



**Lounais-Suomen ympäristökeskus
Porin kaupunki**



Selvitys suunnitteluvaihtoehtojen vaikutuksista jää- ja hyydepatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin Kokemäenjoen alaosalla.

SYKE/AO/VES 31.12.2009

Mikko Huokuna
Juha Aaltonen

Selvitys suunnitteluvaihtoehtojen vaikutuksista jää- ja hyhydepatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin Kokemäenjoen alaosalla.

SYKE/AO/VES Mikko Huokuna ja Juha Aaltonen

31.12.2009

1.	Johdanto.....	4
2.	Laskentamenetelmät.....	5
2.1.	Laskelmissa käytetyt laskentaohjelmat.....	5
2.2.	Mallin rakenne jäätymisvaiheen laskelmissa.....	9
2.3.	Mallin rakenne jääpatolaskelmissa.....	11
3.	Laskelmissa tarkastellut suunnitteluvaihtoehdot.....	13
3.1.	Vaihtoehto 1; tehdyn yleissuunnitelman mukainen perkaus.....	13
3.2.	Vaihtoehto 2; kaupungin pohjoispuoleinen ohitusuoma.....	15
3.3.	Vaihtoehto 3; vaihtoehtojen 1 ja 2 yhdistelmä.....	16
3.4.	Vaihtoehto 4; Huvilajuovan perkaus.....	16
3.5.	Vaihtoehto 5; vaihtoehtojen 1 ja 4 yhdistelmä.....	17
3.6.	Vaihtoehto 6; Laiskanrännin perkaus Pihlavanlahdelle asti.....	17
3.7.	Vaihtoehto 7; vaihtoehtojen 1 ja 6 yhdistelmä.....	18
3.8.	Vaihtoehto 8; Pääuoman ruoppaaminen ulommas Pihlavanlahdelle.....	18
4.	Suunnitteluvaihtoehtojen vaikutukset hyhydepatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin.....	20
4.1.	Hyhydepatojen aiheuttamien vedenkorkeuksien laskennassa käytetyt lähtötiedot.....	20
4.2.	Vaihtoehto 1; Uoman perkaus.....	22
4.3.	Vaihtoehto 2; Oikaisu-uoma.....	24
4.4.	Vaihtoehto 3; Vaihtoehtojen 1 ja 2 yhdistelmä.....	28
4.5.	Vaihtoehto 4; Huvilajuovan perkaus.....	32
4.6.	Vaihtoehto 5; vaihtoehtojen 1 ja 4 yhdistelmä.....	34
4.7.	Vaihtoehto 6; . Laiskanrännin perkaus.....	36
4.8.	Vaihtoehto 7; vaihtoehtojen 1 ja 6 yhdistelmä.....	37
4.9.	Vaihtoehto 8; Pääuoman ruoppaaminen ulommas Pihlavanlahdelle.....	38
4.10.	Yhteenvedo vaihtoehtojen vaikutuksesta jäätymisvaiheen tulvakorkeuksiin.....	40
5.	Suunnitteluvaihtoehtojen vaikutukset jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin.....	42
5.1.	Yleistä.....	42
5.2.	Tarkastelussa käytetyt jäänlähdön aikaisten jääpatojen paikat ja jään määrät.....	43
5.3.	Vaihtoehto 1:n vaikutus jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin.....	47
5.4.	Jäänlähdön aikaisten jääpatojen vaikutus oikaisu-uoman läpäisykykyyn.....	54
5.5.	Vaihtoehto 2:n vaikutus jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin.....	60
5.6.	Vaihtoehto 3:n vaikutus jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin.....	62
5.7.	Yhteenvedo vaihtoehtojen 1, 2 ja 3 vaikutuksesta jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin.....	63
6.	Selvitys Mäntyluodon sillan vaikutuksesta vedenkorkeuksiin.....	71
7.	Selvitys tulvan leviämisestä luotojen alueella.....	72
8.	Yhteenvedo tuloksista.....	73

Liitteet:

Liite 1 Kokemäenjoen alaosan paalutus

Liite 2 Selostus 2D-laskelmista pääuoman ruoppauksesta ulommas Pihlavanlahdelle

Liite 3 Selvitys Mäntyluodon sillan vaikutuksesta vedenkorkeuksiin

Liite 4 Selvitys tulvan leviämisestä luotojen alueella

Liite 5 Jokijäämallin laskentamenetelmät

1. Johdanto

Tässä raportissa on selostettu laskelmia, jotka on tehty Porin tulvasuojeluhankkeen vaihtoehtojen vertailua varten. Laskelmissa on selvitetty eri vaihtoehtojen vaikutusta vedenkorkeuksiin joen jäätymisvaiheessa hyytöpatotilanteessa sekä toisaalta jäiden lähtövaiheessa jääpatotilanteessa.

Monet tekijät vaikuttavat jääkannen muodostumiseen Kokemäenjoen alajuoksulla. Kokemäenjoki haaraantuu alajuoksulla moniin eri uomiin ja jäätymistilanteessa virtaaman jakautuminen eri uomiin muuttuu jään vaikutuksesta. Virtaaman jakautumisen muuttuminen vaikuttaa taas puolestaan jääkannen muodostumiseen. Myös meriveden korkeus vaikuttaa Kokemäenjoen alaosan virtausolosuhteisiin mutkistaen tilannetta edelleen.

Tässä selvityksessä on käytetty kahta yksiulotteista laskentamallia, jotka perustuvat tunnettuihin virtausyhtälöihin ja kaavoihin joen hydraulisten parametrien ja jääolosuhteiden yhteydestä. Joen jäätymisvaiheen hyydepatojen aiheuttamien vedenkorkeuksien selvittämisessä on käytetty numeerista jokijäämallia (ns. JJT-malli). Mallin perustana on yksiulotteinen virtausmalli, jolla on mahdollista laskea virtausta haaroittuvassa jokiuomassa. Virtausmalliin on liitetty joen veden ja ympäristön välillä tapahtuvan lämmönvaihdon, veden lämpötilan ja joessa virtaavan jään kulkeutumisen sekä jääkannen ja suppopatojen muodostumisen laskenta. Joen jäätymisvaiheen hyydepatojen aiheuttamien vedenkorkeuksia on selvitetty seitsemällä eri suunnitteluvaihtoehdolla. Jääkannen liikkeellelähdistä aiheutuvien jääpatojen aiheuttamien vedenkorkeuksien laskentaan on käytetty HEC-RAS-laskentamallia. HEC-RAS on laaja yksiulotteinen virtausmallitusohjelmisto, jota voidaan käyttää monenlaisissa jokivirtauksen laskentaan liittyvissä tehtävissä. Jäänlähtöpatojen vedenkorkeuksia on selvitetty kolmella eri suunnitteluvaihtoehdolla.

Varsinaisten jokijääselvitysten lisäksi tämän työn yhteydessä on selvitetty Mäntyluodon sillan vaikutusta virtaushäviöihin ja Pihlavanlahden alueen ruoppauksen vaikutusta tulvakorkeuksiin. Pihlavanlahden selvitys tehtiin numeerisella kaksiulotteisella virtausmallilla.

Tämän raportin laskentatuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että laskelmissa ei ole huomioitu veden virtausta penkereiden yli tulva-alueelle vaan penkereiden on oletettu olevan "riittävän korkeat". Tämä mahdollistaa tarvittavan pengerkorkeuden määrittämisen, mutta aiheuttaa sen, että suurimmilla käsitellyillä virtaamilla laskentatulokset antavat nykytilanteessa liian suuria vedenkorkeuden arvoja. Isoilla virtaamilla vesi virtaisi penkereiden yli tulva-alueille, jolloin virtaama uomassa pienenis ja tällöin myös vedenkorkeudet pienenisivät. Valittu lähestymistapa antaa kuitenkin paremmat mahdollisuudet vertailla eri toimenpiteiden vaikutuksia.

2. Laskentamenetelmät

2.1. Laskelmissa käytetyt laskentaohjelmat

2.1.1 Yleistä

Selvityksessä on käytetty Suomessa kehitettyä numeerista jokijäämallia (ns. JJT-malli) sekä amerikkalaista HEC-RAS -virtausmalliohjelmaa, joka sisältää myös jääpatojen laskennan. Jokijäämallia käytettiin jääkannen muodostumisvaiheen laskelmiin ja eri toimenpidevaihtoehtojen vertailuun jääkannen muodostumisvaiheen osalta. Jokijäämalli kalibroitiin talven 2004-2005 havaintojen avulla. HEC-RAS -virtausmalliohjelmaa käytettiin jäänlähden aikaisten jääpatojen mallintamiseen. 2-dimensionaalisissa virtauslaskennoissa käytettiin sveitsiläistä BASEMENT-ohjelmaa. Jokijäämallin kalibrointi on esitetty Porin tulvat –hankkeen raportissa " Selvitys eri toimenpiteiden vaikutuksesta Kokemäenjoen alaosan jäätulviin".

2.1.2 Jokijäämallin laskentamenetelmät

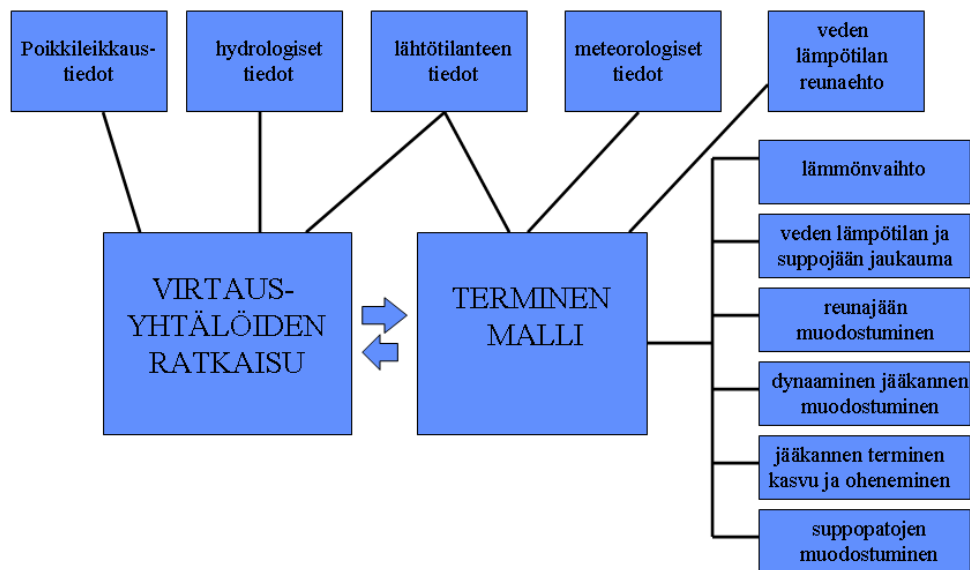
Tässä selvityksessä käytetty numeerinen jokijäämalli (JJT-malli) kehitettiin vuosina 1985-1989 Vesi- ja ympäristöhallituksen ja voimayhtiöiden organisoiman jokijää tutkimusprojektin aikana insinööri Reiter Oy:ssä (Huokuna 1990). Mallia on jokijää tutkimusprojektin jälkeen edelleen kehitetty ja se on nykyisin käytössä myös Suomen ympäristökeskuksessa.

Jokijäämalli perustuu muuttuvan virtauksen, joen lämpötaseen sekä jään ja supon muodostumisen ja sulamisen laskennan yhdistämiseen. Muuttuvan virtauksen yhtälöiden ratkaisu perustuu samaan menetelmään, jota on käytetty runsaasti avotilan virtauslaskennassa (Fread 1985). Laskennassa otetaan huomioon jääkannen vaikutus virtausalaan ja kitkahäviöihin. Lämpöenergiataseen laskenta perustuu pääasiassa menetelmiin, jotka on kehitetty Clarkson yliopistossa (Shen ja Yapa 1984, Shen ja Lal 1986). Rantajään ja joen poikki syntyvien jääsillakkeiden laskentamenetelmät on kehitetty jokijääprojektin yhteydessä. Malliin on vuosien kuluessa tehty runsaasti parannuksia ja lisätty ominaisuuksia.

Jokijäämalli voidaan jakaa seuraaviin osiin (kuva 2.1):

- yksidimensioisen muuttuvan virtauksen yhtälöiden ratkaisu
- virtauslaskenta saarien ympäri
- joen pituussuuntainen veden lämpötilan ja jään konsentraation laskenta
- supon ja liikkuvan jääkannen muodostumisen laskenta
- joen rantajään muodostumisen laskenta
- dynaamisen jääkannen muodostumisen laskenta
- suppopatojen muodostumisen laskenta
- jääkannen paksuuden ja ohenemisen laskenta

Malli laskee jokaisella aika-askeleella ensin lämmönvaihdon säätietojen perusteella koko jokijaksolla. Tämän jälkeen lasketaan joen pituussuuntainen veden lämpötilan tai jään konsentraation jakauma ja virtausnopeudesta riippuva supon ja jääkannen muodostuminen. Tämän jälkeen malli laskee rantajään muodostumisen, jääkannen kasvun ja ohenemisen. Kun lämmönvaihto ja jääprosessit on laskettu, malli ratkaisee virtausyhtälöt uusien virtaama- ja vedenkorkeusarvojen selvittämiseksi. Virtaama- ja vedenkorkeuslähtöarvot voidaan joko antaa syöttötietoina tai malli laskee ne. Joki kuvataan koordinaattimuodossa olevien poikkileikkaustietojen avulla



Kuva 2.1. Jokijäämallin rakenne

Mallilla voidaan tulostaa joen jokaisen poikkileikkauksen kohdalla halutuun aikaväliin mm. veden lämpötila, virtaavan supon määrä, jääkannen ja rantajään muodostuminen sekä jään paksuuden kasvu ja oheneminen. Hydraulisista tekijöistä voidaan tulostaa mm. virtausnopeus-, vedenkorkeus- ja virtaama-arvot. Lähtötietoina tarvitaan joen poikkileikkaustiedot, tulovirtaamat, sadanta ja pilvisuus sekä yläjuoksulta tutkittavaan jokijaksoon tuleva virtaama ja tulevan veden lämpötilat.

Tarkempi selostus jokijäämallin laskentamenetelmistä on liitteenä 5.

2.1.3 HEC-RAS mallin laskentamenetelmät

HEC-RAS on laaja virtausmallituksen ohjelmisto, jota voidaan käyttää monenlaisissa jokivirtauksen laskentaan liittyvissä tehtävissä. Normaalitylanteessa mallin alapuolisena reunaehtona on vedenkorkeus ja yläpuolisena reunaehtona virtaama. Vedenkorkeuksien ratkaisemiseen HEC-RAS käyttää stationäärisen virtaustilan laskennassa ns. energiayhtälöä:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e$$

jossa Y on veden syvyys, Z pohjankorkeus, v virtausnopeus, α epätasaisesta nopeuden jakautumisesta aiheutuva kerroin, g painovoiman kiihtyvyyden ja h_e energiahäviö. Energiahäviö on yhdistelmä uoman laajentumisesta ja supistumisesta aiheutuvista paikallishäviöistä ja virtausvastuksesta aiheutuvasta kitkahäviöstä:

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right|$$

C on paikallishäviökerroin (0.0-0.6), L on poikkileikkausten välinen etäisyys ja S_f on poikkileikkausvälin edustava kitkakerroin, jonka laskemiseen HEC-RAS käyttää Manningin kaavaa laske-
malla ensin poikkileikkauksen hydraulisen läpäisykyvyn K :

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3}$$

K kuvaa poikkileikkauksen läpäisykykyä, A virtausalaa, R hydraulista sädettä ja n on Manningin kerroin. Kitkakerroin saadaan virtaaman Q ja läpäisykyvyn avulla laskettua seuraavasti:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

Hydraulinen säde määritetään avouomassa kaavalla

$$R = \frac{A}{P}$$

jossa P on poikkileikkauksen märkäpiiri.

Jääpeitteisessä uomassa käytetään virtausalana todellista jääkannen alapuolista virtausalaa ja poikkileikkauksen märkäpiiriin lisätään jääkannen osuus. Lisäksi jääpeitteisessä uomassa käytetään karkeuskertoimena yhdistettyä kerrointa, joka määritetään Belokon-Sabanev kaavalla

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

Jossa n_c on yhdistetty karkeuskerroin sekä n_b ja n_i ovat uoman ja jääkannen karkeuskertoimet.

Jääpatojen paksuuden laskemiseen HEC-RAS käyttää ns. leveän uoman jääpadon kaavaa:

$$\frac{d(\overline{\sigma_x t_i})}{dx} + \frac{2 \tau_b t_i}{B} = \rho' g S_w t_i + \tau_i$$

Jossa:

$\overline{\sigma_x}$	= joen pituussuuntainen jääpadon normaalijännitys
t_i	= jääpadon paksuus
τ_b	= uoman seinämän ja jääpadon välinen leikkausjännitys
B	= uoman leveys
ρ'	= jään tiheys
g	= maan vetovoiman kiihtyvyys
S_w	= vedenpinnan kaltevuus
τ_i	= vedestä jääkannen alareunaan aiheutuva leikkausjännitys

Laskentamenetelmästä on kerrottu tarkemmin lähteessä: HEC-RAS Hydraulic Reference.

2.1.4 BASEMENT -mallin laskentamenetelmät

BASEMENT on sveitsiläinen virtausmalli, joka on kehitetty liittovaltion teknologisisessa instituutissa (ETH) maan ympäristöviranomaisen (FOEN) toimesta ja rahoittamana. Ohjelmalla voidaan laskea veden virtaus epästationäärisessä tilassa kaksiuulotteisesti hyödyntäen ns. Saint-Venantin yhtälöitä:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(\overline{uh})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{vh})}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial \overline{u}}{\partial t} + \overline{u} \frac{\partial \overline{u}}{\partial x} + \overline{v} \frac{\partial \overline{u}}{\partial y} + g \left(\frac{\partial Z_B}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) = - \frac{1}{h} \frac{\tau_{Bx}}{\rho}$$

$$\frac{\partial \overline{v}}{\partial t} + \overline{u} \frac{\partial \overline{v}}{\partial x} + \overline{v} \frac{\partial \overline{v}}{\partial y} + g \left(\frac{\partial Z_B}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) = - \frac{1}{h} \frac{\tau_{By}}{\rho},$$

joissa:

h	= veden syvyys [m]
t	= aika [s]
g	= maan vetovoiman kiihtyvyys [m ² /s]
x	= etäisyys x-akselin suunnassa [m]
y	= etäisyys y-akselin suunnassa [m]
u	= x-akselin suuntainen syvyys-suuntaan keskimääräinen virtausnopeus [m/s]
v	= y-akselin suuntainen syvyys-suuntaan keskimääräinen virtausnopeus [m/s]
Z_B	= pohjan korkeusasema [m]
τ_{Bx}	= pohjan leikkausjännitys x-suunnassa [N/m ²]
τ_{By}	= pohjan leikkausjännitys y-suunnassa [N/m ²]
ρ	= veden tiheys [kg/m ³].

2.2. Mallin rakenne jäätymisvaiheen laskelmissa

Selvityksessä käytetyissä virtausmalleissa uomageometria kuvataan poikkileikkauksien avulla. Käytetyt mallit ovat ns. yksiulotteisia verkkomalleja, joilla voidaan mallittaa monia toisiinsa liittyviä uomia. Tarvittavat poikkileikkaustiedot on saatu pääosin Porin tulvat hankkeen "Kokemäenjoen alaosan tulvalaskelmat ja tulvakartat"-osahankkeesta. Jokijäämallissa käytetyt Ulvilan sillan yläpuoliset poikkileikkaukset on saatu aikaisemmasta työstä (Kari Rantakokko: Kokemäenjoen alaosan virtausmalli ja Harjavallan voimalaitoksen lyhytaikaissäännöstelylaskennat, SYKE 2000, julkaisematon). Ulvilan sillan yläpuolelta käytettävissä ollut poikkileikkausaineisto on vanhaa eikä vastaa laadultaan mallin alaosan poikkileikkauksia, jotka mitattiin kaikuluotaimen avulla v. 2003. Ulvilan sillan yläpuolinen poikkileikkausaineisto on kuitenkin riittävän hyvää tarkasteluun, jossa pääpaino oli Porin alueen uomissa.

Jokijäämalli on laadittu Harjavallan voimalaitokselta merelle Pihlavanlahdelle. Käytössä oli kaikkiaan 600 poikkileikkausta ja 17 uomaa. Kuvassa 2.2 on esitetty jokijäämallissa käytetyt uomat ja mallin rakenne Ulvilasta alaspäin. Kuvassa 2.3. on esitetty lisäksi oikaisu-uomavaihtoehtojen viitteellinen sijainti. Jokijäämallissa käytetyt uomat, niissä käytettyjen poikkileikkausten lukumäärät ja uomien pituudet on esitetty taulukossa 2.1. Osalle uomista ei ole olemassa selkeitä nimiä, vaan ne on nimetty lähellä olevien saarien tai uomien nimien perusteella.

Oikaisu-uomasta (uoma 17) oli laskennoissa käytössä kaksi eri sijoitusvaihtoehtoa, joista toisen mukainen uoman pituus on 10 km ja toisen 15 km. Oikaisu-uoma vaihtoehtojen sijainti on kuvassa 2.3 ainoastaan viitteellinen.

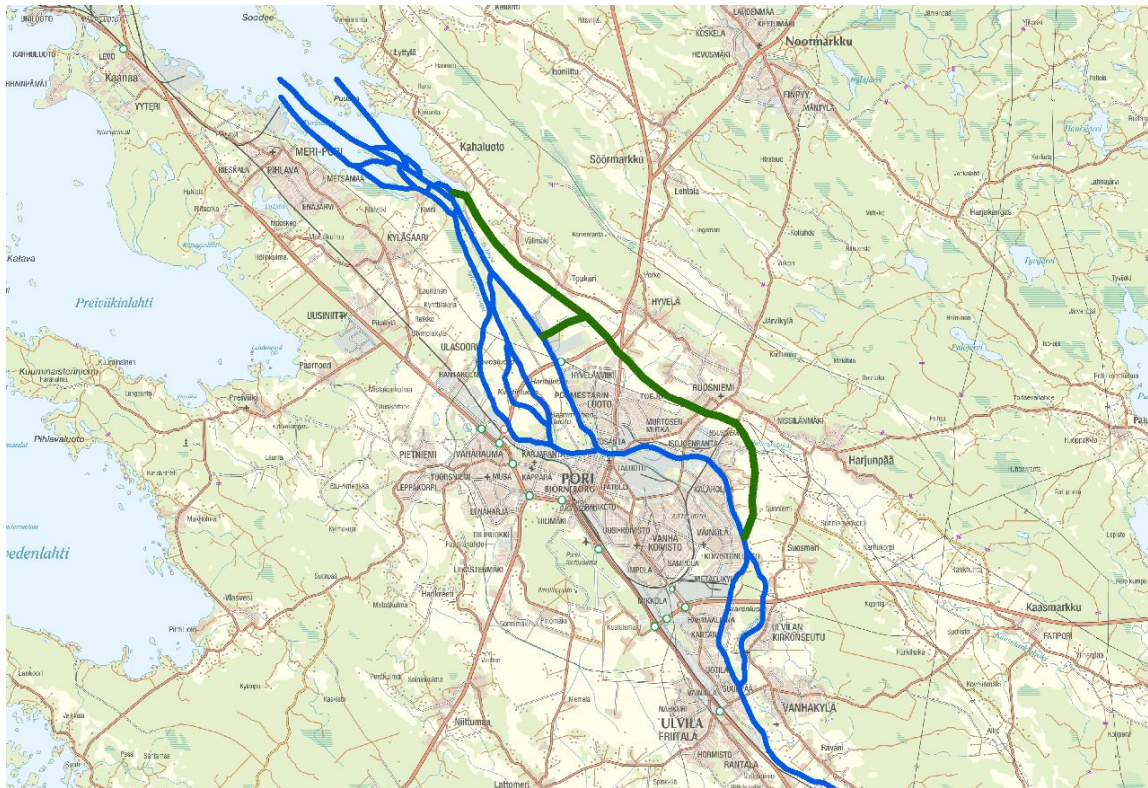
Taulukko 2.1. Kokemäenjoen alaosan jäämallin uomat.

	Nimi	Kuvaus	pl lkm	Pituus [km]
1	Pääuoma	Pääuoma Luotsinmäenhaara pitkin	287	42,840
2	Raumanjuopa	Kirjurinluodon kärjestä alhaalla pääuomaan	103	9,370
3	Huvilajuopa ja Kolmihaara		53	4,464
4	Fäärtinjuopa		11	0,800
5	Laiskaranni		20	1,902
6	Teemuluoto		13	2,628
7	Fleiviikinrantu		9	1,600
8	Masajuopa		4	0,191
9	Lanajuopa		23	2,816
10	Liljanluoto		10	1,330
11	Kirkkojuopa (Uvila)		9	4,100
12	Kirkkosaari (Nakkila)		4	1,500
13	HirviMeriUusi		14	3,673
14	Linden		5	0,800
15	PaaHirviUusi		7	0,704
16	Kivilaja		7	0,722
17	Oikaisu-uoma 10 km		21	10,000
	Oikaisu-uoma 15 km			15,000

Kaikissa jokijäämallin laskelmissa on yläpuolisena reunaehtona ollut Harjavallan virtaama ja veden lämpötila voimalaitoksella. Alapuolisena reunaehtona on ollut meriveden korkeus.



Kuva 2.2. Kokemäenjoen alaosan jokijäämallin uomarakenne.



Kuva 2.3. Kokemäenjoen alaosan jokijäämallin uomarakenne kun mukana on myös oikaisu-uoma vaihtoehdot (vihreällä). Oikaisu-uoman sijainti on kuvassa viitteellinen ja se yhtyy takaisin pää-uomaan joko Luotsinmäenhaarassa (10 km:n oikaisu-uoma) tai Kivinessä (15 km:n oikaisu-uoma).

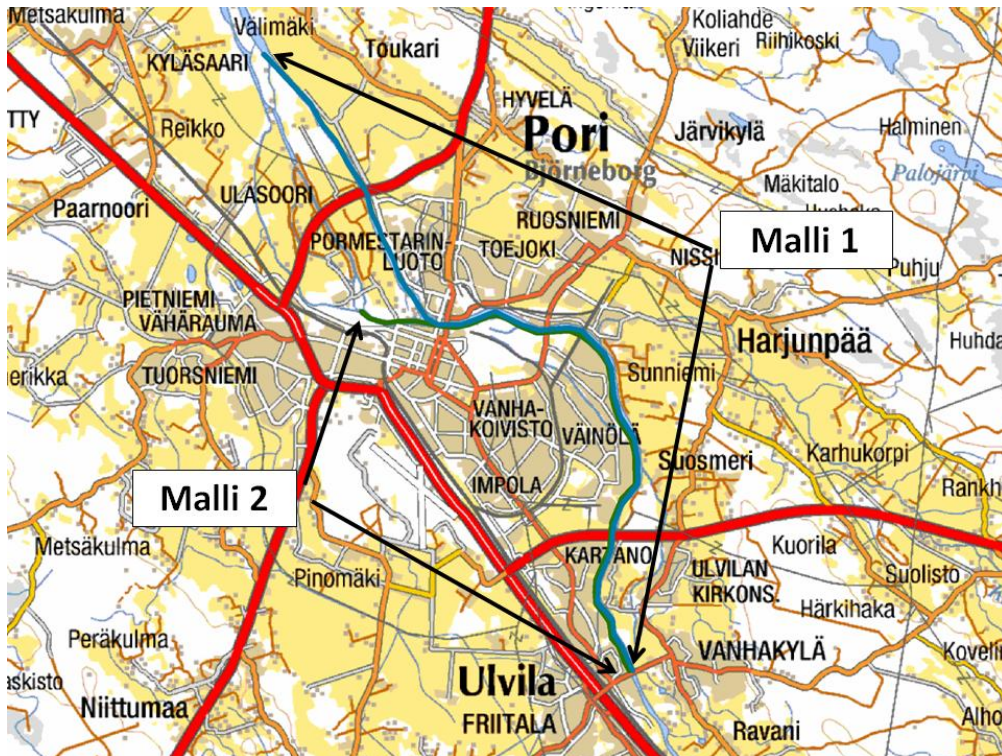
2.3. Mallin rakenne jääpatolaskelmissa

Eri vaihtoehtojen vaikutusta jäänlähtövaiheen jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin selvitettiin HEC-RAS -mallilla. HEC-RAS -laskelmissa ei ole käytetty niin laajaa uomaverkostoa kuin hyydepatojen selvittämisessä käytetyissä jokijäämallilaskelmissa. Jäänlähtöpatojen muodostumisen laskentamenetelmä vaatii runsaasti iterointia ja sitä ei ole mahdollista tehdä kovin monimutkaiselle uomastolle. Tästä syystä jääpatojen mallintamiseen HEC-RAS mallilla on käytetty neljää erillistä mallia.

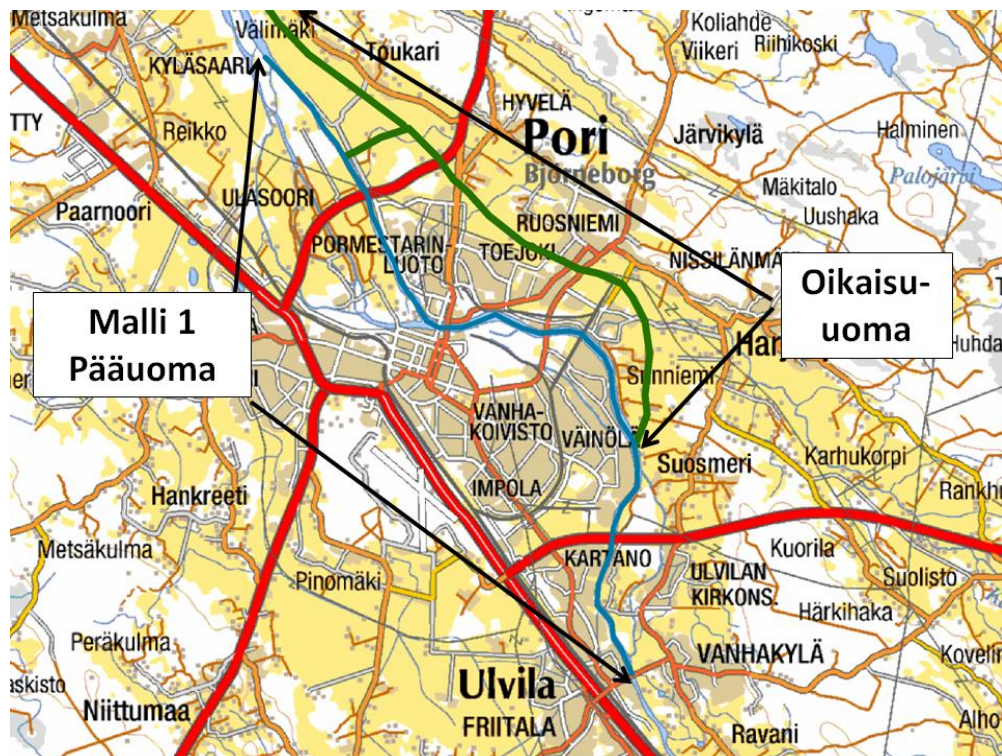
Ensimmäiseksi selvitettiin kahdella mallilla virtaaman jakautuminen Raumanjuovan ja Luotsinmäenhaaran välillä tilanteessa, jossa Kirjurinluodon kärjessä on jääpato. Ensimmäinen malli ulottui Ulvilan sillalta Luotsinmäenhaaraa alas paalulle 170. (Malli 1 kuvassa 2.4) ja toinen Ulvilan sillalta alas Raumanjuopaa Huvilajuovan risteyksen kohdalle (Malli 2 kuvassa 2.4). Pääuoman mallin, eli Malli 1:n, laskennassa virtaus Raumanjuopaan käsiteltiin negatiivisena sivutulovirtaamana ja vastaavasti Malli 2:ssa virtaus Luotsinmäenjuopaan käsiteltiin negatiivisena sivutulovirtaamana. Molemmista malleista oli käytössä oma poikkileikkausaineisto peratulle uomageometrialle ja nykytilan uomageometrialle. Lisäksi laskenta tehtiin ns. isolle jääpadolle (kuva 5.1) ja pienelle jääpadolle (kuva 5.2). Laskennassa tehtiin ensin olettaus virtaaman jakautumisesta Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan välillä ja suoritettiin ensimmäinen laskentakierros. Virtaaman jakoa muutettiin niin kauan, että laskennassa saavutettiin sekä Malli 1:llä että Malli 2:lla sama vedenkorkeus Kirjurinluodon kärjessä. Laskenta tehtiin nykytilanteella ja peratulle tilanteelle sekä ns. pienelle jääpadolle että isolle jääpadolle. Näiden laskelmien mukaan tilanteessa, jossa kirjurinluodon kärjessä on jääpato, nykytilanteessa virtaa Raumanjuovan kautta keskimäärin 37,5 % virtaamasta. Vastaavasti tilanteessa, jossa pääuomaan ja Raumanjuovan suuhun on tehty perkausvaihtoehdon 1 mukaiset perkaukukset, Raumanjuovan kautta virtaa keskimäärin 43 % kokonaisvirtaamasta. Näin saatua virtaamajakoa käytettiin myöhemmissä laskennoissa.

Nykytilan ja Vaihtoehto 1:n mukaisissa laskelmissa (uoman perkaus) käytettiin pääuoman mallia (Malli-1) ja Raumanjuovan virtaaman oletettiin siis olevan pääuoman virtaamasta joko 37,5 % (Nykytila) tai 43 % (Vaihtoehto 1).

Vaihtoehdon 2 (oikaisu-uoma) ja vaihtoehdon 3 (uoman perkaus ja oikaisu-uoma) vaikutusten laskemiseen käytettiin pääuoman mallia (Malli 1) ja kahta oikaisu-uoman mallia (10 km pitkä oikaisu-uoma ja 15 km pitkä oikaisu-uoma, kuva 2.5). Pääuoman mallista (Malli 1) oli käytössä sekä nykytilan että peratun tilan mukaiset uomavaihtoehdot. Oikaisu-uoman kahdesta mallista (10 km ja 15 km uomat) oli käytössä kaksi eri vaihtoehtoa uoman leveydelle (uoman pohjan leveys 10 m tai 30 m).



Kuva 2.4. Raumanjuovan ja Luotsinmäenhaaran välisen virtaamajaon selvittäminen jääpatotilanteessa tehtiin kahdella mallilla. Molemmista malleista oli käytössä sekä nykytilan uoman, että peratun uoman mukaiset versiot.



Kuva 2.5. Jääpatoselvityksen varsinaisissa laskennoissa käytetyt HEC-RAS mallit:pääuoman malli (Malli 1) ja kaksi oikaisu-uoman mallia.

3. Laskelmissa tarkastellut suunnitteluvaihtoehdot

Laskentavaihtoehdot on määritetty Lounais-Suomen ympäristökeskuksen laatimassa työn tilauksessa. Vaihtoehdot on nimetty juoksevalla numeroinnilla. Vaihtoehdot eivät kuitenkaan suoraan vastaa YVA-vaihtoehtoja. Vaihtoehdot 1, 2 ja 3 on laskettu sekä hyydepatotilanteelle että jäänlähdön aikaiselle jääpatotilanteelle. Vaihtoehdot 4 – 7 on laskettu hyydepatotilanteelle.

3.1. *Vaihtoehto 1; tehdyn yleissuunnitelman mukainen perkaus*

Vaihtoehto 1 on tulvasuojeluhankkeesta tehdyn yleissuunnitelman mukainen perkaus, joka on yhdistelmä B –vaihtoehto Teppo Linjaman raportista: Tulvasuojeluvaihtoehtojen edullisuusvertailu – esimerkkitapauksena Pori.

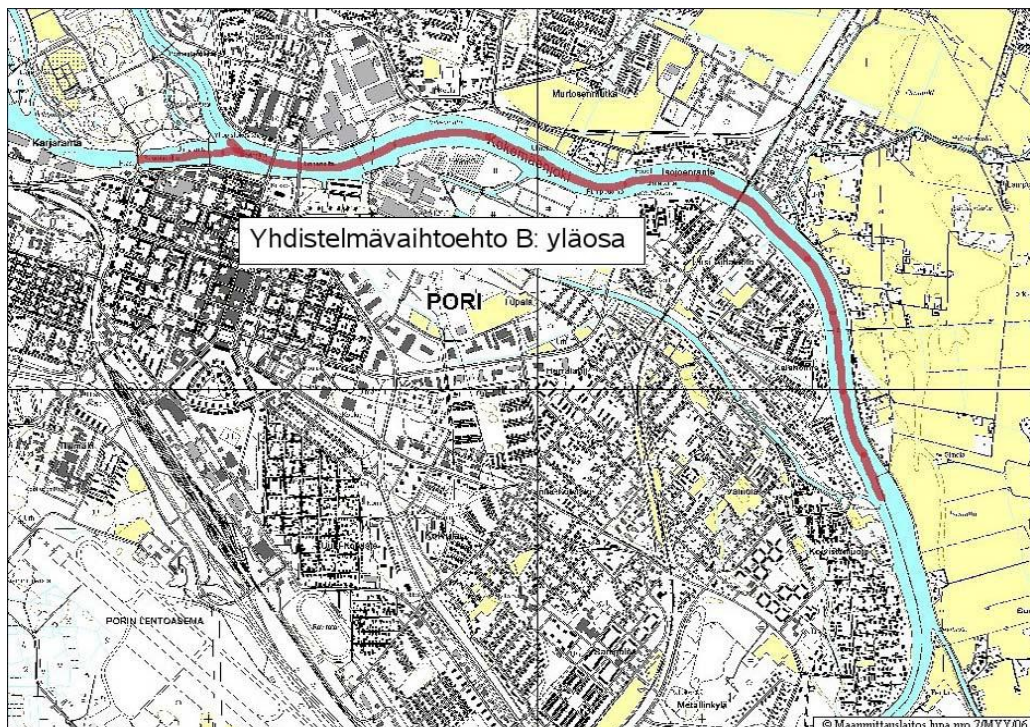
Vaihtoehdossa on Raumanjuovan yläpäässä tehty perkaus jaksolla PL 97-102, perkauksen pohjan tason ollessa N60 -4,5 m ja pohjanleveyden 40 m.

Pääuomassa on tehty seuraavat perkaukset:

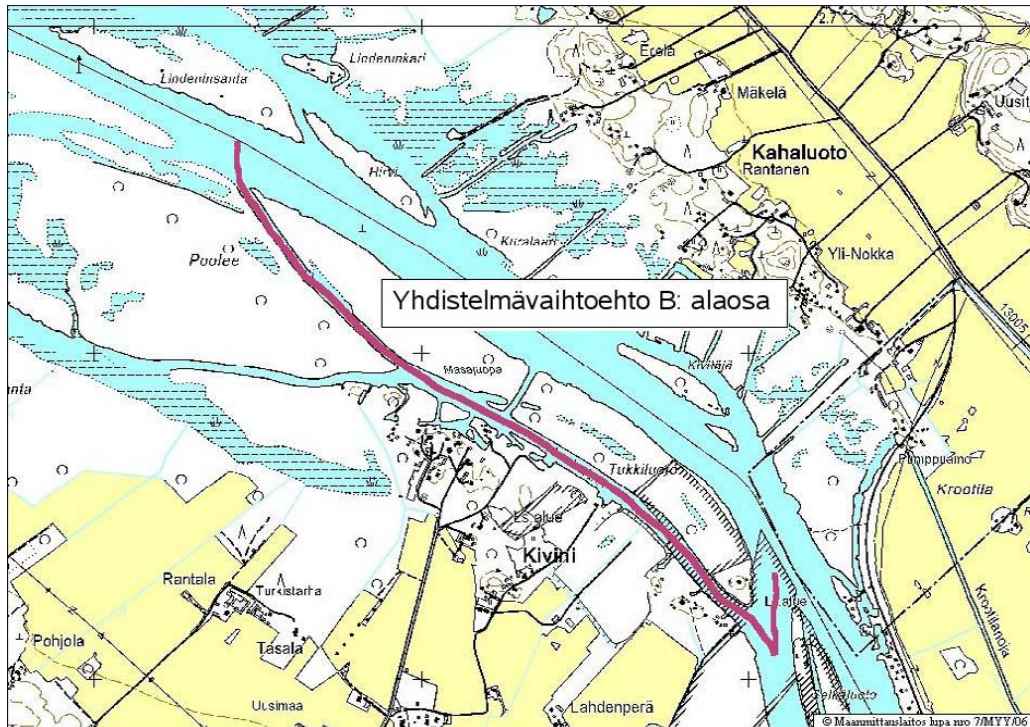
- PL 227-238, taso N60 -5,6 m, pohjanleveys 60 m
- PL 238-285, taso N60 -5,0 m, pohjanleveys 60 m

Laiskanränni on ruopattu koko pituudeltaan (taso N60 -4,5 m, pohjanleveys 18 m) ja Kyläsaarenjuopa alapäästään (PL 7-10, taso N60 -4,0 m, pohjanleveys 40 m).

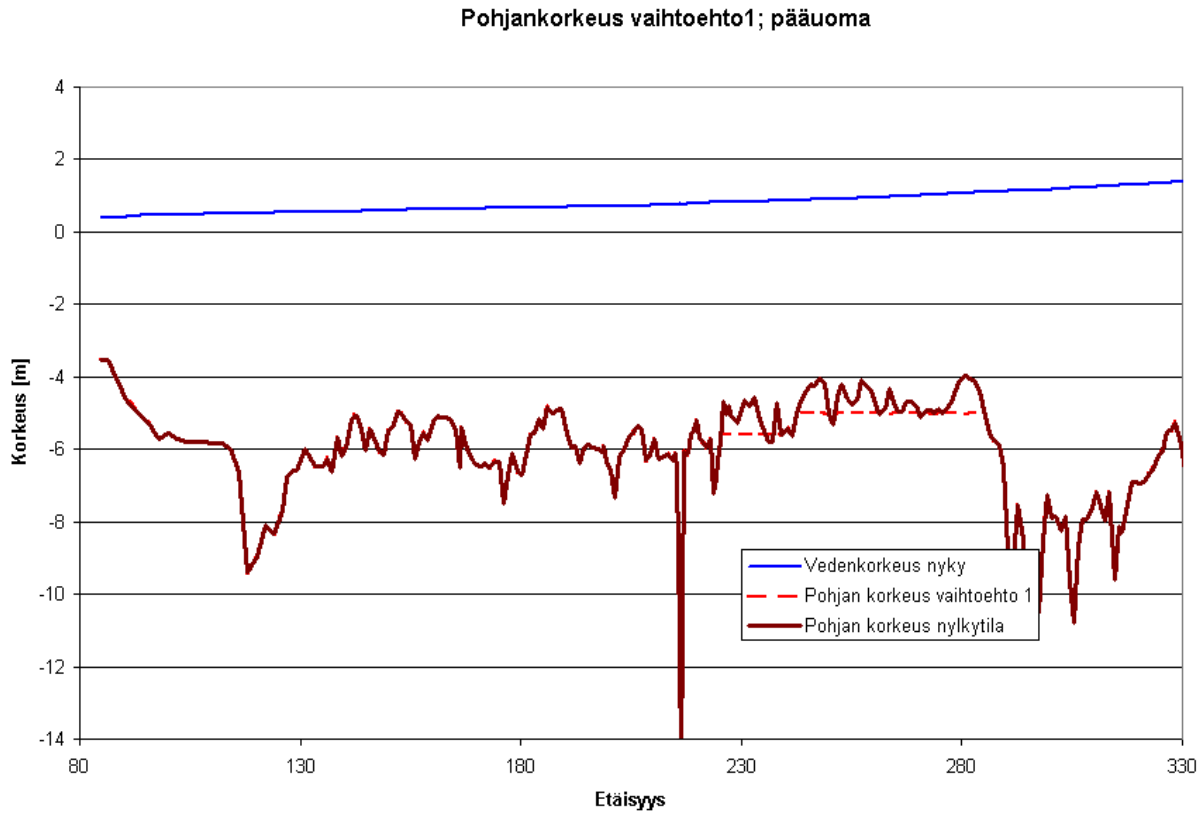
Pääuoman ja Raumanjuovan yläpään perkausten sijainti on esitetty kuvassa 3.1 ja Kyläsaarenjuovan ja Laiskanrännin perkausten sijainti kuvassa 3.2. Kuvassa 3.3 on esitetty pääuoman pituusleikkaus, jossa näkyy vaihtoehto 1:n mukainen uoman perkaus.



Kuva 3.1. Vaihtoehdon 1 mukaisten pääuoman ja Raumanjuovan yläpään ruoppausten sijainti. Linjama (2007).



Kuva 3.2. Vaihtoehdon 1 mukaisten Laiskanrännin ja pääuoman ja Raumanjuovan yläpään perkausten sijainti. Linjama (2007).



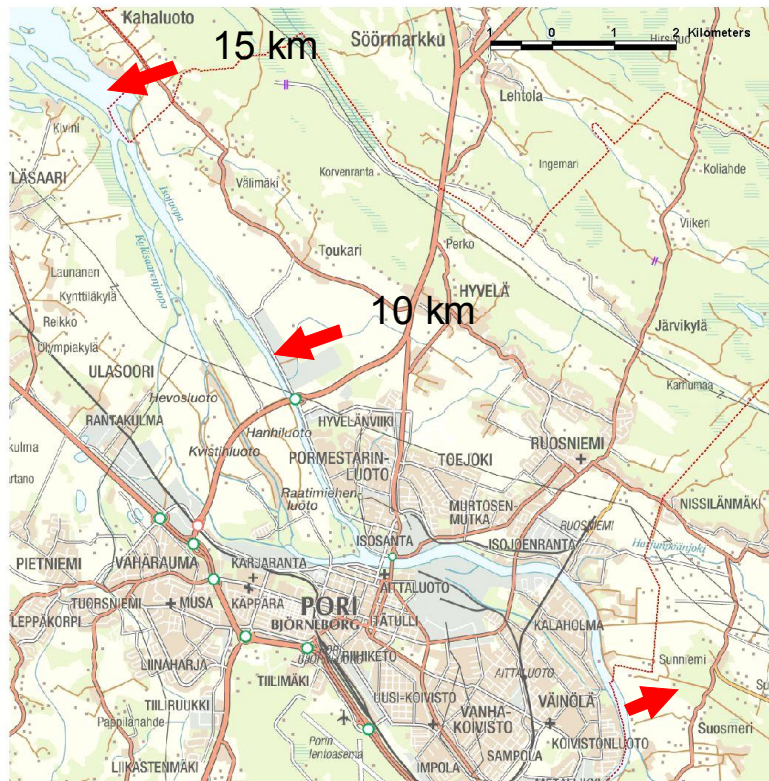
Kuva 3.3. Vaihtoehto 1:n mukainen uoman perkaus pääuomassa.

3.2. Vaihtoehto 2; kaupungin pohjoispuoleinen ohitusuoma

Oikaisu-uomalla voidaan johtaa osa vedestä tulva-alueen tai tulvien muodostumisen kannalta kriittisen alueen ohi. Vaihtoehdossa 2 on selvitetty kaupungin pohjoispuolella olevan oikaisu-uoman vaikutusta jäätyamisen aikaisten hyydepatojen ja jään lähtövaiheen jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin. Oikaisu-uoman on oletettu alkavan Tiimannin kohdalta noin paalulta 285 ja päättyvän vaihtoehtoisesti vanhan kaatopaikan ylävirran puolella (10 km:n uoma, paalu 190) tai Kiviniä vastapäätä (15 km:n uoma, paalu 145). Oikaisu-uoman tarkkaa sijaintia alku- ja loppupäätä lukuun ottamatta ei ole selvitetty tässä yhteydessä. Oikaisu-uoman viitteellinen sijainti on esitetty kuvassa 2.3 ja oikaisu-uoman alku- ja loppupäiden sijainti on esitetty kuvassa 3.4. Oikaisu-uoman sijainti on saatu Porin kaupungilta.

Alkuperäisessä laskentavaihtoehto 2:ssa oli tarkoitus laskea oikaisu-uoman vaikutukset kun oikaisu-uoman pituus on joko 10 km tai 15 km ja uoman pohjan leveys on 30 m. Työn edetessä ilmeni tarve lisätä oikaisu-uomalle vaihtoehtot, jossa uoman pohjan leveys on myös 10 m: Näin saatiin yhteensä neljä erilaista oikaisu-uomavaihtoehtoa, jotka on nimetty seuraavasti:

- 2 a) Oikaisu-uoman pituus on 15 km ja uoman pohjan leveys 30 m
- 2 b) Oikaisu-uoman pituus on 15 km ja uoman pohjan leveys 10 m
- 2 c) Oikaisu-uoman pituus on 10 km ja uoman pohjan leveys 30 m
- 2 d) Oikaisu-uoman pituus on 10 km ja uoman pohjan leveys 10 m



Kuva 3.4 Oikaisu-uoman alku ja loppupäiden sijainti. Oikaisu-uoman on oletettu alkavan Tiimannin kohdalta noin paalulta 285 ja päättyvän vaihtoehtoisesti vanhan kaatopaikan ylävirran puolella (10 km:n uoma, paalu 190) tai Kiviniä vastapäätä (15 km:n uoma, paalu 145).

Kaikissa oikaisu-uomavaihtoehdoissa oikaisu-uoman luiskan kaltevuus on 1:2 ja uoman pohjan taso on uoman alapäässä tasolla N60 -4 m ja uoman yläpäässä tasolla N60 -3m. Uoman syvyys on normaalissa vesitilanteessa siis n. 3-4,5 m.

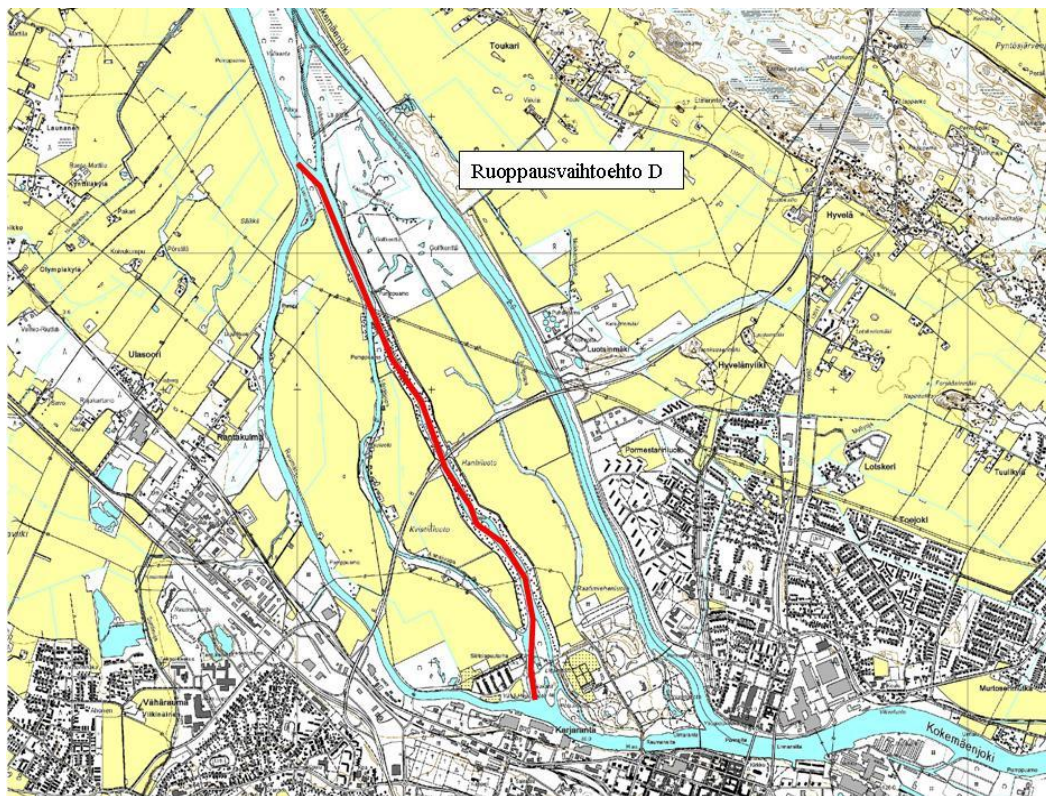
3.3. Vaihtoehto 3; vaihtoehtojen 1 ja 2 yhdistelmä

Vaihtoehto 3 on vaihtoehtojen 1 (uoman perkaus) ja vaihtoehto 2 (oikaisu-uoma) yhdistelmä. Vaihtoehto 3:n laskelmat on nimetty oikaisu-uoman tyyppin mukaan vastaavalla tavalla kuin vaihtoehtosa 2:

- 3 a) Vaihtoehto 1 ja oikaisu-uoma, jonka pituus on 15 km ja uoman pohjan leveys 30 m
- 3 b) Vaihtoehto 1 ja oikaisu-uoma, jonka pituus on 15 km ja uoman pohjan leveys 10 m
- 3 c) Vaihtoehto 1 ja oikaisu-uoma, jonka pituus on 10 km ja uoman pohjan leveys 30 m
- 3 d) Vaihtoehto 1 ja oikaisu-uoma, jonka pituus on 10 km ja uoman pohjan leveys 10 m

3.4. Vaihtoehto 4; Huvilajuovan perkaus

Vaihtoehto 4, Huvilajuovan perkaus, laskettiin jo Porin tulvat –hankkeen yhteydessä. Perkausvaihtoehdossa Huvilajuopa on perattu tasoon N60 -3,0 m, pohjan leveyden ollessa 30 m. Ruopattavan jakson pituus on n. 4,5 km. (kuva 3.5)



Kuva 3.5. Vaihtoehto 4 mukaisen ruoppauksen sijainti Huvilajuovassa.

3.5. Vaihtoehto 5; vaihtoehtojen 1 ja 4 yhdistelmä

Vaihtoehto5 on yhdistelmä vaihtoehtoista 1 ja 4 sillä poikkeuksella , että Raumanjuovan yläosa on ruopattu Kirjurinluodon kärjestä aina Huvilajuovan alkuun asti (PL 88-102). Vastaava ruoppaus oli vaihtoehdossa 1 välille PL 97-102.

Vaihtoehdossa 5 on tehty seuraavat ruoppaukset:

Raumanjuovan yläpää:

PL 88-102, pohjan taso N60 -4,5 m ja pohjanleveys 40 m.

Pääuoma:

PL 227-238, taso N60 -5,6 m, pohjanleveys 60 m

PL 238-285, taso N60 -5,0 m, pohjanleveys 60 m

Laiskanränni: koko matkalta, taso N60 -4,5 m, pohjanleveys 18 m

Kyläsaarenjuovan alapää: PL 7-10, taso N60 -4,0 m, pohjanleveys 40 m.

Huvilajuopa: koko matkalta tasoon N60 -3,0 m, pohjan leveys 30 m

3.6. Vaihtoehto 6; Laiskanrännin perkaus Pihlavanlahdelle asti

Laiskanrännin uomaa oikaisu-uoman kohdalta suoraan länteen. Näin edistetään veden purkautumista Laiskanrännin kautta Kivinin hyydealueen ohi merelle. Ruoppauksen linjaus on esitetty kuvassa 3.6.

Tässä vaihtoehdossa ruoppauksen pohjantaso on N60-5 m ja pohjan leveys 20 m.



Kuva 3.6. Vaihtoehto 6:n mukaisen Laiskanrännin ruoppauksen sijainti.

3.7. Vaihtoehto 7; vaihtoehtojen 1 ja 6 yhdistelmä

Vaihtoehdossa 7, joka on vaihtoehtojen 1 ja 7 yhdistelmä on tehty seuraavat ruoppaukset:

Raumanjuovan yläpää:

PL 97-102, pohjan taso N60 -4,5 m ja pohjanleveys 40 m.

Pääuoma:

PL 227-238, taso N60 -5,6 m, pohjanleveys 60 m

PL 238-285, taso N60 -5,0 m, pohjanleveys 60 m

Laiskanrännin ruoppaus Pihlavanlahdelle: koko matkalta, taso N60 -5 m, pohjanleveys 20 m

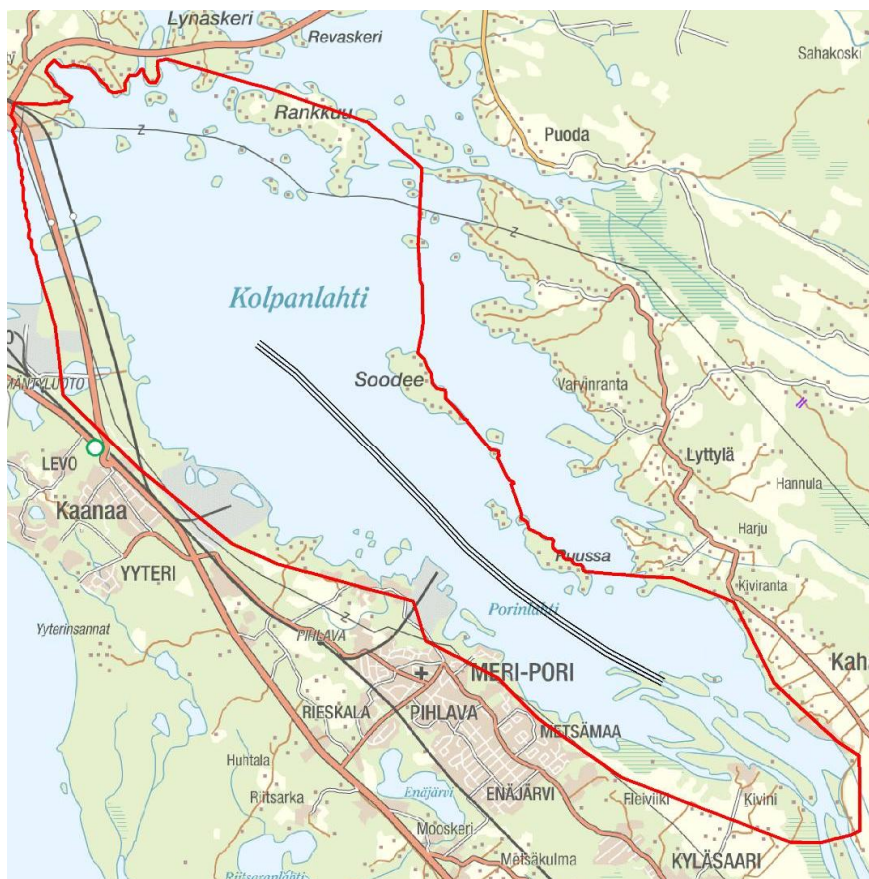
Laiskanrännin liittyminen pääuomaan: taso N60 -4,5 m, pohjanleveys 18 m

Kyläsaarenjuovan alapää: PL 7-10, taso N60 -4,0 m, pohjanleveys 40 m.

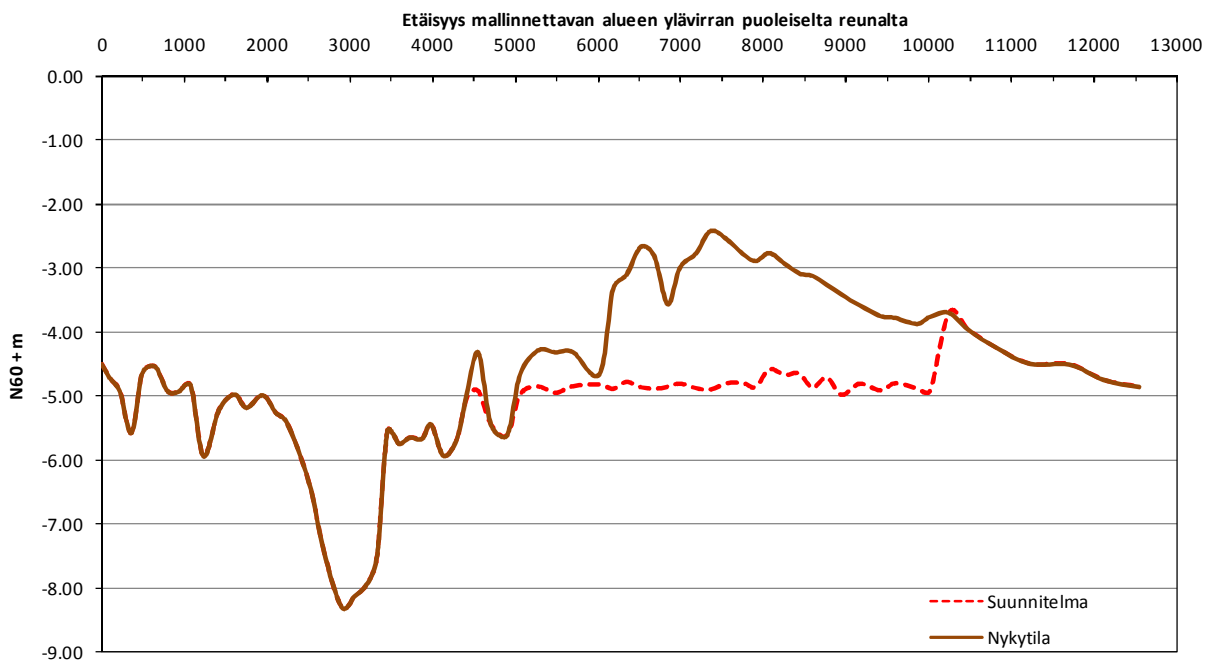
3.8. Vaihtoehto 8; Pääuoman ruoppaaminen ulommas Pihlavanlahdelle

Vaihtoehto 8 on pääuoman ruoppaaminen ulommas Pihlavanlahdelle. Vaihtoehto 8 on laskettu 2D-virtausmalli ilman jääkannen ja hyhydepatojen mallintamista. 2D-mallin tuloksista voidaan kuitenkin tehdä päätelmiä myös perkausvaihtoehdon vaikutuksista jääolosuhteisiin.

