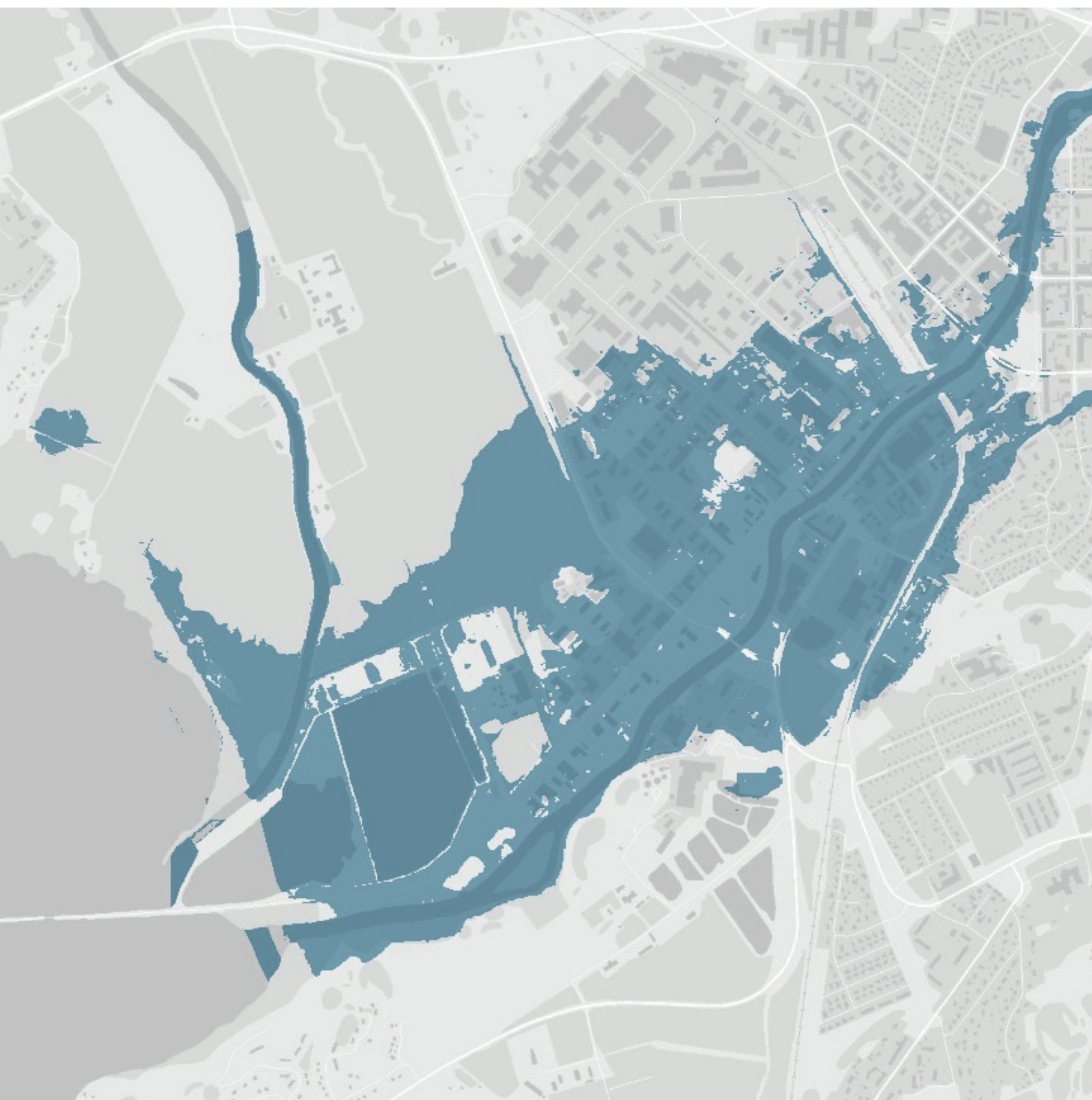




Salon keskusta-alueen tulvasuojelu

Tulvasuojelutoimenpiteiden mitoitus ja arviointi

JUSSI NELIMARKKA | LAURI AHOPELTO (TOIM.)



Salon keskusta-alueen tulvasuojelu

Tulvasuojelutoimenpiteiden mitoitus ja arviointi

JUSSI NELIMARKKA
LAURI AHOPELTO (TOIM.)

RAPORTTEJA 102 | 2013
SALON KESKUSTA-ALUEEN TULVASUOJELU
TULVASUOJELUTOIMENPITEIDEN MITOITUS JA ARVIOINTI
Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Taitto: Lauri Ahopelto ja Päivi Lehtinen

Kansikuva: Mallinnettu jääpatotulvavaara-alue kerran 50. vuodessa tapahtuvan virtaaman kanssa
(pohjakartta: Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/12, tulvavaara-alue: SYKE, ELY-keskukset)

Kartat: 49/MML/12 Maanmittauslaitos

ISBN 978-952-257-885-3 (PDF)

ISSN 2242-2846

ISSN 2242-2854 (verkkójulkaisu)

URN:ISBN:978-952-257-885-3

www.ely-keskus.fi/julkaisut | www.doria.fi/ely-keskus

Sisältö

Johdanto	2
Työn tausta	2
Työn tavoitteet	2
Tulvat ja tulvariskien hallinta	3
Tulvatyypit	3
Jääpatotulvat ja hydepatotulvat	3
Jääpatojen torjunta	4
Salon keskusta-alueen tulvariskien hallinta	6
Uskelanjoen vesistö	6
Hydrologia	7
Uskelanjoen kosket	8
Tulvariskien hallinnan nykytila Salossa	9
Kevättulva 2011	9
Kevättulvan 2011 mallinnus	12
Mitoitustulva	15
Ehdotetut ratkaisut tulvavahinkojen pienentämiseksi	16
Nykytilan jatkuminen	16
Jäidenpidätysrakennelmat	20
Pengerrys	24
Uoman ruoppaus	25
Jäänpidätysrakennelmat + ruoppaus	27
Jäänpidätysrakennelmat + pengerrys	29
Toimenpiteiden kustannus-hyötyanalyysi	31
Johtopäätökset	33
Lähdeluettelo	34
KUVAILULEHTI	36
PRESENTATIONSBLAD	37
DOCUMENTATION PAGE	38

Johdanto

Työn tausta

Tulvat ovat yksi yleisimmistä luonnonkatastrofeista niin maailmassa kuin Euroopassa. Vuosien 1998-2002 aikana Euroopassa tapahtui yli 100 suurtulvaa ja niiden taloudelliset menetykset nousivat yli 25 miljardiin euroon (Wehrli & Jol 2010). Tulviminen on luontainen ilmiö, joka johtuu alueen sää- ja vesistöolosuhteista. Tulva-alueen laajuus ja tulvan vaikutukset riippuvat maaston muodoista, vuotuisesta sää- ja vesitilanteesta sekä alueen maankäytöstä. Tulvan muodostumiseen vaikuttaa lisäksi itse jokivesistö siihen tehtyine teknisine ratkaisuineen (Timonen et al. 2003).

Suomessa keskimäärin kerran 250 vuodessa toistuva tulva aiheuttaisi noin 550 miljoonan euron vahingot, joista puolet kohdistuisi rakennuksille aiheutuvista vahingoista ja muu osuus teollisuudelle sekä maa- ja metsätaloudelle aiheutuvista vahingoista (Ollila et al. 2000). Tulvien aiheuttamia haitallisia vaikutuksia voidaan ihmistoiminnalla pyrkiä vähentämään, muttei täysin estää, eikä se olisi taloudellisessa mielessä edes kannattavaa. Tulvavahinkoja voidaan pienentää erilaisin tulvariskien hallinnan toimenpitein. (Merz et al. 2010).

Kiinnostus tulvariskien hallintaan ja tulvien haitallisten vaikutusten pienentämiseen on lisääntynyt Suomessa viime vuosina. EU:ssa vuonna 2007 säädetty tulvadirektiivi (2007/60/EC) ja sen siivittämänä Suomessa laadittu laki (620/2010) ja asetus (659/2010) tulvariskien hallinnasta vuonna 2010 pyrkivät ohjaamaan kehitystä tulvien hallinnasta ja niiltä suojautumisesta kohti tulvariskien hallintaa, sekä vähentämään ja hallitsemaan tulvista ihmisen terveydelle, ympäristölle, infrastruktuurille ja omaisuudelle aiheutuvia riskejä.

Lumensulamis- ja jääpatotulvia esiintyy vuosittain huhti-kesäkuussa kaikkialla maassamme. Varsinkin viime talvet vuosina 2010, 2011, 2012 ja 2013 olivat erittäin runsaslumisista ja aiheuttivat tulvimista myös Salon kaupungin läpi virtaavassa Uskelanjoessa. Salon kaupungin ja Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskuksen (VARELY) yhteistyönä käynnistettiin keväällä 2011 hanke, jonka tarkoituksena oli arvioida ja kehittää Uskelanjoen tulvasuojelua varsinkin jääpatotilanteissa. Tämä julkaisu perustuu Jussi Nelimarkan vuonna 2011-2012 diplomityötä varten tehtyyn tutkimukseen.

Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on löytää Uskelanjoen alaosan tulvimisen ehkäisyyn kustannustehokas ratkaisu. Työssä tarkastellaan erityisesti jääpatojen muodostumista ja niistä johtuvaa vedenkorkeuden nousua Salon keskusta-alueelle ja Meriniityn teollisuusalueelle, sillä niistä aiheutuu suurin tulvavaara ja -riski alueella. Tarkasteluilla toimenpiteillä on katsottu olevan myös tulvavedenkorkeutta alentava vaikutus avovesitulvatilanteissa. Työssä selvitetään paikallisesti mahdollisten tulvasuojelutoimenpiteiden hyödyt ja haitat käyttäen yksidimensionaalista HEC-RAS mallinnusta. Tulvasuojeluvaihtoehtojen hyödyt ja haitat arvioidaan käyttäen kustannus-hyötyanalyysiä. Työssä tuotetaan käytettävissä olevien tulvavaarakarttojen pohjalta ja tarpeellisten lisäselvityksin tulvavahinkoarviot ja tarkastellaan vaihtoehtoisia keinoja Salon tulvariskien vähentämiseksi erilaisissa tulvatilanteissa ja erityisesti jääpatotilanteissa. Suunnitelman tarkoitus on tarkastella ennen kaikkea teknisestä näkökulmasta keinoja keskustan tulvavahinkojen vähentämiseksi ja tarkastella niiden hyötyjä. Työn tavoitteena on luoda suositukset Salon tulvariskien hallinnan jatkotoimenpiteiksi.

Tulvat ja tulvariskien hallinta

Tulvatyytit

Tulvalla tarkoitetaan vedenpinnan tilapäistä nousua maa-alueille, joille se ei yleensä nouse. Tulvat voidaan jakaa vesistötulviin, merivesitulviin sekä rankkasateista johtuviin hulevesitulviin. Vesistötulvalla tarkoitetaan vesistöissä tapahtuvaa poikkeuksellista vedenpinnan nousua, joka johtuu pitkään kestäneistä sateista tai lumen sulamisesta. Vesistötulvia ovat myös jää- sekä hyhydepadoista aiheutuvat tulvat, joita käsitellään seuraavassa luvussa tarkemmin. Lisäksi omaksi ryhmäkseen voidaan nostaa suurten järvien tulviminen, joka on seurausta useista peräkkäisistä runsassateisista vuosista. Merivesitulvilla tarkoitetaan poikkeuksellista merenpinnan nousua, joka Suomen oloissa johtuu myrskytuulesta, ilmanpaineen vaihtelusta tai virtauksesta Tanskan salmissa. Rankkasadetulvalla tarkoitetaan tulvaa, joka aiheutuu poikkeuksellisen rankan sateen aiheuttamista tulvista rakennetuilla alueilla. Rankkasadetulvista käytetään myös nimitystä hulevesitulva. Hulevesitulvat ovat nopeasti alkavia, lyhytkestoisia ja melko paikallisia keskittyen alueille, joilla on vain vähän vettä läpäisevää pintaa. Eri tulvatyytit voivat myös esiintyä yhdessä, jolloin niiden yhteisvaikutukset voivat olla suuremmat. (Estrela et al. 2001; Beltaos 2008; Kaatra et al. 2009).

Jääpatotulvat ja hyhydepatoitotulvat

Jääpatoja muodostuu virtaaviin vesiin jäiden sulamisen ja jäätyamisen yhteydessä. Lämpimien ja kylmien jaksojen välillä irtonaiset jäälautat muodostavat jokeen veden virtausta estävän muodostelman ja nostavat vedenkorkeutta padon yläpuolella. Suomessa jääpatoja syntyy yleensä keväisin, jolloin lämpenevä sää kasvattaa virtausta joissa samalla sulattaen jääkantta ja mahdollistaen jääkannen liikkeellelähdon. Jääpatoja voi muodostua myös leutojen talvipäivien aikana keskellä talvea. Monesti alueilla, joilla esiintyy jääpatotulvia, vedenkorkeuden nousu tulvakorkeuksiin on todennäköisempää jääpato- kuin avovesitulvatilanteessa (Beltaos 2008; Kaatra et al. 2009).

Jääpeitteen hajoaminen tapahtuu ilman lämpötilan noustessa ja virtaaman kasvaessa, jolloin jäälautat irtoavat toisistaan ja ne kulkevat virran mukana lähellä vedenpintaa. Jääpato muodostuu jokeen, kun jäälautat eivät enää pääse vapaasti kulkemaan virran mukana, jolloin ne alkavat kasaantua jokeen riippuen virtauksesta, joen poikkileikkauksesta sekä jään vahvuudesta. Luonnonjokien virtausolosuhteet ovat hyvin harvoin tasaiset, jolloin luonnollisesti syntyvien jääpatojen muodostumisen mallintaminen on hyvin vaikeaa ja siinä on aina epävarmuutta (Zufelt 2005). Voidaan kuitenkin sanoa, että luonnossa esiintyy ainakin kolmella eri tavalla muodostuvia jääpatoja: Pintapadot (surface jams), jotka muodostuvat veden virran tuomista jäälautoista, paksummat jääpadot, jotka muodostuvat jäälautojen kasaantumisesta (thickened jams) ja hyhydepadot (grounding), joita muodostuu uoman pohjaan hyvin turbulenttisissa virtauksissa. (Beltaos 1995).

Pintapato muodostuu, kun veden virtauksen mukana kulkevat jäälautat kasaantuvat yhteen. Jäälautojen patoutuessa ylävirtaan kasvavat padon ulkoiset voimat, jotka muodostuvat veden virtausvastuksesta sekä painovoimakomponentista. Jäälautojen väliset voimat kasvavat yhä padon kasvaessa ylävirtaan, mutta ovat samalla rajoitetut joenpenkasta aiheutuville leikkausvoimille. Jos padossa olevien jäälautojen sisäiset voimat kasvavat liian suureksi pato purkautuu tai se etsii itselleen uuden muodon. Pintapatoja voi muodostua jäänlähde- sekä jään muodostumisvaiheessa. (Beltaos 1995).

Pintapadon muodostumisen seurauksena on mahdollista, että virran mukana ylävirrasta tulevat jäälautat sukeltavat olemassa olevan jääpeitteen alle. Jäälautojen noste kiinnittää jäälautan olemassa olevan jääkerroksen alle ja näin syntyy paksumpi jääpato. Tätä tapahtuu niin kauan, että veden virtausnopeus jääpadon

alla nousee niin suureksi, että se pystyy kuljettamaan pinnanalaisia jäälauttoja jälleen eteenpäin. Jään sukeluttamista olemassa olevan jääkerroksen alle tapahtuu enemmän isoissa ja leveissä joissa kuin pienissä joissa. On myös mahdollista, että joen kohdissa, joissa virtausnopeus on pientä, jäälautat kiinnittyvät olemassa olevaan jääkanteen niin hyvin ettei myöhempi virtauksen kasvu enää pysty irrottamaan niitä toisistaan. Näin jokeen voi muodostua hyvinkin paksu jääkansi. Jääpeitteen paksuuden kasvu tyrehtyy pikkuhiljaa kun virtausnopeus kasvaa joen poikkipinnan pienentyessä ja se pystyy kuljettamaan uudet jäälautat kauemmaksi alavirtaan. (Beltaos 1995).

Hyydepadot muodostuvat hyvin turbulentsissa virtauksissa, joissa alijäähtynyt vesi sekoittuu joen pohjaan ja muodostaa siihen jääkerroksen, joka kasvaessaan alkaa padota joen virtaamaa (Tani et al. 2006). Joen virtauksen mukana saapuvat jääkiteet kasvattavat muodostelmaa entisestään. Luonnossa hyydepadot muodostuvat yleensä kivien ympärille, koska ne antavat hyvän pinnan jäänmuodostumiseen sekä aiheuttavat turbulenssia ympäröivässä virtauksessa. Hyyde irttaa kivistä kun veden lämpötila nousee ja jääkiteet menettävät otteen kiven pinnasta. Nopeasti lämpenevä sää voi aiheuttaa suurien hyydemuodostelmien irtoamisen, ja näin muodostaa lisää kelluvaa jäätä joen pinnalle. (Beltaos 1995).

Jääpatojen torjunta

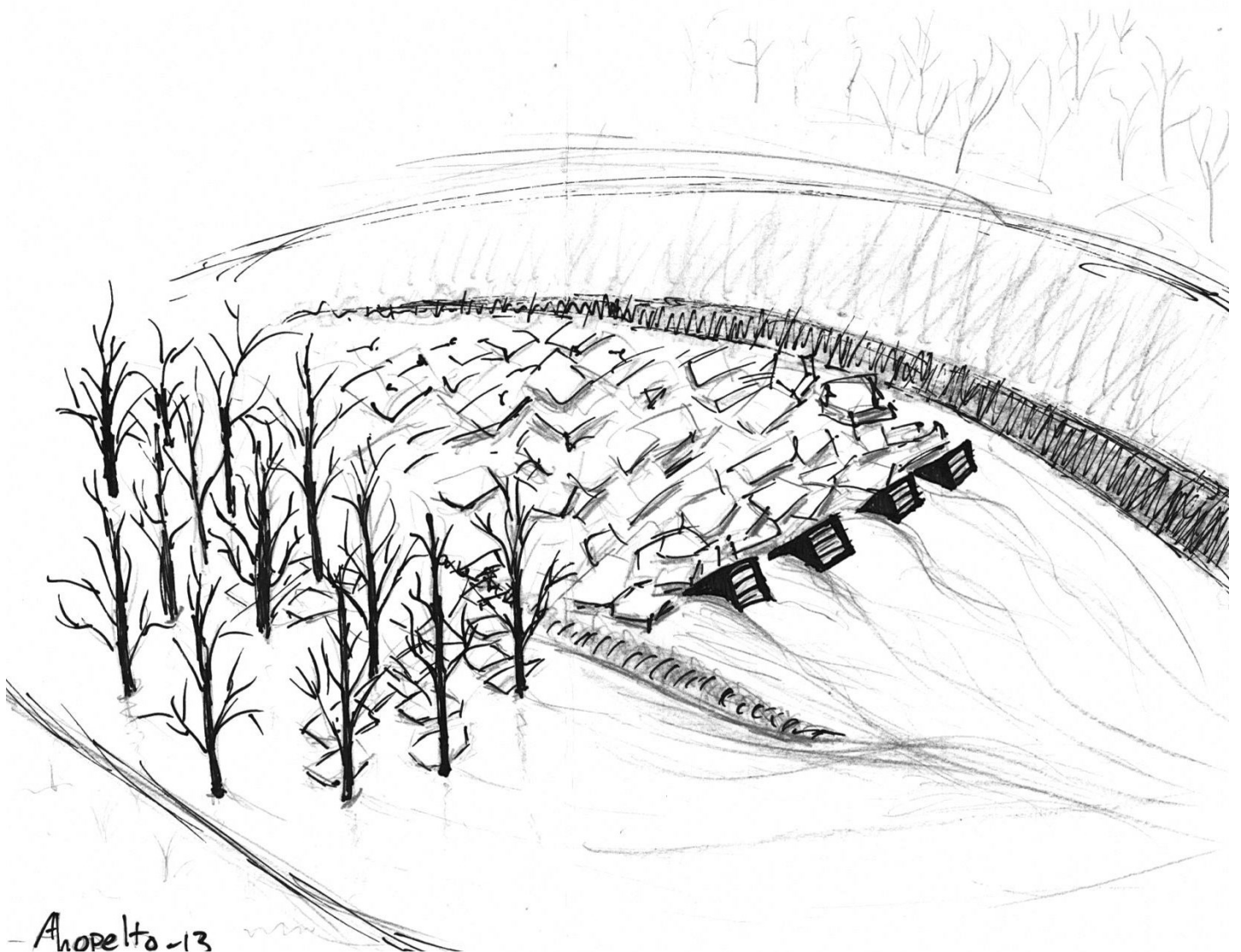
Jääpatojen aiheuttamia haitallisia vaikutuksia pystytään estämään rakenteellisilla menetelmillä varsinkin yksittäisissä tai pienissä kohteissa (Lonka & Nikula 2008). Säännöstellyssä vesistöissä jääpatojen muodostumista voidaan kontrolloida jokien juoksutuksilla (Koskinen 2006). Säännöstelemättömissä vesistöissä, joissa jokien virtaamaan ei voida vaikuttaa, voidaan turvautua rakenteellisiin jäidenpidätysrakennelmiin (ICS, ice control structure). Jäidenpidätysrakennelmia on tehty varsinkin Yhdysvalloissa, joissa monissa tehdyissä projekteissa ne ovat osoittautuneet toimiviksi, helpoiksi rakentaa ja ne ovat alentaneet tulvavedenkorkeuksia halutuilla joen osuuksilla (Lever & Gooch 2007; Tuthill & Lever 2006). Rakennelmien tavoitteena on pidättää jäälauttoja alueilla, joilla vedenkorkeuden nousu ei ole niin haitallista, jolloin rakennelmien alapuolisilla alueilla ei jäälautoista ole enää haittaa. Rakennelman tehoa voidaan parantaa rakentamalla se niin, että tulvavesi voi ohjautua rakennelman sivuilta tulvatasanteille, jotka toimivat samalla jäälautojen varastoalueena.

