

Tulvasuojeluvaihtoehtojen edullisuusvertailu - esimerkkitapauksena Pori

Teppo Linjama



LOUNAIS-SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN
RAPORTTEJA 5 | 2007

Tulvasuojeluvaihtoehtojen edullisuusvertailu

- esimerkkitapauksena Pori

Teppo Linjama

Turku 2007

Lounais-Suomen ympäristökeskus



**LOUNAIS-SUOMEN
YMPÄRISTÖKESKUS**
SYDVÄSTRA FINLANDS
MILJÖCENTRAL

LOUNAIS-SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN
RAPORTTEJA 5 | 2007
Lounais-Suomen ympäristökeskus
Vesistösuunnitteluosasto (VEO)

Taitto: Päivi Niemelä
Kuvat: Teppo Linjama, kansikuva: *Pori, Raumanjuopa, Karjaranta*
Kartat: © Genimap Oy, Lupa L4659/02
© Maanmittauslaitos, lupa nro 7/MYY/07

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Karhukopio Oy, Turku 2007

ISBN 978-952-11-2675-8 (nid.)
ISBN 978-952-11-2676-5 (PDF)
ISSN 1796-1750 (pain.)
ISSN 1796-1769 (verkköj.)

ALKUSANAT

Kokemäenjoen alaosalla sijaitseva Porin kaupunki on maamme merkittävimpiä yksittäisiä tulvariskikohteita. Tässä julkaisussa etsitään Porin tulvat –hankkeen selvitysten pohjalta Kokemäenjoen alaosalle soveltuva mahdollisimman kustannustehokas ruopausvaihtoehto. Tämän lisäksi tutustutaan nykyeurooppalaisiin tulvariskien hallintamenetelmiin, joista osa on pienin muutoksin sovellettavissa Suomen oloihin.

Julkaisu on jatkoa kesällä 2006 ilmestyneelle Porin tulvat –hankkeen loppuraportille (Suomen ympäristö 19/2006). Julkaisu perustuu suoraan Lounais-Suomen ympäristökeskuksessa vuonna 2006 tehtyyn diplomityöhön. Diplomityön ohjaaja oli vesistöinsinööri Juha-Pekka Triipponen Lounais-Suomen ympäristökeskuksesta ja valvoja professori Pertti Vakkilainen Teknillisestä korkeakoulusta. Työtä on edesauttanut lisäksi suunnitteluinsinööri Mirja Koskinen Lounais-Suomen ympäristökeskuksesta sekä useat Porin tulvat –hankkeessa mukana olleet henkilöt. Työn rahoituksesta ovat vastanneet Lounais-Suomen ympäristökeskus ja Porin kaupunki sekä Maa- ja vesitekniikan tuki ry. Tekijä kiittää lämpimästi kaikkia edellä mainittuja tahoja.

Helsingissä, toukokuussa 2007

Teppo Linjama

SISÄLLYS

I Johdanto	7
1.1 Työn taustaa	7
1.2 Työn tavoitteet	7
2 Tulvat ja tulvariskien hallinta	9
2.1 Tulvatyytit	9
2.2 Ylivirtaaman suuruuden arviointi.....	9
2.3 Tulvien vaikutukset ja niiden arviointi	10
2.3.1 Tulvavahinkojen luokittelu	10
2.3.2 Tulvavahinkojen ja -riskien arviointi.....	11
2.3.3 Tulvavahinkoihin liittyvää lainsäädäntöä.....	16
2.4 Tulvariskien hallinta	18
2.4.1 Tulvariskien hallinnan tavoitteet ja keinot.....	19
2.4.2 Tulvasuojeluprosessi.....	19
2.4.3 Tulvasuojelun kannattavuusarviointi.....	21
2.4.4 Epävarmuuden huomioiminen.....	22
3 Kokemäenjoen alaosan tulvasuojelu	23
3.1 Alueen kuvaus	23
3.1.1 Valuma-alueen ja kohdealueen hydrologia	24
3.1.2 Yhdyskuntarakenne.....	26
3.1.3 Luonnonarvot	27
3.1.4 Kalatalous	28
3.1.5 Ravinteet ja ympäristölle haitalliset aineet	29
3.1.6 Eroosio ja sedimentaatio.....	29
3.2 Aikaisemmat tulvatilanteet ja tulvasuojelutoimet.....	29
3.2.1 Tulvahistoriaa	29
3.2.2 Tehdyt tulvasuojelutoimenpiteet	31
3.3 Porin tulvariskien arviointi.....	33
3.3.1 Tulvan suuruuden arviointi.....	34
3.3.2 Mahdolliset tulvatilanteet	37
3.3.3 Tulvavahinkojen arviointi ja alueellinen jakautuminen	38
3.3.4 Tulvan leviäminen eri tilanteissa.....	40
3.4 Tulvasuojeluvaihtoehdot ja niiden vaikutusten arviointi	42
3.4.1 Ruoppausten vaikutukset	44
3.4.2 Ruoppausvaihtoehtojen vaikuttavuustarkastelu	46
3.4.3 Pengerrykset	61
3.4.4 Muu tulvasuojelu ja tulvantorjunta.....	62
3.5 Ruoppausvaihtoehtojen edullisuusvertailu.....	64
3.5.1 Käytetyt menetelmät.....	64
3.5.2 Edullisuustarkastelu.....	68
3.5.3 Mallin herkkyystarkastelu ja virhelähteet	70
3.6 Hankkeen toteutus ja haittojen minimoiminen	71