Vaihtoehdossa 8 oletetaan pääuomassa tehdyksi seuraavanlainen ruoppaus: PL n. 50-120, pohjan leveys 100 m, taso keskilinjalla N60 -5,0 m ja reunoilla N60 -4,0 m.



Kuva 3.7. Vaihtoehto 8:n ruoppauslinja ja mallinnettavan alueen raja.



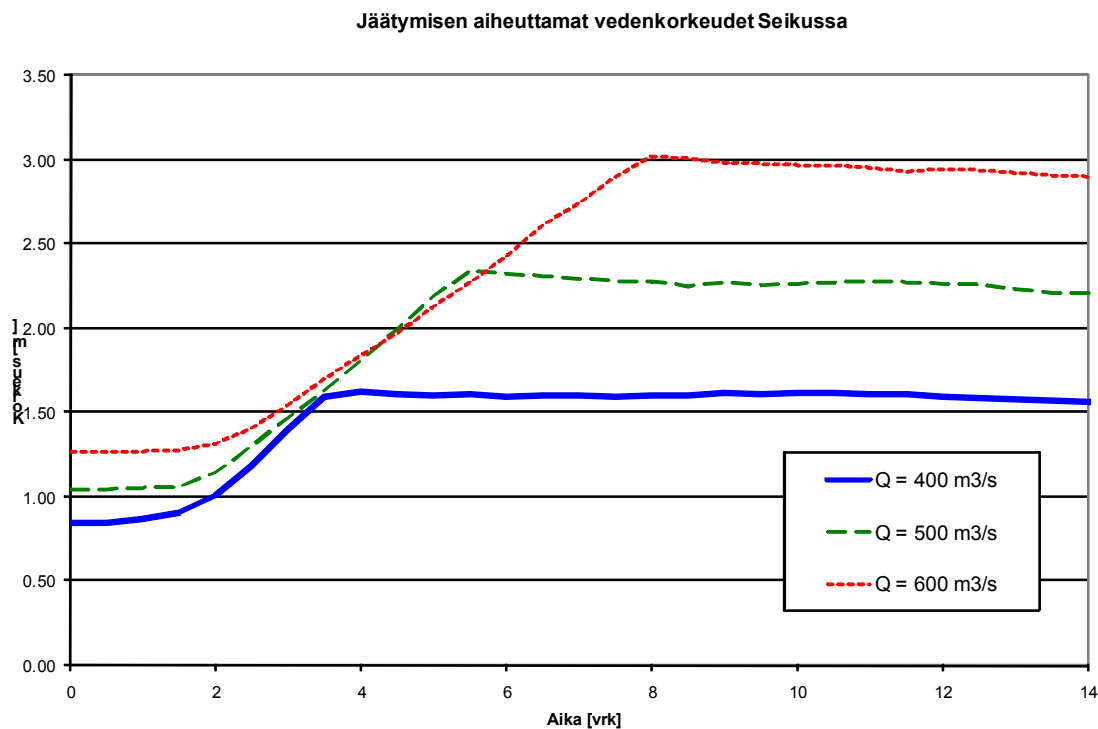
Kuva 3.8. Vaihtoehto 8:n ruoppauksen keskilinjan pituusleikkaus.

4. Suunnitteluvaihtoehtojen vaikutukset hyydepatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin

4.1. Hyydepatojen aiheuttamien vedenkorkeuksien laskennassa käytetyt lähtötiedot

Jääkannen ja suppopatojen muodostumista on selvitetty virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s. Selvityksissä on käytetty "vakio" säätilaa, jolloin ilman lämpötilan on oletettu laskevan nopeasti (vuorokauden kuluessa) arvosta +3 °C lopulliseen arvoonsa -15°C. Laskentaa on jatkettu ilman lämpötilalla -15 °C lähes kolmen viikon (19 vuorokauden) ajan. Laskennassa käytetyt virtaamat ovat niin suuria, että jokeen ei muodostu reunajään aiheuttamia sillakkeita, vaan jääkannen muodostuminen alkaa joen alajuoksulta mereltä ja jääkansi etenee ylävirran suuntaa kasaantumalla.

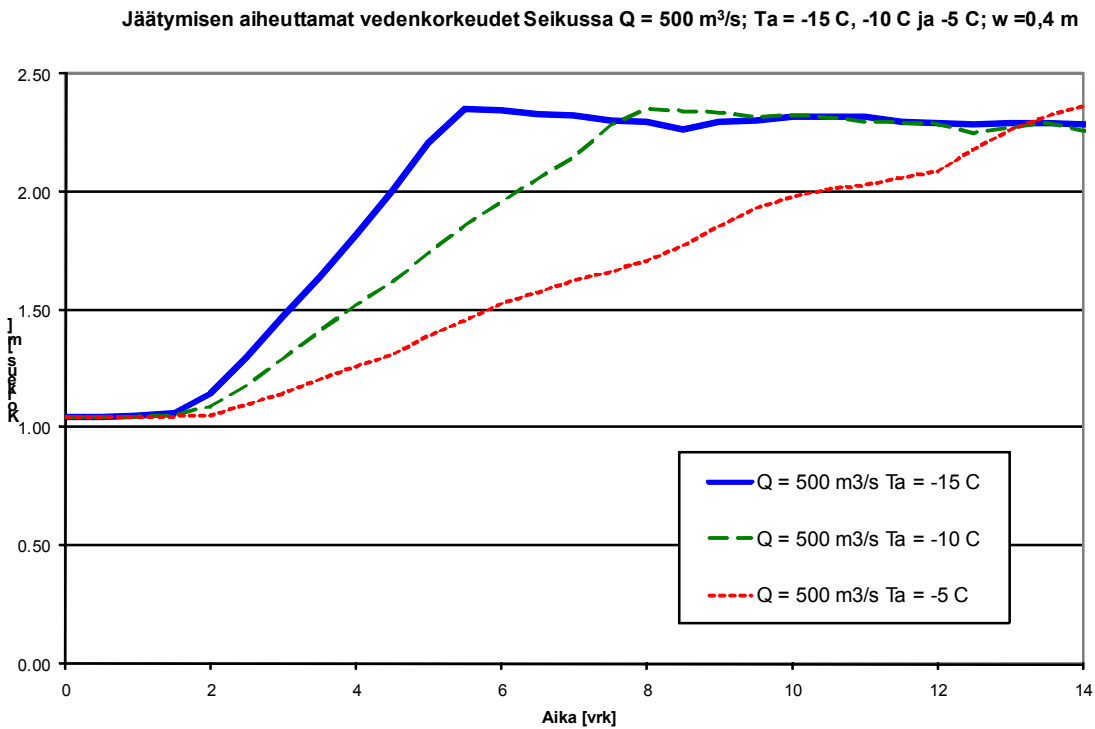
Kuvassa 4.1. on esitetty jääkannen muodostumisen ja hyydepatojen aiheuttama vedenkorkeuden nousu Seikussa virtaamilla 400, 500 ja 600 m³/s laskelmissa käytetyllä säätilanteella.



Kuva 4.1. Jääkannen muodostumisen ja hyydepatojen aiheuttama vedenkorkeuden nousu Seikussa (paalu 234,90) virtaamilla 400, 500 ja 600 m³/s. Suuremmalla virtaamalla vedenkorkeuden nousu tapahtuu hitaammin, mutta vesi nousee korkeammalle kuin pienellä virtaamalla.

Säätilan vaikutusta jääkannen muodostumisesta ja hyydepadoista aiheutuvaan vedenkorkeuden nousun nopeuteen selvitettiin Porin tulvat hankkeessa. Kuvassa 4.2 on esitetty vedenkorkeuden nousu virtaamalla 500 m³/s kun ilman lämpötila on -15, 10 ja -5 °C.

Käytännössä virtaama ei talvella pysy näin pitkään näin suurena ($500 \text{ m}^3/\text{s}$ tai $600 \text{ m}^3/\text{s}$), jos ilman lämpötila on pitkään hyvin kylmä ($-15 \text{ }^\circ\text{C}$). Selvityksen antamia vedenkorkeuksia kaupungin kohdalla voidaan kuitenkin käyttää myös esimerkiksi tilanteessa, jossa jääkansi on aikaisemmassa talven vaiheessa muodostunut jokeen ja sään lauhtuessa (lauha sadejakso keskellä talvea) sulanut niin, että jääkannen reuna on Kirjurinluodon kohdalla. Jos sää tällöin nopeasti kylmenee, mutta virtaamat ovat edelleen suuret, ollaan tilanteessa, jossa jääkansi muodostuu kaupungin kohdalle suurella virtaamalla.

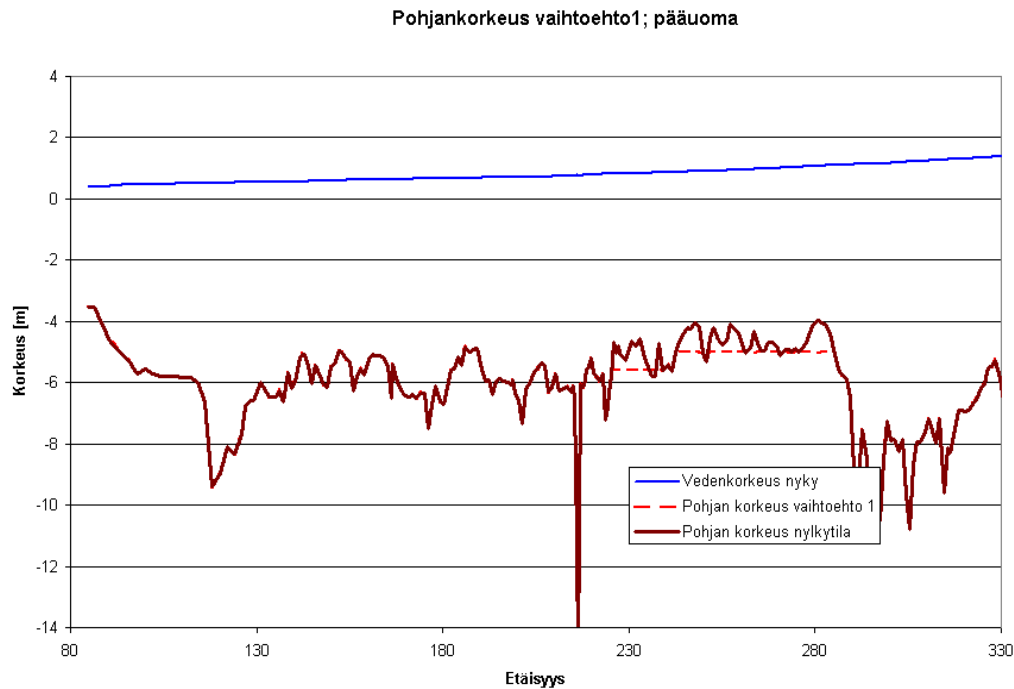


Kuva 4.2. Ilman lämpötilan vaikutus vedenkorkeuden nousuun Seikussa (paalu 234,90) kun virtaama on $500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Laskelmissa ei ole huomioitu veden virtausta penkereiden yli tulva-alueelle vaan penkereiden on oletettu olevan "riittävän korkeat". Tämä mahdollistaa tarvittavan pengerkorkeuden määrittämisen, mutta aiheuttaa sen, että suurimmilla käsitellyillä virtaamilla laskentatulokset antavat nykytilanteessa liian suuria vedenkorkeuden arvoja.

4.2. Vaihtoehto 1; Uoman perkaus

Vaihtoehdossa 1 on tehty laaja perkaus kaupungin keskustan kohdalla pääuomassa (pl 227-285), Raumanjuovan yläpäässä ja alhaalla suistossa laiskanrännin kohdalla. Kuvassa 4.3 on esitetty pääuoman pohjan korkeus nykytilassa ja vaihtoehto 1:n mukaisen perkauksen jälkeen.



Kuva 4.3. Vaihtoehto 1:n mukainen uoman perkaus pääuomassa.

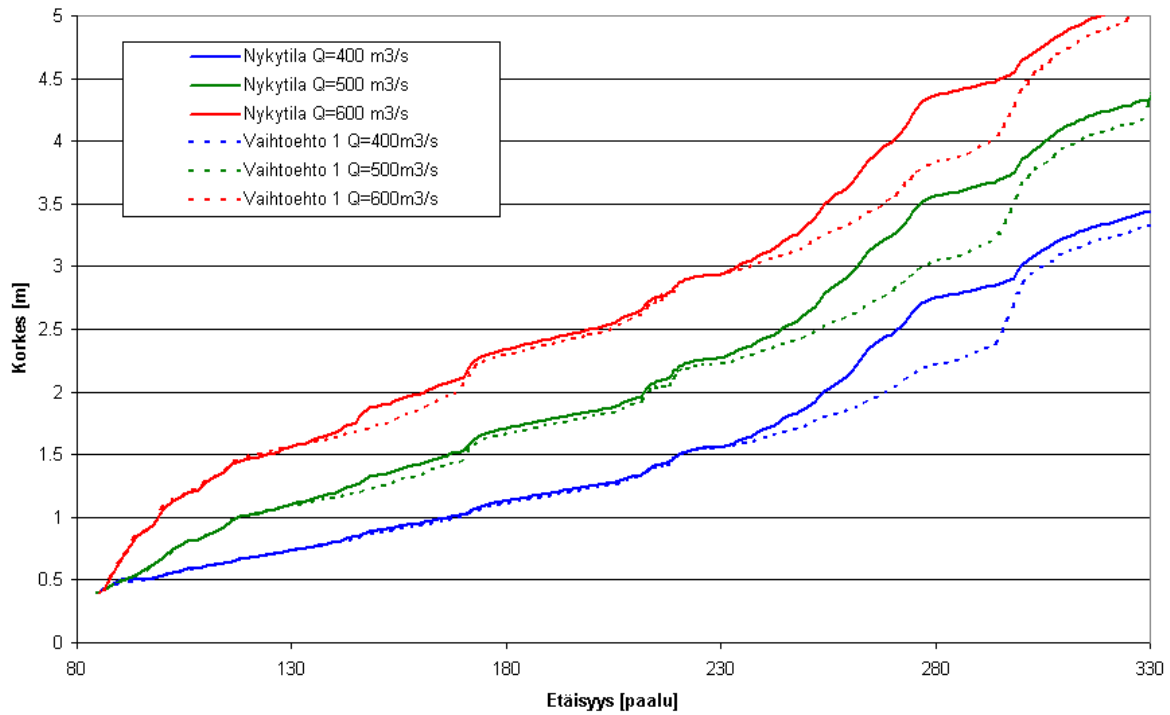
Kuvassa 4.4. on esitetty jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet nykytilan ja vaihtoehto yhden mukaisissa laskelmissa.

Suistoalueen perkauksella saatava vedenkorkeuden alenema on Kivinin kohdalla virtaamalla 600 m³/s noin 20 cm. Vaikutus riippuu myös meriveden korkeudesta. Mitä korkeampi merivesi, sitä vähemmän perkaus alentaa tulvakorkeuksia. Laskelmissa meriveden korkeus on ollut N60 +0,4 m. Suiston perkauksen vaikutus on hyvin vähäinen paalusta 180 ylävirtaan.

Kirjurinluodon kärjen kohdalla perkausten vaikutus on hyvin vähäinen, mutta siitä ylävirtaan vaikutus on merkittävä. Tiimannin kohdalla vaikutus on noin 0,5 m.

Tuloksia tarkastellessa on syytä huomata, että jääkannen muodostumisen ja hyydepatojen aiheuttama vedenkorkeuden nousu on huomattavasti todennäköisempi joen suisto-osalla kuin ylempänä joessa.

Nykytilan ja Vaihtoehto1:n vertailu maxw jäätymisvaihe



Kuva 4.4. Suurimmat vedenkorkeudet virtaamalla 400, 500 ja 600 m³/s jäätymisvaiheessa nykytilassa ja suunnitteluvaihtoehto 1:n mukaisessa tilanteessa. Laskelmissa ei ole otettu huomioon veden virtausta pois uomasta, joka alentaisi jonkin verran vedenkorkeuksia sekä nykytilassa että vaihtoehdossa 1.

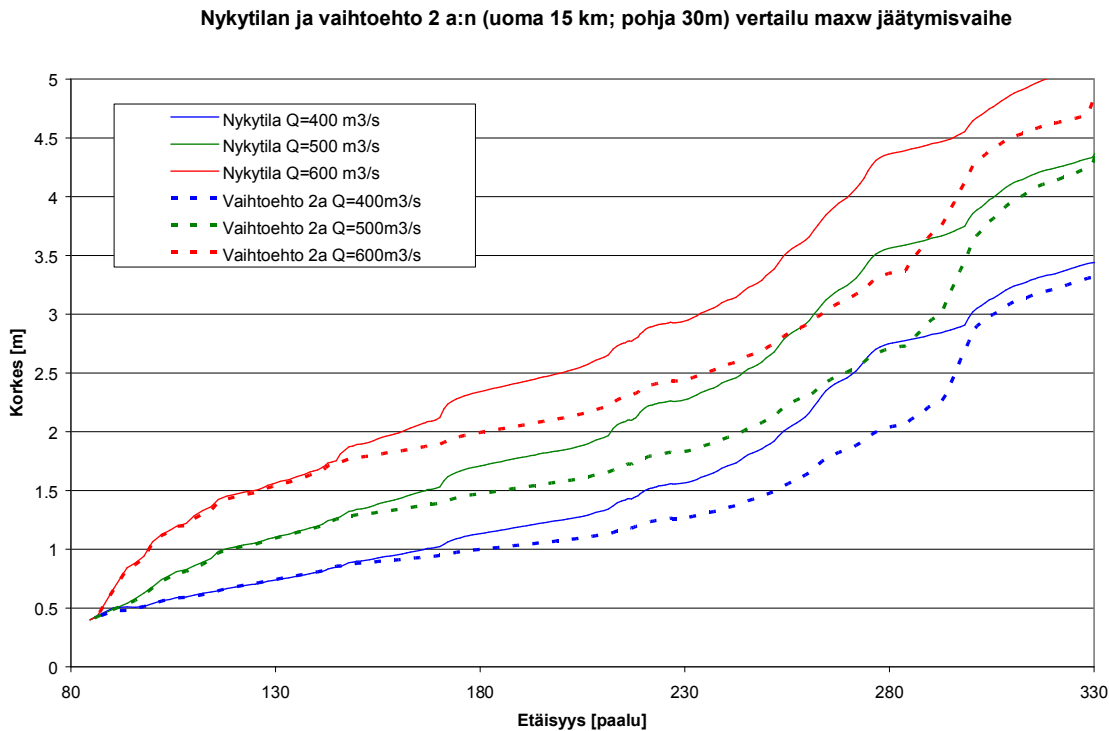
4.3. Vaihtoehto 2; Oikaisu-uoma

4.3.1 Vaihtoehto 2 a; Oikaisu-uoman pituus 15 km ja leveys 30 m

Vaihtoehto 2 a:ssa oikaisu-uoman pituuden on oletettu olevan 15 kilometriä ja pohjan leveyden 30 metriä. Näin iso uoma mahdollistaa suuren virtaaman oikaisu-uomassa. Oikaisu-uoman kautta kulkeva virtaama pienentäisi virtaamaa pääuomassa keskustan kohdalla ja vedenkorkeudet näin alenisivat. Virtausnopeus pysyy oikaisu-uomassa kohtuullisen alhaisena ja mikäli oikaisu-uoman poikkipinta-ala pysyisi kohtuullisen vakiona ilman kapeita kohtia, ei oikaisu-uomassa syntyisi merkittäviä hyydepatoja.

Kuvassa 4.5 on esitetty nykytilan ja vaihtoehto 2 a:n (oikaisu-uoman pituus 15 kilometriä; pohjan leveys 30 metriä) jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s.

Luotsinmäenhaarassa vedenkorkeus alenisi jäätymisvaiheessa vaihtoehto 2 a:n mukaisen oikaisu-uoman vaikutuksesta virtaamalla 600 m³/s noin 30-40 cm. Kaupungin keskustassa vedenkorkeuden alenema olisi virtaamalla 600 m³/s noin 30-50 cm ja Tiimannissa jopa noin yhden metrin luokkaa. Virtaamalla 400 m³/s ja 500 m³/s alenema jäisi pienemmäksi.

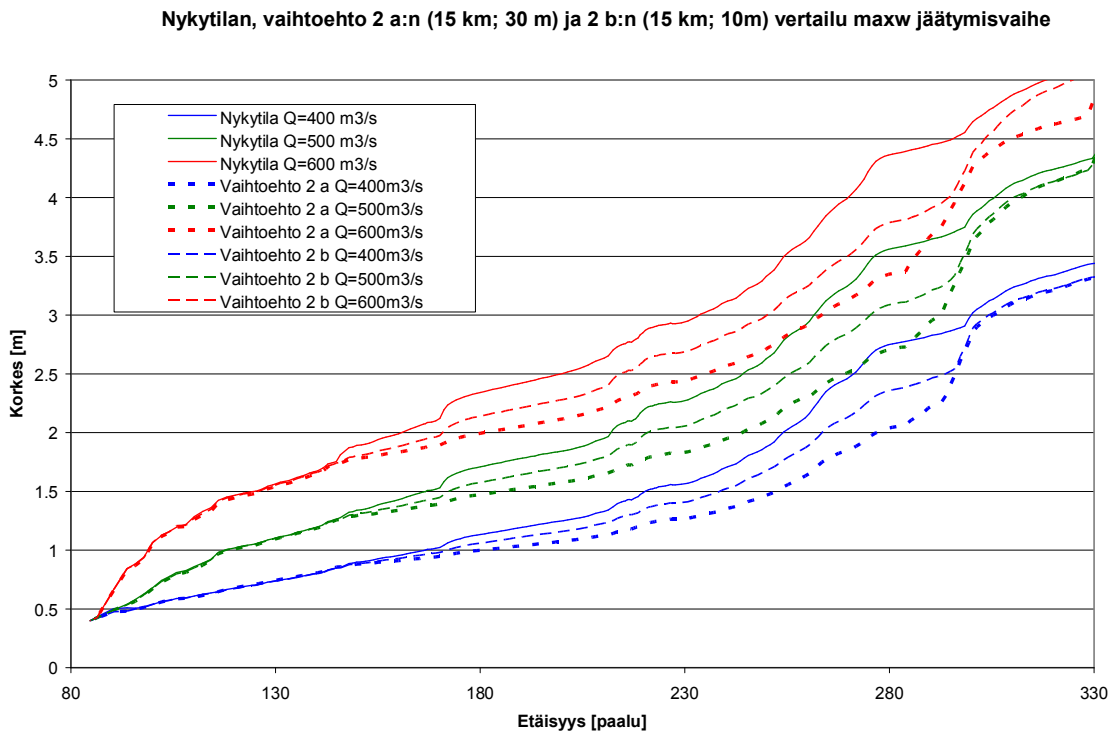


Kuva 4.5. Nykytilan ja vaihtoehto 2 a:n (oikaisu-uoma 15 km; pohjan leveys 30 m) suurimmat vedenkorkeudet jäätymisvaiheessa virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s.

4.3.2 Vaihtoehto 2 b; oikaisu-uoman pituus 15 km ja leveys 10 m

Vaihtoehto 2 b:ssa oikaisu-uoman pituuden on oletettu olevan 15 kilometriä ja pohjan leveyden 10 m. Vaihtoehtoon 2 a verrattuna oikaisu-uoma on paljon kapeampi ja sen välityskyky pienempi. Tästä syystä myös oikaisu-uoman aikaansaama vedenkorkeuden alenema joen jäätymisvaiheessa on pienempi kuin vaihtoehdossa 2 a.

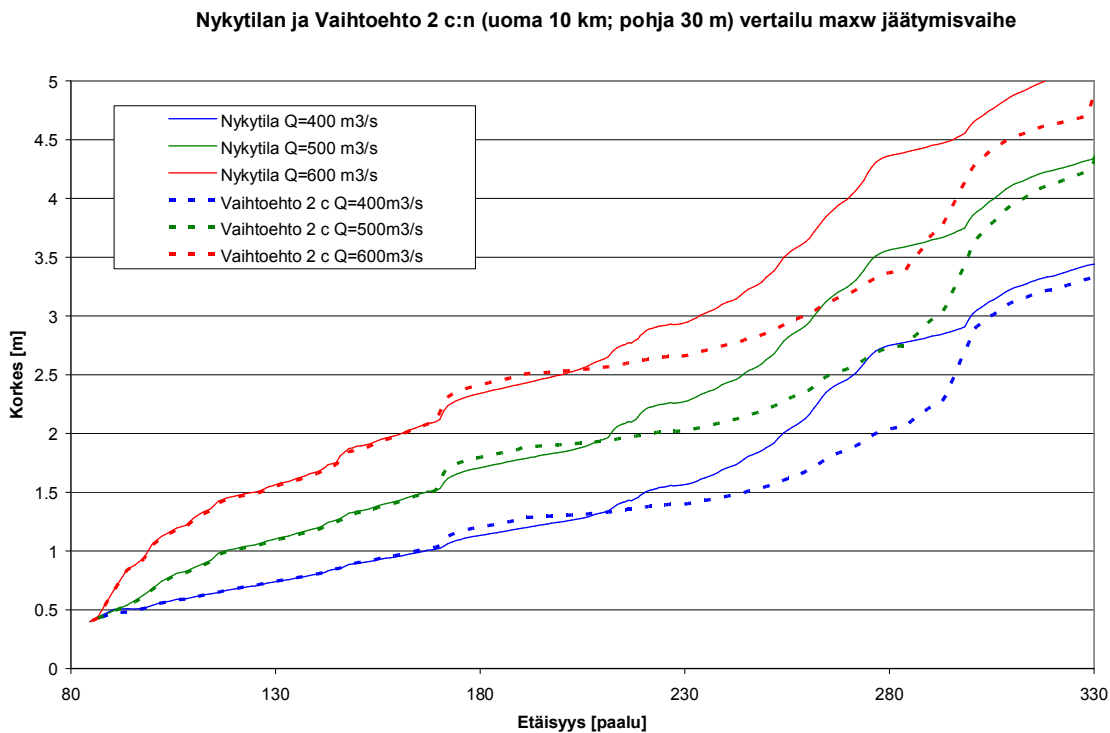
Kuvassa 4.6 on esitetty nykytilan, vaihtoehto 2 a:n ja vaihtoehto 2 b:n mukaiset jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s. Vaihtoehdossa 2 b vedenkorkeuden alenema jää noin puoleen siitä mitä vaihtoehdon 2 a mukainen vedenkorkeuden alenema on.



Kuva 4.6. Nykytilan, vaihtoehto 2 a:n ja vaihtoehto 2 b:n suurimmat vedenkorkeudet jäätymisvaiheessa virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s.

4.3.3 Vaihtoehto 2 c; Oikaisu-uoman pituus 10 km ja leveys 30 m

Vaihtoehto 2 c:ssa oikaisu-uoman pituuden on oletettu olevan 10 kilometriä ja pohjan leveyden 30 metriä. Näin iso uoma mahdollistaa suuren virtaaman oikaisu-uomassa. Kuvassa 4.7. on esitetty nykytilan ja vaihtoehto 2 c:n jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s. Vedenkorkeuden alenemat ovat kaupungin keskustan kohdalla samaa luokkaa kuin vaihtoehdossa 2 a. Vaihtoehdossa 2 c virtaama kuitenkin kasvaa jonkin verran Luotsinmäenhaarassa nykytilan vaihtoehtoon verrattuna ja tästä syystä myös vedenkorkeudet Luotsinmäenhaarassa Golf-kentän ja Pormestarinluodon välillä jonkin verran kasvavat, kuitenkin alle 10 cm.

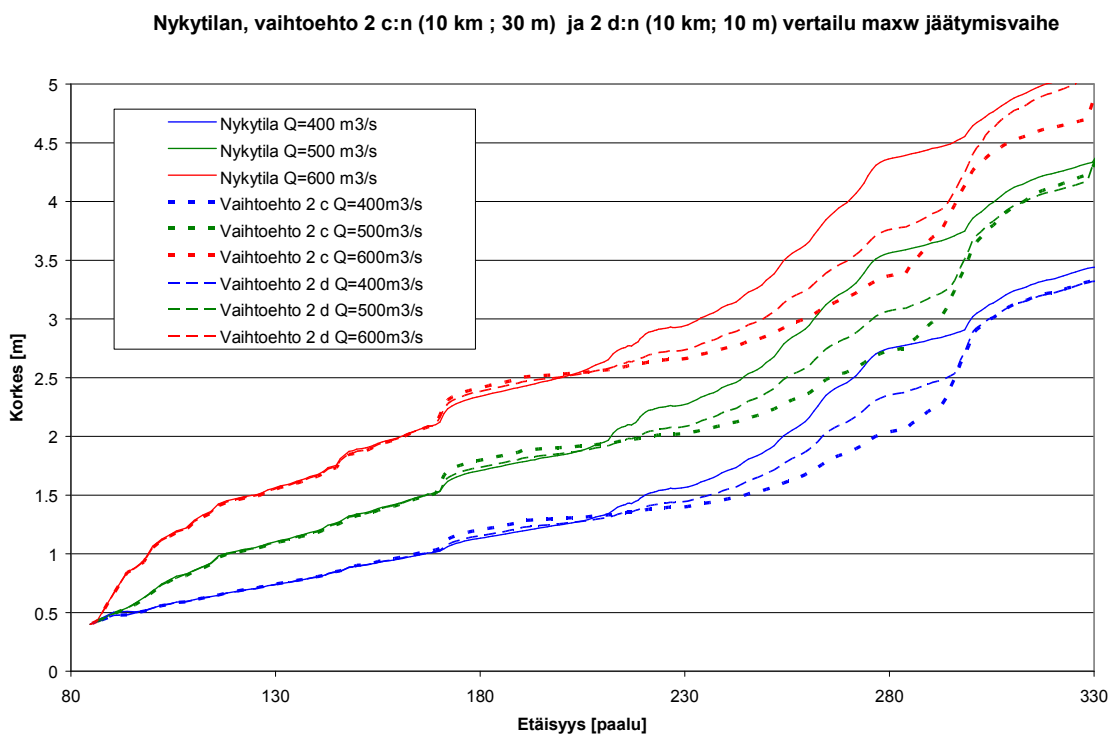


Kuva 4.7. Nykytilan ja vaihtoehto 2 c:n (oikaisu-uoma 10 km; pohjan leveys 30 m) suurimmat vedenkorkeudet jäätymisvaiheessa virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s.

4.3.4 Vaihtoehto 2 d; oikaisu-uoman pituus 10 km ja leveys 10 m

Vaihtoehto 2 d:ssa oikaisu-uoman pituuden on oletettu olevan 10 kilometriä ja pohjan leveyden 10 metriä. Vaihtoehtoon 2 c verrattuna oikaisu-uoma on paljon kapeampi ja sen välityskyky pienempi. Tästä syystä myös oikaisu-uoman aikaansaama vedenkorkeuden alenema joen jäätymisvaiheessa on pienempi kuin vaihtoehdossa 2 c

Kuvassa 4.8 on esitetty nykytilan, vaihtoehto 2 c:n ja vaihtoehto 2 d:n mukaiset jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s. Vaihtoehdossa 2 d vedenkorkeuden alenema jää noin puoleen siitä mitä vaihtoehdon 2 c mukainen vedenkorkeuden alenema on. Vedenkorkeuden nousu Luotsinmäenhaaran alapäässä jää vaihtoehdossa 2 d pienemmäksi kuin vaihtoehdossa 2 c.



Kuva 4.8 Nykytilan, vaihtoehto 2 c:n ja vaihtoehto 2 d:n suurimmat vedenkorkeudet jäätymisvaiheessa virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s. Sekä oikaisu-uoman aiheuttama vedenkorkeuden alenema keskustan kohdalla että lievä vedenkorkeuden nousu Luotsinmäenhaaraan alaosassa jää vaihtoehdossa 2 d pienemmäksi kuin vaihtoehdossa 2 c.

4.4. Vaihtoehto 3; Vaihtoehtojen 1 ja 2 yhdistelmä

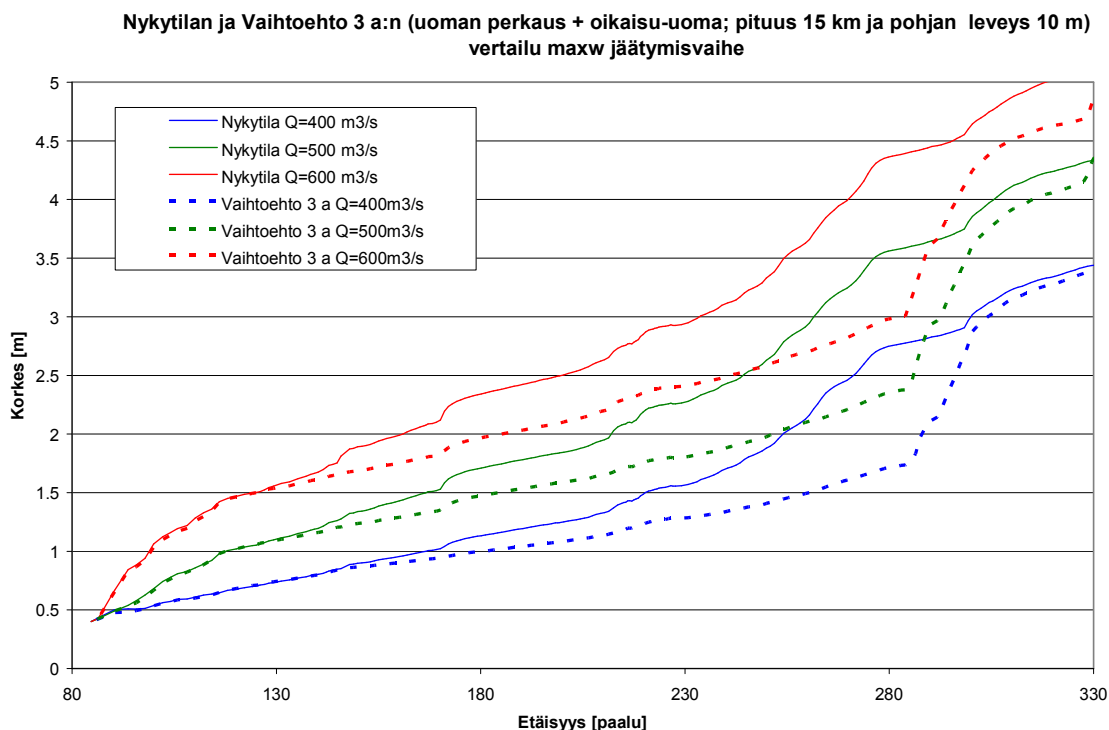
Vaihtoehdossa 3 on oletettu sekä vaihtoehdon 1 mukainen uoman perkaus että vaihtoehdon 2 mukaiset oikaisu-uoman vaihtoehdot rakennetuksi.

4.4.1 Vaihtoehto 3 a; uoman perkaus ja oikaisu-uoman pituus 15 km ja leveys 30 m

Vaihtoehto 2 a:ssa oikaisu-uoman pituuden on oletettu olevan 15 kilometriä ja pohjan leveyden 30 metriä.

Kuvassa 4.9 on esitetty nykytilan ja vaihtoehto 3 a:n (uoman perkaukset + oikaisu-uoma 15 km; pohjan leveys 30 m) jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet virtaamalla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s.

Luotsinmäenhaarassa vedenkorkeus alenisi jäätymisvaiheessa vaihtoehto 3 a:n mukaisen uoman perkauksen oikaisu-uoman vaikutuksesta virtaamalla 600 m³/s suurimmillaan noin 50 cm ja virtaamalla 400 m³/s noin 25 cm. Kaupungin keskustassa suurimmat vedenkorkeudet alenisivat vaihtoehdon toimenpiteiden vaikutuksesta virtaamalla 600 m³/s noin 60-80 cm ja Tiimannissa jopa noin 140 cm. Virtaamalla 400 m³/s ja 500 m³/s alenema jäisi pienemmäksi.

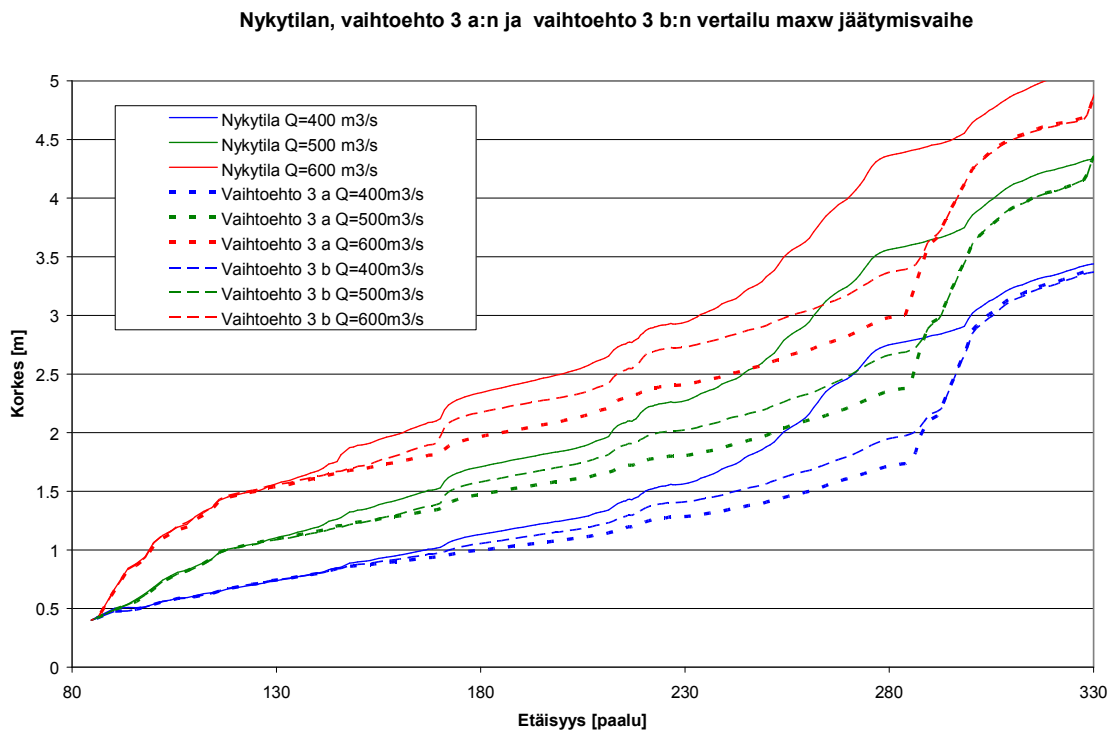


Kuva 4.9. Nykytilan ja vaihtoehto 3 a:n (uoman perkaus + oikaisu-uoma 15 km; pohjan leveys 30 m) suurimmat vedenkorkeudet jäätymisvaiheessa virtaamalla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s.

4.4.2 Vaihtoehto 3 b; uoman perkaus ja oikaisu-uoman pituus 15 km ja leveys 10 m

Vaihtoehto 3 b:ssa oikaisu-uoman pituuden on oletettu olevan 15 kilometriä ja pohjan leveyden 10 metriä. Vaihtoehtoon 3 a verrattuna oikaisu-uoma on paljon kapeampi ja sen välityskyky pienempi. Tästä syystä myös oikaisu-uoman aikaansaama vedenkorkeuden alenema joen jäätymisvaiheessa on pienempi kuin vaihtoehdossa 3 a.

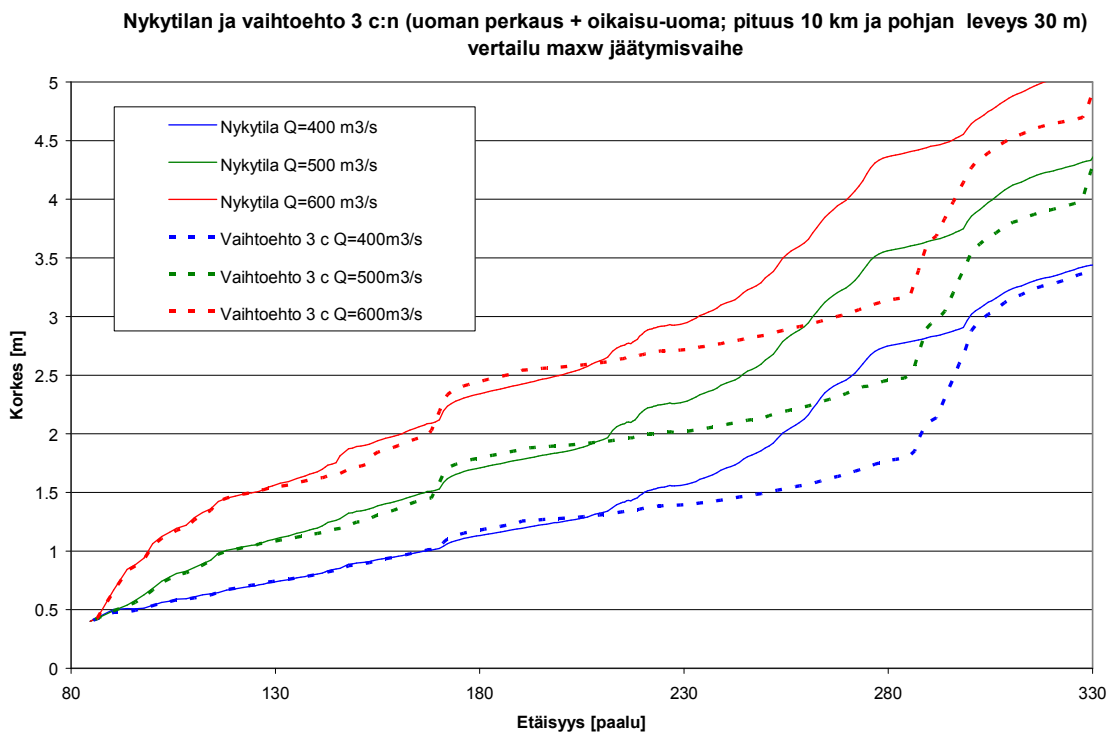
Kuvassa 4.10 on esitetty nykytilan, vaihtoehto 3 a:n ja vaihtoehto 3 b:n mukaiset jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s. Vaihtoehdossa 3 b vedenkorkeuden alenema jää noin puoleen siitä mitä vaihtoehdon 3 a mukainen vedenkorkeuden alenema on.



Kuva 4.10. Nykytilan, vaihtoehto 3 a:n ja vaihtoehto 3 b:n suurimmat vedenkorkeudet jäätymisvaiheessa virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s.

4.4.3 Vaihtoehto 3 c; Uoman perkaus ja oikaisu-uoman pituus 10 km ja leveys 30 m

Vaihtoehto 3 c:ssa oikaisu-uoman pituuden on oletettu olevan 10 kilometriä ja pohjan leveyden 30 metriä. Näin iso uoma mahdollistaa suuren virtaaman oikaisu-uomassa. Kuvassa 4.11 on esitetty nykytilan ja vaihtoehto 3 c:n jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s. Vedenkorkeuden alenemat ovat kaupungin keskustan kohdalla samaa luokkaa kuin saamaa luokkaa kuin vaihtoehdossa 3 a. Vaihtoehdossa 3 c virtaama kuitenkin kasvaa jonkin verran Luotsinmäenhaarassa nykytilan vaihtoehtoon verrattuna ja tästä syystä myös vedenkorkeudet Luotsinmäenhaaran alaosalla jonkin verran kasvavat.

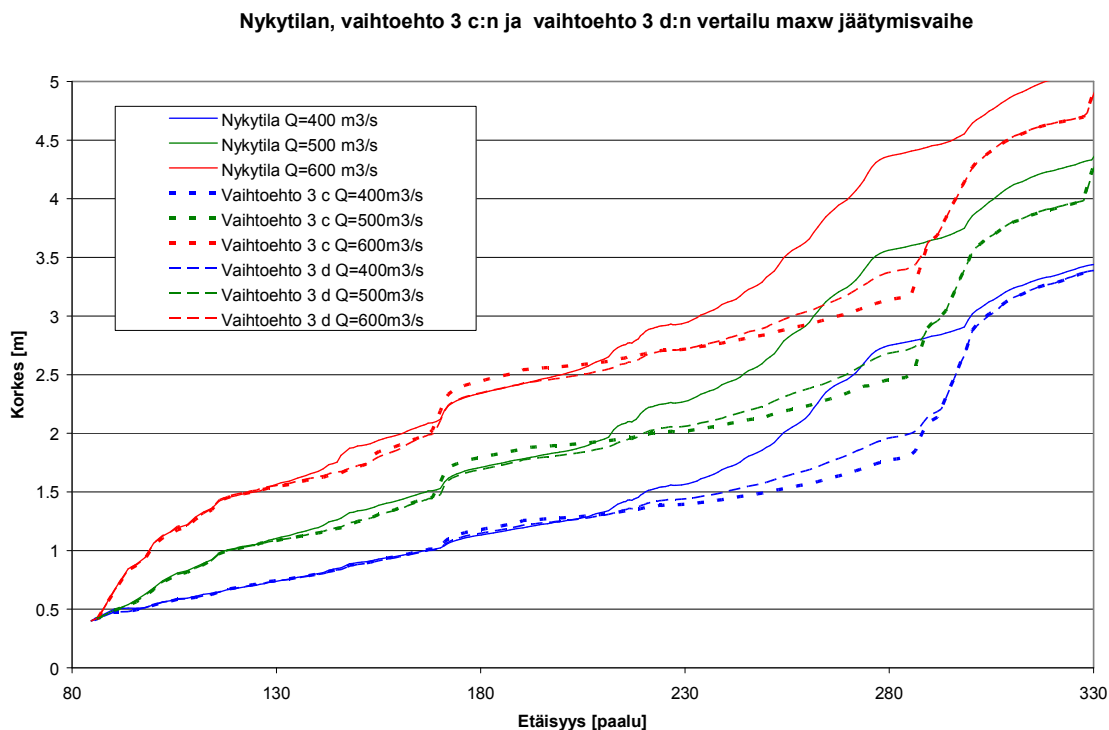


Kuva 4.11. Nykytilan ja vaihtoehto 3 c:n (oikaisu-uoma 10 km; pohjan leveys 30 m) suurimmat vedenkorkeudet jäätymisvaiheessa virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s.

4.4.4 Vaihtoehto 3 d; uoman perkaus ja oikaisu-uoman (pituus 10 km, leveys 10 m)

Vaihtoehto 3 d:ssa oikaisu-uoman pituuden on oletettu olevan 10 kilometriä ja pohjan leveyden 10 metriä. Vaihtoehtoon 3 c verrattuna oikaisu-uoma on paljon kapeampi ja sen välityskyky pienempi. Tästä syystä myös oikaisu-uoman aikaansaama vedenkorkeuden alenema joen jäätymisvaiheessa on pienempi kuin vaihtoehdossa 3 c.

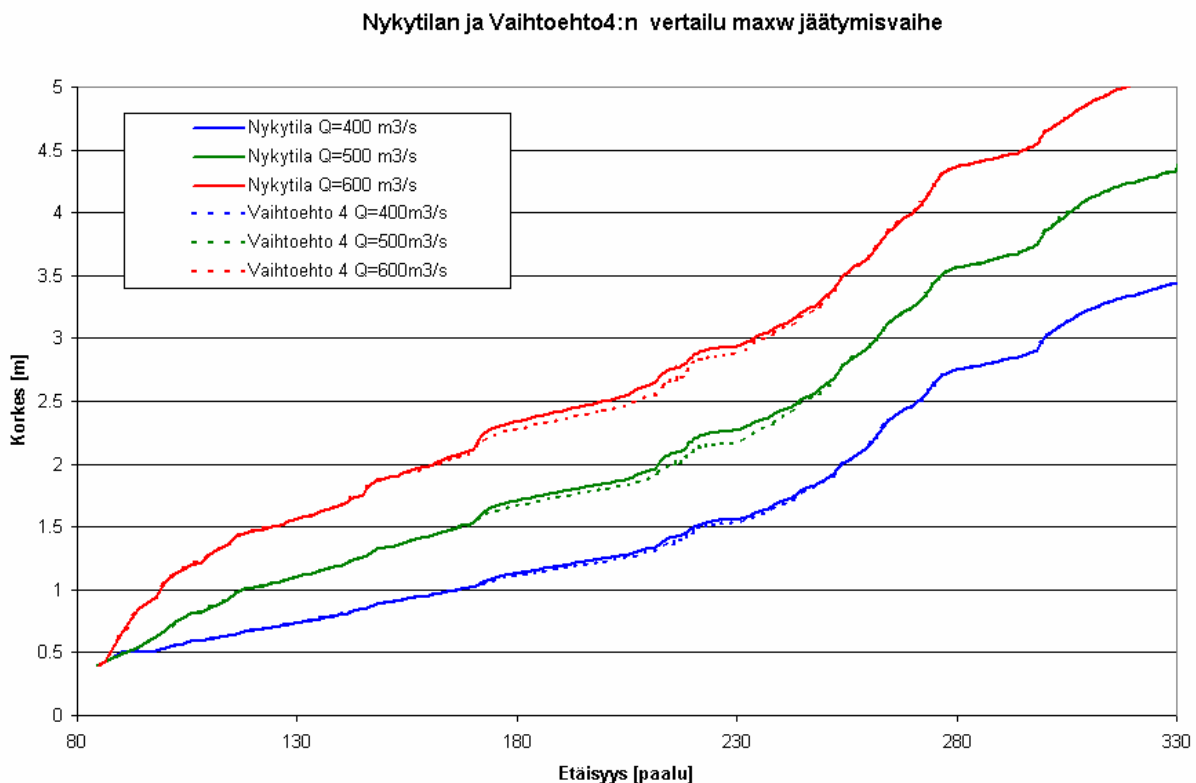
Kuvassa 4.12 on esitetty nykytilan, vaihtoehto 3 c:n ja vaihtoehto 3 d:n mukaiset jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet virtaamalla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s. Vaihtoehdossa 3 d vedenkorkeuden alenema jää jonkin verran pienemmäksi siitä mitä vaihtoehdon 3 c mukainen vedenkorkeuden alenema on. Vedenkorkeuden nousu Luotsinmäenhaaran alapäässä jää vaihtoehdossa 3 d pienemmäksi kuin vaihtoehdossa 3 c.



Kuva 4.12. Nykytilan, vaihtoehto 3 c:n ja vaihtoehto 3 c:n suurimmat vedenkorkeudet jäätymisvaiheessa virtaamalla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s. Sekä oikaisu-uoman aiheuttama vedenkorkeuden alenema keskustan kohdalla että lievä vedenkorkeuden nousu Luotsinmäenhaaraan alaosassa jää vaihtoehdossa 3 d pienemmäksi kuin vaihtoehdossa 3 c.

4.5. Vaihtoehto 4; Huvilajuovan perkaus

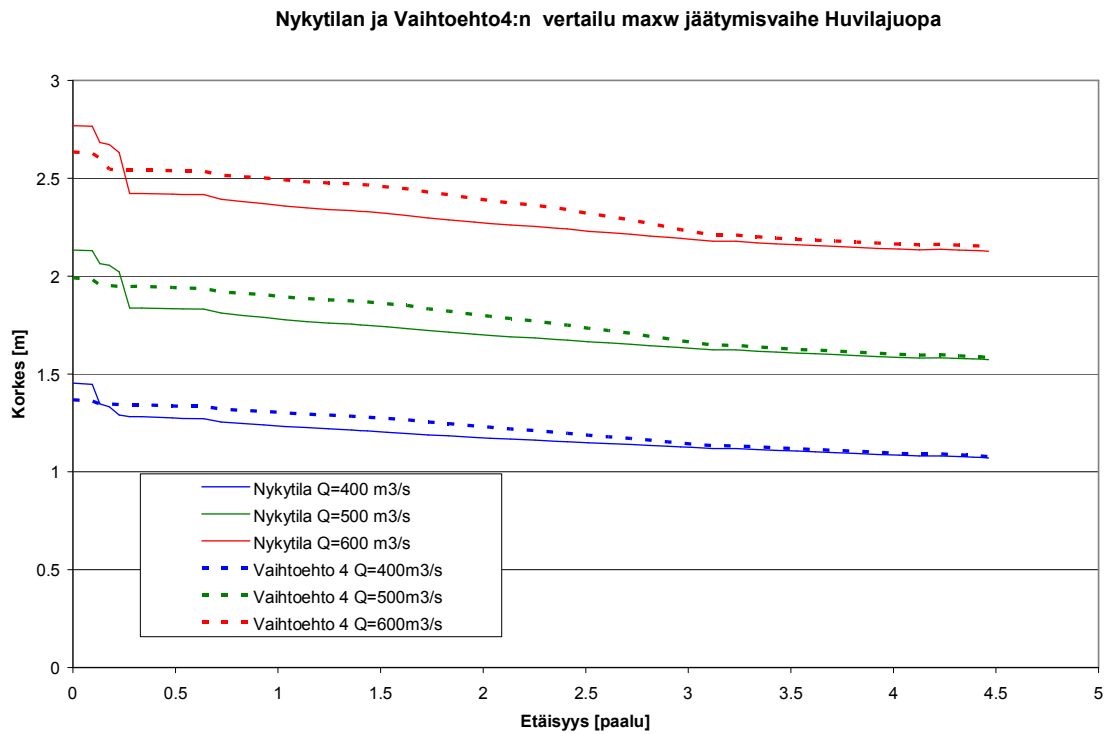
Huvilajuovan perkaus (pohjan taso N60 -3,0 m, pohjan leveys 30 m, ruoppauksen pituus n. 4,5 kilometriä) lisää virtausta Huvilajuovassa, mutta pienentää virtausta Luotsinmäenhaarassa ja Raumanjuovan alapäässä. Tämän seurauksena jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet pienenevät jonkin verran pääuomassa Golfkentän ja Seikun välisellä jaksolla. Alenema on kuitenkin pääuomassa varsin pieni. Suurimmillaan se on virtaamalla 600 m³/s ollen noin 10 cm. Pienemmillä virtaamilla myös alenema jää pienemmäksi (kuva 4.13).



Kuva 4.13. Suurimmat vedenkorkeudet pääuomassa virtaamilla 400, 500 ja 600 m³/s jäätymisvaiheessa nykytilassa ja suunnitteluvaihtoehto 4:n mukaisessa tilanteessa. Laskelmissa ei ole otettu huomioon veden virtausta pois uomasta, joka alentaisi jonkin verran vedenkorkeuksia sekä nykytilassa että vaihtoehdossa 4.

Nykytilanteessa virtaama Huvilajuovassa on noin 18 m³/s kun pääuoman virtaama on 400 m³/s. Vastaavasti Huvilajuovan virtaama on nykytilassa noin 25 m³/s kun pääuoman virtaama on 500 m³/s ja noin 32 m³/s kun pääuomassa virtaama on 600 m³/s. Perkauksen vaikutuksesta Huvilajuovan virtaama kasvaisi noin arvoon 33 m³/s (pääuoman virtaamalla 400 m³/s), 44 m³/s (pääuoman virtaamalla 500 m³/s) ja 55 m³/s (pääuoman virtaamalla 600 m³/s). Uomaston jäätyminen edetessä Huvilajuovan virtaama kasvaa jonkin verran suhteessa Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan alaosan virtaamaan, mutta palaa vähitelle kohti lähtötilanteen arvoja.

Virtaaman lisääntyminen aiheuttaa kuitenkin vedenkorkeuden nousua Huvilajuovassa nykytilaan verrattuna aivan Huvilajuovan yläosaa lukuun ottamatta Kuvassa 4.14 on esitetty jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet Huvilajuovassa pääuoman virtaamilla 400 m³/s, 500 m³/s ja 600 m³/s. Vedenkorkeudet kasvavat Huvilajuovan yläosassa ensimmäistä 200 m lukuun ottamatta noin 10 cm:llä nykytilaan verrattuna kun pääuoman virtaama on 600 m³/s.



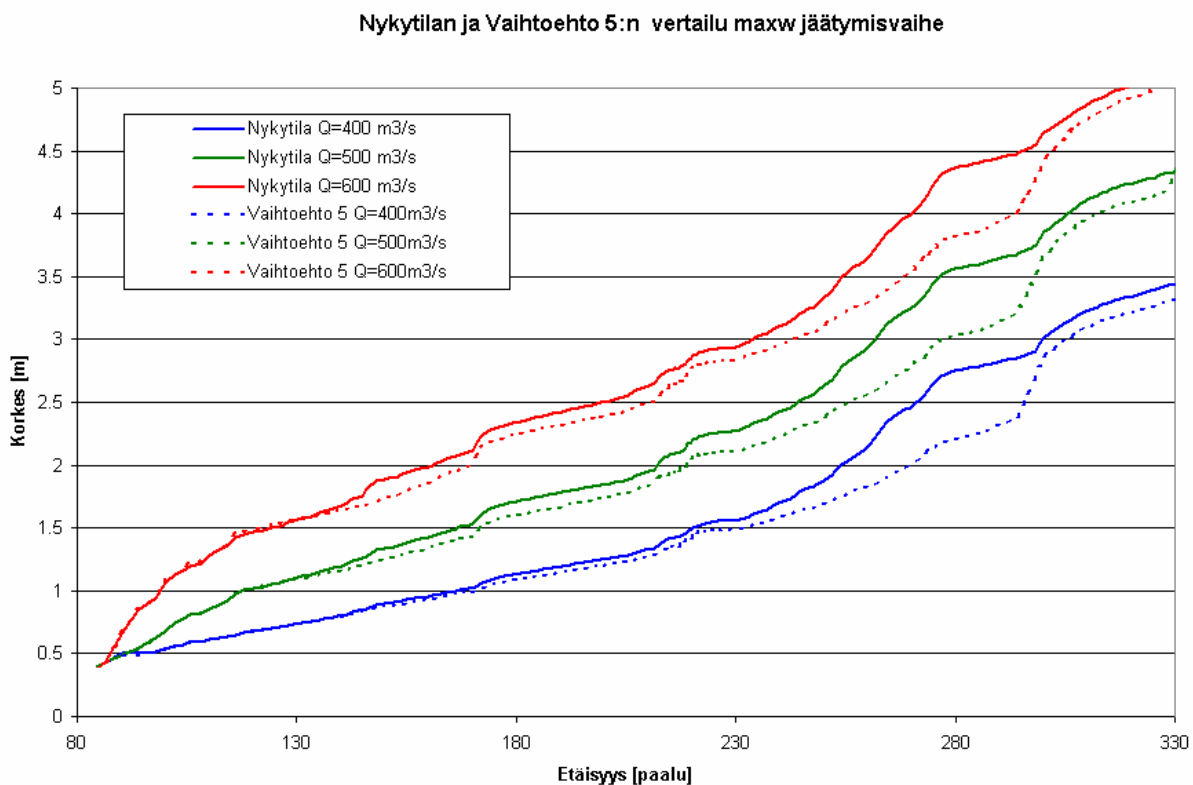
Kuva 4.14. Suurimmat vedenkorkeudet Huvilajuovassa, Hevosluodonjuovassa ja Kolmihaarassa virtaamilla 400, 500 ja 600 m³/s jäätymisvaiheessa nykytilassa ja suunnitteluvaihtoehto 4:n mukaisessa tilanteessa. Laskelmissa ei ole otettu huomioon veden virtausta pois uomasta, joka alentaisi jonkin verran vedenkorkeuksia sekä nykytilassa että vaihtoehdossa 4.

4.6. Vaihtoehto 5; vaihtoehtojen 1 ja 4 yhdistelmä

Vaihtoehdossa 5 on yhdistetty Huvilajuovan perkaus (vaihtoehto 4) laajaan perkaukseen pääuomassa ja suistossa (vaihtoehto 1). Lisäksi Raumanjuovan yläpää on perattu Huvilajuovan yhtymäkohtaan asti (PL 88-102).

