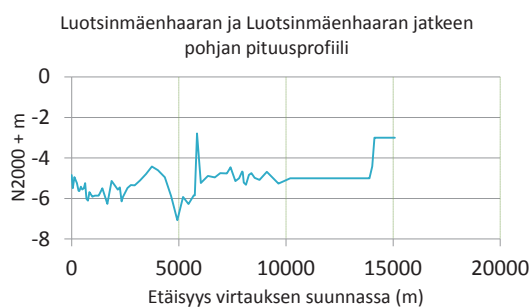
Työssä tehdyt laskelmat ja erot niissä käytetyissä olettamuksissa on esitetty taulukossa 2. Jääpatojen paikat on erotettu tunnuksilla L1, L2, R1, ja R2 (katso kuva 1). Koska maastomalli kuvaa Kokemäenjoen alaosan mahdollista tilaa tulevaisuudessa, nykytilanteen kannalta uomaverkosto ei vastaa todellisuutta. Näin ollen tässä esitetyt nykytilanteen laskelmat ovat lähinnä vertailukohtia toisilleen erilaisten tulvasuojelutoimenpiteiden arviointiin.

**Taulukko 1:** Uomien keskimääräiset leveydet sekä uomien ja tulva-alueiden karkeuskertoimet

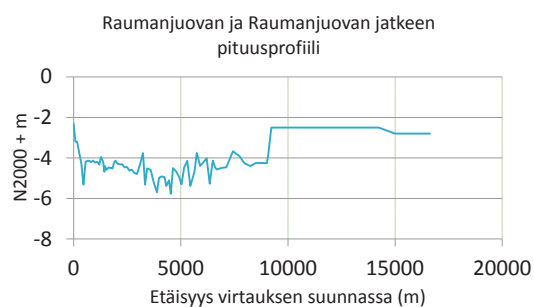
Uoman nimi	Keskimääräinen leveys [m]	Karkeuskerroin
Pääuoma	210	0,024
Luotsinmäenhaara	135	0,024
Raumanjuopa	135	0,024
Lanajuopa	70	0,030
Huvilajuopa	90	0,035
Luotsinmäenhaaran jatke	200	0,024
Raumanjuovan jatke	185	0,024
Tulva-alueet	-	0,040



(a)



(b)



(c)

**Kuva 2:** Pääuoman (a), Luotsinmäenhaaran (b) ja Raumanjuovan (c) pohjan korkeuden pituusprofiilikuvat.

**Taulukko 2:** Laskentaskenaariot sekä niiden reunaehdot ja jääpatojen paikat

Skenaario	Virtaama $Q$ [m <sup>3</sup> /s]	Alapuolinen reunaehto N2000[m]	Jääpadon paikka
Nykytila			
sula 1	700	+0,77	–
sula 2	700	+1,60	–
sula 3	1100	+0,77	–
sula 4	1100	+1,60	–
jää 1	700	+0,77	L1
jää 2	700	+1,60	L1
jää 3	700	+0,77	R1
jää 4	700	+1,60	R1
Tulevaisuuden tilanne			
sula 5	700	+0,74	–
sula 6	700	+1,1	–
sula 7	1100	+0,74	–
sula 8	1100	+1,1	–
jää 5	700	+0,74	L2
jää 6	700	+1,1	L2
jää 7	700	+0,74	R2
jää 8	700	+1,1	R2

Tulevaisuuden tilanteella tarkoitetaan tässä Porin tulvasuojeluhankkeessa ennustettuja tulvimisen kannalta merkittäviä olosuhteita vuonna 2110. Tulevaisuuden tilanteissa käytettyyn alapuoliseen reunaehtoon vaikuttavat maanpinnan kohoaminen Porin kohdalla sekä ennustettu meriveden korkeuden kasvaminen. Näiden perusteella Porin tulvasuojeluhankkeessa on laskettu meriveden keskiveden (MW) olevan N2000-korkeusjärjestelmässä vuonna 2110  $MW_{N2000} = -0,3$  ja vastaavasti meriveden  $HW_{N2000} = +1,1$ . Tulevaisuuden tilanteissa Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan jatkeeseen muodostuvat jääpadot on sijoitettu noin viiden kilometrin päähän Kivinin kapeikosta.

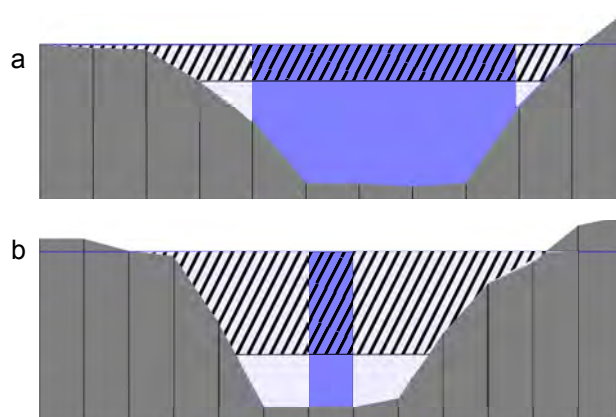
Jääpatojen muodostumiseen vaikuttavat useat tekijät, kuten uomassa olevan jään määrä sekä jokiuoman- ja merivedenkorkeus. Tässä työssä vedenkorkeuden vaikutusta ei ole huomioitu jääpatojen muodostumisessa. Jääpatoihin voi kertyä jäätä Harjavallan voimalaitokselta saakka, riippuen tässä mallinnetun jääpadon paikasta siis noin 35–41 km matkalta. Jos jäätyneen uoman keskileveydeksi oletetaan 100 metriä ja jääkannen paksuudeksi 0,2 metriä, voi jäätä kertyä jääpatoihin noin 700 000–820 000 m<sup>3</sup>. Jos jäiden sulamisen ja rannoille ajautumisen oletetaan aiheuttavan 50 % hävikin, voi jääpatoon kasaantua jäätä noin 350 000–410 000 m<sup>3</sup>. Jääpadon kehittyessä jäät kasaantuvat useimmiten erityisesti sen alavirran puoleisen kärjen kohdalle ja virtauksen käytettävissä oleva uoman tilavuus pienenee. Tällöin jääpadon kärjessä alavirralla virtausnopeus lisääntyy ja joen pohjan eroosion mahdollisuus on suurin. Suurin osa virtaamasta tapahtuu jääpadon ja joen pohjan vä-



lissä, mutta riippuen jääpadon jään ominaisuuksista osa vedestä suotautuu myös jäässä olevien reikien ja rakojen lävitse, erityisesti jääpadon alapuolisen kärjen kohdalla. (Beltaos ja Burrell, 2010) Jääpadon muoto ja muut ominaisuudet saattavat vaihdella suuresti. Tässä työssä lasketut veden virtausnopeudet erityisesti jääpatojen kohdalla eivät välttämättä vastaa todellista tilannetta.

Kuvassa 3 on esitetty käytetty periaate jääpatojen mallintamiseen. Kuvan viivoitettu alue kuvaa uomaan kehittyneen todellisen jääpadon jään määrää kahdessa eri uoman poikkileikkauksessa. Poikkileikkausten valkoinen ja sininen alue kuvaavat laskennallisesti mallinnettua jääpatoa. Valkoinen alue kuvaa uomaan kertyneen jään määrää ja vastaavasti sininen uoman vedenkuljetukseen osallistuvaa osaa. Kuvan ylempi osa havainnollistaa jääpadon muotoa ylävirralla ja alempi alavirralla tyypillisesti muodostuvaa jääpadon kärkeä. Laskelmissa jääpadot on mitoitettu noin kilometrin pituisiksi niin, että jääpadon kärki on kokonaispituudesta noin 10 %. Jään määrä jääpadon yläpuolisella osalla on noin 20 % veden ja jään käyttämästä uoman poikkipinta-alasta. Vastaavasti jääpadon alapuolisessa kärjessä jäätä on noin 80 % uoman poikkipinta-alasta. Tässä käytetyn jääpatomallin voi katsoa vastaavan tyypillisesti syntyvää tiukkaa jäätulppaa, joka patoaa yläpuolelleen kertyvää vettä voimakkaasti.

Jääpadot on mallinnettu muuttamalla uoman poikkileikkauksen karkeuskertoimia jääpadon kohdalla. Karkeuskerrointa suurentamalla uoman vedenkuljetuskyky pienenee ja mallilla voidaan näin jäljitellä jääpadon vaikutusta vedenkorkeuden muutokseen. Poikkileikkauksissa jään kohdalla (valkoinen alue) käytettiin Manningin karkeuskertoimen arvoa  $n = 50$ , jolloin kyseisen osan vedenkuljetuskyky on erittäin vähäinen. Vedenkuljetukseen osallistuvalla uoman osalla (sininen alue) taas käytettiin karkeuskertoimen arvoa  $n = 0,1$ , joka kuvastaa muun muassa jääkannen aiheuttamaa virtausvastusta. Jään määrä jääpadoissa on määritelty poikkileikkausten välisen jään määrän keskiarvona.



**Kuva 3:** Mallinnettu jääpato, valkoinen alue; veden virtausalue, sininen alue; todellinen jääpato, viivoitettu alue. Jääpato ylävirralla (a, ylempi kuva) ja jääpadon kärki alavirralla (b, alempi kuva).

## 3 Laskentatulokset

### 3.1 Nykytilan mukaiset vedenkorkeudet

Laskelmissa oli tarkoitus selvittää Kivinin kapeikkoon syntyvän jääpadon vaikutukset Luotsinmäenhaaran, Raumanjuovan ja pääuoman vedenkorkeuksiin. Laskelmilla on myös pyritty tutkimaan olisiko Raumanjuovan jatkeen ruoppauksella Luotsinmäenhaaran kokoiseksi vaikutusta uomien vedenkorkeuksiin. Tilannetta on selvitetty laskemalla vedenkorkeudet jääpadon kehittyessä Luotsinmäenhaaran jatkeeseen sekä laskemalla vedenkorkeudet, kun suurinpiirtein samankokoinen jääpato on siirretty poikkileikkaukseltaan pienempään Raumanjuovan jatkeeseen. Tällä on pyritty selvittämään vedenkorkeudet tilanteessa, jossa kumpaan tahansa uomista kehittyisi jääpato, mutta sulaksi jäävä uoma olisi joka tapauksessa Luotsinmäenhaaran kokoinen.

Kuvissa 4–12 on esitetty pääuoman, Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan vedenkorkeudet nykytilanteen mukaisilla vedenkorkeuksilla, kun uomaverkoston alapuolinen reunaehto on joko  $N2000+0,77$  m tai  $N2000+1,6$  m. Laskenta sulan veden tilanteessa on suoritettu virtaamalla  $Q=700$  m<sup>3</sup>/s ja  $Q=1100$  m<sup>3</sup>/s (kuva 4). Kuvista 4–12 havaitaan välittömästi, että virtaaman ollessa suurempi tai alapuolisen reunaehdon ollessa korkeampi vedenkorkeudet uomaverkoston koko matkalla kasvavat. Edelleen havaitaan, että jääpadon kehittyessä eri kohtaan uomaverkostoa vedenkorkeudet nousevat uomaverkostossa erityisesti jääpadon vaikutuskohdan yläpuolella.

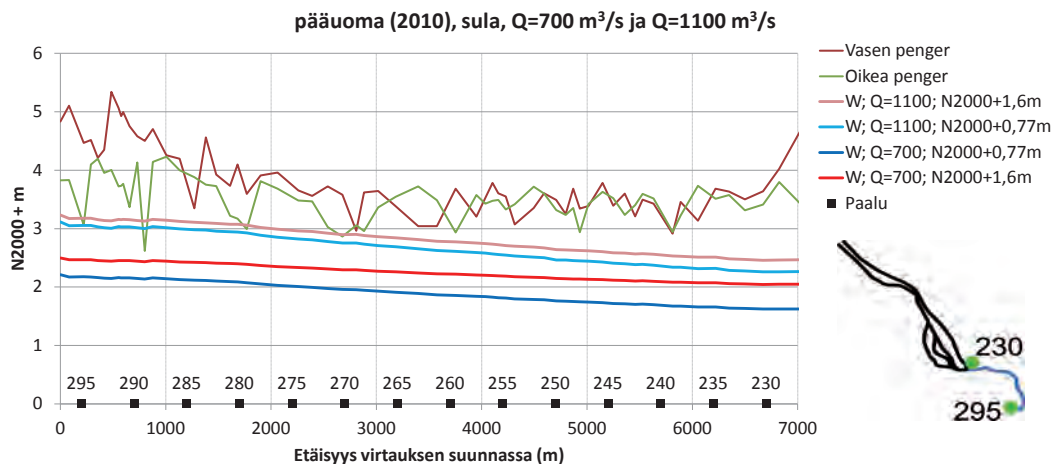
#### 3.1.1 Pääuoma

Kuvista 5 ja 6 käyvät ilmi pääuoman vedenkorkeudet, kun jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaran tai Raumanjuovan jatkeeseen heti Kivinin kapeikon jälkeen. Kuvista huomataan, että Luotsinmäenhaaran jatkeeseen kehittyneellä jääpadolla on hieman suurempi vaikutus pääuoman vedenkorkeuksiin verrattuna tilanteeseen, jossa jääpato on kehittynyt Raumanjuovan jatkeeseen. Alapuolisen reunaehdon ollessa korkeampi on jääpadon vaikutus uomien vedenkorkeuksiin pienempi, koska tällöin suurempi osa uomaan kertyvästä vedestä levittäytyy tulva-alueille.