4	Pohdinnat ja johtopäätökset	72
5	Yhteenveto	74
	Lähteet.....	75
	Liitteet	78
	Kuvailulehdet	88

1 Johdanto

1.1 Työn taustaa

Tulvat ovat viime vuosikymmeninä olleet luonnonkatastrofeista tuhoisimpia. (Nedies 2006) Viime aikoina on sattunut lähes vuosittain erittäin vakavia tuhoja aiheuttaneita tulvia. Elokuussa 2002 Tonava-, Elbe- ja Vltava-joet tulvivat erittäin rajusti. Traaginen vuosi 2004 oli Amerikan hurrikaanien ja Aasian tsunamin takia ennätystuhoisa. (Munich Re Group 2005) Vuosi 2005 oli aineellisten tuhojen osalta tätäkin pahempi: yksistään hurrikaani Katrina aiheutti USA:ssa noin 125 miljardin dollarin vahingot. (Munich Re Group 2006) Taloudellisten vaikutusten lisäksi tulvilla on usein vakavia sosiaalisia vaikutuksia sekä ympäristövaikutuksia, kuten jätevesien ja muiden haitallisten aineiden vesistöön vapautumista. (European Commission 2006)

Myös Suomessa tulviin ja niiden seurauksiin on kiinnitetty viime vuosina enemmän huomiota. Alimpien rakentamiskorkeussuositusten laatimisesta vesistöjen rannoille on annettu aiempaa yhtenäisemmät ohjeet (Ollila 1999). Suurtulvaselvityksessä (Ollila ym. 2000) kartoitettiin mahdollisen erittäin poikkeuksellisen tulvan aiheuttamia vahinkoja maanlaajuisesti. Suurtulvatyöryhmän loppuraportissa (Timonen ym. 2003) tarkasteltiin erilaisia tulvariskien hallintakeinoja sekä esitettiin ehdotuksia niiden kehittämiseksi. Maa- ja metsätalousministeriön tulvavahinkotyöryhmän muistiossa (Kaatra ym. 2006) ehdotettiin muutoksia tulvavahinkoja koskevaan lainsäädäntöön. Kokonaisvaltaisempaan tulvariskien hallintaan ohjaa Euroopan unionin ns. tulvadirektiivi (Euroopan yhteisöjen komissio 2006). Yleinen trendi Euroopassa onkin ollut tulvien hallinnasta ja niiltä suojautumisesta (flood control / defence / protection) kohti tulvariskien hallintaa (flood risk management). (esim. Tunstall ym. 2004, Messner ym. 2006)

Pori on maamme merkittävimpiä yksittäisiä tulvavahingon kohteita. Loppuvuonna 2003 käynnistettiin Lounais-Suomen ympäristökeskuksen, Porin kaupungin, Suomen ympäristökeskuksen ja

Satakunnan pelastuslaitoksen yhteistyönä Porin tulvat –hanke, jonka tarkoituksena oli arvioida alueen tulvariskien hallinnan nykytilannetta sekä tehdä ehdotuksia tulvantorjuntavalmiuksien parantamiseksi. Hankkeesta julkaistiin kesällä 2006 loppuraportti, jolle tämä työ on jatkoa. Lisäksi Porin tulvat –hankkeen jatkona toteutetaan varsinaisten tulvasuojelutoimenpiteiden suunnittelu ja toteuttaminen.