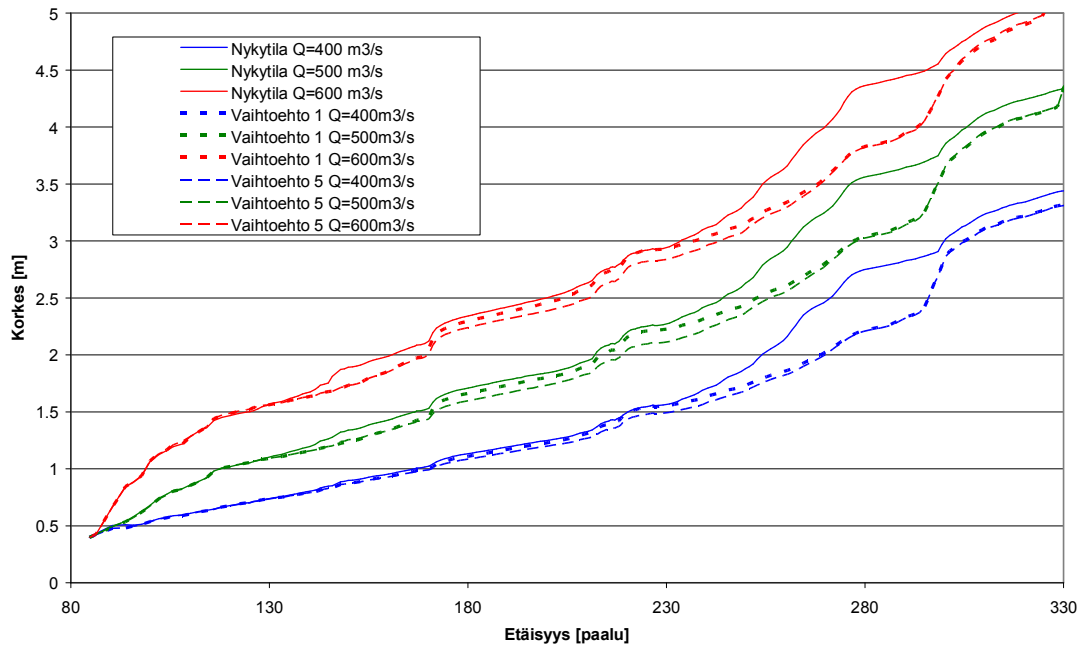
Pääuoman osalta vaihtoehto 5:n vaikutukset jäätymisvaiheen suurimpiin vedenkorkeuksiin (kuva 4.15) on hyvin samanlainen kuin vaihtoehto 1:n vaikutukset. Kirjurinluodon kärjen alapuolella vaikutus on melko vähäinen, mutta kasvaa ylävirtaan mennessä vähitellen ollen Tiimannissa (PL 280) noin 50 cm. Kuvassa 4.16 on esitetty sekä vaihtoehdon 5 että vaihtoehdon 1 vaikutukset jäätymisvaiheen suurimpiin vedenkorkeuksiin nykytilanteeseen verrattuna. Vaihtoehdon 5 mukaiset vedenkorkeudet ovat Luotsinmäenhaaran yläosassa enimmillään noin 15 cm alempana kuin vastaavat vaihtoehto 1:n mukaiset vedenkorkeudet. Muualla pääuomassa ero on pienempi.

Huvilajuovan perkaus lisää virtaamaa huvilajuomassa samaan tapaan kuin vaihtoehto 4:ssä. Virtaaman lisäyksestä johtuen vedenkorkeudet kasvavat Huvilajuovassa aivan uoman yläosaa lukuun ottamatta (kuva 4.17). Vedenkorkeudet jäävät kuitenkin muutaman cm alemmaksi kuin vaihtoehdossa 5.



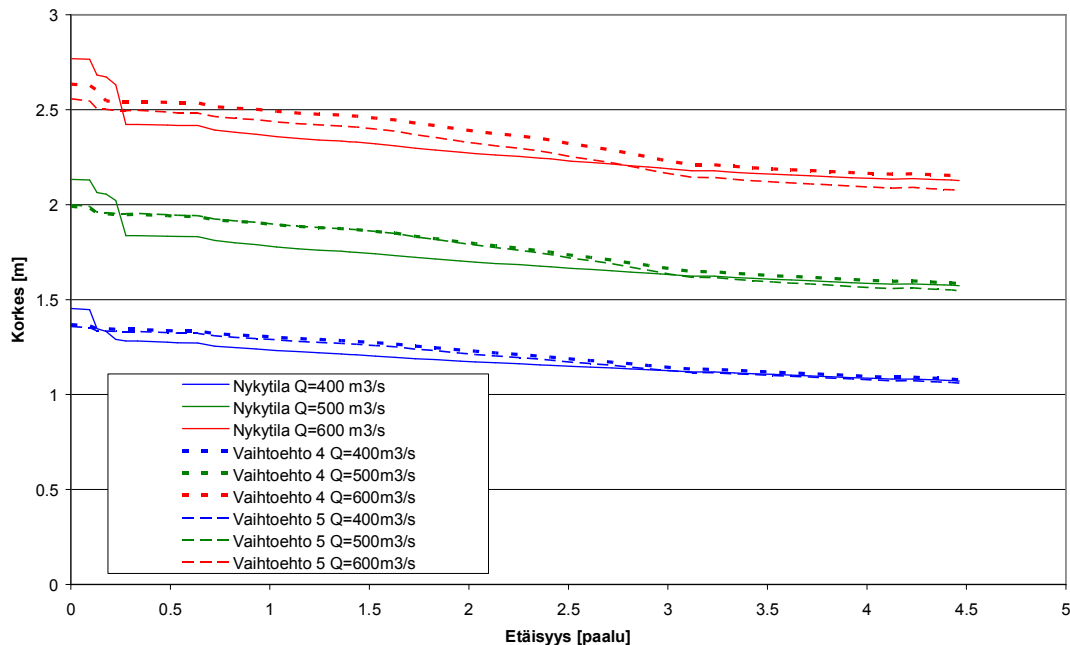
Kuva 4.15. Suurimmat vedenkorkeudet pääuomassa virtaamalla 400, 500 ja 600 m³/s jäätymisvaiheessa nykytilassa ja suunnitteluvaihtoehto 5:n mukaisessa tilanteessa. Laskelmissa ei ole otettu huomioon veden virtausta pois uomasta, joka alentaisi jonkin verran vedenkorkeuksia sekä nykytilassa että vaihtoehdossa 1.

Nykytilan, vaihtoehto 1:n ja vaihtoehto 5:n vertailu maxw jäätymisvaihe



Kuva 4.16. Suurimmat vedenkorkeudet pääuomassa virtaamalla 400, 500 ja 600 m³/s jäätymisvaiheessa nykytilassa, suunnitteluvaihtoehto 4:n ja suunnitteluvaihtoehto 5:n mukaisessa tilanteessa. Laskelmissa ei ole otettu huomioon veden virtausta pois uomasta, joka alentaisi jonkin verran vedenkorkeuksia sekä nykytilassa että vaihtoehdossa 1

Nykytilan sekä vaihtoehto 4:n ja 5:n vertailu maxw jäätymisvaihe Huvilajuopa

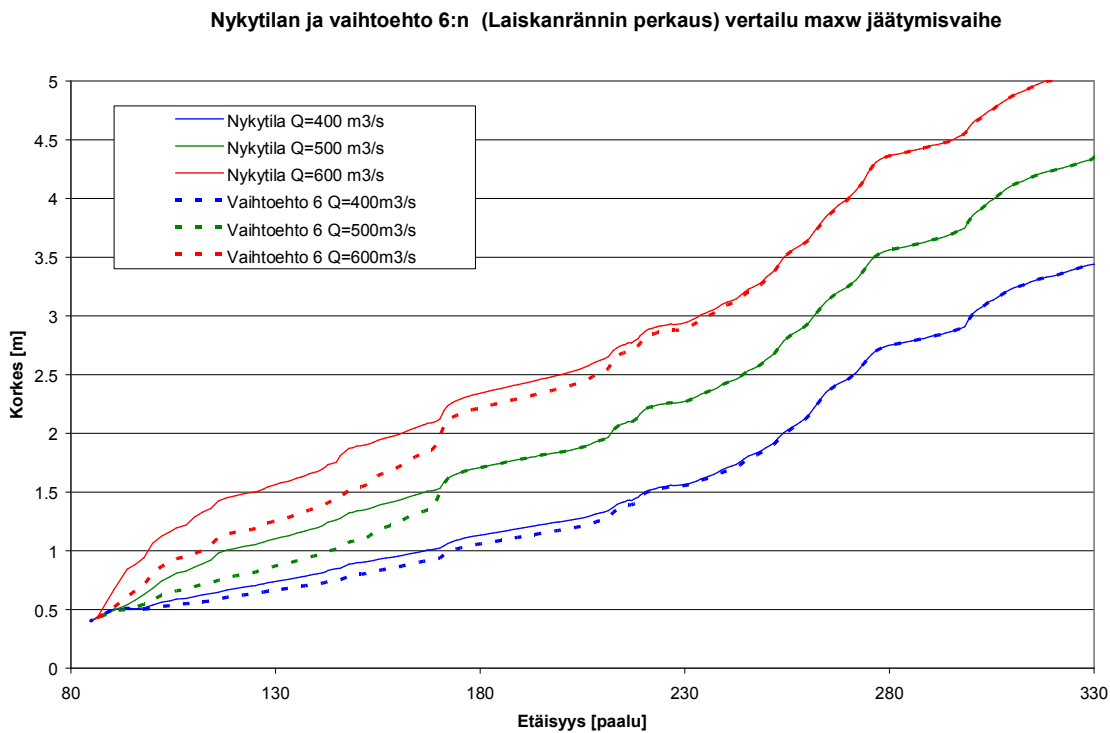


Kuva 4.17. Jäätymisvaiheen suurimmat vedenkorkeudet Huvilajuovassa, Hevosluodonjuovassa ja Kolmihaarassa virtaamalla 400, 500 ja 600 m³/s nykytilassa, suunnitteluvaihtoehto 4:n ja suunnitteluvaihtoehto 5:n mukaisessa tilanteessa. Laskelmissa ei ole otettu huomioon veden virtausta pois uomasta, joka alentaisi jonkin verran vedenkorkeuksia sekä nykytilassa että vaihtoehdossa 4.

4.7. Vaihtoehto 6; Laiskanrännin perkaus

Tässä vaihtoehdossa Laiskanrännin uomaa ruopataan Pihlavanlahdelle suoraan länteen. Näin edistään veden purkautumista Laiskanrännin kautta Kivinin hyydealueen ohi merelle.

Kuvassa 4.18. on esitetty vaihtoehto 6:n ja nykytilan mukaiset suurimmat vedenkorkeudet pääuomassa joen jäätymisvaiheessa virtaamalla 400, 500 ja 600 m³/s. Ruoppauksella saavutetaan suurimmillaan noin 0,5 m alenema vedenkorkeuksissa. Vedenpinnan alenema vaihtoehdon 6 vaikutuksesta Kivinissä on huomattavasti suurempi kuin vaihtoehdon 1 vaikutus. Laiskanrännin ruoppaaminen suoraan Pihlavanlahdelle on huomattavasti tehokkaampi kuin vaihtoehto 1:n mukainen Laiskanrännin ruoppaus.

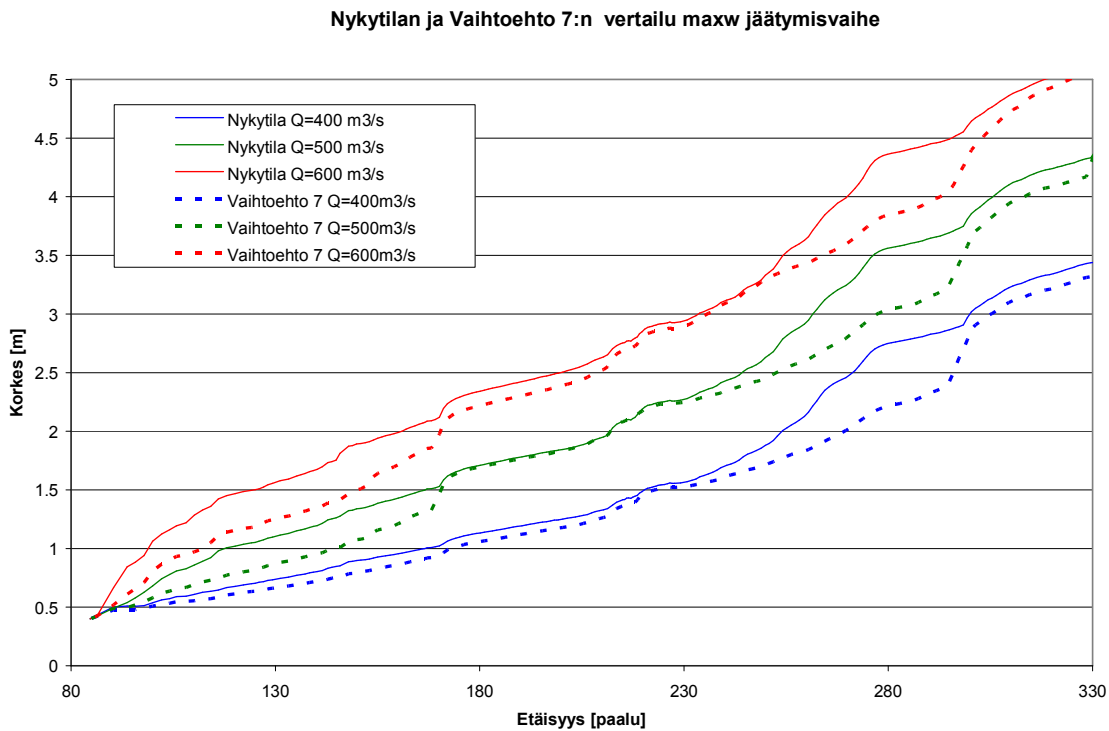


Kuva 4.18. Suurimmat vedenkorkeudet pääuomassa virtaamalla 400, 500 ja 600 m³/s jäätymisvaiheessa nykytilassa ja suunnitteluvaihtoehto 6:n mukaisessa tilanteessa. Laskelmissa ei ole otettu huomioon veden virtausta pois uomasta, joka alentaisi jonkin verran vedenkorkeuksia sekä nykytilassa että vaihtoehdossa 1

4.8. Vaihtoehto 7; vaihtoehtojen 1 ja 6 yhdistelmä

Vaihtoehdossa 7 on yhdistetty vaihtoehtojen 1 ja 6 ruoppaukset.

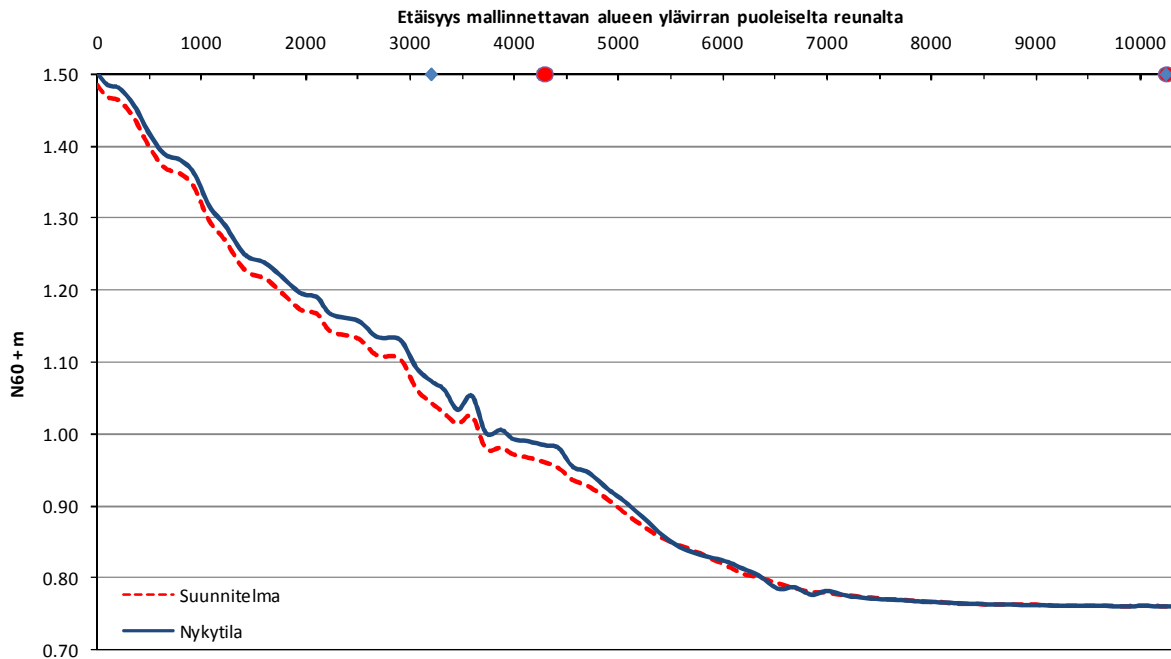
Kuvassa 4.19 on esitetty vaihtoehto 7:n ja nykytilan mukaiset suurimmat vedenkorkeudet pääuomassa joen jäätymisvaiheessa virtaamalla 400, 500 ja 600 m³/s. Laiskanrännin ruoppaaminen Pihlavanlahdelle asti alentaa tulvavedenkorkeuksia Kivinissä huomattavasti verrattuna nykytilaan ja vaihtoehtoon 1. Lisäksi vaihtoehdossa 7 jäätymisvaiheen tulvakorkeudet alenemat huomattavasti kaupungin keskustan ja Tiimannin alueella. Alenema on samaa luokkaa kuin vaihtoehdossa 1.



Kuva 4.19. Suurimmat vedenkorkeudet pääuomassa virtaamalla 400, 500 ja 600 m³/s jäätymisvaiheessa nykytilassa ja suunnitteluvaihtoehto 7:n mukaisessa tilanteessa. Laskelmissa ei ole otettu huomioon veden virtausta pois uomasta, joka alentaisi jonkin verran vedenkorkeuksia sekä nykytilassa että vaihtoehdossa 1

4.9. Vaihtoehto 8; Pääuoman ruoppaaminen ulommas Pihlavanlahdelle

Kuvassa 4.20 on esitetty vaihtoehto 8:n ja nykytilan mukaiset vedenkorkeusprofiilit 1200 m³/s virtaamalla, kun merivedenkorkeus Mäntyluodon siltojen ylävirran puolella on noin N60+0,4 m. Kuvan vedenkorkeusprofiilit alkavat mallinnettavan alueen ylävirran puoleiselta reunalta ja etenevät uoman keskiosaa pitkin.

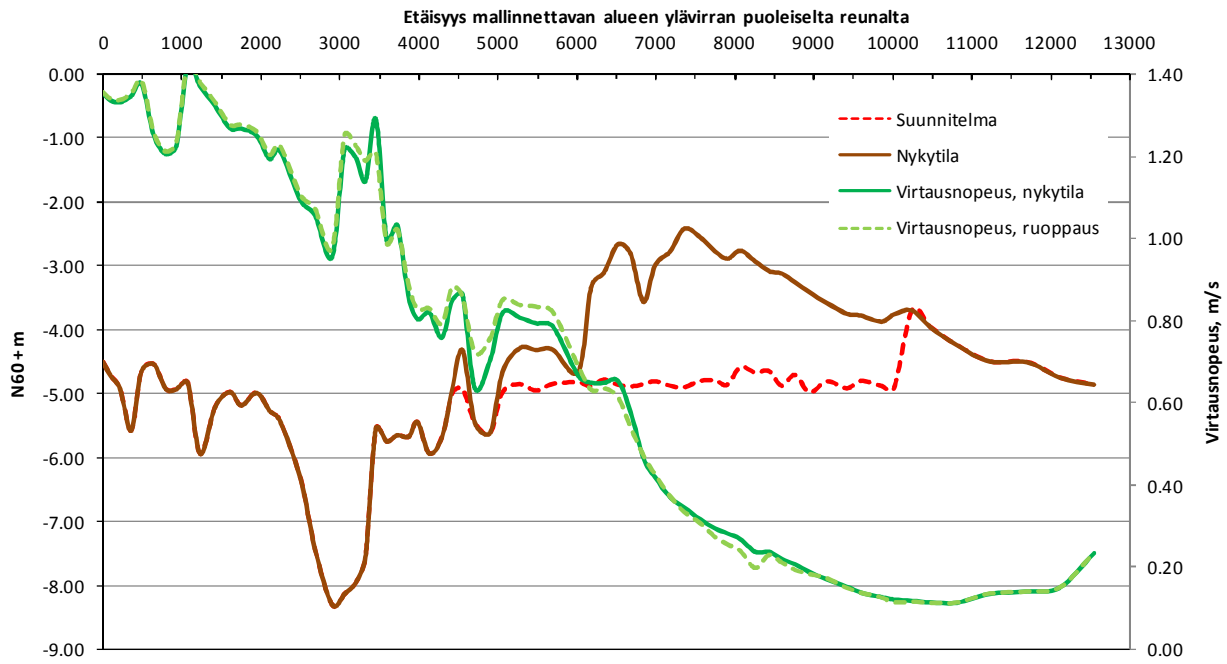


Kuva 4.20. Vedenkorkeuden pituusprofiilit nykytilassa ja ruoppauksen jälkeen, kun virtaama on 1200 m³/s. Ruopattavan alueen päätepisteet on merkitty x-akselille sinisillä merkeillä. Punaiset merkit x-akselilla rajaavat ruoppauksen keskilinjalla tapahtunutta uoman pohjan leikkausta.

Ruoppauksen vaikutus vedenkorkeuteen on erittäin vähäinen. Vedenkorkeus on mallinnustulosten perusteella ruoppauksen jälkeen keskimäärin noin 2 cm alempana. Tarkasteltaessa virtausnopeuden muutosta pääuoman ja ruoppauslinjan keskilinjalla, voidaan myös sen todeta olevan alle 0,1 m/s (kuva 4.21).

Vaihtoehto 8:n laskentoja on esitetty tarkemmin liitteessä 2.

Pihlavanlahdella tehtävällä perkauksella voitaisiin lisätä virtausalaa vain vähän nykyiseen virtausalaan verrattuna. Perkauksesta saatava vedenkorkeuden alenema ei jäätilanteessa vaikuttaisi Kiviniä ylempänä. Pihlavanlahdella tehtävä uoman perkaus kuitenkin mahdollistaisi alusten käytön jään rikkomiseen jään muodostumisen alkuvaiheessa ja siitä olisi näin hyötyä tulvariskien hallinnassa.



Kuva 4.21. Virtausnopeudet pääuoman ja ruoppauslinjan keskijällä nykytilassa ja ruopatulla geometrialla.

4.10. Yhteenvedo vaihtoehtojen vaikutuksesta jäätymisvaiheen tulvakorkeuksiin

Taulukoissa 4.1 - 4.3 on yhteenvedo aiheuttamasta joen jäätymisvaiheen tulvakorkeuksien alenemasta. Vaihtoehtoa 8 ei ole sisällytetty tähän taulukkoon, koska sen vaikutus jäätymisvaiheen vedenkorkeuksiin on hyvin vähäinen (luku 4.9). Vaihtoehtojen 1-7 aiheuttama vedenkorkeuden alenema on esitetty pääuoman osalta erikseen keskimääräisenä arvona eri virtaamille paaluvälille pl 225 - 290 (Kirjurinluodon kärki –Tiimannin yläpuoli), pl 180-225 (vanha kaatopaikka-Kirjurinluodon kärki), pl 130-180 (Kivini- vanha kaatopaikka).

Taulukko 4.1. Jäätymisvaiheen tulvakorkeuksien alenema eri vaihtoehdoissa ja eri virtaamilla Kokemäenjoen alaosan pääuomassa paaluvälillä 225-290 (Kirjurinluodon kärki –Tiimannin yläpuoli).

	Keskimääräinen suurimman vedenkorkeuden alenema nykytilaan verrattuna eri virtaamilla			Aleneman keskiarvo	Suurimman vedenkorkeuden alenema nykytilaan verrattuna		
	400 m ³ /s	500 m ³ /s	600 m ³ /s		ka	400 m ³ /s	500 m ³ /s
VA 1	0.27	0.29	0.28	0.28	0.53	0.52	0.54
VA2 a	0.50	0.62	0.73	0.62	0.71	0.86	1.02
VA2 b	0.26	0.33	0.40	0.33	0.39	0.48	0.58
VA2 c	0.44	0.53	0.61	0.53	0.71	0.84	1.01
VA2 d	0.26	0.33	0.39	0.33	0.40	0.50	0.61
VA3 a	0.63	0.80	0.91	0.78	1.04	1.21	1.39
VA3 b	0.46	0.57	0.59	0.54	0.80	0.90	1.00
VA3 c	0.56	0.66	0.69	0.63	0.99	1.11	1.24
VA3 d	0.45	0.54	0.59	0.52	0.79	0.88	1.00
VA 4	0.01	0.03	0.02	0.02	0.04	0.10	0.06
VA 5	0.31	0.35	0.33	0.33	0.54	0.54	0.54
VA 6	0.01	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.05
VA 7	0.29	0.28	0.23	0.27	0.53	0.53	0.52

Taulukko 4.2. Jäätymisvaiheen tulvakorkeuksien alenema eri vaihtoehdoissa ja eri virtaamilla Kokemäenjoen alaosan pääuomassa paaluvällillä 180-225 (vanha kaatopaikka-Kirjurinluodon kärki)

	Keskimääräinen suurimman vedenkorkeuden alenema nykytilaan verrattuna eri virtaamilla			Aleneman keskiarvo	Suurimman vedenkorkeuden alenema nykytilaan verrattuna		
	400 m ³ /s	500 m ³ /s	600 m ³ /s		ka	400 m ³ /s	500 m ³ /s
VA 1	0.02	0.05	0.03	0.03	0.02	0.06	0.05
VA2 a	0.21	0.32	0.42	0.31	0.29	0.44	0.50
VA2 b	0.11	0.17	0.23	0.17	0.15	0.22	0.25
VA2 c	0.01	0.03	0.06	0.03	0.15	0.24	0.27
VA2 d	0.03	0.05	0.06	0.05	0.11	0.18	0.20
VA3 a	0.20	0.32	0.43	0.32	0.27	0.46	0.52
VA3 b	0.11	0.17	0.20	0.16	0.15	0.24	0.23
VA3 c	0.03	0.04	0.02	0.03	0.16	0.24	0.21
VA3 d	0.03	0.09	0.09	0.07	0.12	0.20	0.22
VA 4	0.03	0.07	0.08	0.06	0.04	0.10	0.10
VA 5	0.06	0.13	0.11	0.10	0.08	0.16	0.14
VA 6	0.05	0.00	0.09	0.05	0.07	0.00	0.12
VA 7	0.06	0.01	0.09	0.05	0.07	0.02	0.12

Taulukko 4.3. Jäätymisvaiheen tulvakorkeuksien alenema eri vaihtoehdoissa ja eri virtaamilla Kokemäenjoen alaosan pääuomassa paaluvällillä 130-180 (Kivini- vanha kaatopaikka).

	Keskimääräinen suurimman vedenkorkeuden alenema nykytilaan verrattuna eri virtaamilla			Aleneman keskiarvo	Suurimman vedenkorkeuden alenema nykytilaan verrattuna		
	400 m ³ /s	500 m ³ /s	600 m ³ /s		ka	400 m ³ /s	500 m ³ /s
VA 1	0.02	0.07	0.09	0.06	0.02	0.10	0.16
VA2 a	0.04	0.09	0.15	0.09	0.13	0.23	0.35
VA2 b	0.03	0.05	0.10	0.06	0.07	0.13	0.20
VA2 c	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.02	0.03
VA2 d	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
VA3 a	0.05	0.13	0.21	0.13	0.13	0.23	0.37
VA3 b	0.03	0.10	0.14	0.09	0.08	0.13	0.19
VA3 c	-0.01	0.03	0.05	0.02	0.01	0.09	0.18
VA3 d	0.00	0.05	0.08	0.05	0.02	0.09	0.17
VA 4	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.06
VA 5	0.02	0.08	0.10	0.07	0.05	0.11	0.16
VA 6	0.09	0.17	0.26	0.17	0.10	0.25	0.36
VA 7	0.09	0.18	0.27	0.18	0.10	0.27	0.40

5. Suunnitteluvaihtoehtojen vaikutukset jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin

5.1. Yleistä

Keväiset jääpadot ja niistä aiheutuneet tulvat ovat aikaisemmin olleet yleisiä Kokemäenjoen alaosalla. Isoja keväisiä jääpatotulvia on ollut mm. 1920-luvulla, 1936 ja 1951. Kokemäenjoen järvien säännöstely on vähentänyt keväisten jääpatojen mahdollisuutta Kokemäenjoella, mutta ei ole poistanut niiden mahdollisuutta kokonaan. Keväisten jääpatojen todennäköisyyttä on osaltaan vähentänyt myös esimerkiksi teollisuuslaitoksilta jokeen tuleva lämpökuorma, jolla on vaikutusta jääkannen paksuuteen.

Jäänlähtö voi tapahtua myös talvella, kuten tapahtui esimerkiksi tammikuussa 1975, jolloin yhtäaikainen lämpötilan ja virtaaman nousu aiheutti muutamaa päivää aikaisemmin muodostuneen jääkannen liikkeellelähdön. Talvitulvan 1974-75 korkeimmat vedenkorkeudet kaupungin kohdalla aiheutuivat tämän jäänlähdön jälkeisistä jääpadoista.

Myös jääkannen muodostumisvaiheessa voi esiintyä korkeampia vedenkorkeuksia kuin kappaleessa 4 on esitetty. Tämä tapahtuu kun juuri muodostunut jääkansi ei kestä virtauksesta aiheutuvia voimia ja se luhistuu. Ilmiöön vaikuttaa myös vallitseva säätila. Lauhalla säällä jääkannen luhistuminen on todennäköisempää kuin kovalla pakkasella. Jääkannen muodostumisvaiheessa tapahtuvan jääkannen luhistumisen aiheuttamat vedenkorkeudet voivat olla suurempia kuin luvussa 4 esitetyt, mutta jäävät alhaisemmiksi kuin tässä luvussa esitetyt jäänlähdön aikaisista jääpadoista aiheutuvat vedenkorkeudet vastaavalla virtaamalla.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat vielä osittain kiistanalaisia, mutta lähes kaikkien ennusteiden mukaan eteläisessä Suomessa tulevat talvet lämpenemään ja sademäärät tulevat talvella kasvamaan. Tämä tullee, ainakin noin 50 - 150 vuoden tarkastelujaksolla, kasvattamaan myös talviaikaisten jäänlähtöpatojen todennäköisyyttä.

Jääpatojen paksuus on laskettu kappaleessa 3 esitetyillä kaavoilla. Vedenkorkeus on laskettu stationäärisen epätasaisen virtauksen yhtälöllä. Jäiden vaikutus on otettu huomioon pienenevän virtausala, kasvavan märkäpiirin ja jääkannen kasvaneen karkeuskertoimen muodossa.

Hyvin todennäköinen jääpadon muodostumispaikka on Kirjurinluodon kärjen kohdalla ylävirtaan. Uoma jakaantuu tällä kohtaa kahdeksi uomaksi ja kaltevuus pienenee. Lisäksi pääuoma, joka lähtee Luotsinmäenjuopana pohjoiseen, tekee jyrkän mutkan Kirjurinluodon kärjen kohdalla. Jään lähtövaiheen laskennoissa on selvitetty vain vaihtoehtojen 1, 2 ja 3 vaikutusta jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin ja tarkastelu on rajattu oikaisu-uomaa lukuun ottamatta Kirjurinluodon kärjestä ylöspäin. Jään lähtövaiheen jääpato on mahdollinen myös Kirjurinluodon alapuolella Luotsinmäenhaarassa ja Rauman juovassa. Näillä paikoin vesi pääsee kuitenkin leviämään ns. Luotojen alueella ja jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eivät nouse niin paljon kuin Kirjurinluodon kärjen yläpuolella olevassa jääpadossa.

Laskentatuloksia tarkastellessa on huomioitava, että laskelmissa ei ole huomioitu veden virtausta penkereiden yli tulva-alueelle vaan penkereiden on oletettu olevan "riittävän korkeat". Tämä mah-

dollistaa tarvittavan pengerkorkeuden määrittämisen, mutta aiheuttaa sen, että suurimmilla käsitellyillä virtaamilla laskentatulokset antavat nykytilanteessa liian suuria vedenkorkeuden arvoja.

5.2. Tarkastelussa käytetyt jäänlähdön aikaiset jääpatojen paikat ja jään määrät

Jääpadon paksuuteen ja siitä aiheutuviin vedenkorkeuksiin vaikutta virtaaman lisäksi myös jään määrä. Kaupungin kohdalle kasaantuvan jäänlähdön aikaisessa jääpadossa voi olettaa olevan noin 400 000 – 500 000 m³ jäätä. Uoman pituus, jolta jäätä voi kertyä on noin 28 km, uoman keskileveys on 100 m (jäät sulavat ensin rannasta) ja hävikin voi olettaa olevan 50 % (jäiden ajautuminen rannalle ja sulaminen). Laskelmissa on käytetty kahta eri arvoa jääpadossa olevan jään määrälle. Isompi määrä on jääpadon paikasta riippuen 420 000 m³ tai 450 000 m³. Pienempi määrä on noin 210 000 m³. Pienempi jäänmäärä jääpadossa on paljon todennäköisempi kuin suurempi vaihtoehto.

Laskelmissa jääpadon on oletettu muodostuvan kolmeen eri paikkaan kirjurinluodon kärjestä ylöspäin. Ensimmäinen paikka on välittömästi kirjurinluodon kärjestä ylöspäin (jääpato A, iso jään määrä ja jääpato B, pieni jään määrä). Jääpatojen A ja B paikat on esitetty kuvissa 5.1 ja 5.2. Jääpatojen yläreunan paikka riippuu joessa vallitsevasta virtaamasta. Isolla virtaamalla jääpadosta tulee paksumpi ja yläpään reuna on alempana kuin pienellä virtaamalla.

Jääpadoissa C ja D jääpadon alareuna on keskustan siltojen kohdalla (kuvat 5.3 ja 5.4). Jäämäärän on oletettu olevan 420 000 m³ (jääpato C) ja 210 000 m³ (jääpato D).

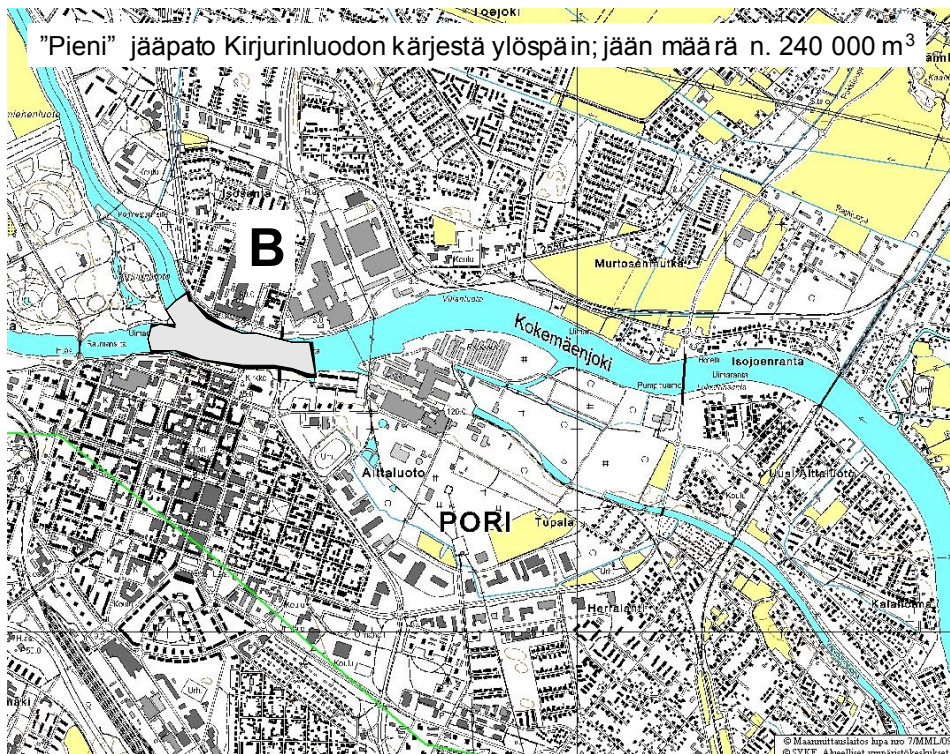
Jääpadoissa E ja F jääpadon alareuna on Lukkarinsannan uuden sillan kohdalla (kuvat 5.5 ja 5.6). Jääpadossa E jään määrä on 420 000 m³ ja jääpadossa F 210 000 m³.

Kaikista todennäköisin käsitellyistä jääpadoista on jääpato B (jääpato Kirjurinluodon kärjestä ylöspäin, pieni jäämäärä). Jääpato voi myös yhden jäänlähdön aikana muodostua useampaan paikkaan. Esimerkiksi ensin jääpato muodostuu Lukkarinsannan sillasta ylöspäin (jääpato E tai F). Sen purkauessa jääpato muodostuu seuraavaksi lyhyeksi aikaa keskustan silloista ylöspäin (jääpato C tai D) ja sen jälkeen jääpato jää pidemmäksi aikaa kirjurinluodon kärjestä ylöspäin (jääpato A tai B).

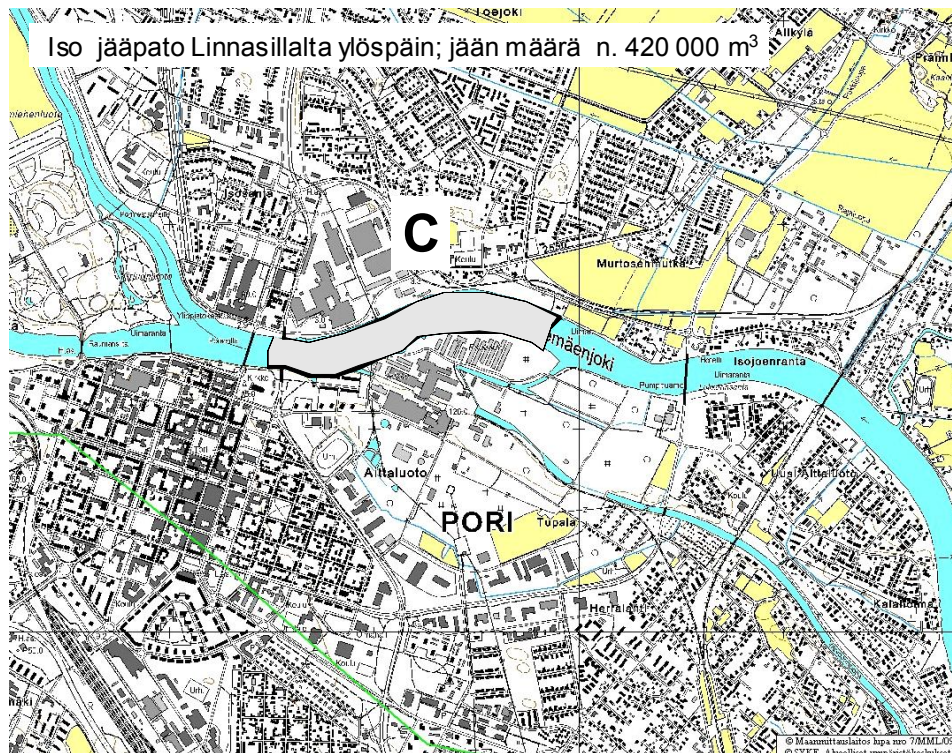
Jäänlähdön jääpatojen laskelmat on suoritettu virtaamille 600 ja 700 m³/s. Tätä suuremmilla virtaamilla jääpadot todennäköisesti siirtyvät alavirtaan.



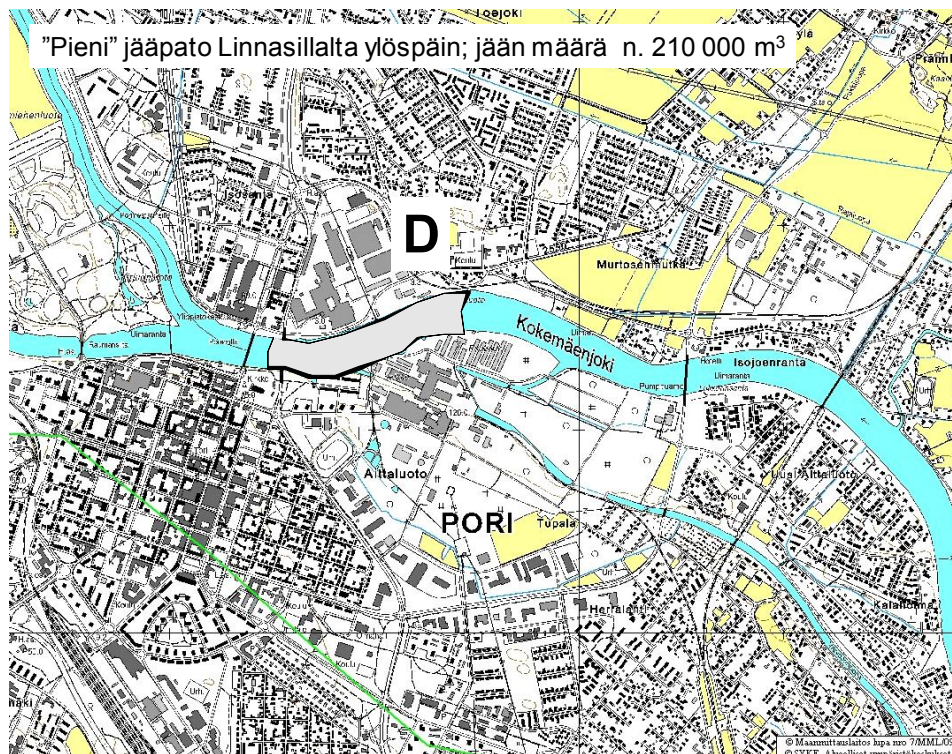
Kuva 5.1 Jääpato A paikka.



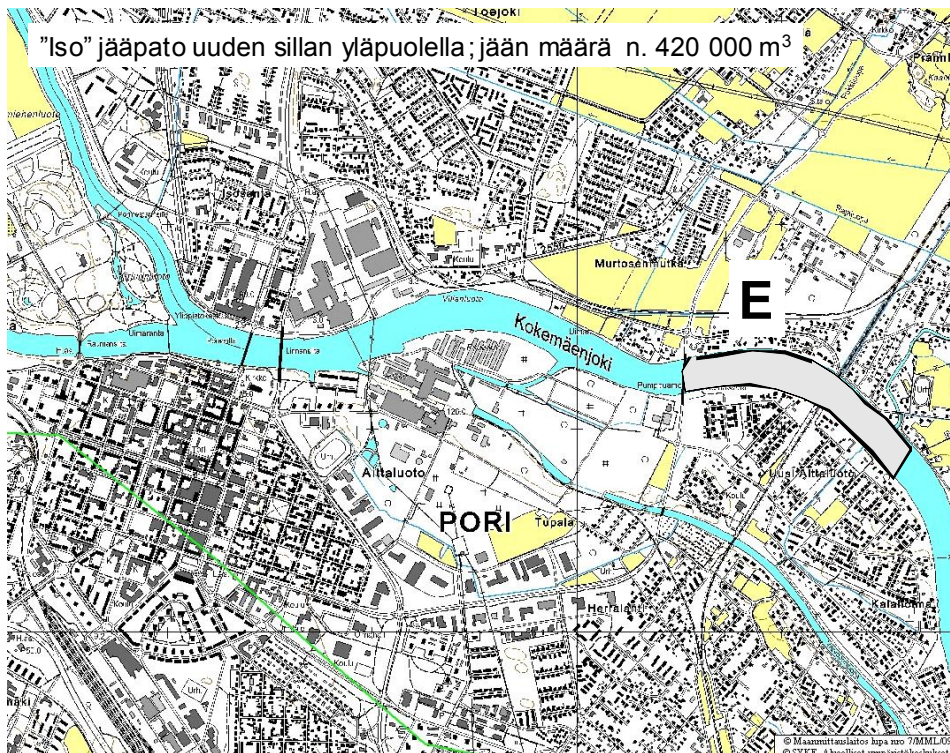
Kuva 5.2 Jääpato B paikka.



Kuva 5.3 Jääpadon C paikka.



Kuva 5.4 Jääpadon D paikka.



Kuva 5.5 Jääpadon E paikka.



Kuva 5.6 Jääpadon F paikka.

5.3. Vaihtoehto 1:n vaikutus jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin

Laskelmissa uomaan on oletettu tehdyksi yleissuunnitelman mukainen ruoppaus Luotsinmäenjuovan yläosan, Rauman juovan yläosan ja pääuoman osalta Kirjurinluodosta ylöspäin. (yhdistelmä B – vaihtoehto Linjaman raportista):

- PL 97-102, taso N60 -4,5 m, pohjanleveys 40 m
- PL 227-238, taso N60 -5,6 m, pohjanleveys 60 m
- PL 238-285, taso N60 -5,0 m, pohjanleveys 60 m

Mallitarkastelu loppuu Luotsinmäen juovan alapäässä joten vaihtoehtoon yksi sisältyviä uoman perkauksia Kokemäenjoen suistossa ei ole otettu huomioon. Niillä voisi olla vähäinen vaikutus jääpatojen alapuolella oleviin vedenkorkeuksiin, mutta ei vaikutusta jääpatojen yläpuolella oleviin vedenkorkeuksiin.

Laskelmat on tehty Kirjurinluodon kärjessä olevien jääpatojen osalta (Jääpadot A ja B) virtaamalla 700 m³/s. Ylempänä olevat jääpadot on laskettu virtaamalla 600 m³/s, koska on todennäköistä, että tätä suuremmilla virtaamilla jääpato ei pysyisi enää paikallaan näillä kohdin jokea.

Uomassa tehtävät perkaukset vaikuttavat oleellisesti jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin. Kuvassa 5.7. on esitetty pituusleikkauksessa Kirjurinluodon kärkeen muodostuva jääpato ja siitä aiheutuva vedenkorkeus nykytilanteessa kun virtaama on 700 m³/s ja jään määrä jääpadossa on suuri (n. 450 000 m³, jääpato A). Vastaava pituusleikkaus suunnitteluvaihtoehdon mukaisessa tilanteessa on esitetty kuvassa 5.8. Nykytilanteessa jääpadosta aiheutuva vedenkorkeus Rautatiesillan kohdalla on N60+4,03 ja suunnittelutilanteessa N60+3,52. Laskelmissa on oletettu, että joen molemmin puolin on riittävän korkeat penkereet ja vesi ei pääse virtaamaan penkereiden yli kaupunkialueelle. Pienemmällä jääpadon jään määrällä (jääpato B) vedenkorkeudet ovat nykytilanteessa N60+ 3,14 ja suunnitteluvaihtoehdon mukaisessa tilanteessa N+60 2,77 (kuvat 5.9 ja 5.10). Jääpatoon kerääntyvän jään määrä vaikuttaa siis oleellisesti jääpadon aiheuttamiin vedenkorkeuksiin.

Vastaavat pituusleikkaukset jääpadoille C, D, E ja F virtaamalla 600 m³/s on esitetty kuvissa 5.11-5.18 ja yhteenveto vedenkorkeuksista Rautatiesillan kohdalla on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1 Vaihtoehto 1:n mukaisen uoman perkauksen vaikutus jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin Rautatiesillan kohdalla. Uoman penkereiden on oletettu olevan riittävän korkeat, että vesi ei virtaa pois uomasta.

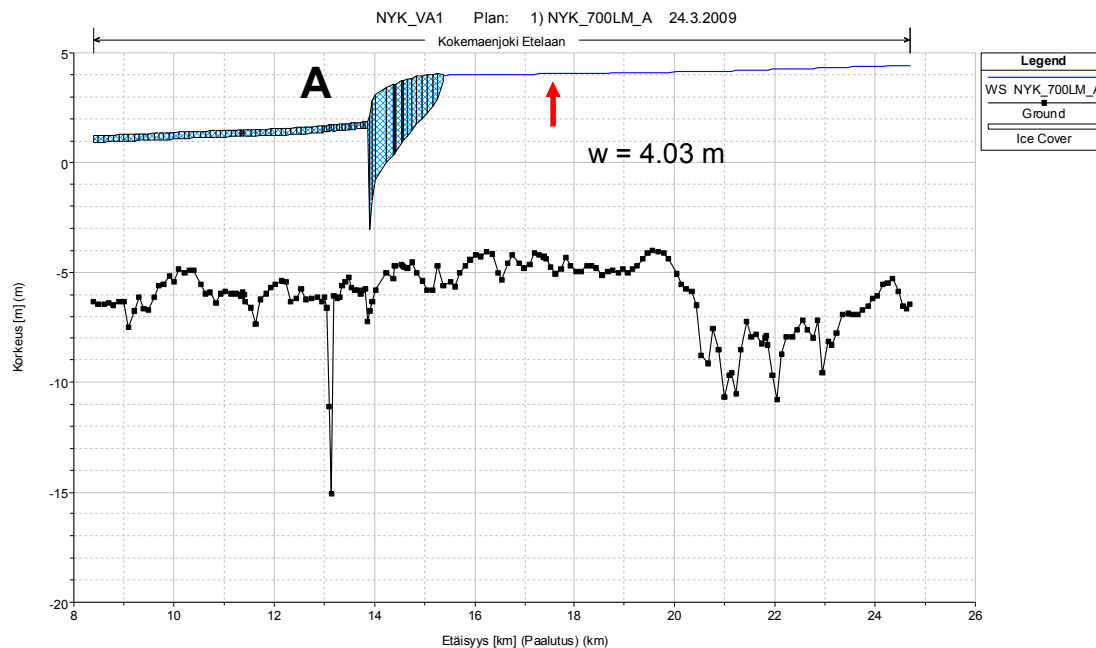
Jääpato	700 m ³ /s		600 m ³ /s	
	Vedenkorkeus Nykytila N60+	Vedenkorkeus Vaihtoehto 1 N60+	Vedenkorkeus Nykytila N60+	Vedenkorkeus Vaihtoehto 1 N60+
A	4.03	3.52	3.68	3.12
B	3.14	2.77	2.85	2.55
C	4.43	3.92	3.96	3.47
D	3.8	3.25	3.36	2.66
E	4.64	4.04	4.22	3.57
F	4.28	3.75	3.86	3.35

Vaihtoehto 1:n vaikutuksia jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin on esitetty yhdessä vaihtoehto 2:n ja 3:n tulosten kanssa kappaleessa 5.7.

Iso jääpato Kirjurinluodon kärjestä ylöspäin

Nykytila

Q = 700 m³/s

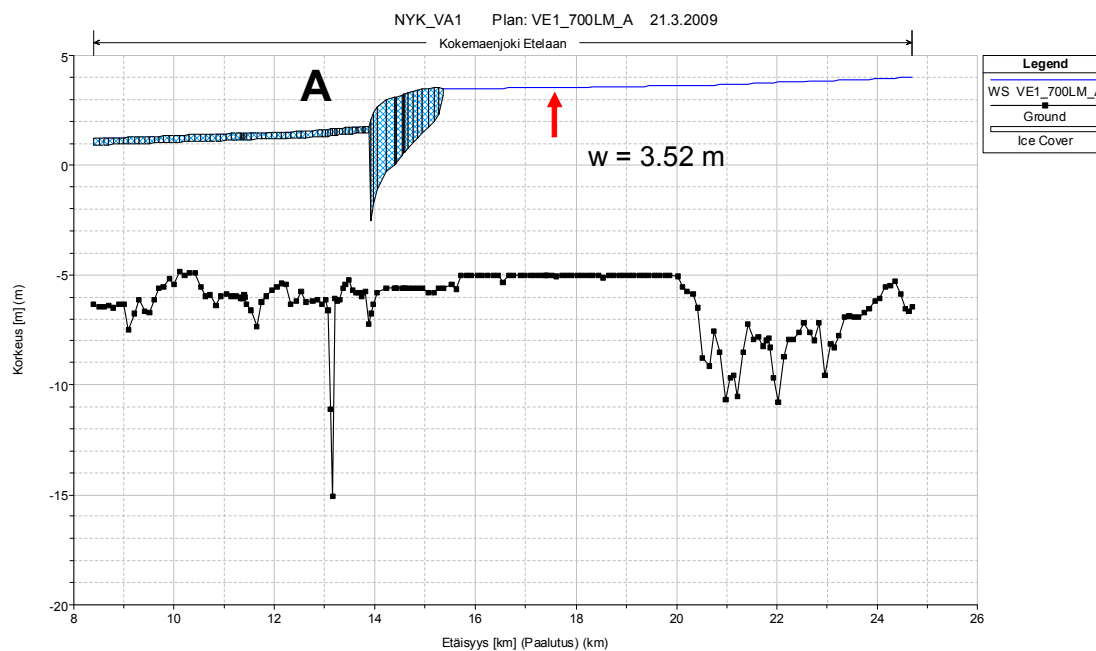


Kuva 5.7 Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta A virtaamalla 700m³/s nykyisessä tilanteessa. Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on N60+4,03. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Iso jääpato Kirjurinluodon kärjestä ylöspäin

Vaihtoehto 1

Q = 700 m³/s

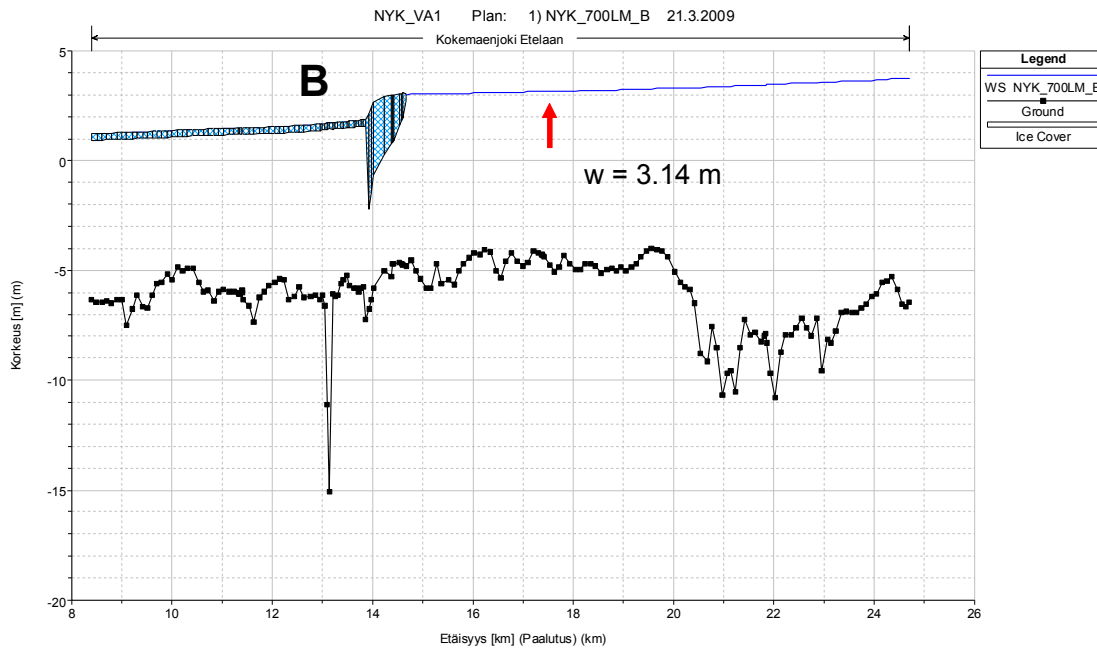


Kuva 5.8 Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta A virtaamalla 700m³/s vaihtoehto 1:n mukaisessa suunnittelutilanteessa (uoman perkaukset). Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on N60+3,52 joka on 51 cm alempi kuin nykytilassa (kuva 5.7.). Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Pieni jääpato Kirjurinluodon kärjestä ylöspäin

Nykytila

$Q = 700 \text{ m}^3/\text{s}$

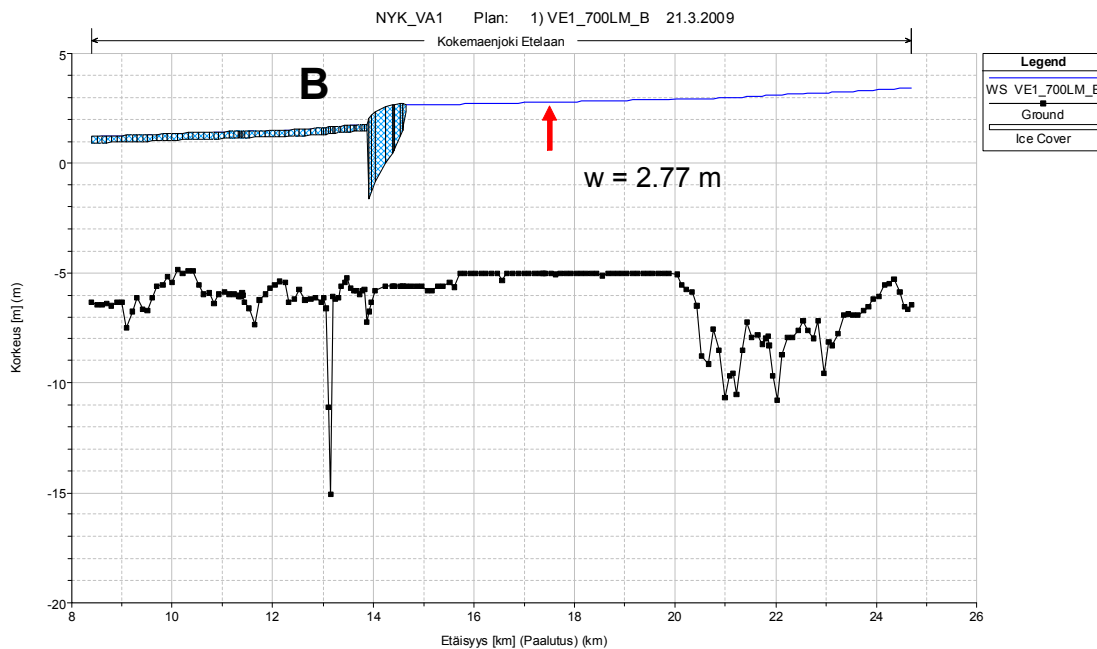


Kuva 5.9. Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta B virtaamalla $700 \text{ m}^3/\text{s}$ nykyisessä tilanteessa. Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on N60+3,14. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Pieni jääpato Kirjurinluodon kärjestä ylöspäin

Vaihtoehto 1

$Q = 700 \text{ m}^3/\text{s}$

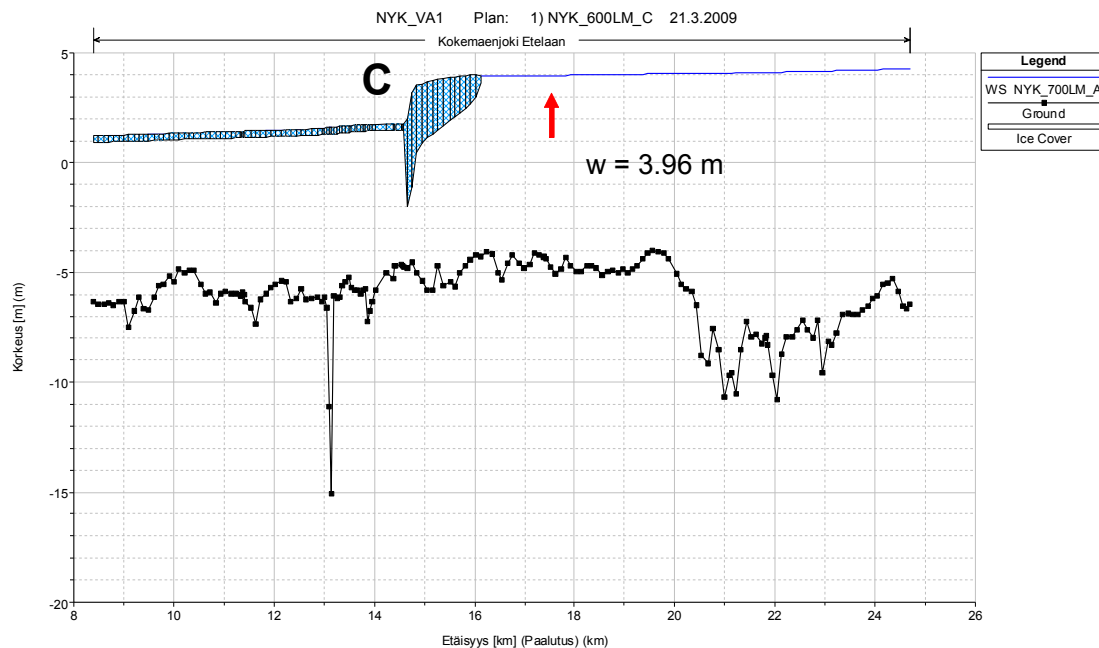


Kuva 5.10 Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta B virtaamalla $700 \text{ m}^3/\text{s}$ vaihtoehto 1:n mukaisessa suunnittelutilanteessa (uoman perkaukset). Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on N60+2,77 joka on 37 cm alempi kuin nykytilassa (kuva 5.9.). Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Iso jääpato Linnasillan yläpuolella