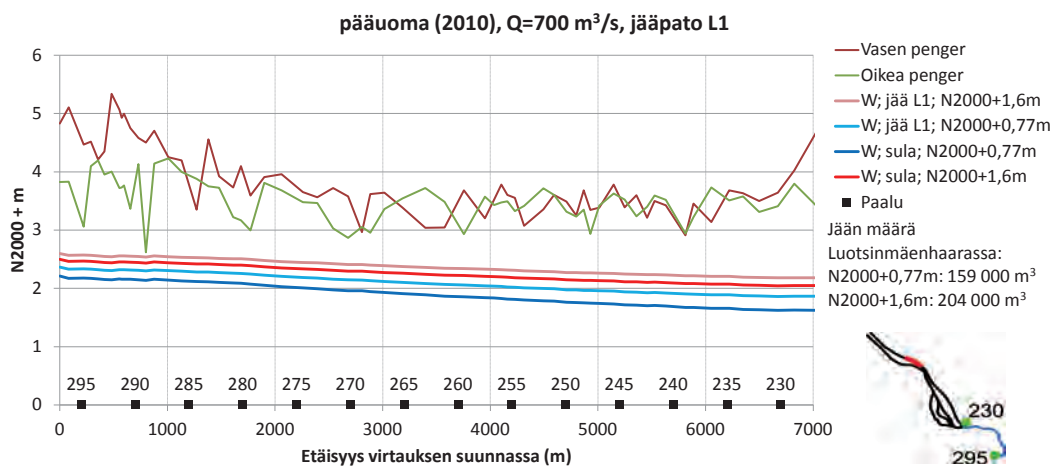
Tilanteessa, jossa alapuolinen reunaehto on  $N2000+0,77$  m ja kokonaisvirtaama  $Q=700$  m<sup>3</sup>/s, jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaraan nostaa pääuoman vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 295) noin 0,16 m ja vastaavasti alapuolisella kohdalla (paalu 230) noin 0,24 m (kuva 5). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, pääuoman vedenkorkeudet nousevat uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 295) noin 0,10 m ja alapuolisella kohdalla (paalu 230) noin 0,16 m (kuva 6).

Jos alapuolisena reunaehtona on  $N2000+1,60$  m, jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaraan nostaa pääuoman vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 295) noin 0,10 m ja vastaavasti alapuolisella kohdalla (paalu 230) noin 0,14 m (kuva 5). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa,

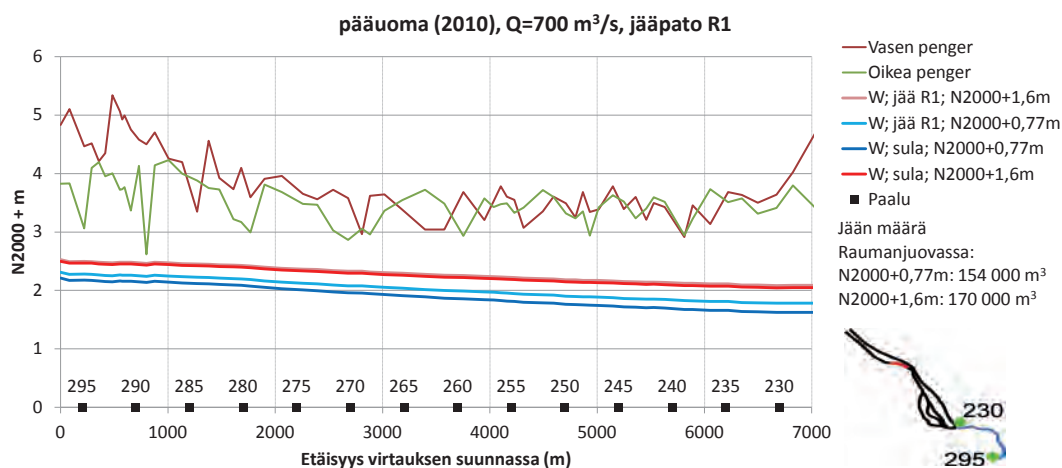
pääuoman vedenkorkeudet nousevat uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 295) noin 0,03 m ja alapuolisella kohdalla (paalu 230) noin 0,04 m (kuva 6).



**Kuva 4:** Pituusleikkaus pääuoman vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $Q=1100 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa  $N2000+0,77 \text{ m}$  tai  $N2000+1,60 \text{ m}$ . Pääuoma on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Sulan veden tilanne. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



**Kuva 5:** Pituusleikkaus pääuoman vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa  $N2000+0,77 \text{ m}$  tai  $N2000+1,60 \text{ m}$ . Pääuoma on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato(L1) on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



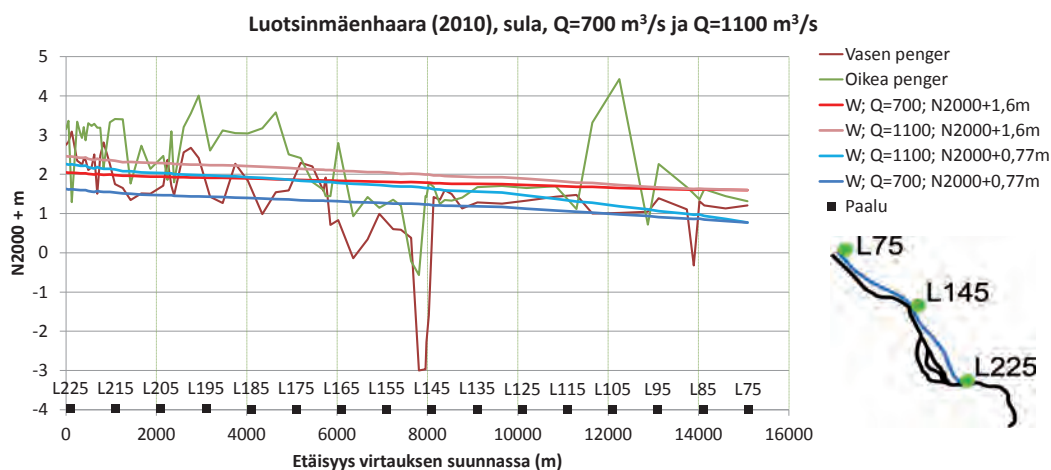
**Kuva 6:** Pituusleikkaus pääuoman vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,77 m tai N2000+1,60 m. Pääuoma on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato(R1) on kehittynyt Raumanjuopaan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.

### 3.1.2 Luotsinmäenhaara

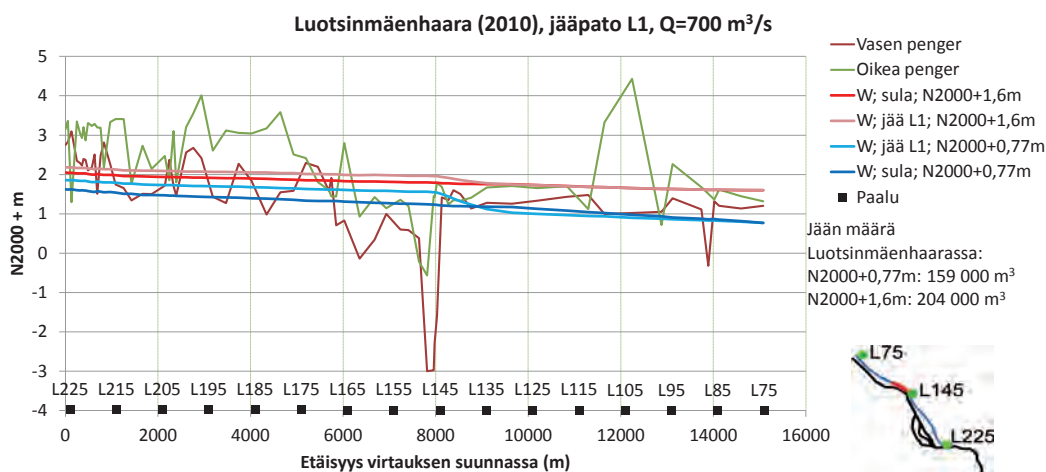
Kuvissa 7–9 on esitetty Luotsinmäenhaaran vedenkorkeudet, kun jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaran tai Raumanjuovan jatkeeseen heti Kivinin kapeikon jälkeen. Kuvasta 8 huomataan, että Luotsinmäenhaaran jatkeeseen kehittyneellä jääpadolla on hieman suurempi vaikutus Luotsinmäenhaaran vedenkorkeuksiin verrattuna tilanteeseen, jossa jääpato on kehittynyt Raumanjuovan jatkeeseen (kuva 9). Jos merivesi on korkealla, jolloin alapuolinen reunaehto on suurempi, on jääpadon vaikutus vedenkorkeuksiin pienempi, koska uomaan patoutuneesta vedestä suurempi osa levittäytyy tulva-alueille.

Tilanteessa, jossa alapuolinen reunaehto on N2000+0,77 m ja kokonaisvirtaama  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ , jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaraan heti Kivinin kapeikon jälkeen nostaa Luotsinmäenhaaran vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 225) noin 0,24 m (kuva 8). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, Luotsinmäenhaaran vedenkorkeus nousee uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 225) noin 0,16 m (kuva 9).

Jos alapuolisena reunaehtona on N2000+1,60 m, jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaraan heti Kivinin kapeikon jälkeen nostaa Luotsinmäenhaaran vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 225) noin 0,14 m (kuva 8). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, Luotsinmäenhaaran vedenkorkeus nousee uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 225) noin 0,04 m (kuva 9).



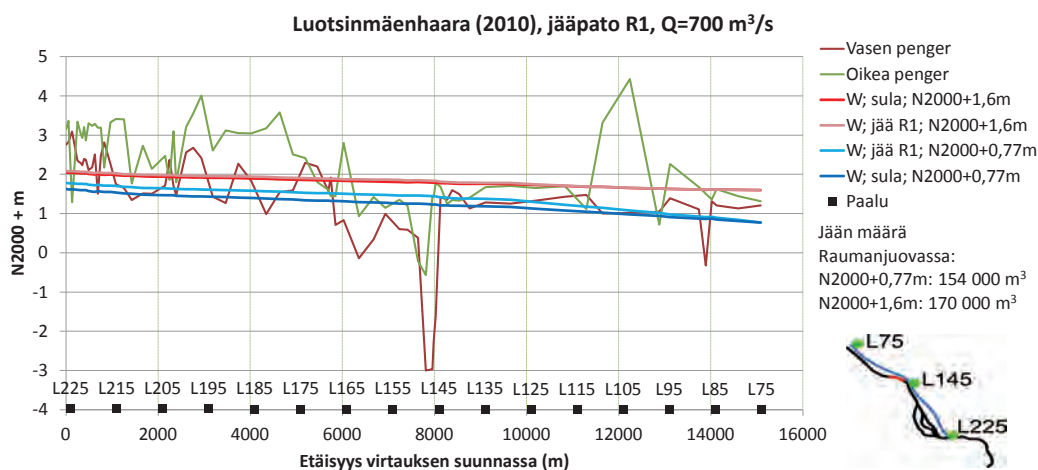
**Kuva 7:** Pituusleikkaus Luotsinmäenhaaran vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $Q=1100 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa  $N2000+0,77 \text{ m}$  tai  $N2000+1,60 \text{ m}$ . Luotsinmäenhaara on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Sulan veden tilanne. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



**Kuva 8:** Pituusleikkaus Luotsinmäenhaaran vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa  $N2000+0,77 \text{ m}$  tai  $N2000+1,60 \text{ m}$ . Luotsinmäenhaara on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato(L1) on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.