Kuvassa 1 on esitetty piirros neljästä betonisesta jäidenpidätysrakennelmästä. Jäälautojen muodostama jääpato kiinnittyy betoniin, ja kuvan 1 vasemmassa laidassa oleva tulvatasanne mahdollistaa tulvaveden virtauksen hallitusti rakennelman ohi kuitenkin alueella kasvavien puiden kuitenkin pidättäessä jäälauttoja alueella. Joen leveys rakennelman kohdalla on noin 30 m. Rakennelma on tehty neljästä betonipilarista, joiden kunkin paino on 38 tonnia, leveys 1,4 m ja niiden välinen etäisyys toisistaan 4,3 m. Rakennelman hinta oli vuoden 1994 hintatasossa 3600\$/m joen leveydeltä. Rakennelman rakentamisvaiheessa ei alueella huomattu haitallisia ympäristövaikutuksia. (Lever & Gooch 2007).

Toisessa vastaavanlaisessa toteutuneessa projektissa jäidenpidätysrakennelma rakennettiin yhdeksästä sylinterimäisestä paalusta, joiden halkaisija on 1,5 m ja paalujen väli toisistaan 3,6 m. Rakennelman mitoituksessa on otettu esimerkkiä muista Yhdysvalloissa tehdyistä jäidenpidätysrakennelmista, sekä pyritty kustannustehokkaaseen mitoitukseen. Jokeen rakennettiin betoninen suojavalli eroosion vähentämiseksi, jota tapahtuu kun tulvavesi virtaa tulvatasanteelle ja sieltä takaisin jokeen. (Tuthill A. & Lever J. 2006).

Penkereitä on käytetty yleisesti tulvasuojelussa vedenkorkeuden nousua vastaan. Penkereen myötä veden luontainen virtaaminen tulva-alueille, estyy ja veden täytyy virrata pengerrytyssä uomassa sen loppuun asti. Rakentamalla penkereet aivan joen viereen ehkäistään jäälautojen luontaista poistumista, kun ne eivät enää pääse nousemaan tulvatasanteille ja näin korkeat rantapenkereet kasvattavat jääpatoja entisestään. Jäiden lähdön aikana jääpadot usein muodostuvat tiettyihin kohtiin jokea sen geometrian ja virtausominaisuuksien johdosta. Herkkiä muodostumiskohtia jääpadoille ovat erityisesti joen kapeat kohdat, jossa jäälautat pakkaantuvat toisiinsa joen poikkileikkauksen pienentyessä. Jääpatoja muodostuu myös siltojen kohdilla, missä joen poikkileikkaus pienenee siltojen tukirakenteiden ollessa virtausesteenä.

Kuva 1. Konseptipiirros neljästä betonisesta jäidenpidätysrakennelmasta. Vasemmalla tulvatasanne josta tulvavesi pääsee virtaamaan puiden pidättäessä jäitä. Kuva: Lauri Ahopelto



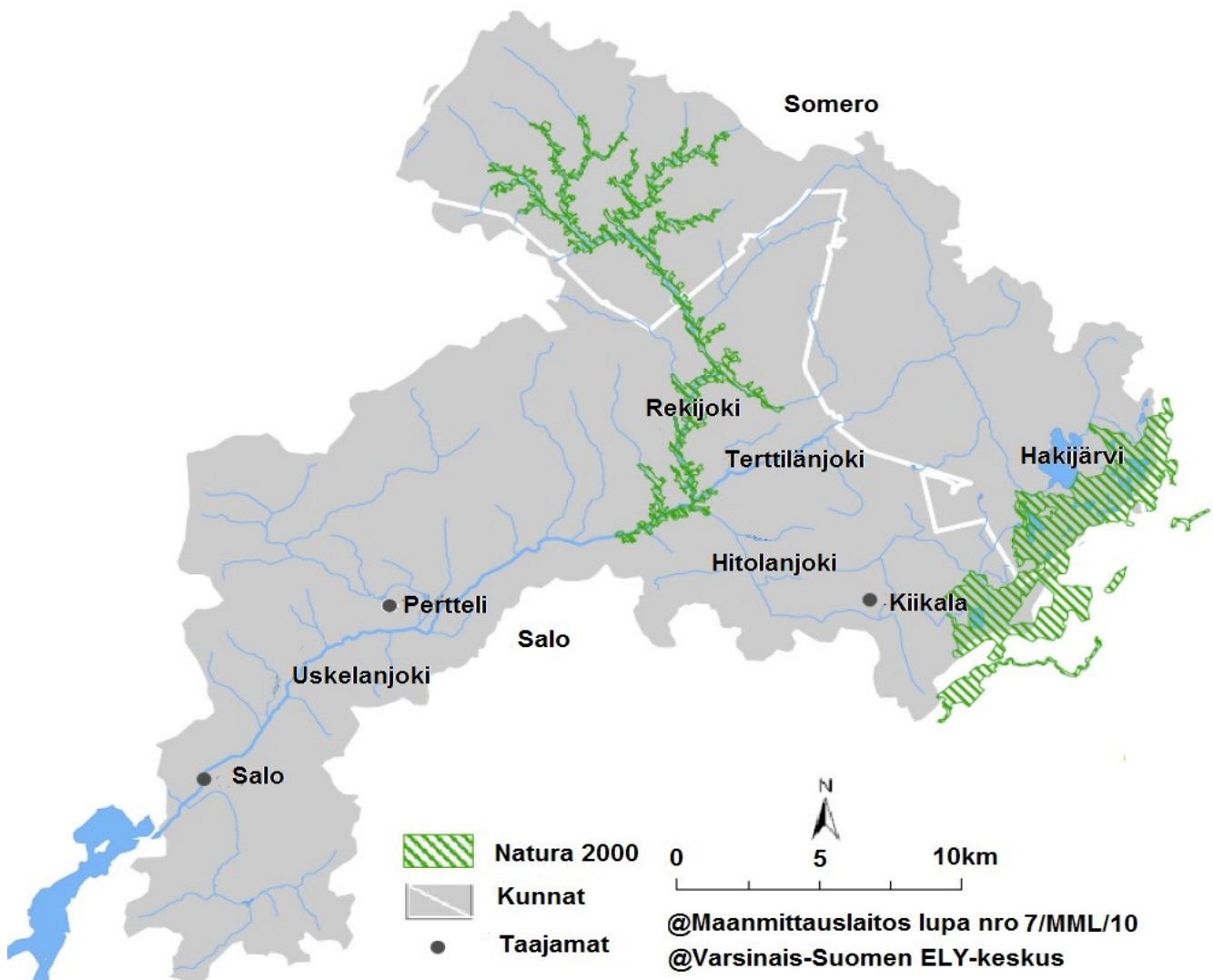
- Ahopelto -13

Salon keskusta-alueen tulvariskien hallinta

Uskelanjoen vesistö

Uskelanjoen vesistö sijaitsee Varsinais-Suomessa Salon ja Someron kaupunkien alueella ja sen valuma-alue on esitetty kuvassa 2. Uskelanjoki virtaa Salon kaupungin halki rakennetussa uomassa (kuva 3), josta se laskee mereen Halikonlahdelle. Uskelanjoen vesistöalueen pinta-ala on 566 km², josta järvien osuus on vain 0,6 % eli noin 3,4 km². Vesistöalue on siis hyvin vähäjärvinen ja järvet keskittyvät alueen itäosaan. Uskelanjoki saa alkunsa siihen laskevista Rekijosta, Terttilänjoesta ja Hitolanjoesta. Uskelanjoen vesistöalueella ei ole säännösteltäviä järviä, eikä jokiuomassa ole säännöstelyrakenteita.

Kuva 2. Uskelanjoen vesistöalue, kunnat, merkittävimmät taajamat ja vesistöä



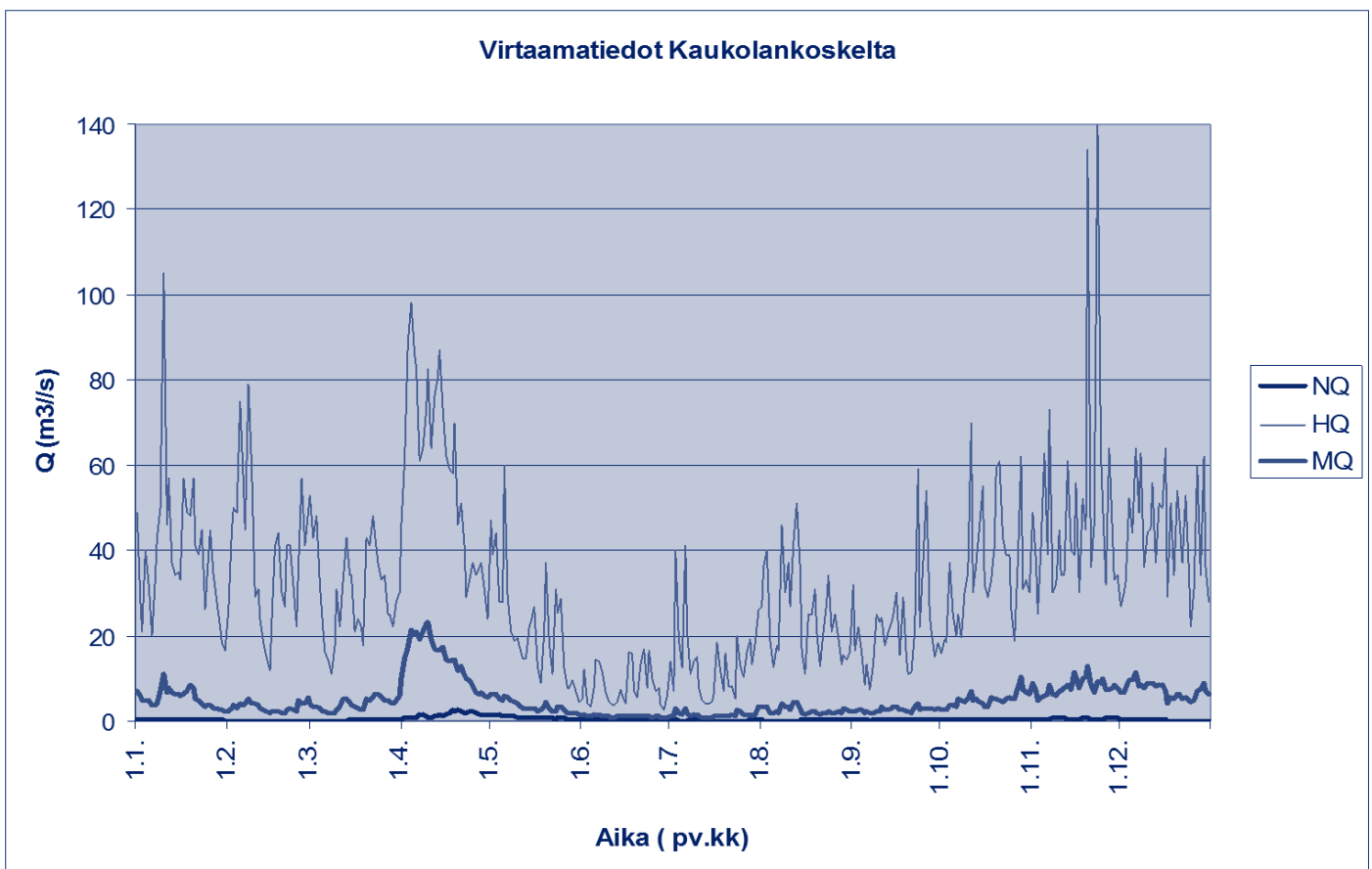
Kuva 3. Uskelanjoki virtaa kaupungin läpi rakennetussa uomassa. Joki on osa Salon kaupunkimaisemaa. Kuva: Jussi Nelimarkka



Hydrologia

VARELY mittaa Uskelanjoen virtaamia Kaukolankoskessa sijaitsevalla havaintoasemalla. Päivittäiset virtaamatiedot vuosilta 1970-2011 on esitetty kuvassa 4. Alueen sadantamääriä on seurattu Kaukolankosken havaintoasemalla vuosina 1969–1981 ja tämän jälkeen havaintoja on tehty läheisellä Kiskonjoen-Perniönjoen vesistöalueella. Arvot eivät poikkea juurikaan toisistaan vesistöalueiden läheisyyden takia. Vuotuinen sadantasuma alueella on ollut keskimäärin 621 mm ja vaihdellut 455-755 mm:n välillä. Lumen vesiarvoja Uskelanjoen vesistöalueella on mitattu vuosina 1970–1980. Lumen vesiarvomaksimien keskiarvo oli 89mm ja vaihteluväli 16–178 mm. Joen keskivirtaama (MQ) on havaintojen mukaan $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$, alivirtaama (NQ) $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ja ylivirtaama (HQ) $140 \text{ m}^3/\text{s}$.

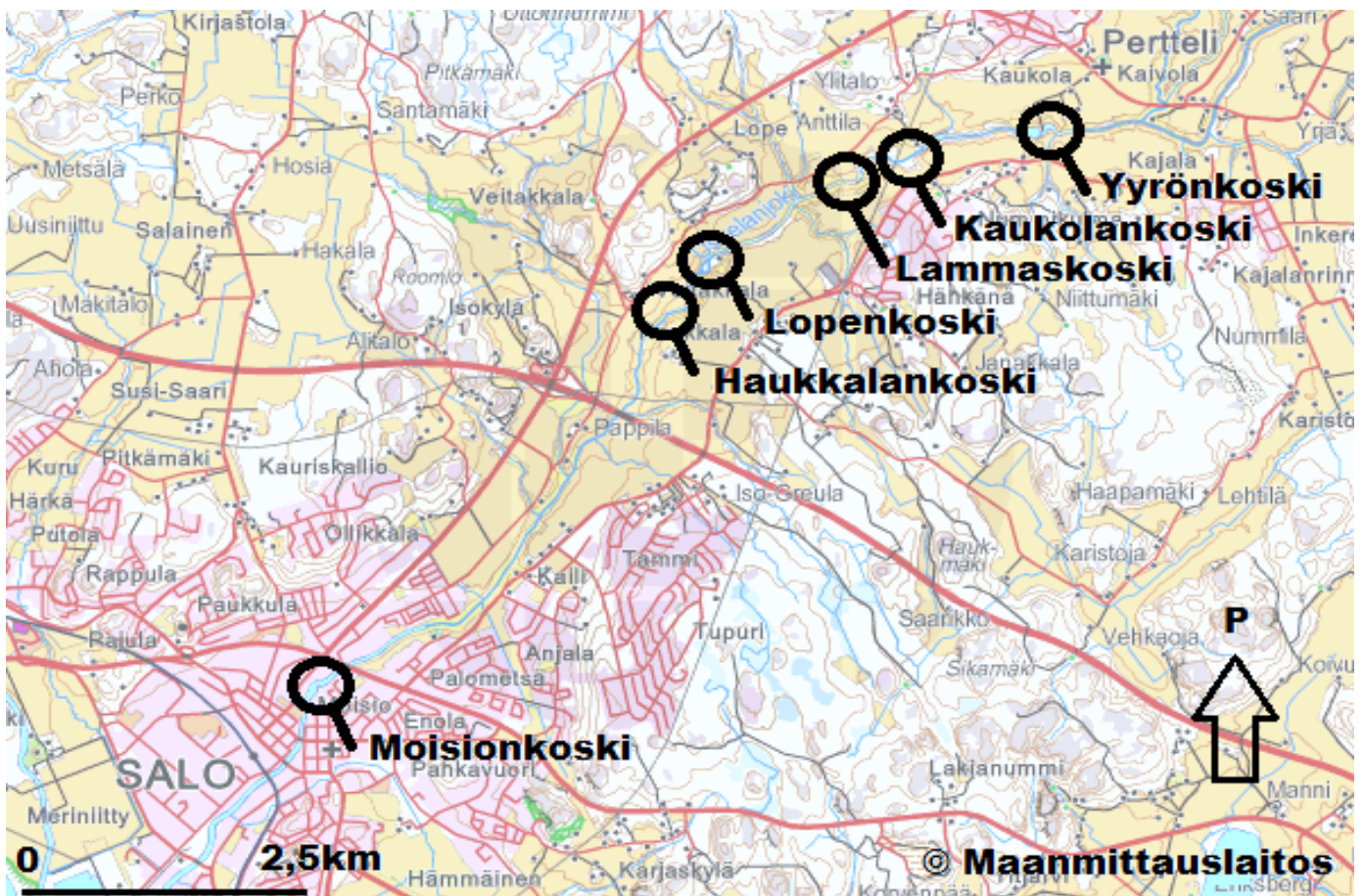
Kuva 4. Uskelanjoen virtaamatietoja kerättyinä Kaukolankosken mittausasemalta. Kuvassa on esitettyinä vuosien 1970-2010 päivittäinen keskivirtaama (MQ), alivirtaama (NQ) ja ylivirtaama (HQ). (Hertta 2012)



Uskelanjoen kosket

Kuvassa 5 on esitetty kuusi Uskelanjoen koskea. Kaukolankoski toimii Uskelanjoen virtahavaintopaikkana. Koski on kivinen ja putouskorkeutta on joitakin metrejä 500 metrin matkalla. Kaukolankosken alapuolella on noin 100 metriä pitkä välisuvanto, jonka jälkeen alkaa Lammaskoski. Lammaskoski on kivinen ja kalliainen koski, jossa putouskorkeutta on noin 1,5 m noin 100 metrin matkalla. Pienillä virtaamilla suurin osa kivikoista jää kuiville kun virtaus keskittyy hyvin kapealle uoman osalle kosken itäreunaan. Lopenkoski sijaitsee noin 1,5 km Lammaskosken alapuolella. Lopenkoski on yhteensä noin 400 metriä pitkä ja se muodostuu muutamista lyhyehköistä sahimaisista koskista ja niiden välisistä suvannoista. Koskessa olevien kivikoiden päälle on kertynyt runsaasti hienoa ainesta ja niistä on muodostunut saarekkeita. Haukkalankoski sijaitsee noin 500 metriä Lopenkosken alapuolella. Koski on tyypiltään sahimainen ja sen pituus on kaikkiaan 100 metriä. Haukkalankoskesta noin 800 metriä alavirtaan on jokeen muodostunut muutamia saveja, joissa virtaus on pienempää kuin koskissa. Moisionkoski on Uskelanjoen alin koski ja se sijaitsee aivan Salon kaupungin keskustan tuntumassa. Koskessa on jonkin verran kivikoita, se on loiva, sahimainen ja sen pituus on noin 200 metriä. Kosken alaosassa kävelyriippusillasta alavirtaan on omaan muodostunut saareke, joka jakaa vedet kahteen haaraan. Näistä toinen haara on kuivana pienillä virtaamilla.

Kuva 5. Koskien sijainti Uskelanjoessa.



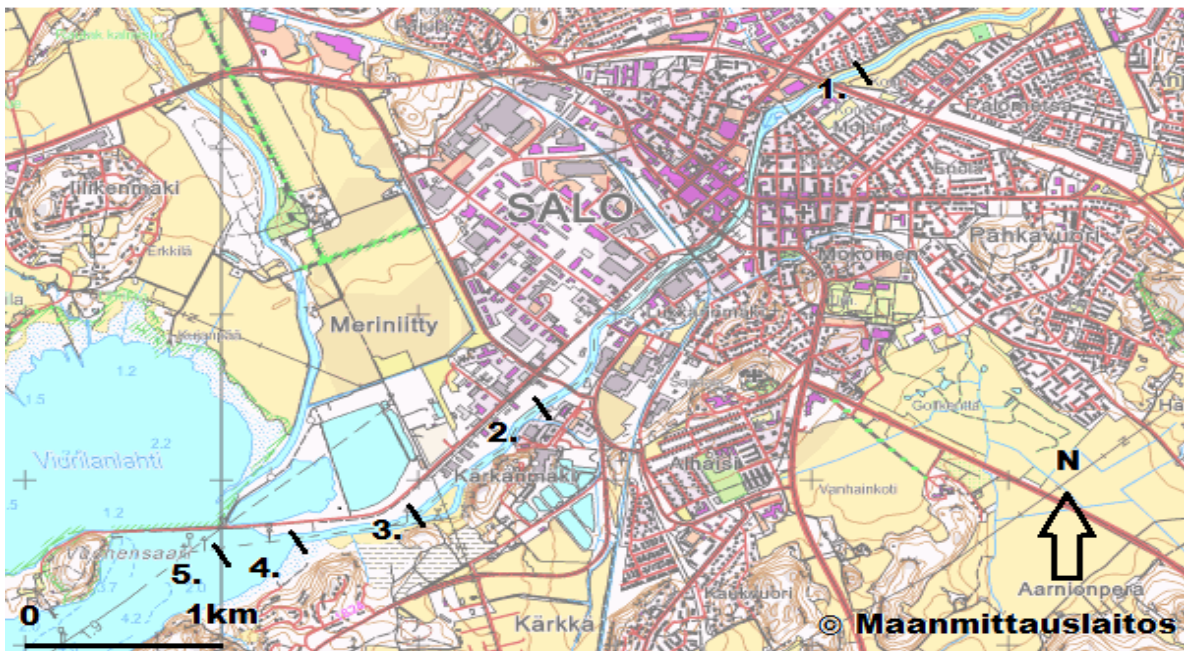
Tulvariskien hallinnan nykytila Salossa

Tulvia on Uskelanjoessa tapahtunut kautta historian, mutta varsinkin kevään 2010 ja kevään 2011 jääpatotulvien jälkeen todettiin tulvariskien hallinnan nykytila riittämättömäksi. Tärkeinä ongelmakohtina nähtiin jääpatojen aiheuttama nopea vedenpinnannousu ja siitä aiheutuvat muut ongelmat kuten mahdolliset siltojen vaurioitumiset. Tulviin varautuminen ja tulvien aikainen operatiivinen toiminta Salon kunnan sisällä aiheuttaa myös tulvan aikaista lisätyötä. (Verta 2012).