Nykytila

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

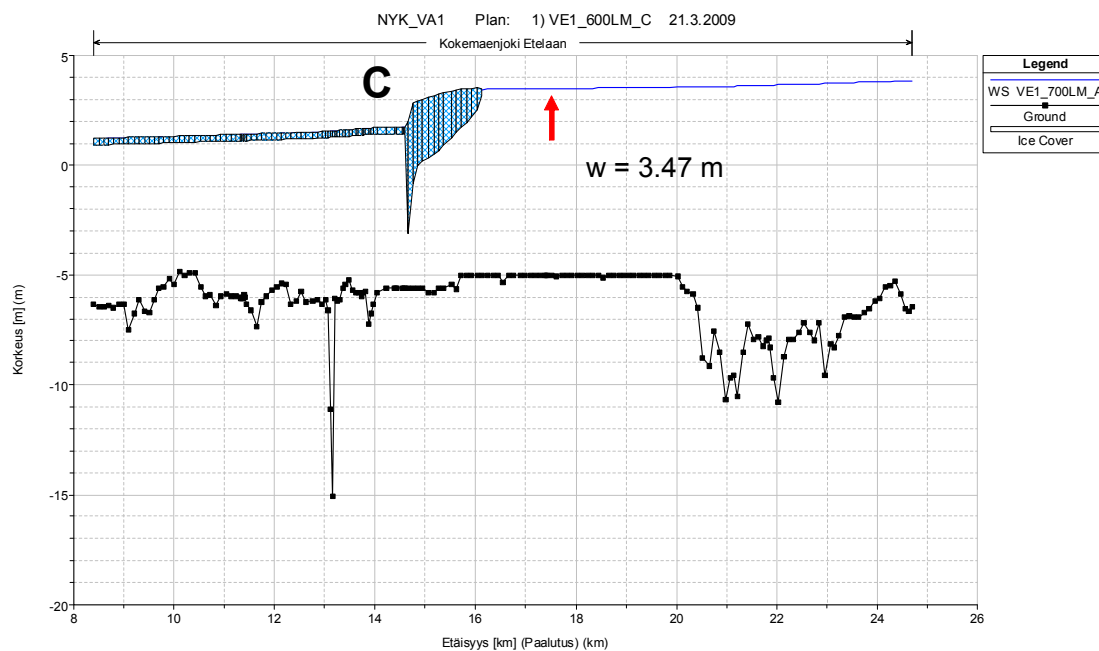


Kuva 5.11. Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta C virtaamalla $600 \text{ m}^3/\text{s}$ nykyisessä tilanteessa. Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on $N60+3,96$. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Iso jääpato Linnasillan yläpuolella

Vaihtoehto 1

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

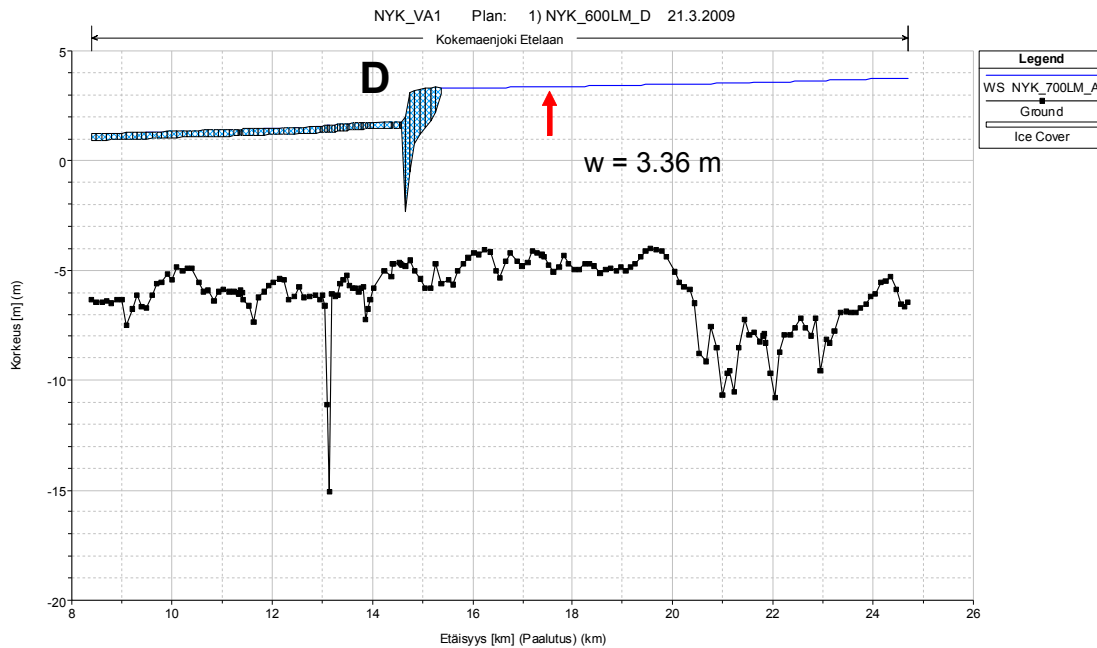


Kuva 5.12 Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta C virtaamalla $600 \text{ m}^3/\text{s}$ vaihtoehto 1:n mukaisessa suunnittelutilanteessa (uoman perkaukset). Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on $N60+2,47$, joka on 49 cm alempi kuin nykytilassa (kuva 5.11.). Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Pieni jääpato Linnasillan yläpuolella

Nykytila

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

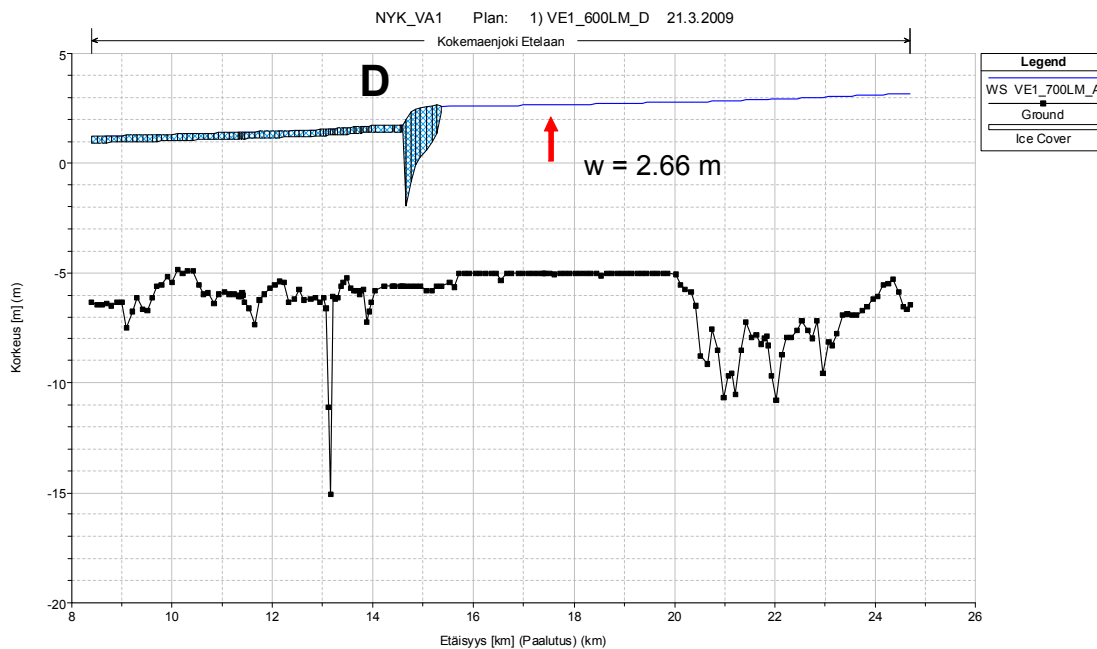


Kuva 5.13. Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta D virtaamalla $600 \text{ m}^3/\text{s}$ nykyisessä tilanteessa. Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on $N60+3,36$. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Pieni jääpato Linnasillan yläpuolella

Vaihtoehto 1

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

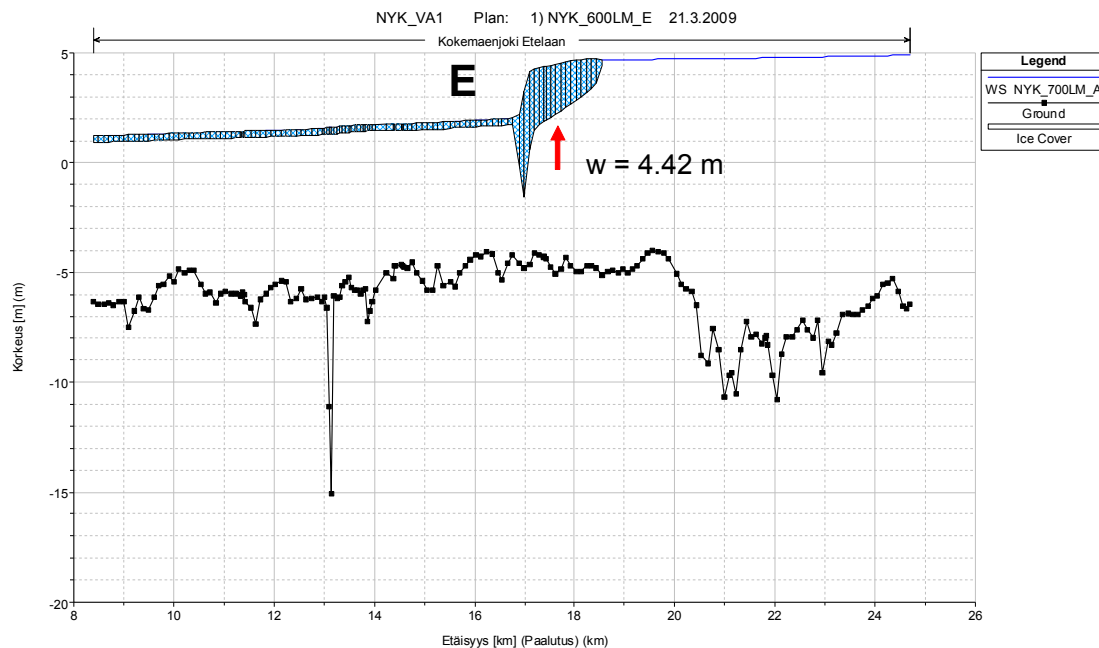


Kuva 5.14. Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta D virtaamalla $600 \text{ m}^3/\text{s}$ vaihtoehto 1:n mukaisessa suunnittelutilanteessa (uoman perkaukset). Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on $N60+2,66$, joka on 70 cm alempi kuin nykytilassa (kuva 5.13.). Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Iso jääpato uuden sillan yläpuolella

Nykytila

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

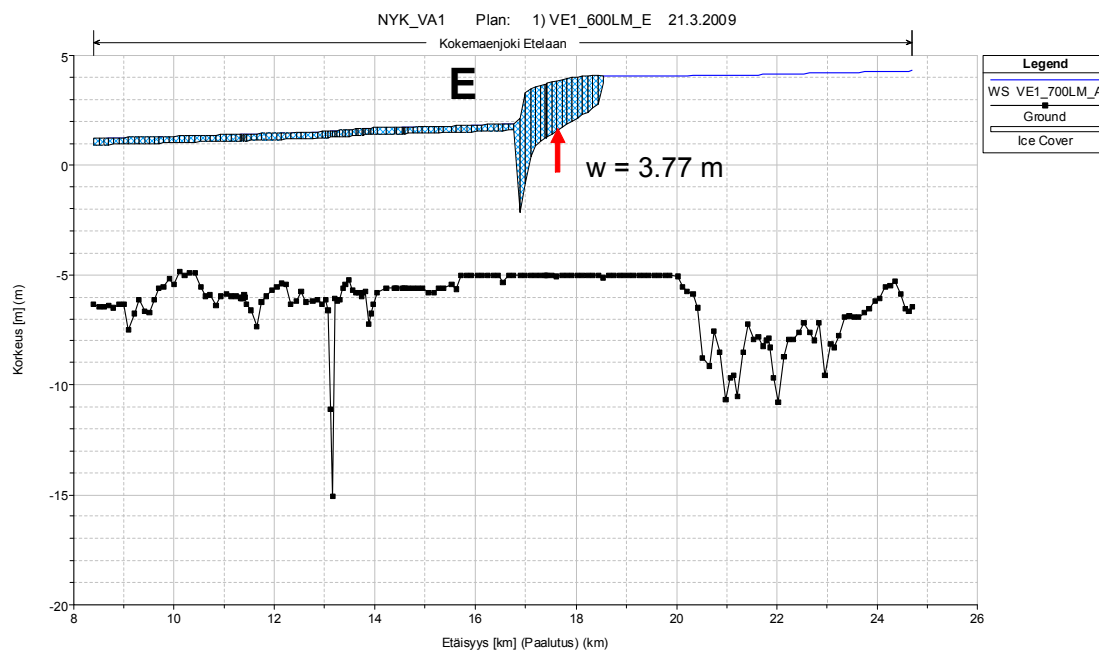


Kuva 5.15. Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta E virtaamalla $600 \text{ m}^3/\text{s}$ nykyisessä tilanteessa. Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on $N60+4,42$. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Iso jääpato uuden sillan yläpuolella

Vaihtoehto 1

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

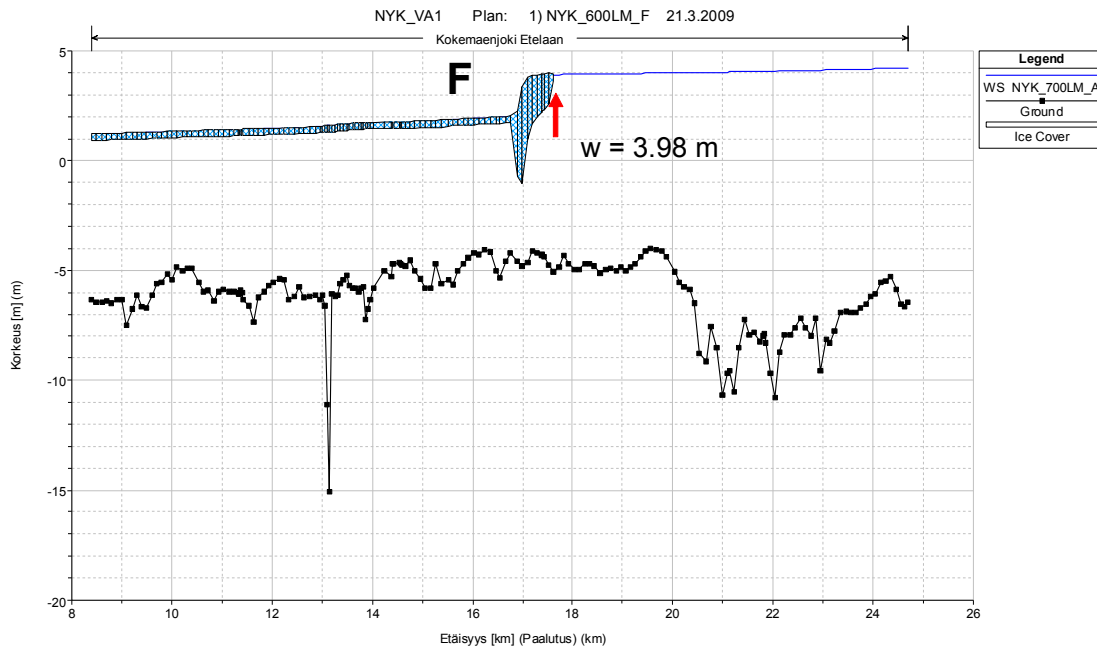


Kuva 5.16. Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta D virtaamalla $600 \text{ m}^3/\text{s}$ vaihtoehto 1:n mukaisessa suunnittelutilanteessa (uoman perkaukset). Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on $N60+3,77$, joka on 65 cm alempi kuin nykytilassa (kuva 5.15.). Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Pieni jääpato uuden sillan yläpuolella

Nykytila

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

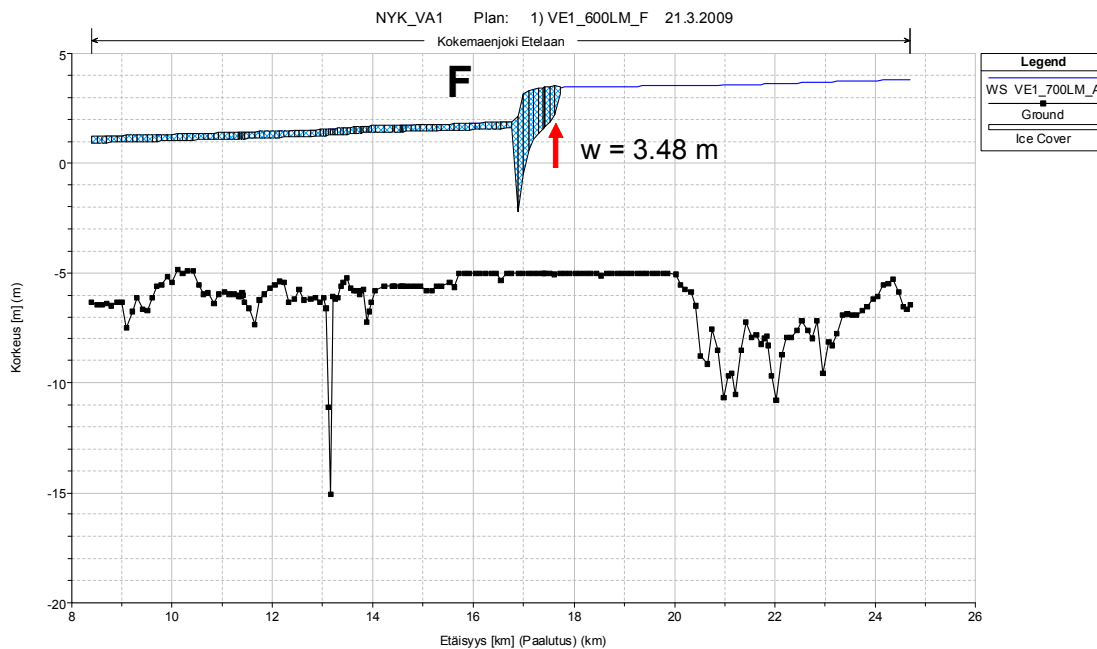


Kuva 5.17. Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta F virtaamalla $600 \text{ m}^3/\text{s}$ nykyisessä tilanteessa. Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on $N60+3,98$. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Pieni jääpato uuden sillan yläpuolella

Vaihtoehto 1

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$



Kuva 5.18. Pituusleikkaus uoman pohjasta, vedenpinnasta ja jääpadosta D virtaamalla $600 \text{ m}^3/\text{s}$ vaihtoehto 1:n mukaisessa suunnittelutilanteessa (uoman perkaukset). Vedenkorkeus rautatiesillankohdalla on $N60+3,48$, joka on 50 cm alempi kuin nykytilassa (kuva 5.17.). Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

5.4. Jäänlähdön aikaisten jääpatojen vaikutus oikaisu-uoman läpäisykykyyn

Vaihtoehdossa 2 ja 3 on mukana kaupungin pohjoispuolella sijoittuva oikaisu-uoma. Vaihtoehdossa 2 on mukana ainoastaan oikaisu-uoma ja vaihtoehdossa 3 yhdistelmä pääuomassa, Raumanjuovassa ja suistossa tehtävistä perkauksista ja oikaisu-uomasta.

Luvussa 3 esitellyn mukaisesti oikaisu-uomasta on käsitelty seuraavat vaihtoehdot:

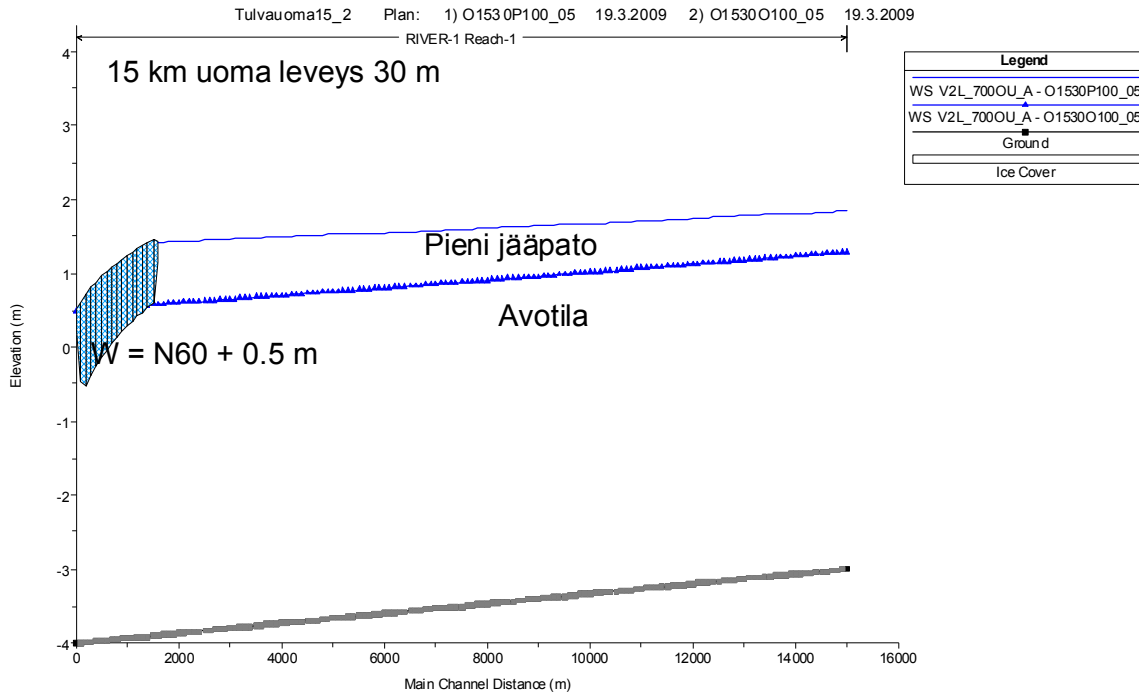
- 2 a) Oikaisu-uoman pituus on 15 km ja uoman pohjan leveys 30 m
- 2 b) Oikaisu-uoman pituus on 15 km ja uoman pohjan leveys 10 m
- 2 c) Oikaisu-uoman pituus on 10 km ja uoman pohjan leveys 30 m
- 2 d) Oikaisu-uoman pituus on 10 km ja uoman pohjan leveys 10 m

Jäänlähdön aikaiset jääpadot vaikuttavat oikaisu-uoman vedenläpäisykykyyn ja tätä on selvitetty laskemalla oikaisu-uomassa oleva jääpato sekä isolle jäänmäärälle että pienelle jään määrälle. Jääpadon on oletettu muodostuvan oikaisu-uoman alapäähän oikaisu-uoman ja pääuoman yhtymäkohtaan. Tämä on myös todennäköisin jääpadon muodostumispaikka.

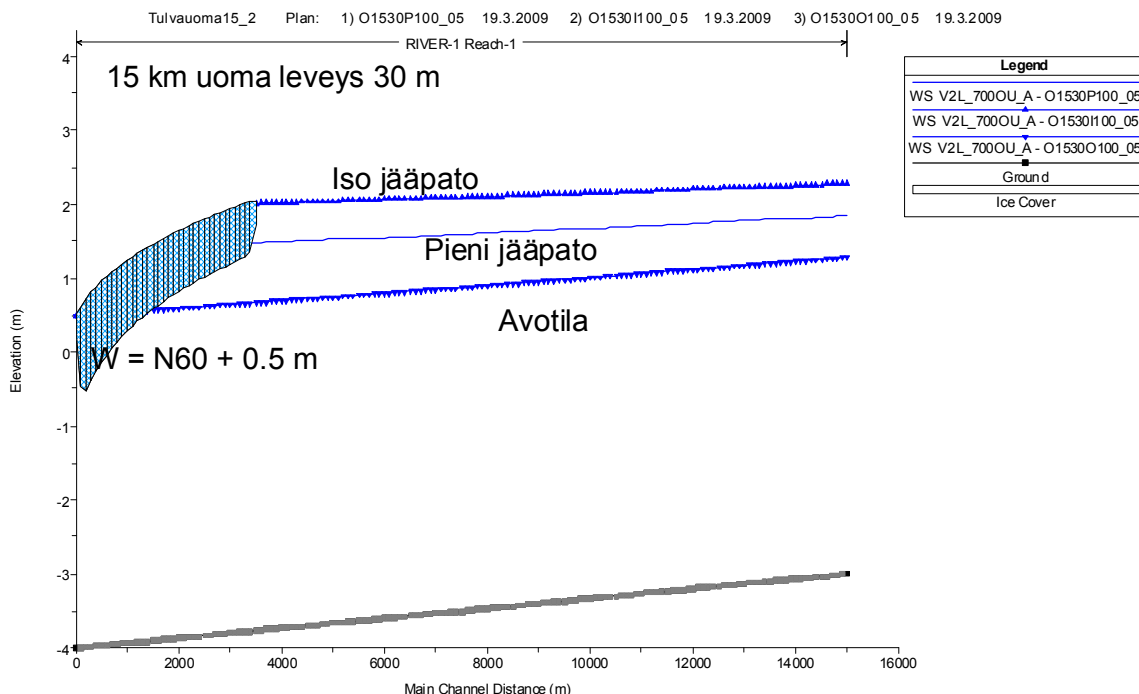
Oikaisu-uoman läpäisykykyä määritettäessä on laskettu erilaisilla virtaamilla ja erilaisilla oikaisu-uoman alapään vedenkorkeuksilla vedenkorkeus oikaisu-uoman yläpäässä. Lisäksi on käytetty kahda erilaista jääpatoa (jääpadoissa erilainen jään määrä).

Laskentatulosten perusteella on pystytty muodostamaan erilaisten oikaisu-uoman vaihtoehtojen ”purkautumiskäyrät”. Kuvissa 5.19 -15.25 on esitetty käyrästöjen muodostamisen periaatteet. Kuvassa 5.26. on esitetty oikaisu-uoman läpäisykyvyn käyrästöt kun alaveden korkeus on 15 km:n oikaisu-uomassa (vaihtoehdot 2a ja 2b) N60+1,0 m ja 10 km pitkälle oikaisu-uomalle (vaihtoehdot 2c ja 2d) N60+1,5 m. Näin käyrästöjen määrä on saatu supistettua kahdeksaan.

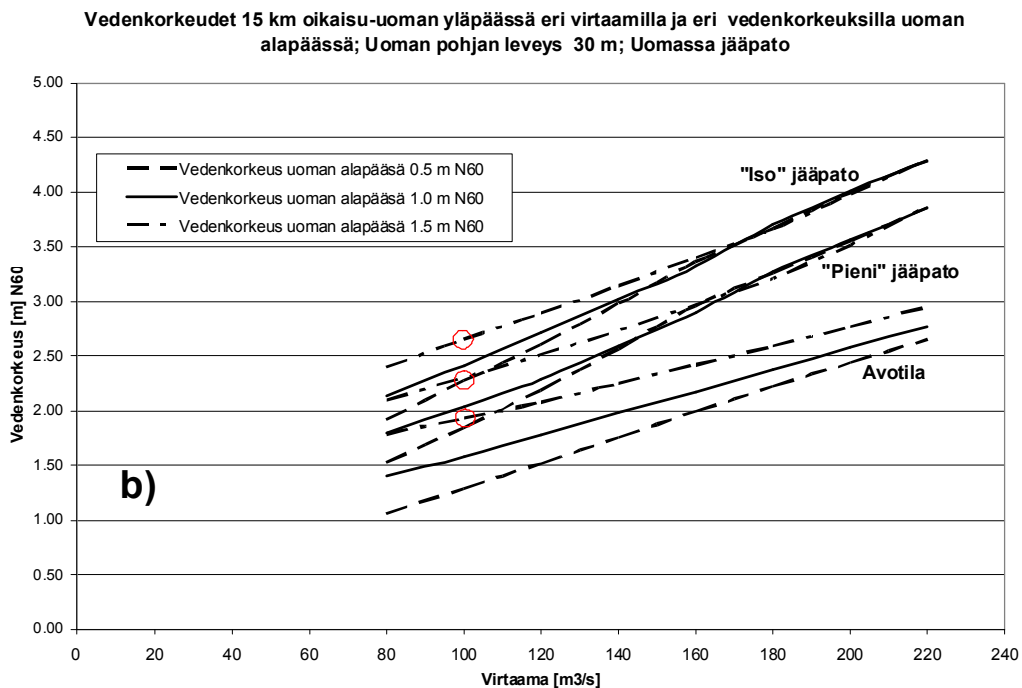
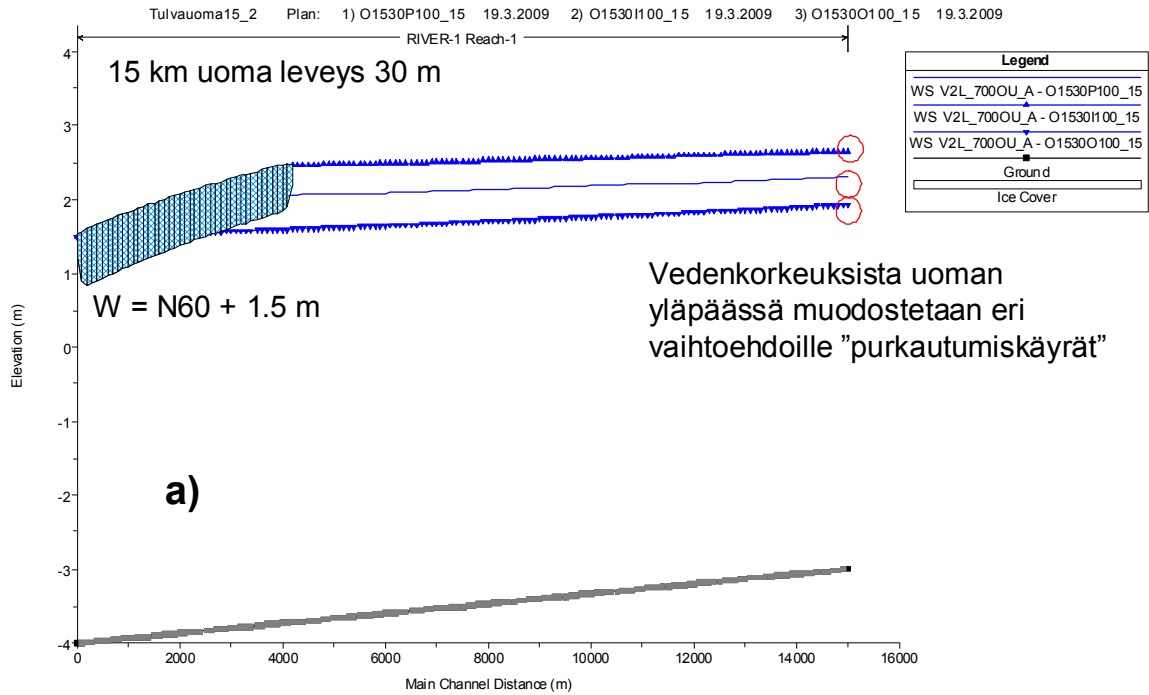
Lopullisiin vaihtoehdot 2:n ja vaihtoehto 3:n laskelmiin valittiin oikaisu-uoman vaihtoehdot 2b (15 km:n pituinen oikaisu-uoma, jonka pohjan leveys on 10 m) ja 2c (15 km:n pituinen oikaisu-uoma, jonka pohjan leveys on 10 m). Valitut vaihtoehdot edustavat oikaisu-uomavaihtoehtojen läpäisykyvyn ääripäitä. Lopullisissa laskelmissa on käytössä oikaisu-uomalle neljä läpäisykyvyn käyrästöä. Jääpatovaihtoehtoa, jossa oikaisu-uoman jääpadossa on paljon jäätä, on käytetty pääuoman jääpatovaihtoehtojen A, C ja E yhteydessä. Oikaisu-uoman jääpatovaihtoehtoa, jossa on vähän jäätä, on käytetty pääuoman jääpatovaihtoehtojen B, D ja F yhteydessä. Lopulliset käyrästöt on esitetty kuvassa 5.27.



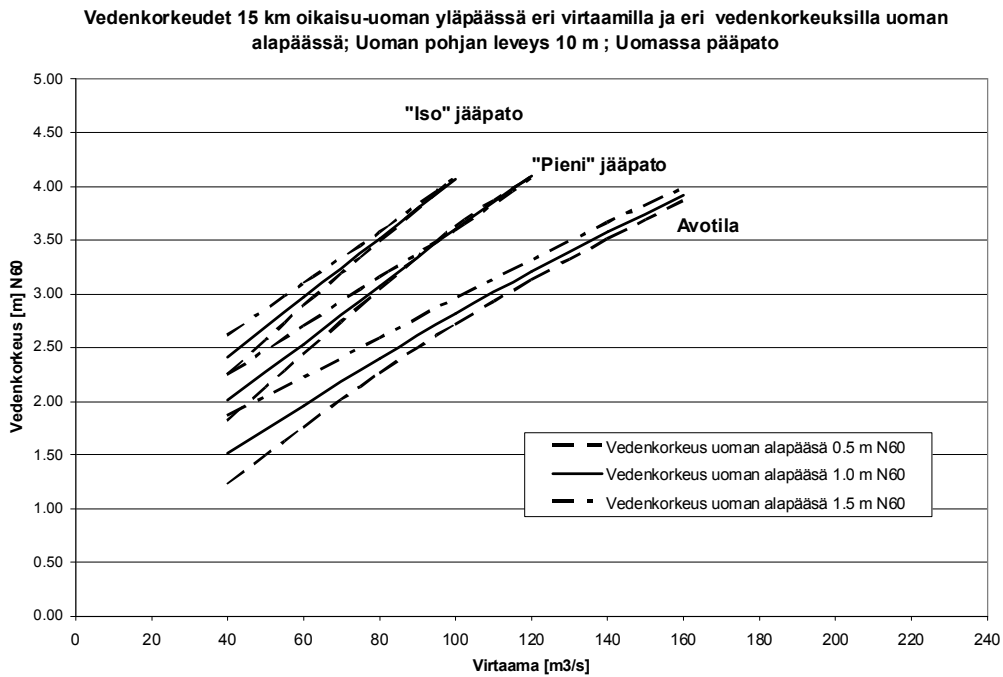
Kuva 5.19. Esimerkki jääpadon vaikutuksesta vedenkorkeuteen oikaisu-uomassa. Laskelmassa oikaisu-uoman pituus on 15 km (vaihtoehto 2a), virtaama $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ja vedenkorkeus uoman alapäässä $N60+0,5 \text{ m}$.



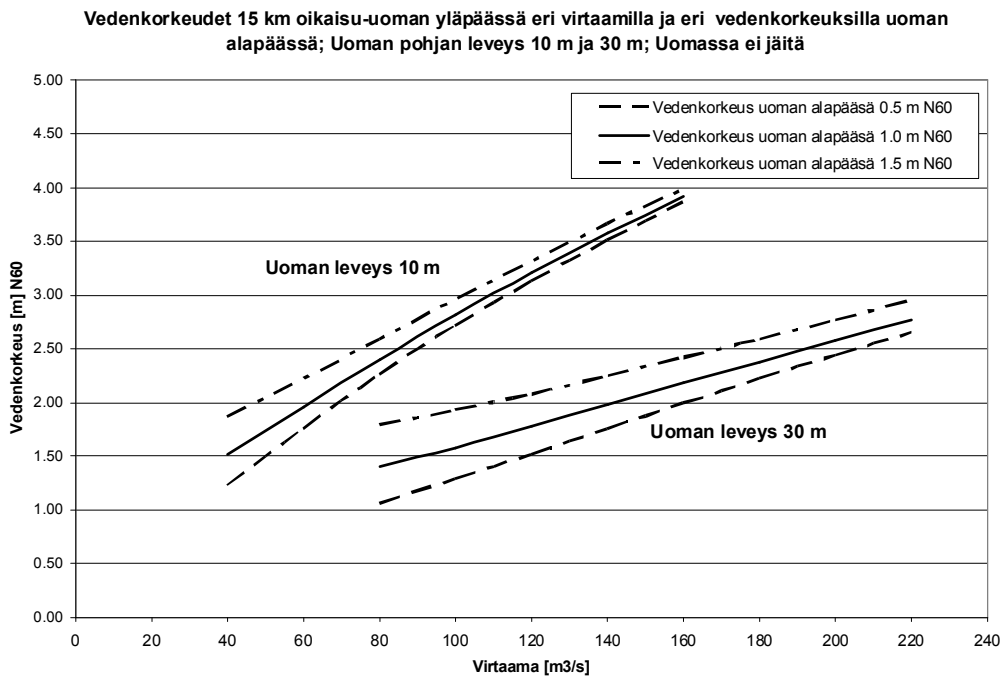
Kuva 5.20. Esimerkki jään määrän vaikutuksesta jääpadon aiheuttamaan vedenkorkeuteen oikaisu-uomassa. Kuvassa on esitetty pienen jääpadon ja ison jääpadon aiheuttamat vedenkorkeudet. Molemmissa tapauksissa oikaisu-uoman pituus on 15 km (vaihtoehto 2a), virtaama $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ja vedenkorkeus uoman alapäässä $N60+0,5 \text{ m}$.



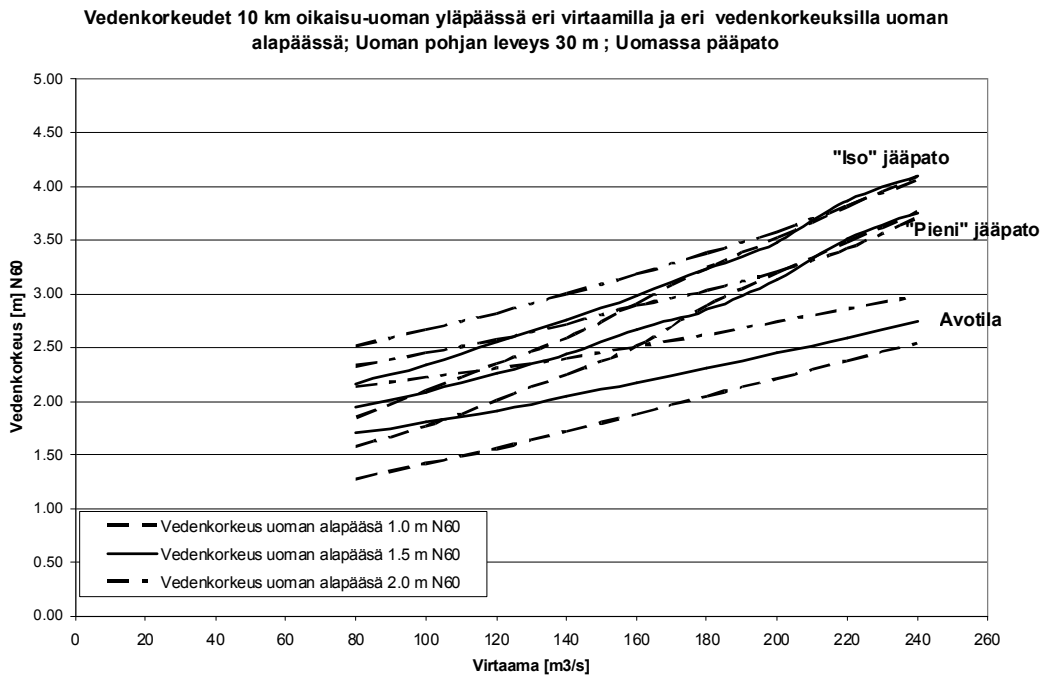
Kuva 5.21. Esimerkki "purkautumiskäyrän muodostamisesta oikaisu-uomalle. Kuvassa a) näkyy vedenkorkeudet uoman yläpäässä avotilanteelle ja tilanteille, joissa uomassa on pieni ja iso jääpato. Vedenkorkeus uoman alapäässä on N60+1,5 m ja virtaama 100m³/s. Vastaavat vedenkorkeus arvot on korostettu myös kuvan b) virtaama-vedenkorkeus käyrästä. Laskelmat tehtiin monelle virtaamalle ja uoman alapään vedenkorkeuksille ja niiden avulla saatiin muodostettua kuvan b) käyrästä erilaisille alavedenkorkeuksille sekä kahdelle eri jääpatotyypille ja avotilaiselle uomalle. Uoman pituus on 15 km ja uoman pohjan leveys 30 m (Vaihtoehto 2 a).



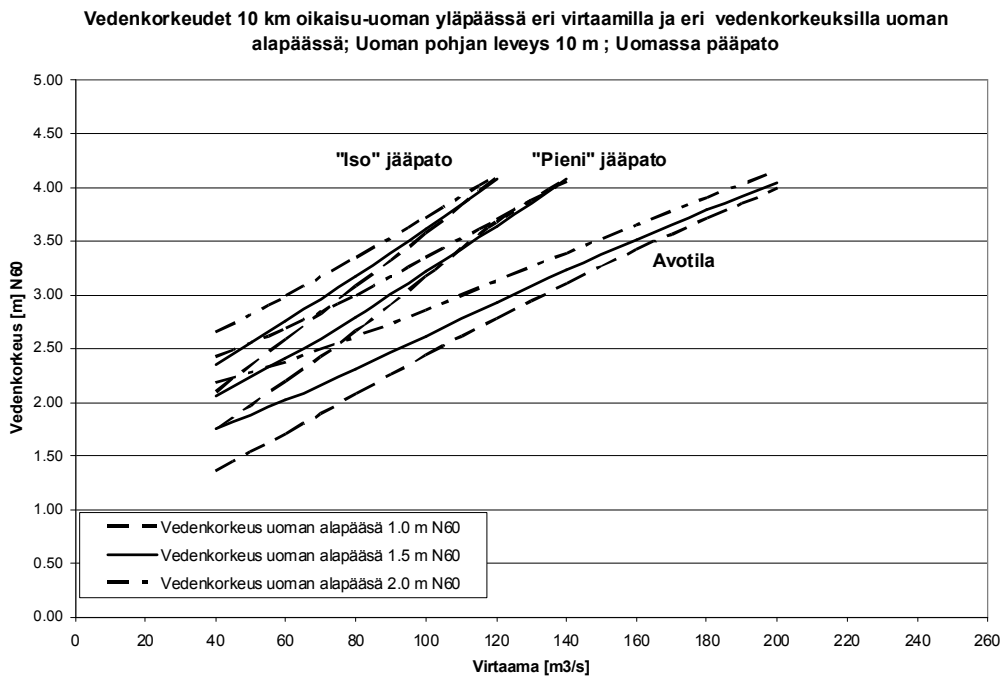
Kuva 5.22. Vastaava vedenkorkeus-virtaamakäyrästä kuin kuvassa 5.19 b), mutta tilanteelle, jossa uoman pituus on 15 km ja uoman pohjan leveys 10 m (vaihtoehto 2b). Pienemmästä uoman leveydestä johtuen läpäisykyky on huomattavasti huonompi kuin leveämmällä uomalla.



Kuva 5.23. Kuvassa on esitetty 15 km oikaisu-uoman avotilan (ei jäitä) läpäisykyvyn käyrästä 15 km pitkälle uomalle, kun uoman leveys on 10m (vaihtoehto 2b) ja 30 m (vaihtoehto 2a). Uoman leveyden merkitys läpäisykykyyn näkyy käyrästä selkeästi.

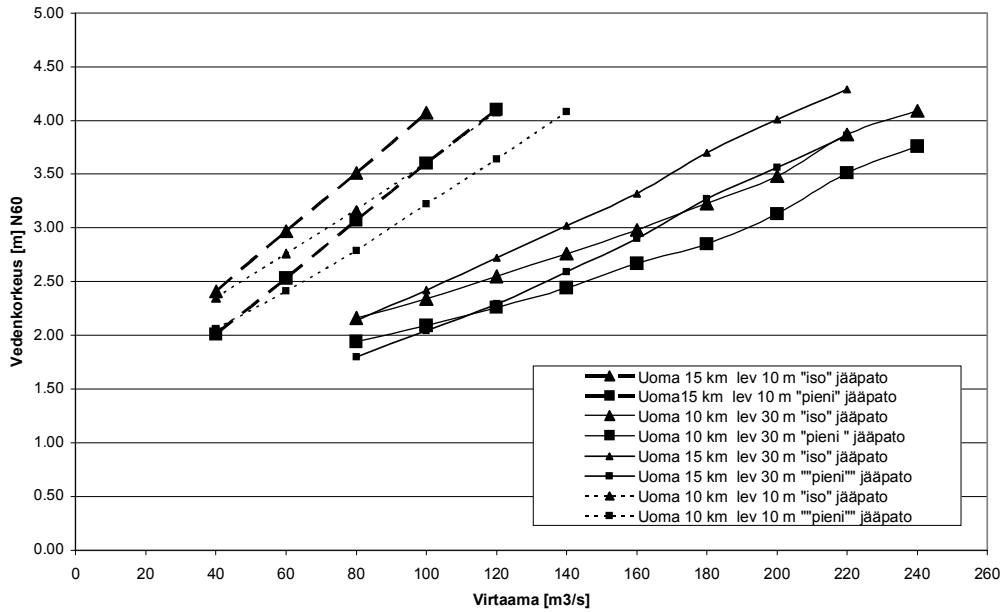


Kuva 5.24. Kuvassa on esitetty oikaisu-uoman läpäisykyvyn käyrästä 10 km pitkälle uomalle, kun uoman leveys on 30 m (vaihtoehto 2c).



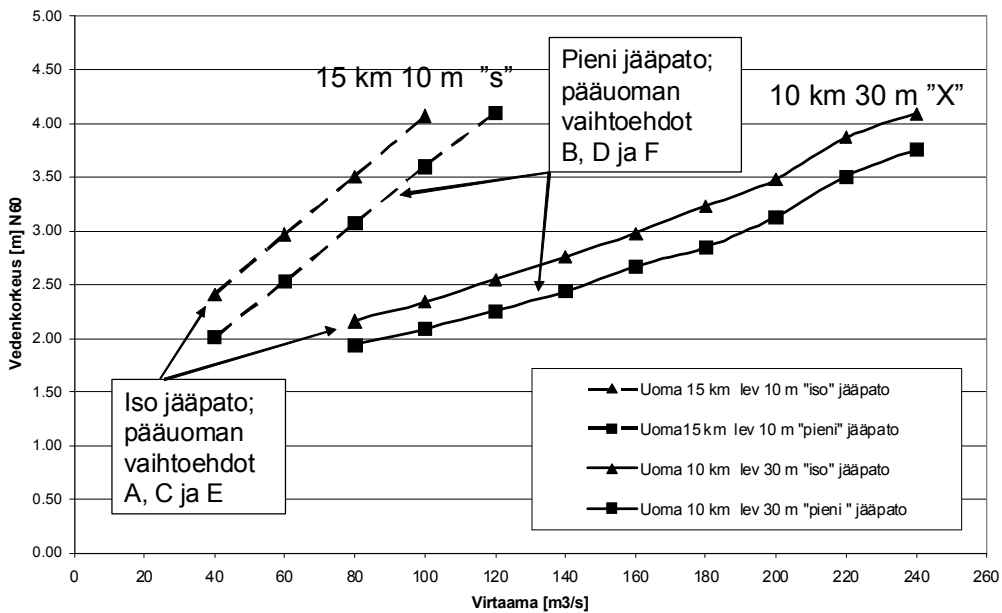
Kuva 5.25. Kuvassa on esitetty oikaisu-uoman läpäisykyvyn käyrästä 10 km pitkälle uomalle, kun uoman leveys on 10 m.

Vedenkorkeudet 15 km ja 10 km oikaisu-uoman yläpäässä eri virtaamilla ja eri jääpatotilanteilla



Kuva 5.26. Kuvassa on esitetty oikaisu-uoman läpäisykyvyn käyrästöt kun alaveden korkeus on 15 km:n oikaisu-uomassa (vaihtoehdot 2a ja 2b) N60+1,0 m ja 10 km pitkälle oikaisu-uomalle (vaihtoehdot (2c ja 2d) N60+1,5 m.

Vedenkorkeudet 15 km ja 10 km oikaisu-uoman yläpäässä eri virtaamilla ja eri jääpatotilanteilla



Kuva 5.27. Laskelmiin valitut läpäisykyvyn käyrästöt. 15 km:n uomasta valittiin vaihtoehto, jossa uoman pohjan leveys on 10 (vaihtoehto 2b) ja 10 km:n uomasta vaihtoehto, jossa uoman leveys on 30 m (vaihtoehto 2c). Jääpatovaihtoehdot, jossa oikaisu-uoman jääpadossa on paljon jäätä, käytetään pääuoman jääpatovaihtoehdojen A, C ja E yhteydessä. Oikaisu-uoman jääpatovaihtoehdot, jossa on vähän jäätä, käytetään pääuoman jääpatovaihtoehdojen B, D ja F yhteydessä.

5.5. Vaihtoehto 2:n vaikutus jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin

Laskelmat on suoritettu vaihtoehdolle 2 samaan tapaan kuin luvussa 5.3 on esitetty laskennan suoritus vaihtoehdolle 1. Jääpatojen muodostuminen on laskettu virtaamalla 600 m³/s ja 700m³/s käyttäen kuutta erilaista pääuomassa olevaa jääpatoa. Oikaisu-uoma vaihtoehdoista on käytetty vaihtoehtoja 2b ja 2c ja niistä kahta erilaista jääpatovaihtoehtoa (jääpadossa paljon jäätä ja vähän jäätä).

Laskennassa on etsitty tasapainottamalla virtaama, joka virtaa pääuomasta oikaisu-uomaan. Tämä on tehty kokeilemalla ensin jotakin virtaama-arvoa. Mikäli pääuoman laskennassa saatu vedenkorkeus oikaisu-uoman yläpään kohdalla on suurempi kuin käyrästöstä (kuva 5.27) saatu vedenkorkeus kyseiselle uomavaihtoehdolle ja jääpadolle, virtaamaa oikaisu-uomaan on lisätty.

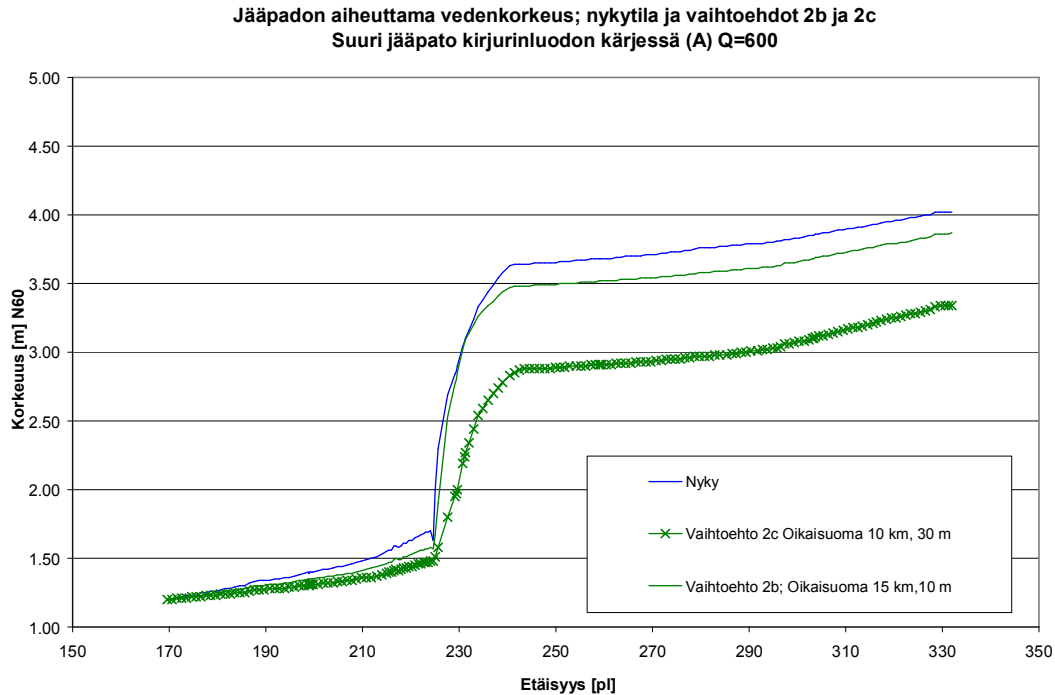
Taulukossa 5.2 on esitetty laskennan mukaiset virtaamat oikaisu-uomaan pääuoman eri jääpatovaihtoehtoilla.

Taulukko 5.2. Laskelmista saatu virtaama vaihtoehdoissa 2b ja 2c oikaisu-uomaan pääuoman eri jääpatovaihtoehtoilla.

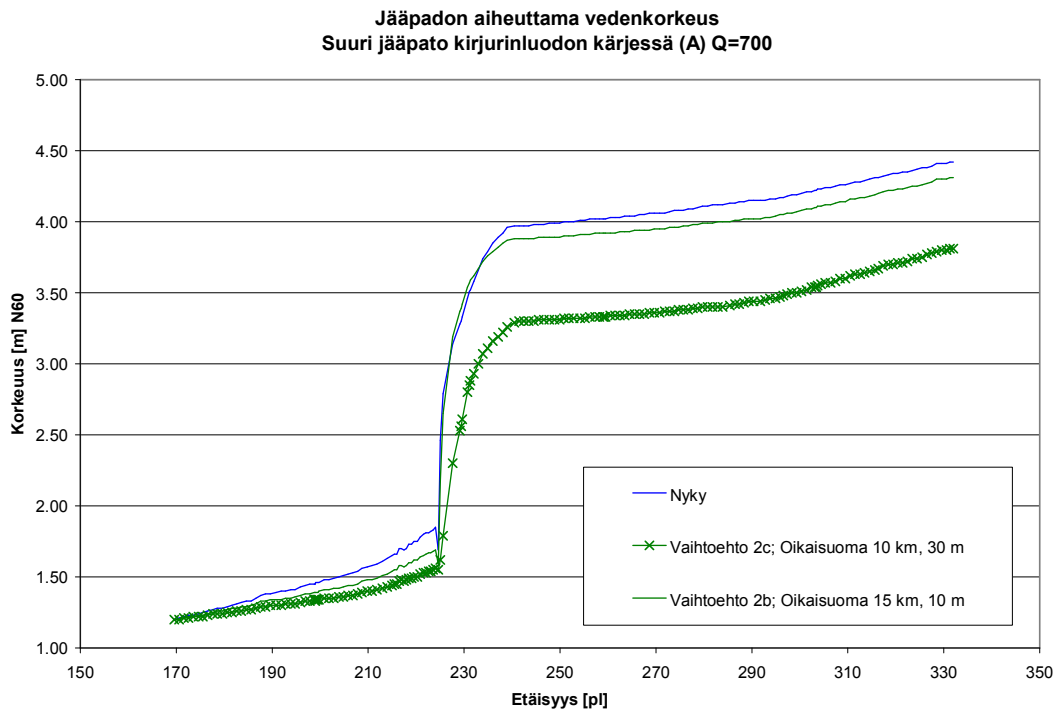
	700 m ³ /s 30 m uoma (2c)	700 m ³ /s 10 m uoma (2b)	600 m ³ /s 30 m uoma (2c)	600 m ³ /s 10 m uoma (2b)
A	200	100	160	80
B	170	80	140	70
C	200	100	180	90
D	200	100	170	90
E	240	120	210	110
F	220	120	200	100

Vaihtoehdon 2c vaikutus jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin on suuremmasta läpäisykyvystä johtuen ratkaisevasti suurempi kuin oikaisu-uomavaihtoehdon 2b. Kuvassa 5.28 on esitetty kirjurinluodon kärjessä olevan ison jääpadon (jääpato A) aiheuttamat vedenkorkeudet nykytilassa ja vaihtoehtoissa 2c ja 2b kun pääuoman virtaama on 600 m³/s. Vastaavat jääpato A:sta aiheutuvat vedenkorkeuden virtaamalla 700 m³/s on esitetty kuvassa 5.29.

Vaihtoehtojen 2c ja 2 b vaikutuksia jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin on esitetty yhdessä vaihtoehto 1:n ja 3:n tulosten kanssa kappaleessa 5.7.



Kuvas 5.28. Kirjurinluodon kärjessä olevan ison jääpadon (jääpato A) aiheuttamat vedenkorkeudet nykytilassa ja vaihtoehdoissa 2c ja 2b pääuoman virtaamalla $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Oikaisu-uomaan virtaa vaihtoehdossa 2 c $160 \text{ m}^3/\text{s}$ ja vaihtoehdossa 2 b $80 \text{ m}^3/\text{s}$, joten jääpadon kohdalla virtaama on vaihtoehdossa 2b $520 \text{ m}^3/\text{s}$ ja vaihtoehdossa 2c $440 \text{ m}^3/\text{s}$.



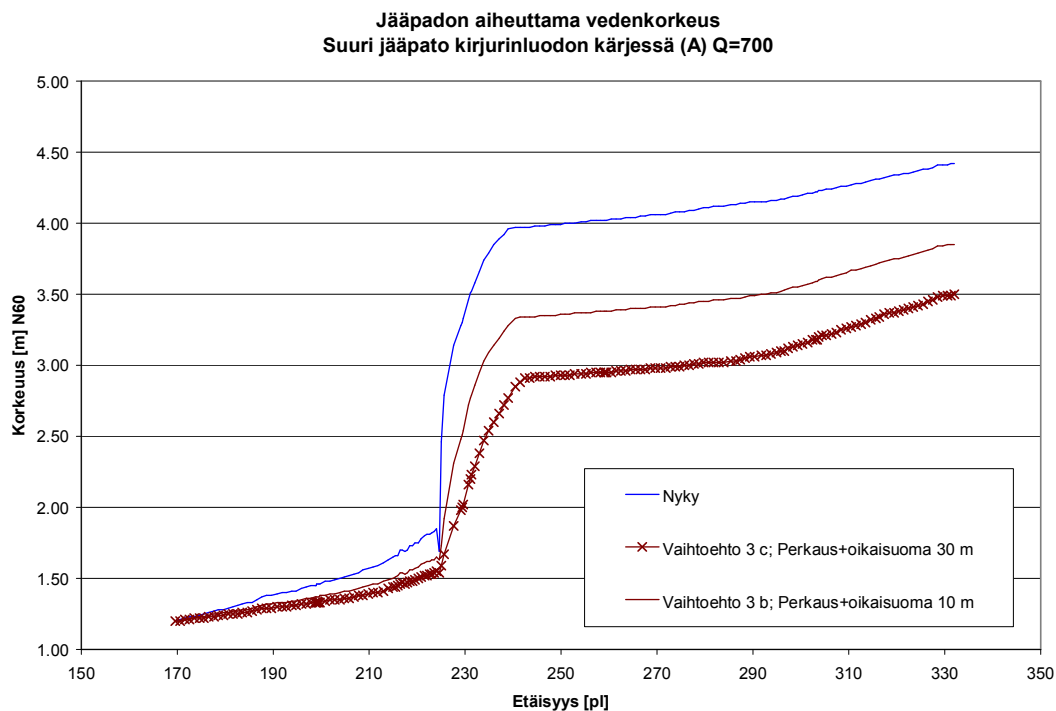
Kuva 5.29. Kirjurinluodon kärjessä olevan ison jääpadon (jääpato A) aiheuttamat vedenkorkeudet nykytilassa ja vaihtoehdoissa 2c ja 2b pääuoman virtaamalla $700 \text{ m}^3/\text{s}$. Oikaisu-uomaan virtaa vaihtoehdossa 2 c $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ja vaihtoehdossa 2 b $100 \text{ m}^3/\text{s}$, joten jääpadon kohdalla virtaama on vaihtoehdossa 2b $600 \text{ m}^3/\text{s}$ ja vaihtoehdossa 2c $500 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.6. Vaihtoehto 3:n vaikutus jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin

Vaihtoehto 3:ssa on oikaisu-uoman lisäksi toteutettu vaihtoehto 1:n mukainen uoman perkaus. Laskelmat on suoritettu vaihtoehdolle 3 samaan tapaan kuin luvussa 5.3 on esitetty laskennan suoritus vaihtoehdolle 1 ja luvussa 5.6 vaihtoehdolle 2. Jääpatojen muodostuminen on laskettu virtaamalla 600 m³/s ja 700m³/s käyttäen kuutta erilaista pääuomassa olevaa jääpatoa. Oikaisu-uoma vaihtoehdoista on käytetty vaihtoehtoja 2b ja 2c ja niistä kahta erilaista jääpatovaihtoehtoa (jääpadossa paljon jäätä ja vähän jäätä).