### 3.1.3 Raumanjuopa

Kuvissa 10–12 on esitetty Raumanjuovan vedenkorkeudet sulan veden tilanteessa sekä tilanteessa, jossa jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaran tai Raumanjuovan jatkeeseen heti Kivinin kapeikon jälkeen. Kuvista huomataan, että Luotsinmäenhaaran jatkeeseen kehittyneen jääpadon vaikutuksesta Raumanjuovan vedenkorkeus

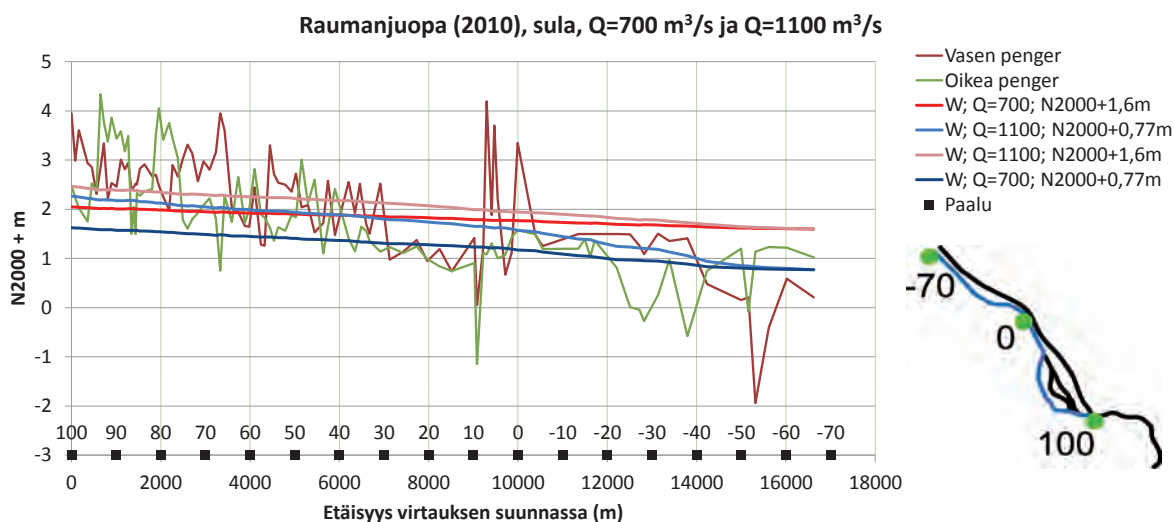


**Kuva 9:** Pituusleikkaus Luotsinmäenhaaran vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,77 m tai N2000+1,60 m. Luotsinmäenhaara on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato(R1) on kehittynyt Raumanjuopaan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.

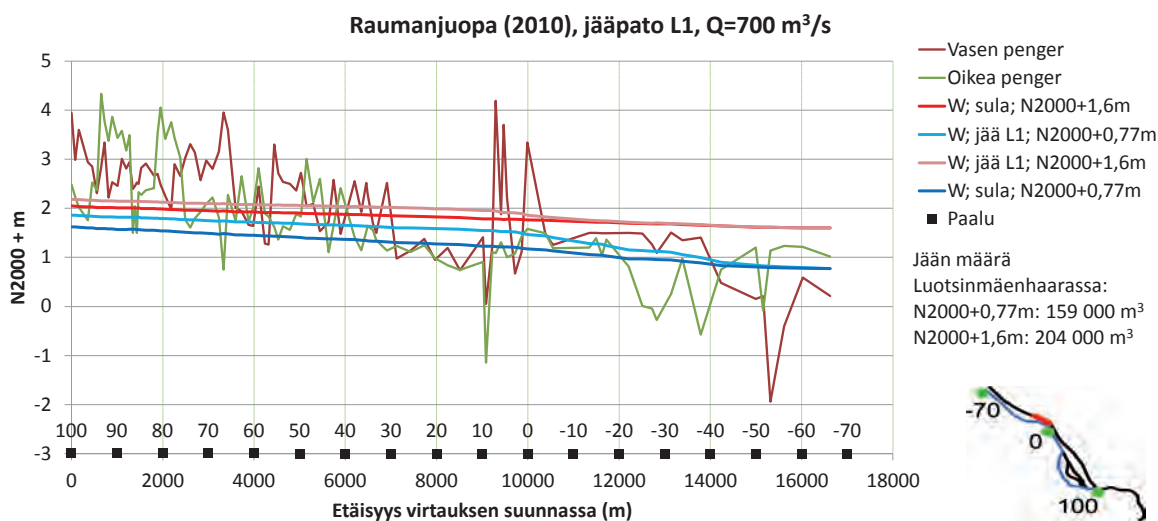
nousee hieman enemmän verrattuna tilanteeseen, jossa jääpato olisi kehittynyt Raumanjuovan jatkeeseen. Alapuolisen reunaehdon ollessa korkeampi on jääpadon vaikutus vedenkorkeuksiin pienempi verrattuna matalamman reunaehdon tilanteeseen. Kun alapuolinen reunaehto on korkeampi ja uomaan kehittyy jääpato, suurempi osa vedestä levittäytyy tulva-alueille uomien ulkopuolelle.

Tilanteessa, jossa alapuolinen reunaehto on N2000+0,77 m ja kokonaisvirtaama  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ , jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaraan heti Kivinin kapeikon jälkeen nostaa Raumanjuovan vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 100) noin 0,24 m (kuva 11). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, Raumanjuovan vedenkorkeus nousee uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 100) noin 0,16 m (kuva 12).

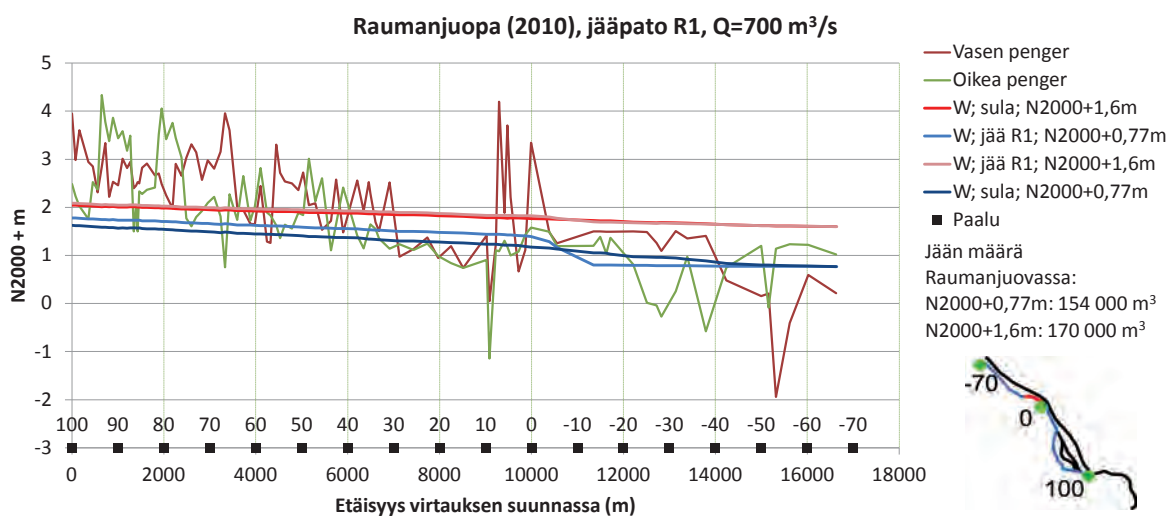
Jos alapuolisena reunaehtona on N2000+1,60 m, jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaraan heti Kivinin kapeikon jälkeen nostaa Raumanjuovan vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 100) noin 0,14 m (kuva 11). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, Raumanjuovan vedenkorkeus nousee uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 100) noin 0,04 m (kuva 12).



**Kuva 10:** Pituusleikkaus Raumanjuovan vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $Q=1100 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,77 m tai N2000+1,60 m. Raumanjuopa on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Sulan veden tilanne. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



**Kuva 11:** Pituusleikkaus Raumanjuovan vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,77 m tai N2000+1,60 m. Raumanjuopa on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato(L1) on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



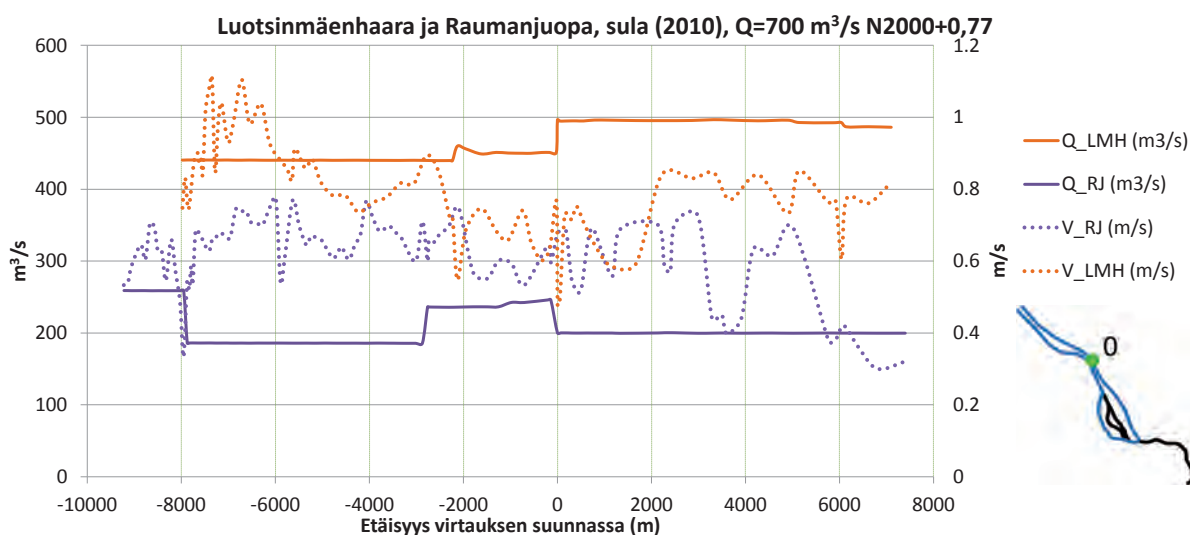
**Kuva 12:** Pituusleikkaus Raumanjuovan vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa  $N2000+0,77 \text{ m}$  tai  $N2000+1,60 \text{ m}$ . Raumanjuopa on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato(R1) on kehittynyt Raumanjuopaan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



### 3.2 Nykytilan mukaiset virtaamat ja virtausnopeudet

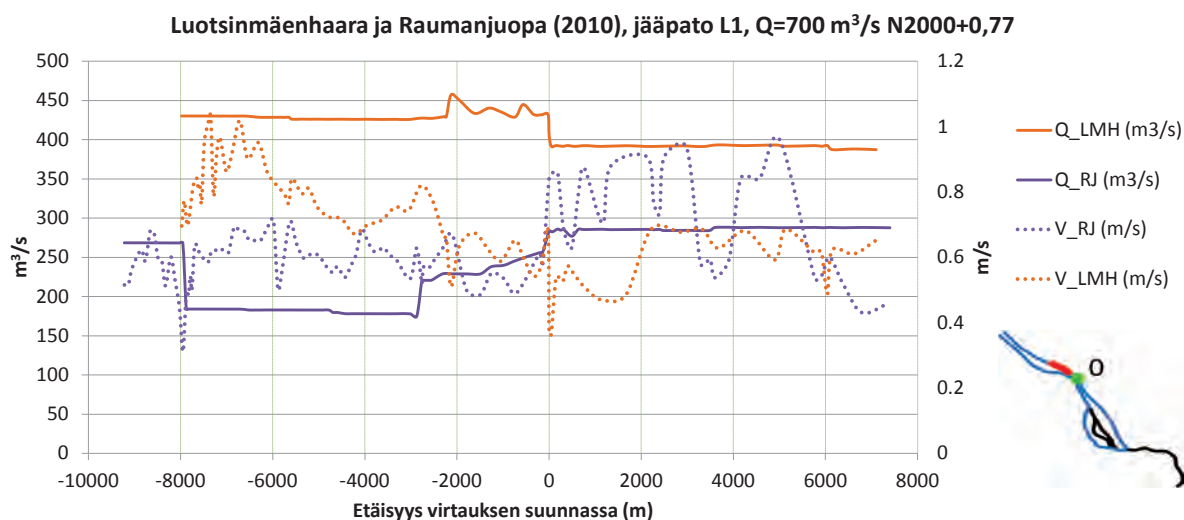
Kuvissa 13, 14, ja 15 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaamien ja virtausnopeuksien vaihtelu kokonaisvirtaaman ollessa  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja alapuolisen reunaehdon ollessa N2000 +0,77 m.