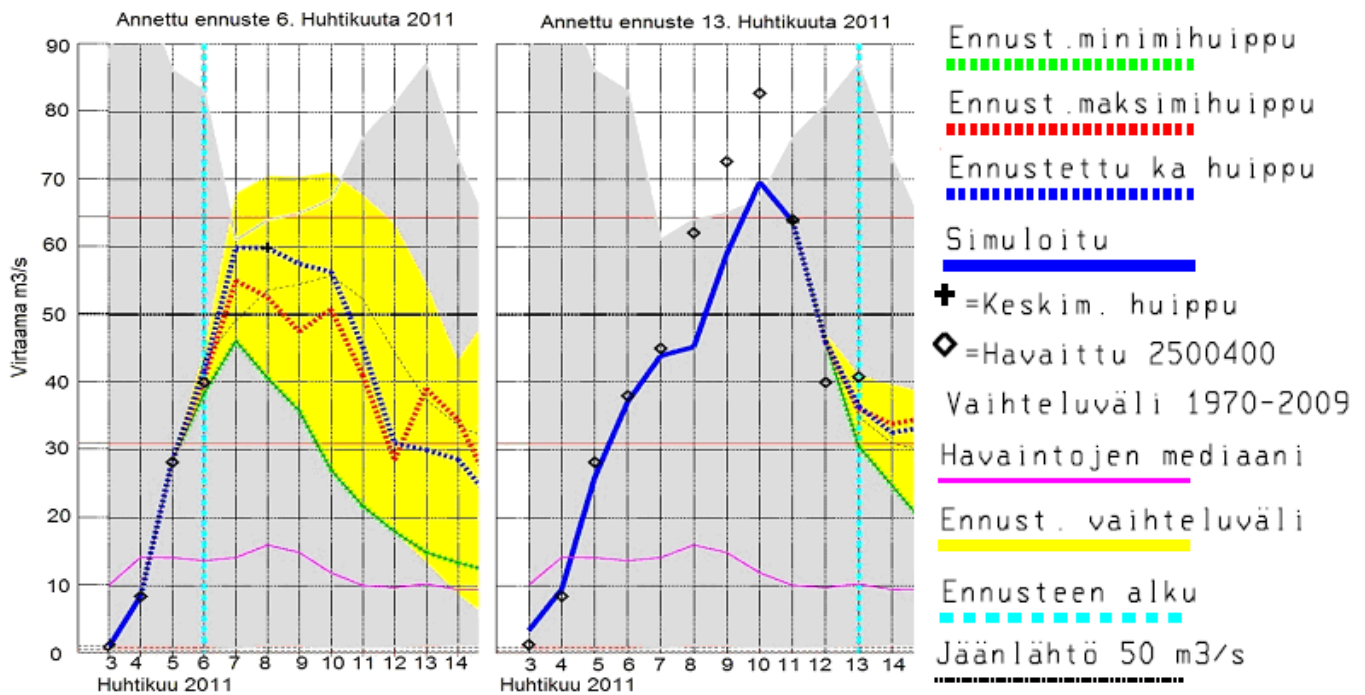
Kevättulva 2011

Kevättulvaa ja siihen liittyvää jäidenlähtöä tarkkailtiin tässä työssä kevään 2011 aikana. Tarkkailua suoritettiin Halikonlahdelta aina Kaukolankoskelle asti. Varsinainen jäidenlähtö ja vedenpinnan nousu tulvavedenkorkeuksiin tapahtui Salon keskusta-alueella 9.4.2011-10.4.2011. Kevään 2011 aikana suoritettiin myös jäänpaksuuden mittauksia Salon kaupungin toimesta. Mittaustulokset ja alueen kartta on esitetty kuvassa 6. Uskelanjoelta on myös saatavissa Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) teettämä vesistöennuste. Vesistömalli laskee vesistöjen vedenkorkeuksia ja virtaamia sekä useita muita hydrologisia suureita tietyllä ajanjaksolla säähavaintoihin ja sääennusteeseen perustuen. Uskelanjoella virtausten mittauspiste on Kaukolankoskella. SYKE:n laatima virtaamaennuste Kaukolankoskelle 6.4.2011 ja 13.4.2011 on esitetty kuvassa 7. 6.4. annettu virtaamaennuste ennusti, että virtaama huippu tapahtuisi 8.4. ja se olisi suuruudeltaan noin 60 m³/s. Todellisuudessa virtaama huippu tapahtui 10.4. ja se oli suuruudeltaan noin 83 m³/s.

Kuva 6. Mitatut jään paksuudet ja mittauspisteiden sijainti. Linja B kulkee joen keskellä. Linja A kulkee 5 m linjan B länsipuolella ja linja C 5m linjan B itäpuolella.



		Linja 1			Linja 2			Linja 3			Linja 4			Linja 5		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1.2.2011	Lumen syvyys	12	12	12	11	9	9	0	2	4	6	5	6			
	Jään vahvuus	50	48	50	43	38	33	24	24	36	26	22	17			
16.2.2011	Lumen syvyys	3	10	2	15	10	5	10	10	12	8	8	8	8	8	9
	Jään vahvuus	65	55	68	46	37	33	30	25	36	26	21	21	37	35	35
2.3.2011	Lumen syvyys	5	5	2	10	10	5	10	6	10	8	6	5	7	7	40
	Jään vahvuus	72	70	80	47	41	44	36	30	38	35	32	25	47	42	40



Kuva 7. Virtaamaennusteet Kaukolankoskelta 6.4.2011 ja 13.4.2011. (Hertta 2012).

Jäiden lähtöön ja mahdollisiin jääpatoihin varauduttiin hiekoittamalla jääkanta 12.3.2011. Hiekoituksen ajankohta valittiin sääennusteen perusteella niin, että seuraavina päivinä ei ennusteen mukaan sataisi lunta, joka peittäisi hiekan ja heikentäisi hiekoituksen vaikutusta. Hiekoitus suoritettiin Halikonlahdelta Sokerinsillalle asti käyttämällä kiinteistöhiekoitinta, jonka eteen oli kytketty lumiaura. Jääkanta hiekoitettiin kolmella vierekkäisellä uralla. Hiekoitusurat ovat selvästi uponneet jääkanteen, joten sillä on ollut nopeuttava vaikutus jääkannen sulamiseen. Tarkoituksena oli jääpeitteen ohentaminen kyseisellä matkalla ja havaintojen mukaan sitä tapahtui sekä jäitä oli myös helpompi rikkoa kaivinkoneilla hiekoitetuista kohdista (Virtanen 2011). Jäiden hajottaminen ja nostaminen penkereille kaivinkoneiden avulla aloitettiin 6.4.2011. Tarkoitus oli saada keskusta-alueen ja Halikonlahden välinen jokiosuus jäistä vapaaksi, jotta yläpuolisesta vesistöstä tulevat jäät pääsisivät vapaasti purkautumaan keskusta-alueen läpi Halikonlahdelle nostamatta vedenpintaa tulvakorkeuksiin. Parhaimmillaan jäitä oli nostamassa neljä kaivinkonetta ja yksi puskutraktori.

Kuva 8. Haukkalankosken alapuolelle 7.4.2011 muodostuneen jääpadon pituus oli n. 300 m. Kuva otettu länsipuolelta jokea ylävirtaan päin.
 Kuva: Jussi Nelimarkka



Kuva 9. Kaivinkone nostamassa jäätä Halikonlahden suistossa. Paksuimmat nostetuista jääautoista olivat 70 cm:n paksuisia.
Kuva: Jussi Nelimarkka



Jääpeitteen hajoaminen alkoi 5.4.2011 joen voimakkaimmissa virtakohdissa keskustan yläpuolisessa jokiuomassa. Kaukolankosken mittauspisteellä virtaama oli tuolloin $35 \text{ m}^3/\text{s}$. Muun muassa Moisionkoskessa, Haukkalankoskessa, Lopenkoskessa, Lammaskoskessa ja Kaukolankoskessa jääpeite oli alkanut hajoilla ja siirtynyt näissä kohdissa alavirtaan olemassa olevan jääpeitteen reunaan.

6.4.2011 virtaaman ollessa tuolloin $42 \text{ m}^3/\text{s}$ jääpeitteen hajoaminen oli hiukan edennyt

koskien osalta ja sahimaisilla osuuksilla Emäkirkon kohdilla jääpeite oli alkanut hajoilla. 7.4.2011 jääpato oli kasvanut samassa paikassa ja virtaaman nousu $55 \text{ m}^3/\text{s}$ oli nostanut vedenpinnan paikoitellen viereiselle pellolle Haukkalankosken alapuolelle muodostunut jääpato oli kasvanut noin 200 metrin pituiseksi (kuva 8). 8.4.2011 oli Lopeenkosken ja lammaskosken väliin muodostunut jääpato, joka alkoi olemassa olevasta jääkannesta. 9.4.2011 virtaama joessa oli $78 \text{ m}^3/\text{s}$ ja Emäkirkon kohdalla oleva jääpato oli edelleen paikallaan, mutta jäälautoja oli kerääntynyt siihen enemmän. Moisionkosken kävelysillan alapuolelle oli kasaantunut hieman jäälautoja. 10.4.2011 aamulla virtaama saavutti huippunsa $83 \text{ m}^3/\text{s}$ ja Moisionkoskella oleva jääpato kasvoi noin 800 m pitkäksi, kun kaikki jäät saapuivat yläjuoksulta siihen (kuva 10). Tämän jälkeen jäämassat virtasivat kaupungin halki ja päätyivät Halikonlahdelle iltapäivään mennessä, jossa niitä nostettiin koko päivänajan penkalle kaivinkoneiden avulla (kuva 9). Halikonlahden jääpato muodostui noin 800 m pitkäksi. Vesi nousi meriniityn teollisuusalueella sijaitsevien kiinteistöjen piha-alueille. Myös meriniityn teollisuusalueen läpi kulkeva Satamakatu jouduttiin sulkemaan tulvaveden noustessa sille. Jäälautoja kerääntyi uoman reunoille koko keskusta-alueen ja Meriniityn teollisuusalueen matkalta, kun jääpato ohitti Salon keskusta-alueen. Jääpadon ohittaessa Moisionkosken suuria jäälautoja jäi kävelysillan alapuolisen saaren rantamille.

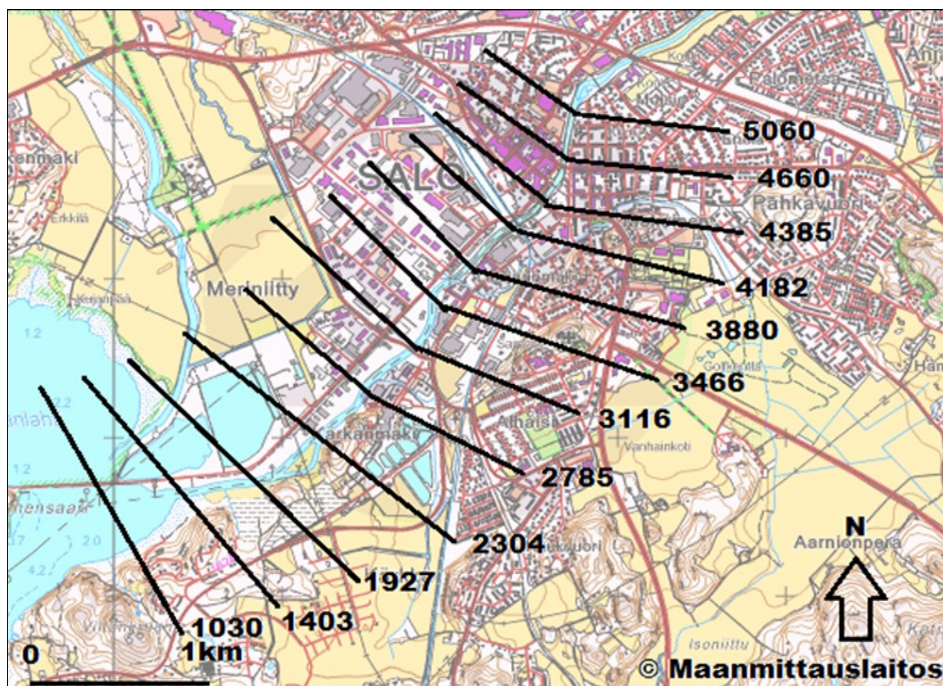
Kuva 10. Moisionkosken jääpadon alkupää on kävelysillan alapuolella ja pato jatkuu tien 110 pohjoispuolelle. Jääpato on pituudeltaan noin 800 m. Kuva otettu länsipuolelta ylävirtaan päin. Kuva: Risto Mäkinen



Kevättulvan 2011 mallinnus

Kevään 2011 tulvaa on mallinnettu yksidimensiomaalisesti käyttämällä HEC-RAS ohjelmaa. The Corps of Engineers Hydraulic Engineering Center 's River Analysis System (HEC-RAS) ohjelma on toimiva ja ilmainen työkalu tekemään yksilotteisia hydraulisia mallinnuksia luonnonjokiuomissa sekä rakennetuissa uomissa. HEC-RAS -ohjelmalla pystyy mallintamaan tasaista (steady flow) ja epätasaista (unsteady flow) virtausta alikriittisenä (subcritical), superkriittisenä (supercritical) sekä näiden yhdistelminä. Uusimmalla HEC-RAS -ohjelman versiolla pystyy myös simuloimaan jokiuomia jääpato tilanteissa muokkaamalla ennalta asetettua jäänpaksuutta sekä sen karkeutta (Brunner 2002). Kevään 2011 aikana on tehty havaintoja joen jäidenlähdistä ja jäänpaksuudesta. Näiden havaintojen pohjalta on pyritty arvioimaan jään määrää jääpadossa. Kevään 2011 tulvavedenkorkeuksia mitattiin maastossa yhdessä VARELY:n kanssa ja nämä tiedot on lisätty malliin havaituiksi vedenkorkeuksiksi.

Joen geometriatiedot on saatu SYKE:stä ja niissä on määritetty 80 poikkileikkausta tarkasteltavaan malliin. Mallissa tarkasteltava uomaosuus alkaa Halikonlahden suistosta ja päättyy ennen Moisionkosken kävelysiltaa. Mallin geometriatiedot alkavat paalulta 1030 ja päättyvät paalulle 5060 (kuva 11). Mallinnetulla Uomaosuudella on yhteensä viisi siltaa: Paalulla 3116 on Sokerinsilta, paalulla 4182 on Helsinki-Turku välin rautatiesilta, paalulla 4385 Mariankadun tieliikenteen silta, paalulla 4515 Vilhonkadun kevyenliikenteen silta ja paalulla 4660 tieliikenteen Turuntien silta. Tarkastellun uomaosuuden kokonaispituus on 4030 m ja sen joenpohjan keskimääräinen kaltevuus tarkasteltavalla osuudella on 0,37 m/km. Paalulla 1030 on joen pohja N60-koordinaatistossa korossa -3,51 m ja loppupäässä paalulla 5063 pohja on korossa -2.0 m.



Kuva 11. Paalutuksen sijoittuminen tarkasteltavalle uomaosuudelle HEC-RAS mallissa.

Mallissa uoman karkeuskertoimena on käytetty arvoa $n=0,035$ ja uoman molemmanpuoleisilla penkereillä arvoa $n=10$ lukuun ottamatta paaluväliä 1030-2833, jossa virtauksen on katsottu kulkevan teollisuusalueella ja itäisen penkereen karkeuskertoimena on käytetty $n=0,009$ (Huokuna 2011). Virtaukseksi malliin on asetettu $83 \text{ m}^3/\text{s}$, joka vastaa 10.4.2011 tulvahuipun virtaamaa mitattuna Kaukolankoskelta. Jään paksuudeksi malliin asetettiin 0,6 metriä. Kevään 2011 aikana kaivinkoneella nostetut jäälautat olivat kuitenkin jopa 0,7

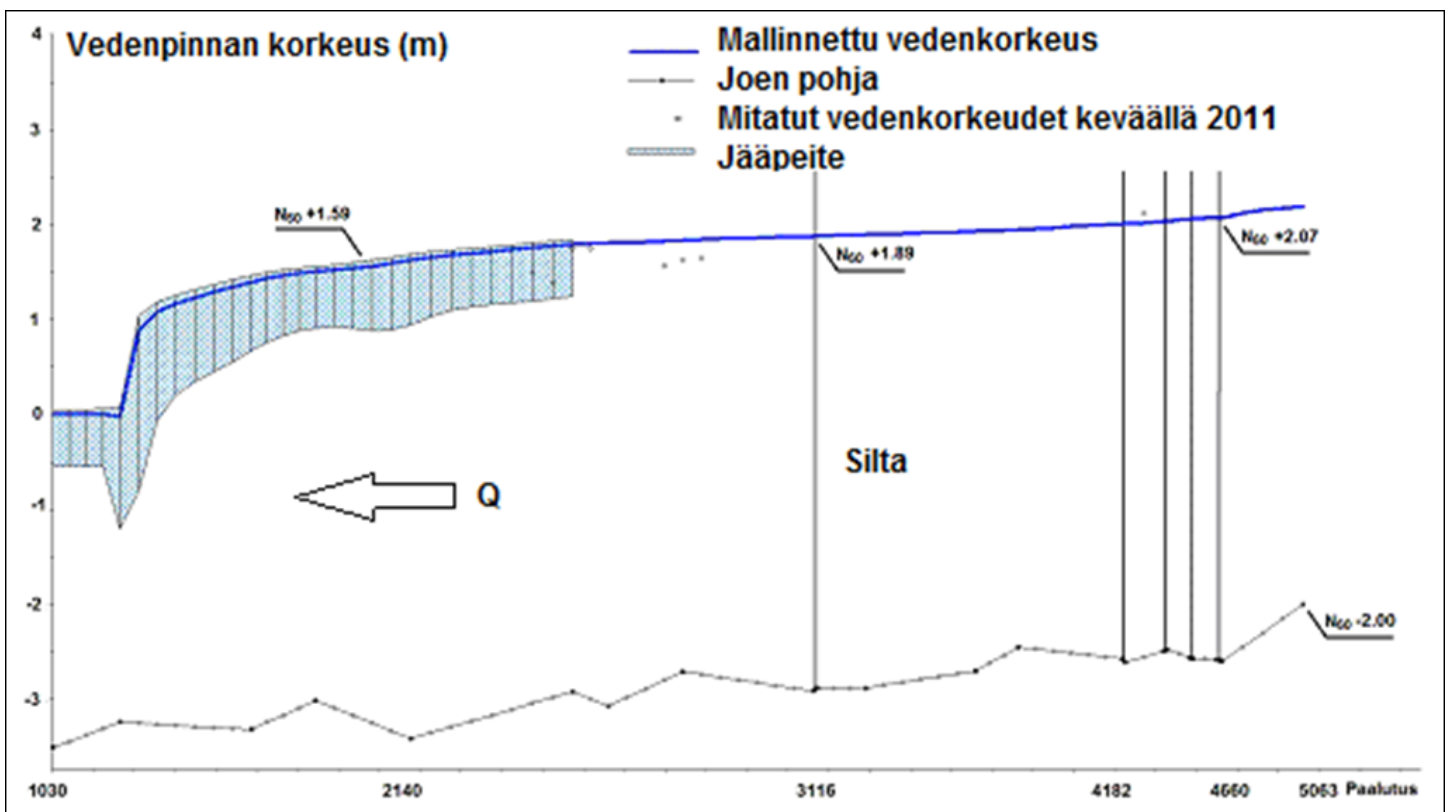
metrin paksuisia, mutta on hyvin epätodennäköistä, että jääkansi olisi ollut 0,7 metrin paksuinen koko uoman matkalta. Jään määrää mallissa on arvioitu kevään 2011 havaintojen perusteella ja jääpadon pääty asetettiin paalulle 2468, jolloin jään määräksi jääpadossa mallin mukaan saatiin 124 000 m³. Tasapainotilan jään määrää jääpadossa on laskettu kaavalla 1:

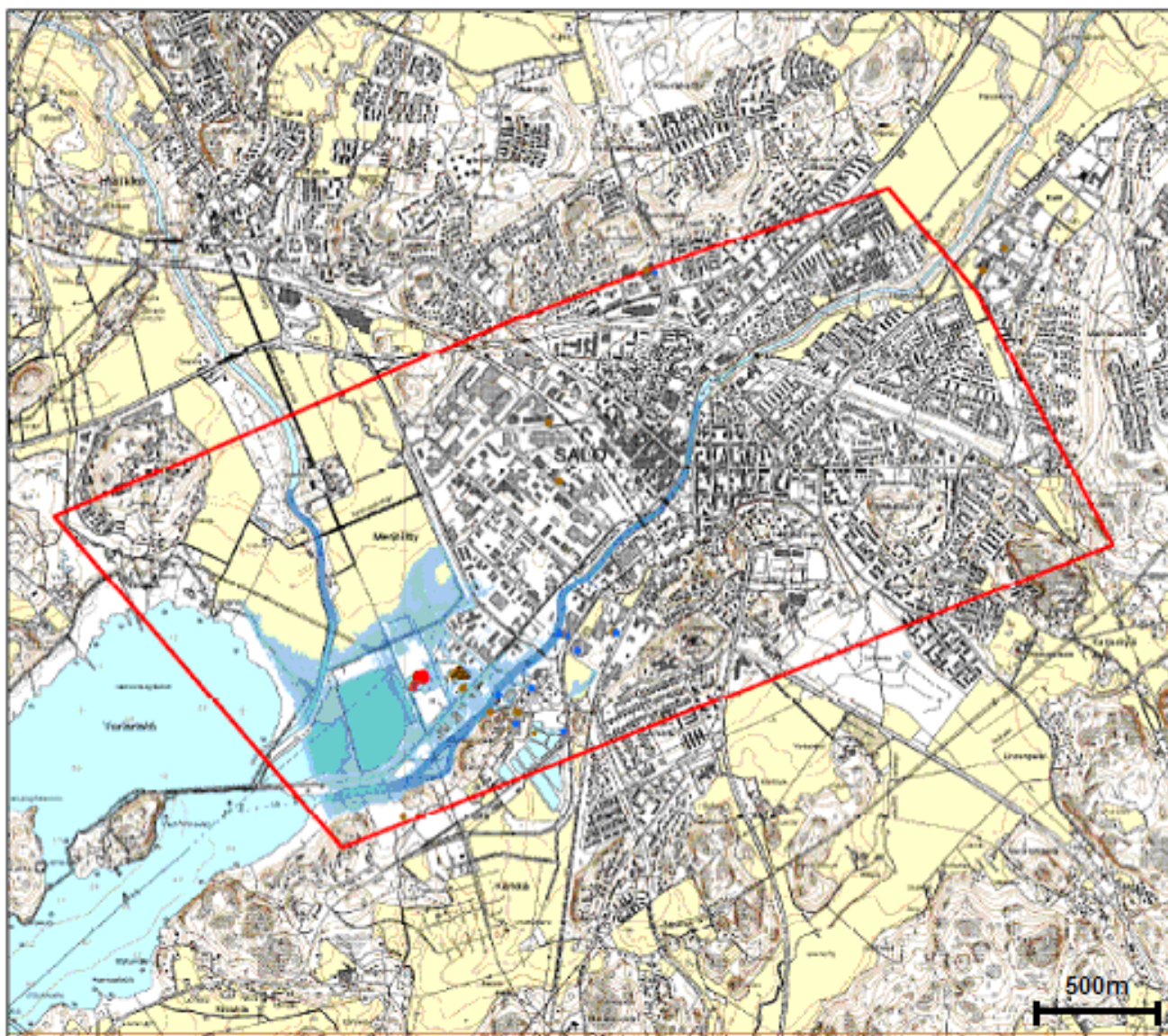
$$M_i = lbzh \quad (1)$$

jossa M_i (m³) on jään määrä jääpadossa, l (m) on joen pituus, b (m) on joen leveys, z (m) on jään paksuus ja h (%) on jään häviökerroin. Jään häviökertoimena on mallinnuksessa käytetty 0,5. Merivedenkorkeudeksi arvioitiin N60-kordinaatistossa +0,0 m, joka laskettiin ilmatieteenlaitoksen ilmoittamista keskivedenkorkeuksista Turun mittauspisteeltä tulvahuipun päivänä, eli 10.4.2011. Näillä arvoilla laskettuna mallin laskeman jääpadon aiheuttama vedenpinta on esitetty kuvassa 12. Kalibrointia tai validointia ei mallinnuksessa ole tehty. Vedenpinta nousee sokerinsillalla N60+1,89 m korkeuteen, joka tarkoittaa osittaista vedennousua Meriniityn teollisuusalueelle. Mariankadun sillan kohdalla vedenkorkeus oli mallin mukaan N60+2,02 m.

Mallissa on huomattavia epävarmuustekijöitä, jotka voivat vääristää vedenpinnankorkeuksia. Näitä ovat mm. syötettävät lähtöarvot sekä mallin laskennan rajoitukset. Myöskään havaitut ja kuvaan 13 lisätyt vedenkorkeuden havainnot eivät välttämättä ole otettu juuri korkeimman vedenpinnan aikaan, jolloin pisteet jäävät mallin antaman vedenpinnan alapuolelle. Mallin vedenkorkeuksien avulla on tilanteesta luotu tulvavaarakartta VARELY:ssä ja se on esitetty kuvassa 13. Tulvavaarakartan perusteella, sekä tarkastelemalla mallin antamia vedenkorkeuksia, voidaan todeta mallin vastanneen kevään 2011 tulvaa tarpeellisella tarkkuudella.

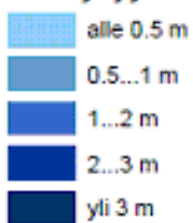
Kuva 12. Vuoden 2011 kevään jääpatotilanteen mallinnuksen tulokset ja mitatut vedenkorkeudet.





Vuoden 2011 kevättulva

Vesisyvyys



Pisteet

Sektorit

- Vesi
- Jätehuolto

Tulvavaarakartoitetun alueen rajaus

VAHTI-kohteet

Selite

- Polttoaine/kemikaalivarasto
- Jäteveden puhdistamo
- Teollisuus
- Eläinsuoja
- Jätteenkäsittely

Kuva 13. Mallinnettu tulvavaarakartta Salon keskusta-alueesta kevään 2011 tulvatilanteesta.

Mitoitustulva

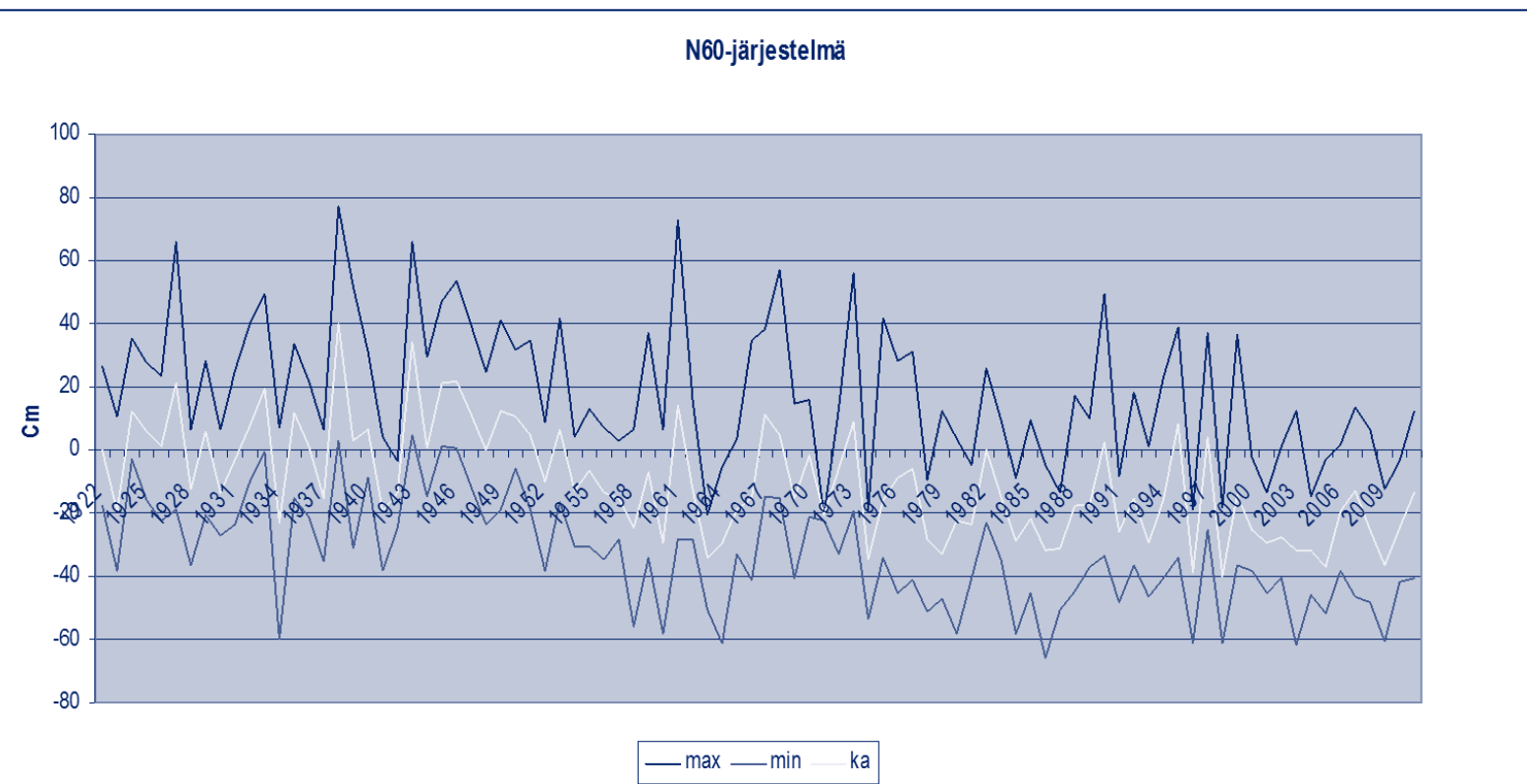
Jääpatotulvatilanteessa tulvavedenkorkeudet ovat suurempia kuin avovesitulvatilanteessa, vaikka joen virtaama on pienempi, joten mitoitustulvaksi voidaan valita jääpatotulvatilanne. Mitoitusvirtaamaksi valittiin tässä työssä 120 m³/s (HQ 1/50), sillä jo pienemmillä virtaamilla voidaan olettaa olemassa olevan jääkannen irronneen ja ruvenneen muodostamaan jääpatoja (Huokuna 2011).

Mitoitustulvan jäänpaksuudeksi valittiin 0,5 m tapauksissa, joissa mallinnuksessa jääkansi kattaa koko tarkasteltavan uomaosuuden. Jäidenpidätysrakennelmien jäänpaksuutena mallinnuksessa käytettiin 0,7 m. Valitut jäänpaksuudet perustuvat arvioihin jäänpaksuudesta vuosien 2010 ja 2011 ajalta. Valitun mitoitusvirtaaman (HQ 1/50) toistuvuus kyseisillä jäänmäärillä on harvinaisempaa kuin kerran 50 vuodessa, sillä valittuun mitoitusvilantentteeseen tarvitaan 120 m³/s virtaama ja paksu jääpeite. Suuret virtaamat kevät tulvissa edellyttävät myös runsasta lumipeitettä, joka omalta osaltaan heikentää jääkannen paksuuden muodostumista joissa.

Meriveden korkeuden vaihtelut vaikuttavat myös tarkasteltavalla alueella tapahtuviin tulviin, sillä Uskelan joki laskee mereen. Ilmatieteenlaitos on kerännyt aineistoa Turun merivedenkorkeuden mittausasemalta vuosilta 1922-2012. Kuvassa 14 on esitetty merivedenkorkeudenvaihtelun keskiarvo, minimi sekä maksimi huhtikuussa N60-kordinaatistossa kyseiseltä mittausasemalta.

Mallinnuksessa huomattiin, että merivedenkorkeus ei vaikuta olennaisesti vedenkorkeuksiin ylempänä jokea, mutta sillä on vaikutusta alempana olevien maa-alueiden tulvarisktiin. Mitoitustulvassa tässä työssä käytetään merivedenkorkeudelle arvoa +0,2 m N60-kordinaatistossa.

Kuva 14. Huhtikuun maksimi, minimi ja keskimerivedenkorkeuden arvot vuosilta 1922-2012 Turun mittausasemalta



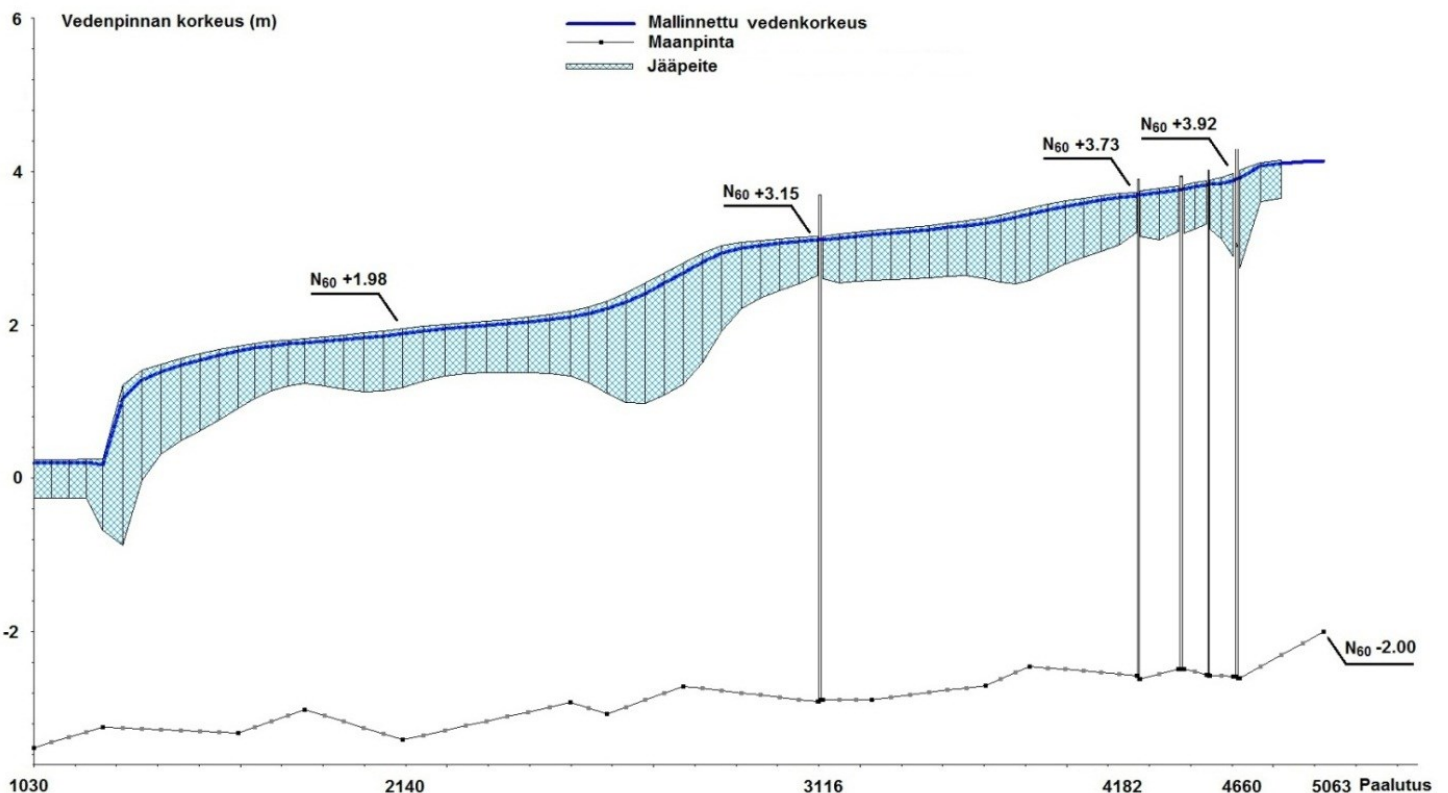
Ehdotetut ratkaisut tulvavahinkojen pienentämiseksi

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan eri vaihtoehtoja tulvavahinkojen pienentämiseksi. Luvuissa käsitellään ratkaisujen yleispiirteet, niiden vaikutukset vedenkorkeuksiin ja sitä kautta tulvavahinkoihin sekä vaihtoehtojen kustannukset. Ensimmäisenä vaihtoehtona käsitellään nollavaihtoehto eli nykytilan jatkuminen. Tästä vaihtoehdosta saadaan vertailupohja muille vaihtoehdoille, jotka ovat jäidenpidätysrakennelmien rakentaminen, jokiuoman osittainen pengerrys, suistoalueen ja jokiuoman ruoppaus sekä näiden vaihtoehtojen yhdistelmäratkaisuja. Mallinuksissa on käytetty samoja arvoja kuin kevättulvan 2011 mallinuksessa, ellei toisin mainita.

Nykytilan jatkuminen

Nykytilan jatkumisella tarkoitetaan, ettei Uskelanjoessa toteuteta kiinteitä tulvasuojelutoimenpiteitä. Näin ollen nykytilassa tulvariskien hallinta perustuu täysin tulviin varautumiseen ja jääpatojen ennakkotorjuntatoimenpiteisiin, kuten jäänsahauksiin, hiekoituksiin, kaivinkoneitten avulla jään hajottamiseen sekä siirtelyyn ja operatiiviseen tulvasuojeluun. Mitoitustulvatilannetta on mallinnettu HEC-RAS ohjelmalla. Joen pituusprofiili, muodostunut jääpato, paalumerkinnät ja vedenpinnankorkeus on esitetty kuvassa 15. Mallinnus on suoritettu mitoitusvirtaamalla, eli virtaama on $120 \text{ m}^3/\text{s}$, merivedenpinnan korkeus on $+0,2 \text{ m}$, jäänpaksuus mallissa on $0,7 \text{ m}$, pysyvä jääkansi muodostuu paaluvälille $1030\text{--}1276$ ja jääpato paaluvälille $1276\text{--}4764$. Jään määräksi jääpadossa käyttämällä kyseisiä oletuksia on mallin avulla saatu $208\,000 \text{ m}^3$. Vedenkorkeus on paalulla $2140 \text{ N}_{60}+1.98$, joka tarkoittaa tulvavedenkorkeutta Meriniityn teollisuusalueella. Sokerinsillalla paalulla 3116 vedenkorkeus on $\text{N}_{60}+3.15$ ja rautatiensillalla $\text{N}_{60}+3.75$.

Kuva 15. Uskelanjoen pituusprofiili tilanteessa, jossa jääpato muodostuu koko tarkasteltavan uomaosuuden pituiseksi.

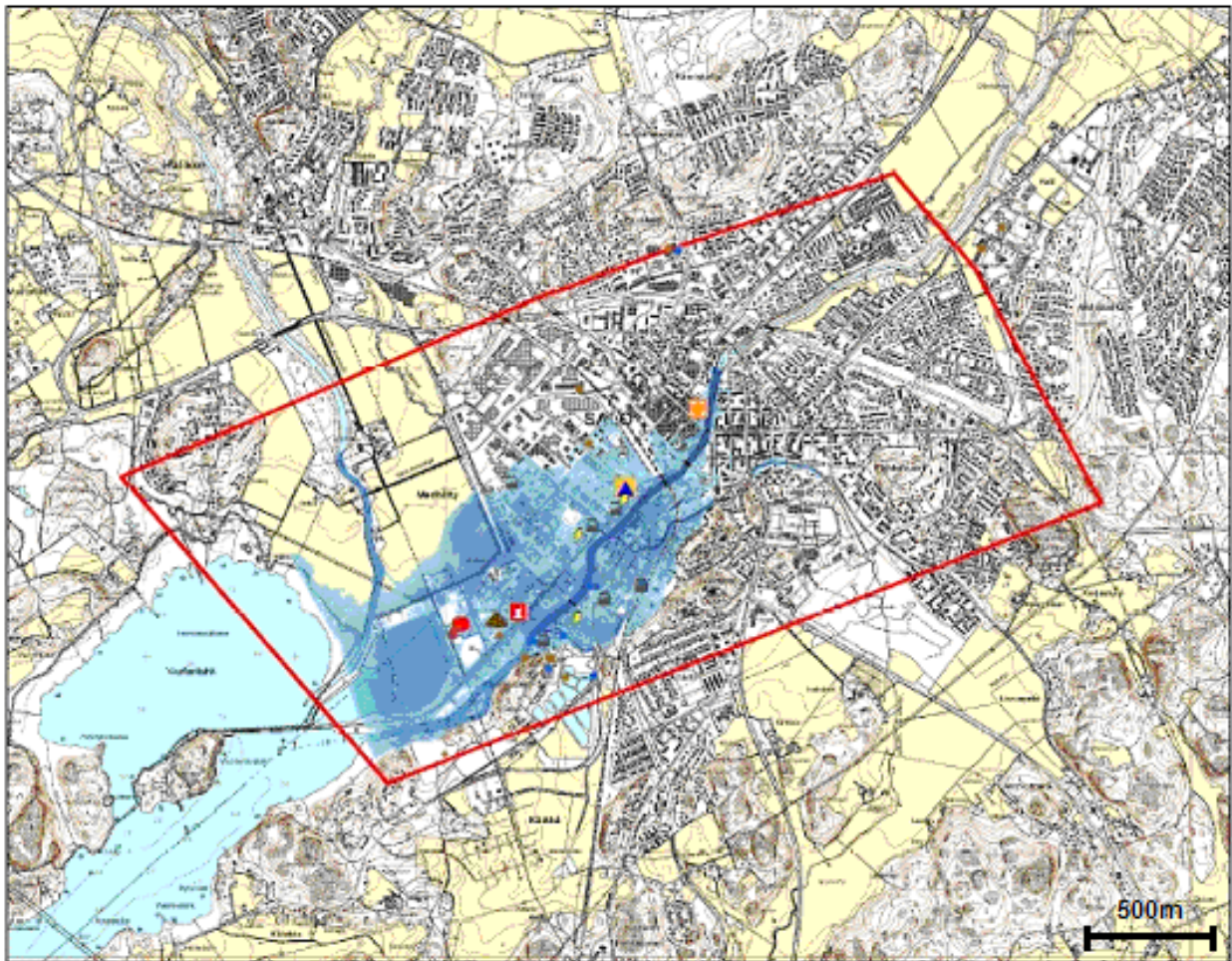


Vahinkoarviointi mitoitustulvassa

Kuvassa 16 on esitetty mallinnuksessa saaduilla vedenkorkeuksilla laadittu tulvavaarakartta. Vahingot rakennuksille on arvioitu tulvavedenkorkeuksien ja rakennustyyppien mukaan Porin tulvat - hallittuja riskejä 2006 raportissa esitetyillä vahinkoarviointiperusteilla. Tulvassa kastuvien rakennusten määrä ja pinta-ala on arvioitu Väestörekisterikeskuksen Väestötietojärjestelmän kiinteistö- ja huoneistorekisterin tietokannan perusteella (VTJ). Taulukossa 1 on esitetty vahinkoja arvioitaessa käytetyt rakennusluokat. Taulukossa 2 on tämän jälkeen esitetty näille rakennusluokille tapahtuvat euromääräiset (€/m²) vahingot eri vesisyvyyksillä. Vesisyvyydellä 0-0,5 m eivät kaikki rakennukset kärsi vahinkoja. Tässä työssä on kuitenkin kaikkien kastuvien rakennusten arvioitu kärsivän vahinkoja, sillä vesi voi myös nousta mallinnetun tulva-alueen ulkopuolelle oleviin kellareihin viemäriverkostojen kautta. Taulukossa 3 on esitetty nykytilanteessa mitoitustulvassa tapahtuvat kokonaisvahingot rakennuksille mallinnetuilla vedenkorkeuksilla.