Vaihtoehdon 3c vaikutus jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin on suuremmasta läpäisykyvystä johtuen ratkaisevasti suurempi kuin oikaisu-uomavaihtoehdon 3 b. Kuvassa 5.30 on esitetty kirjurinluodon kärjessä olevan ison jääpadon (jääpato A) aiheuttamat vedenkorkeudet vaihtoehdoissa 3 c ja 3 b kun virtaama pääuomassa on 700 m³/s.

Vaihtoehtojen 3 c ja 3 b vaikutuksia jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin on esitetty yhdessä vaihtoehto 1:n ja 3:n tulosten kanssa kappaleessa 5.7.



Kuvas 5.30. Kirjurinluodon kärjessä olevan ison jääpadon (jääpato A) aiheuttamat vedenkorkeudet nykytilassa ja vaihtoehdoissa 3c ja 3b pääuoman virtaamalla 700 m³/s

5.7. Yhteenvedo vaihtoehtojen 1, 2 ja 3 vaikutuksesta jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin

Vaihtoehtojen 1, 2 c, 2 b, 3 c ja 3 b vaikutuksen erilaisten jääpatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin on esitetty taulukoissa 5.3 ja 5.4. Taulukossa 5.3 on esitetty keskimääräinen jääpadon aiheuttaman suurimman vedenkorkeuden alenema Kirjurinluodon ja Ulvilan sillan (paalut 225-332) välillä kun virtaama pääuomassa ennen oikaisu-uomaa on $700\text{m}^3/\text{s}$. Taulukossa 5.4 on esitetty vastaavat arvot virtaamalle $600\text{ m}^3/\text{s}$.

Virtaamalla $700\text{ m}^3/\text{s}$ suurin keskimääräinen vedenkorkeuden alenema on (1,01 m) vaihtoehdossa 3 c, jossa on uoman perkaus sekä leveä oikaisu-uoma. Pienin vaikutus (0,24 cm) on vaihtoehdossa 2 b, jossa on kapea oikaisu-uoma ilman pääuoman perkausta. Pelkkä uoman perkaus (vaihtoehto 1) alentaa jääpatojen aiheuttamia korkeimpia vedenkorkeuksia keskimäärin 0,43 m virtaamalla $700\text{ m}^3/\text{s}$. Pelkkä leveä oikaisu-uoma (vaihtoehto 2 c) alentaisi jääpatojen aiheuttamia korkeimpia vedenkorkeuksia keskimäärin 0,70 m virtaamalla $700\text{ m}^3/\text{s}$.

Virtaamalla $600\text{ m}^3/\text{s}$ jääpatojen aiheuttamia korkeimpien vedenkorkeuksia alenema on saamaa luokkaa kuin virtaamalla $700\text{ m}^3/\text{s}$.

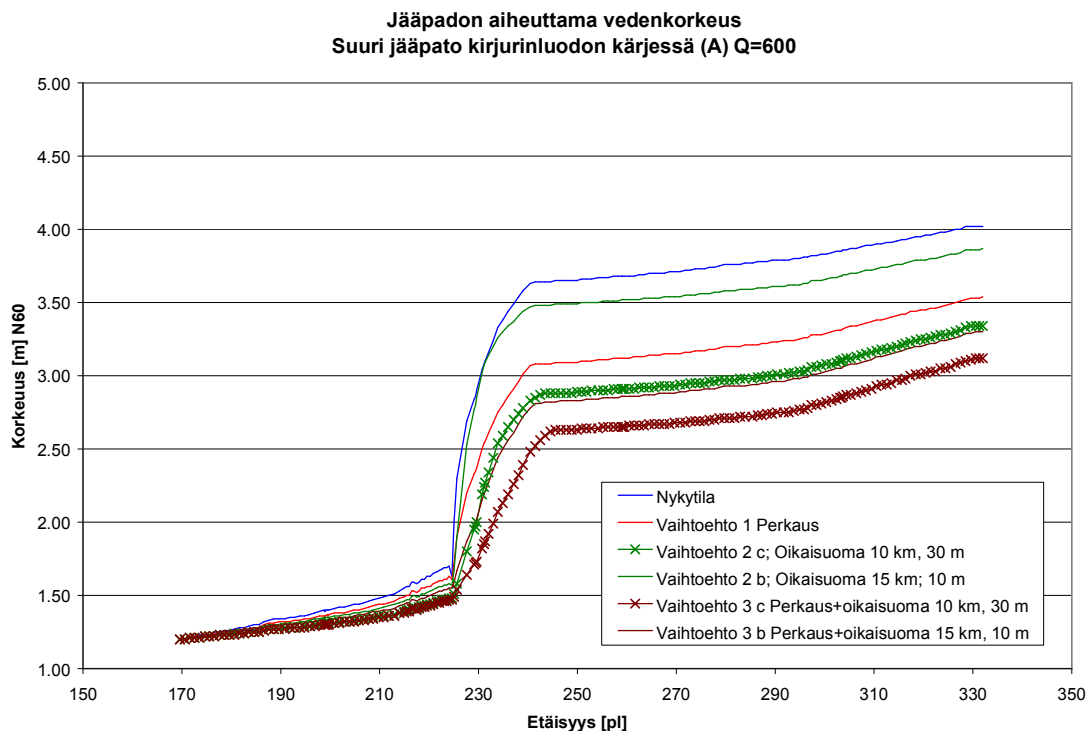
Kuvissa 5.31 – 5.42 on esitetty pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet jääpadoille A, B, C, D, E ja F ja virtaamille $600\text{ m}^3/\text{s}$ ja $700\text{ m}^3/\text{s}$.

Taulukko 5.3. Jäänlähdön aikaisen jääpadon aiheuttaman suurimman vedenkorkeuden keskimääräinen alenema Kirjurinluodon ja Ulvilan sillan (paalut 225-332) välillä . Virtaama pääuomassa ennen oikaisu-uomaa on $700\text{m}^3/\text{s}$.

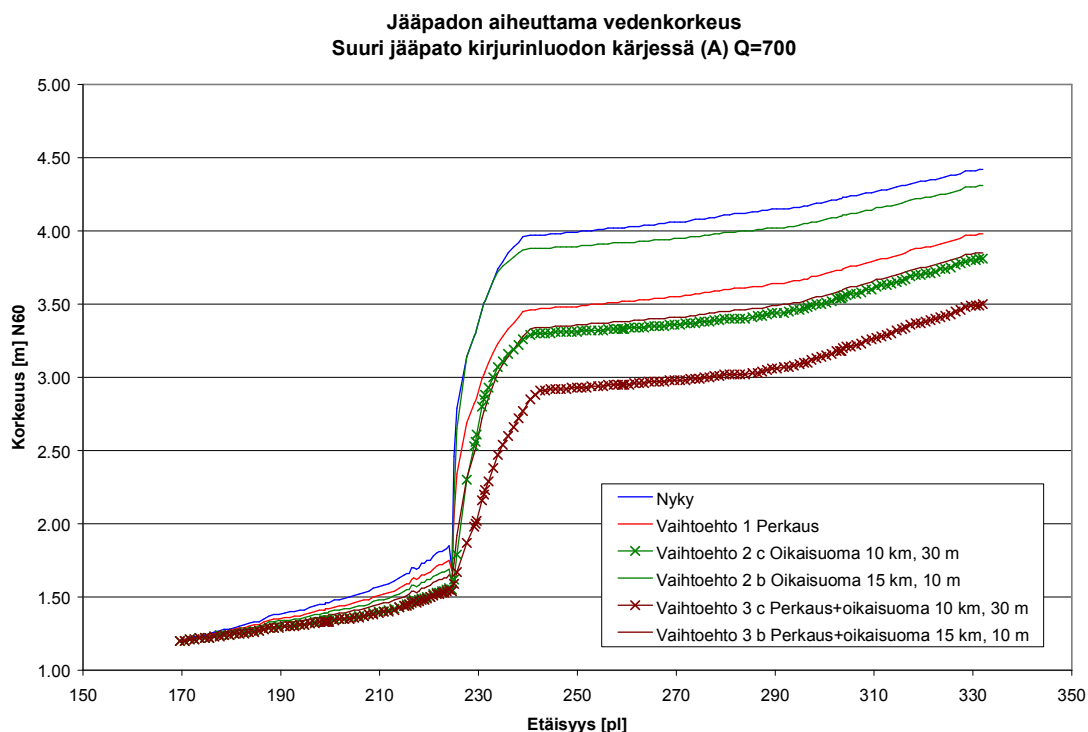
Jääpato	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2 c	Vaihtoehto 2b	Vaihtoehto 3 c	Vaihtoehto 3 b
A	0,49	0,68	0,10	1,07	0,65
B	0,36	0,50	0,09	0,74	0,47
C	0,47	0,81	0,35	1,13	0,73
D	0,48	0,67	0,21	0,99	0,78
E	0,45	0,87	0,37	1,14	0,74
F	0,37	0,68	0,30	0,95	0,68
Keskiarvo	0,43	0,70	0,24	1,01	0,67

Taulukko 5.4. Jäänlähdön aikaisen jääpadon aiheuttaman suurimman vedenkorkeuden keskimääräinen alenema Kirjurinluodon ja Ulvilan sillan (paalut 225-332) välillä . Virtaama pääuomassa ennen oikaisu-uomaa on $600\text{m}^3/\text{s}$.

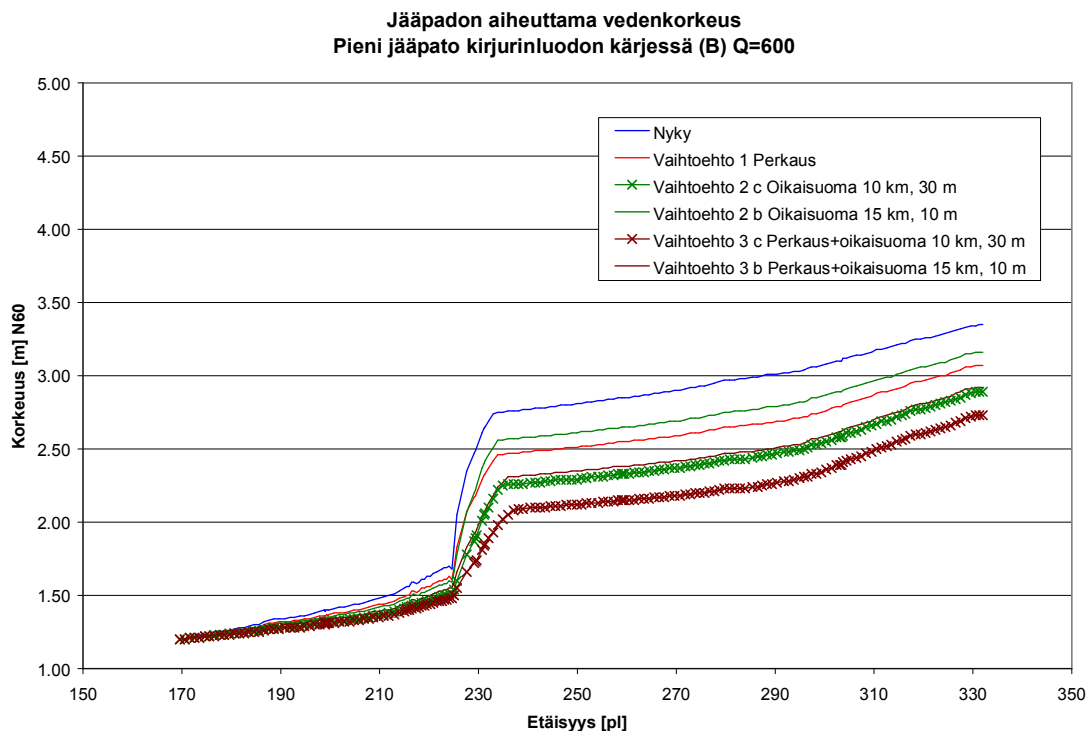
Jääpato	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2 c	Vaihtoehto 2b	Vaihtoehto 3 c	Vaihtoehto 3 b
A	0,54	0,76	0,16	1,03	0,81
B	0,30	0,52	0,21	0,70	0,48
C	0,44	0,70	0,30	1,10	0,63
D	0,62	0,53	0,23	0,99	0,67
E	0,47	0,85	0,36	1,18	0,77
F	0,35	0,67	0,28	0,94	0,56
Keskiarvo	0,45	0,67	0,26	0,99	0,65



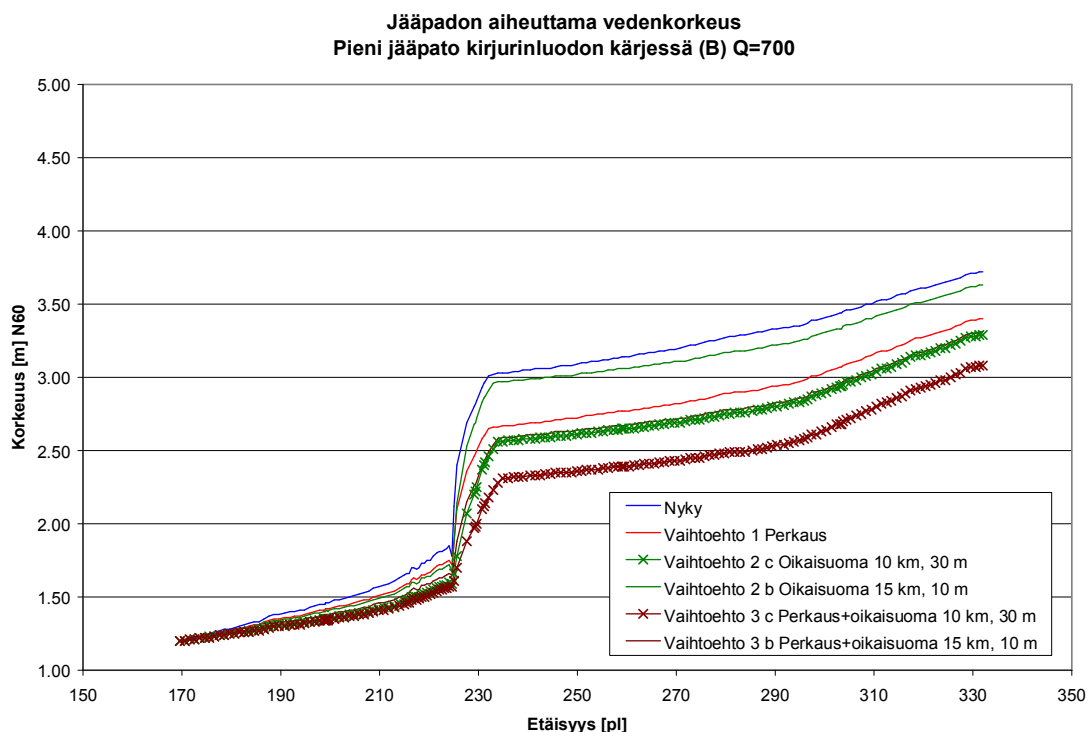
Kuva 5.31. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehtoissa jääpadolle A ja virtaamalle 600 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.



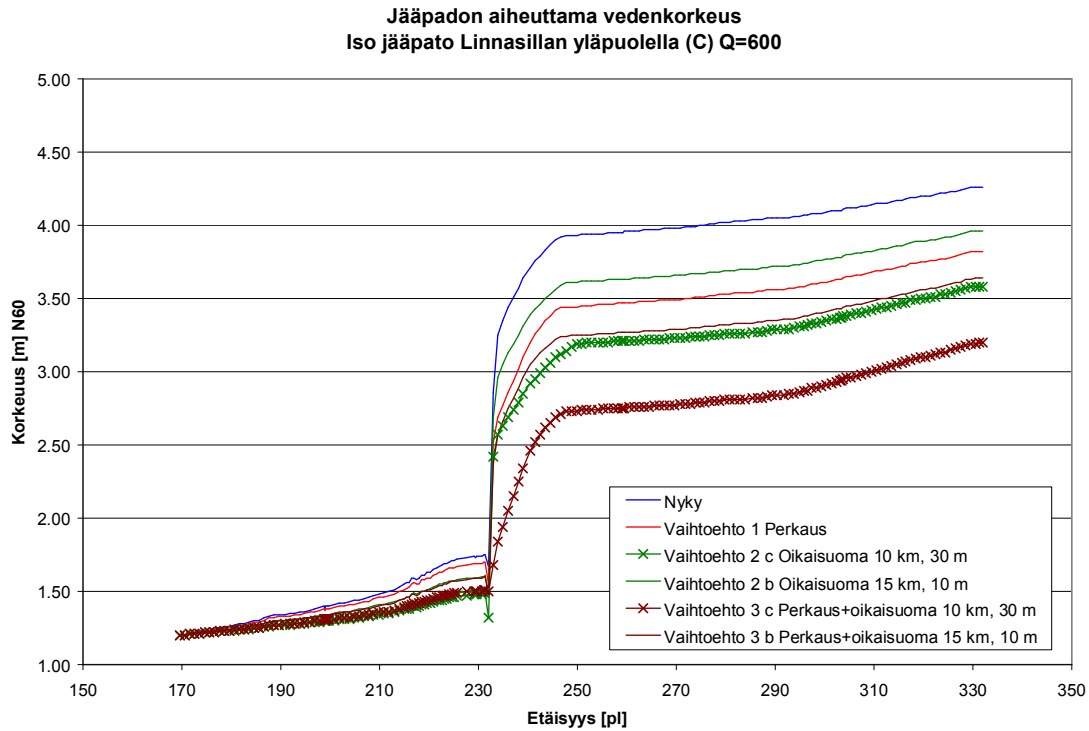
Kuva 5.32. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet j eri vaihtoehtoissa jääpadolle A ja virtaamalle 700 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.



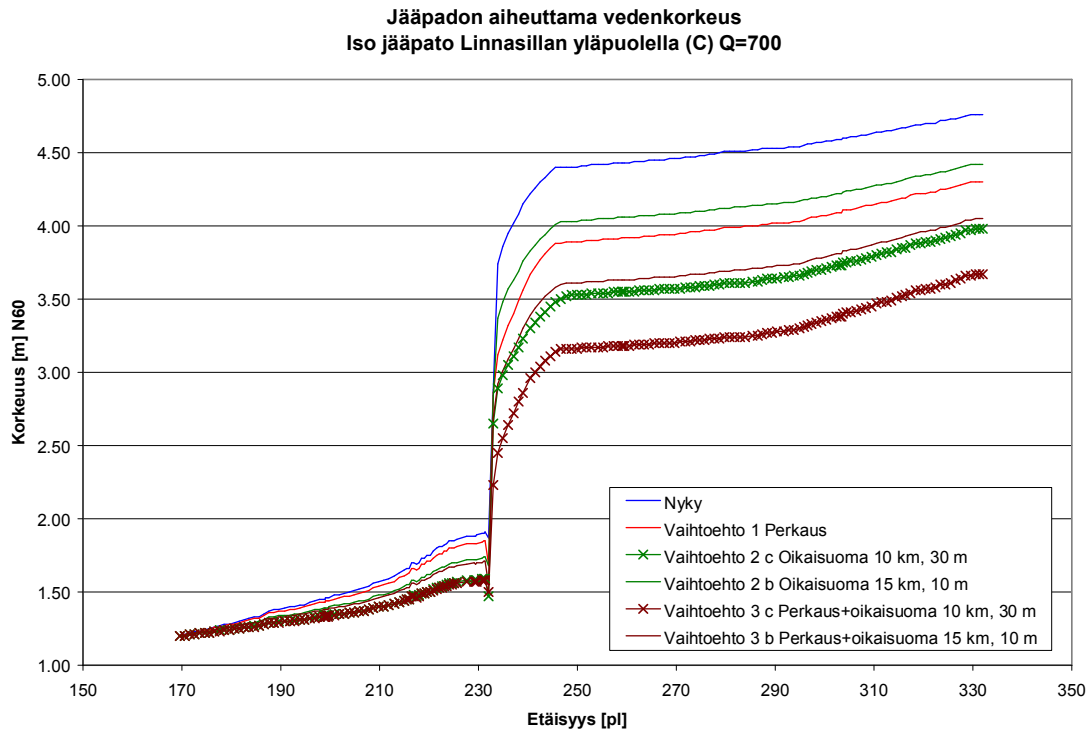
Kuva 5.33. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehtoissa jääpadolle B ja virtaamalle 600 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.



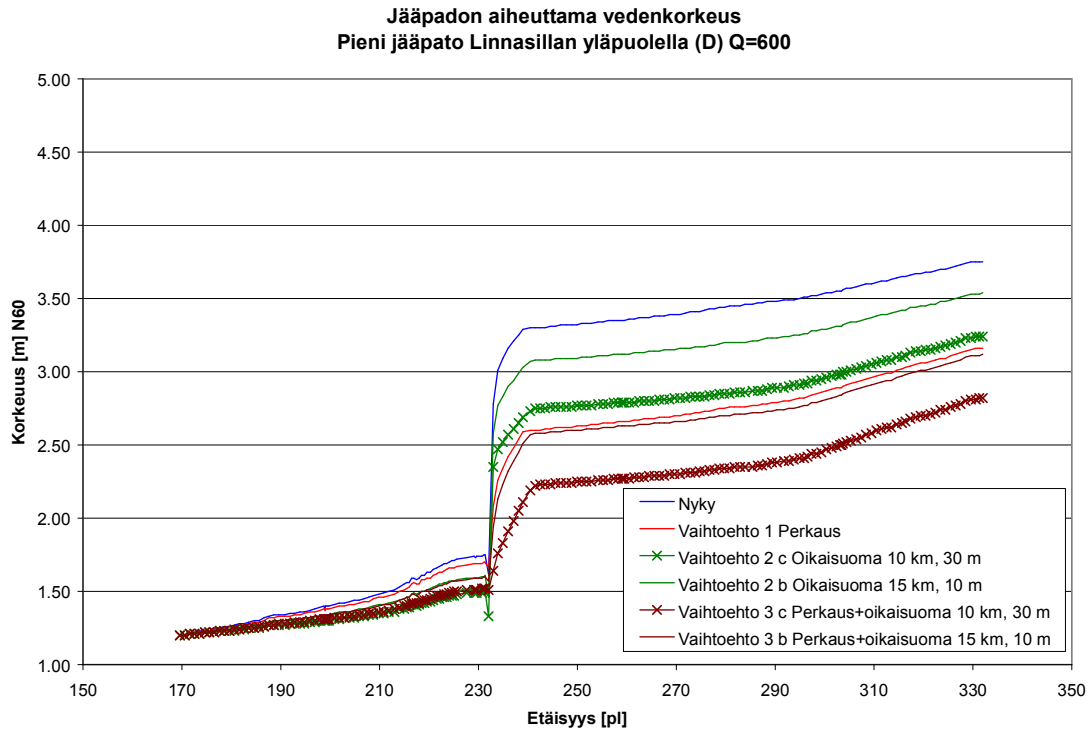
Kuva 5.34. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehtoissa jääpadolle A ja virtaamalle 700 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.



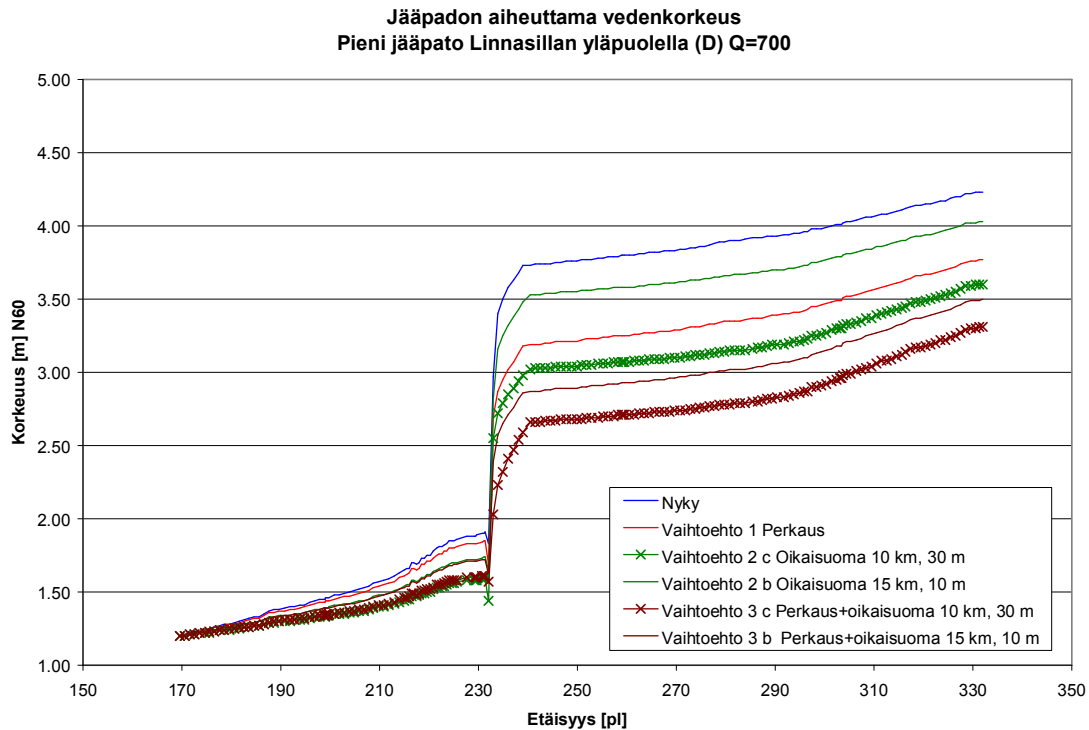
Kuva 5.35. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehtoissa jääpadolle C ja virtaamalle 600 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.



Kuva 5.36. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehtoissa jääpadolle C ja virtaamalle 700 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

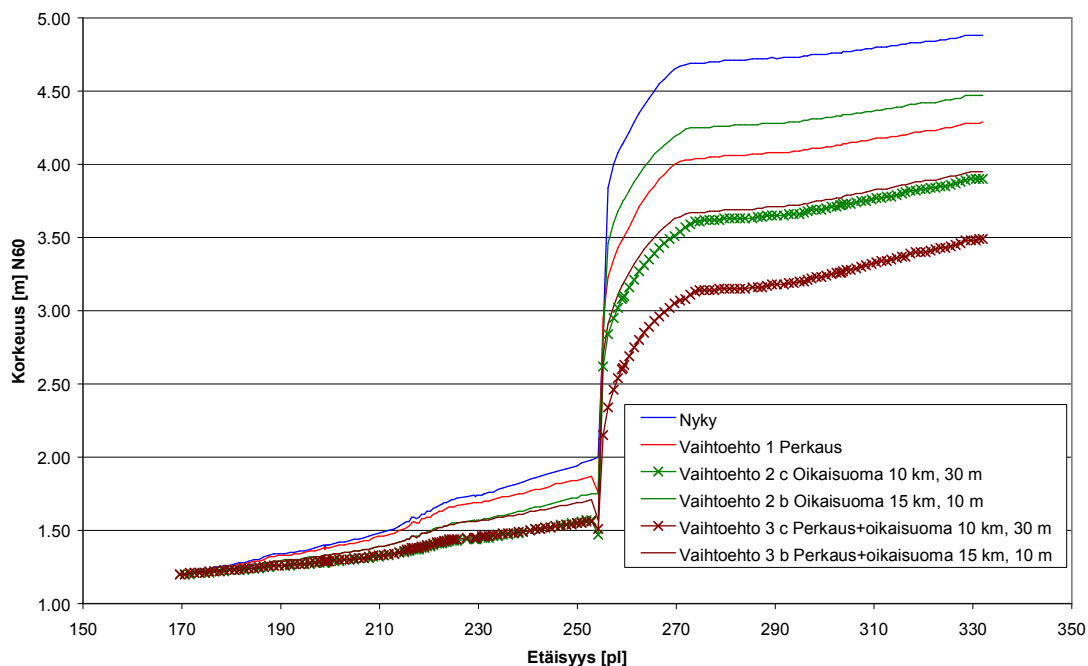


Kuva 5.37. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehtoissa jääpadolle D ja virtaamalle 600 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.



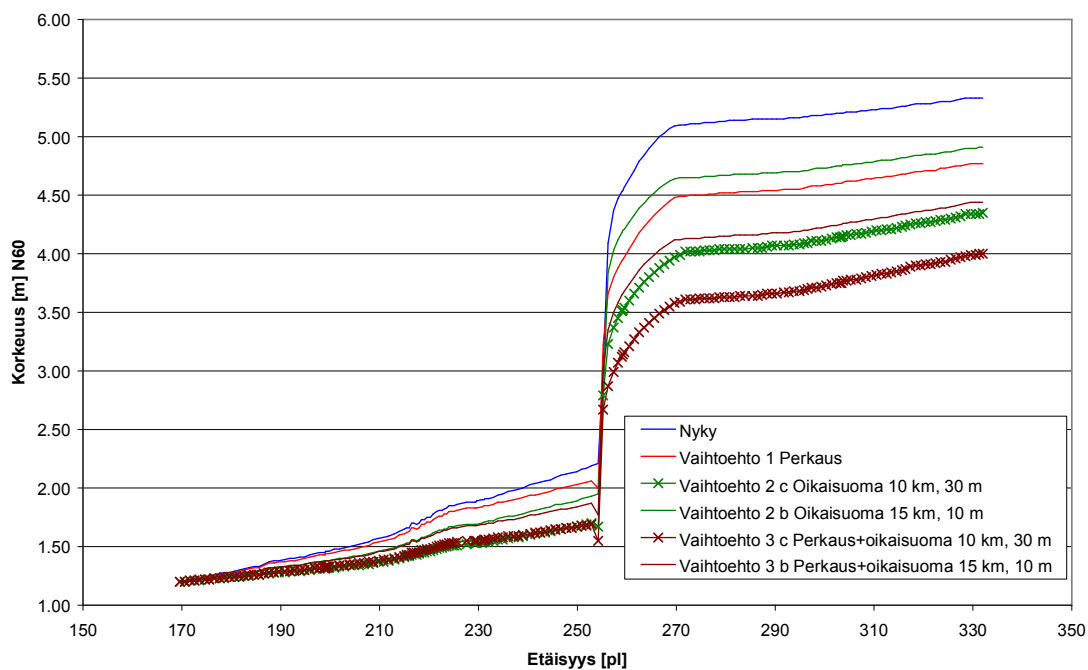
Kuva 5.38. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehtoissa jääpadolle D ja virtaamalle 700 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

Jääpadon aiheuttama vedenkorkeus
Iso jääpato sillan yläpuolella (E) Q=600

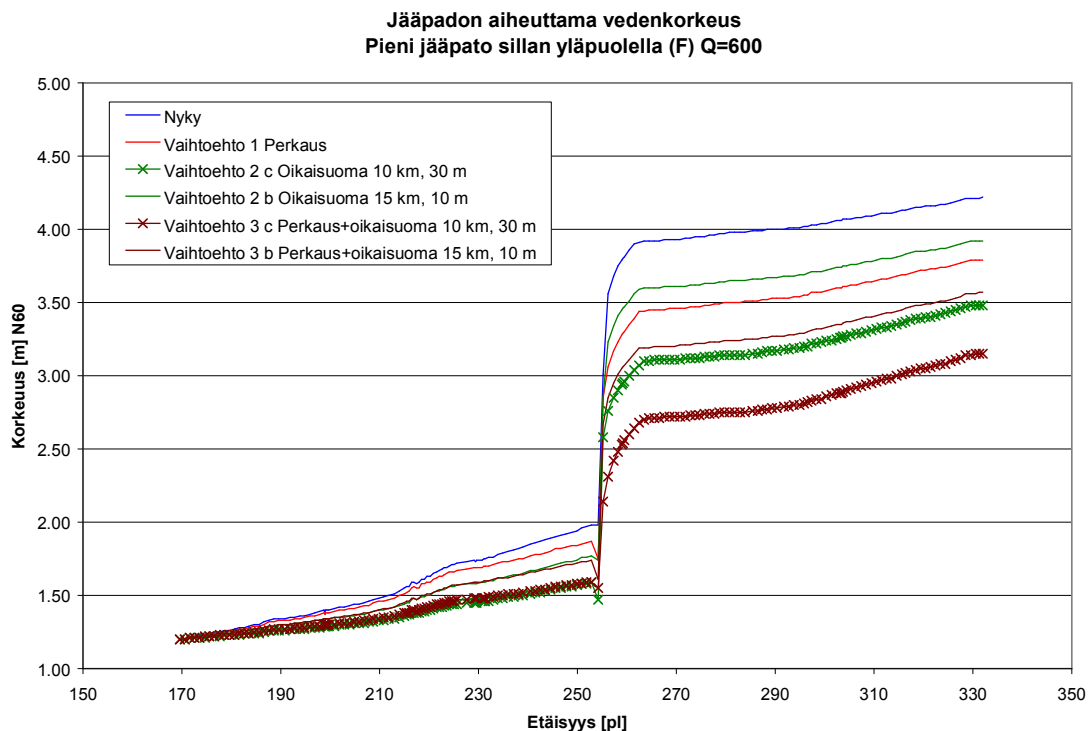


Kuva 5.39. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehdoissa jääpadolle E ja virtaamalle 600 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

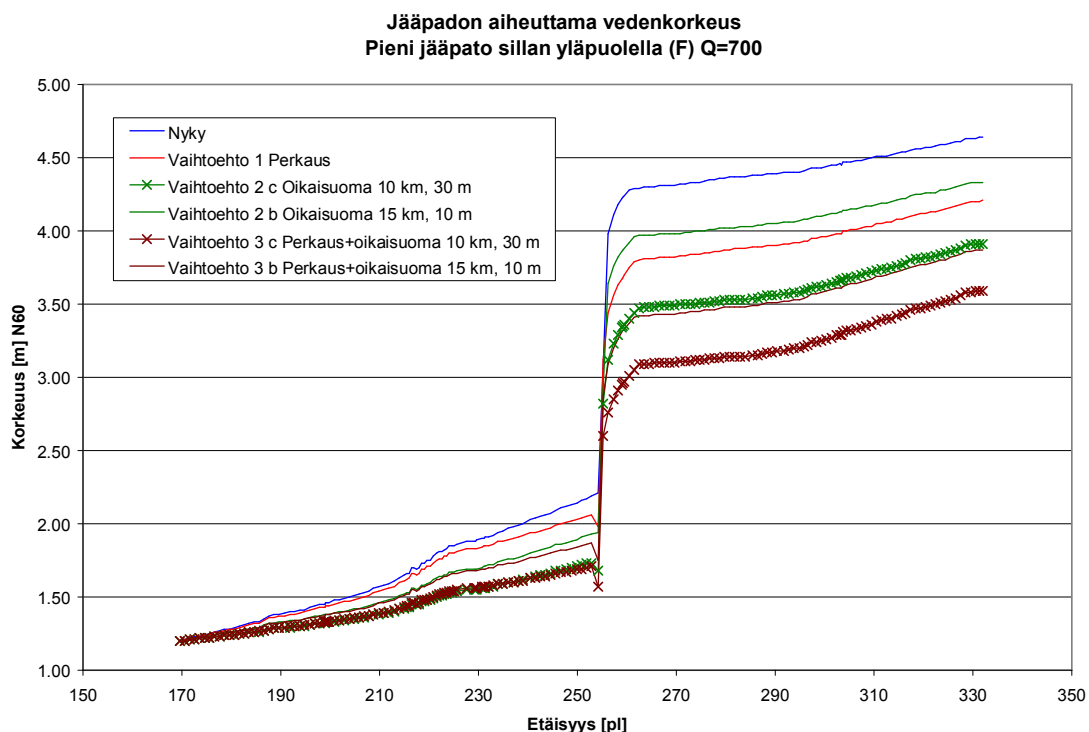
Jääpadon aiheuttama vedenkorkeus
Iso jääpato sillan yläpuolella (E) Q=700



Kuva 5.40. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehdoissa jääpadolle E ja virtaamalle 700 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.



Kuva 5.41. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehtoissa jääpadolle F ja virtaamalle 600 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

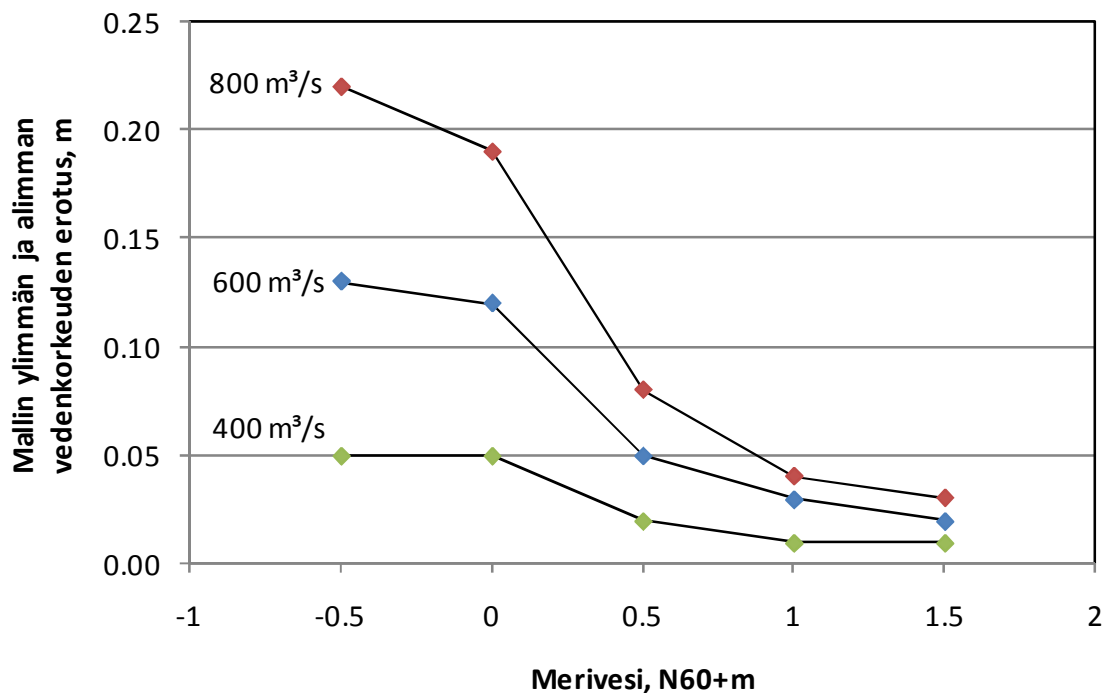


Kuva 5.42. Pituusleikkauksessa jäänlähdön aikaisten jääpatojen aiheuttamat vedenkorkeudet eri vaihtoehtoissa jääpadolle F ja virtaamalle 700 m³/s. Penkereiden on oletettu olevan niin korkeat, että vesi ei poistu uomasta.

6. Selvitys Mäntyluodon sillan vaikutuksesta vedenkorkeuksiin

Tämän työn yhteydessä tehtiin erillinen selvitys Mäntyluodon sillan vaikutuksesta vedenkorkeuksiin. Kokemäenjoki laskee Pihlavanlahteen ja suurin osa vedestä kulkeutuu Mäntyluodon kautta Eteläselälle ja edelleen Pohjanlahteen. Selvitys tehtiin yksidimensionaalisella HEC-RAS-virtausmallilla hyödyntäen käytettävissä olevaa tietoa alueen merenpohjan korkeusasemista ja siltojen mitoista. Laskelmia on selostettu tarkemmin liitteessä 3.

Mallin tulosten mukaan alueen ylimmän ja alimman poikkileikkauksen vedenkorkeuksien erotuksen vaihteluväli on suurinta alimmilla merivedenkorkeuksilla ja vastaavasti pienintä suurimmalla merivedenkorkeudella. Merivedenkorkeudella N60-0,50 m erotusten vaihteluväli virtaamilla 400 ... 800 m³/s oli 0,17 m ja merivedenkorkeudella N60+1,50 m 0,02 m. Suurin vedenkorkeuksien erotus, 0,22 m, toteutui suurimmalla virtaamalla (800 m³/s) ja matalimmalla merivedenkorkeudella (N60-0,50 m). Ylimmän ja alimman poikkileikkauksen välisiä vedenkorkeuseroja on havainnollistettu kuvassa 6.1.



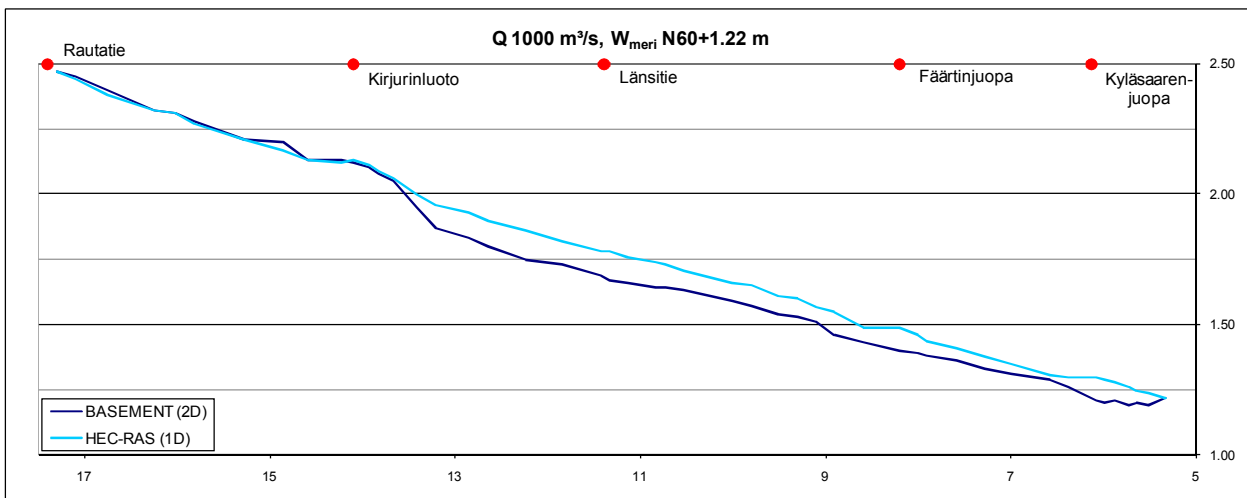
Kuva 6.1 Mäntyluodon sillan padottava vaikutus eri virtaamilla ja eri meriveden korkeuksilla. Osa Kokemäenjoen virtaamasta kulkee merelle muuta reittiä kuin sillan läpi, joten virtaama 800 m³/s vastaa pääuoman virtaamaa 1200 m³/s. Sillan padottava vaikutus tälle virtaamalle on merivedenkorkeudella N60+0.0 noin 19 cm.

7. Selvitys tulvan leviämisestä luotojen alueella

Luotojen alueen 2D-mallinnuksella selvitettiin alueella tapahtuvan veden virtauksen käyttäytymistä suuren virtaaman ja korkean meriveden tilanteessa. Näin tarkennettiin Porin tulvat -projektin laskentaa, joka laskettiin yksidimensionaalisella HEC-RAS-mallilla. Porin tulvat -projektissa luotojen alueen virtauksen oletettiin olevan saman suuntaista joen pääuomien virtauksen kanssa. Kaksidimensionaalisella mallilla voidaan helposti mallintaa tilanne, jossa vesi virtaa tulva-alueella sen pinnan muotojen mukaisesti, eikä tulva-aluetta tarvitse etukäteen jakaa eri uomien kesken. Kaksidimensionaalisena mallina käytettiin sveitsiläistä BASEMENT-virtausmallia.

Verrattuna vastaavan virtaustilanteen yksidimensionaaliseen mallinnukseen, tarkempi 2D-mallinnus tuottaa luotojen alueella hieman matalampia vedenkorkeuksia. Esimerkiksi kuvan 7.1 tilanteessa, 1000 m³/s virtaamalla vedenkorkeus on länsitien kohdalla noin 10 cm alempana. Keskimäärin vedenkorkeusero Kirjurinluodon ja Luotsinmäenhaaran ja Kyläsaarenjuovan risteyksen välillä on noin 7 cm.

Mikäli luotojen alueen pengerryksiä korotettaisiin ja näin ollen tulvan leviäminen luotojen alueelle estettäisiin, päädyttäisiin vedenkorkeuksissa lähemmäs HEC-RAS-mallinnuksen korkeuksia, jossa vesi virtaa alavirtaan lyhintä reittiä, joen uomien poikkileikkauksiin nähden kohtisuorasti.



Kuva 7.1 Luotsinmäenhaaran vedenkorkeuden pituusprofiili BASEMENT- ja HEC-RAS-mallinnuksilla välillä rautatiesilta – Kyläsaarenjuopa.

Luotojen alueen tulvaleviämislaskentaa on selvitetty tarkemmin liitteessä 4.

8. Yhteenveto tuloksista

Tässä työssä on jokijäämallin ja HEC-RAS-mallin avulla selvitetty eri tulvasuojeluvaihtoehtojen vaikutusta vedenkorkeuksiin joen jäätymisvaiheessa hyytöpatotilanteessa sekä toisaalta jäiden lähtövaiheessa jääpatotilanteelle. Vaihtoehdot ovat koostuneet uoman perkauksesta ja oikaisu-uoman rakentamisesta. Ulompana Pihlavanlahdella tehtävän ruoppauksen vaikutusta on selvitetty numeerisella kaksiulotteisella virtausmallilla. Lisäksi työssä selvitettiin Mäntyluodon sillan vaikutusta tulvan aikaisiin vedenkorkeuksiin.

Kivinin ja Luotsinmäenhaaran alaosan kannalta tehokkaimmaksi perkausvaihtoehdoksi osoittautui selkeästi vaihtoehto, jossa Laiskanränni ruopataan Pihlavanlahdelle (mukana vaihtoehdoissa 6 ja 7). Tällä ruoppauksella saavutetaan nykytilaan verrattuna paaluvälillä 130-180 virtaamasta riippuen keskimäärin 9 – 26 cm ja suurimmillaan 36 cm alenema hyydepatojen tulvakorkeuksissa. Koska Kyseessä on yleisimmin toistuva tulvatilanne Kokemäenjoen alaosalla, tästä perkauksesta saataisiin merkittävää hyötyä. Ulompana Pihlavanlahdella tehtävän perkauksen (vaihtoehto 8) vaikutus tulvakorkeuksiin jäisi vähäisemmäksi. Pihlavanlahdella tehtävällä perkauksella voitaisiin lisätä virtausalaa vain vähän nykyiseen virtausalaan verrattuna ja perkauksesta saatava denkorkeuden alenema ei vaikuttaisi Kiviniä ylempänä. Pihlavanlahdella tehtävä uoman perkaus kuitenkin mahdollistaisi alusten käytön jään rikkomiseen jään muodostumisen alkuvaiheessa ja siitä olisi näin hyötyä tulvariskien hallinnassa.

Huvilajuovan perkaus (vaihtoehto 4) vaikuttaisi tulvakorkeuksiin kaupungin keskustan kohdalla vain hyvin vähän. Lisäksi tulvakorkeudet Huvilajuovassa nousisivat lievästi jos Huvilajuovan yläosan virtausta rajoittavat kohdat poistettaisiin ja virtaama uomassa kasvaisi.

Vaihtoehto 1:n mukainen pääuomassa tehtävä perkaus ja vaihtoehto 2:n mukainen oikaisu-uoma vaikuttaisivat varsinkin jäänlähden aikaisten jääpatojen aiheuttamiin suurimpiin vedenkorkeuksiin. Tällainen jääpato muodostui esimerkiksi talvella 1974-75 kun muodostunut jääkansi lähti sään lauh tuessa ja virtaaman noustessa liikkeelle ja muodosti jääpadon kaupungin keskustan kohdalle.

Vaihtoehto 1:n mukainen uoman perkaus alentaisi jääpadoista aiheutuvia vedenkorkeuksia Kirjurinluodon kärjen ja Tampereentien sillan välillä (pl 225- 332) keskimäärin yli 40 cm:llä nykytilanteeseen verrattuna. Leveä oikaisu-uoma, joka olisi toteutettu vaihtoehto 2 c:n mukaisesti (uoman pohjan leveys 30 m) alentaisi vastaavia tulvakorkeuksia keskimäärin jopa 70 cm. Kapean oikaisu-uoman (uoman pohjan leveys 10m) vaikutus jäisi taas keskimäärin 25 cm:iin. Oikaisu-uoman pituudella (10 – 15 km) ei ole niin ratkaisevaa merkitystä oikaisu-uoman tulvia alentavaan vaikutukseen kuin uoman leveydellä (30 m – 10 m).

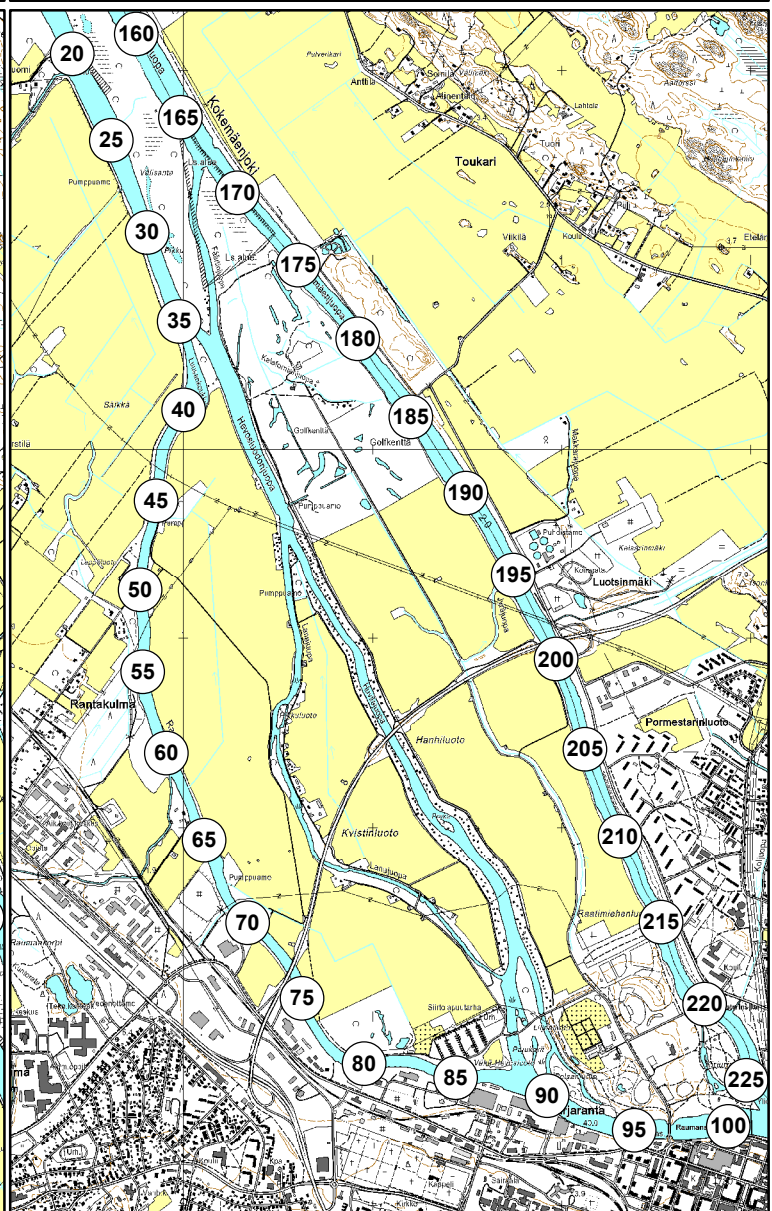
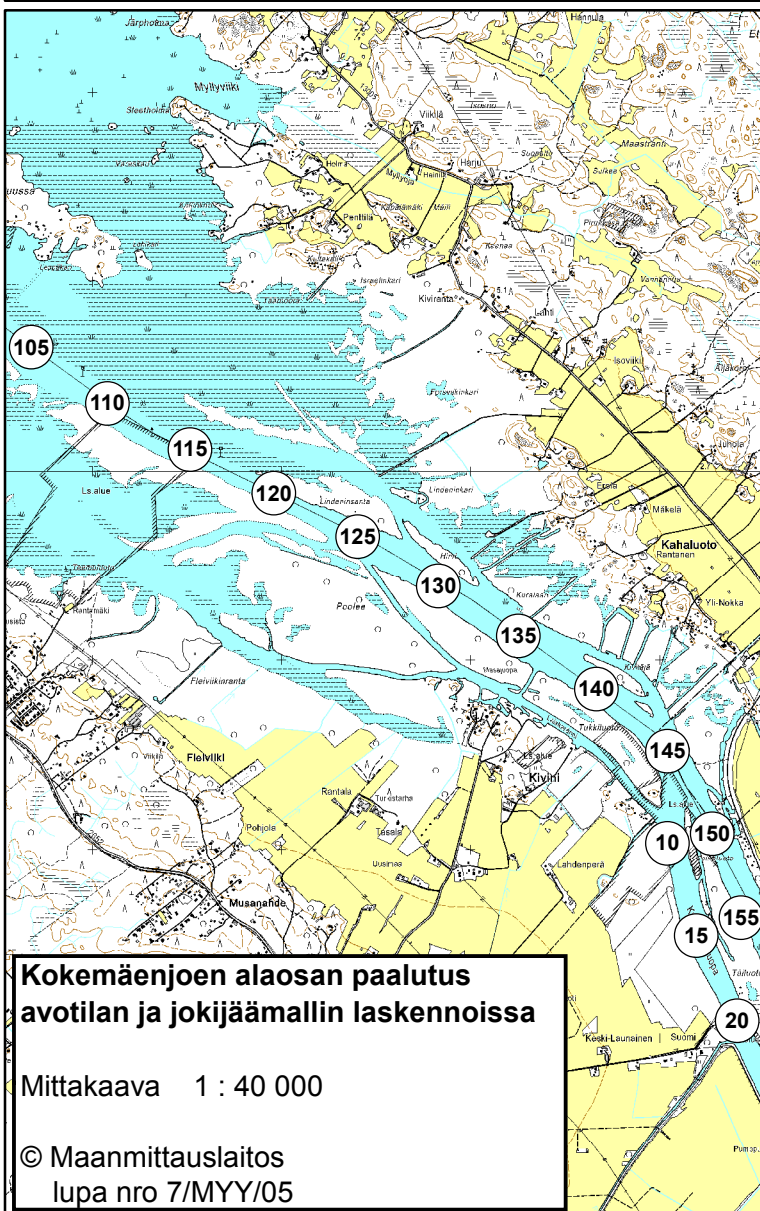
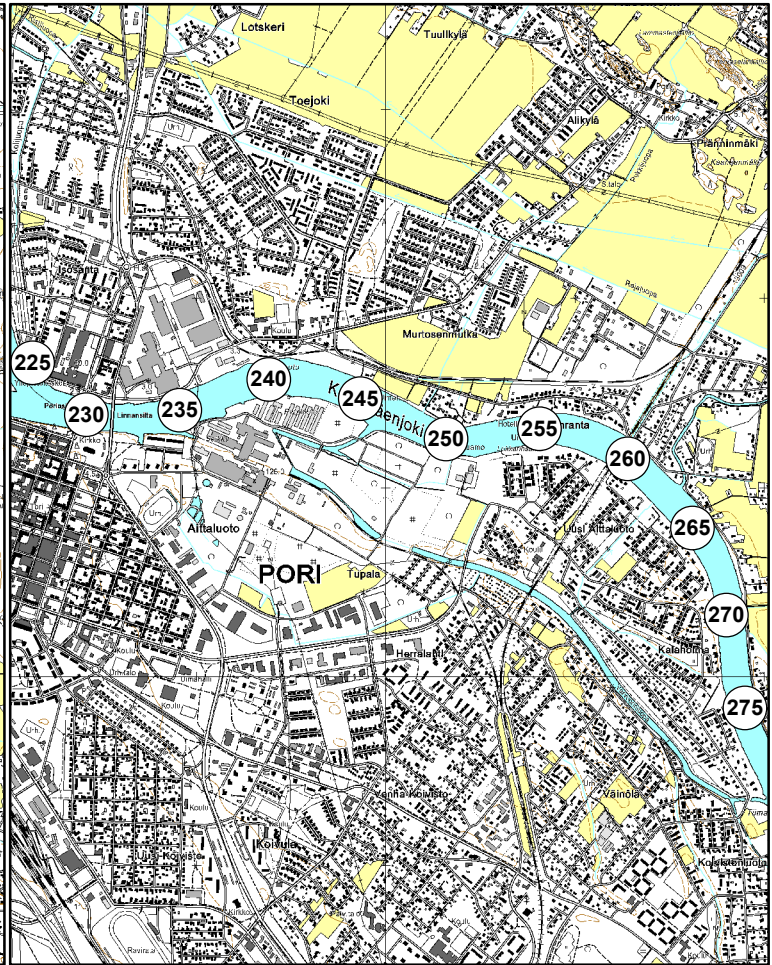
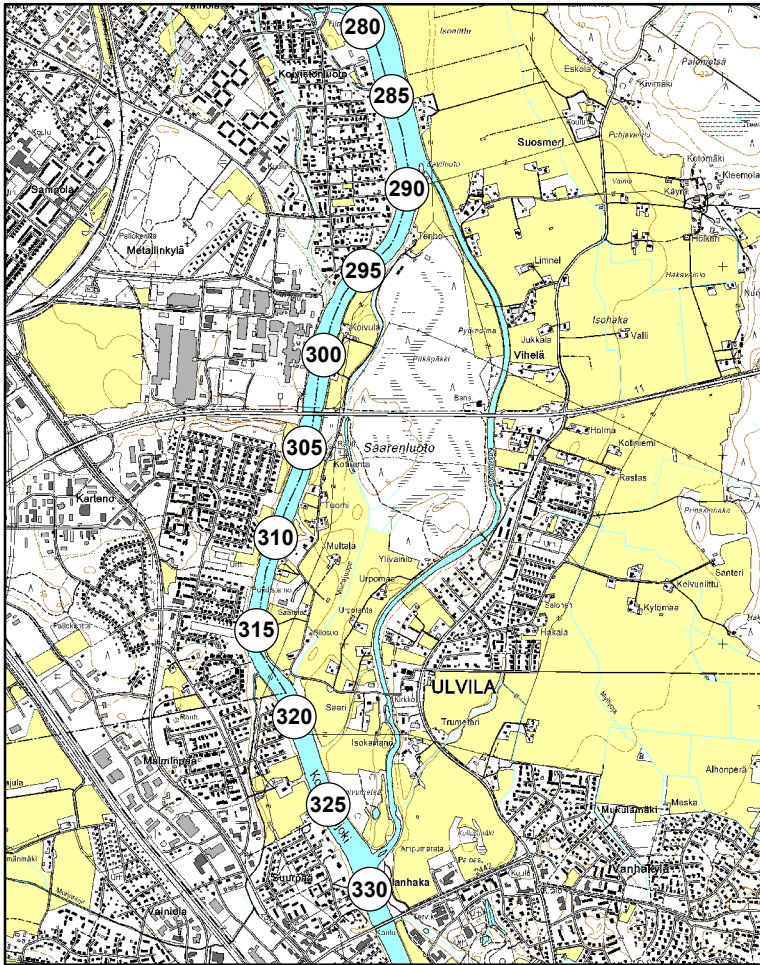
Yhdistämällä leveä oikaisu-uoma ja vaihtoehto 1:n mukainen perkaus (vaihtoehto 3) voitaisiin alentaa jääpadoista aiheutuvia tulvakorkeuksia keskimäärin jopa 1 m:llä nykyiseen verrattuna Kirjurinluodon kärjen ja Tampereentien sillan välillä.

Vaihtoehto 7 mukainen uoman perkaus, jossa on mukana vaihtoehto 1:n mukainen perkaus ja Laiskanrännin perkaaminen Pihlavanlahdelle asti, olisi tehokas yhdistelmä sekä hyydepatojen että jään lähtövaiheen jääpatojen aiheuttamien tulvakorkeuksien alentamisessa. Kaupungin keskustan kohdalla voitaisiin tämän vaihtoehdon vaikutusta lisätä kaupungin pohjoispuolella olevan oikaisu-uoman avulla. Mikäli oikaisu-uoma rakennetaan, se on kuitenkin syytä mitoittaa riittävän suureksi. Pienellä oikaisu-uomalla ei saada kovin suurta hyötyä aikaiseksi.