Kuvasta 13 käy ilmi Raumanjuovan ja Luotsinmäenhaaran laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet uomaverkoston kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 7 ja 10). Ennen Kivinin kapeikkoa Luotsinmäenhaaran virtaama on noin  $440 \text{ m}^3/\text{s}$  Raumanjuovan virtaaman vaihdellessa noin  $190 \text{ m}^3/\text{s} - 260 \text{ m}^3/\text{s}$ . Osa Raumanjuovan virtaamasta siirtyy Raumanjuovan yläosalla Huvila- ja Lanajuopaan. Huvila- ja Lanajuopa laskevat myöhemmin takaisin Raumanjuopaan ja Luotsinmäenhaaraan. Kivinin kapeikon jälkeen Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama on noin  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  ja Raumanjuovan jatkeen virtaama vastaavasti  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tässä virtaamatilanteessa Kivinin kapeikon jälkeen Luotsinmäenhaaran jatke kuljettaa siis noin 70 % kokonaisvirtaamasta.



**Kuva 13:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +0,77 m. Sulan veden tilanne.

Kuvassa 14 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet tilanteessa, jossa jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaran jatkeeseen heti Kivinin kapeikon jälkeen (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 8 ja 11). Ennen Kivinin kapeikkoa Luotsinmäenhaaran virtaama on suurimmalla osalla uomaa noin  $430 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vastaavasti Raumanjuovan virtaama on välillä  $170 - 270 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kivinin kapeikkoon kehittyneen jääpadon vaikutuksesta virtaama Luotsinmäenhaaran jatkeessa laskee arvoon noin  $395 \text{ m}^3/\text{s}$  ja Raumanjuovan jatkeen virtaama lisääntyy verrattuna vastaavaan sulan veden tilanteeseen. Raumanjuovan jatkeen virtaama kyseisessä jääpatotilanteessa on noin  $295 \text{ m}^3/\text{s}$ . Noin  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  virtaama kulkee tulvatasanteiden kautta. Luotsinmäenhaaran jatke kuljettaa tässä virtaamatilanteessa siis noin 56 % kokonaisvirtaamasta.

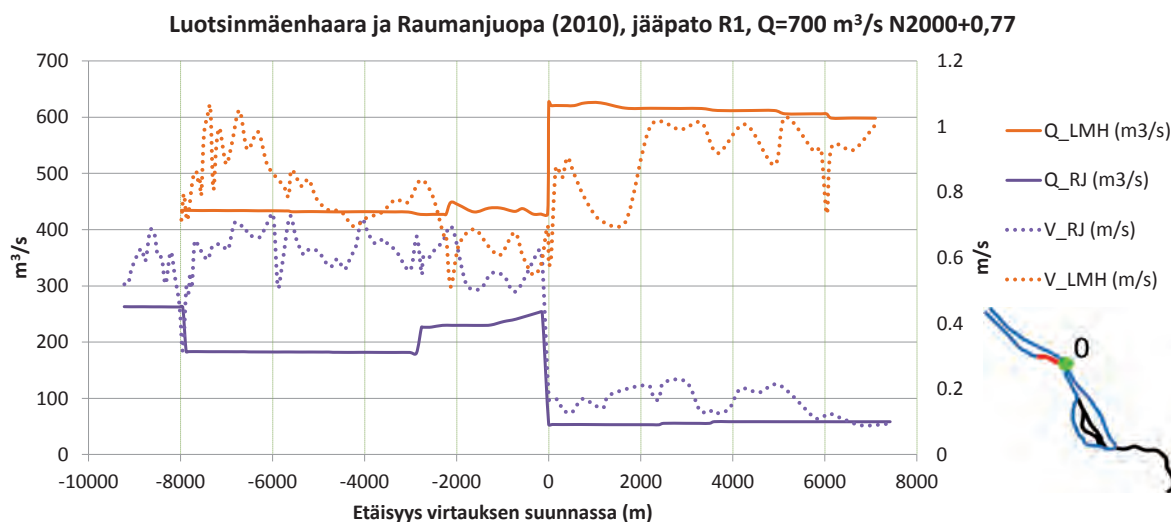


**Kuva 14:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +0,77 m. Jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan.

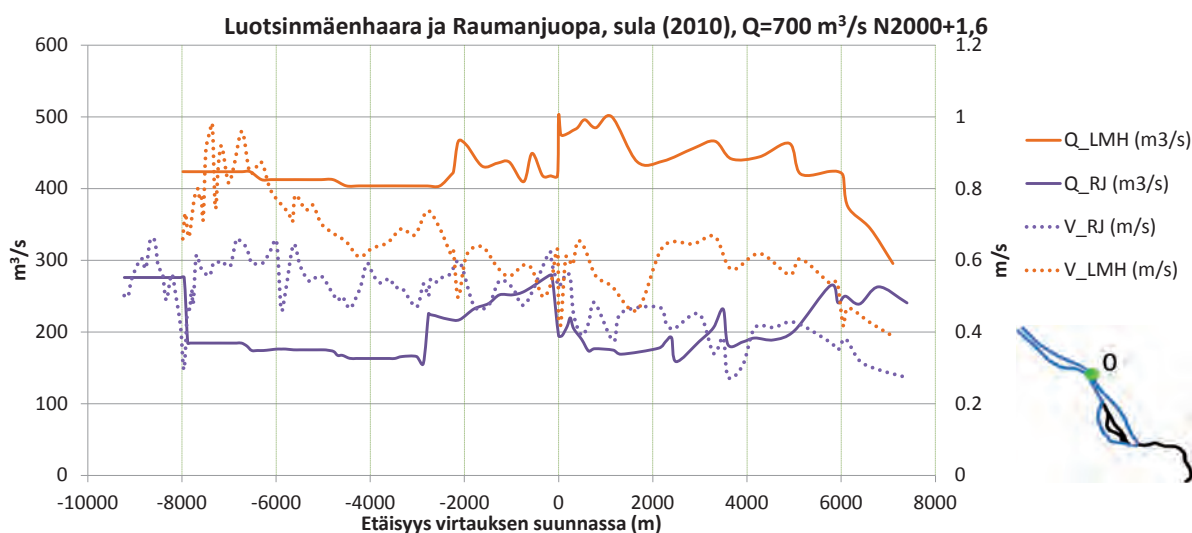
Kuvasta 15 käyvät ilmi Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet tilanteessa, jossa jääpato on kehittynyt Raumanjuovan jatkeeseen heti Kivinin kapeikon jälkeen (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 9 ja 12). Laskennassa käytetty alapuolinen reunaehto on N2000 +0,77 m. Ennen Kivinin kapeikkoa Luotsinmäenhaaran virtaama on noin  $430 \text{ m}^3/\text{s}$  Raumanjuovan virtaaman vaihdelta vastaavasti välillä  $180 - 260 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kivinin kapeikon jälkeen Raumanjuovan jatkeeseen kehittynyt jääpato pienentää Raumanjuovan jatkeen virtaamaa. Kyseisessä virtaamatilanteessa Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama on noin  $610 \text{ m}^3/\text{s}$  ja Raumanjuovan jatkeen virtaama on noin  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ . Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama on tässä virtaamatilanteessa siis noin 87 %  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  suuruisesta kokonaisvirtaamasta.

Kuvassa 16 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet sulan veden tilanteessa, jossa alapuolinen reunaehto on N2000 +1,6 m (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 7 ja 10). Ennen Kivinin kapeikkoa suurimmalla osalla Luotsinmäenhaaraa virtaama on keskimäärin  $410 \text{ m}^3/\text{s}$ , kun taas Raumanjuovan virtaama vastaavasti on  $160 - 270 \text{ m}^3/\text{s}$ . Noin 2000 m ennen Kivinin kapeikkoa osa Luotsinmäenhaaran vedestä siirtyy uomien välisen alavan alueen yli Raumanjuopaan. Kivinin kapeikon jälkeen Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama on suurimmalla osalla uoma keskimäärin  $460 \text{ m}^3/\text{s}$  ja Raumanjuovan jatkeen virtaama vastaavasti noin  $190 \text{ m}^3/\text{s}$ . Osa vedestä siirtyy Kivinin kapeikon jälkeen uomien välistä aluetta myöten. Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama on tässä virtaustilanteessa noin 67 % kokonaisvirtaamasta.

Kuvassa 17 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet tilanteessa, jossa alapuolinen reunaehto on N2000 +1,60 m



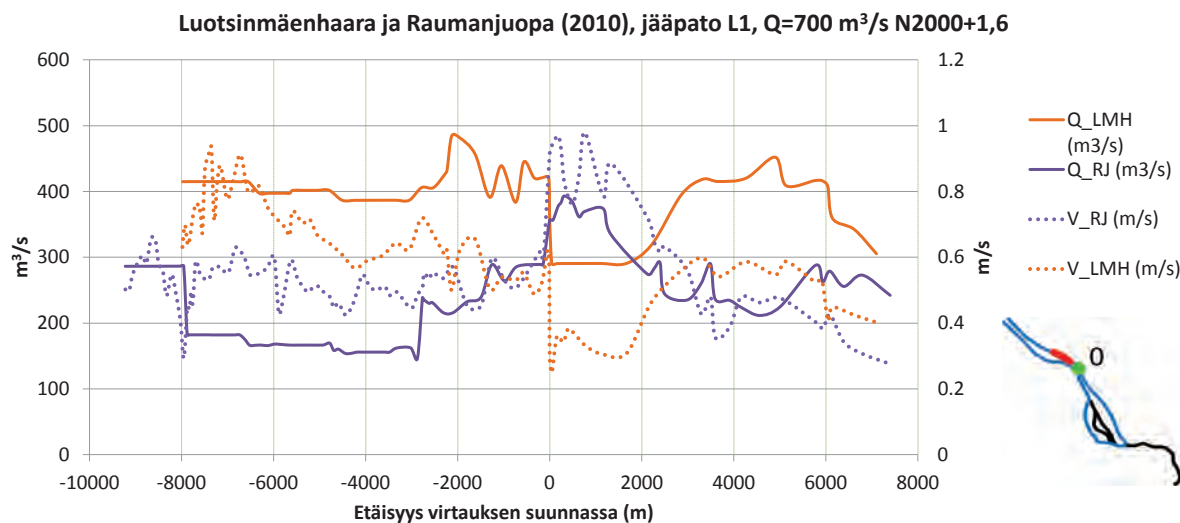
**Kuva 15:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +0,77 m. Jääpato on kehittynyt Raumanjuopaan.



**Kuva 16:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +1,6 m. Sulan veden tilanne.

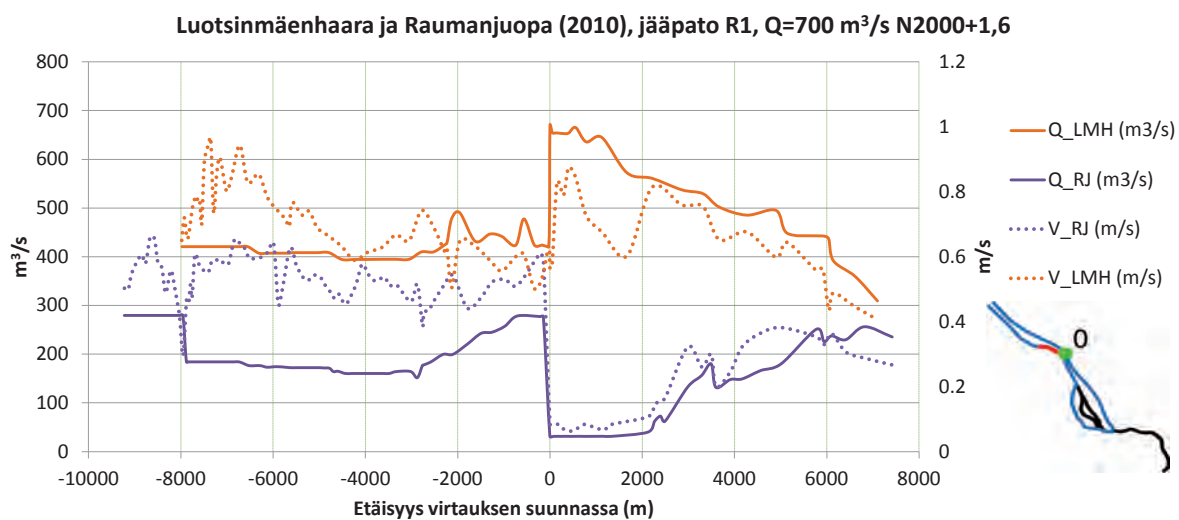
ja jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan heti Kivinin kapeikon jälkeen (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 8 ja 11). Ennen Kivinin kapeikkoa Luotsinmäenhaaran virtaama on suurimmalla osalla uomaa keskimäärin  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vastaavasti Raumanjuovan virtaama vaihtelee välillä  $160 - 280 \text{ m}^3/\text{s}$ . Luotsinmäenhaaran jatkeeseen heti Kivinin kapeikon jälkeen kehittynyt jääpato pienentää uoman virtaamaa jääpadon kohdalla. Osa vedestä siirtyy ennen Kivinin kapeikkoa ja sen jälkeen Luotsinmäenhaarasta Raumanjuovaan uomien välisen alueen yli. Jääpadon jälkeen ve-

si siirtyy jälleen Raumanjuovan jatkeesta suurempaan uomaan Luotsinmäenhaaran jatkeeseen. Osa vedestä kulkee uomien välisellä alueella.