Taulukko 1. Vahinkoarvioinnissa käytetyt rakennusluokat. (Koskinen 2006).

Rakennusluokka	Luokkaan kuuluvat rakennukset
Päiväkodit, vanhainkodit, terveydenhuolto, oppilaitokset ja asuntolat	Asuntolat, lasten päiväkodit, vanhainkodit, yleissivistävien oppilaitosten rakennukset ja ammatillisten oppilaitosten rakennukset, muut terveydenhuoltorakennukset
Asuinrakennukset	Yhden ja kahden asunnon talot, muut erilliset pientalot, rivitalot, luhtitalot ja muut asuinkerrostalot
Vapaa-ajan rakennukset, saunat ja talousrakennukset	Vapaa-ajan rakennukset, saunat ja talousrakennukset sekä muualla luokittelemattomat rakennukset
Teollisuusrakennukset ja liikenteenharjoittaminen	Teollisuus- ja pienteollisuustalot, teollisuushallit, muut teollisuuden tuotantorakennukset, teollisuusvarastot, kulkuneuvojen suoja- ja huoltorakennukset, muut liikenteen rakennukset, tutkimuslaitosrakennukset
Liike- ja toimistorakennukset	Liike- ja tavaratalot, kauppakeskukset, myymälähallit, muut myymälä rakennukset, kaupparastot, toimistorakennukset, tietoliikenteen rakennukset
Maa-, metsä- ja kalatalous	Kasvihuoneet, viljakuivaamot ja viljan säilytysrakennukset, muut maa-, metsä- ja kalatalouden rakennukset, turkistarhat
Liikunta ja kulttuuri	Seura- ja kerhorakennukset, kokoontumisrakennukset, monitoimihallit ja muut urheiluhallit, kirkot kappelit, luostarit ja rukoushuoneet, ravintolat, hotellit ja muut majoitusliikerakennukset
Yhdyskuntatekniikka	Väestönsuojat, yhdyskuntatekniikan rakennukset, voimalaitosrakennukset



Nykytilan jatkuminen

	alle 0.5 m
	0.5...1 m
	1...2 m
	2...3 m
	yli 3 m

Pisteet

Sektorit

- Vesi
- Jätehuolto

Tulvavaarakartoitetun alueen raja

VAHTI-kohteet

Selite

- Polttoaine/kemikaalivarasto
- Jäteveden puhdistamo
- Teollisuus
- Eläinsuoja
- Jätteenkäsittely

Eritiskohteet

Selite

- Terveystieteiden tutkimuskeskus
- Huoltolaitosrakennus
- Lasten päiväkoti
- Paloasema
- Väestönsuoja
- Yleissivistävä oppilaitos
- Tietoliikenteen rakennus
- Energiantuotanto ja -siirto
- Kirjastot, museot ja taidegalleriat

Kuva 16. Mallinnettu tulvavaarakartta Salon keskusta-alueesta nykytilanteessa mitoitustulvalla

Taulukko 2. Rakennusluokille määritellyt vahingot vuoden 2006 hintatasossa eri vesisyvyyksillä. (Koskinen 2006 mukailen).

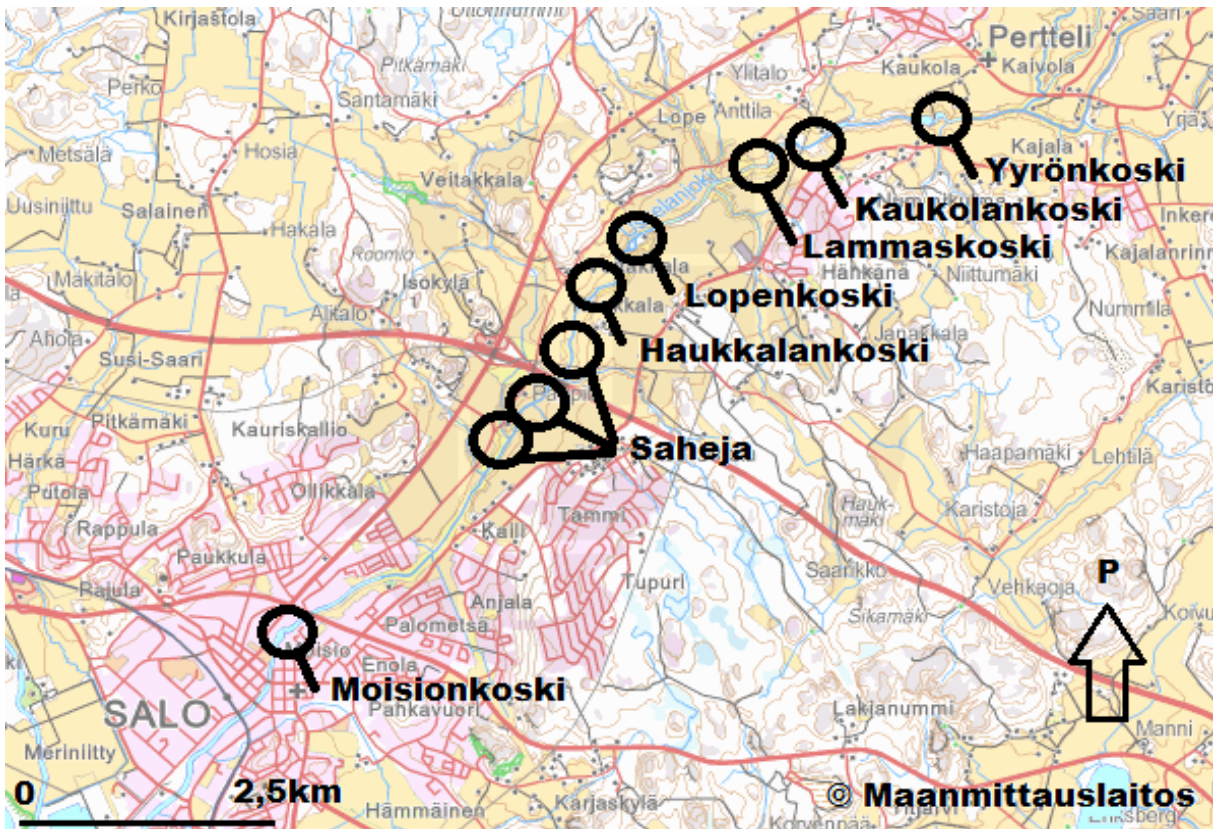
Rakennusluokka	Vahinko rakennuksille, (€/m ²)	
	Vesisyvyys 0-0,5 m	Vesisyvyys 0.5-1.5 m
Päiväkodit, vanhainkodit, terveydenhuolto, oppilaitokset ja asuntolat	120	200
Asuinrakennukset	100	150
Vapaa-ajan rakennukset, saunat ja talousrakennukset	40	85
Teollisuusrakennukset ja liikenteen-harjoittaminen	65	125
Liike- ja toimistorakennukset	150	200
Maa-, metsä- ja kalatalous	70	100
Liikunta ja kulttuuri	150	250
Yhdyskuntatekniikka	70	200

Taulukko 3. Nykytilanteessa tulva-alueella kastuvat rakennukset sekä niille aiheutuvat kokonaisvahingot. (Koskinen 2006 mukailen).

Rakennusluokka	Rakennuksia tulva-alueella (m ²)	Vesisyvyys 0-0,5m (m ²)	Vesisyvyys 0,5-1,5 m (m ²)	Kustannukset (€)
Päiväkodit, vanhainkodit, terveydenhuolto, oppilaitokset ja asuntolat	1856	1300	556	267 264
Asuinrakennukset	21 682	15 177	6504	2 493 430
Vapaa-ajan rakennukset, saunat ja talousrakennukset	1771	1239	531	115 115
Teollisuusrakennukset ja liikenteen-harjoittaminen	168 714	118 099	50 614	14 484 110
Liike- ja toimistorakennukset	24 508	17155	7352	4 043 820
Maa-, metsä- ja kalatalous	2058	1440	617	162 582
Liikunta ja kulttuuri	558	390	167	100 440
Yhdyskuntatekniikka	527	369	158	57 443
Yhteensä	221 674	155 172	66 502	21 730 000

Jäidenpidätysrakennelmat

Yksi vaihtoehto tulvavahinkojen ehkäisyyn ovat jäidenpidätysrakennelmat. Niiden tarkoitus on pidättää jäätä keskusta-alueen yläpuolella, jolloin jään määrä suistoalueelle muodostuvassa jääpadossa pienenee. Uskelanjoessa rakennelmat voidaan toteuttaa käyttämällä isoja luonnonkiviä. Rakennelmia voidaan rakentaa kohtiin, joissa jääpatoja muodostuu luonnollisestikin. Näitä kohtia on esitetty kuvassa 17. Rakennelmien pieni etäisyys toisistaan auttaa pidättämään enemmän jäätä ja samalla se vähentää vedenkorkeuksia yläjuoksulle. Samalla jäidenpidätysrakennelmat toimivat elinympäristönä kaloille ja niiden rakentaminen voidaan yhdistää kalataloudelliseen kunnostukseen. Mahdollinen vedenkorkeuden nousu jäidenpidätysrakennelmista yläjuoksuun ei tuota niin suurta haittaa kuin taajama-alueella Salon keskusta-alueella, sillä joki virtaa alueella syvässä uomassa ja sen ranta-alueet ovat vain maatalouskäytössä.

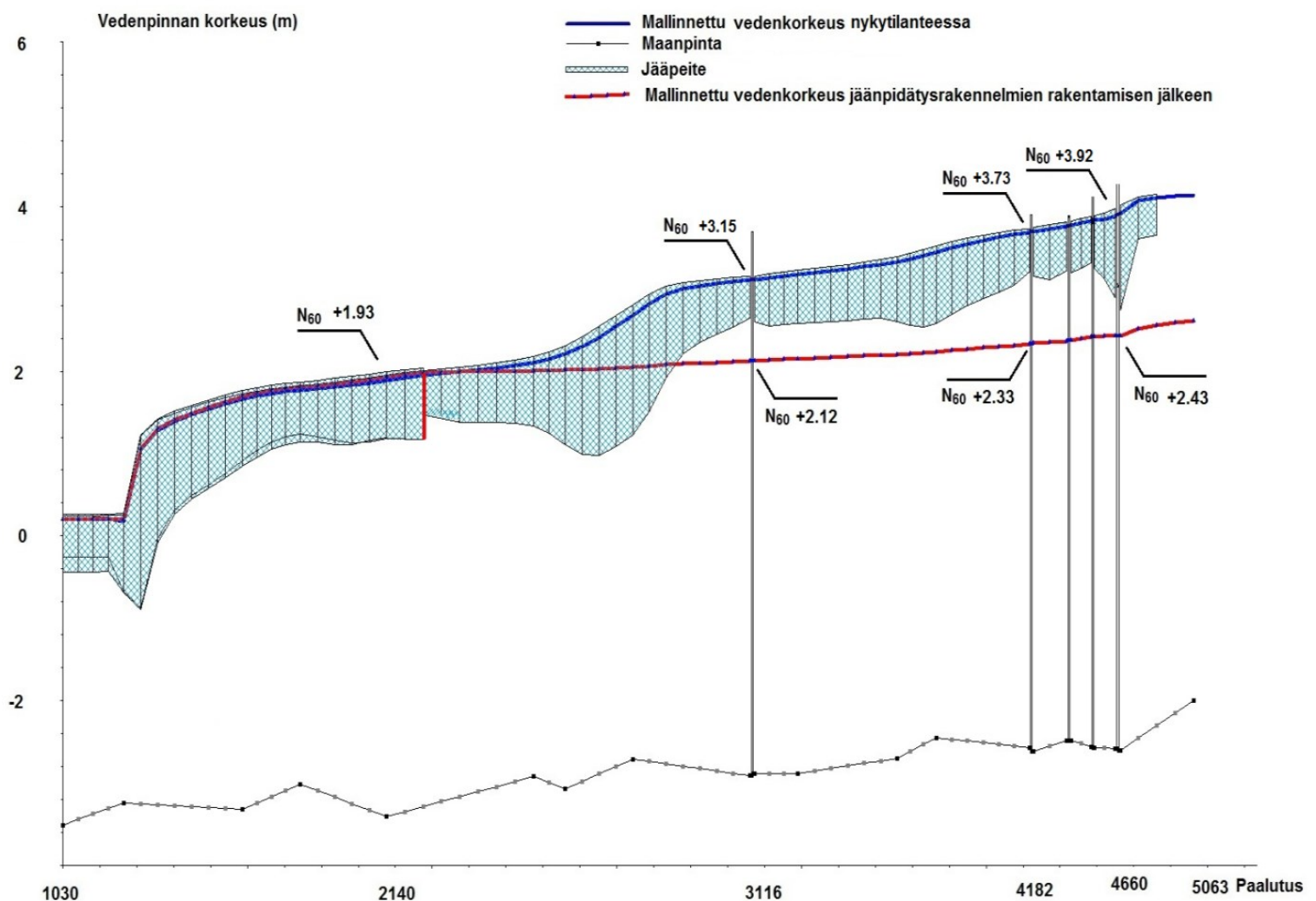


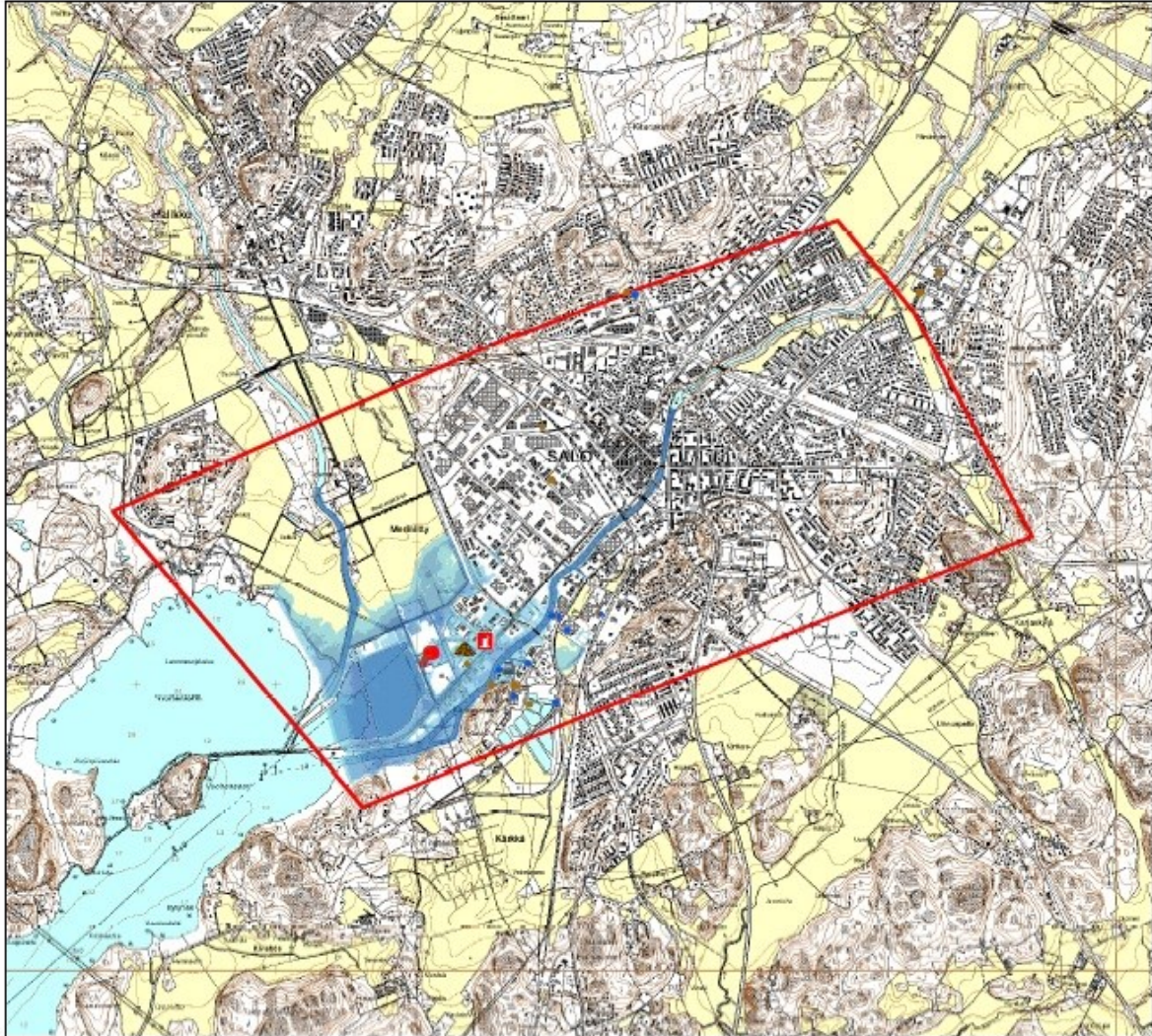
Kuva 17. Jäidenpidätysrakennelmien mahdollisia sijoituspaikkoja.

Mallin avulla on selvitetty jäidenpidätysrakennelmien vaikutusta vedenkorkeuksiin Salon keskusta-alueella mitoitustulvatilanteessa. Mallissa jääkannen paksuudeksi on arvioitu 0,7 m ja jäätä on ajateltu pidättyvän yläpuolisiin rakennelmiin niin, että ylävirrasta keskusta-alueelle saapuva jäämäärä on 5 % kokonaisjäämäärästä eli 3800 m³. Kokonaisjäämäärään laskenta on suoritettu niin, että keskusta-alueen häviökertoimena on käytetty 0,3 ja keskusta-alueen yläpuolella 0,5. Näin ollen suistoalueelle muodostuvaan jääpatoon kertyvä jäänmäärä on 125 000 m³. Täten pysyvän jääkannen muodostuessa paaluvälille 1030-1276 muodostuisi jääpato paaluvälille 1276-2221. Kuvassa 18 on esitetty vedenkorkeus mallinnetulla mitoitusvirtaamalla ja sitä on verrattu mallinnettuun virtamaan nykytilanteessa.

Paalulla 2140 vedenkorkeus jäidenpidätysrakennelmien vaikutuksesta ei ole laskenut ja se on edelleen N60+1,93, joka on sama arvo kuin nykytilassa. Jääpato loppuu paalulla 2221, jonka jälkeen vedenpinnan korkeus ei enää nouse niin suureksi kuin nykytilanteessa mitoitusvirtaamalla tapahtuisi. Sokerinsillalla vedenpinnan korkeus on N60+2,12, joka tarkoittaa tulvaveden osittaista nousua Meriniitynteollisuusalueelle, mutta se on kuitenkin noin yhden metrin vähemmän kuin nykytilanteessa. Rautatiesillalla vedenkorkeus on N60+2,33, jolloin vesi ei tulvi joen uoman yli. Nykytilanteessa rautatiensillalla vedenkorkeus mallinnuksen mukaan olisi N60+3,73 m. Rakentamalla jäidenpidätysrakennelmat keskusta-alueen yläpuolelle pystytään tulviminen estämään Salon keskusta-alueella, mutta veden osittaista nousemista Meriniityn teollisuusalueelle ei pystytä estämään (kuva 19)

Kuva 18. Uskelanjoen vedenkorkeudet mallinnetulla mitoitusvirtaamalla nykytilanteessa sekä jäidenpidätysrakennelmien rakentamisen jälkeen.





Jäidenpidätysrakennelmat

Vesisyvyys

- alle 0.5 m
- 0.5...1 m
- 1...2 m
- 2...3 m
- yli 3 m

Pisteet

Sektorit

- Vesi
- Jätehuolto

Tulvavaarakartoitetun alueen raja

VAHTI-kohteet

Selite

- Polttoaine/kemikaalivarasto
- Jäteveden puhdistamo
- Teollisuus
- Eläinsuoja
- Jätteenkäsittely

Kuva 19. Mallinnettu tulvavaarakartta Salon keskusta-alueesta jäidenpidätysrakennelmien rakentamisen jälkeen mitoitusvirtaamalla. Kuvassa on esitetty mallinnuksessa saaduilla vedenkorkeuksilla laadittu tulvavaarakartta jääpatolanteessa. Jäidenpidätysrakennelmilla ei yksin pystytä estämään tulvaveden pääsyä Meriniityn teollisuusalueelle vaan rakennuksille koituvia vahinkoja syntyy noin 2 070 000€.