Porin kaupungin tulvasuojelun kannalta olisi erittäin tärkeää säilyttää ns. luotojen alue Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan välissä tulvien leviämisalueena. Tällä on suuri merkitys varsinkin jos hyydepato tai jäänlähdon aikainen jääpato muodostuu Raumanjuopaan tai Luotsinmäenhaaraan. Mikäli luotojen alue on tulva-alue, pääse tulvavesi purkautumaan tätä kautta, eikä vesi uhkaa varsinaista kaupungin aluetta ja sen penkereitä.

Lähteitä:

- Fread, D.L.,1985. Channel routing. Anderson M.G. and Burt, TD.(ed.) HydrologicalForecasting. John Wiley and Sons Ltd.,London, ss. 437-503.
- HEC-RAS mallin selostus (HEC-RAS Hydraulic Reference).
- Huokunam M. 2006. Selvitys eri toimenpiteiden vaikutuksesta Kokemäenjoen alaosan jäätulviin. Porin-tulvat hankkeen raportti-CD.
- Huokuna, M., 2007. Ice Jams in Pori. 14th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. Québec (Québec), Canada – 2007
- Huokuna M., Aaltonen J., ja Veijalainen N., 2009. Frazil ice problems in changing climate conditions. 15th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. St. John's, Canada – 2009
- Huokuna, M., 1990. The Finnish River Ice Research Project –The Numerical Model in Use. Proceedings, IAHR, Internatinal Symposium on Ice, Espoo, Finland, Vol 3, pp 215-230.
- Koskinen, M. (ed) 2006. Porin tulvat – hallittuja riskejä?, Suomen ympäristö 19/2006. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
- Teppo Linjama 2007: Tulvasuojeluvaihtoehtojen edullisuusvertailu – esimerkkitapauksena Pori. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 5/2007.
- Shen, H. T., Yapa, PD., 1984. Computer Simulation of Ice Cover Formation in theUpper St. Lawrence River Workshop on Hydraulics of River Ice, Fredericton, N.B., June 1984, ss. 227-246.
- Shen, H. T., Lal W.A.M.1986 Growth and decay of river ice covers. Proceedings, ColdRegions Hydrology Symposium, AWRA, Fairbanks ss. 583 - 592.



Kokemäenjoen alueen paalutus avotilan ja jokijäämallin laskennoissa

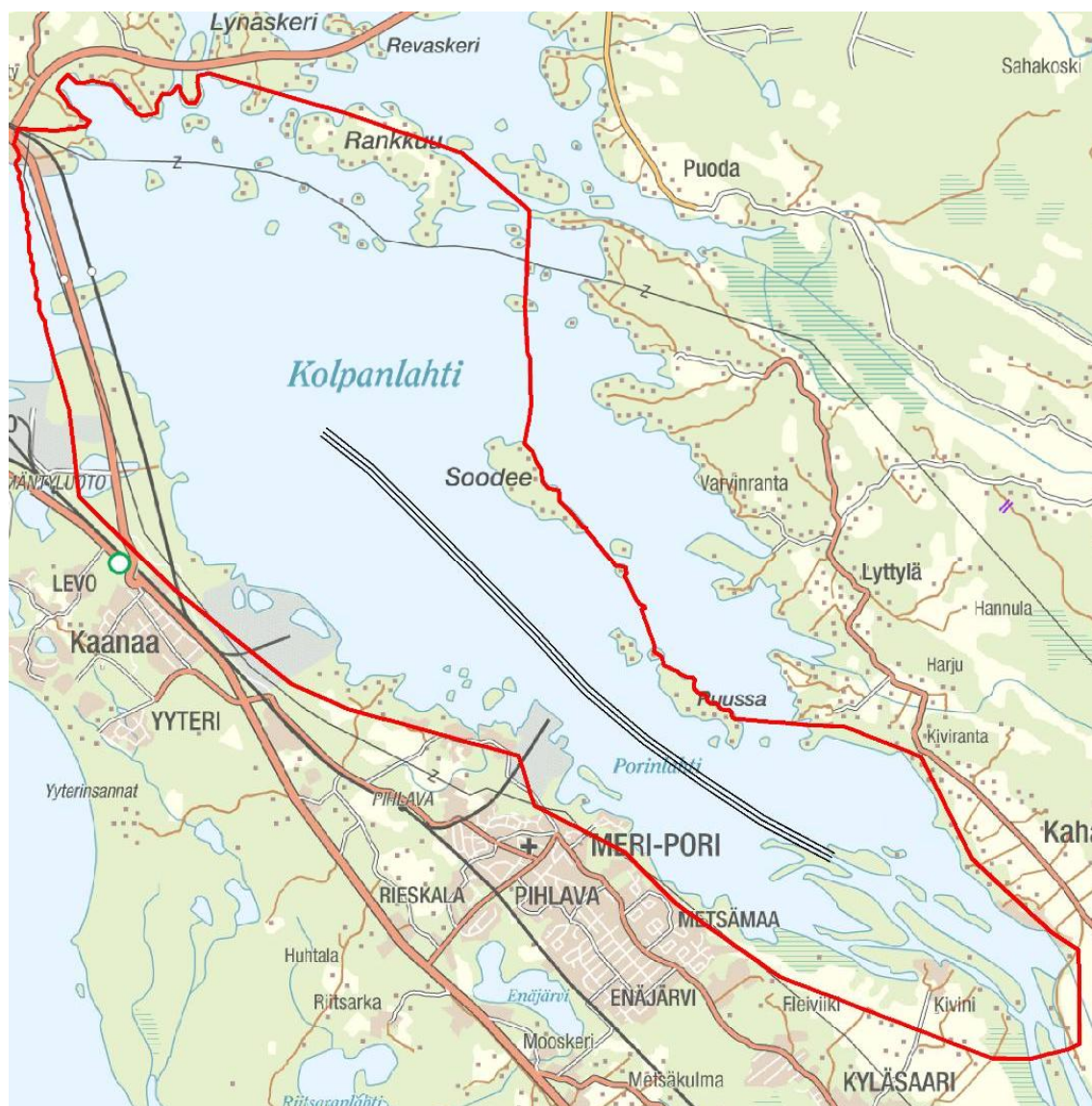
Mittakaava 1 : 40 000

© Maanmittauslaitos
lupa nro 7/MYY/05

Kokemäenjoen alaosan virtausmallilaskennat: Pihlavanlahden ruoppaus

Tämän virtausmallilaskennan tarkoituksena oli selvittää Pihlavanlahdella mahdollisesti tehtävän ruoppauksen vaikutuksia vedenkorkeuksiin ja virtausnopeuksiin suuren tulvan aikana. Mallinnus suoritettiin sveitsiläisellä BASEMENT-virtausmallilla, jolla voidaan laskea veden virtaus kaksidimensionaalisesti muuttuvan virtauksen tilanteessa.

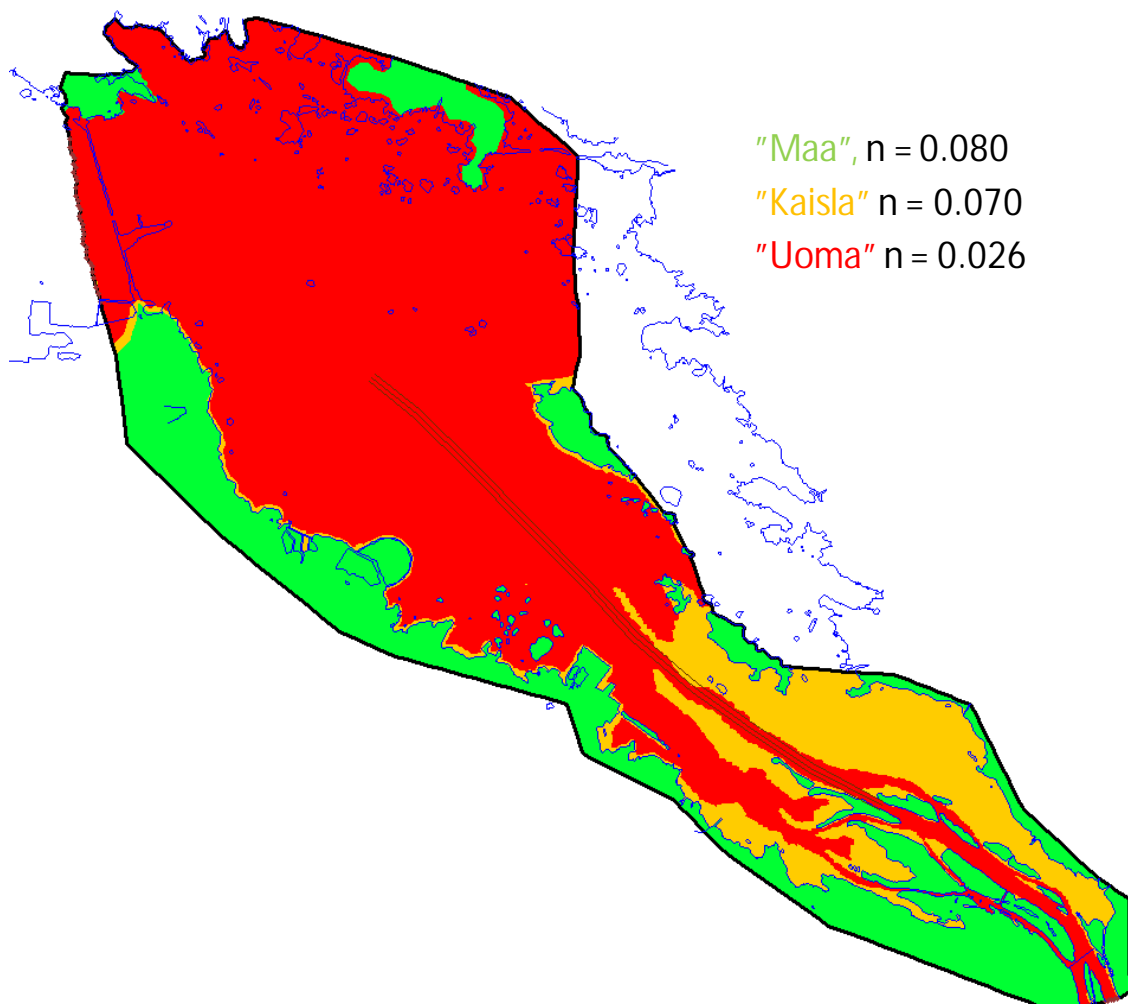
Mallinnettava alue muodostui noin 41,6 km² alueesta, joka rajautui ylävirran puolella Kyläsaarenjuovan (Raumanjuovan jatke) ja Isojuovan (Luotsinmäenhaaran jatke) alajuoksulle, noin laskentapaalun 150 kohdalle. Alavirran puolella alue ulottui hieman Mäntyluodon siltojen alapuolelle. Mallinnettu alue on esitetty kuvassa 1 yhdessä ruoppauslinjan kanssa.



Kuva 1: Mallinnettu alue sekä ruoppauslinja.

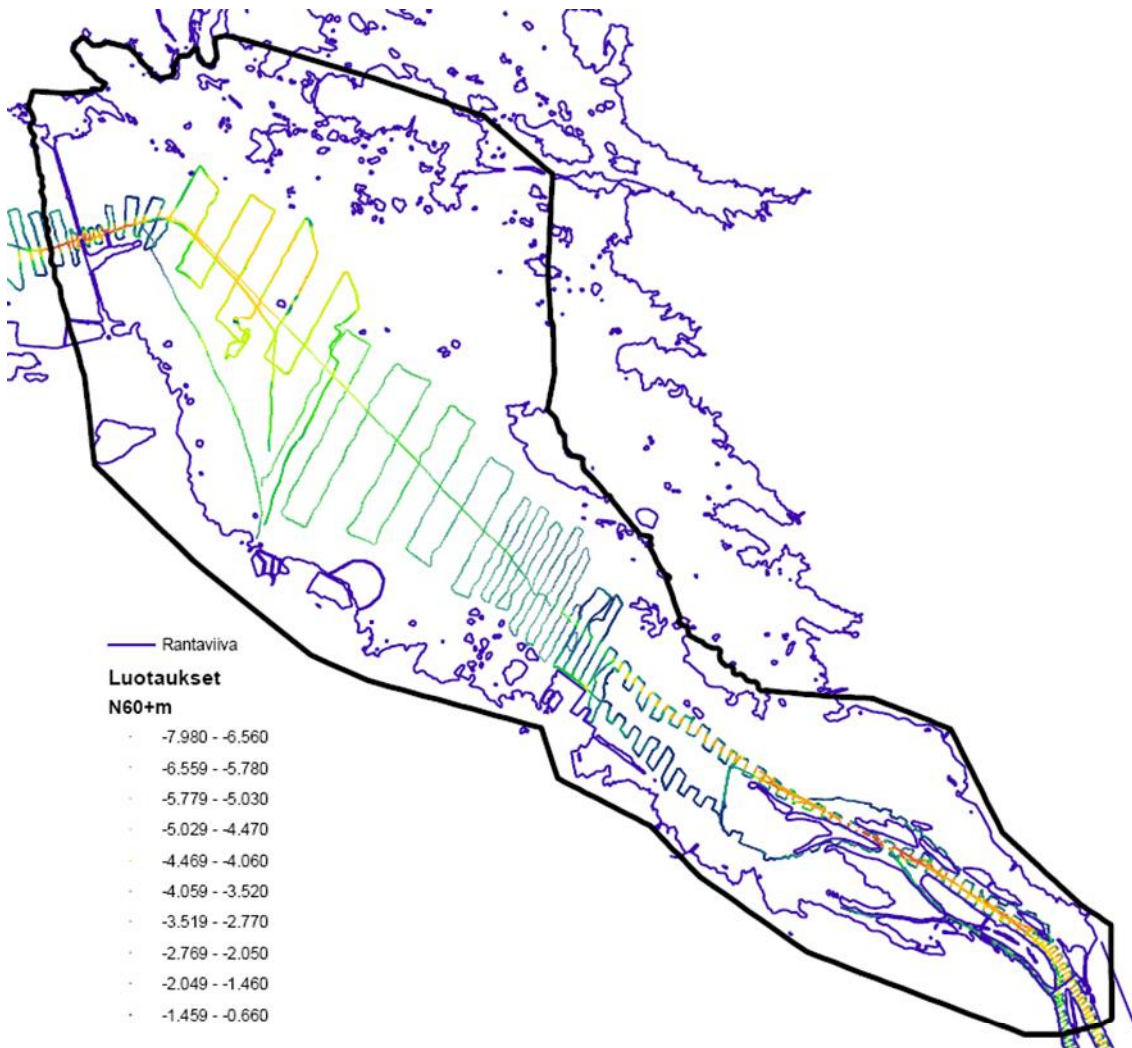
Virtausmallin geometria koostui yhteensä 35 733 pisteestä, jotka muodostivat yhteensä 71 050 kolmioelementtiä. Mallinnettavan alueen pintojen oletettiin koostuvan kolmesta eri materiaalista (kuva 2), joille annettiin seuraavat Manningin karkeuskertoimet:

- Normaalissa vesitilanteessa kuivana pysyvä tulva-alue: 0,080
- Kaislikko tai muu alue, jossa kasvillisuus ym. vaikuttaa virtaukseen: 0,070
- alue, jolla virtaus on mahdollista ilman suurta virtausvastusta: 0,026.



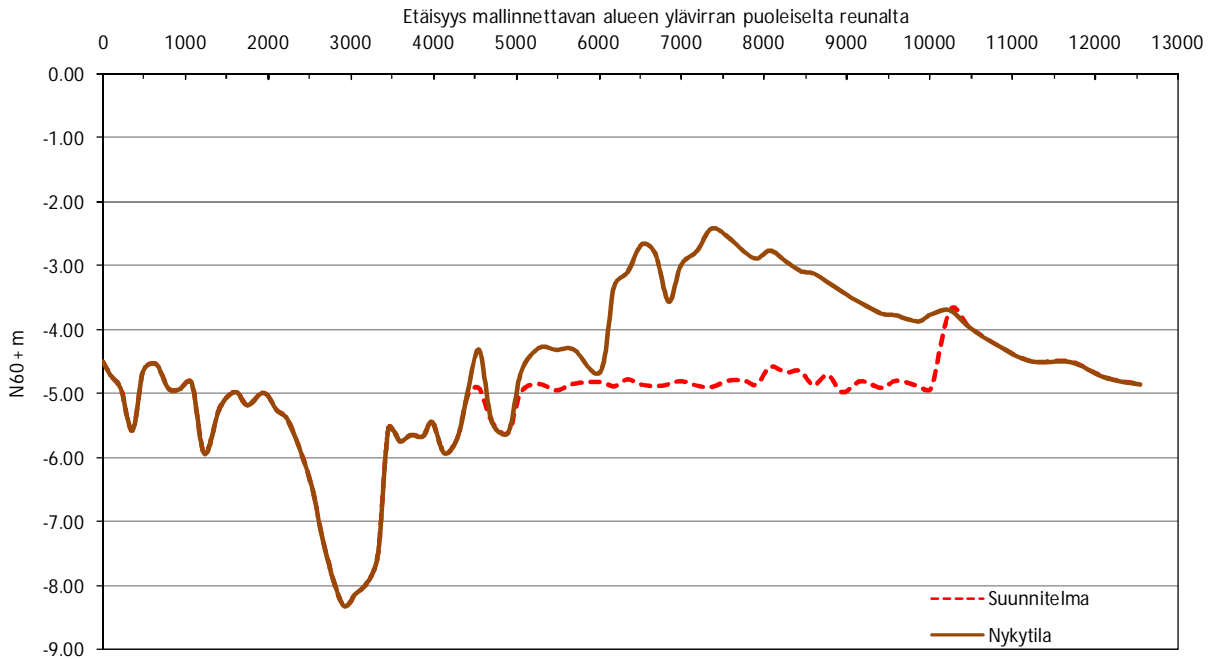
Kuva 2. Mallinnettavan alueen pinnan karkeuskertoimet.

Mallinnettavan alueen korkeustiedot saatiin maaston osalta suurimmaksi osaksi Maanmittauslaitoksen uudesta laserkeilaustyöstä, jota jouduttiin täydentämään Mäntyluodon osalta niin sanotulla MML10-mallilla. Laserkeilaukseen perustuvan korkeusaineiston resoluution oli 2 metriä ja MML10-mallin 10 metriä. Joen ja merialueen syvyystiedot puolestaan saatiin Porin tulvat –projektin luotauksista sekä tätä työtä varten tehdyistä erillisistä merialueen luotauksista (kuva 3). Kuvasta 3 voidaan nähdä, että paikoin rantaviivan ja luotausten välillä on huomattaviakin etäisyyksiä. Tätä lähtötietojen puutetta pyrittiin korvaamaan mm. paikkatieto-ohjelman (ArcGIS 9.2) menetelmällä, joka loi rantaviivan korkeusaseman ja syvyysluotausten välille kaarevaa muotoa siten, että pohjan korkeus ei selkeästi syvemmiksi oletetuilla alueilla lähtenyt rantaa lähestyttäessä suoraviivaisesti mataloitumaan.



Kuva 3. Mallinnusta varten käytettävissä ollut luotaustieto.

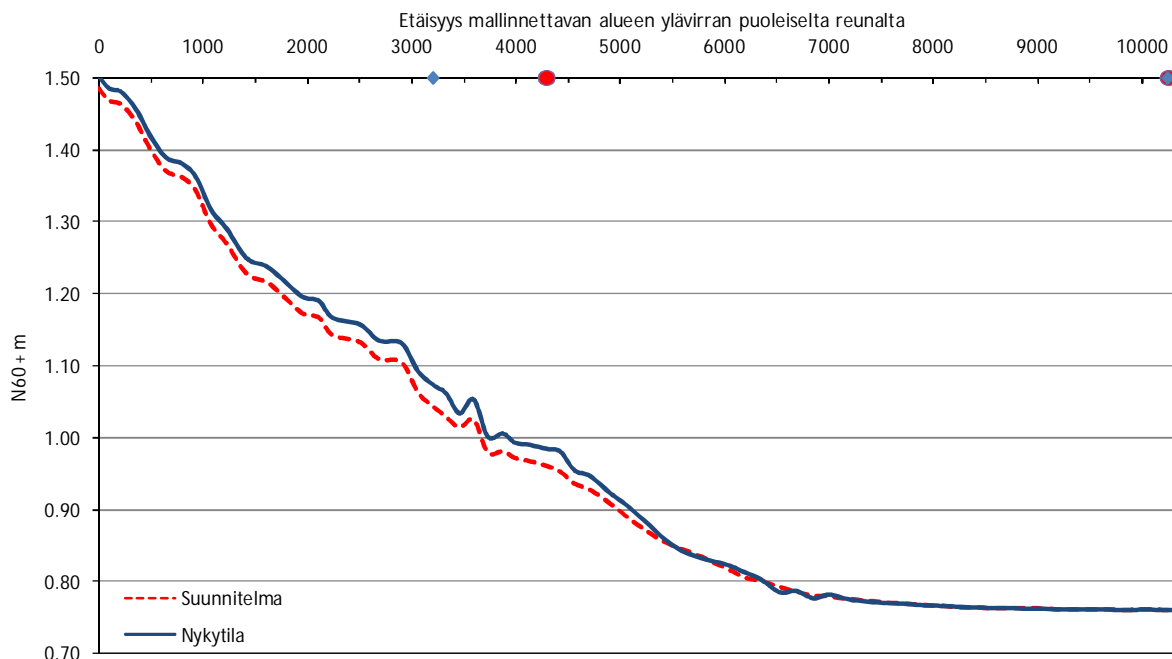
Ruoppauslinjan pituus oli noin 7 kilometriä (6870 m) ja leveys 100 metriä. Keskilinja asetettiin tasolle N60-5.0 metriä ja linjan reunat tasolle N60-4.0 m. Tämä linja pyrittiin sijoittamaan mallin kolmioelementeistä muodostuvaan geometriaan mahdollisimman hyvin. Ruoppauksen vaikutus nykyiseen joen ja meren pohjaan uoman keskilinjalla on nähtävissä kuvasta 4.



Kuva 4. Isojuovan ja ruoppauslinjan keskilinjan mukainen nykytilan pohjan pituusprofiili sekä ruoppauksen vaikutus.

Laskennan reunaehtoina käytettiin 1200 m³/s virtaamaa ja merivedenkorkeus Mäntyluodon siltojen kohdalla oli tasolla N60+0.40m. Mallinnuksessa kaiken veden oletettiin purkautuvan Mäntyluodon kautta.

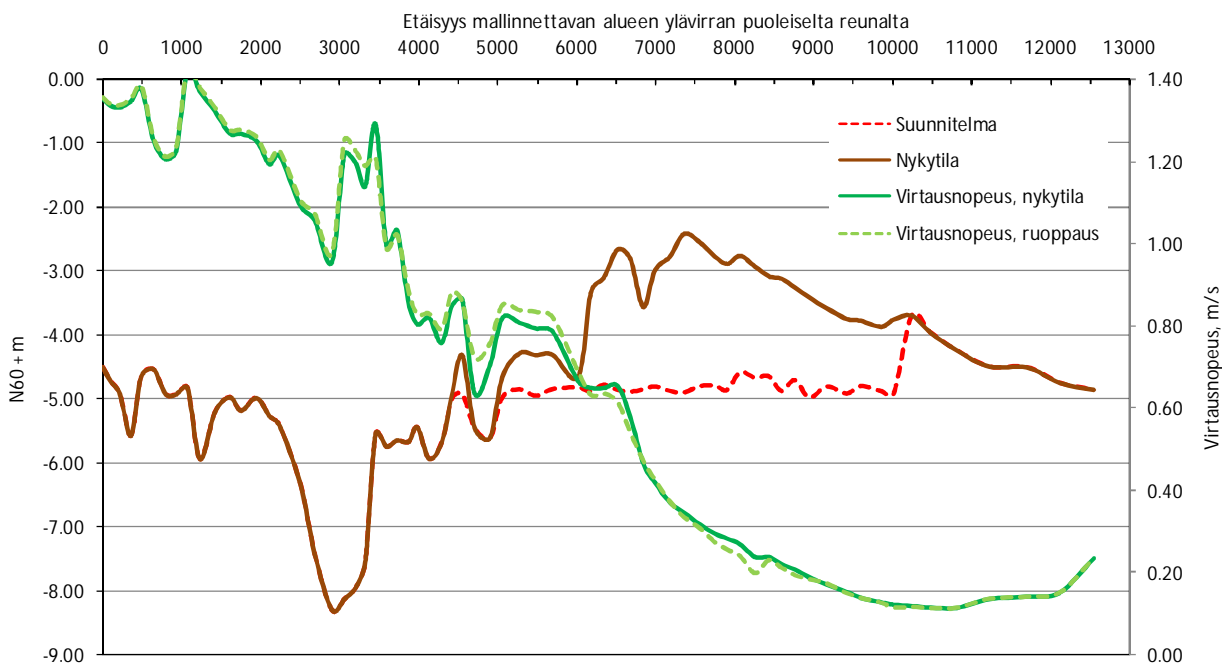
Kuvassa 5 on esitetty nykytilan ja ruoppauksen mukainen vedenpinnan pituusprofiili Isojuovan ja ruoppauslinjan keskilinjojen mukaisesti. Kuvan vedenkorkeusprofiilit alkavat mallinnettavan alueen ylävirran puoleiselta reunalta ja etenevät uoman keskiosaa pitkin. Ruopattavan alueen päätepisteet on merkitty x-akselille sinisillä merkeillä. Punaiset merkit x-akselilla rajaavat ruoppauksen keskilinjalla tapahtunutta uoman pohjan leikkausta.



Kuva 5. Nykytilan ja ruoppauksen mukaiset vedenpinnan pituusprofiilit mallinnettavan alueen ylävirran puoleiselta reunalta ruoppauslinjan loppuun.

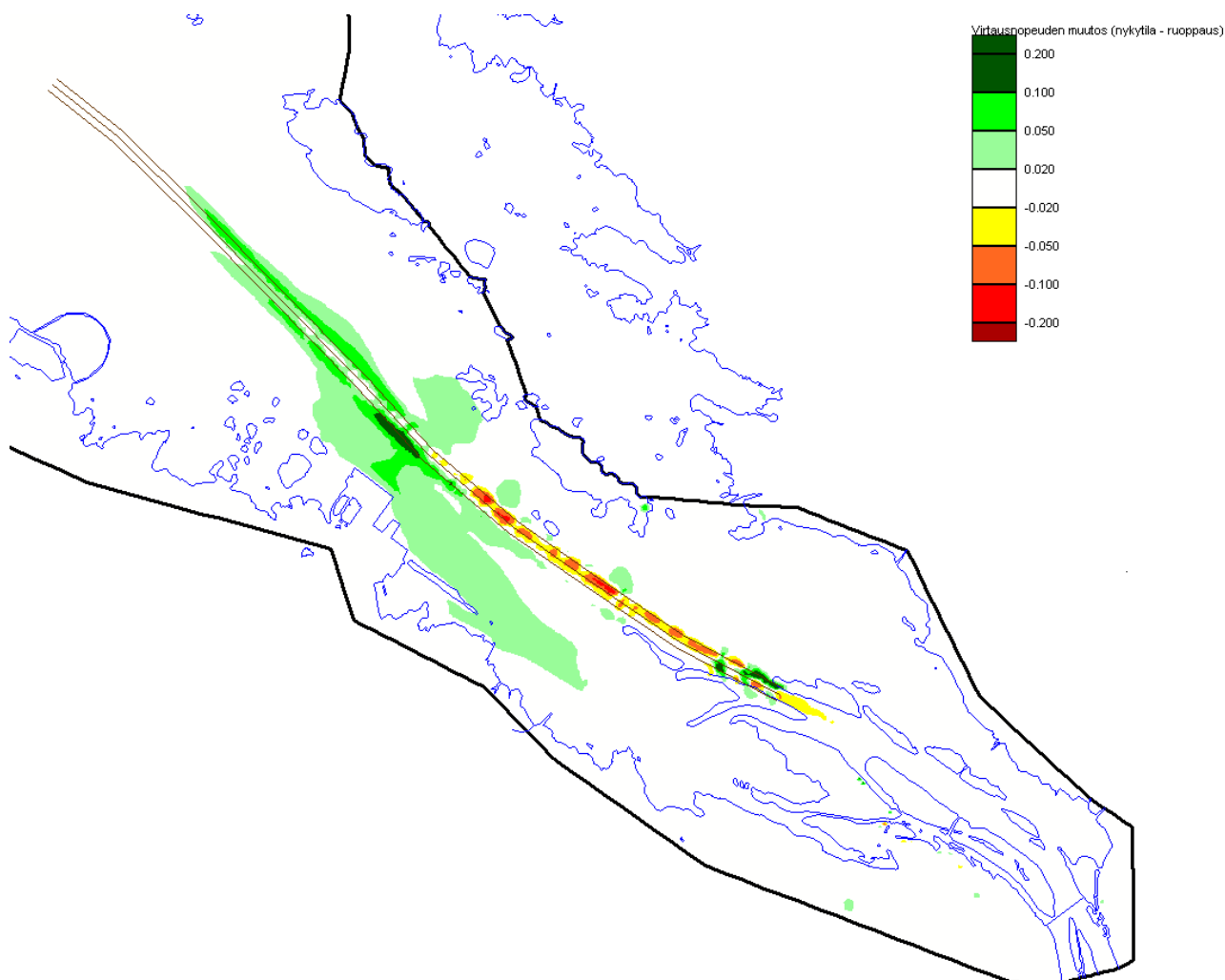
Kuten kuvasta 5 voidaan havaita, ero vedenkorkeuksissa ruoppauslinjan ylävirran puoleisellakin osalla on pieni. Kuvan keskilinjalla se on keskimäärin noin 2 cm ja suurimmillaankin vain 3 cm. Lähestyttäessä ruoppauslinjan alavirran puoleista osaa, on ruoppauksen vaikutus senttimetritarkkuuden ulottumattomissa.

Kun tarkastellaan kuvan 5 pituusleikkauksen virtausnopeuksia (kuva 6), voidaan myös tässä havaita vain vähäisiä eroja. Erot ovat 0,1 m/s sisällä.



Kuva 6. Nykytilan ja ruoppauksen mukaiset virtausnopeudet Isojuovan ja ruoppauslinjan keskilinjaan sijoitettuna.

Kuvassa 7 on esitetty mallinnetulla alueella esiintyneitä virtausnopeuden muutoksia. Tässäkin voidaan nähdä, että erot virtausnopeuksissa nykyisen ja ruopatusuomageometrian välillä ovat 0,2 m/s sisällä. Ruoppaus näyttäisi hidastavan virtausta hieman Pihlavan edustalla ja kasvattavan sitä ruopattavan alueen pohjoisella reunalla. Erot ovat kuitenkin pääpiirteissään hyvin pieniä. Kun huomioi lisäksi virtausmallin geometrian kolmioverkkomuodon ja että ruoppauslinja on kuvattu vain 2-3 kolmioelementillä, ei tässä laskennassa käytetyn ruoppauslinjan vaikutusta nykytilaan voi pitää merkittävänä. Suurimmalla osalla aluetta virtausnopeuden muutoksia ei käytännöstä tapahtunut.



Kuva 7. Virtausnopeuksien erot nykytilan ja ruopatusuomageometrian välillä (positiivinen lukema: nykytilan virtausnopeus on suurempi, negatiivinen lukema: ruoppauksen jälkeinen virtausnopeus on suurempi). Kuvan yksikkönä m/s.

Mäntyluodon silta-aukkolaskennat

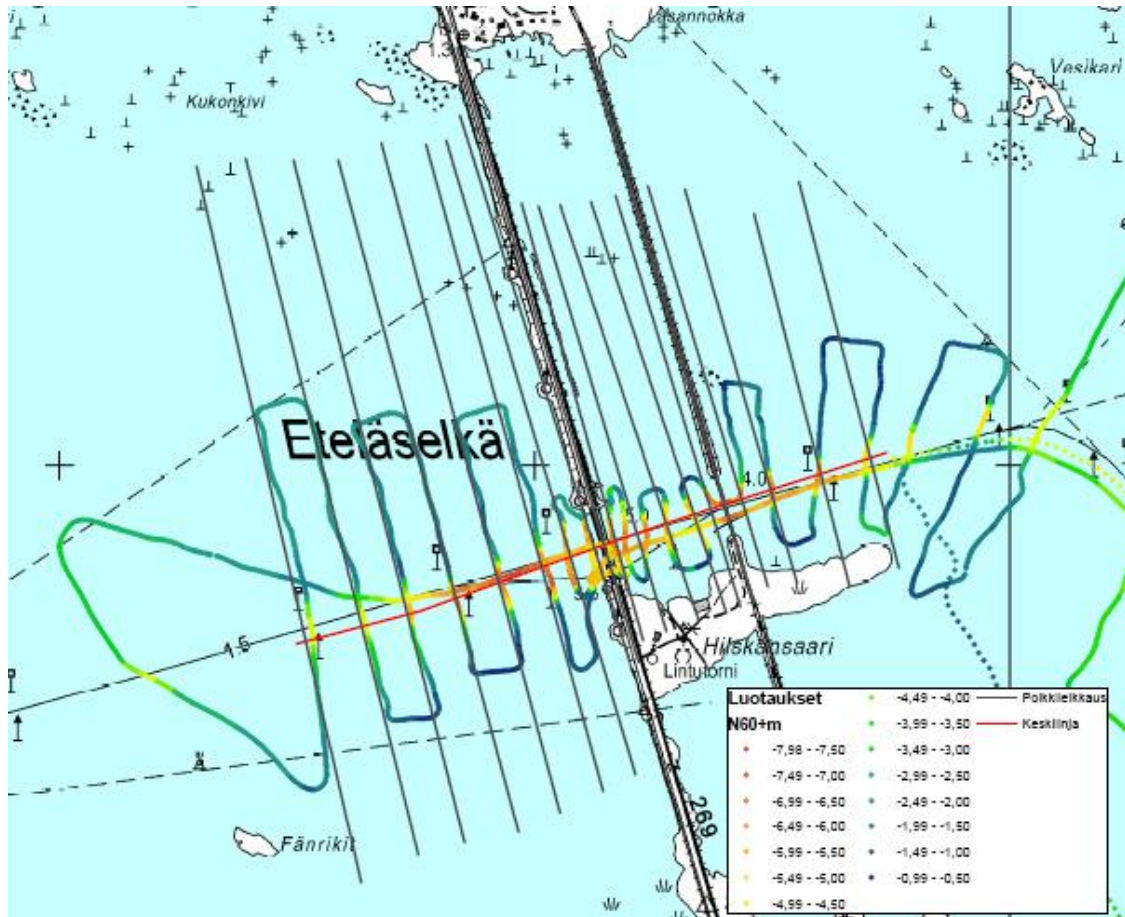
Työn kuvaus

Työn tavoitteena oli selvittää Kokemäenjoen alaosan merialueiden avotilan vedenkorkeuksia Porin Mäntyluodon siltojen molemmin puolin. Kokemäenjoki laskee Pihlavanlahteen ja suurin osa vedestä kulkeutuu Mäntyluodon kautta Eteläselälle ja edelleen Pohjanlahteen. Työ tehtiin yksidimensionaalisella HEC-RAS-virtausmallilla hyödyntäen käytettävissä olevaa tietoa alueen merenpohjan korkeusasemista ja siltojen mitoista. Virtausmallia ohjattiin erillisellä "GLUE-RAS"-sovelluksella, jonka avulla mallinnukseen pyrittiin tuomaan laskennan reunaehtoihin ja lähtötietojen epävarmuuteen perustuvia epävarmuuksia. Sovellus perustuu GLUE-menetelmään (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation).

Lähtötiedot

Merenpohjan korkeusmalli

Meren pohjan korkeustiedot saatiin Suomen ympäristökeskuksen hydrologian marraskuussa 2008 suorittamista luotauksista. Luotausten laajuus ja merenpohjan yleispiirteiset korkeusasemat näkyvät kuvasta 1. Kuten kuvasta huomataan, luotaukset keskittyivät alueen vesiväylän ympäristöön. Koska virtausmallin poikkileikkauksista haluttiin luotauslinjoja laajemmat, lisättiin merenpohjan korkeusmalliin lisäksi keinotekoisia syvyyspisteitä sekä rantaviiva ja maaston korkeuskäyriä. Korkeusmalli laadittiin ESRin ArcGIS -ohjelman Spatial Analyst -laajennuksen Topo to Raster -työkalun avulla, joka yhdistää piste- ja korkeuskäyrämuotoista korkeusaineistoa. Korkeusmallin resoluutioksi määritettiin 6 m.



Kuva 1. Käytettävissä ollut luotausaineisto sekä virtausmallin poikkileikkaukset ja keskilinja.

Silta-aukot

Alueen silloista oli saatavilla muutamia valokuvia (Koskinen 2009) sekä piirustuksista ja kartoilta mitattua tietoa aukkojen ja pilareiden leveydestä ja lukumääristä (Vuola 2009). Maantiesillan pituus vesipintojen mukaan mitattuna on noin 144 metriä ja rautatiesillan piirustusten mukainen pituus on noin 139 metriä.

Pengerteiden korkeus oli alimmillaan noin 1,7 metriä keskivedenkorkeuden yläpuolella. Siltojen kohdalla tiet olivat ylempänä.

Rautatiesillassa on neljä pilaria, joista kolmen leveys sillan suunnassa on noin 2,0 metriä ja yhden noin 5,0 metriä. Maantiesillan pilareiden lukumääräksi oletettiin valokuvien perusteella 2 kpl.

Virtausmalli

Yleistä virtausmallista

Laskennoissa käytetty HEC-RAS on USACE:n (The United States Army Corps of Engineers) kehittämä laajasti käytössä oleva yksidimensionaalinen virtausmallinnusohjelma. Ohjelman uusin versio numero on 4.0 vuodelta 2008 ja se on ilmaiseksi ladattavissa ohjelman kotisivuilta.

HEC-RAS-ohjelmalla voidaan mallintaa 1-dimensionaalista stationääristä ja muuttuvaa virtausta, joka voi olla joko kiito- tai verkkavirtausta tai näiden yhdistelmä. Ohjelma on niin sanottu verkkomalli, joten mallinnettava kohde voidaan muodostaa useista risteävistä ja haaroittuvista uomista. Kukin uoma koostuu riittävän tihein välein olevista

poikkileikkauksista, joita pitkin veden virtaus etenee. 1-dimensionaalinessa virtauksessa virtaus etenee poikkileikkauksien linjoihin nähden kohtisuorasti.

HEC-RAS suorittaa mallinnuksen ratkaisemalla avoimeen, uomassa tapahtuvaan virtaukseen sovelletut Saint-Venantin yhtälöt. Nämä yhtälöt perustuvat massan (kaava 1) ja liikemäärän (kaava 2) säilymiseen (USACE 2008):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (2),$$

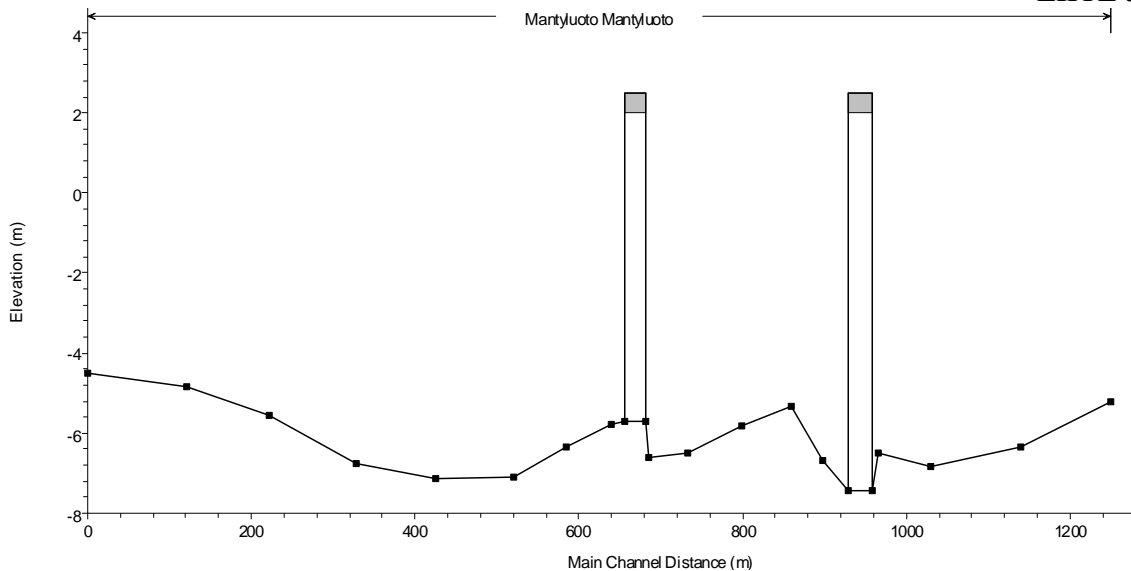
joissa	A	= poikkileikkauksen pinta-ala
	Q	= virtaama
	q	= sivu-uomasta tms. tuleva virtaama
	t	= aika
	x	= etäisyys pituussuunnassa
	g	= putoamiskiihtyvyys
	H	= vedenpinnan korkeusasema ja
	S _f	= pituussuunnassa tapahtuvat kitkahäviöt.

Kaavat ovat päteviä, kun oletetaan vedenpinnan olevan kussakin poikkileikkauksessa vaakasuora ja virtauksen jakaantuvan poikkileikkauksessa tasaisesti. Massan säilyminen edellyttää, että malliin tuleva vesimäärä on sama kuin siitä poistuva vesimäärä. Liikemäärän säilyminen puolestaan tarkoittaa sitä, että malliin tuleva liikemäärä on sama kuin siitä poistuvan liikemäärän sekä mallissa liikkuvaan vesimäärään kohdistuvien voimien summa. Nämä voimat käsittivät mm. kitkavoimat, painovoiman ja hydrostaattisen paineen. Kun ylimmälle ja alimmalle poikkileikkaukselle annetaan reunaehdot, virtaama Q ylimmälle ja vedenkorkeus H alimmalle, voidaan yhtälöt ratkaista. Ratkaisu suoritetaan painotetulla nelipisteisellä implisiittisellä menetelmällä.

HEC-RAS sisältää neljä erilaista menetelmää silta-aukkojen kautta tapahtuvan virtauksen laskentaan. Käytännössä menetelmiä on kuitenkin kaksi ja ne perustuvat oletuksiin, jossa silta-aukkojen pilarit joko ovat tai eivät ole merkittävin virtaushäviöiden lähde. Tässä työssä pilareiden ei oletettu olevan merkittävin häviöiden lähde. Ohjelma sisältää lisäksi kaksi laskentamenetelmää tilanteisiin, joissa vesipinta saavuttaa sillan kannen alareunan tason.

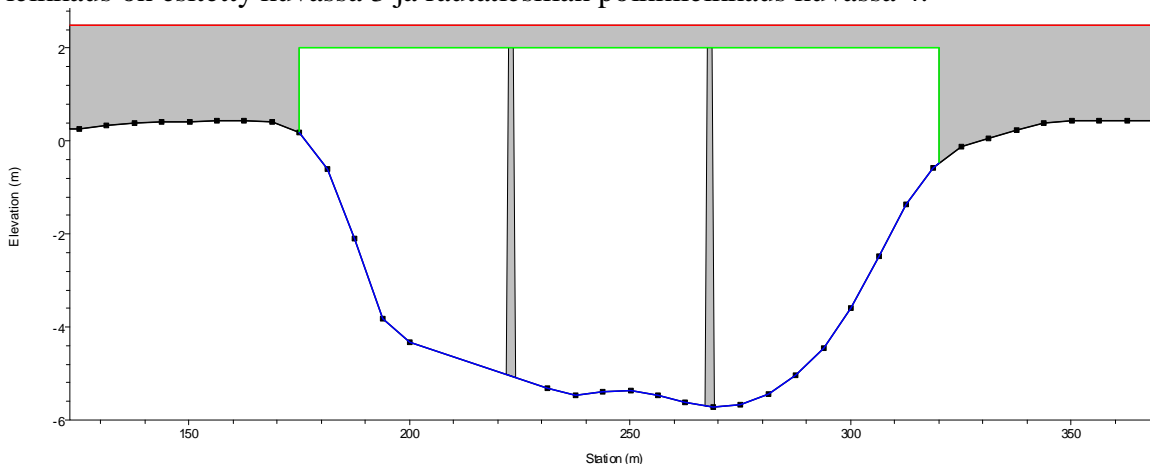
Tutkimusalueen malli

Tutkimusalueesta muodostettiin virtausmalli, jonka kokonaispituus oli noin 1250 metriä ja joka koostui 19 poikkileikkauksesta ja kahdesta sillasta. Poikkileikkauksien ja uoman keskilinjan sijainnit on nähtävissä kuvasta 1. Poikkileikkaukset linjattiin ESRI:n ArcGIS-ohjelmassa ja niihin interpoloitiin käytettävissä olleesta korkeusaineistosta laaditun maastomallin korkeudet. Näin saadut poikkileikkauksien koordinaatit sekä korkeusasetmat siirrettiin tekstimuotoisena HEC-RAS-ohjelmaan, jossa poikkileikkauksiin määritettiin niiden etäisyys seuraavaan alapuoliseen poikkileikkaukseen sekä alustavat uoman karkeuskertoimet. Poikkileikkauksiin ei määritetty passiivisen virtauksen alueita, vaan veden oletettiin virtaavan koko poikkileikkauksen alueella. Uoman pituusprofiili on esitetty kuvassa 2, johon pohjan korkeusasemaa kuvaamaan on poimittu kunkin poikkileikkauksen alin kohta.

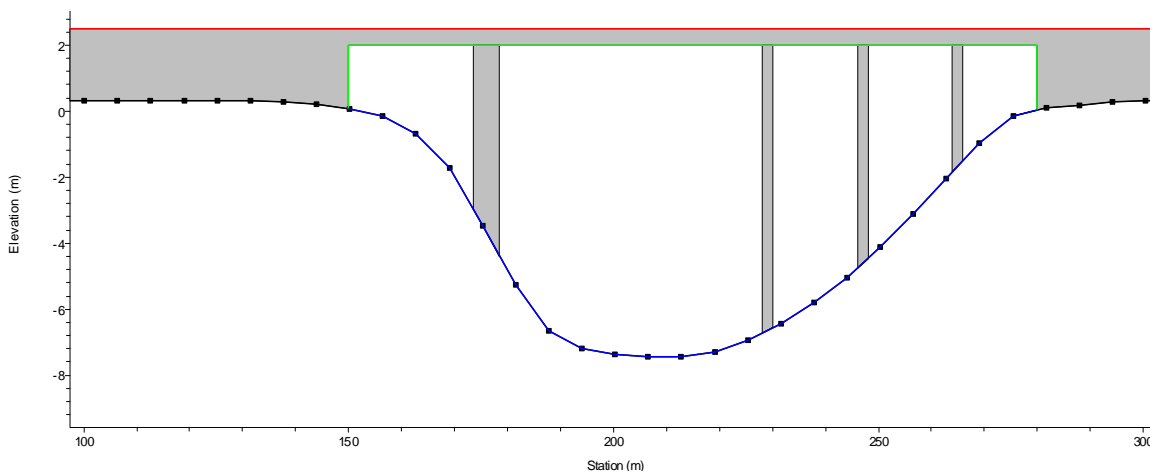


Kuva 2. Työssä laaditun virtausmallin pituusprofiili.

Malliin lisättiin myös alueen molemmat sillat, joiden geometriassa päähuomio kiinnitettiin aukkojen leveyteen. Siltoihin lisättiin myös veden virtausalaa vievät pilarit ja siltojen kansien alareunojen taso asetettiin N60-tasossa 2,0 metriin. Maantiesillan poikkileikkaus on esitetty kuvassa 3 ja rautatiesillan poikkileikkaus kuvassa 4.



Kuva 3. Maantiesillan poikkileikkaus alavirtaan päin.



Kuva 4. Rautatiesillan poikkileikkaus alavirtaan päin.

Laskennan reunaehdot ja parametrit

Virtausmalliin laadittiin yhteensä 15 virtaama-vedenkorkeusparia, jotka muodostuivat virtaamien 400, 600 ja 800 m³/s ja N60-tason vedenkorkeuksien -0,5; 0,0; 0,5; 1,0 ja 1,5

yhdistelmistä. On huomioitava, että edellä mainitut virtaamat eivät sellaisenaan kuvaa Kokemäenjoen virtaamia, sillä osa vedestä poistuu Pihlavanlahden pohjoispuolitse. Arvion (Triipponen 2008) mukaan noin 2/3 Kokemäenjoen virtaamasta poistuu Mäntyluodon kautta. Tällä perusteella mallinnuksessa käytetyt virtaamat vastaisivat Kokemäenjoen virtaamia 600 ... 1200 m³/s.

Virtaamasarjojen virtaamat kasvoivat ensimmäisen 12 tunnin aikana em. tasoille, jonka jälkeen ne pysyivät tasaisina 12 tunnin ajan. Merivedenkorkeutta kuvaavat aikasarjat olivat koko ajan vakiotasolla.

Virtausmallia ei voitu kalibroida, koska alueelta ei ole muita havaintoja kuin alapuolisena reunaehtona käytetty Mäntyluodon merivedenkorkeus. Uoman karkeuskertoimeksi valittiin 0,028.

Tulokset

Laskentojen tulokset on esitetty taulukoissa 1-3, jotka sisältävät vedenkorkeudet ja virtausnopeudet mallin alaosasta, siltojen välistä ja mallin yläosasta. Poikkileikkauksien sijainti käy ilmi kuvasta 1.

Mallin tulosten mukaan alueen ylimmän ja alimman poikkileikkauksen vedenkorkeuksien erotuksen vaihteluväli on suurinta alimmilla merivedenkorkeuksilla ja vastaavasti pienintä suurimmalla merivedenkorkeudella. Merivedenkorkeudella N60-0,50 m erotusten vaihteluväli virtaamilla 400 ... 800 m³/s oli 0,17 m ja merivedenkorkeudella N60+1,50 m 0,02 m. Suurin vedenkorkeuksien erotus, 0,22 m, toteutui suurimmalla virtaamalla (800 m³/s) ja matalimmalla merivedenkorkeudella (N60-0,50 m). Ylimmän ja alimman poikkileikkauksen välisiä vedenkorkeuseroja on havainnollistettu kuvassa 5.

Taulukko 1. Mallin poikkileikkauksien vedenkorkeuksia ja virtausnopeuksia virtaamalla 800 m³/s.

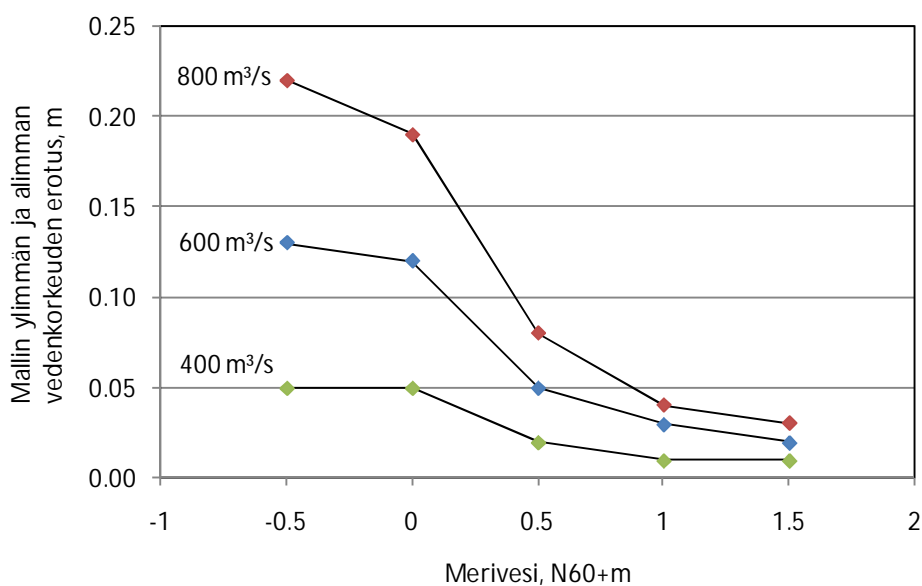
Vedenkorkeus (N60+m)			Virtausnopeus (m/s)		
Merivesi	Siltojen väli	Mallin yläosa	Mallin alaosa	Siltojen väli	Mallin yläosa
1,50	1,51	1,53	0,14	0,26	0,26
1,00	1,02	1,04	0,16	0,30	0,30
0,50	0,54	0,58	0,19	0,36	0,35
0,00	0,08	0,19	0,23	0,45	0,41
-0,50	-0,39	-0,28	0,29	0,59	0,52

Taulukko 2. Mallin poikkileikkauksien vedenkorkeuksia ja virtausnopeuksia virtaamalla 600 m³/s.

Vedenkorkeus (N60+m)			Virtausnopeus (m/s)		
Merivesi	Siltojen väli	Mallin yläosa	Mallin alaosa	Siltojen väli	Mallin yläosa
1,50	1,51	1,52	0,10	0,19	0,20
1,00	1,01	1,03	0,12	0,23	0,23
0,50	0,52	0,55	0,14	0,28	0,27
0,00	0,05	0,12	0,17	0,35	0,32
-0,50	-0,44	-0,37	0,22	0,46	0,41

Taulukko 3. Mallin poikkileikkauksien vedenkorkeuksia ja virtausnopeuksia virtaamalla 400 m³/s.

Vedenkorkeus (N60+m)			Virtausnopeus (m/s)		
Merivesi	Siltojen väli	Mallin yläosa	Mallin alaosa	Siltojen väli	Mallin yläosa
1,50	1,50	1,51	0,07	0,13	0,13
1,00	1,00	1,01	0,08	0,15	0,15
0,50	0,51	0,52	0,09	0,18	0,18
0,00	0,02	0,05	0,11	0,23	0,22
-0,50	-0,48	-0,45	0,14	0,31	0,28

**Kuva 5. Mallin ylimmän ja alimman poikkileikkauksen vedenkorkeuserot eri virtaamerivedenkorkeus-yhdistelmillä.**

GLUE-RAS

Yleistä

GLUE-menetelmän (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) lähtökohtana on ajatus siitä, että matemaattisilla mallilla ei voi tarkasti kuvata luonnossa tapahtuvia ilmiöitä: Yhtä hyvä tulos voidaan saavuttaa usealla eri mallilla, joko täysin erilaisilla malleilla tai saman mallin eri parametriasetuksilla. Esimerkiksi virtausmallinnuksessa uoman tietyn poikkileikkauksen havaittu vedenkorkeus-aika-sarja voidaan toistaa yhtä hyvin useilla erilaisilla ja jopa yhtä todennäköisillä tai järkeenkäyvillä karkeuskerroinyhdistelmillä. Kun lisäksi otetaan huomioon mallin ylä- ja alapuolisina reunaehtoina yleisesti toimivien virtaama- ja vedenkorkeussarjojen sijainti- ja mittaustarkkuus tai näiden määrittämisessä käytettyjen menetelmien epävarmuudet (esim. purkautumiskäyrä tai suoraan käsikirjoista otettu tieto), voidaan erilaiset lähtötieto- ja parametriyhdistelmät perustella helposti. Vaihteluvälejä käyttämällä voidaan samalla suorittaa herkkyysanalyysi. GLUE-menetelmästä on saatavilla tietoa esimerkiksi Bevenin (2008) uusimmasta kirjasta.

GLUE-RAS on Microsoft Excel –taulukkolaskentaohjelmaan laadittu apuohjelma, jolla voi määrittää erälle HEC-RAS-mallin reunaehdoille ja parametreille vaihteluvälejä. Tällä hetkellä vaihteluvälin voi antaa uoman ja tulva-alueen Manningin karkeuskertoimelle, alapuoliselle vedenkorkeudelle ja malliin syötettävälle virtaamalle. Näiden perusteella ohjelma generoi arvot kultakin vaihteluväliltä, tekee alkuperäiseen virtausmalliin näiden mukaiset muutokset, ajaa virtausmallilaskennan ja poimii viideltä poikkileikkaukselta vedenkorkeuden, virtaaman ja virtausnopeuden. Tämä prosessi toistetaan halutun lukumäärän verran. Kun erilaisia parametriyhdistelmiin perustuvia laskentatuloksia on esimerkiksi useita satoja, voidaan eri parametrien mahdollista vaikutusta tarkastella esim. graafisesti.

Laskennan reunaehdot ja parametrit

Manningin karkeuskertoimelle annettiin vaihteluväliksi 0,020 ... 0,035. Uoman ulkopuolisella karkeuskertoimella ei tässä laskennassa ollut merkitystä, sillä virtauksen oletettiin tapahtuvan koko poikkileikkauksen alueella.

Laskentojen virtaamat vaihtelivat välillä 400 ... 1200 m³/s. Merivedenkorkeuden annettiin vaihdella N60-tasossa välillä -0,20 ... 0,80 m.

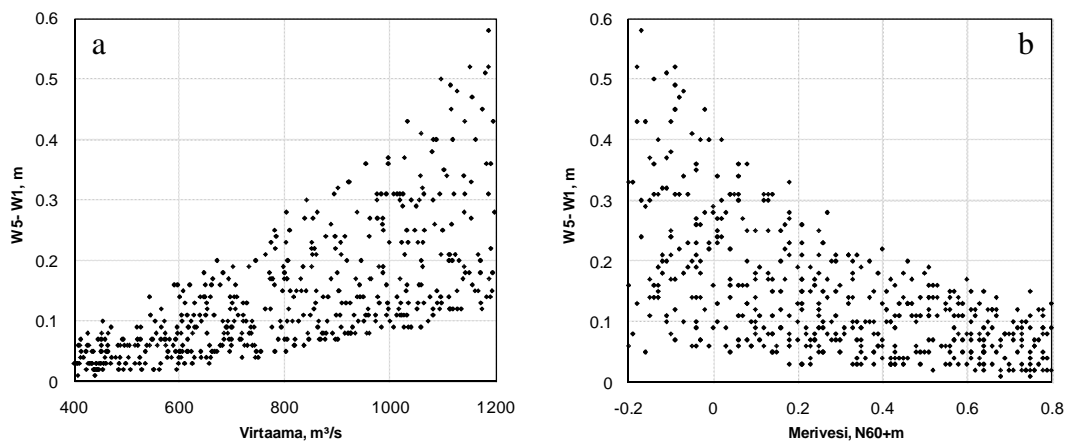
Vaikka virtaama ja alapuolinen vedenkorkeus oletettiin kussakin laskennassa vakiotasolle, suoritettiin laskenta muuttuvan virtauksen laskentana. Laskenta-aika oli 24 tuntia, jonka ensimmäisellä puolikkaalla virtaama nousi tutkittavalle tasolle ja jatkui tasaisena 12 tunnin ajan. Tuloksista poimittiin viimeisen tunnin vedenkorkeudet, virtaamat ja virtausnopeudet. Laskentoja suoritettiin yhteensä 500 kpl.

Tulokset

Kuvassa 6a on esitetty virtausmallin ylimmän ja alimman poikkileikkauksen vedenkorkeuksien erotus virtaaman suhteen. Kuvaa voidaan tulkita esimerkiksi seuraavasti: Virtaamaa 800 m³/s vastaavat välillä 0,05 ... 0,28 m vaihtelevat vedenkorkeuserotukset ovat syntyneet laskennoissa parametriyhdistelmillä, jossa merivedenkorkeus on vaihdellut vapaasti välillä N60+ -0,20 ... 0,80 m ja uoman Manningin karkeuskerroin välillä 0,020 ... 0,035.

Noin alle 525 m³/s virtaamalla vedenkorkeudet Mäntyluodon siltojen molemmiin puolin ovat alle 10 cm päässä toisistaan riippumatta edellä mainituista merivedenkorkeus- ja karkeuskerroinparametreista. Yli 1000 m³/s virtaamalla vedenkorkeuksien erotus vaihteli välillä 0,09 ... 0,58 m.

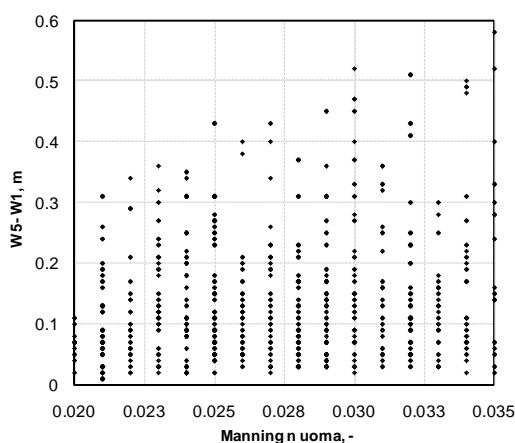
Kuvassa 6b on esitetty mallin ylimmän ja alimman poikkileikkauksen vedenkorkeuksien erotus alapuolisen reunaehdon, eli merivedenkorkeuden suhteen. Kun virtaama ja uoman karkeuskerroin vaihtelevat vapaasti edellä kuvatuilla vaihteluväleillä, on vedenkorkeuksien erotus suurinta matalilla merivedenkorkeuksilla. Tasolla N60-0,20 m erotukset olivat välillä 0,05 ... 0,58 m. Suurilla merivedenkorkeuksilla ylimmän ja alimman poikkileikkauksen vedenkorkeuksien erotus jäi 0,15 m vaihtelun sisälle.