**Kuva 17:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +1,60 m. Jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan.

Kuvassa 18 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet tilanteessa, jossa alapuolinen reunaehto on N2000 +1,60 m ja jääpato on kehittynyt Raumanjuovan jatkeeseen heti Kivinin kapeikon jälkeen (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 9 ja 12). Kuvasta havaitaan, että virtaama suurimmalla osalla Luotsinmäenhaaraa ennen Kivinin kapeikkoa on noin  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vaihtelee Raumanjuovassa noin välillä  $190 - 290 \text{ m}^3/\text{s}$ . Verrattuna sulan veden tilanteeseen Raumanjuovan jatkeeseen kehittynyt jääpato aiheuttaa virtaaman pienenevän erityisesti jääpadon kohdalla sekä virtaaman lisääntymisen Luotsinmäenhaaraan ennen ja erityisesti Kivinin kapeikon jälkeen. Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaamaan lisääntyminen aiheutuu veden virtauksesta Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan jatkeiden välisen alavan alueen poikki. Jääpadon jälkeen osa Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaamasta siirtyy takaisin Raumanjuovan jatkeeseen. Alapuolisen reunaehdon ollessa suuri osa vedestä liikkuu uomien välisellä alueella.

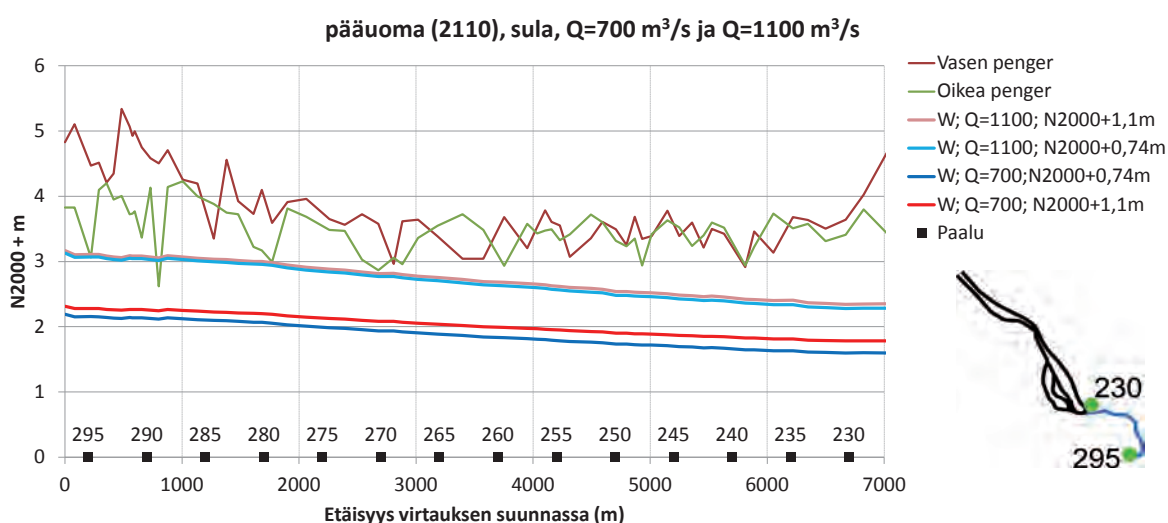


**Kuva 18:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +1,60 m. Jääpato on kehittynyt Raumanjuopaan.

### 3.3 Tulevaisuuden tilanteen mukaiset uomaverkoston vedenkorkeudet

#### 3.3.1 Pääuoma

Kuvissa 19–27 on esitetty pääuoman, Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan vedenkorkeudet tulevaisuuden tilanteen mukaisilla vedenkorkeuksilla, kun uomaverkoston alapuoliset reunaehdot ovat N2000+0,74 m ja N2000+1,1 m. Laskenta sulan veden tilanteessa (kuva 19) on suoritettu virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $Q=1100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kuvista havaitaan välittömästi, että virtaaman ollessa suurempi tai alapuolisen reunaehdon korkeampi vedenkorkeudet uomaverkoston koko matkalla kasvavat. Kuvista havaitaan myös, että jääpadon kehittyessä uomaverkoston eri kohtiin vedenkorkeudet nousevat erityisesti jääpadon vaikutuskohdan yläpuolella.



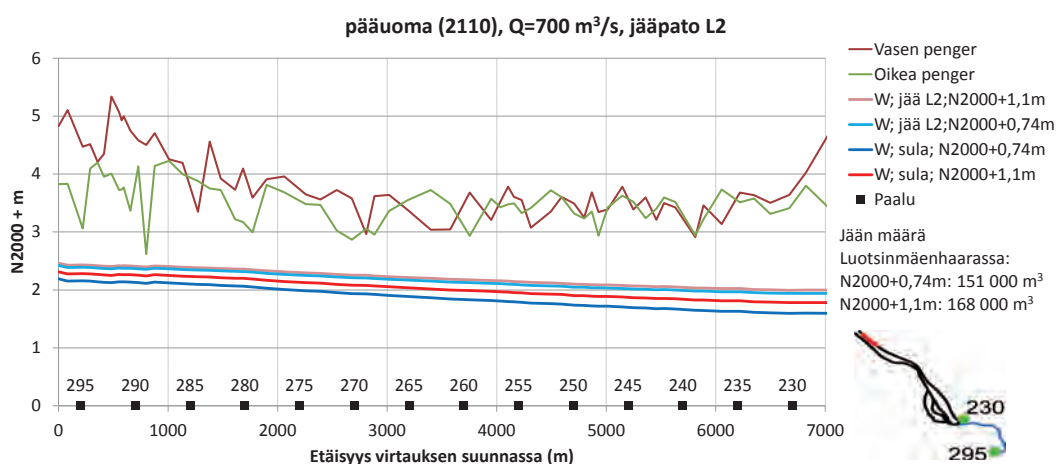
**Kuva 19:** Pituusleikkaus pääuoman vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $Q=1100 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,74 m tai N2000+1,1 m. Pääuoma on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Sulan veden tilanne tulevaisuudessa. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.

Tulevaisuuden tilanteessa jääpadot sijaitsevat Luotsinmäenhaaran tai Raumanjuovan jatkeessa noin 5 km Kivinin kapeikon jälkeen (vertaa nykytila). Jääpadot on pyritty sovittamaan mahdollisimman saman kokoisiksi Luotsinmäenhaarassa ja Raumanjuovassa. Kuvista 20 ja 21 käyvät ilmi pääuoman vedenkorkeudet jääpatotilanteissa. Kuvista huomataan, että Luotsinmäenhaaran jatkeeseen kehittyneellä jääpadolla (kuva 20) on hieman suurempi vaikutus pääuoman vedenkorkeuksiin verrattuna tilanteeseen, jossa jääpato on kehittynyt Raumanjuovan jatkeeseen (kuva 21). Alapuolisen reunaehdon ollessa korkeampi on jääpadon vaikutus vedenkorkeuksiin pienempi, koska tällöin suurempi osa uomaan kertyvästä vedestä levittäytyy tulva-alueille.

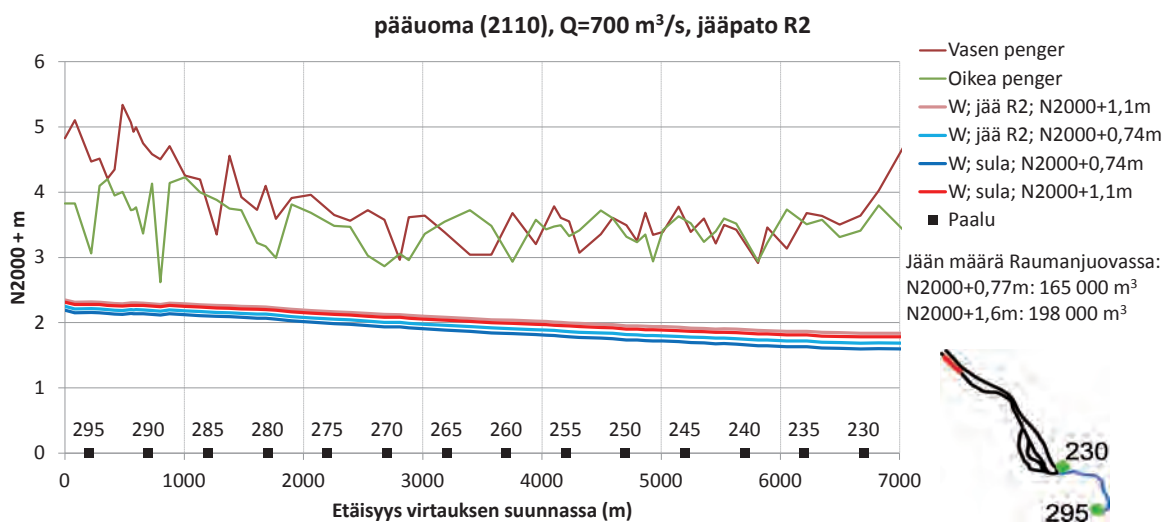
Tilanteessa, jossa alapuolinen reunaehto on N2000+0,74 m ja kokonaisvirtaama

$Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ , jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaraan nostaa pääuoman vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 295) noin 0,23 m ja vastaavasti alapuolisella kohdalla (paalu 230) noin 0,34 m (kuva 20). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, pääuoman vedenkorkeudet nousevat uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 295) noin 0,06 m ja alapuolisella kohdalla (paalu 230) noin 0,09 m (kuva 21).

Jos alapuolisena reunaehtona on  $N2000+1,1 \text{ m}$ , jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaraan nostaa pääuoman vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 295) noin 0,15 m ja vastaavasti alapuolisella kohdalla (paalu 230) noin 0,21 m (kuva 20). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, pääuoman vedenkorkeudet nousevat uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 295) noin 0,04 m ja alapuolisella kohdalla (paalu 230) noin 0,06 m (kuva 21).



**Kuva 20:** Pituusleikkaus pääuoman vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa  $N2000+0,74 \text{ m}$  tai  $N2000+1,1 \text{ m}$ . Pääuoma on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato (L2) on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



**Kuva 21:** Pituusleikkaus pääuoman vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,74 m tai N2000+1,1 m. Pääuoma on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato (R2) on kehittynyt Raumanjuopaan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.