1.2 Työn tavoitteet

Työn teoriaosassa luodaan katsaus eurooppalaisiin menetelmiin, joiden tavoitteena on arvioida tulvasuojelutoimenpiteiden ja koko tulvariskien hallinnan kannattavuutta. Aihe on kokonaisuudessaan varsin laaja käsittäen muun muassa tulvien harvinaisuuden ja suuruuden arvioimisen, mahdollisten tulvavahinkojen ennakkoinnin ja suuruuden arvioinnin, erilaisten tulvasuojelutoimien tarkastelun ja keskinäisen edullisuuden arvioinnin. Lisäaspektina on vielä epävarmuus, joka liittyy lähes kaikkien taloudelliseen toimintaan ja tulevaisuuden ennustamiseen. Mitään yhtenäistä, yleisesti hyväksyttyä käytäntöä tai suositusta tulvasuojelun kannattavuuden tai tulvavahinkojen arvioimiseksi ei Suomessa etenkään yhdyskunnalle aiheutuvien vahinkojen osalta ole olemassa. Tulvariskien hallinnan menetelmät ja alan suomalainen termistö ovat vasta muotoutumassa.

Työn tavoitteena on riittävän yksinkertaista, vähällä työllä toteutettavaa ja luotettavaa arviointimenetelmää apuna käyttäen löytää kustannustehokkaat keinot Kokemäenjoen alaosan tulvasuojeluun. Pyrkimyksenä on lisäksi, että kehitettävä menetelmä voitaisiin soveltaa myös muualla kuin Kokemäenjoella. Tässä työssä keskitytään etupäässä ruoppausten vaikutusten arvioimiseen. Työssä hyödynnetään soveltuvin osin yhteiskunnallista kustannus-hyötyanalyysiä, kustannus-tehokkuusanalyysiä ja monikriteerianalyysiä. Työssä pyri-

tään ottamaan eri ruoppausvaihtoehtojen kaikki merkittävimmät vaikutukset huomioon yhteiskunnallisen hyödyn kannalta. Osa vaikutuksista on vaikeasti mitattavia, ja toisaalta niiden ennustamiseen saattaa sisältyä paljon epävarmuutta. Tämän takia osa vaikutuksista on arvioitu vain sanallisesti.

2 Tulvat ja tulvariskien hallinta

2.1 Tulvatyypit

Tulvat jaetaan syntytapansa perusteella karkeasti kahteen päätyyppiin: rankkasadetulviin (flash floods) ja suurten valuma-alueiden vesistötulviin. Rankkasadetulvat ovat nopeasti alkavia, lyhytkestoisia ja melko paikallisia keskittyen taajamiin ja vuoristoisille alueille. Niitä esiintyy erityisesti Välimeren alueella, mutta myös muualla Euroopassa. Useimmiten rankkasadetulvat johtuvat voimakkaista ukkoskuuroista tai orografisista sateista. (Estrela ym. 2001) Vesistötulvat kehittyvät yleensä pitkään jatkuneiden sateiden tai lumen sulamisen seurauksena, ja ne ovat paremmin ennustettavissa kuin rankkasadetulvat. Suomessa tällaisia tulvia ovat tyypillisesti Lapin suurten jokien keväiset lumensulamistulvat.

Ollilan (1999) mukaan tulvat Suomen sisävesissä voidaan jakaa viiteen tyyppiin:

- lumensulamistulvat huhti-kesäkuussa lähes koko maassa
- rankkojen sateiden aiheuttamat tulvat erityisesti vähäjärvisillä vesistöalueilla
- runsasjärvisen vesistöalueen tulvat useiden perättäisten märkien vuosien seurauksena
- jää- ja suppopatotulvat
- rankkojen paikallisten sateiden aiheuttamat nopeasti kehittyvät tulvat etenkin taajamissa

Keski- ja Pohjois-Suomessa lähes kaikki vuotuiset ylivirtaamat johtuvat lumen sulamisesta keväällä, kun taas Etelä- ja Länsi-Suomessa voi joinakin vuosina esiintyä runsaasta sadannasta johtuvia muita kuin kevätaikaisia ylivirtaamia.

Tulvatyyppejä voidaan erotella monilla muillakin kuin edellä mainituilla tavoilla, esimerkiksi sulannasta aiheutuviin tulviin, vesisadetulviin tai näiden yhdistelmiin sekä muista seikoista johtuviin tulviin. (esim. Karvonen ym. 2004) Lisäksi voidaan mainita rakenteiden vaurioitumisesta aiheutuvat tulvat. Suomen ulkopuolella ovat yleisiä myös esi-

merkiksi vuoroveden tai myrskyn takia nousevasta merivedestä aiheutuvat tulvat. Toisaalta useat eri tulvatyypit, esimerkiksi lumensulamistulvat, vesisadetulvat ja jääpadoista aiheutuvat tulvat, voivat esiintyä samanaikaisesti.