Kuva 6a. Mallin ylimmän ja alimman poikkileikkauksen vedenkorkeuksien erotus virtaaman suhteen.

Kuva 6b. Mallin ylimmän ja alimman poikkileikkauksen vedenkorkeuksien erotus merivedenkorkeuden suhteen.

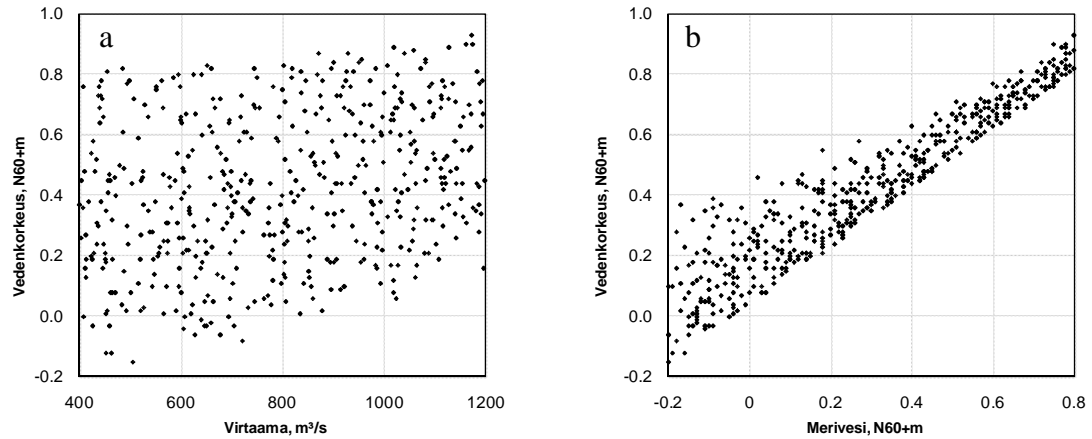
Kuvassa 7 on esitetty mallin ylimmän ja alimman poikkileikkauksen vedenkorkeuksien erotus uoman karkeuskertoimen suhteen. Koko karkeuskertoimien vaihteluvälialueella vedenkorkeuksien erotukset näyttäisivät useimmiten jäävän noin välille 0,0 ... 0,20 m, eikä esimerkiksi suuri karkeuskerroin näyttäisi merkittävästi vaikuttavan suurempiin vedenkorkeuksien erotuksiin.



Kuva 7. Mallin ylimmän ja alimman poikkileikkauksen vedenkorkeuksien erotus uoman karkeuskertoimen suhteen.

Kuvissa 8a ja 8b on esitetty virtausmallin ylimmän poikkileikkauksen vedenkorkeuksia virtaaman ja merivedenkorkeuden suhteen. Kuvista voidaan nähdä, että virtaaman merkitys ylimmän poikkileikkauksen vedenkorkeuteen pienenee, kun merivedenkorkeus

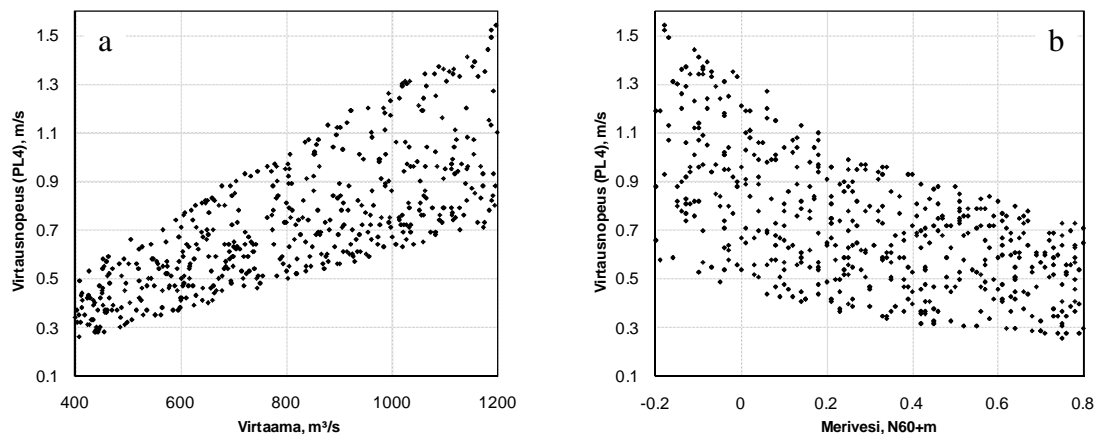
kasvaa. Merivedenkorkeudella N60+0,8 m vaihtelu on 0,13 m, vaikka virtaama vaihtelisi välillä 400 ... 1200 m³/s.



Kuva 8a. Mallin ylimmän poikkileikkauksen vedenkorkeus virtaaman suhteen.

Kuva 8b. Mallin ylimmän poikkileikkauksen vedenkorkeus merivedenkorkeuden suhteen.

Kuvissa 9a ja 9b on esitetty Mäntyluodon rautatiesillan yläpuolisen poikkileikkauksen virtausnopeudet virtaaman ja meriveden suhteen.

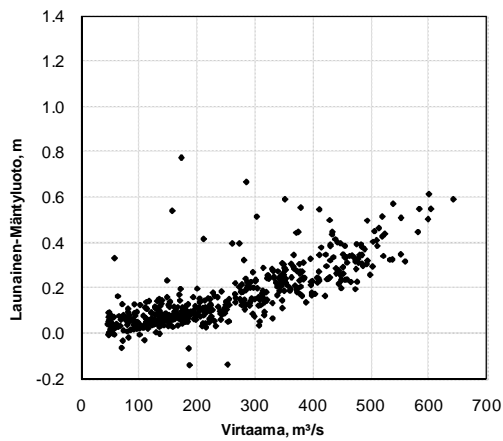


Kuva 9a. Rautatiesillan yläpuolisen poikkileikkauksen virtausnopeus virtaaman suhteen.

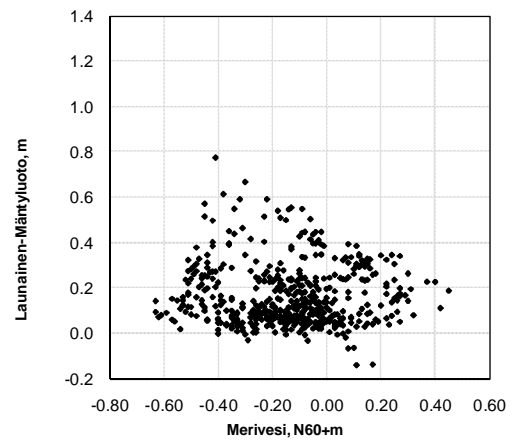
Kuva 9b. Rautatiesillan yläpuolisen poikkileikkauksen virtausnopeus merivedenkorkeuden suhteen.

Kuvissa 10a ja 10b on esitetty vertailun vuoksi Merentutkimuslaitoksen Mäntyluodon mareografin ja ympäristöhallinnon Launaisissa sijaitsevan vedenkorkeusaseman havaintojen erotuksia merivedenkorkeuden ja Harjavallan voimalaitoksesta juoksutettujen virtaamien suhteen. Kuvissa 11a ja 11b on esitetty samanlainen vertailu Mäntyluodon ja Porin kaupungin Vanhasillan vedenkorkeuksien erotusten välillä. Kuvat on laadittu jakson 1.6.2007-27.10.2008 päivittäisten havaintojen perusteella.

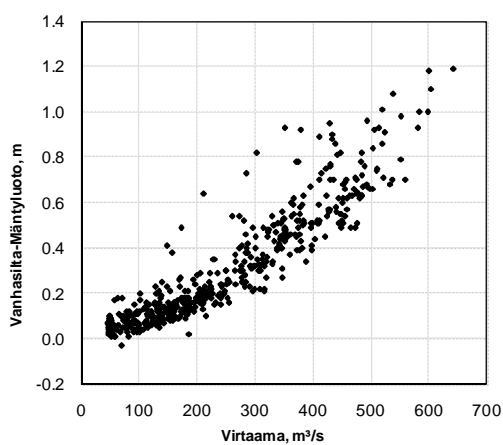
Kuvista voidaan nähdä, miten selkeästi virtaaman kasvu vaikuttaa vedenkorkeuksien erotuksen kasvuun ja miten erotukset ovat arvoltaan ja vaihteluväliltään suurempia matalilla merivedenkorkeuksilla.



Kuva 10a. Launaisten ja Mäntyluodon vedenkorkeuksien erotus virtaaman suhteen.

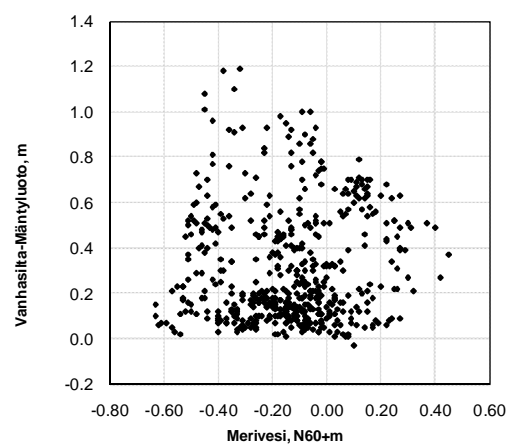


Kuva 10b. Launaisten ja Mäntyluodon vedenkorkeuksien erotus merivedenkorkeuden suhteen.



Kuva 11a. Vanhasillan ja Mäntyluodon vedenkorkeuksien erotus virtaaman suhteen.

Kuva 11b. Vanhasillan ja Mäntyluodon vedenkorkeuksien erotus merivedenkorkeuden suhteen.



Lähteet

Beven, K. Environmental Modelling : An Uncertain Future? An Introduction to Techniques for Uncertainty Estimation in Environmental Prediction. 2008.

Koskinen, M.: Sähköposti (25.2.2009). Valokuvia silloista.

Triipponen, J-P: Sähköposti (17.12.2008). Porin kaupungin arvio Mäntyluodon siltojen virtaamaosuudesta.

USACE: HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual. 2008.

Vuola, P.: Sähköposti (26.2.2009). Tietoja silta-aukkojen mitoista

Juha Aaltonen 29.10.2009
SYKE/AO/VES

Kokemäenjoen alaosan virtausmallilaskennat: Tulvan leviäminen luotojen alueella

Luotsinmäenhaaran ja Raumanjuovan väliin jäävä aluetta Porissa kutsutaan Luotojen alueeksi. Alue on vanhaa luontaista tulva-aluetta, jolle tulva ei enää maan kohoamisen takia nouse niin usein kuin aikaisemmin. Suurten tulvien varalta alue on kuitenkin erittäin tärkeää tulva-aluetta ja veden leviäminen Luotojen alueelle vähentää oleellisesti tulvariskiä Luotsinmäenhaaran itäpuolella ja Raumanjuovan etelä- ja länsipuolella.

Kokemäenjoen Luotojen alueen 2D-mallinnuksella selvitettiin alueella tapahtuvan veden virtauksen käyttäytymistä suuren virtaaman ja korkean meriveden tilanteessa ja tarkennettiin laskentaa Porin tulvat -projektin laskennoista, jotka laskettiin yksiulotteisilla HEC-RAS-malleilla ja jokijäämallilla. Yksiulotteisissa virtausmalleissa virtauksen eteneminen lasketaan virtaussuuntaan nähden kohtisuorasti olevien poikkileikkausten avulla, jotka esittävät uomaa ja sitä ympäröivää tulva-aluetta. Näin ollen tulva-alueilla tapahtuvan virtauksen tarkka mallintaminen vaatisi erillisen, ennalta määrättyä reittiä kulkevan uoman, jonne uomasta nouseva vesi kulkeutuisi. Tällaisen uoman määrittäminen on usein haastavaa, kuten esimerkiksi Kokemäenjoen alaosalla Porin kaupungin alueella Luotsinmäenhaaran, Raumanjuovan ja näiden väliin jäävien pienempien uomien osalla. Kustakin uomasta tulisi paikantaa kohdat, joissa vesi pääpiirteissään virtaa tulva-alueelle ja sieltä mahdollisesti takaisin uomaan ja myös tulva-alueet tulisi pystyä jakamaan uomien kesken. Kaksiulotteinen virtausmalli ei ole sidottu poikkileikkauksiin, sillä siinä mallinnettava alue esitetään esimerkiksi kolmioverkon muodostavien pisteiden avulla, jossa kullekin pisteelle lasketaan vaakasuuntainen veden virtaussuunta ja -nopeus. Näin ollen aluetta ei tarvitse jakaa edellä kuvatulla 1-dimensionaalisen mallinnuksen menetelmällä, sillä veden leviämiseen vaikuttaa ylä- ja alapuolisten reunaehtojen lisäksi laskentapisteen korkeusasema ja pinnan karkeus. Tuloksia verrattiin myös 1D-mallin vastaavaan laskentaan.

Virtausmallina käytettiin sveitsiläistä BASEMENT-virtausmallia. Mallin geometrian pohjana käytettiin parasta saatavilla ollutta Maanmittauslaitoksen laserkeilaustyön materiaalia, joka luotojen alueella koostui keilauksen maanpintaa kuvaavasta pistepilvestä. Pistepilvi muutettiin Suomen ympäristökeskuksessa 2 metrin rasteriksi menetelmällä, joka painotti enemmän aineiston matalimpia pisteitä. Ero lopulliseen Maanmittauslaitoksen korkeusmalliin lienee kuitenkin vähäinen, koska seuraavassa vaiheessa rasteriaineiston korkeusarvot interpoloitiin yhdessä uoman luotaustietojen kanssa virtausmallin geometriana toimineeseen kolmioverkkoon. Interpoloinnin jälkeen uoman muodot sekä Luotsinmäenhaaran pohjoisen että Raumanjuovan eteläisen puolen pengerrysten harjakorkeudet tarkistettiin huolellisesti laskentapisteittäin. Uoman korkeustietoina käytettiin Porin tulvat -projektin syvyyslautauksia.

Lopullinen malligeometria koostui 29047 pisteestä ja niiden muodostamista 57676 kolmiosta. Geometrian korkeudet vaihtelivat N60-tasossa välillä -12,83...20,91 m. Keskimääräinen kolmioelementin pinta-ala noin 47,6 km² alueella oli noin 825 m², mutta esimerkiksi uoman osalta elementtien koko oli tästä noin puolet tai jopa neljäsos. Mallinnettava alue on esitetty kuvassa 1.



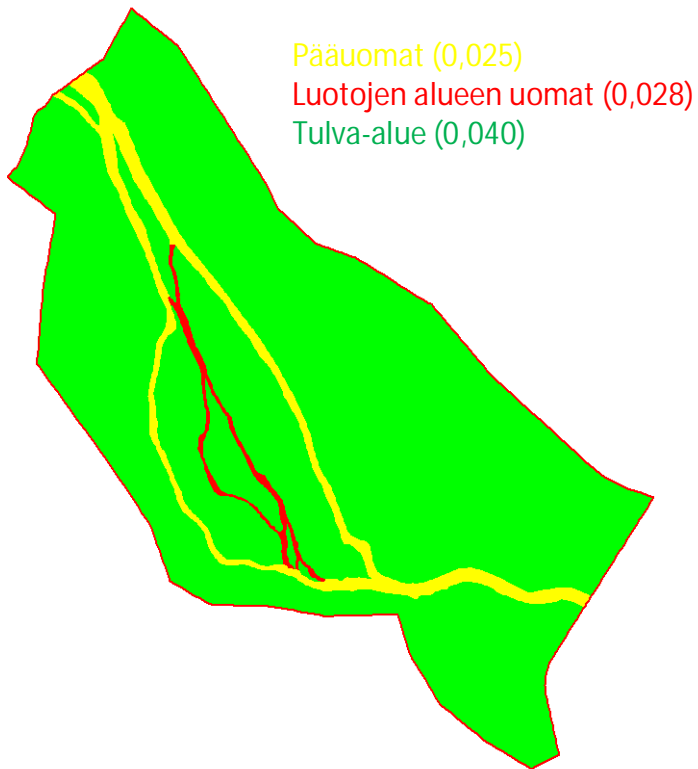
Kuva 1. Mallinnettavan alueen rajaus.

Uoman ja tulva-alueen pinnan karkeutta kuvaavina Manningin karkeuskertoimina käytettiin kolmea eri arvoa (kuva 2):

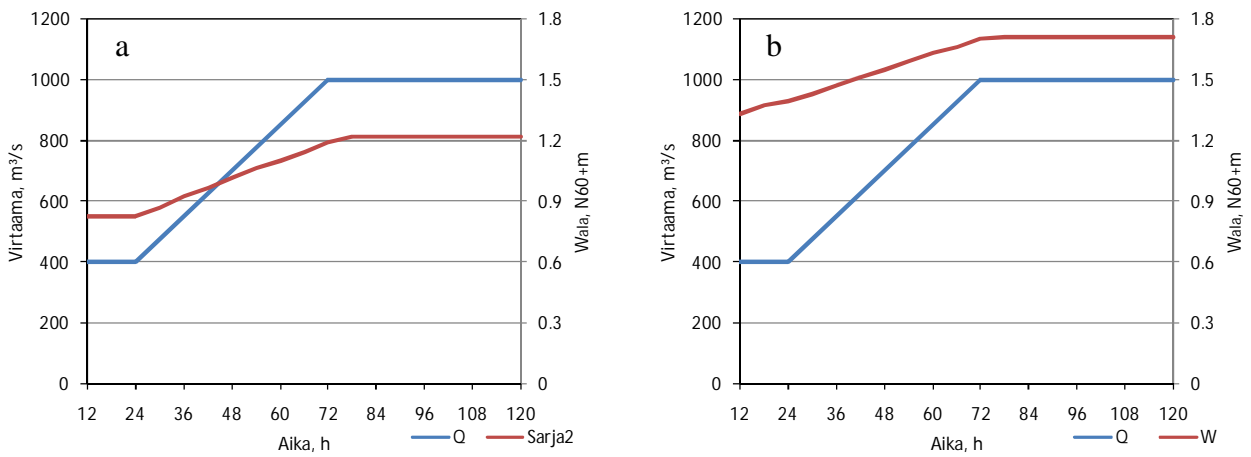
- Pääuomiksi oletetut Luotsinmäenhaara ja Raumanjuopa: 0,025
- Huvila- ja Lanajuopa sekä muut luotojen alueen uomat: 0,028
- Normaalissa vesitilanteessa kuivana pysyvä tulva-alue: 0,040.

Laskenta suoritettiin kahdella virtaama-merivedenkorkeus-yhdistelmällä. Molemmissa laskennoissa yläpuolisena reunaehtona toimineena virtaamana oli kestoltaan 48-tuntia kestänyt tasainen 1000 m³/s tulvavirtaama, jota edelsi 48 tunnin virtaaman nousu tasosta 400 m³/s tasolle 1000 m³/s ja 24 tunnin tasainen 400 m³/s virtaama. Laskennan aloitushetkellä mallinnettava alue oli täysin kuiva. Mallin alapuolisena reunaehtona oli toisessa laskennassa tasolla N60+0,3 m oleva pohjapato. Toisen laskennan pohjapadon korkeus oli tasolla N60+1,0 m. Laskennoissa vedenkorkeus jatkoi nousua pohjapadon harjan ylityksen jälkeen ja asettui matalammassa tapauksessa tasolle N60+1,22 m ja korkeammassa tapauksessa tasolle N60+1,71 m. Alapuoleisen reunaehdon vedenkorkeus vakiintui molemmissa noin 72 tunnin kohdalla. Pohjapatoa käytettiin yksiselitteisten vedenkorkeuksien sijaan virtausmallin teknisten ominaisuuksien vuoksi. Kuvissa 3a ja 3b on esitetty laskentojen virtaamat ja alapuoliset vedenkorkeudet ajan suhteen.

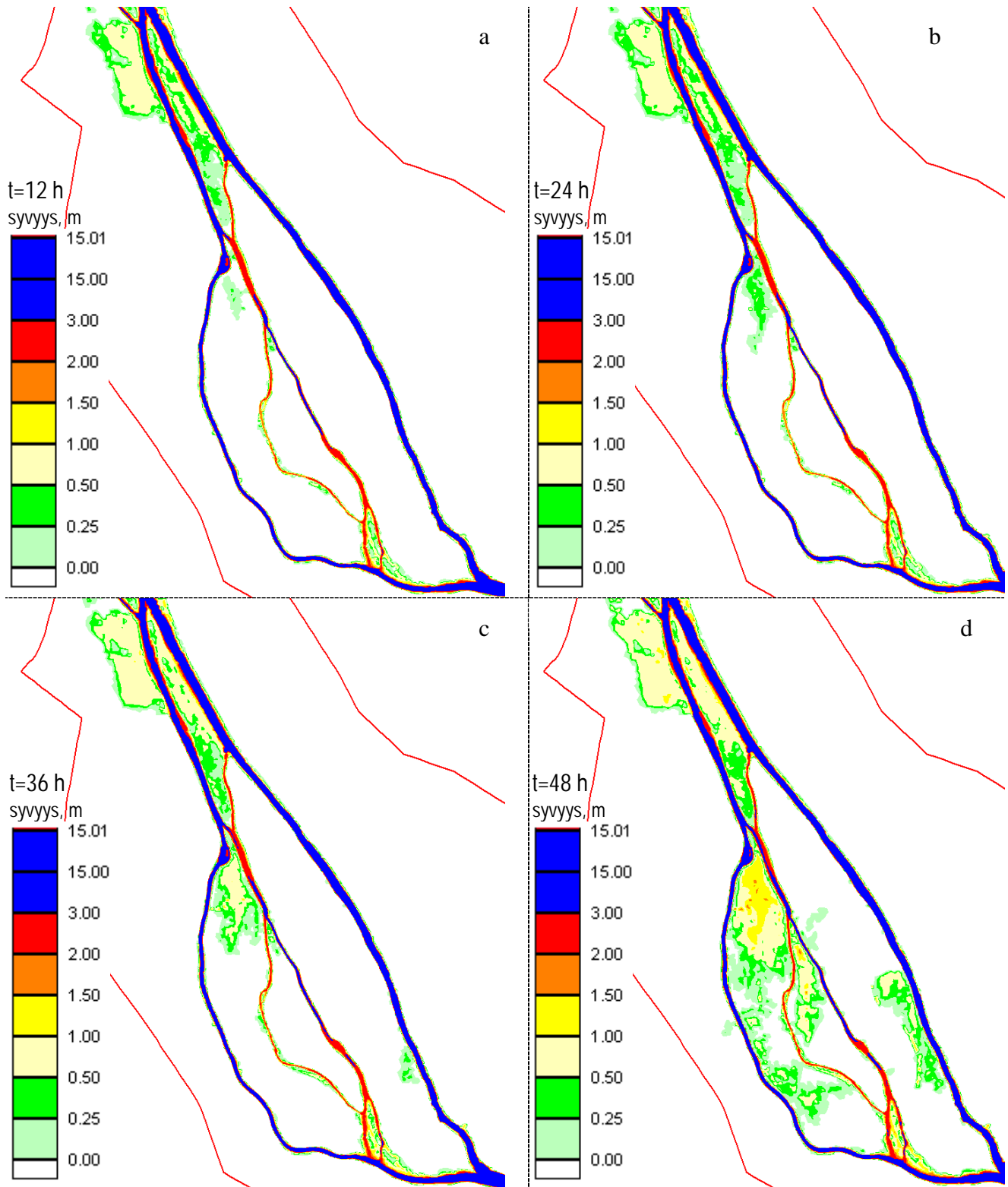
Kuvissa 4a-4h on esitetty luotojen alueen veden syvyydet 12, 24, 36, 48, 60, 72, 96 ja 120 tunnin kohdalla matalamman merivedenkorkeuden vaihtoehdolla. Kuvissa 5a-5h on puolestaan esitetty vastaavien ajanhetkien virtausnopeudet. Korkeamman meriveden laskentavaihtoehdon vastaavat tulokset on esitetty kuvissa 6a-6h ja 7a-7h.

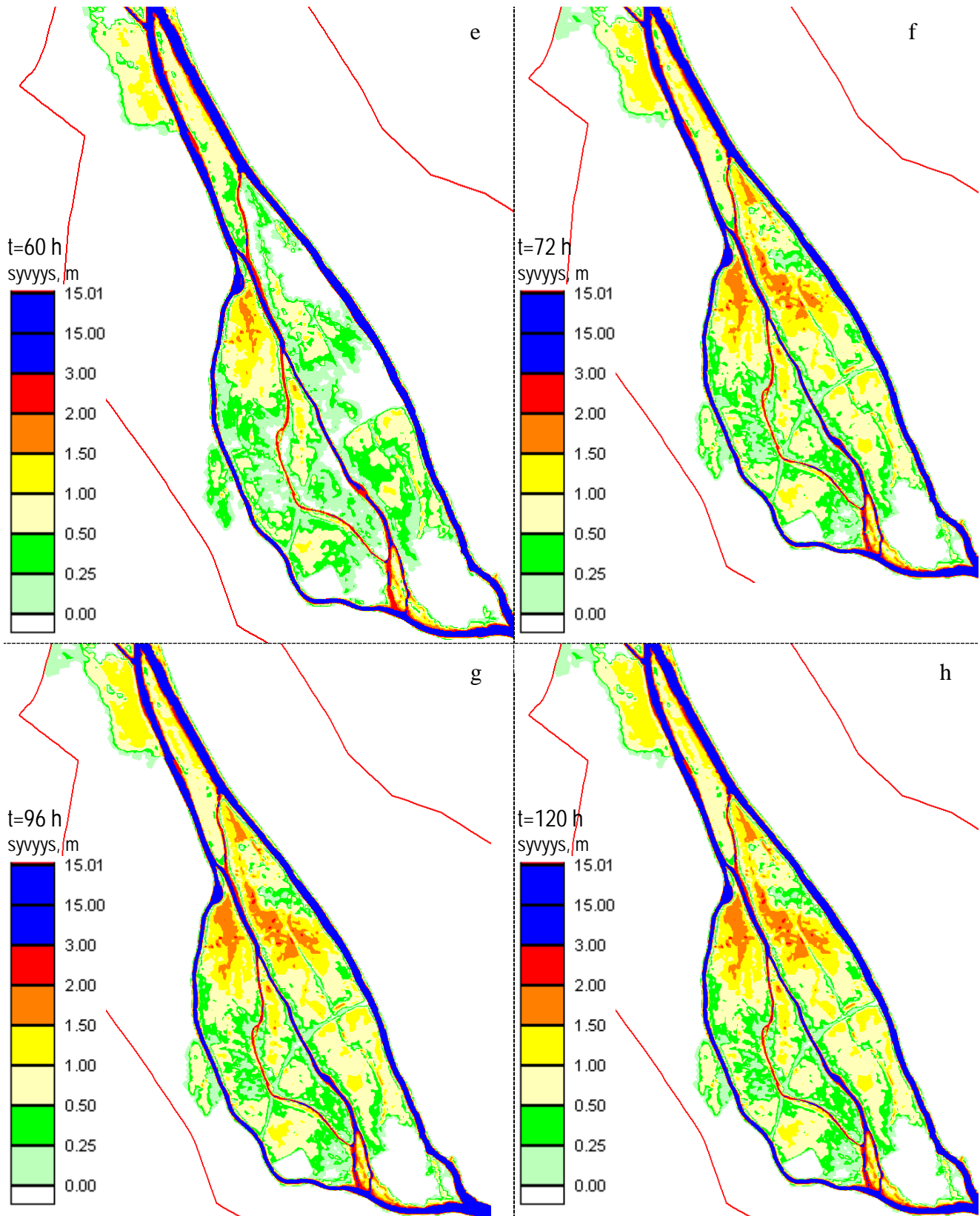


Kuva 2. Laskennassa käytetyt Manningin karkeuskertoimet.

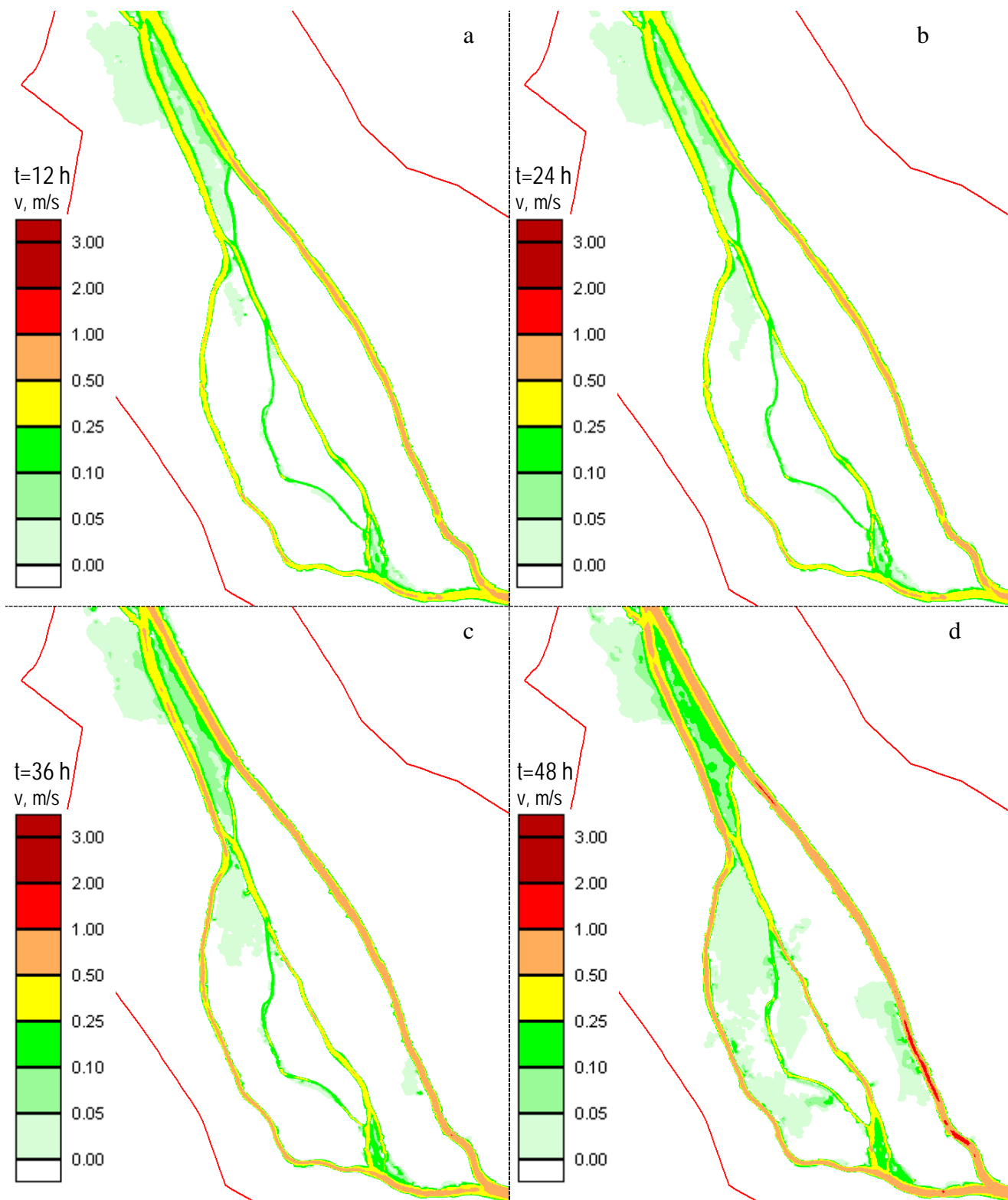


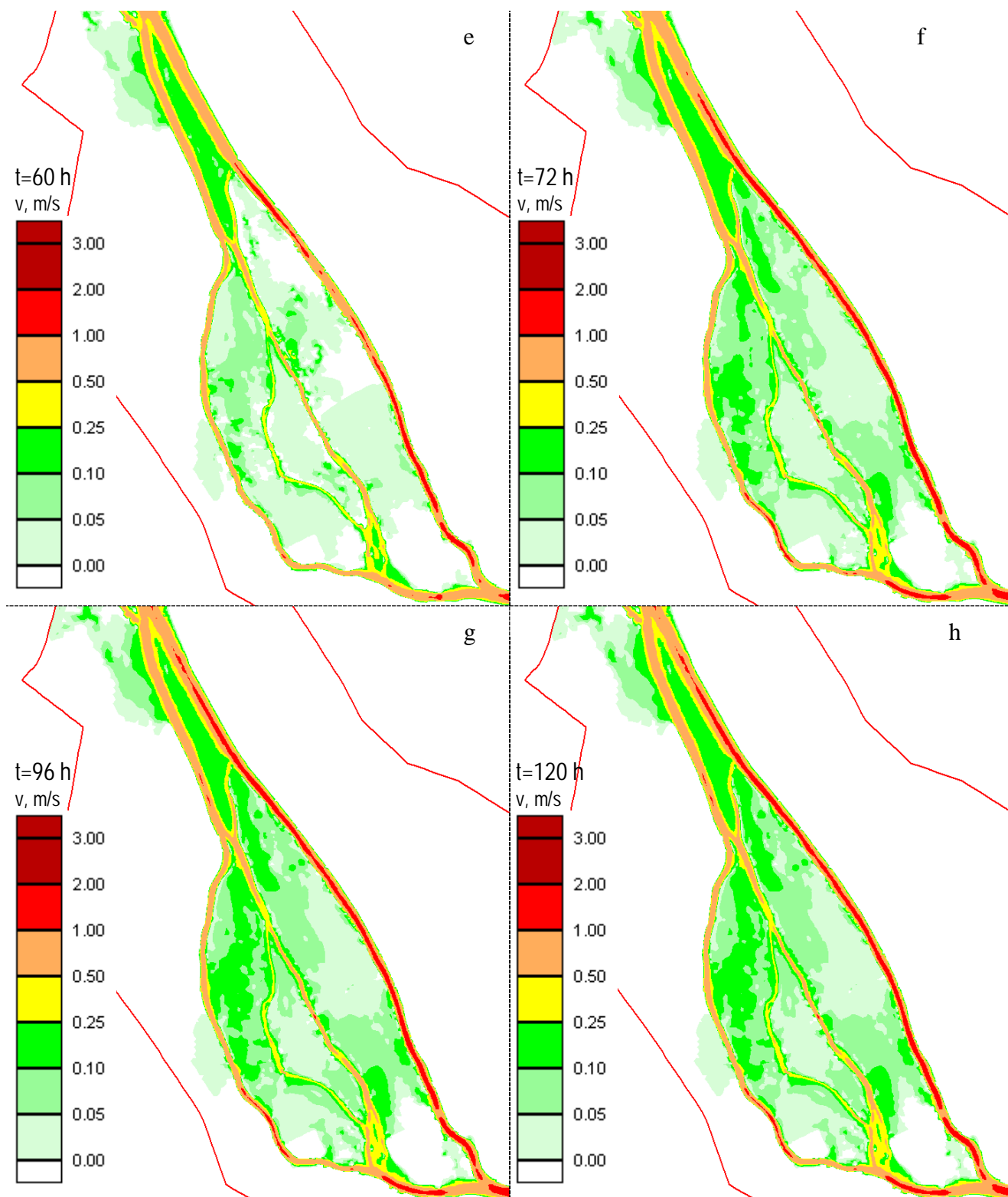
Kuva 3. Mallinnuksessa käytetyt reunaehdot, virtaama ja alapuolinen vedenkorkeus ajan suhteen esitettyinä.



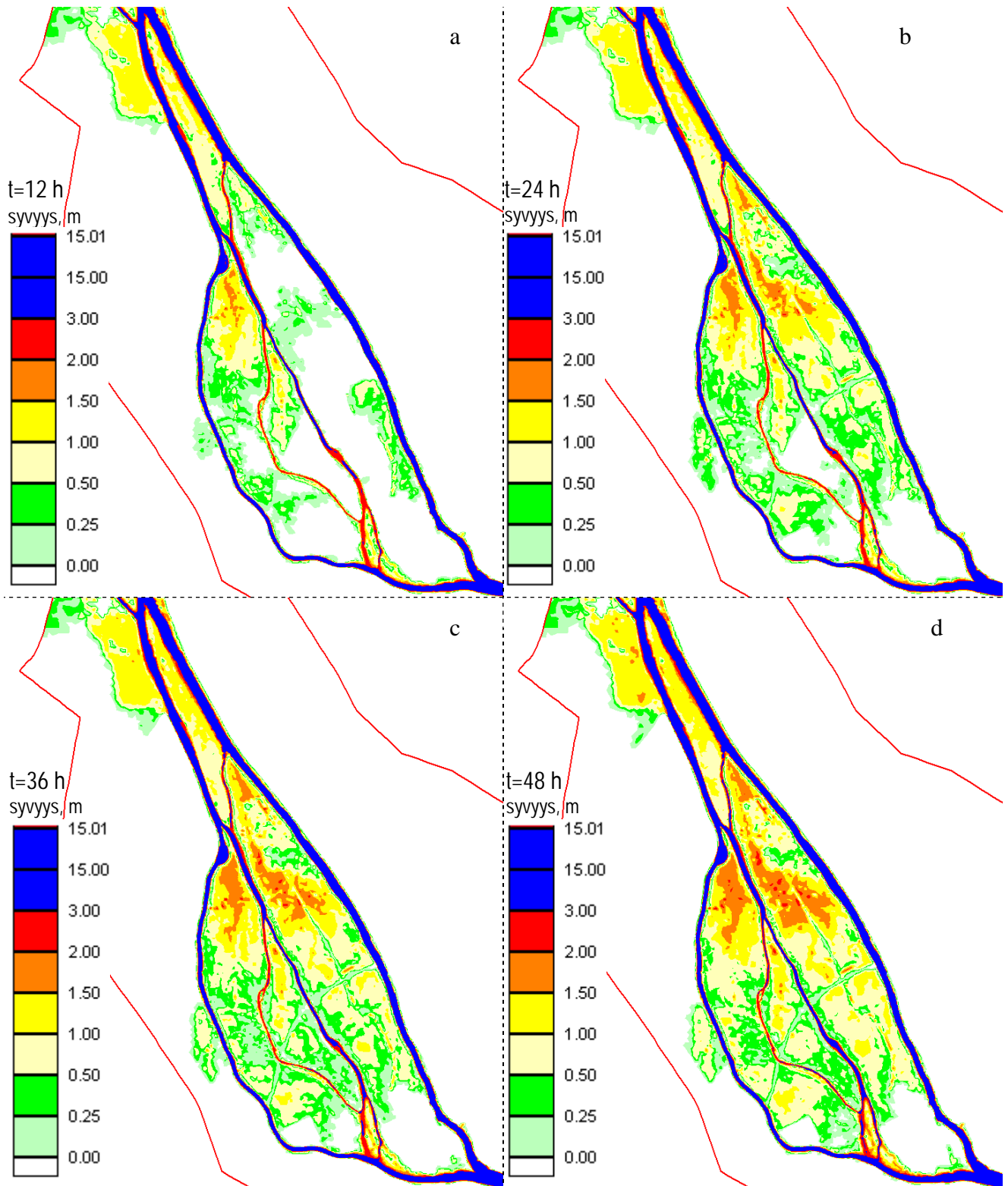


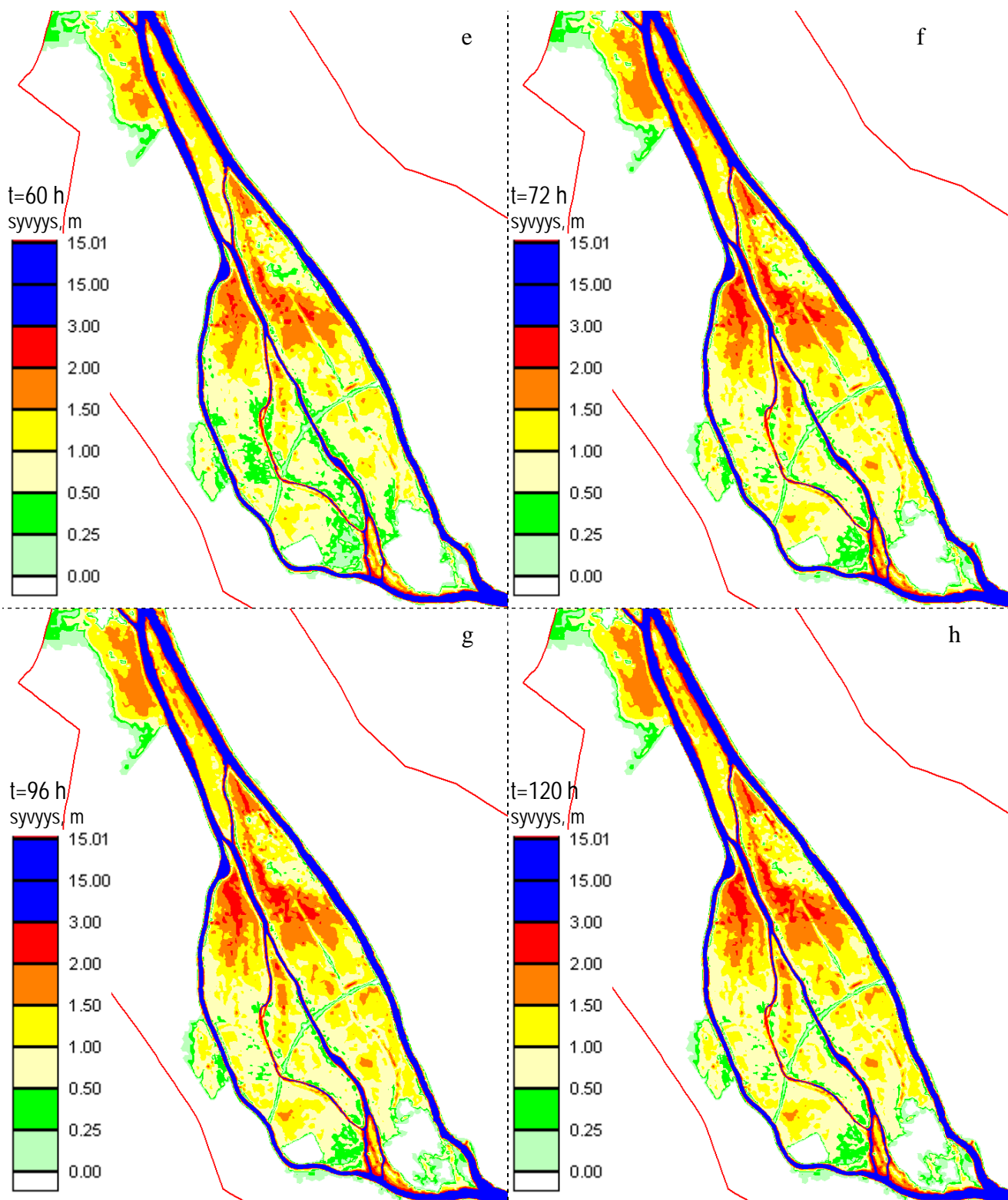
Kuva 4. Veden syvyydet ajanhetkillä 12h (kuva a), 24h (b), 36h (c), 48h (d), 60h (e), 72h (f), 96h (g) ja 120h (h). Vedenkorkeus Kivinissä nousee laskennan kuluessa tasosta N60+0,85 tasoon N60+1,22. Samalla kun virtaamaa nousee arvosta 400 m³/s arvoon 1000 m³/s. Ajanhetkellä 120 h laskenta-alueella on jo tasainen virtaustilanne. (Kivinin vedenkorkeus on N60+1,22 ja virtaama 1000 m³/s. Myös keskustan siltojen kohdalla virtaama on 1000 m³/s).



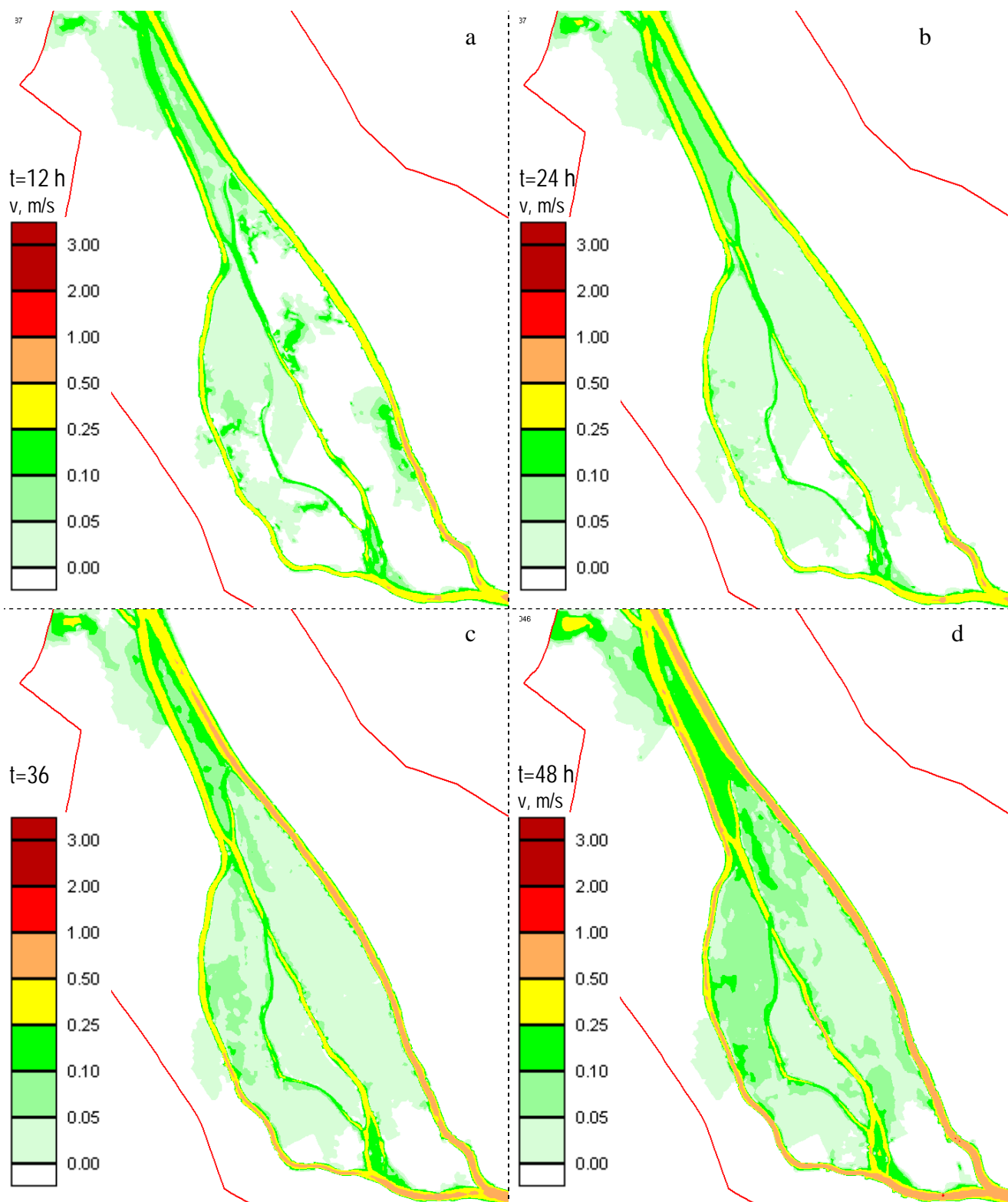


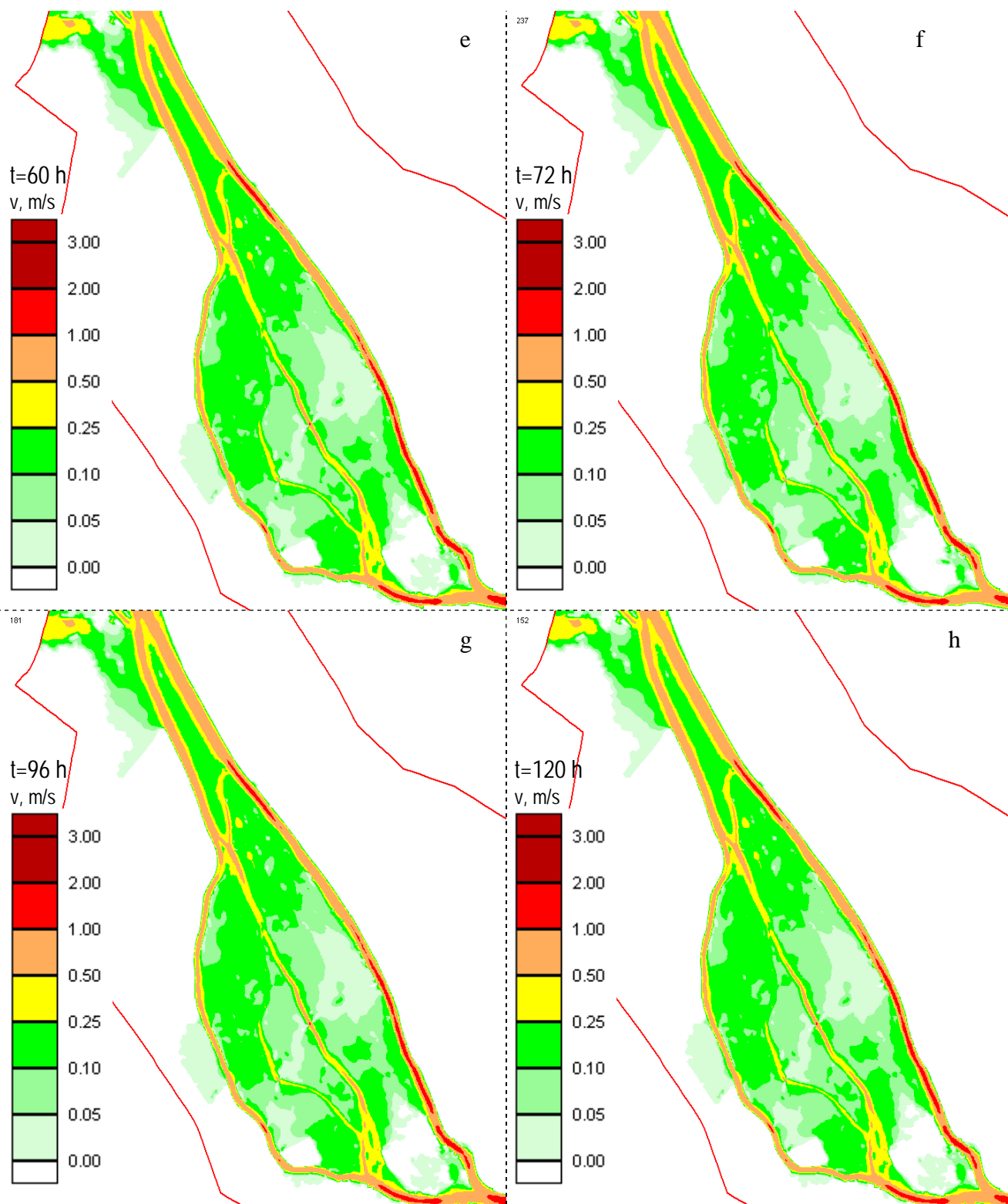
Kuva 5. Veden virtausnopeudet ajanhetkillä 12h (kuva a), 24h (b), 36h (c), 48h (d), 60h (e), 72h (f), 96h (g) ja 120h (h). Vedenkorkeus Kivinissä nousee laskennan kuluessa tasosta N60+0,85 tasoon N60+1,22. Samalla virtaamaa nousee arvosta 400 m³/s arvoon 1000 m³/s. Ajanhetkellä 120 h laskenta-alueella on jo tasainen virtaustilanne. (Kivinin vedenkorkeus on N60+1,22 ja virtaama 1000 m³/s. Myös keskustan siltojen kohdalla virtaama on 1000 m³/s).





Kuva 6. Veden syvyudet ajanhetkillä 12h (kuva a), 24h (b), 36h (c), 48h (d), 60h (e), 72h (f), 96h (g) ja 120h (h). Vedenkorkeus Kivinissä nousee laskennan kuluessa tasosta N60+1,30 tasoon N60+1,71. Samalla virtaamaa nousee arvosta 400 m³/s arvoon 1000 m³/s. Ajanhetkellä 120 h laskenta-alueella on jo tasainen virtaustilanne. (Kivinien vedenkorkeus on N60+1,71 ja virtaama 1000 m³/s. Myös keskustan siltojen kohdalla virtaama on 1000 m³/s).



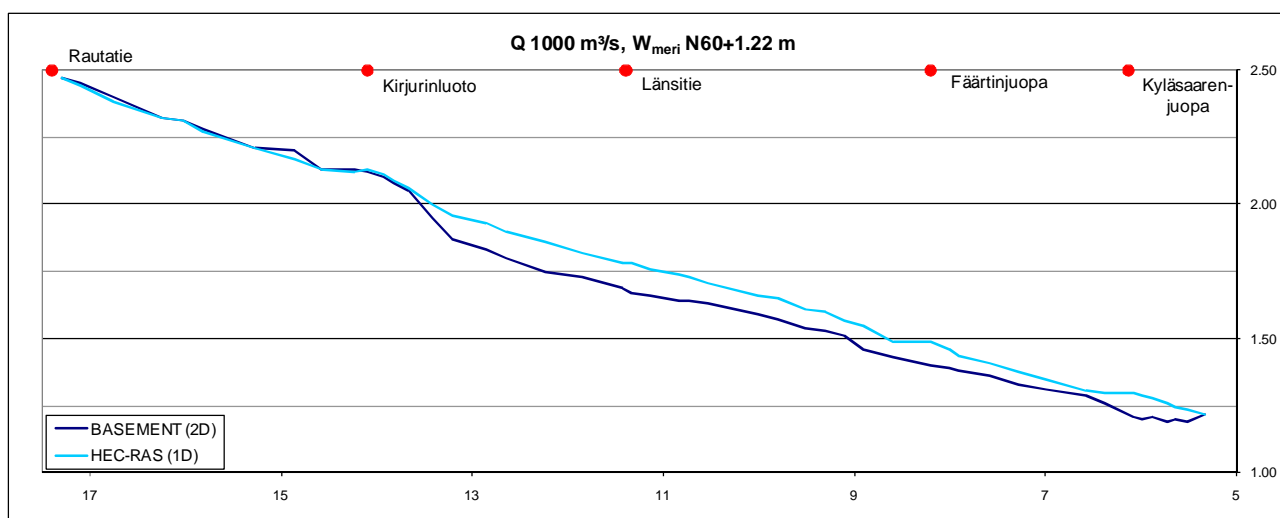


Kuva 7. Veden syvyydet ajanhetkillä 12h (kuva a), 24h (b), 36h (c), 48h (d), 60h (e), 72h (f), 96h (g) ja 120h (h). Vedenkorkeus Kivinissä nousee laskennan kuluessa tasosta N60+1,30 tasoon N60+1,71. Samalla virtaama nousee arvosta 400 m³/s arvoon 1000 m³/s. Ajanhetkellä 120 h laskenta-alueella on jo tasainen virtaustilanne. (Kivinin vedenkorkeus on N60+1,71 ja virtaama 1000 m³/s. Myös keskustan siltojen kohdalla virtaama on 1000 m³/s).

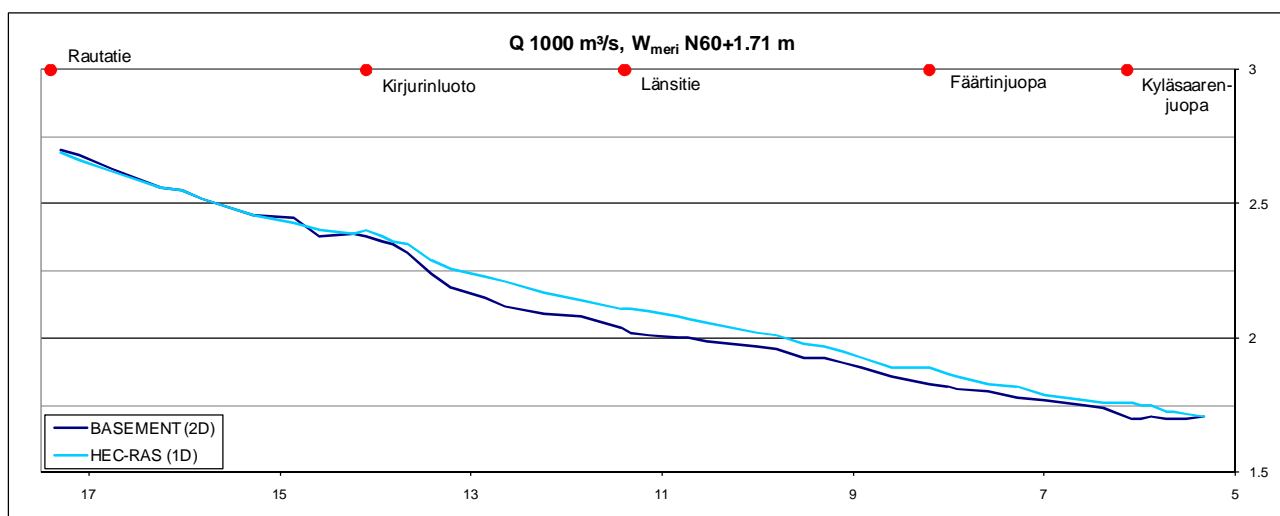
Vertailtaessa 2-dimensionaalisella mallilla saatuja ajanhetken 120 h vedenpinnan pituusprofiileja Porin tulvat -projektissa käytetyn 1-dimensionaalisen HEC-RAS-virtausmallin samoja virtaama- ja merivedenkorkeusreunaehtoja käyttäneeseen laskentaan, voitiin tarkemman ja

laskentamenetelmältään realistisemmän 2D-laskennan vedenkorkeuksien todeta olevan luotojen alueella keskimäärin 7 cm ja suurimmillaan 11 cm matalampia alemman alapuolisen reunaehdon tilanteessa (N60+1,22 m) ja keskimäärin 6 cm ja suurimmillaan 9 cm matalampia korkeamman alapuolisen reunaehdon tilanteessa (N60+1,71 m). Mallien tulokset olivat Kirjurinluodolta ylävirtaan päin hyvin yhtenevät (kuvat 8 ja 9).