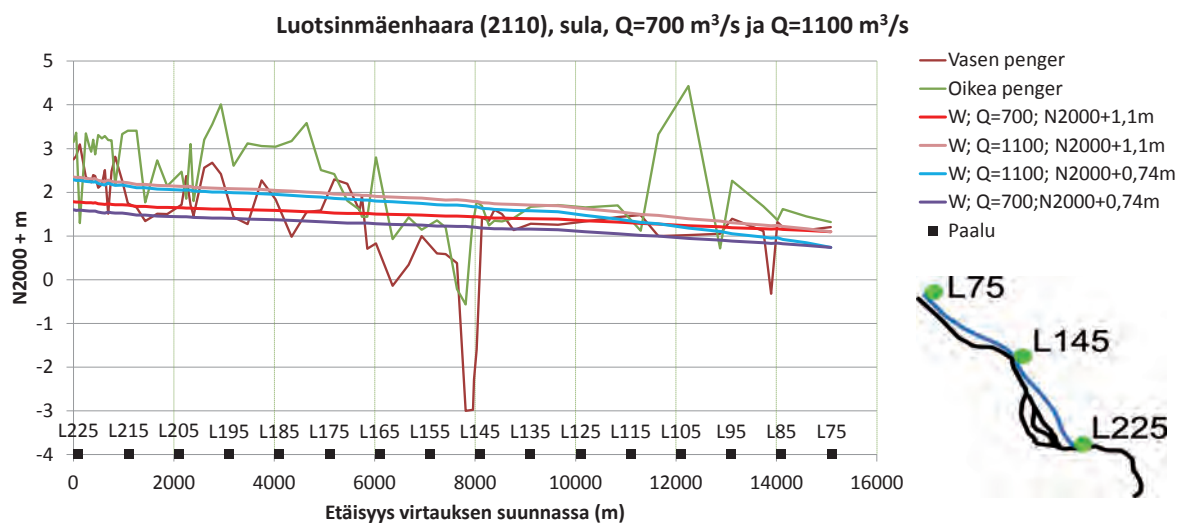


### 3.3.2 Luotsinmäenhaara

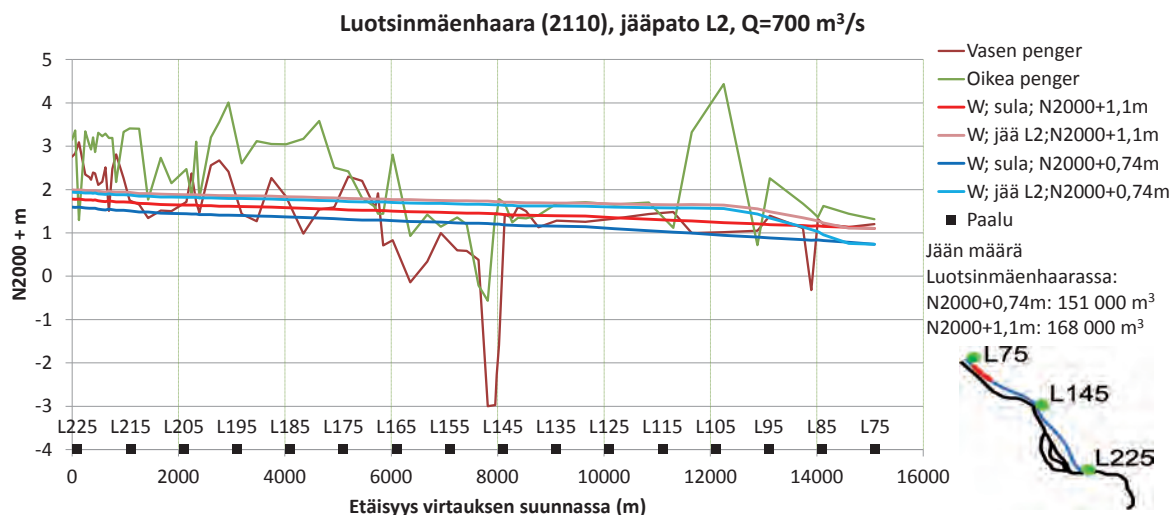
Kuvissa 22–24 on esitetty Luotsinmäenhaaran vedenkorkeudet sulan veden tilanteessa ja kun jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaran tai Raumanjuovan jatkeeseen noin 5 km Kivinin kapeikon jälkeen. Kuvista huomataan, että Luotsinmäenhaaran jatkeeseen kehittyneellä jääpadolla on hieman suurempi vaikutus Luotsinmäenhaaran vedenkorkeuksiin verrattuna tilanteeseen, jossa jääpato on kehittynyt Raumanjuovan jatkeeseen. Alapuolisen reunaehdon ollessa korkeampi on jääpadon vaikutus vedenkorkeuksiin pienempi, koska omaan kertyvästä vedestä suurempi osa levittäytyy tulva-alueille.

Tilanteessa, jossa alapuolinen reunaehto on N2000+0,74 m ja kokonaisvirtaama  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ , jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaran jatkeeseen nostaa Luotsinmäenhaaran vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 225) noin 0,34 m (kuva 23). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, Luotsinmäenhaaran vedenkorkeus nousee uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 225) noin 0,09 m (kuva 24).

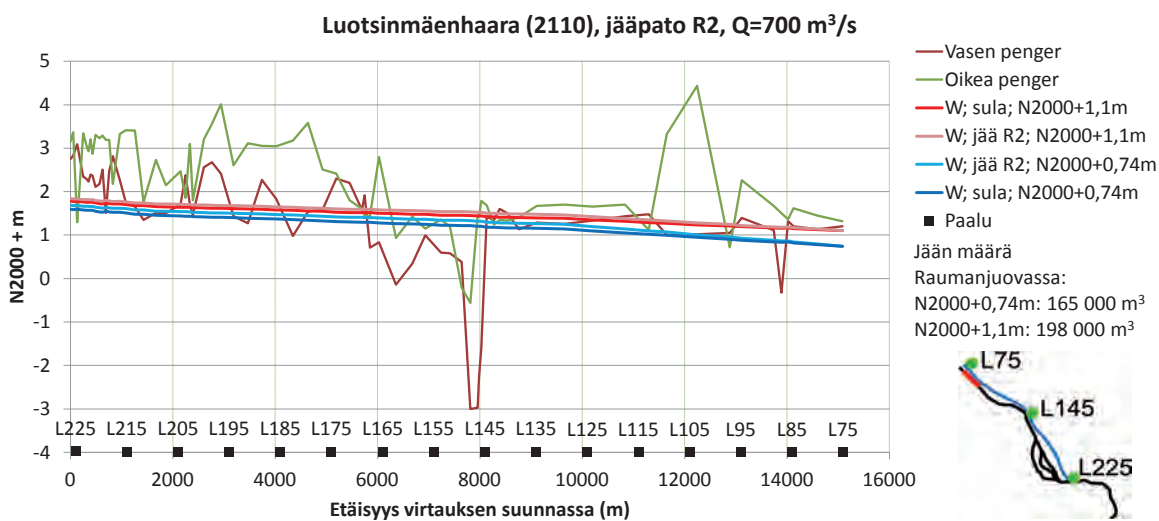
Jos alapuolisena reunaehtona on N2000+1,1 m, jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaran jatkeeseen nostaa Luotsinmäenhaaran vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 225) noin 0,21 m (kuva 23). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, Luotsinmäenhaaran vedenkorkeus nousee uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 225) noin 0,06 m (kuva 24).



**Kuva 22:** Pituusleikkaus Luotsinmäenhaaran vedenkorkeuksista  $W$  virtaamilla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $Q=1100 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,74 m tai N2000+1,1 m. Luotsinmäenhaara on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Sulan veden tilanne. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



**Kuva 23:** Pituusleikkaus Luotsinmäenhaaran vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,74 m tai N2000+1,1 m. Luotsinmäenhaara on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato (L2) on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



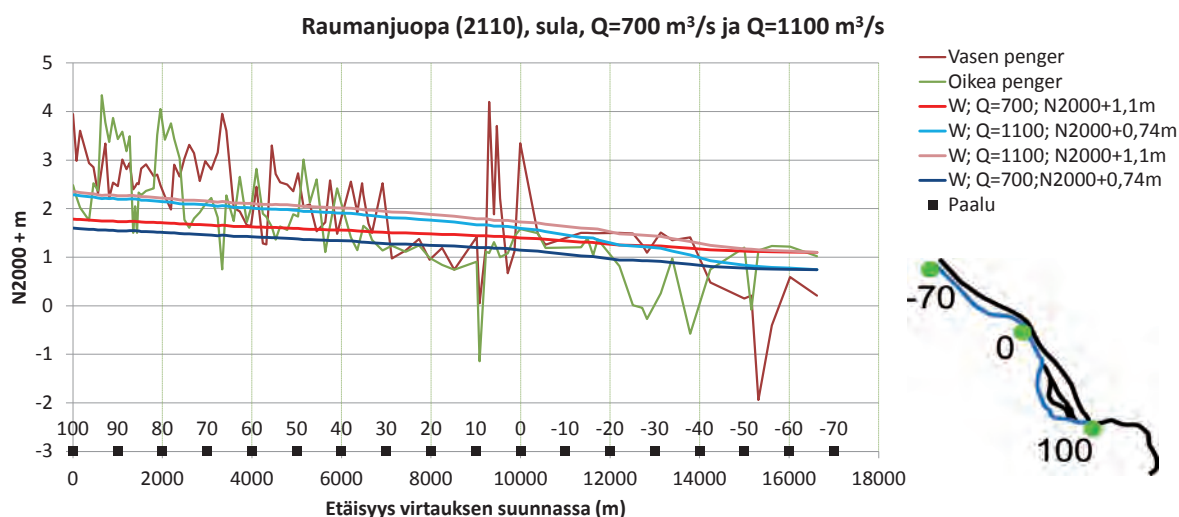
**Kuva 24:** Pituusleikkaus Luotsinmäenhaaran vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,74 m tai N2000+1,1 m. Luotsinmäenhaara on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato (R2) on kehittynyt Raumanjuopaan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.

### 3.3.3 Raumanjuopa

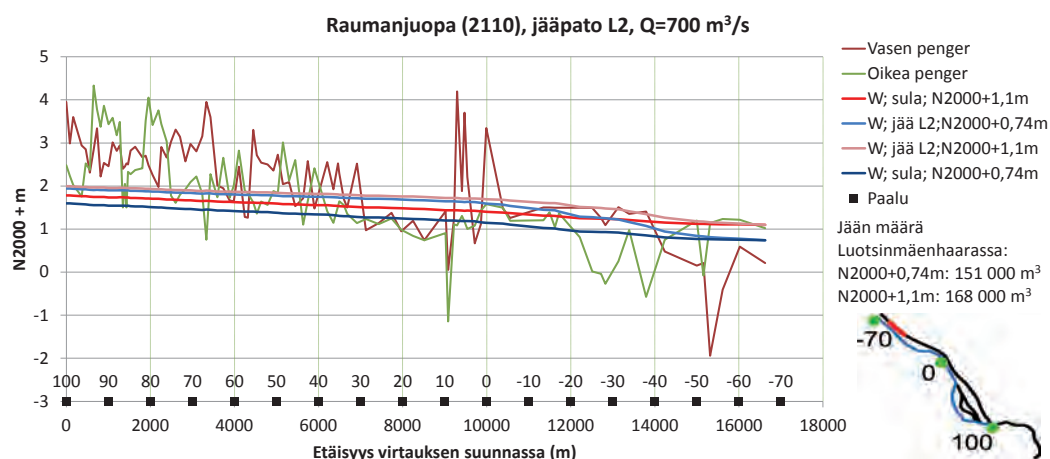
Kuvissa 25–27 on esitetty Raumanjuovan vedenkorkeudet sulan veden tilanteessa ja kun jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaran tai Raumanjuovan jatkeeseen noin 5 km Kivinin kapeikon jälkeen. Kuvista huomataan, että Luotsinmäenhaaran kehittyneen jääpadon vaikutuksesta Raumanjuovan vedenkorkeus nousee hieman enemmän verrattuna tilanteeseen, jossa jääpato olisi kehittynyt Raumanjuovan jatkeeseen. Alapuolisen reunaehdon ollessa korkeampi on jääpadon vaikutus vedenkorkeuksiin pienempi verrattuna matalamman reunaehdon tilanteeseen. Kun alapuolinen reunaehto on korkeampi ja uomaan kehittyy jääpato, suurempi osa vedestä levittäytyy tulva-alueille uomien ulkopuolelle.

Tilanteessa, jossa alapuolinen reunaehto on  $N2000+0,74$  m ja kokonaisvirtaama  $Q=700$  m<sup>3</sup>/s, jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaran jatkeeseen noin 5 km Kivinin kapeikon jälkeen nostaa Raumanjuovan vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 100) noin 0,34 m (kuva 26). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, Raumanjuovan vedenkorkeus nousee uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 100) noin 0,09 m (kuva 27).

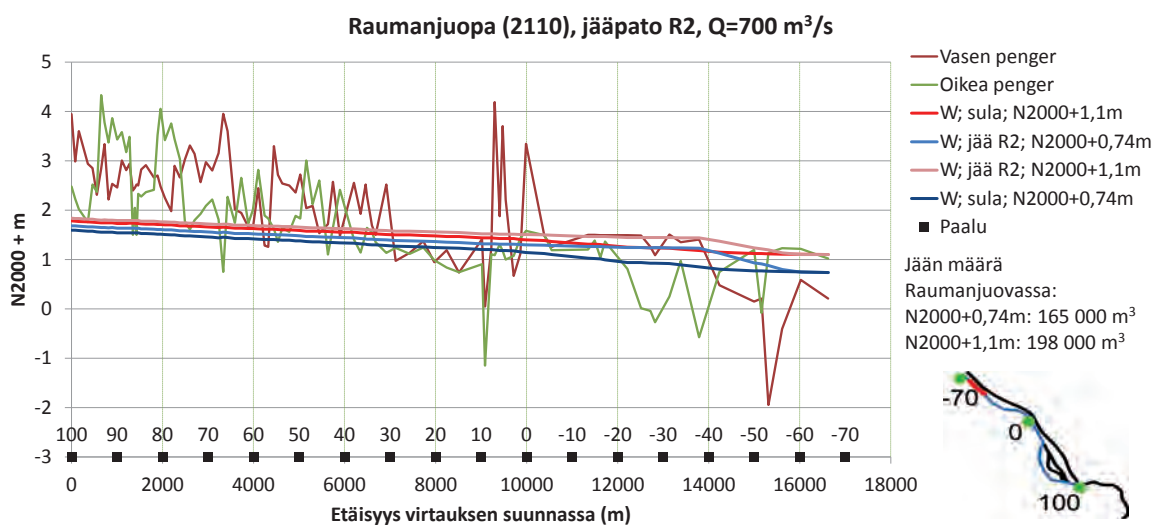
Jos alapuolisena reunaehtona on  $N2000+1,1$  m, jääpadon kehittyminen Luotsinmäenhaaran jatkeeseen noin 5 km Kivinin kapeikon jälkeen nostaa Raumanjuovan vedenkorkeutta uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 100) noin 0,21 m (kuva 26). Jos jääpato kehittyy Raumanjuovan jatkeeseen vastaavassa tilanteessa, Raumanjuovan vedenkorkeus nousee uoman yläpuolisella kohdalla (paalu 100) noin 0,06 m (kuva 27).