2.2 Ylivirtaaman suuruuden arviointi

Käsitteellä tulva tarkoitetaan koko tulvatapahtumaa, kun taas ylivirtaamalla tulvatapahtuman huippuvirtaamaa, joka on yleensä virtaamakeskiarvo yhden vuorokauden ajalta. Useissa menetelmissä arvioidaan pelkästään ylivirtaaman suuruutta. Tämä antaa kuitenkin rajoitetun kuvan tulvatapahtumasta, sillä usein tarvitaan tietoa myös tulvan muista ominaisuuksista, esimerkiksi tulvan kestosta ja volyyymistä. (Yue ym. 1999, Veijalainen 2004)

Ylivirtaaman suuruuden arvioimiseen on käytössä kaksi tavallista, toisistaan poikkeavaa lähestymistapaa: todennäköisyysjakaumien käyttö ja sadantaan perustuvien menetelmien hyödyntäminen. Todennäköisyysjakaumien käyttö perustuu havaintoihin tapahtuneista ylivirtaamista, kun taas sadantaan perustuvat menetelmät käyttävät enemmän hyväksi erilaisia hydrologisia malleja. (Veijalainen 2004)

Todennäköisyysjakaumien käyttöön liittyy keskeisesti toistumisajan käsite. Toistumisaika tai toistuvuus aika tarkoittaa sitä aikaa, joka tilastollisesti keskimäärin kuluu kahden vähintään tietyn suuruisen tapahtuman, esimerkiksi ylivirtaaman, välillä. Toistumisaika ilmaistaan yleensä vuosina. Tietyn suuruisen ylivirtaaman toistumisaika ja ylivirtaaman ylittymisen todennäköisyys ovat toistensa käänteislukuja. Siten todennäköisyys, että toistumisajaltaan 100 vuotta oleva tai sitä suurempi ylivirtaama tapahtuu tietyssä vuonna, on 0,01. (Timonen ym. 2003, Veijalainen 2004)

Jakaumien käyttöön ja soveltamiseen ylivirtaaman suuruuden arvioinnissa liittyy useita oletuksia, joiden tavallisesti arvioidaan pitävän riittävän hyvin paikkansa. Näitä ovat oletus vuosittaisten ylivirtaamahavaintojen riippumattomuudesta, oletus havaintojen paikkansapitävyydestä ja havaintosarjan homogeenisyydestä sekä oletus havaintojen samasta perusjoukosta. Oletus virtaamien riippumattomuudesta ja satunnaisuudesta on yleensä oikeutettu, jos vesistöä ei säännöstellä. (Guang-Yan 1987, Veijalainen 2004) Toistuvuusanalyysi perustuu menneisyydessä tapahtuneisiin havaintoihin. Toistuvuusanalyysin käyttö sisältää siten tärkeän oletuksen siitä, että tulevaisuutta voidaan ennustaa menneisyyden perusteella. Tulvia aiheuttavien tekijöiden, kuten sademäärän, lämpötilan ja maankäytön oletetaan pysyvän samankaltaisina myös tulevaisuudessa. (Veijalainen 2004) Oletus ei yleensä pidä täysin paikkaansa, sillä tavallisesti maankäyttö muuttuu pitkän, vähintään kymmeniä vuosia kestävä havaintojakson aikana, ja lisäksi viitteitä ylivirtaamiinkin vaikuttavasta ilmastonmuutoksesta on nähtävissä. (IPCC 2001)

Ylivirtaamia analysoitaessa poimitaan suurin arvo joltakin tietyltä aikaväliltä. Tavallisesti aikaväli on yksi vuosi, ja suurimpana arvona käytetään yhden vuorokauden keskivirtaamaa. Analyysin luotettavuus heikkenee, kun havaittujen tai laskettujen arvojen lukumäärä vähenee tai kun määritetään harvinaisempien tulvien toistuvuuksia. Suomessa todennäköisyysjakaumana ylivirtaamien arvioinnissa on yleisesti käytössä Gumbelin jakauma, jota nimitetään myös I tyyppin ääriarvojakaumaksi. Gumbelin jakaumaa on yleensä sovellettu todennäköisyyspaperin, ns. Gumbelin paperin avulla. Tällöin asetetaan kaikki havainnot suuruusjärjestykseen, ja tavallisimmin ns. Weibullin kaavalla lasketaan kunkin havainnon toistumisaika T_r . Jos havaintojen logaritmi noudattaa Gumbelin jakaumaa, niistä muodostuu Gumbelin todennäköisyyspaperille piirrettynä suora. (Kuusisto 1986, Veijalainen 2004) Aikaa vievä havaintojen ja suoran käsin sovittaminen Gumbelin paperille on nykyään väistyvässä, sillä jakaumaa voidaan käyttää helposti hyväksi tilastomatematisissa tietokoneohjelmissa. Esimerkiksi ympäristöhallinnolla on ohjelma, jonka avulla Gumbelin toistuvuusanalyysin voi tehdä vaivatta havaittujen tai mallinnettujen virtaama-arvojen perusteella.