Vahinkoarviointi mitoitustulvassa

Tulvan aiheuttamat vahingot on arvioitu euromääräisesti tulvavedenkorkeuksien ja rakennustyyppien mukaan edellä esitetyn taulukon 1 mukaisesti ja niiden mukaiset tulvavahingot rakennuksille on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Jäidenpidätysrakennelmien rakentamisen jälkeen tulva-alueella kastuvat rakennukset sekä niille aiheutuvat kokonaisvahingot. (Koskinen 2006)

Rakennusluokka	Rakennuksia tulva-alueella (m ²)	Vesisyvyys 0-0,5m (m ²)	Vesisyvyys 0,5-1,5 m (m ²)	Kustannukset (€)
Päiväkodit, vanhainkodit, terveydenhuolto, oppilaitokset ja asuntolat	0	0	0	0
Asuinrakennukset	1059	741	318	121 785
Vapaa-ajan rakennukset, saunat ja talousrakennukset	94	66	28	6110
Teollisuusrakennukset ja liikenteenharjoittaminen	3260	2282	978	142 988
Liike- ja toimistorakennukset	10 547	7383	3164	1 740 255
Maa-, metsä- ja kalatalous	0	0	0	0
Liikunta ja kulttuuri	0	0	0	0
Yhdyskuntatekniikka	527	369	158	57 443
Yhteensä	15 487	10 840	4647	2 070 000

Kustannukset

Jäidenpidätysrakennelmia on ajateltu rakennettavaksi kaikkiin kuuteen koskeen, joiden paikat on esitetty kuvassa 17. Koskien yhteenlaskettu pituus on 1200 m ja keskimääräinen leveys koskien kohdalla on noin 25 m. Jäidenpidätysrakennelmat on ajateltu tehtävän isoista luonnon kivistä, jotka sijoitetaan niin, että ne pystyvät pidättämään jäälautoja. Työssä kustannusarvio rakennelmille on laskettu niin, että jokaiseen koskeen on ajateltu rakennettavan kivistä muodostettu linja joen poikki. Yhdysvalloissa betonista rakennetun jäidenpidätysrakennelman kustannukseksi ilmoitettiin 3600 \$/m joen leveydeltä vuoden 1994 hintatasossa (Lever & Gooch, 2007). Tällaisen rakennelman kustannus Uskelanjoessa nykyhetkessä olisi noin 117 000 €. Suomessa virtavesien kunnostuksia on suoritettu lähinnä kalataloudellisiin ja vesistökuunnostuksiin liittyen. MMM julkaisussa (Saarinen 2006) on yhden kosken keskimääräiseksi kunnostuskustannukseksi saatu 42 000 € ilman yleiskuluja. Uralanjokialueen kunnostuksessa, jossa suurin osa kunnostettavista joista on pienempiä kuin Uskelanjoki, keskimääräiseksi kunnostuskustannukseksi saatiin 59 000 € ilman yleiskuluja (Suoknuutti 2009). Työssä käytetty jäidenpidätysrakennelmien hinta on laskettu näiden hintojen keskiarvona, joka on noin 72 000 €. Jäidenpidätysrakennelmia on ajateltu rakentaa kuuteen koskeen, jolloin niiden yhteiskustannukseksi saadaan 436 000 €. Rakentamiskustannusten lisäksi kustannuksia syntyy yleiskuluista, joita ovat mm. suunnittelusta, työnjohdonkuluista sekä arvaamattomista kuluista koituvat kustannukset, joiden on arvioitu olevan 25 % rakentamiskustannuksista. Kokonaiskustannukseksi jäidenpidätysrakennelmille saadaan 545 000 €.

Pengerryks

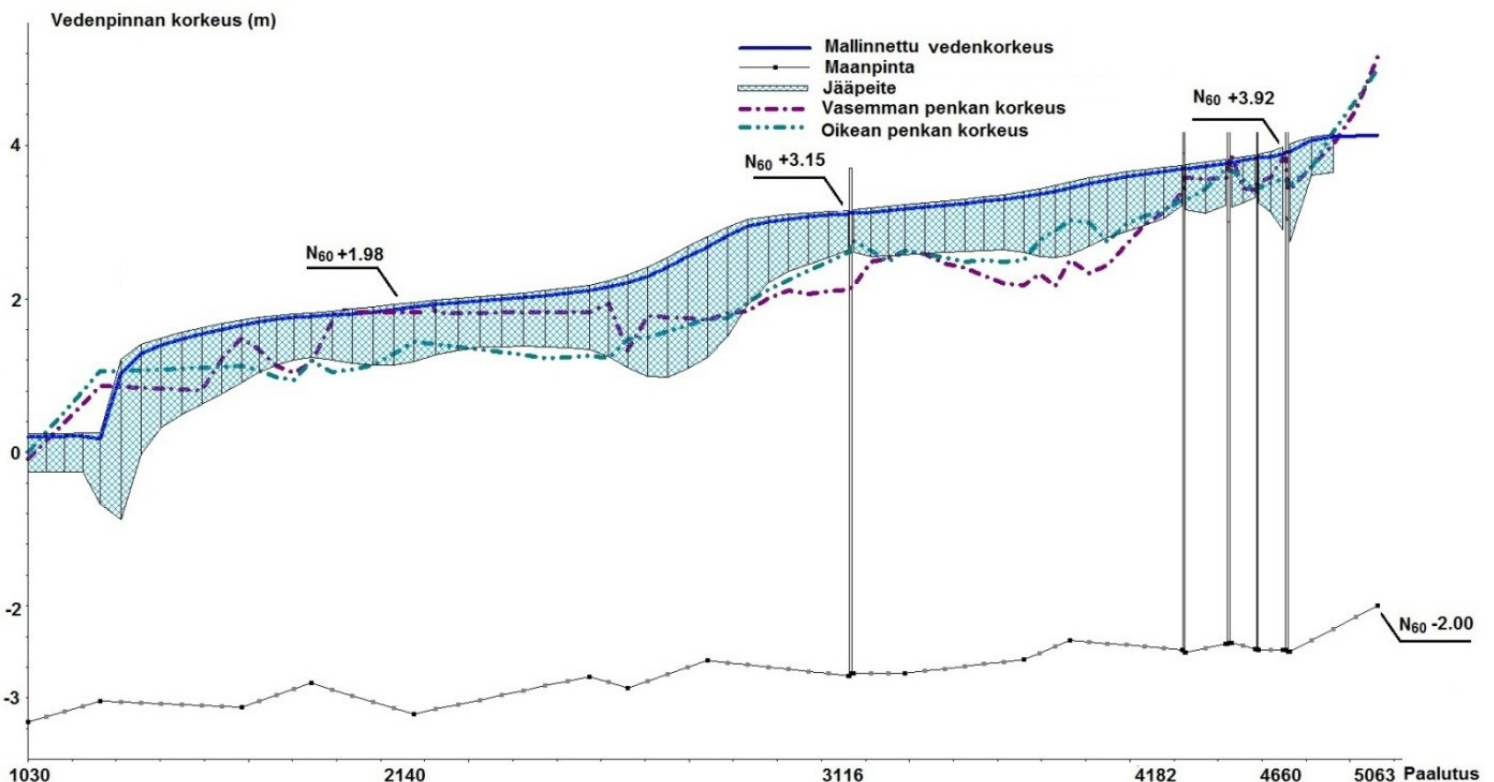
Uskelanjoki virtaa Salon keskusta-alueen läpi uomassa, jonka reunaluiskat on suurilta osin tuettu puu- tai betonipalkeilla ja osaa uoman reunasta käytetään venepaikkoina. Keskusta-alueella penkereitten rakentaminen ei ole mahdollista koko alueen läpi tilan puutteen takia eivätkä korotetut penkereet sopisi kaupunkikuvaan. Korotettaessa penkereet koko alueen läpi jouduttaisiin myös tieliikenteen väyliä korottamaan, jotta kulku joen yli olisi mahdollista. Kyseinen ratkaisu on liian kallis toteutettavaksi, joten sitä ei ole käsitelty tässä työssä. Kuvassa 20 on esitetty joen penkkojen nykyinen korkeustaso verrattuna vedenpinnankorkeuteen nykytilassa, kun jääpato muodostuisi koko tarkasteltavan uomaosuuden pituiseksi.

Mahdollisten penkereitten rakentaminen rajoittuisi Halikonlahdelta Sokerinsillalle asti ja ne pitäisi rakentaa +0,2 m arvioitua vedenpinnantasoa korkeammiksi. Penkereitten korottaminen joen lähi alueilla merkitsee myös hyvin suurella todennäköisyydellä korkeampia tulvavedenkorkeuksia, sillä joen virtauskapasiteetti pienenee, kun virtausta ei enää tapahdu tulva-alueilla. Jäälauttojen luontainen poistuminen vähentyy myös penkereiden rakentamisen vaikutuksesta.

Vahinkoarviointi mitoitustulvassa

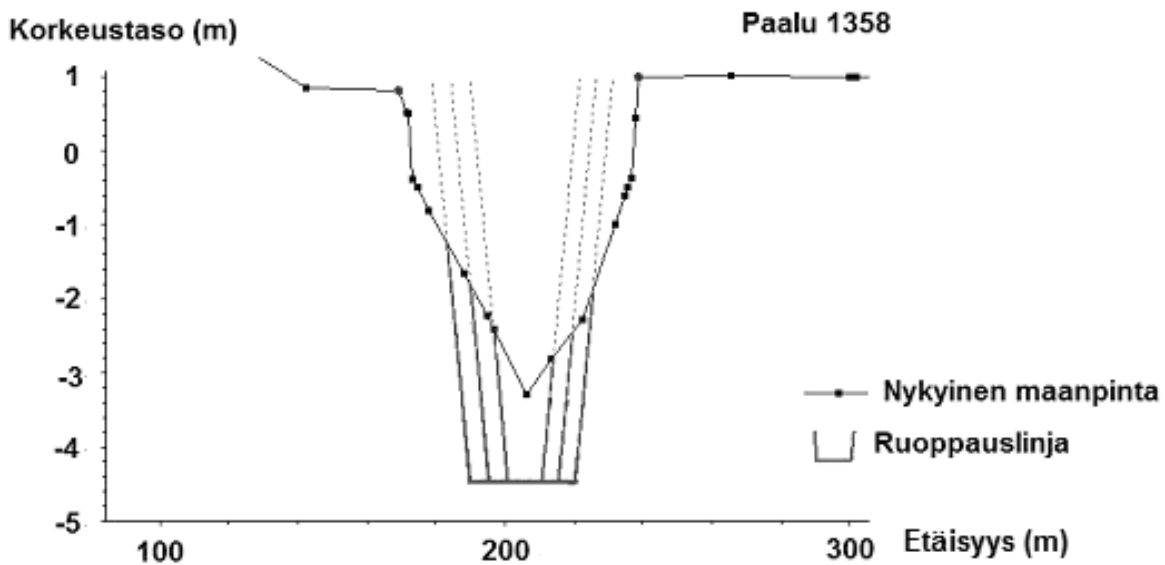
Pengerryksellä ei pystytä estämään tulvaveden pääsyä kaupunki alueelle, koska pengerryksen korottaminen keskusta-alueella ei ole teknis-taloudellisesti mahdollista. Mitoitustulvatilanteessa vahingot ovat yhtä suuret kuin nykytilassa, noin 21 730 000 €. Avovesitulvatilanteissa penkereistä on hyötyä, mutta niitä ei ole tarkasteltu tässä työssä. Myös pienemmissä jääpatotulvatilanteissa penkereistä on hyötyä ja niitä tarkastellaan myöhemmin yhdessä jäänpidätysrakennelmien kanssa.

Kuva 20. Joen uoman nykyinen korkeustaso sekä mallinnettu vedenkorkeus nykytilanteessa mitoitusvirtaamalla.



Uoman ruoppaus

Ruoppauksella pystytään lisäämään uoman poikkipinta-alaa, mikä lisää sen virtauskapasiteettia. Mallinnuksessa ruoppausvaihtoehtoja tarkasteltiin kolmella eri pituudella ja leveydellä. Ruoppaus mallinnettiin siten, että jokiuomaa syvennettiin yksi metri koko ruopattavalta matkalta ja maata poistettiin 10 m, 20 m tai 30 m levyisenä kaistaleena seinien kaltevuuksien ollessa 1:2. Uoman ruoppauksen jälkeen uusille vesipinnoille annettiin manningin-kertoimeksi $n=0,035$, joka vastaa uomassa tätä ennen käytettyä manningin-kertoimen arvoa. Kuvassa 21 on esitetty uoman poikkileikkaus paalulta 1358 ja mallinnuksessa toteutetut ruoppaukset 10-, 20- ja 30 metrin levyisinä.



Kuva 21. Jokiuomassa mallinnetut ruoppaukset paalulla 1358. Kapein ruoppauslinja on 10 m levyinen ja levein 30m levyinen. Jokiuomaa syvennettiin mallinnetuissa ruoppauksissa yksi metri koko ruopattavalta paaluväliltä.

Ruoppauksen vaikutusta vedenkorkeuteen mallinnettiin paaluväleillä 1030-2468, 1030-3066 ja 1030-5062. Ensimmäinen ruoppausvaihtoehto kattaa ruoppauksen suistoalueelta meriniitynteollisuusalueelle ja ruopattava pituus on 1438 m. Toinen vaihtoehto on suistoalueelta Sokerinsillalle asti ja ruoppauksen pituus 2036 m ja viimeinen vaihtoehto on jokiuoman ruoppaus suistoalueelta tarkastellun uomaosuuden loppuun asti, eli melkein Moisionkosken kävelysillalle asti jolloin ruoppauksen pituus on 4032 m. Mallinnuksessa huomattiin, että ruoppauksella ei ole merkitystä vedenpinnantasoon, jos jääpato muodostuu pidemmälle kuin ruoppaus on suoritettu. Tällöin vedenkorkeudet laskevat ruopatulla osuudella, mutta nousevat takaisin tasolle, jossa ne olivat ennen ruoppausta heti kun ruopattu joenuoma loppuu. Mallinnuksessa huomattiin myös, etteivät ruoppausleveydet 10 m ja 20 m alentaneet vedenpintaa riittävästi mitoitustulva tilanteessa. Ainoastaan tekemällä ruoppaus 30 m levyisenä suistoalueelta Moisionkoskelle asti pystytään vedenpintaa laskemaan niin ettei se tulvi Salon keskusta-alueelle ja Meriniityn teollisuusalueelle mitoitustulvatilanteessa. Kuvassa 22 on esitetty mallinnettu vedenkorkeus ruoppauksen jälkeen, kun se on tehty 30 m levyisenä koko tarkasteltavalle uomaosuudelle mitoitustulvatilanteessa. Mallinnuksessa saatu jään määrä jääpadossa oli 184 000 m³.

Vahinkoarviointi mitoitustulvassa

Suistoalueelta Moisionkoskelle 30 m levyisenä toteutetun ruoppauksen jälkeen tulvavedet eivät enää aiheuta vahinkoa, sillä mitoitustulva ei enää leviä maa-alueille.

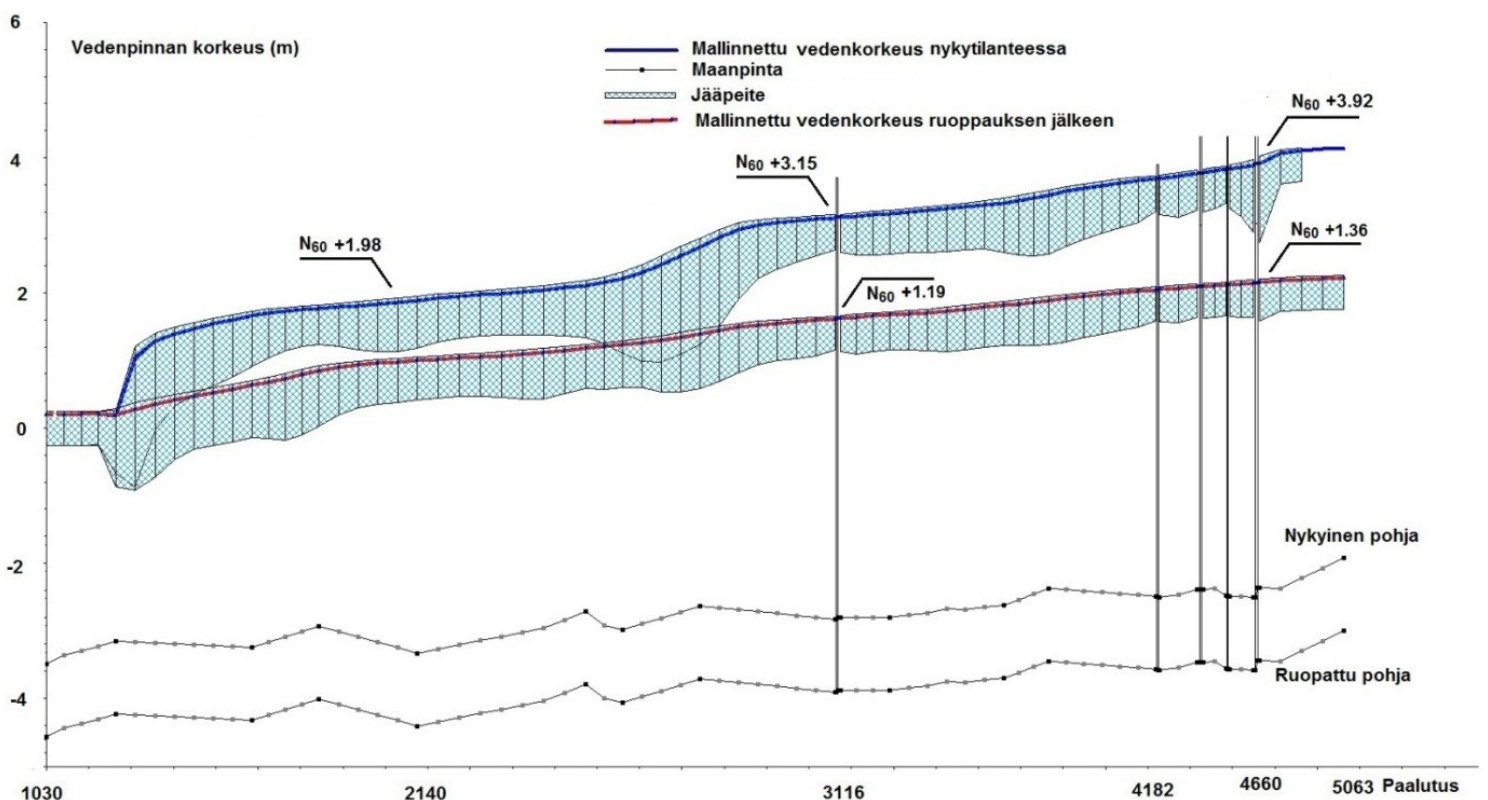
Kustannukset

Suoritettaessa ruoppaus 30 m levyisenä syventäen uoma yksi metri koko ruopattavalta matkalta suistoalueelta Moisionkoskelle, eli 4032 metrin matkan, syntyy ruopattavaa massaa 498 000 kiintoteoreettista kuutiometriä (ktr m³). Ruoppauksen kustannuksissa merkittävä tekijä on ruopattavan massan ominaisuudet muun muassa haitallisten aineiden pitoisuudet sekä kaivuvastus. Ruoppausmassan ominaisuudet vaikuttavat myös valittavaan ruoppausmenetelmään. Kustannuksiin vaikuttaa myös läjityspaikkojen sijainti ruoppauskohteesta. Tässä työssä ruoppauksen kustannuksia on arvioitu Tulvasuojeluvaihtoehtojen edullisuusvertailu - esimerkkitapauksena Pori raportin mukaisesti, jolloin ruoppauskustannukset määräytyvät vain ruopattavien massojen sekä läjityspaikkojen etäisyyden funktiona kaavan 2 mukaan:

$$K = 5,5 + 2,33 L \quad (2)$$

missä K on imuruoppauksen yksikkökustannus (€ /ktr m³), ja L ruoppauskohdan ja läjitysalueen välinen etäisyys kilometreinä. Mahdollisia läjitysalueita on joensuistossa Halikonlahdelle joen molemmin puolin, jonne on keskimäärin 2 km matka, jolloin imuruoppauksen yksikkökustannukseksi saadaan noin 10,2 €/ktr m³. Täten ruoppauksen yhteiskustannukseksi saadaan 5 079 000 € ruopattavan massan ollessa 498 000 ktr m³. Ruoppauskustannusten lisäksi ruoppauksesta aiheutuu vielä suunnittelu- ja tutkimuskustannuksia, läjitysalueiden perustamis- ja kunnossapito sekä mahdollisia maisemointikustannuksia. Näiden kustannusten on arvioitu olevan 25 % edelle mainitusta summasta, joten arvioiduksi kokonaiskustannukseksi ruoppaukselle saadaan noin 6 350 000€.

Kuva 22. Mallinnetut tulvavedenkorkeudet mitoitustulvalla, kun ruoppaus suoritettu paaluvälillä 1030-5062 30 metrin levyisenä.