**Kuva 25:** Pituusleikkaus Raumanjuovan vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700$  m<sup>3</sup>/s ja  $Q=1100$  m<sup>3</sup>/s alapuolisen reunaehdon ollessa  $N2000+0,74$  m tai  $N2000+1,1$  m. Raumanjuopa on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Sulan veden tilanne. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



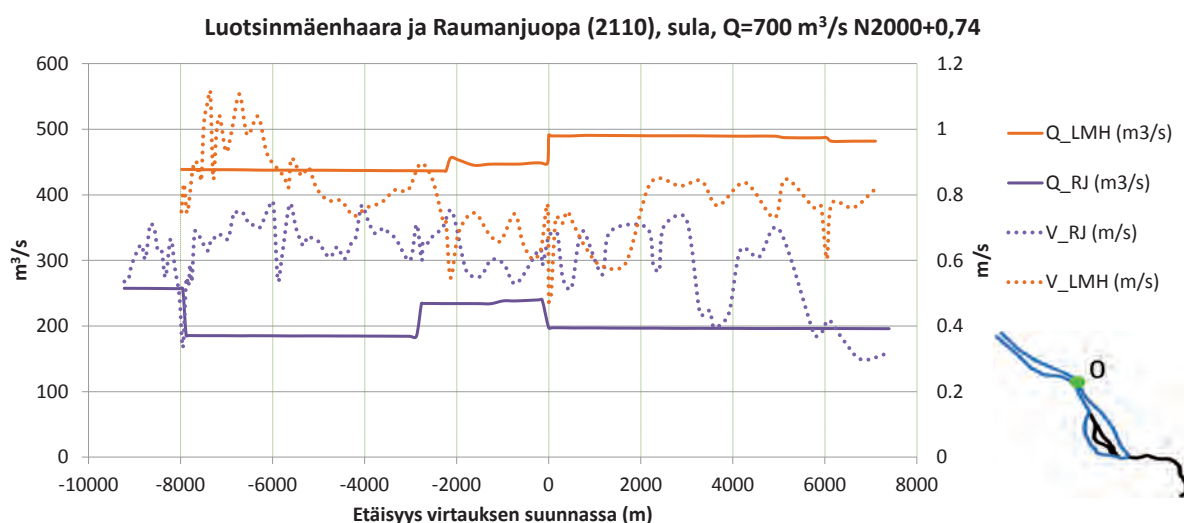
**Kuva 26:** Pituusleikkaus Raumanjuovan vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,74 m tai N2000+1,1 m. Raumanjuopa on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato (L2) on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.



**Kuva 27:** Pituusleikkaus Raumanjuovan vedenkorkeuksista  $W$  virtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  alapuolisen reunaehdon ollessa N2000+0,74 m tai N2000+1,1 m. Raumanjuopa on merkitty sinisellä uomaverkoston kuvaan. Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Jääpato (R2) on kehittynyt Raumanjuopaan ja merkitty punaisella uomaverkoston kuvaan. Penkereiden oikea ja vasen puoli on määritetty veden virtaussuuntaan katsoen.

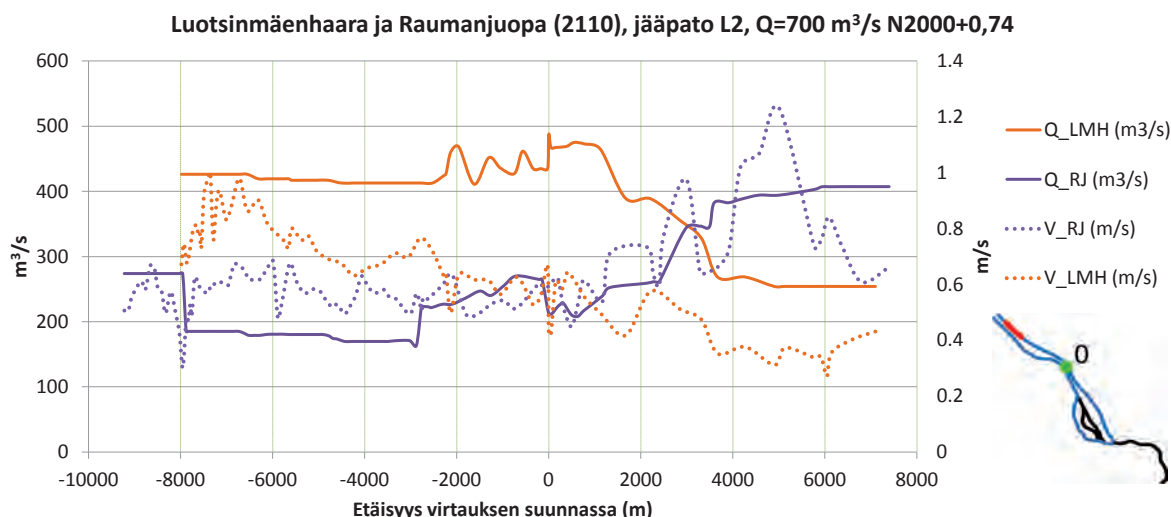
### 3.4 Tulevaisuuden tilanteen mukaiset virtaamat ja virtausnopeudet

Kuvassa 28 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet sulan veden tilanteessa, jossa uomaverkoston alapuolinen reunaehto on N2000 +0,74 m ja kokonaisvirtaama  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 22 ja 25). Kuvasta havaitaan Luotsinmäenhaaran virtaaman olevan ennen Kivinin kapeikkoa noin  $440 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vastaavasti Raumanjuovan virtaaman vaihtelevan välillä  $180 - 260 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kivinin kapeikon jälkeen Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama on noin  $490 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vastaavasti Raumanjuovan jatkeen virtaama on noin  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pieni osa virtaamasta kulkee varsinaisten uomien ulkopuolella. Kyseisissä virtaamatilanteessa Luotsinmäenhaaran jatkeessa kulkee noin 70 % kokonaisvirtaamasta.



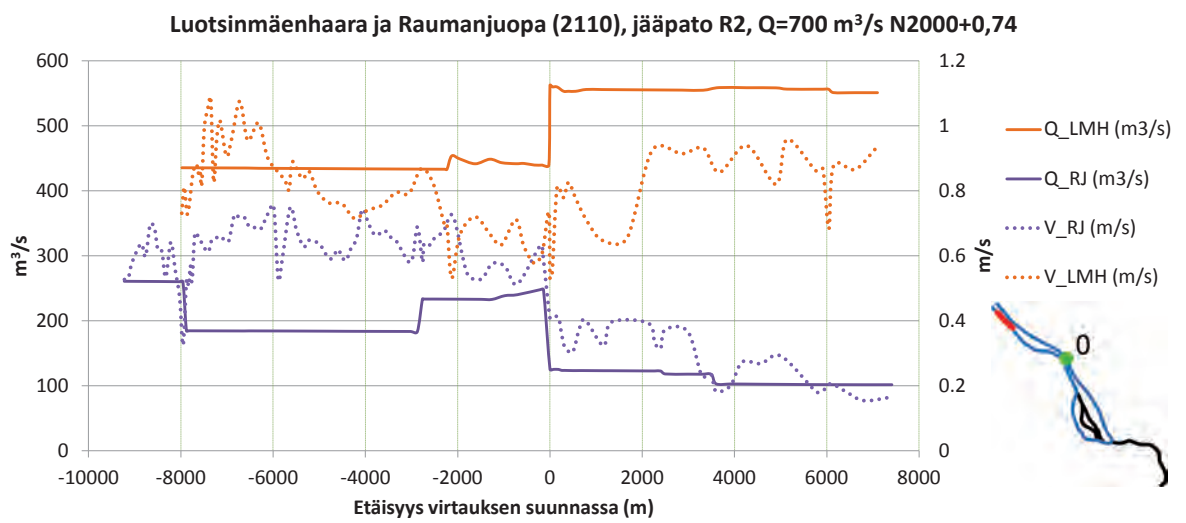
**Kuva 28:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +0,74 m. Sulan veden tilanne.

Kuvassa 29 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet tilanteessa, jossa Luotsinmäenhaaran jatkeeseen noin 5 km Kivinin kapeikon jälkeen on syntynyt jääpato (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 23 ja 26). Kokonaisvirtaama kyseisessä tilanteessa on  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja alapuolinen reunaehto N2000 +0,74 m. Kuvasta havaitaan Luotsinmäenhaaran virtaaman olevan valtaosalla uomaan ennen Kivinin kapeikkoa noin  $430 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vastaavasti Raumanjuovan virtaama vaihtelee välillä  $170 - 270 \text{ m}^3/\text{s}$ . Noin 2000 m ennen Kivinin kapeikkoa uomien virtaamat alkavat muuttua veden virratessa uomien välisen alavan alueen yli Luotsinmäenhaaraan kehittyneen jääpadon vaikutuksesta. Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama vaihtelee välillä noin  $460 - 310 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vastaavasti Raumanjuovan jatkeen virtaama välillä noin  $230 - 350 \text{ m}^3/\text{s}$ . Osa virtaamasta liikkuu alavalla alueella varsinaisten uomien ulkopuolella.



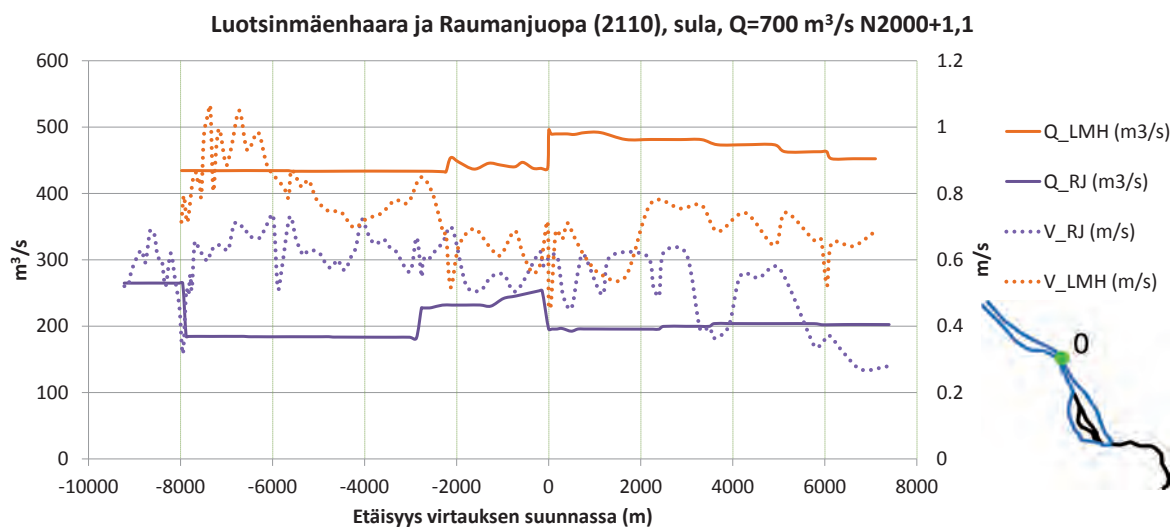
**Kuva 29:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +0,74 m. Jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan.

Kuvassa 30 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet tilanteessa, jossa jääpato on kehittynyt Raumanjuovan jatkeeseen noin 5 km Kivinin kapeikon jälkeen. Uomaverkoston alapuolinen reunaehto on N2000 +0,74 m (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 24 ja 27). Kokonaisvirtaama tilanteessa on  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Luotsinmäenhaaran virtaama on ennen Kivinin kapeikkaa noin  $430 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vastaavasti Raumanjuovan virtaama vaihtelee noin  $180 - 260 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä. Raumanjuovan jatkeeseen kehittynyt jääpato pienentää kyseisen uoman virtaamaa verrattuna sulan veden tilanteeseen. Jääpadon vaikutuksesta Raumanjuovan jatkeen virtaama on noin  $100 - 120 \text{ m}^3/\text{s}$  ja Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama on noin  $560 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kyseisessä tilanteessa Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama on noin 80 % kokonaisvirtaamasta.