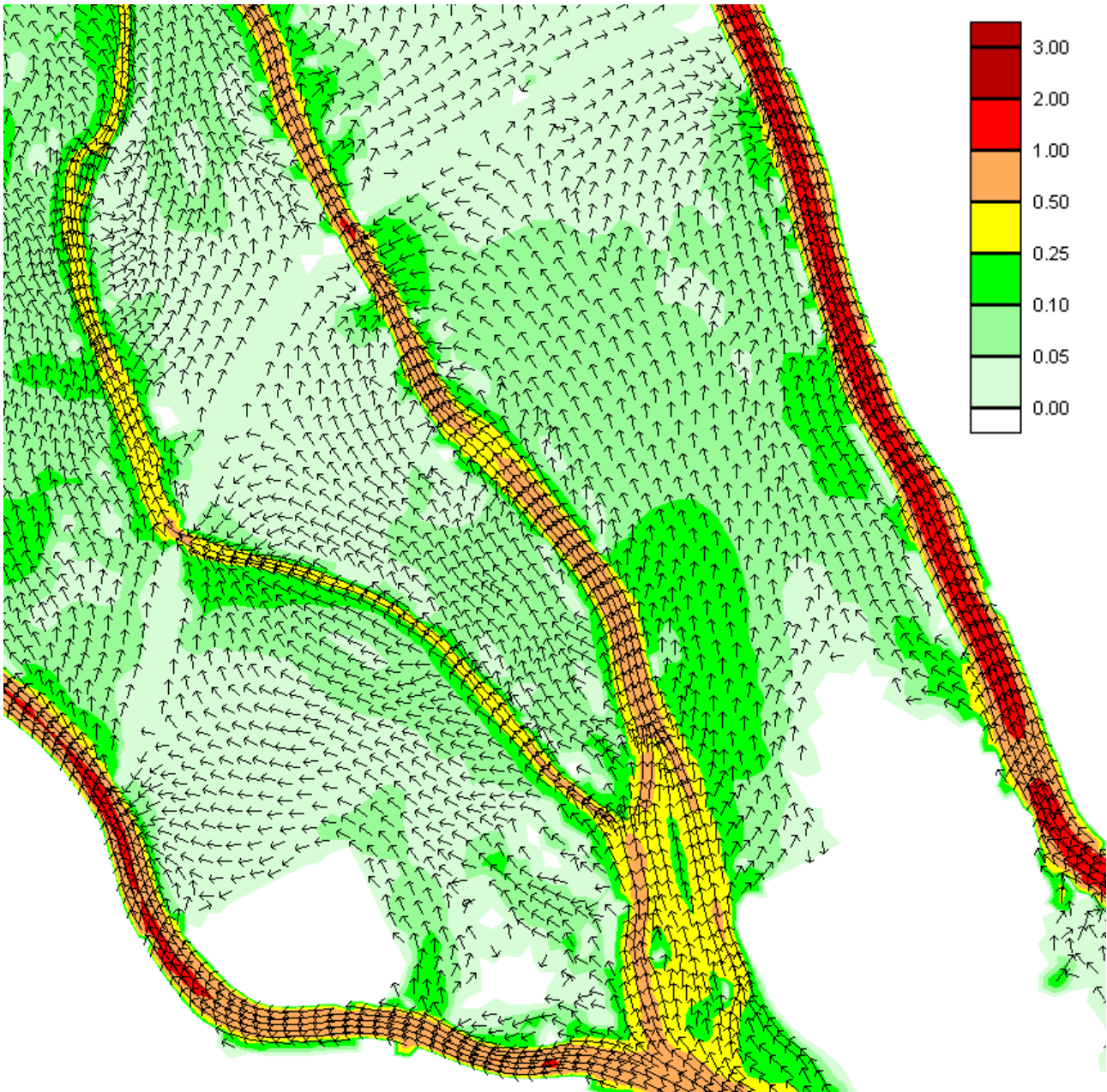
Luotojen alueen vedenkorkeuksien erot voivat johtua myös mallien hieman erilaisista karkeuskertoimista ja käytetyistä korkeusaineistoista, mutta suurin syy lienee virtauksen reitityksen kuvaamisesta tulva-alueella. HEC-RASissa virtauksen oletettiin etenevän tulva-alueellakin kohtisuorasti uoman poikki kulkeneisiin poikkileikkauksiin nähden. Uomien väliin jäänyt tulva-alue oli jaettu tasan uomien kesken, eikä näiden välillä voinut tapahtua virtausta. Kuvissa 10-12 on esitetty BASEMENT-mallin laskema tulvaveden virtausreitti, joka ei täysin vastaa edellä esitettyjä HEC-RASin oletuksia. Kuvista voidaan myös nähdä mm. Länsitien, uomien pengerrysten ja muiden korkeampien kohtien vaikutus virtaukseen. Mikäli luotojen alueen pengerrykset olisivat korkeammat, HEC-RAS-mallinnuksen tulokset olisivat lähempänä 2D-virtausmallin tuloksia.



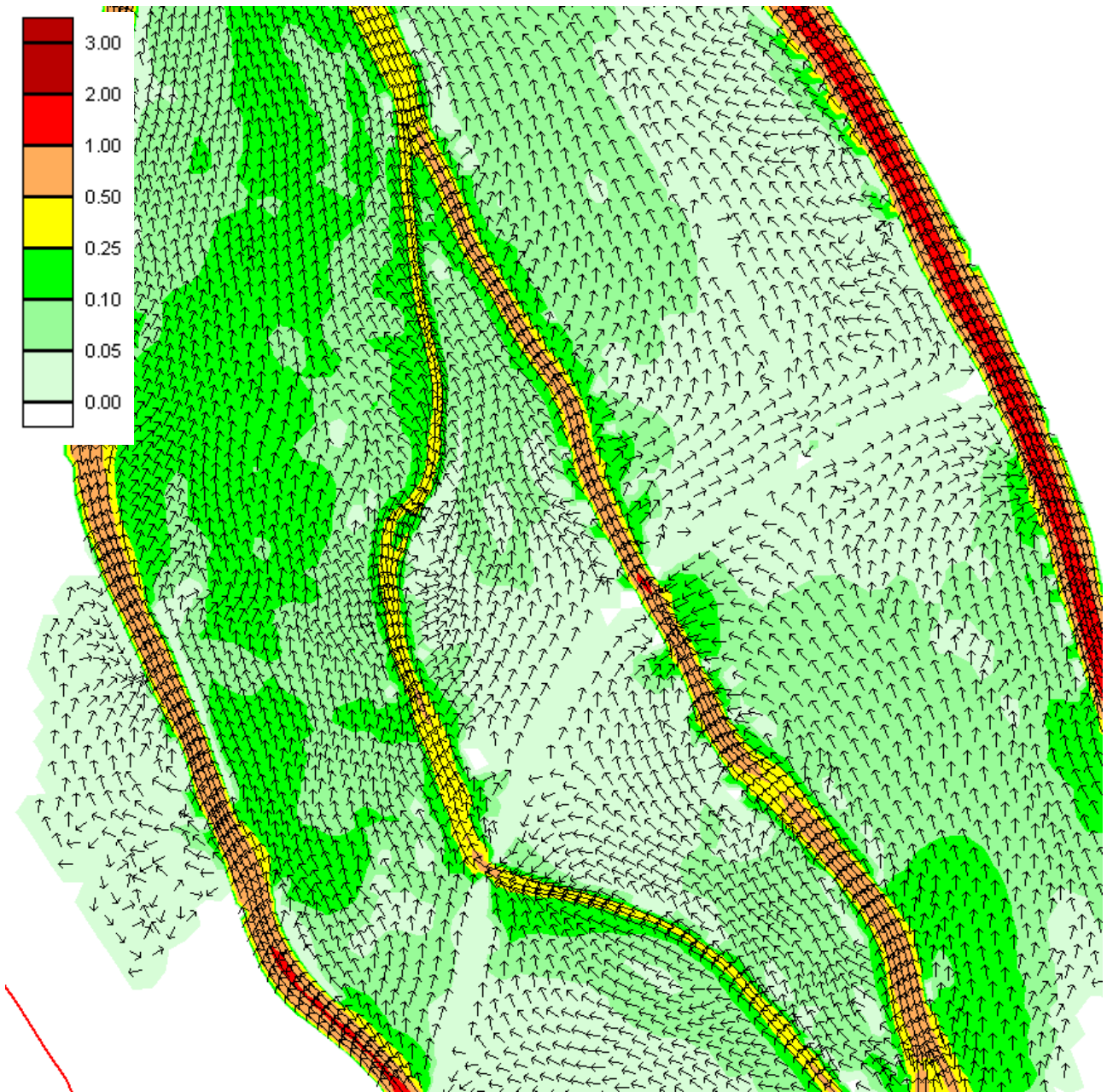
Kuva 8. Vedenpintojen pituusprofiilit Luotsinmäenhaarassa Rautatiesillan ja Kyläsaarenjuovan välisellä osuudella HEC-RAS- ja BASEMENT-mallien mukaan (alapuolinen vedenkorkeus N60+1,22 m).



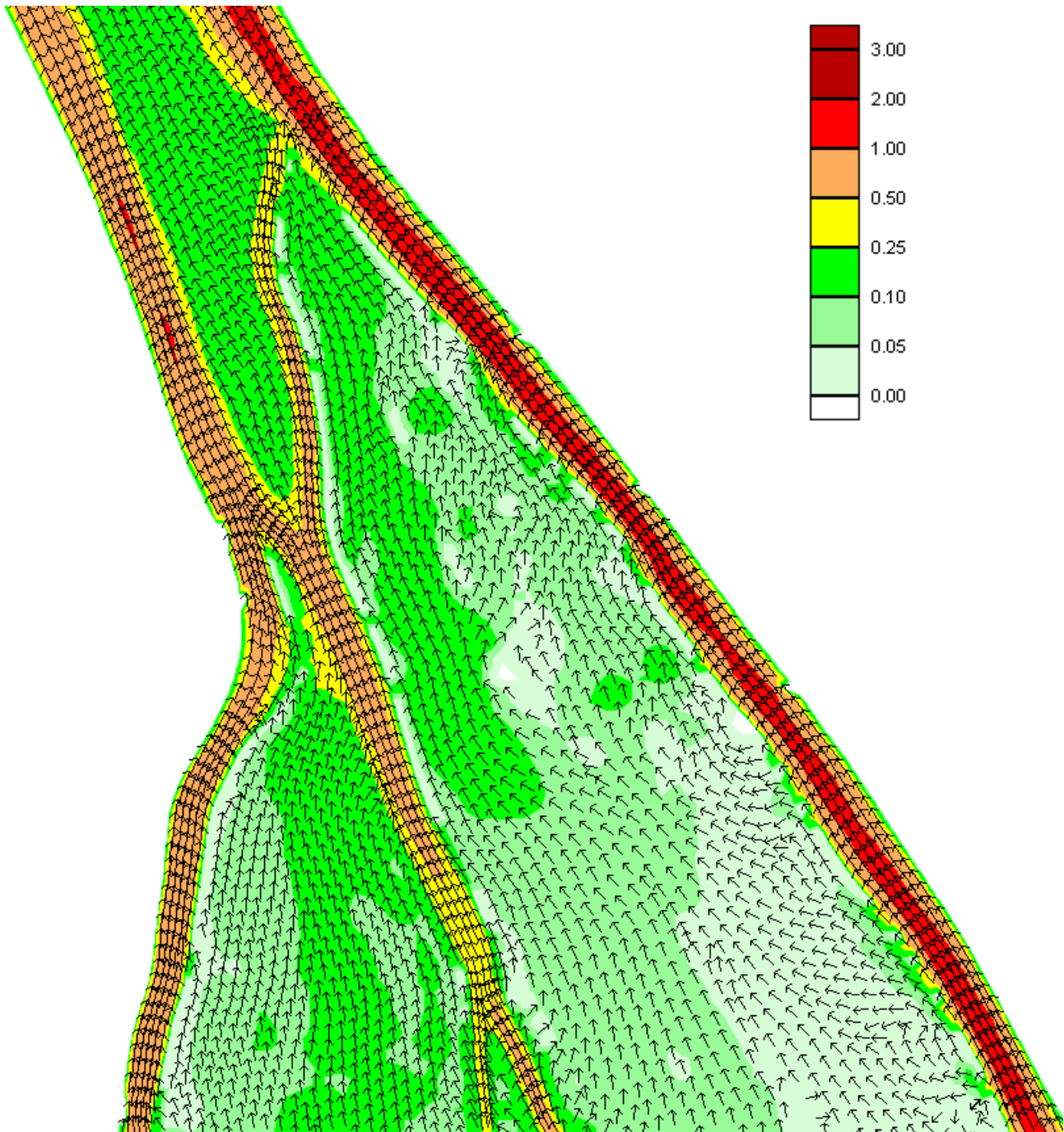
Kuva 9. Vedenpintojen pituusprofiilit Luotsinmäenhaarassa Rautatiesillan ja Kyläsaarenjuovan välisellä osuudella HEC-RAS- ja BASEMENT-mallien mukaan (alapuolinen vedenkorkeus N60+1,71 m).



Kuva 10. Veden virtausnopeus (m/s) ja -suunta ajanhetkellä 120h ($Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $Wala=N60+1,22 \text{ m}$, Kirjurinluoto-Länsitie).



Kuva 11. Veden virtausnopeus (m/s) ja -suunta ajanhetkellä 120h ($Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $W_{ala}=N60+1,22 \text{ m}$).



Kuva 12. Veden virtausnopeus (m/s) ja -suunta ajanhetkellä 120h ($Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $W_{ala}=N60+1,22 \text{ m}$).

NUMEERINEN JOKIJÄÄMALLI

1. Mallin yleiskuvaus

Jokijäämalli perustuu muuttuvan virtauksen, joen lämpötaseen sekä jään ja supon muodostumisen ja sulamisen laskennan yhdistämiseen. Muuttuvan virtauksen yhtälöiden ratkaisu perustuu samaan menetelmään, jota on käytetty runsaasti avotilan virtauslaskennassa (Fread 1985). Laskennassa otetaan huomioon jääkannen vaikutus virtausalaan ja kitkahäviöihin. Lämpöenergiataseen laskenta perustuu pääasiassa menetelmiin, jotka on kehitetty Clarkson yliopistossa (Shen ja Yapa 1984, Shen ja Lal 1986). Rantajään ja joen poikki syntyvien jääsillakkeiden laskentamenetelmät on kehitetty jokijääprojektin yhteydessä. Malliin on vuosien kuluessa tehty runsaasti parannuksia ja lisätty ominaisuuksia. Nykyisin mallin tulosten käsittely onnistuu parhaiten tietokannan välityksellä.

Jokijäämalli voidaan jakaa seuraaviin osiin (kts. kuva 1):

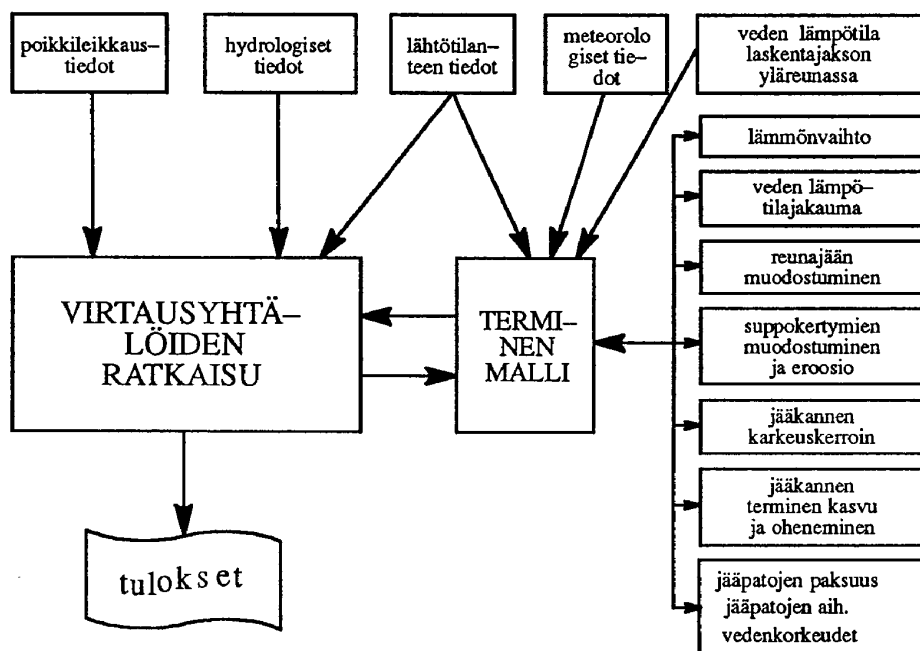
- yksidimensioisen muuttuvan virtauksen yhtälöiden ratkaisu
- virtauslaskenta saarien ympäri
- joen pituussuuntaisen lämpöjakautuman laskenta
- supon ja liikkuvan jääkannen muodostumisen laskenta
- joen rantajään muodostumisen laskenta
- dynaamisen jääkannen muodostumisen laskenta
- jääkannen alaisen supon muodostumisen laskenta
- jääkannen paksuuden ja ohenemisen laskenta
- jääkannen kitkahäviöiden laskenta
- jääpatojen paksuuden ja jääpatojen aiheuttamien vedenkorkeuksien laskenta

Malli laskee jokaisella aika-askeleella ensin lämmönvaihdon säätietojen perusteella koko jokijaksolla. Tämän jälkeen lasketaan joen pituussuuntainen veden lämpötilan tai jään konsentraation jakauma ja virtausnopeudesta riippuva supon ja jääkannen muodostuminen. Tämän jälkeen malli laskee rantajään muodostumisen, jääkannen kasvun ja ohenemisen. Kun lämmönvaihto ja jääprosessit on laskettu, malli ratkaisee virtausyhtälöt uusien virtaama- ja vedenkorkeusarvojen selvittämiseksi. Virtaama- ja vedenkorkeuslähtöarvot voidaan joko antaa syöttötietoina tai malli laskee ne. Joki kuvataan koordinaattimuodossa olevien poikkileikkaustietojen avulla. Poikkileikkausten enimmäismäärä on 600.

Mallilla voidaan tulostaa joen jokaisen poikkileikkauksen kohdalla halutuin aikavälein mm. veden lämpötila, virtaavan supon määrä, jääkannen ja rantajään muodostuminen sekä jään

paksuuden kasvu ja oheneminen. Hydraulista tekijöistä voidaan tulostaa mm. virtausnopeus-, vedenkorkeus- ja virtaama-arvot. Lähtötietoina tarvitaan joen poikkileikkaustiedot, tulovirtaamat, sadanta ja pilvisuus sekä yläjuoksulta tutkittavaan jokijaksoon tuleva virtaama ja tulevan veden lämpötilat.

Jääpatojen paksuuden ja jääpatojen aiheuttamien vedenkorkeuksien laskenta on liitetty malliin vuosien 1992-93 aikana. Vuosina 1994 - 1997 on malliin lisätty tietokantatulostus ja tulostusta on muokattu monipuolisemmaksi. Vuonna 1997 malliin lisättiin liikkuvan pintajään termisen kasvun laskenta sekä poikkileikkausten jakaminen osiin virtausnopeudenjakamiseksi ja poikkileikkauksessa tapahtuvan epätasaisen sulamisen mallittamiseksi. Vuonna 1997 malliin lisättiin ominaisuus, jolla voidaan ottaa huomioon uomassa olevan vesiliikenneväylän aukipitämisen vaikutuksia.



Kuva 1. Jokijäämallin rakenne

2. Virtauslaskenta

2.1 Yksidimensioiset muuttuvan virtauksen yhtälöt

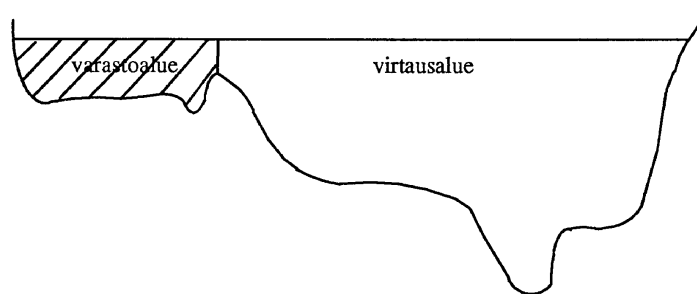
Jokijäämallissa virtausilanteen määrittäminen perustuu yksidimensioisiin muuttuvan virtauksen yhtälöihin, jotka ovat massan (1) ja liikemäärän (2) säilymisen yhtälöt.

$$\partial Q / \partial x + \partial (A + A_s) / \partial t - q = 0 \quad (1)$$

$$\partial Q / \partial t + \partial (Q^2) / \partial x - g A \left[\left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + S_f \right] = 0 \quad (2)$$

A	= aktiivinen virtausala poikkileikkauksessa
A_s	= poikkileikkauksen varastoala
x	= pituussuuntainen etäisyys jokiuomassa
q	= sivutulovirtaama poikkileikkaukseen
t	= aika
g	= painovoiman kiihtyvyys
Q	= virtaama
h	= vedenkorkeus
S_f	= kitkalkaltevuus
S_e	= paikallishäviöistä aiheutuva energiakaltevuus

Osa poikkileikkauksen pinta-alasta voidaan määrätä varastoalueeksi, jossa vesi ei virtaa, mutta johon se voi varastoitua (kuva 2).



Kuva 2. Poikkileikkauksen jakaminen virtausalaan ja varastoalaan

Jääkansi ja suppokerros jääkannen alla pienentävät virtausalaa (kuva 3). Kun jääkannen oletetaan kelluvan vapaasti, tämä virtausalan pieneminen voidaan laskea kaavalla (3).

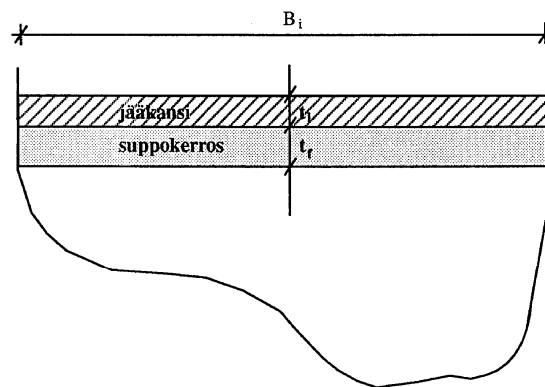
$$A_i = A_o - (\rho_i / \rho) t_i B_i - t_f B_i \quad (3)$$

A_i	= virtausala jääpeitteisessä poikkileikkauksessa
A_o	= virtausala avotilaisessa poikkileikkauksessa
ρ	= veden tiheys
ρ_i	= jään tiheys
t_i	= jääkannen paksuus
t_f	= suppokerroksen paksuus
B_i	= aktiivisen virtausalan alueella olevan jääkannen leveys

Jääkansi kasvattaa poikkileikkauksen märkäpiiriä avotilaiseen poikkileikkaukseen verrattuna. Märkäpiiri kasvaa aktiivisen virtausalan osuudella olevan jääkannen leveydellä.

$$P_i = P_o + B_i \quad (4)$$

P_o	= märkäpiiri avotilaisessa poikkileikkauksessa
P_i	= märkäpiiri jääpeitteisessä poikkileikkauksessa



Kuva 3. Jääkannen vaikutus virtausalaan.

2.2 Virtausvastuksen laskeminen

Jääkansi lisää uoman virtausvastusta pienentyneen virtausalan ja kasvaneen märkäpiirin vaikutuksesta. Jokijäämalli määrittää poikkileikkauksen läpäisykyvyn K käyttäen Manningin kaavaa. Jäätömässä poikkileikkauksessa läpäisykyky lasketaan kaavalla (5) ja jääpeitteisessä poikkileikkauksessa kaavalla (6).

$$K = (1/n_b) (A_o R_o^{2/3}) \quad (5)$$

$$K = (1/n_c) (A_I R_I^{2/3}) \quad (6)$$

- R_o = A_o/P_o = hydraulinen säde jääpeitteettömässä uomassa (avotilassa)
 R_I = A_I/P_I = hydraulinen säde jääpeitteisessä uomassa
 n_b = Manningin karkeuskerroin uoman pohjalle
 n_c = yhdistetty Manningin karkeuskerroin jääpeitteiselle uomalle

Yhdistetty karkeuskerroin voidaan määrittää monella eri menetelmällä. Jokijäämalli käyttää Belokon-Sabaneev kaavaa (7), joka on yksi eniten käytetyistä menetelmistä.

$$n_c = [(n_I^{3/2} + n_b^{3/2}) / 2]^{2/3} \quad (7)$$

- n_I = jääkannen alapinnan karkeuskerroin

Jos poikkileikkaus on osittain jääkannen peitossa (kuva 4) uoman kokonaisläpäisy

$$K = (1/n_c) (A_L R_L^{2/3}) + (1/n_b) (A_{Ch} R_{Ch}^{2/3}) + (1/n_c) (A_R R_R^{2/3}) \quad (8)$$

määritetään laskemalla yhteen uoman osa-alueiden läpäisykyvyt:

- A_L, R_L = virtausala ja hydraulinen säde uoman vasemmassa reunaosassa
 A_{Ch}, R_{Ch} = virtausala ja hydraulinen säde uoman keskiosassa
 A_R, R_R = virtausala ja hydraulinen säde uoman oikeassa reunaosassa

2.3 Virtausnopeuden määrittäminen poikkileikkauksen eri osissa

Poikkileikkaus voidaan jakaa osiin kuvan 4 esittämällä tavalla virtausnopeuden määrittämistä varten. Virtausnopeus vertikaalissa voidaan määrittää vertikaalin ja koko poikkileikkauksen läpäisykykyjen suhteen avulla (karkeuskertoimen on oletettu olevan sama poikkileikkauksen eri osissa).

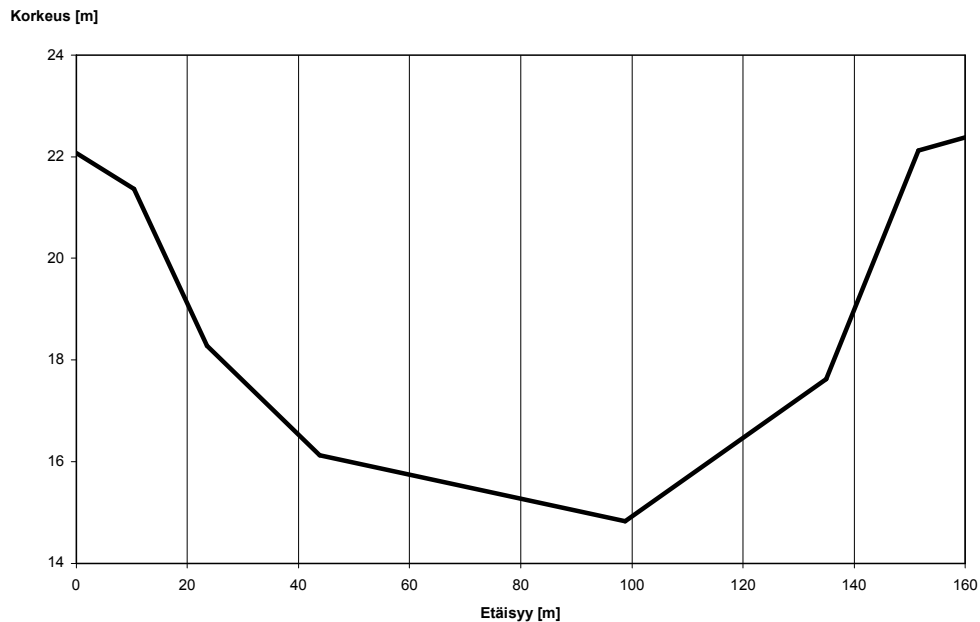
$$v_i = \frac{R_i^{2/3}}{A_i R_i^{2/3}} Q \quad (10)$$

- v_i = virtausnopeus poikkileikkauksen osassa i (vertikaalissa)
 R_i = hydraulinen säde osassa i
 A_i = poikkileikkauksen virtausala
 R_i = poikkileikkauksen hydraulinen säde
 Q = virtaama poikkileikkauksessa

LIITE 5

Poikkileikkaus voidaan jakaa parittomaan määrään (enimmillään 19) osia. Virtausnopeuden määrittystä poikkileikkauksen osassa käytetään laskettaessa virtaavasta vedestä jääkanteen tulevan lämpövuon määrää ja sen aiheuttamaa epätasaista jääkannen sulamista. Keskimmaiselle vertikaalille voidaan määrittää oma leveys, mutta muut osat ovat keskenään yhtä leveitä. Reunimmaisten osien virtausalan leveys voi vaihdella laskennan kuluessa kun vedenkorkeus vaihtelee. Mikäli vedenkorkeus laskee paljon, voivat reunimmaisets osat jäädä myös kokonaan kuiviksi

Poikkileikkauksen jakamista osiin käytetään myös simuloitaessa uomassa olevan vesiliikenneväylän aukipitämisen vaikutuksia. Tällöin keskimmaisen osan leveys on sama kuin talvella auki pidettävän osuuden leveys ja jääkannen muodostuminen estetään poikkileikkauksen keskimmaisessä osassa.



Kuva 4. Poikkileikkauksen jakaminen osiin. Keskimmaisen osan leveys voidaan määrittää erikseen tai se on sama kuin muiden osien leveys.

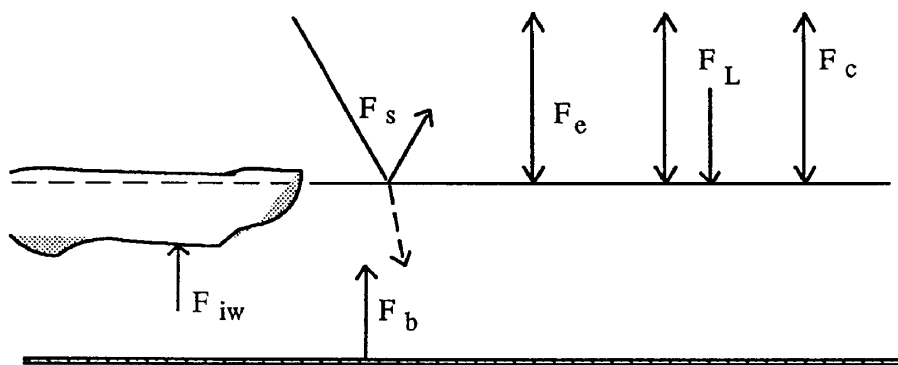
3 Joen lämpötasapaino ja jään muodostuminen

3.3.1 Veden ja ympäristön lämmönvaihdon komponentit

Lämmönvaihto joen veden ja sen ympäristön välillä voidaan jakaa seuraavasti:

- lämmönvaihto veden ja ilman välillä
- auringonsäteily
- lämpösäteily
- johtuminen
- veden höyrystyminen tai tiivistyminen
- sateen vaikutus
- lämpövuoto uoman pohjasta veteen
- lämpövuoto vedestä jääkannen alapintaan

Lisäksi potentiaalienergiaa muuttuu lämmöksi voimakkaasti turbulentsissa virtauksessa, mutta sen merkitys on melko vähäinen koskijaksoja lukuunottamatta. Lämpövuoto jääkannen ja ilman välillä on käsitelty jääkannen termistä kasvua käsittelevässä kappaleessa. Kuvassa 5 on esitetty joen lämmönvaihdon komponentit.



Kuva 5. Lämmönvaihdon komponentit

3.2 Lämpövuoto veden ja ilman välillä

LIITE 5

Auringonsäteily eli lyhytaaltosäteily jakaantuu suoraan ja diffuusiin säteilyyn. Suora auringonsäteily Φ_{sd} lasketaan mallissa kaavalla (9). (Matousek 1984a)

$$\Phi_{sd} = \sin H [1123 y - 7,0 (1,14 + 0,2 m) (7,5 \cdot 10^{-3} e - 6,0)] \quad (10)$$

$$y = 10^{-0,0568 m} + 000038 m^2 \quad (10b)$$

e = vesihöyryn osapaine
 H = auringon korkeuskulma
 m = auringon läpäisemän ilmamassan suhteellinen paksuus

$$m = \frac{1}{\sin H + 0,15 (H + 3,885)^{-1,253}} \quad (10c)$$

Suoran auringonsäteilyn ja diffuusin auringonsäteilyn summa Φ_{ssd} lasketaan suoran auringonsäteilyn avulla (Matousek 1984a).

$$\Phi_{ssd} = \Phi_{sd} (1,0 + 0,066 \frac{1}{\sin H}) \quad (11)$$

Pilvisyys vaikuttaa huomattavasti maan pinnalle tulevan auringonsäteilyn määrään ja sen vaikutus otetaan mallissa huomioon kaavan (12) avulla (Ashton 1986).

$$\Phi_{sc} = \Phi_{ssd} (1,0 - 0,665 CC^2) \quad (12)$$

CC = pilvisyys (0 - 1; 0 = kirkas taivas ja 1 = täysin pilvinen taivas)

Osa auringonsäteilystä heijastuu takaisin veden pinnasta. Veden absorboiman auringonsäteilyn määrä saadaan kaavasta (13).

$$\Phi_s = (1,0 - a) \Phi_{sc} \quad (13)$$

a on veden albedo ja sen suuruus riippuu auringon korkeuskulmasta. Veden albedo määritetään mallissa taulukon 1 arvojen avulla.

Taulukko 1 . Veden albedon riippuvuus auringon korkeuskulmasta Devikin mukaan (Ashton 1986).

H	30	25	20	15	10	6
a	0,08	0,10	0,15	0,25	0,45	0,70

LIITE 5

Auringon korkeuskulma H saadaan määrättyä vuodenajan ja kellonajan avulla:

$$\sin H = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau \quad (14)$$

φ = leveyspiiri
 τ = aikakulma (klo 12 = 05, klo 24 = 1805)
 δ = auringon deklinaatio

Auringon deklinaatio lasketaan seuraavasti (Ashton 1986):

$$\delta = 23,45 \left[\cos \frac{360}{365} (176 - D) \right] \quad (15)$$

D = päivän järjestysnumero tammikuun ensimmäisestä päivästä lähtien

Lämpösäteilystä aiheutuva lämpövuoto veden ja ilman välillä on erotus veden absorboimasta ja emittoimasta pitkäaaltoisesta säteilystä. Veden pinnan emittoima lämpösäteily määritetään Stefan-Boltzmannin lain avulla

$$\Phi_L 1 = \varepsilon \sigma T^4 \quad (16)$$

ε = on veden permeabilisuuskerroin = 0,96
 σ = Stefan-Boltzmann-vakio ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)
 T = veden absoluuttinen lämpötila

Veden absorboima osuus ilmakehän emittoimasta lämpösäteilystä määritetään kaavalla (17)

$$\Phi_L 2 = (0,65 + 0,0036 \sqrt{e}) \sigma T_a^4 (1,0 + 0,17 cc^2) \quad (17)$$

T_a = ilman absoluuttinen lämpötila

Lämpösäteilystä aiheutuva nettolämpövuoto veden ja ilman välillä saadaan kaavat (16) ja (17) yhdistämällä:

$$\Phi_L = \Phi_L 1 - \Phi_L 2 \quad (18)$$

Vedenpinnan ja ilman välinen lämpötilaero aiheuttaa lämmön siirtymisen johtumalla veden ja ilman välillä. Tuulen nopeus vaikuttaa ratkaisevasti johtumalla siirtyvän lämmön määrään. Johtumisesta aiheutuva lämpövuoto veden ja ilman välillä lasketaan mallissa Rimhsa-Donchenkon kaavalla seuraavasti (Shen 1985):

$$\Phi_c = 0,485 \{ [8,0 + 0,35 (T - T_a)] + 3,9 V_a \} (T - T_a) \quad (19)$$

V_a = tuulen nopeus 2 metrin korkeudessa vedenpinnasta

Haihtumisesta aiheutuva lämpövuoto määritetään mallissa kaavalla (20), joka on samantyyppinen kuin kaava (19). Höyrystymisestä ja haihtumisesta aiheutuva lämpövuoto on suoraan verrannollinen ilman vesihöyryn osapaineen ja vedenpinnan lämpötilassa olevan vesihöyryn kyllästymispaineen erotukseen.

$$\phi_e = 0,485 \{ 1,56 [8,0 + 0,35 (T - T_a)] + 6,8 V_a \} (e_0 - e) \quad (20)$$

Sateen aiheuttamaa lämpövuotoa ei ole otettu huomioon mallissa.

3.3 Lämpövuoto uoman pohjasta veteen

Uoman pohjasta tuleva lämpövuoto annetaan mallille syöttötietona. Toistaiseksi mallissa on käytetty arvoa 2 W/m^2 , joka perustuu ruotsalaisissa järvissä havaittuihin lämpövuon arvoihin (Ashton 1986).

3.4 Lämpövuoto vedestä jääkannen alapintaan

Veden ja jääkannen alapinnan välinen lämpövuoto riippuu veden lämpötilasta ja virtauksen turbulentsisuudesta. Tämä lämpövuoto lasketaan putkihydrauliikasta johdetulla menetelmällä (Ashton 1982):

$$\Phi_{iw} = h_{iw} (T - T_m) \quad (21)$$

T_m = jään sulamispiste
 h_{iw} = lämmönvaihtokerroin.

Lämmönvaihtokerroin h_{iw} määritetään seuraavasti:

$$h_{iw} = 1622 v^{0,8} d^{-0,2} \quad (22)$$

v = virtausnopeus
 d = vesisyvyys

3.5 Kulkeutumislaskenta veden lämpötilalle, supolle ja pintajäälle

Lämpötilan jakautuminen joessa noudattaa yksidimensiosessa tapauksessa kulkeutumissekoittumiskaavaa:

$$\frac{\partial(\rho C_p A T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho C_p Q T)}{\partial x} = \frac{\partial(A E_x C_p \frac{\partial T}{\partial x})}{\partial x} + \phi B \quad (23)$$

ρ	= veden tiheys
t	= aika
Q	= virtaama
C_p	= veden ominaislämpö
T	= veden lämpötila
A	= virtausala
B	= uoman leveys
x	= etäisyys joen pituussuunnassa
ϕ	= kokonaislämpövuoto pinta-alayksikköä kohti
E_x	= pituussuuntainen sekoittumiskerroin

Jos virtaustilanne oletetaan aika-askeleen aikana muuttumattomaksi ja pituussuuntainen sekoittuminen jätetään huomioimatta, yhtälö (23) voidaan esittää muodossa:

$$\frac{\partial(A T)}{\partial t} + \frac{\partial(Q T)}{\partial x} = \frac{\phi B}{\rho} C_p \quad (24)$$

Veden lämpötilan ja jään kulkeutumisen laskennassa on mukana kolme komponenttia, jotka ovat veden lämpötila, vedessä suspensiona oleva suppo ja veden pinnalla kulkeva jääriite eli suppolautat. Matousekin (1984c) mukaan veden pintalämpötila voidaan määrittää kaavalla (25).

$$t_h = T_w + \phi / (1130 v) \quad (25)$$

Matousekin mukaan pintajäätä syntyy, jos veden pintalämpötila t_h on pienempi kuin 0°C ja turbulenssista aiheutuva pystysuora nopeuskomponentti (V_z) on pienempi kuin jääpartikkelin nousu nopeus vedessä (U_i). V_z ja U_i lasketaan kaavoilla (26) ja (27).

$$U_i = -0,025 [T_w + \phi / (1130 v)] + 0,005 \quad (26)$$

$$V_z = \left(\frac{1}{5}\right) \left[\frac{g}{(0,7 C + 6,0) C}\right]^{1/2} v \quad (27)C$$

on Chezyn karkeuskerroin, joka voidaan määrittää uoman Manningin kertoimen perusteella kaavalla (28a)

$$C = (1/n) R^y \quad (28a)$$

LIITE 5

$$y = 1,3 n^{1/2} \quad (28b)$$

R on hydraulinen säde.

Veden lämpötilan sekä supon ja pintajään konsentraation laskemiseksi saadaan seuraavat mahdollisuudet:

I. $t_h < 0 \text{ °C}$ ja $V_z \leq U_i$

a.) $T_w > 0 \text{ °C}$

$$(\partial/\partial t) (A T_w) + (\partial/\partial x) (Q T_w) = (1-b) B_o \phi / (\rho C_p) \quad (29)$$

$$(\partial/\partial t) (A C_s) + (\partial/\partial x) (Q C_s) = (b B_o \phi) / (-\rho_i L_i) \quad (30)$$

b.) $T_w < 0 \text{ °C}$

$$(\partial/\partial t) (A C_s) + (\partial/\partial x) (Q C_s) = (b B_o \phi) / (-\rho_i L_i) + c (1 - V_z / U_i) C_c \quad (31)$$

$$(\partial/\partial t) (A C_c) + (\partial/\partial x) (Q C_c) = (1-b) B_o \phi / (-\rho_i L_i) + c (1 - V_z / U_i) C_c \quad (32)$$

II. $t_h < 0 \text{ °C}$ ja $V_z > U_i$

a.) $T_w > 0 \text{ °C}$

$$(\partial/\partial t) (A T_w) + (\partial/\partial x) (Q T_w) = (1-b) B_o \phi / (\rho C_p) \quad (33)$$

c.) $T_w < 0 \text{ °C}$

$$(\partial/\partial t) (A C_c) + (\partial/\partial x) (Q C_c) = (1-b) B_o \phi / (-\rho_i L_i) \quad (34)$$

III. $t_h > 0 \text{ °C}$

$$(\partial/\partial t) (A T_w) + (\partial/\partial x) (Q T_w) = (1-b) B_o \phi / (\rho C_p) \quad (35)$$

C_c	=	vedessä suspensiona olevan jään (supon) konsentraatio
C_s	=	liikkuvan pintajään konsentraatio
B_o	=	avoimen alueen leveys poikkileikkauksessa

Kertoin b annetaan syöttötietona ja sillä määrätään, miten paljon pintajäätä muodostuu (supon sijasta). Kertoimella c , joka annetaan myös syöttötietona, ohjataan supon evoluutiota suspensiosta pintajääksi. Jokijääutkimusprojektin aikana saadut kokemukset osoittivat, että b :lle ja c :lle sopiva arvo on noin 0,5.

4. Jääkannen muodostumisen mallintaminen

4.1 Yleistä

Jääkannen muodostuminen voi jokijäämallissa tapahtua joko staattisena (reunajään muodostuminen) tai dynaamisena jääkannen muodostumisena. Jotta jääkansi voisi muodostua dynaamisesti, tarvitaan jääpuomi tai reunajään muodostama sillake, josta jääkannen eteneminen ylävirtaan lähtee liikkeelle.

4.2 Reunajään muodostuminen

Jokijäämalli käyttää reunajään muodostumisen laskemiseen Matousekin (1984b) esittämää empiiristä menetelmää.

Matousekin mukaan staattisen jääkannen muodostuminen tapahtuu poikkileikkauksen osissa, joissa virtausnopeus on pienempi kuin kaavasta (36) laskettu kriittinen nopeus:

$$V_s < \frac{\phi}{1130 (-1,1 - t_w)} - \frac{V_a b}{1130} \quad (36)$$

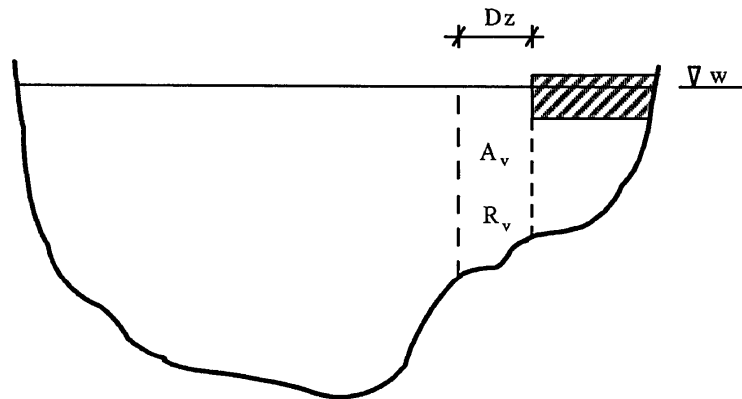
ϕ	= kokonaislämpövuoto veden ja ilman välillä
t_w	= keskimääräinen veden lämpötila
b	= kerroin (=15)
V_a	= tuulen nopeus kahden metrin korkeudella veden pinnasta

Kaavan (70) mukaan reunajään muodostuminen riippuu virtausnopeudesta, veden lämpötilasta ja tuulen nopeudesta. Empiirisen kaavansa tueksi Matousek esittää havaintoja kaavan sopivuudesta (Matousek 1984b).

Edellä esitettyssä reunajään muodostumisen kaavassa (36) virtausnopeudella on keskeinen osuus. Yksidimensioisessa virtausmallissa lasketaan kuitenkin vain poikkileikkauksen keskivirtausnopeus. Jotta reunajään muodostuminen voitaisiin määrittää yksidimensioisella virtausmallilla on nopeusjakautuma poikkileikkauksessa määritettävä käyttäen hyväksi poikkileikkauksen eri osien läpäisykykyä.

Tarkastellaan kuvan 6 mukaista tilannetta. Vertikaalissa, jonka leveys on D_z kulkee virtaama, jonka suhde kokonaisvirtaamaan on sama kuin vertikaalin läpäisykykyyn

suhde koko poikkileikkauksen läpäisykykyyn (kaava 9) (Chow 1959).



Kuva 6. Virtausnopeuden määrittäminen vertikaalissa reunajään laskemisen määrittämistä varten.

4.3 Dynaaminen jääkannen muodostuminen

Kun vedenpinnalla virtauksen mukana kulkeva jää (supposohjo, suppolautat tai lautasjää) kohtaa jo muodostuneen jääkannen reunan tai muun esteen kuten jääpuomin, se joko kerääntyy jääkannesta ylävirran suuntaan tai painuu esteen alle. Se, pysyykö esteeseen pysähtynyt jää veden pinnalla vai painuuko se pinnan alle, riippuu siitä, mikä on jääkappaleeseen vaikuttavan nosteen suhde nopeusenergiasta riippuvaan ja paineen alenemisesta johtuvaan veden alle painavaan voimaan. Mikäli noste on suurempi kuin pinnan alle painava voima, virrannut jää muodostaa uuden jääkannen, jonka paksuus on sama kuin saapuvien jäälauttojen paksuus. Jääkannen eteneminen voi tällöin olla hyvin nopeaa.

Kriittinen virtausnopeus jäälautan painumiselle veden alle voidaan määrittää tasapainotarkastelun avulla johdetusta sekä laboratoriokokeiden ja havaintojen avulla verifioidusta kaavasta (37) (Ashton 1974).

$$\frac{v_c}{\left[g t_i \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho} \right) \right]^{1/2}} = \frac{2 \left(1 - \frac{t_i}{d} \right)}{\left[5 - 3 \left(1 - \left(\frac{t_i}{d} \right)^2 \right) \right]^{1/2}} \quad (37)$$

- t_i = saapuvien jäälauttojen paksuus
- d = vesisyvyys ylävirtaan jääkannen reunasta
- v_c = virtausnopeus ylävirtaan jääkannen reunasta

Mikäli virtausnopeus on suurempi kuin kaavasta (37) saatava rajanopeus, jäälautat painuvat veden alle ja kasaantuvat lomittain muodostaen karkean ja paksun jääkannen,

jonka paksuus voidaan määrittää kaavasta (38) (Michel 1971).

$$\frac{v_c}{\sqrt{g d}} = \left(1 - \frac{h_i}{d} \right) \left[2 (1 - e_c) \left(-\frac{\rho_i}{\rho} \right) \frac{h_i}{d} \right]^{1/2} \quad (38)$$

- h_i = muodostuvan jääkannen paksuus
- e_c = jääkannen kokonaishuokoisuus = $e_p + (1 - e_p) e_s$
- e_s = virtauksen mukana saapuvien jäälauttojen huokoisuus
- e_p = jäälauttojen välinen huokoisuus muodostuneessa jääkannessa

Kuten kaavasta (38) voidaan nähdä, vaihtelee dynaamisesti muodostuneen jääkannen paksuus virtausnopeuden ja uoman syvyyden muuttuessa. Kaavasta (38) laskettu jääkannen paksuus on maksimissaan yksi kolmasosa vesisyvyydellä. Tätä jään paksuutta vastaa Frouden luku:

$$F_c = 0,158 \sqrt{1 - e_c} \quad (39)$$

Yhtälön (39) vasen puoli on Frouden luku välittömästi jääkannen reunasta ylävirtaan päin. Jos virtauksen Frouden luku on suurempi kuin yhtälöstä (39) määritetty, painuvat virran mukana saapuvat jääkappaleet jääkannen alle ja jääkannen eteneminen ylävirran suuntaan estyy. Mallissa annetaan kriittinen Frouden luku (F_c) suoraan syöttötietona. Arvojen 0,09 - 0,1 on todettu soveltuvan hyvin suomalaisille joille.

4.4 Supon kerääntyminen ja eroosio jääkannen alla

Virtauksen mukana jääkannen alle kulkeutunut suppo voi kasaantua suppopadoksi hiljaisen virtausnopeuden kohdissa. Kasaantumiseen vaikuttaa virtauksen mukana kulkevien suppokiteiden nousunopeus, joka puolestaan on riippuvainen virtausnopeudesta. Jokijäämallissa annetaan suppon kerääntymisen laskemiseksi syöttötietona kaksi kriittistä virtausnopeutta v_{s1} ja v_{s2} , joista v_{s2} on suurempi.

Jos virtausnopeus on suurempi kuin v_{s2} suppon kerääntymistä ei tapahdu lainkaan, vaan kaikki suppo kulkeutuu edelleen virtauksen mukana.

Jos virtausnopeus on pienempi kuin v_{s2} lasketaan ensin se suppon määrä, mikä poikkileikkaukseen voi kerääntyä ennen kuin pienenevän poikkileikkausalan vaikutuksesta virtausnopeus nousee arvoon v_{s1} :

4.5. Sillakkeiden synty liikkuvasta pintajäästä

Jokeen jäätymisvaiheessa muodostuvat jääsillakkeet ovat erittäin tärkeitä jääkannen muodostumisen kannalta. Muodostunut sillake toimii luonnon muodostamana jääpuomina, josta jääkannen dynaaminen muodostuminen alkaa. Jääsillakkeita voi muodostua joko reunajään muodostumisen kautta tai kun liikkuvat jäälautat pysähtyvät ja peittävät uoman pinnan. Yleensä sillakkeiden muodostuminen johtuu näiden

molempien mekanismien yhteisvaikutuksesta.

Malli laskee poikkileikkauksen kokonaisleveyden ja jään peitossa olevan leveyden (sekä paikallaan oleva jään) suhteen avulla sillakkeen muodostumisen. Sillake muodostuu, jos jään peitossa olevan leveyden suhde kokonaisleveyteen (lasketaan kaavalla 80) on suurempi kuin syöttötietona annettava kriittinen suhde.

$$\frac{B_i}{B} = \frac{[B_{bl} + B_{br} + ((C_s Q / v) / t)]}{B} \quad (40)$$

Kriittinen suhde sillakkeiden muodostumiselle on yleensä 1,25 ... 1,65.

5 Jääkannen terminen kasvu ja oheneminen

5.1 Yleistä

Käytössä on erilaisia menetelmiä Jääkannen termisen kasvun ja ohenemisen laskemiseksi. Eräät menetelmät perustuvat astepäiväarvojen käyttöön. Paremmiin eri tilanteet huomioon ottava on kuitenkin menetelmä, joka on selostettu tässä luvussa. Selostus perustuu pääasiassa JJT-mallin laskentamenetelmään (Huokuna 1990) ja Hung Tao Shenin kirjoitukseen (Shen 1986).

Jääkannen termistä kasvua ja ohenemista laskettaessa on otettava Suomen olosuhteissa huomioon seuraavat kerrokset: lumi, lumisohjo, kohva, teräsjää ja suppo. Laskennan suorittamista varten määritetään ensin lämpövuoto jään tai lumen ja ilman välillä kaavalla (81).

$$\phi = -\phi_s + \alpha \beta (T_s - T_a) \quad (41)$$

T_s on jään tai lumen pinnan lämpötila ja T_a on ilman lämpötila [°C].

α ja β ovat kertoimia, jotka jälle ovat:

$$\alpha = 154.90 + 2.88 V_a - 1.11 RH - 0.32 CC^2 \quad (42a)$$

$$\beta = 0.098 T_a + 2.47 V_a + 0.08 RH \quad (42b)$$

Lumipinalle α ja β ovat:

$$\alpha = 196.77 + 6.62 V_a - 1.172 RH - 0.28 CC^2 \quad (43a)$$

$$\beta = 0.185 T_a + 4.61 V_a + 0.11 RH \quad (43c)$$

V_a on tuulen nopeus, RH (%) on suhteellinen kosteus ja CC on pilvisuus (1-10) .

5.2 Jääkannen kasvu tai oheneminen, jos jään päällä ei ole sohjokerrosta

Jos jään päällä ei ole sohjokerrosta, voidaan jään tai lumen (jos jään päällä on lunta) pintalämpötila laskea kaavalla (44).

$$T_s = \frac{(t_i/k_i + t_s/k_s) [T_a + (\phi_s - \alpha)/\beta]}{1/\beta + t_i/k_i + t_s/k_s} \quad (44)$$

t_i = jääkannen (teräsjää ja kohva) paksuus

k_i = jääkannen lämmönjohtavuus [W/m/K]

LIITE 5

t_s	= lumikerroksen paksuus
k_s	= lumen lämmönjohtavuus [W/m/K]
ϕ_s	= auringonsäteily

Mikäli $T_s < 0$ °C ja jääkannen alla ei ole suppokerrosta, jääkannen kasvu (tai oheneminen) lasketaan seuraavasti:

$$\Delta t_i = \Delta t [- T_s / (t_s / k_s + t_i / k_i)] / (\rho_i L_i) - \Delta t (\phi_{wi} / \rho_i L_i) \quad (45)$$

Mikäli $T_s < 0$ °C ja jääkannen alla on suppokerros, jääkannen kasvu lasketaan seuraavasti:

$$\Delta t_i = \{ \Delta t [- T_s / (t_s / k_s + t_i / k_i)] / (\rho_i L_i) \} / (1 - e_f) \quad (46)$$

Vastaavasti suppokerros ohenee (terminen oheneminen):

$$\Delta t_f = [\Delta t \phi_{wi} / (\rho_i L_i)] / (1 - e_f) - \Delta t_i \quad (47)$$

kaavoissa

ρ_i	= jään tiheys
L_i	= jäänmuodostumislämpö
ϕ_{wi}	= lämpövuoto vedestä jääkanteen
e_f	= suppon huokoisuus

Mikäli $T_s > 0$ °C, jääkannen oheneminen lasketaan seuraavasti:

Ilman suppokerrosta ja lumikerrosta:

$$\Delta t_i = - \Delta t [- \phi_s + \alpha + \beta (- T_a)] (\rho_i L_i) - \Delta t (\phi_{wi} / \rho_i L_i) \quad (48)$$

Ilman suppokerrosta, kun jääkannen päällä on lunta:

$$\Delta t_i = - \Delta t [\phi_{wi} / (\rho_i L_i)] \quad (49)$$

Lumikerros ohenee vastaavasti:

$$\Delta t_s = - \Delta t [- \phi_s + \alpha + \beta (- T_a)] (\rho_i L_i) (1 - e_s) \quad (50)$$

Ilman lumikerrosta, kun jääkannen alla on suppoa:

$$\Delta t_i = - \Delta t [- \phi_s + \alpha + \beta (- T_a)] (\rho_i L_i) \quad (51)$$

LIITE 5

Mikäli $T_s > 0$ °C ja jääkannen päällä on lunta ja jääkannen alla suppoa, lasketaan lumikerroksen oheneminen kaavalla (50) ja suppokerroksen oheneminen (terminen) kaavalla (52)

$$\Delta t_i = - \Delta t [\phi_{wi} / (\rho_i L_i)] / (1 - e_f) \quad (52)$$

5.3 Jääkannen kasvu tai oheneminen, jos jään päällä on sohjokerros

Lumisohjoa muodostuu jään päälle jos lumen ja jään paino on suurempi kuin jääkannen aiheuttama noste. Uuden sohjokerroksen paksuus määritetään kaavalla (53).

$$t_{sw} = (\rho_s t_s - 0.08 t_i - 0.015 t_{sw}) / (0.09 + \rho_s) \quad (53)$$

kaavassa

$$\begin{aligned} \rho_s &= \text{lumen tiheys} \\ t_{sw} &= \text{sohjokerroksen paksuus} \end{aligned}$$

Lumen pintalämpötila (mikäli $t_{sw} < t_s$) on:

$$T_s = [\phi_s - \alpha + \beta T_a] [\beta + (k_s / t_s)] \quad (54)$$

Jos $T_s < 0$ °C, muodostuvan kohvajään paksuus lasketaan:

$$\Delta t_{si} = \Delta t [-T_s / (t_s / k_s)] / (\rho_i L_i \rho_s S) \quad (55)$$

Mikäli $T_s > 0$ °C, lumikerroksen sulaminen lasketaan kaavalla (50). Jos jääkannen alla ei ole suppoa lasketaan jääkannen oheneminen kaavalla (51). Jos jääkannen alla on suppokerros, sen oheneminen lasketaan kaavalla (52).

5.4 Liikkuvan pintajään määrän kasvu jäälauttojen termisen kasvun avulla

Liikkuvan pintajään määrä kasvaa myös jäälauttojen termisen kasvun avulla, joka lasketaan seuraavasti:

Ensin määritetään virtaavan pintajään määrä:

LIITE 5

$$Q_{ice} = C_s Q \quad (56)$$

$$\begin{aligned} Q_{ice} &= \text{virtauksen mukana kulkevan pintajään määrä} \\ C_s &= \text{liikkuvan pintajään konsentraatio} \\ Q &= \text{virtaama m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Liikkuvan pintajään määrän kasvun laskennassa käytettävä paksuus t_{csi} lasketaan:

$$t_{csi} = \frac{Q_{ice}/v}{B_{csi}} \quad (58)$$

missä

$$\begin{aligned} v &= \text{virtausnopeus} \\ B_{csi} &= \text{leveys, jonka liikkuva pintajää peittää poikkileikkauksessa} \end{aligned}$$

B_{csi} :n arvoksi asetetaan ensin poikkileikkauksen kiinteästä jääkannesta vapaan alueen leveys (= poikkileikkauksen leveys vähennettynä reunajään kokonaisleveydellä). Mikäli kaavasta laskettu liikkuvan pintajään paksuus on pienempi kuin annettu kriittinen arvo (laskelmissa käytetty 1 cm) asetetaan paksuudeksi kriittinen arvo ja leveys lasketaan kaavasta:

$$B_{csi} = \frac{Q_{ice}/v}{t_{csi}} \quad (58)$$

Liikkuvan pintajään kasvu lasketaan seuraavasti (kuten kaava 45, mutta lämpövuoto vedestä liikkuvaan pintajähän jätetty huomiotta):

$$\Delta t_{csi} = \Delta t \left[- T_s / \left(t_{csi} / k_i \right) \right] / \left(\rho_i L_i \right) \quad (59)$$

missä T_s määritetään kuten kaavassa 44:

$$T_s = \frac{\left(t_{csi} / k_i \right) \left[T_a + \left(\phi_s - \alpha \right) / \beta \right]}{1 / \beta + t_i / k_i} \quad (60)$$

Termisesti muodostuneen liikkuvan pintajään määrän lisäys poikkileikkauksessa lasketaan tämän jälkeen:

$$\Delta C_s = \frac{\left(\Delta t_{csi} B_{csi} v \right)}{Q} \quad (61)$$

Liikkuvan pintajään termisellä kasvulla on merkitystä, kun yhtenäiset avonaiset alueet ovat pitkiä.

KIRJALLISUUSLUETTELO:

- Ashton,G.D., 1986. River and lake ice engineering. WaterResources,Colorado.
- Ashton,G.D.,1982. Theory of thermal control and prevention of ice in rivers and Lakes. Advances in Hydrosience. Vol 13, ss. 131-185.
- Ashton, G.D., 1974. Froude criterion for ice-block stability. Journal of Claciology, Vol. 13, No. 68, ss. 307-313.
- Billfalk, L., 1982. Ice cover formation and break-up of solid ice covers on rivers. Royal Institute of Technology, Hydraulics Laboratory, Stockholm. 138 s.
- Chow, V.T., 1959. Open channel hydraulics. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Fread, D.L.,1985. Channel routing. Anderson M.G. and Burt, TD.(ed.) Hydrological Forecasting. John Wiley and Sons Ltd.,London, ss. 437-503.
- Huokuna, M. 1988a A numerical model for ice cover formation in rivers. Nordic expert meeting on River Ice. NHP Report nro 21, ss. 147 - 164.
- Huokuna,M.1988b. The Finnish River Ice Research Project Proceedings of the 5 the Workshop on Hydraulics of River Ice / Ice Jams. Winnipeg. Manitoba ss 15 - 42.
- Maunula, M.1986. Interactive effects of river ice conditions, Hydro Electric Power Plants and Multipurpose Watercourse Operation. Nordic Hydrological Conference 1986. Preprints of Papers Vol. 1, ss. 1 - 10.
- Maunula, M., Huokuna, M., 1988a Numerical simulation of ice cover formation in rivers - Finnish River Ice Project. Proceedings of the Northern Reserach Basins Symposium, Ilulissat,Greenland 1988. ss. 253 - 268.
- MaunulaM. ja Huokuna,M. 1988b. The Finnish River Ice Project - Up to date review. Nordiskt hydrologisk konferens, Rovaniemi 1-3 augusti 1988. NHP-rapport nr. 22, Del 1, ss. 271 - 280.
- Matousek, V., 1984a. Numerical modeling of temperature changes in rivers. Physical Effects of Reservoirs on its Environment. Czechoslovak National Committee for Hydrology, Report 5, ss. 59 - 83.
- Matousek,V.,1984b. Regularity of the freezing up of the water surfaceand heat exchange between waterbody and water surface. IAHR Symposium on Ice, 1984 Harnburg. Proceedings Vol. 1, ss. 187 - 200.

LIITE 5

- Matousek, V., 1984c. Types of ice run and conditions for their formation. IAHR Symposium on Ice, 1984 Harnburg. Proceedings Vol. 1, ss. 315 - 327.
- Michel, B., 1971. Winter regime of rivers and lakes. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, NH. 139 s.
- Nezhikhovskiy, R. A., 1964. Coefficients of roughness of bottom surface of slush ice cover. Soviet Hydrology: Selected Papers, No. 2, 1964, ss. 127-150.
- Shen, H. T., Yapa, P.D., 1984. Computer Simulation of Ice Cover Formation in the Upper St. Lawrence River Workshop on Hydraulics of River Ice, Fredericton, N.B., June 1984, ss. 227-246.
- Shen, H. T., 1985. Hydraulics of river ice. Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University 80 s.
- Shen, H. T., Lal W.A.M. 1986 Growth and decay of river ice covers. Proceedings, Cold Regions Hydrology Symposium, AWRA, Fairbanks ss. 583 - 592.