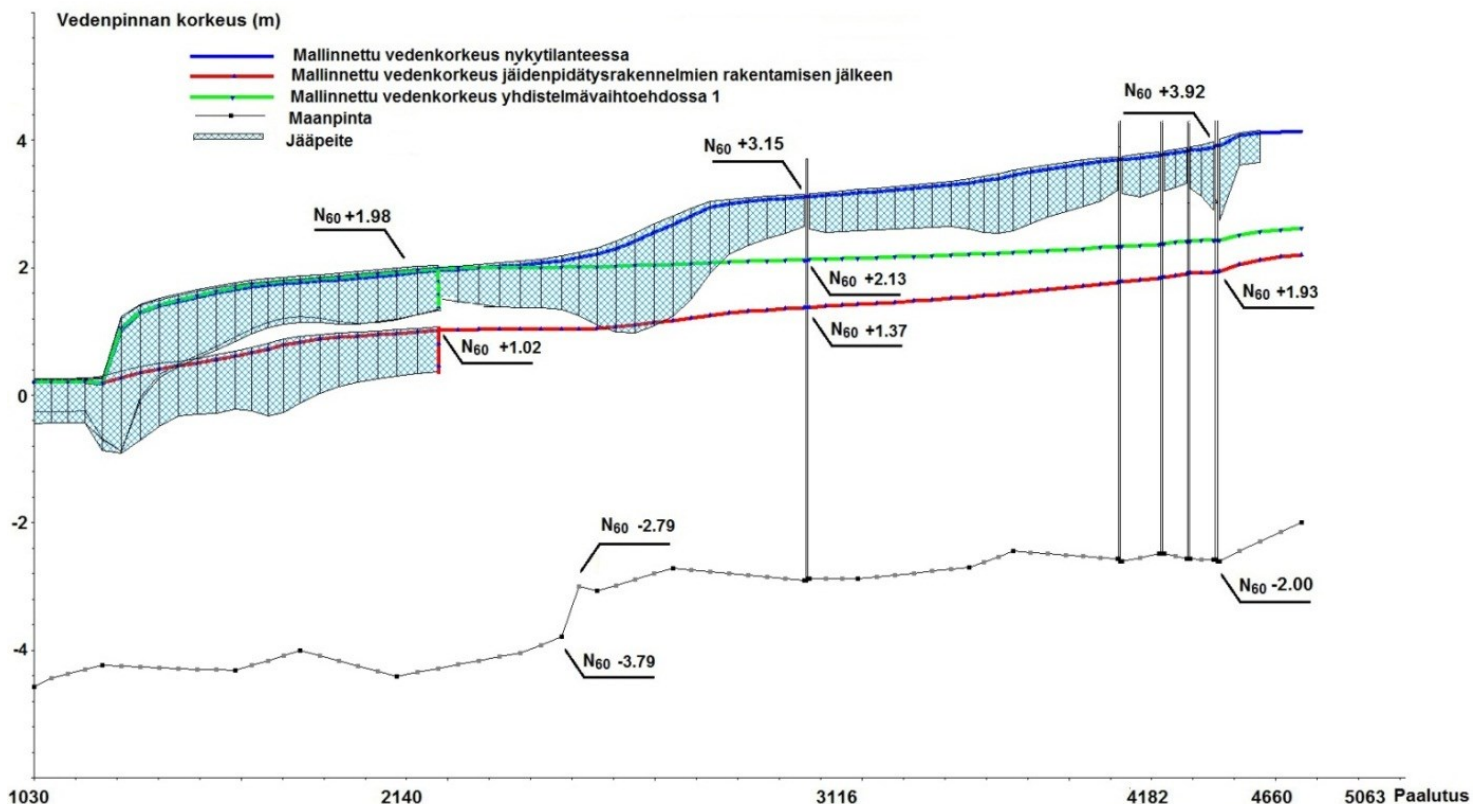


Jäänpidätysrakennelmat + ruoppaus

Ensimmäisessä yhdistelmävaihtoehdossa tehdään jäänpidätysrakennelmat sekä uoma ruopataan. Jäidenpidätysrakennelmien on ajateltu pidättävän keskusta-alueen yläpuolisia jäämääriä kuten aiemmin on mainittu, jolloin jääpato muodostuu paaluvälille 1276-2221. Mallinnetut ruoppausvaihtoehdot on suoritettu 10 m, 20 m ja 30 m levyisinä samoille paaluväleille, eli ruoppausta on suoritettu suistoalueelta vaihtoehdossa yksi Meriniitynteollisuusalueelle asti vaihtoehdossa kaksi sokerinsillalle asti ja viimeisessä vaihtoehdossa Moisionkoskeen asti. Mallinnuksessa tarkasteltiin kaikkia 6 vaihtoehtoa ja todettiin, että 30 m levyisenä tehty lyhyin ruoppausvaihtoehto riitti vahinkojen välttämiseksi mitoitustulvatilanteessa. Kuvassa 23 on esitetty mallinnuksessa saadut vedenkorkeudet kyseiselle yhdistelmävaihtoehdolle ja sen vedenkorkeuksia on verrattu pelkkään jäidenpidätysrakennelmien rakentamiseen sekä nykytilanteeseen.

Ruoppauksella ja jäidenpidätyksellä pystytään vedenpinnankorkeutta vähentämään pelkästä jäidenpidätysrakennelmien rakentamisesta noin 0,5 metrillä joen alkupäässä ja 0,4m Sokerinsillan kohdalla, jolloin tulvasvesi ei enää nouse maa-alueille Meriniityn teollisuusalueelle. Nykytilaan verrattuna näillä menetelmillä pystytään vedenpinnankorkeutta laskemaan vedenpinnankorkeudesta $N_{60}+3,15$ m arvoon $N_{60}+1,37$ Sokerinsillan kohdalla. Tämä tarkoittaa noin 1,8 m vedenpinnankorkeuden vähenemistä, joka estää tulvimisen Meriniityn teollisuusalueelle.

Kuva 23. Mallinnettu vedenkorkeus mitoitustulvalla, kun ruoppaus on suoritettu 30 m levyisenä ja 1438 m pituisena paaluvälillä 1030-2468 sekä jäänpidätysrakennelmat ovat vähentäneet keskusta-alueelle tulevaa jään määrää.



Vahinkoarviointi mitoitustulvassa

Suoritettaessa ruoppaus 30 m levyisenä paaluvälillä 1030-2468 ja rakentamalla jäidenpidätysrakennelmia yläjuoksuun tulvavesi ei enää nouse meriniityn teollisuusalueelle eikä keskusta-alueelle, jolloin vahingoilta vältytään.

Kustannukset

Kustannustehokkain ratkaisu on suorittaa ruoppaus mahdollisimman pienenä, sillä mallinnuksessa todettiin sen riittävän estämään veden nousun tulvavedenkorkeuksiin. Ruoppaus suoritetaan täten paaluvälillä 10306-2468 30 m levyisenä syventäen uomaan yhden metrin koko ruopattavalta matkalta seinien kaltevuuksien ollessa 1:2. Ruoppausmassaa syntyy 210 000 ktr m³, mikä on mahdollista läjittää Halikonlahdelle joen molemmin puolin. Ruoppauskohdan ja läjityspaikan etäisyyden ollessa keskimäärin 750 m saadaan kaavan (2) mukaisesti imuruoppauksen yksikköhinnaksi 7,25 € / ktr m³. Täten ruoppauksen kustannukseksi saadaan 1 522 000 € ja siihen lisäämällä yleiskulut, jotka ovat 25 % saadaan ruoppauksen kokonaiskustannukseksi 1 900 000€. Jäidenpidätysrakennelmien kustannukseksi on arvioitu 545 000 €, jolloin yhdistelmävaihtoehdon kokonaiskustannukseksi saadaan 2 445 000 €.

Jäidenpidätysrakennelmat + pengerrys

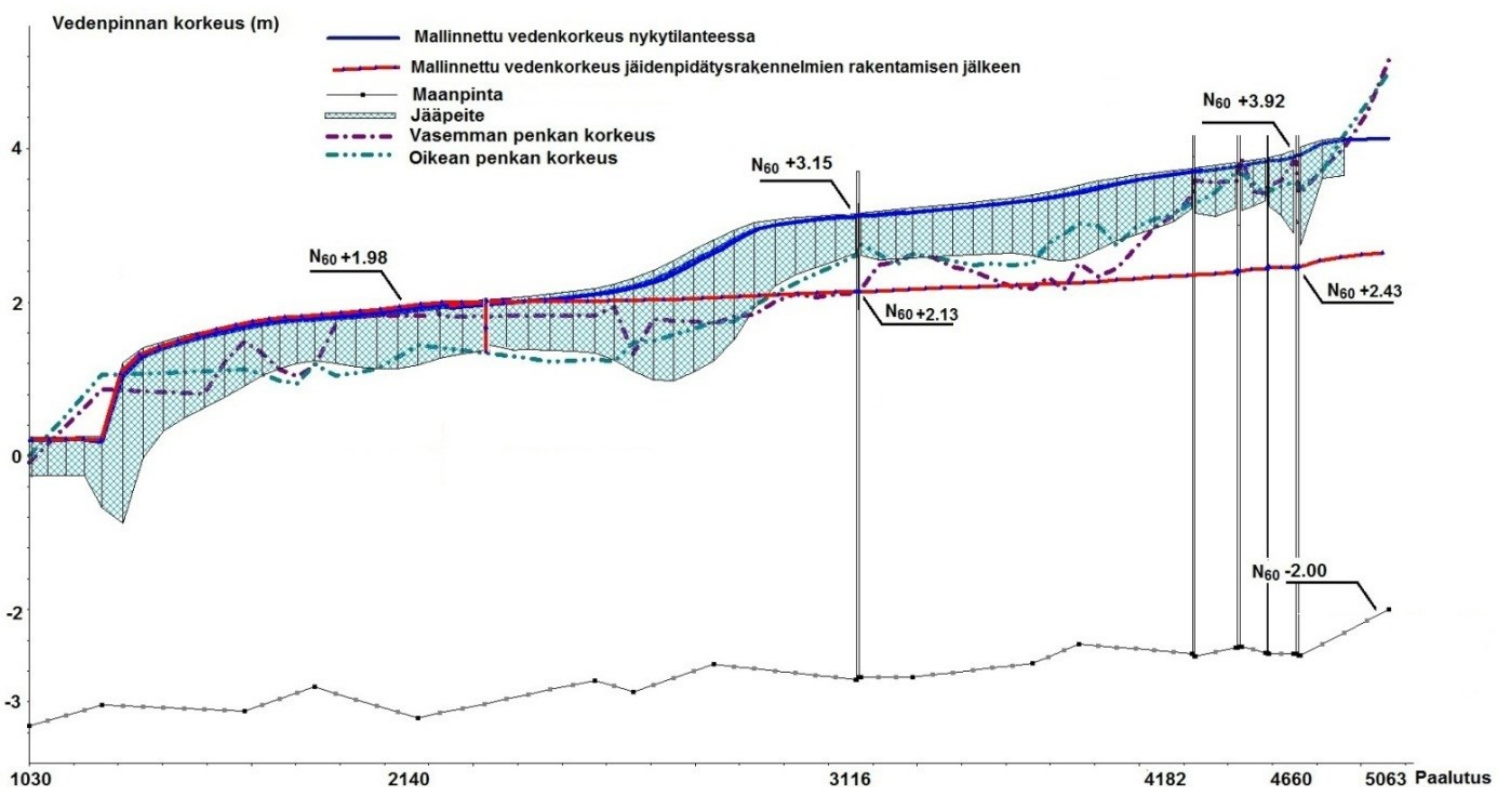
Toisessa yhdistelmävaihtoehdossa jokiuomaan rakennetaan jäidenpidätysrakennelmat sekä omaa pengertään Meriniityn teollisuusalueen kohdalta. Jäidenpidätysrakennelmien on ajateltu pidättävän keskusta-alueen yläpuolisia jäämääriä kuten aiemmin on mainittu, jolloin Moisioskoskesta alavirtaan päin olevat jäämassat muodostavat jääpadon paaluvälille 1276-2221. Kuvassa 24 on esitetty mallinnettu vedenkorkeus jäidenpidätysrakennelmien rakentamisen jälkeen ja uoman penkereitten nykyinen korkeustaso.

Penkereitä voidaan ajatella korotettavaksi Meriniityn teollisuusalueella uoman alusta aina Sokerinsillalle asti paaluvälillä 1900-3105. Penkereet on rakennettava +0,2 m mallinnettua vedenpinnantasoa korkeammiksi. Meriniitynteollisuusalueella on mm. telakkatoimintaa, joka saattaa rajoittaa penkereitten rakentamista. Telakka-alueille voidaan kuitenkin rakentaa tilapäiset tulvasuojelurakenteet tulvan ajaksi.

Vahinkoarviointi mitoitustulvassa

Jäidenpidätysrakennelmien rakentamisen ja penkereitten korottamisen Halikonlahdelta Sokerinsillalle asti +0,2 m mallinnetun tulvavedenkorkeuden yli estää tulvaveden nousun mitoitustulvalla maa-alueille ja tulvasvesi ei näin ollen aiheuta vahinkoa rakennuksille.

Kuva 24. Mallinnettu vedenkorkeus mitoitustulvalla jäidenpidätysrakennelmien rakentamisen jälkeen sekä uoman pengerten nykyinen korkeustaso.



Kustannukset

Pengerryks on ajateltu rakennettavan paaluvälille 1900-3105, jolloin lännenpuoleisen penkereen on arvioitu olevan noin 1100 m pitkä ja itäpuoleisen penkereen noin 500 m pitkä, sillä Kärkäänmäen kohdalle pengertä ei tarvitse rakentaa maastonmuotojen takia. Kuvassa 25 on esitetty pengerten sijoittuminen Meriniityn teollisuusalueelle uoman itä- ja länsipuolelle. Yhteensä pengertä tulee rakentaa 1600 m. Penkereen rakennuskustannukset on laskettu yksikköhinnalla 400 € / m, joka vastaa Porin tulvasuojelu hankkeessa toteutettujen pengerten rakentamiskustannusten keskiarvoa. Täten penkereitten rakennuskustannukseksi saadaan noin 640 000 €. Penkereitten rakentamiskustannusten lisäksi kustannuksia syntyy suunnittelusta, työnjohdonkuluista sekä arvaamattomista kuluista joiden on arvioitu olevan 25 % rakentamiskustannuksista. Täten penkereitten hinnaksi saadaan 800 000 €. Jäidenpidätysrakennelmien rakentamiskustannuksiksi on arvioitu 545 000 €, jolloin yhdistelmävaihtoehdon kokonaiskustannukseksi saadaan 1 345 000 €.



Kuva 25. Pengerten sijoittuminen Meriniitynteollisuusalueen itä- ja länsipuolelle.

Toimenpiteiden kustannus-hyötyanalyysi

Ehdotettujen toimenpiteiden yhteiskunnallista kannattavuutta voidaan tarkastella kustannus-hyötyanalyysin avulla. Tulvavahinkojen pienentämiseksi aiemmin esitetyille ratkaisuille voidaan määritellä hyödyt, jotka syntyvät vältetyistä tulvan tuhoista, jos tulvasuojelutoimenpiteet toteutetaan. Kustannukset syntyvät kyseisten tulvasuojelu toimenpiteiden rakentamisesta. Nettonykyarvon (NPV, Net Present Value) laskemiseen voidaan käyttää Boardmanin et al. (2001) kaavaa, joka on muunnettu hankevaihtoehtojen vertailuun soveltuvaksi kaavaksi (3):

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{d_t p}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{r_t + h_t}{(1+i)^t} \quad (3)$$

jossa i on diskonttokorko (%), t (a) on aikahorisontti, d_t (€) on vältetyt vahingot, p (%) on tulvan todennäköisyys, r_t (€) on rakentamiskustannukset vuonna t ja h_t (€) on huoltokustannukset vuonna t .

Todennäköisyytenä mallinnetuille tulvatapahtumille käytetään arvoa 1/50, joka tarkoittaa, että ne tapahtuvat välttämättä kerran 50 vuodessa. Kaavassa (3) tulvavahinkojen arvioidaan jakaantuvan tasaisesti jokaiselle vuodelle. Sillä on kuitenkin suuri merkitys nettonykyarvoon, että tapahtuuko tulvavahingot ensimmäisenä vuotena vai viimeisenä. Tätä tullaan tarkastelemaan myöhemmin herkkyysoanalyysissä. Työssä nettohyötyjen arviointi toteutetaan käyttäen hankevaihtoehtojen nettonykyarvon laskennassa diskonttokoron perusarvona neljää prosenttia ($r=0,04$) ja diskonttauksen aikahorisonttina 50 vuotta (HM treasury 2003). Laskennassa käytettävä diskonttokorkoa ei voida yksikäsitteisesti määrittää, joten tässä tutkimuksessa käytetään perusarvona neljää prosenttia. Aikahorisontti valittiin 50 vuodeksi, sillä mitoitustulva on laskettu tälle aikajaksolle. 50 vuoden ajanjakso kuvaa myös tarpeellisella tarkkuudella ehdotettujen tulvasuojeluvaihtoehtojen elinkaarta. Tarkasteltavat hyödyt nettonykyarvon laskennassa syntyvät vältetyistä tulvan tuhoista rakennuksille jokaiselle toimenpiteelle erikseen. Tarkasteltavat kustannukset eri toimenpiteille määräytyvät rakentamiskustannuksista sekä ylläpitokustannuksista. Rakentamiskustannukset ovat jokaiselle toimenpiteelle esitetty edellisissä luvuissa ja vuosittaiset ylläpitokustannukset on oletettu olevan rakentamiskustannukset jaettuna 50 vuodelle.

Nykytilassa mitoitustulvalla mallinnetut tulvavahingot olivat alueella 21 730 000 €. Jos jäidenpidätysrakennelmat toteutetaan, vahingot ovat vain 2 070 000 €, jolloin rakennelmien odotettu hyöty on näiden summien erotus eli 19 660 000 €. Kustannuksia ehdotetulle vaihtoehdolle syntyy sen rakentamiskustannuksista, joiden on arvioitu olevan 545 000 € ja vaihtoehdon ylläpitokustannuksista, joiden on arvioitu olevan 10 900 € vuodessa läpi rakennelmien aikahorisontin. Näillä arvoilla laskettu nettonykyarvo vaihtoehdon toteuttamiselle on noin 7 668 000 €.

Uoman ruoppaus vaihtoehdossa saavutetut hyödyt koostuvat mallinnetun mitoitustulvan tulvavahingoista. Uoman ruoppauksella pystytään tulviminen estämään alueella kokonaan, jolloin siitä koitua hyöty on arvioitu olevan 21 730 000 €. Ruoppauksesta aiheutuvat kustannukset on arvioitu olevan 6 350 000 € ja sen ylläpitokustannukset on laskettu olevan 127 000 € vuodessa. Näillä arvoilla laskettu toimenpiteen nettonykyarvo on noin 258 000 €.

Vaihtoehdossa, jossa suoritetaan uoman ruoppaus suistoalueelta Sokerinsillalle sekä luonnonmukaiset jäälauttojen pidätysrakennelmat, koituu hyötyjä 21 730 000 €. Ruoppauksesta aiheutuvat kustannukset on arvioitu olevan 2 445 000 € ja jäidenpidätysrakennelmien kustannukset 545 000 €, jolloin yhdistelmävaihtoehdon arvioidut kokonaiskustannukset ovat 2 445 000 €. Ylläpitokustannukset vaihtoehdolle on arvioitu

olevan 48 900 € vuodessa. Edellä esitetyillä arvoilla laskettuna yhdistelmävaihtoehdon nettonykyarvoksi saadaan noin 5 841 000 €.

Toinen yhdistelmävaihtoehto käsittää uoman pengerryksen sekä jäidenpidätysrakennelmat. Vaihtoehdolla voidaan vähentää mitoitustulvassa aiheutuvia odotettuja vahinkoja 21 730 000 €. Vaihtoehdon kustannukset muodostuvat sen kokonaisrakennuskustannuksista, jotka on arvioitu olevan 1 345 000 €, sekä vaihtoehdon ylläpitokustannuksista, jotka on arvioitu olevan 26 900 € vuodessa läpi tarkasteltavan aikahorisontin. Nettonykyarvo tälle vaihtoehdolle on 7 413 000 €. Taulukkoon 5 on koottu toimenpiteillä saavutetut hyödyt, rakentamiskustannukset, ylläpitokustannukset sekä toimenpiteiden nettonykyarvot diskontattuna 50 vuodelle.

Taulukko 5. Toimenpiteille lasketut nettonykyarvot.

Toimenpide	Saavutetut hyödyt	Rakentamiskustannukset	Ylläpitokustannukset	Nettonykyarvo
Jäidenpidätysrakennelmat	8 446 795 €	545 000 €	234 156 €	7 667 639 €
Ruoppaus	9 336 157 €	6 350 000 €	2 728 237 €	257 920 €
Jäänpidätysrakennelmat + ruoppaus	9 336 157 €	2 445 000 €	1 050 479 €	5 840 679 €
Jäänpidätysrakennelmat + pengerys	9 336 157 €	1 345 000 €	577 871 €	7 413 287 €

Hankkeiden nettonykyarvot sisältävät aina epävarmuutta, sillä laskenta kohdistuu tulevaisuuteen, jota on mahdotonta ennustaa tarkasti. Tämän vuoksi on tärkeää suorittaa herkkyyshanalyysi laskennassa käytetyille arvoille, jolloin nähdään niiden vaikutus nettonykyarvoon. Herkkyyshanalyysi suoritettiin käyttämällä osittaista herkkyyshanalyysia, jonka tarkkoja tuloksia ei kuitenkaan tarkemmin tässä julkaisussa esitellä.

Herkkyyshanalyysin tulokset osoittivat, että käsitellyistä vaihtoehdoista ruoppaus oli riskialtein. Jäiden pidätysrakennelmat osoittautuivat vähiten herkäksi muutoksille pysyen positiivisena suurillakin muutoksilla. Lyhyesti tiivistettynä voi todeta, että mitä pienemmät ylläpitokustannukset, sitä pienempi riski.