**Kuva 30:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +0,74 m. Jääpato on kehittynyt Raumanjuopaan.

Kuvassa 31 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet sulan veden tilanteessa, jossa kokonaisvirtaama on  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja uomaverkoston alapuolinen reunaehto on N2000 +1,1 m (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 22 ja 25). Ennen Kivinin kapeikkoa Luotsinmäenhaaran virtaama on noin  $430 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vastaavasti Raumanjuovan virtaama on noin  $180 - 260 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kivinin kapeikon jälkeen Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama on noin  $490 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kyseisen uoman virtaama pienenee noin arvoon  $450 \text{ m}^3/\text{s}$  siirryttäessä uoman alajuoksua kohti. Raumanjuovan jatkeen virtaama Kivinin kapeikon jälkeen on noin  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Osa virtaamasta tapahtuu varsinaisten uomien ulkopuolisella alavalla alueella. Kyseisessä tilanteessa Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama on noin 67 % kokonaisvirtaamasta.

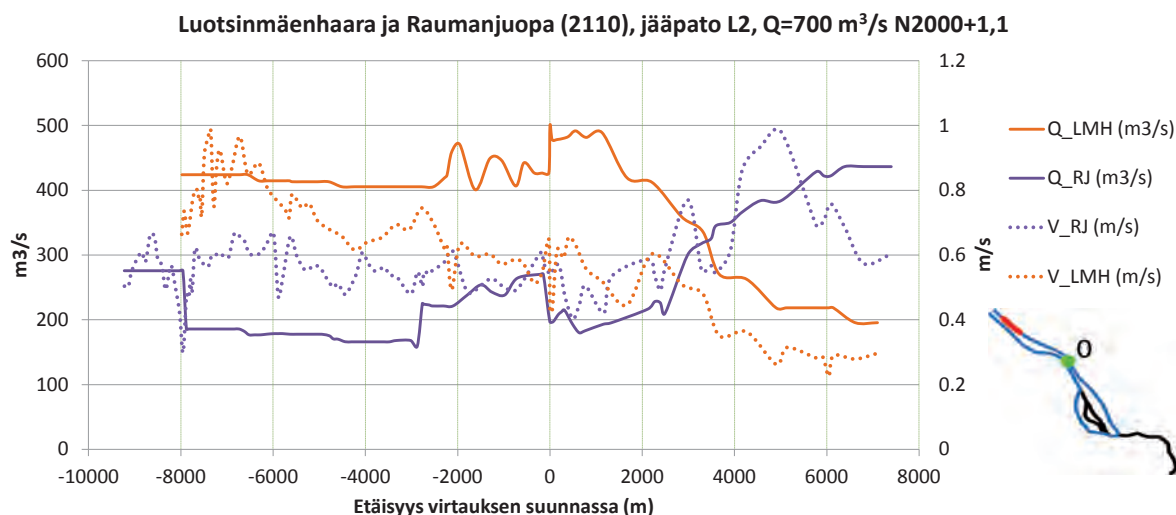


**Kuva 31:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +1,1 m. Sulan veden tilanne.

Kuvassa 32 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet tilanteessa, jossa Luotsinmäenhaaran jatkeen alaosalle noin 5 km Kivinin kapeikon jälkeen on kehittynyt jääpato. Tilanteessa uomaverkoston kokonaisvirtaama on  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja alapuolinen reunaehto on N2000 +1,1 m (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 23 ja 27). Ennen Kivinin kapeikkoa Luotsinmäenhaaran virtaama suurimmalla osalla uomaa on noin  $420 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vastaavasti Raumanjuovan virtaama on välillä  $170 - 270 \text{ m}^3/\text{s}$ . Jääpadon vaikutuksesta Kivinin kapeikon jälkeen osa Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaamasta siirtyy Raumanjuovan jatkeeseen veden virratessa uomien välisen alavan alueen poikki. Osa virtaamasta tapahtuu varsinaisten uomien ulkopuolisella alavalla alueella.

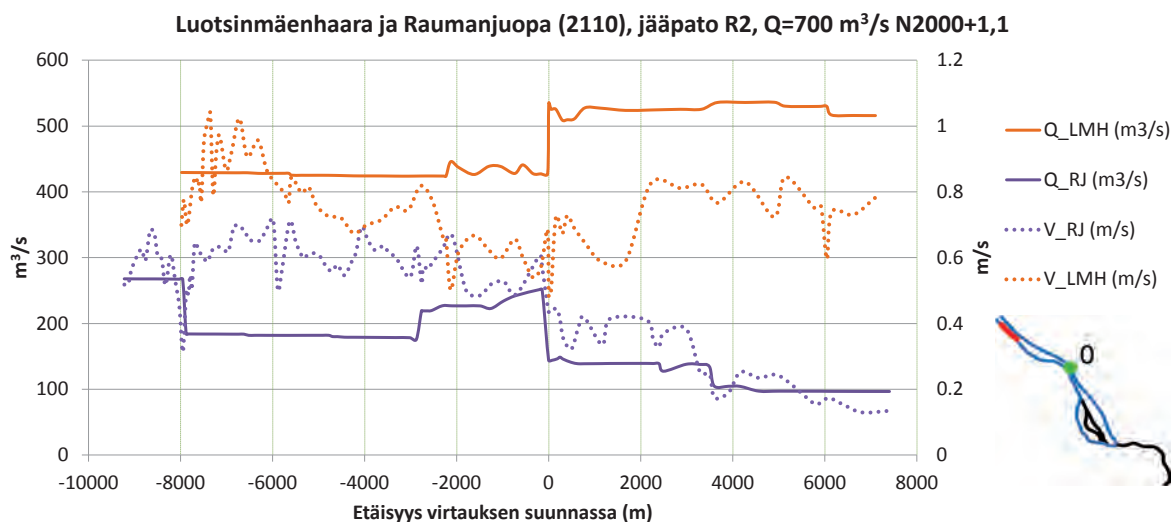
Kuvassa 33 on esitetty Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan laskennalliset virtaamat ja virtausnopeudet tilanteessa, jossa jääpato on kehittynyt Raumanjuovan jatkeen alaosalle noin 5 km Kivinin kapeikon jälkeen (vertaa vedenkorkeudet kuvissa 24 ja 27). Tilanteen kokonaisvirtaama on  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$  ja alapuolinen reunaehto





**Kuva 32:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +1,1 m. Jääpato on kehittynyt Luotsinmäenhaaraan.

N2000 +1,1 m. Ennen Kivinin kapeikkaa Luotsinmäenhaaran virtaama on noin  $430 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vastaavasti Raumanjuovan virtaama vaihtelee noin välillä  $180 - 270 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatkeen alaosalle kehittyneen jääpadon vaikutuksesta kyseisen uoman virtaama pienenee ja Luotsinmäenhaaran jatkeen virtaama kasvaa verrattuna vastaavaan sulan veden tilanteeseen. Osa virtaamasta tapahtuu varsinaisten uomien ulkopuolisella alavalla alueella.



**Kuva 33:** Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan virtaaman ja virtausnopeuden vaihtelu kokonaisvirtaamalla  $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raumanjuovan jatke on oletettu ruopatuksi. Alapuolinen reunaehto on N2000 +1,1 m. Jääpato on kehittynyt Raumanjuopaan.

## 4 Johtopäätökset

Tässä työssä on tutkittu Kokemäenjoen alaosalle tehdyllä numeerisella virtausmallilla jokiuoman vedenkorkeuksia sekä nykytilan että ennustetun tulevaisuuden tilanteen mukaisissa virtaustilanteissa. Laskelmat käsittelevät joen suuren virtaaman sekä jääpatojen aiheuttamia tulvatilanteita. Virtausmallin perustana on käytetty vuoden 2110 tilanteen ennusteen mukaan rakennettua jokimallia, jossa on huomioitu paikallinen voimakas maan kohoaminen sekä mahdollisesti tulvasuojelun kannalta tarpeellinen Raumanjuovan jatkeen ruoppaus. Tulevaisuuden olosuhteisiin tehtyä pohjamallia on käytetty tässä myös nykytilanteen mukaisten tulvatilanteiden laskelmiin huomioimalla maan kohoamisesta ja merenpinnan korkeudesta aiheutuvat muutokset käytettyihin reunaehtoihin. Näin ollen tehdyt laskelmat soveltuvat lähinnä erilaisten tulvasuojelutoimenpiteiden vertailuun toisiinsa nähden eivätkä välttämättä kuvaa todellista tilannetta.

Laskelmien mukaisissa tulevaisuuden tilanteissa uomaverkoston vedenkorkeudet suhteessa uomien penkereisiin laskevat hieman verrattuna nykytilan mukaisiin vastaaviin virtaustilanteisiin. Vedenkorkeuksien lasku johtuu lähinnä maan kohoamisen ja meriveden korkeuden muutoksen vaikutuksesta mallinnuksessa käytettyyn alapuoliseen reunaehtoon. Nyky- ja tulevaisuudentilanteiden laskentatuloksia ei voi kuitenkaan suoraan vertailla toisiinsa, koska uomien vedenkorkeuksiin vaikuttavat myös ajan myötä mahdollisesti muuttuvat virtaustekijät, kuten uomien geometria sekä tulva-alueiden kasvillisuus.

Laskelmien perusteella vesi tulvii luotojen alueelle kaikissa tarkastelluissa virtaustilanteissa. Syntyvän tulvan laajuuteen vaikuttavat vahvasti virtaama sekä meriveden korkeus. Tarkastelluissa tilanteissa joen virtaaman ollessa suuri, meriveden ollessa korkealla tai jääpadon aiheuttaman tulvatilanteen seurauksena vedenpinta uomissa ylittää luotojen puoleisella alueella pengerkorkeuden useassa kohdin. Kivinin kohdalla vesi ylittää uomien pengerkorkeuden kaikissa tässä käsitellyissä virtaustilanteissa.

Tulevaisuuden tilanteessa Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan jatkeet sijaitsevat nykyisin matalaa suistoa olevan Pihlavan lahden kohdalla Kivinin kapeikosta alavirtaan. Tulevaisuudessa alue on maan kohoamisen seurauksena lähinnä maata. Erietyisesti tietyissä jääpatojen aiheuttamissa tulvatilanteissa vesi tulvii Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan jatkeiden väliselle alueelle ja virtaama vaihtelee uomien välillä. Tämän vuoksi uomien välillä olisi syytä olla yhdistäviä uomia, eikä aluetta tulisi käyttää ruoppausmassojen läjitysalueena ainakaan kaikkialla.

Jääpadot vaikuttavat enemmän uomien vedenkorkeuksiin meriveden ollessa alhaalla. Jos merivesi on korkealla suurempi osa uomiin padottuvasta vedestä leviää tulva-alueille. Tulvatilanteessa ruoppauksella saavutettavien vedenkorkeuksien laskun lisäksi kahden rinnakkaisen uoman voidaan katsoa olevan hyödyksi jääpatotilanteessa, jos uomista toinen saadaan tällöin pidettyä avonaisena. Kivinin kapeikon jälkeiset uomat ja niiden kunto vaikuttavat kuitenkin ratkaisevasti koko Kokemäenjoen alaosan vedenjohtokykyyn ja ovat siten tärkeä tekijä tulvavaaran vakavuuden kannalta.

## Lähdeluettelo

- Abbot, M. ja Basco, R. (1989). *Computational Fluid Mechanics, An Introduction for Engineering*.
- Alcrudo, F. ja Mulet-Marti, J. (2005). *Urban inundation models based upon the shallow water equations. Numerical and practical issues. Proceedings of finite volumes for complex applications IV. Problems and perspectives. London, UK: Hermes Science, sivut 1–2.*
- Beltaos, S. ja Burrell, B. (2010). *Ice-jam model testing: Matapedia River case studies, 1994 and 1995. Cold Regions Science and Technology, osa 60(1):29–39.*
- Huokuna, M. (2007). *Ice Jams in Pori*. CRIPE - Committee on River Ice Processes and the Environment. 14th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers.
- Huokuna, M. ja Aaltonen, J. (2009). *Selvitys suunnitteluvaihtoehtojen vaikutuksista jää- ja hydepatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin Kokemäenjoen alaosalla.*
- Kirves, R. (2011). *Kokemäenjoen alaosan hydraulinen mallinnus*. diplomityö, Aalto-yliopisto.
- Koskinen, M., toimittaja (2006). *Porin tulvat-hallittuja riskejä*. Lounais-Suomen ympäristökeskus, vesistösuunnitteluosasto. ISBN 9521122862.
- Szymkiewicz, R. (2010). *Numerical Modeling in Open Channel Hydraulics, osa 83*. Springer Verlag.
- Verta, O. ja Triipponen, J. (2011). *THE KOKEMÄENJOKI RIVER BASIN FLOOD RISK MANAGEMENT PLAN–A NATIONAL PILOT FROM FINLAND ACCORDING TO EU FLOODS DIRECTIVE*.
- Vuola, P. (2010). *Porin tulvasuojelupadot, Vahingonvaaraselvitys, päivitys 12.2.2010*.