Johtopäätökset

Työssä on tarkasteltu eri vaihtoehtoja, joilla on mahdollista pienentää Uskelanjoessa Salon kaupunkialueella tapahtuvia tulvavahinkoja; jäidenpidätysrakennelmat, uoman ruoppaus, pengerrys sekä näiden yhdistelmiä. Vaihtoehtojen vaikutusta tulvavedenkorkeuksiin jääpatotulvatilanteessa mallinnettiin HEC-RAS ohjelmalla, jonka jälkeen yhteistyössä VARELY:n kanssa laadittiin mallinnetuista vedenkorkeuksista tulvavaarakartat. Tulvavaarakarttojen avulla pystyttiin arvioimaan jääpatotulvatilanteista aiheutuneet vahingot kastuneille rakennuksille. Vaihtoehtojen kannattavuutta arvioitiin tämän jälkeen kustannus-hyötyanalyysin avulla.

Mallinnuksen suorittaminen tarkasteltavalle uomaosuudelle suoritettiin HEC-RAS mallinnusohjelmalla. Mallinnuksen pohjana toimi 80 poikkileikkausta tarkastellulta uomaosuudelta. Vuoden 2011 kevään aikana kerättiin tietoa jääpatojen muodostumiskohdista, jääkannen paksuudesta sekä jääpatojen pituuksista. Näitä tietoja käytettiin myöhemmin vedenkorkeuksien mallinnuksessa. Vuoden 2011 jääpatotulvaa mallinnettiin kerätyillä tiedoilla ja huomattiin mallin kuvanneen tapahtunutta tulvatilannetta riittävällä tarkkuudella.

Työn yhtenä tavoitteena oli selvittää mahdollisten tulvasuojelutoimenpiteiden vaikutuksia tulvavedenkorkeuksiin Uskelanjoessa ja selvittää näiden vaihtoehtojen kustannukset ja hyödyt. Tutkielmassa mallinnettujen vaihtoehtojen kustannus-hyötyanalyysin tuloksista voidaan huomata, että jäidenpidätysrakennelmien rakentaminen Uskelanjokeen on huomattavasti muita vaihtoehtoja kannattavampi. Seuraavaksi parhaimmat vaihtoehdot olivat jäidenpidätysrakennelmat yhdistettynä ruoppaukseen tai pengerrykseen. Herkkyysanalyysin tuloksista voidaan arvioida, että jäidenpidätysrakennelmat ovat myös hyvin riskivapaa vaihtoehto, sillä vaihtoehdon kannattavuus pysyi positiivisena suurillakin muuttujien vaihtelulla. Jäidenpidätysrakennelmien rakentaminen ei tosin yksinään työssä tehdyn mallinnuksen mukaan riitä estämään täydellisesti mitoitustulvassa tapahtuvia vahinkoja, jolloin on perusteltua pohtia ruoppausta tai pengerrystä Meriniityn teollisuusalueella.

Jäidenpidätysrakennelmien etu on myös, ettei sen toteuttaminen sulje pois myöhemmin toteutettavaa ruoppausta tai pengerrystä. Nämä voidaan toteuttaa myöhemmin, jos ne todetaan tarpeellisiksi tai jäidenpidätysrakennelmat riittämättömiksi. Suomessa ei ole kokemusta jäidenpidätysrakennelmien toimivuudesta tai rakentamisesta, joten lisätoimenpiteet on hyvä pitää varasuunnitelmana.

Jäidenpidätysrakennelmat osoittautuivat kustannustehokkaimmaksi vaihtoehdoksi estää tulvavedenkorkeuden nousu maa-alueille. Rakennelmien toteuttaminen työssä esitettyihin koskiin kuitenkin lisäselvityksiä koskien pohjaominaisuuksista sekä tarkemmat suunnitelmat rakentamisesta ja työn toteutuksesta. Jäidenpidätysrakennelmien rakentaminen voidaan yhdistää Uskelanjoessa samanaikaisesti tehtävään kalataloudelliseen kunnostukseen, jolloin toimenpiteiden hyötyjä ja kustannuksia saadaan jaettua. Yhdistelmävaihtoehdoissa tulvavahinkoja Meriniityn teollisuusalueella ei mallinnuksen mukaan enää synny. Vaihtoehtojen tarkempi vertailu vaatii kuitenkin lisäselvityksiä, joissa niiden toteutumisedellytykset ja kustannukset tarkentuvat.

HEC-RAS ohjelmalla suoritettuun vedenpinnankorkeuden mallinnukseen liittyy omat epävarmuustekijänsä, jotka kumuloituvat prosessin edetessä tulvavahinkojen arviointiin tulvavaarakartoista. Vaihtoehtojen toteuttamiskustannukset ilman täsmällisiä massamääriä sekä suunnitelmia ovat myös vain arvioita, jolloin epävarmuus lisääntyy. Tämä on otettava huomioon päätöksiä tehtäessä. Tutkielmassa ei ole myöskään otettu huomioon hyötyjä, joita ruoppauksesta sekä pengerryksestä on mahdollista saada muissa kuin jääpatotulvatilanteissa.

Lähdeluettelo

- 620/2010. Laki tulvariskien hallinnasta 24.6.2010.
- 659/2010. Valtioneuvoston asetus tulvariskien hallinnasta 1.7.2010.
- 2007/60/EC. Directive on the Assessment and Management of Flood Risks 23.10.2007.
- Beltaos, S. 1995. River Ice Jams. Colorado, USA: Water Resources Publications, LLC. 253 s. ISBN 0-918334-97-X.
- Beltaos, S. 2001. Hydraulic Roughness of Breakup Ice Jams. Journal of Hydraulic Engineering. [Verkkolehti]. Vol. 127: 8. S. 650-656. [Viitattu 25.1.2012]. Saatavissa: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2001\)127:8\(650\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:8(650)).
- Beltaos, S. 2008. Progress in the Study and Management of River Ice Jams. Cold Regions Science and Technology. [Verkkolehti]. Vol. 51:1. S. 2–19. [Viitattu 18.11.2011]. Saatavissa: DOI:10.1016/j.coldregions.2007.09.001. ISSN: 0165232X.
- Boardman, B. & Greenberg, D. & Vining, A. & Weimer, D. 2001. Cost Benefit Analysis – Concepts and Practice. 2. Paines. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall Inc. 526 s. ISBN-10 0130871788.
- Brunner, G. 2002. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Version 3.1. [Verkkojulkaisu]. Davis, California: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 350 s. [Viitattu 14.12.2011]. Saatavissa: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documents/hydrref/>.
- Estrela, T. & Menéndez, M. & Dimas, M. & Marcuello, C. & Rees, G. & Cole, G. & Weber, K. & Grath, J. & Leonard, J. & Ovensen, N.B. & Fehér, J. & Lack, T.J. & Thyssen, N. 2001. Sustainable Water Use in Europe - Part 3: Extreme Hydrological Events: Floods and Droughts. EEA Environmental Issue Report No 21. [Verkkojulkaisu]. Luxemburg: Publications Office of the European Union. 84 s. [Viitattu 11.1.2012]. Saatavissa: http://www.eea.europa.eu/publications/Environmental_Issues_No.../file.
- Hertta 2012. Ympäristöhallinnon tietojärjestelmä.
- HM Treasury. 2003. Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government. London: TSO. [Viitattu 6.1.2012]. Saatavissa: http://www.hm-treasury.gov.uk/datagreenbook_index.htm
- Huokuna, M. 2011. Haastattelu 20.9.2011.
- Kaatra, K. & Hanski, M. & Hurmeranta, U. & Madekivi, O. & Nyroos, H. & Paunila, J. & Routti-Hietala, N. & Ruuska, R. & Salila, J. & Savea-Nukala, T. & Tynkkynen, A. & Ylitalo, J. & Kempainen, P. & Rotko, P. 2009. Tulvariskityöryhmän raportti. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 82s. [Viitattu 6.1.2012]. Saatavissa: <http://www.mmm.fi/fi/index/julkaisut/tyoryhmuistiot.html>.
- Koskinen, M. (toim.). 2006. Porin tulvat – Hallittuja riskejä? Suomen Ympäristö 19/2006. [Verkkojulkaisu]. Kokemäki: Satakunnan Painotuote Oy. 55 s. [Viitattu 5.11.2011]. Saatavissa: <http://ymparisto.fi/download.asp?contentid=54479&lan=fi>. ISSN 1238-7312.
- Lever, J. & Gooch G. 2007. Assessing the Performance of a Sloped-Block Ice-Control Structure. Journal of Cold Regions Engineering. [Verkkolehti]. Vol. 21: 1. S. 19-39. [Viitattu 3.1.2012]. Saatavissa: DOI 10.1061. ISSN 0887-381X.
- Lonka, H. & Nikula, J. 2008. Maankäyttö ja kuntatekninen suunnittelu taajamien tulvariskien hallinnassa. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2008. [Verkkojulkaisu]. Kouvola: Kopijyvä Oy. 77 s. [Viitattu 8.10.2011]. Saatavissa: <http://ymparisto.fi/download.asp?contentid=85738&lan=fi>. ISSN 1796-1815.
- Merz, B. & Kreibich H. & Schwarze R. & Thieken A. 2010. Assessment of Economic Flood Damage. Natural Hazards Earth System Sciences. [Verkkolehti]. Vol 10: 8. S. 1697-1724. [Viitattu 10.10.2011]. Saatavissa: <http://nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/1697/2010>. DOI:10.5194.

- Merz , B., Kreibich, H., Shwarze, R. & Thieken. A. 2010. Review Article: Assessment of Economic Flood Damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. [Verkkolehti].Vol. 10. S. 1697-2010. [Viitattu 16.10.2011]. Saatavissa: <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/1697/2010/nhess-10-1697-2010.pdf>.
- Ollila, M. & Virta, H. & Hyvärinen, V. 2000. Suurtulvaselvitys, Arvio mahdollisen suurtulvan aiheuttamista vahingoista Suomessa. Suomen ympäristö 441. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 138 s. [Viitattu 2.2.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=13329&lan=fi>. ISSN 1238-7312.
- Saarinen, A. 2006. Virtavesien kunnostukset Uudellamaalla ja Itä-Uudellamaalla -tiedustelut sidosryhmille 1996 ja 2004. Kala- ja riistahallinnon julkaisuja 78/2006. [Verkkojulkaisu] Helsinki: Painosektori Oy. 88 s. [Viitattu 20.2.2012] Saatavissa: <http://www.te-keskus.fi/Public/?nodeid=10706&area=7651&lang=1>. ISSN 1236-7222.
- Suoknuutti, J. 2009. Urpalajokialuea lohijoeksi rt alustava työselvitys. [Verkkojulkaisu] Urpalajokialue lohijoeksi ry. 16 s. [Viitattu 20.2.2012] Saatavissa: www.urpalanjoki.suntuubi.com/datafiles/userfiles//kotisivu.tiedosto.pdf.
- Tani, M. & Heikkilä, A. & Piipari, T. & Haikola, K. & Järvelä, T. 2006. Työsuojelu jää- ja hydepatojen torjunnassa. Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2006. [Verkkojulkaisu]. Helsinki. [Viitattu 15.12.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=60893&lan=fi>.
- Timonen, R. & Ruuska, R. & Suihkonen, K. & Taipale, P. & Ollila, M. & Kouvalainen, S. & Savea-Nukala, T. & Maunula, M. & Vähäsöyrinki, E. & Hanski, M. 2003. Suurtulvatyöryhmän loppuraportti. Työryhmämuistio MMM 2003:6. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 126 s. [Viitattu 8.2.2012]. Saatavissa: http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2003/tr2003_6.pdf.
- Tuthill A. & Lever J. 2006. Design of Breakup Ice Control Structures. ERDC/CRREL Report TR-06-07. [Verkkojulkaisu]. Hanover, New Hampshire: Cold Regions Research and Engineering Laboratory, U.S Army Engineer Research and Development Center. 43 s. [Viitattu 23.1.2012]. Saatavissa: <http://www.crrel.usace.army.mil/library/technicalreports/TR06-7.pdf>.
- Verta, O-M. 2012. Muistio. Jätteen lähtöön varautuminen Salon joessa 9.3.2012.
- Virtanen, P. 2011. Haastattelu. 10.8.2011.
- Wehrli, A. & Jol, A. 2010. Mapping the Impacts of Natural Hazards and Technological Accidents in Europe. EEA Technical Report No 13/2010. [Verkkojulkaisu]. Luxemburg: Publications Office of the European Union. 146s. [Viitattu 11.1.2012]. Saatavissa: <http://www.eea.europa.eu/publications/mapping-the-impacts-of-natural>. ISSN 1725-2237.
- Zufelt, J. 2005. Modeling Ice Jams Using HEC-RAS: The Three Creeks Project. CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment 13th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. [Verkkojulkaisu]. Hanover, New Hampshire, USA. 15.-16.9 2005. 19 s. [Viitattu 23.1.2012]. Saatavissa: http://cripe.civil.ualberta.ca/Downloads/13th_Workshop/Zufelt-2005.pdf.

KUVAILEHTI

Julkaisusarjan nimi ja numero Raportteja 102/2013				
Vastuualue Ympäristö ja luonnonvarat				
Tekijät Jussi Nelimarkka Lauri Ahopelto (toim.)		Julkaisuaika Lokakuu 2013		
		Kustantaja Julkaisija Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
		Hankkeen rahoittaja toimeksiantaja Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus sekä Salon kaupunki		
Julkaisun nimi Salon keskusta-alueen tulvasuojelu Tulvasuojelutoimenpiteiden mitoitus ja arviointi				
Tiivistelmä <p>Uskelanjoki virtaa Salon kaupungin läpi ja varsinkin jääpato tulvatilanteissa tulvavedenkorkeudet uhkaavat nousta maa-alueille. Tässä työssä tutkittiin valittujen tulvasuojelutoimenpiteiden vaikutuksia tulvavedenkorkeuksiin Uskelanjoessa sekä Salon kaupungin keskusta-alueella. Tavoitteena oli löytää Uskelanjoen tulvimisen ehkäisyyn kustannustehokas ratkaisu.</p> <p>Työssä mallinnettiin Uskelanjoen vedenkorkeuksia yksidimensionaalisesti käyttäen HEC-RAS -mallia. Mallinnus suoritettiin mitoitustulvalla tulvasuojelutoimenpiteille, jotka olivat jäidenpidätysrakennelmien rakentaminen, ruoppaus, pengerrys sekä näiden vaihtoehtojen yhdistelmät. Mallinnuksesta saatujen tulvavedenkorkeuksien avulla laadittiin tarkastellulta uomaosuudelta tulvavaarakartat sekä tulvavahinkoarviot. Näiden tietojen pohjalta voitiin vaihtoehtojen hyötyjä vertailla käyttämällä kustannus-hyötyanalyysia.</p> <p>Kustannus-hyötyanalyysin tuloksista havaittiin, että jäidenpidätysrakennelmat osoittautuivat parhaaksi tulvasuojeluvaihtoehdoksi Uskelanjoessa. Muutkin työssä tutkitut vaihtoehdot osoittautuivat kannattaviksi. Epävarmuuden kumuloituminen vedenkorkeuksien mallinnuksesta hyötyjen ja haittojen arviointiin luo oman epävarmuutensa tässä työssä laskettuihin arvoihin. Tätä epävarmuutta on tutkittu työssä käyttämällä herkkyysanalyysia. Herkkyysanalyysin tuloksia tarkastelemalla jäidenpidätysrakennelmien rakentaminen osoittautui kaikkein riskivapaimmaksi vaihtoehdoksi Uskelanjoen tulvasuojelussa</p>				
Asiasanat (YSA:n mukaan) Tulvasuojelu, kustannus-hyötyanalyysi, mallintaminen, Uskelanjoki, Salo				
ISBN (painettu)	ISBN (PDF)	ISSN-L	ISSN (painettu)	ISSN (verkkajulkaisu)
	978-952-257-885-3	2242-2846		2242-2854
www		URN	Kieli	Sivumäärä
www.ely-keskus.fi/julkaisut www.doria.fi		URN:ISBN:978-952-257-885-3	Suomi	38
Julkaisun myynti/jakaja				
Kustannuspaikka ja aika Turku 2013			Painotalo	

PRESENTATIONSBLAD

Publikationens serie och nummer Rapporter 102/2013				
Ansvarsområde Miljö och naturresurser				
Författare Jussi Nelimarkka Lauri Ahopelto (red.)		Publiceringsdatum Oktober 2013		
		Utgivare Förläggare Närings-, trafik- och miljöcentralen i Egentliga Finland		
		Projektets finansiär uppdragsgivare Närings-, trafik- och miljöcentralen i Egentliga Finland och staden Salo		
Publikationens titel Salon keskusta-alueen tulvasuojelu Tulvasuojelutoimenpiteiden mitoitus ja arviointi (Översvämningsskydd i Salo centrumområde: Dimensionering och bedömning av översvämningsskyddsåtgärder)				
Sammandrag <p>Uskelanjoki rinner genom Salo stad och i synnerhet i översvämningssituationer som beror på isproppar hotar markområden att bli översvämmade. Under detta arbete undersöktes några valda översvämningsskyddsåtgärders inverkan på översvämningssnivåerna i Uskelanjoki samt i Salo stads centrumområde. Syftet var att hitta en kostnadseffektiv lösning för att förebygga översvämningar i Uskelanjoki.</p> <p>Under arbetet beskrevs vattennivåerna i Uskelanjoki endimensionellt med hjälp av HEC-RAS-modellen. Modellen utarbetades för översvämningsskyddsåtgärder vid det dimensionerade flödet. Åtgärderna var byggande av konstruktioner som hindrar isen, muddring, invallning samt kombinationer av dessa alternativ. Med hjälp av de översvämningssnivåer som modellen gav utarbetades kartor över översvämningsshotade områden samt bedömningar av översvämningsskadorna på det granskade avsnittet av fåran. Utifrån dessa uppgifter kunde man jämföra alternativens fördelar med hjälp av en kostnadsnyttoanalys.</p> <p>Resultaten av kostnadsnyttoanalysen gav vid handen att konstruktioner för att hindra isen var det bästa översvämningsskyddsalternativet i Uskelanjoki. Även de andra undersökta alternativen visade sig lönsamma. Den kumulerade osäkerheten från modellen över vattennivåerna till bedömningen av för- och nackdelar medförde att även de bedömningar som gjordes under detta arbete blev osäkra. Denna osäkerhet har undersökts med hjälp av en känslighetsanalys. När resultaten av känslighetsanalysen granskades visade sig byggande av konstruktioner som hindrar isen vara det allra riskfriaste alternativet för översvämningsskydd i Uskelanjoki</p>				
Nyckelord (enligt Allärs) Översvämningsskydd, kostnadsnyttoanalys, modell, Uskelanjoki, Salo				
ISBN (tryckt)	ISBN (PDF)	ISSN-L	ISSN (tryckt)	ISSN (webbpublikation)
	978-952-257-885-3	2242-2846		2242-2854
WWW www.ely-centralen.fi/publikationer www.doria.fi		URN URN:ISBN:978-952-257-885-3		Språk Finska
				Sidantal 38
Beställningar				
Förläggningsort och datum Åbo 2013			Tryckeri	

DOCUMENTATION PAGE

Publication serie and number Reports 102/2013				
Publication serie and number Environment and Natural Resources				
Author(s) Jussi Nelimarkka Lauri Ahopelto (red.)		Date October 2013		
		Publisher Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Southwest Finland		
		Financier/commissioner Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Southwest Finland and city of Salo		
Title of publication Salon keskusta-alueen tulvasuojelu Tulvasuojelutoimenpiteiden mitoitus ja arviointi (Flood protection methods and their effects on flood water in the central area of the city of Salo)				
Abstract <p>This master's thesis examines the effects of a number of flood protection methods on flood water levels in Uskelanjoki river and the central area of the city of Salo. The thesis was done in collaboration with the city of Salo and the Centre for Economic Development, Transport and the Environment in Southwest Finland. The objective is to find a cost efficient solution to prevent the flooding of Uskelanjoki river.</p> <p>In the thesis the Uskelanjoki water levels are modeled one-dimensionally. The modeling is carried out with a design flood for flood protection methods in Uskelanjoki river. The methods include building ice control structures, dredging, embankment and combinations of these alternatives. The flood water levels established through the modeling process were used to prepare flood hazard maps and flood damage assessments. Based on this knowledge, the advantages of the different alternatives can be compared by using cost benefit analysis.</p> <p>The cost benefit analysis revealed that the ice control structures are the best flood protection alternative for Uskelanjoki river. The other alternatives researched in the thesis produced positive net present values. The uncertainties in the modeling of water levels affect the values calculated. This uncertainty was examined by using sensitivity analysis. The assessment of the results of the sensitivity analysis suggested that building ice control structures is the most risk-free alternative in the flood protection of Uskelanjoki river.</p>				
Keywords Ice jam, ice jam flood, cost benefit analysis, ice control structure, flood protection, modeling, Uskelanjoki, Salo				
ISBN (print)	ISBN (PDF) 978-952-257-885-3	ISSN-L 2242-2846	ISSN (print)	ISSN (online) 2242-2854
www www.ely-keskus.fi/julkaisut www.doria.fi		URN URN:ISBN:978-952-257-885-3		Language Finnish
Number of pages 38				
For sale at/distributor				
Place of publication and date Turku 2013			Printing place	

RAPORTEJA 102 | 2013
SALON KESKUSTA-ALUEEN TULVASUOJELU
TULVASUOJELUTOIMENPITEIDEN MITOITUS JA ARVIOINTI

Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ISBN 978-952-257-885-3 (PDF)

ISSN-L 2242-2846

ISSN 2242-2846 (painettu)

ISSN 2242-2854 (verkkojulkaisu)

URN:ISBN:978-952-257-885-3

www.ely-keskus.fi/julkaisut | www.doria.fi/ely-keskus