Todennäköisyysjakaumien käyttö on vakiintunut menetelmä ylivirtaamien arvioinnissa, mutta fyysikaalista perustetta menetelmän käytölle ei monestikaan ole. Lähinnä tilanne kuvastanee ylivirtaamien ja tulvan suuruuden arvioinnin monitahoisuutta sekä sitä, että vaihtoehtoista, helppo-

käyttöistä ja hyväksi havaittua menetelmää ei ole ollut käytettävissä.

Tilastollisen analyysin ohella ylivirtaamien suuruuden arvioinnissa käytetään sadantaan perustuvia menetelmiä, joiden lähtökohtana on arvioida sadannan suuruutta ja todennäköisyyttä sekä sadannan vaikutusta valuntaan sadanta-valuntamallien avulla. Käytetyimpiä sadantaan perustuvia menetelmiä ovat ns. tulvatapahtumaan perustuva analyysi, jatkuva simulointi sekä todennäköinen maksimitulva –menetelmä. Suomessa on käytetty muun muassa EXTREFLOOD-projektissa suurten ylivirtaamien arvioimiseen menetelmää, joka perustuu tulvia aiheuttavien tekijöiden kriittiseen ajoittumiseen niin, että syntyy suurin mahdollinen tulva. (Veijalainen 2004, 2005)

2.3 Tulvien vaikutukset ja niiden arviointi

Tulvilla on tavallisesti sekä hyödyllisinä että haitallisina pidettyjä vaikutuksia. Tulvat saattavat toisaalta lisätä luonnon monimuotoisuutta tai maataloussatoa, ja toisaalta heikentää niitä. Koska Suomessa suurista, hallitsemattomista tulvista aiheutuu lähes pelkästään haitallisina koettuja vaikutuksia, tulvia ja tulvien vaikutuksia pyritään yleensä vähentämään.

2.3.1 Tulvavahinkojen luokittelu

Termi tulvavahinko käsittää laajan joukon haitallisia vaikutuksia terveyteen, omaisuuteen, infrastruktuuriin, kulttuuriperintöön, ekologiin järjestelmiin, teollisuustuotantoon ja talouden kilpailukykyyn. Tulvavahingot jaetaan tavallisesti syntytapansa perusteella suoriin (direct) ja epäsuoriin (indirect) vahinkoihin. Suorat vahingot syntyvät tulvaveden välittömän vaikutuksen kautta, kun taas epäsuorat vahingot aiheutuvat fyysisten tai taloudellisten sidosten kautta esimerkiksi taloudelliseen toimintaan tai ihmisten hyvinvointiin. Tulvavahinkoja arvioitaessa on totuttu käyttämään myös jakoa aineellisiin (tangible) ja aineettomiin (intangible) vahinkoihin, so. vahinkoihin, joita on yleensä vaikea mitata rahassa. (taulukko 2.1) Lisäksi joskus käytetään tulvavahingon syntyvän perusteella jakoa ensisijaisiin (primary) vahinkoihin, jotka johtuvat itse tulvatapahtumasta, sekä toissijaisiin (secondary) vahinkoihin, jotka johtuvat tulvaa seuranneista tapahtumista. (Messner ym. 2006)

Taulukko 2.1 Esimerkki tulvavahinkojen jaottelusta (mukailtu Smith & Ward 1998, Penning-Rowsell ym. 2003 ref. Messner ym. 2006)

Vahingon muoto/ syntytapa	Arviointi		
	Suora	Aineellinen	Aineeton
		Omaisuuden fyysinen vaurio - rakennukset - irtaimisto - infrastruktuuri	- kuolonuhrit - vaikutukset terveyteen - ekologiset vahingot
Epäsuora	- teollisuustuotannon menetykset - liikenteen häiriöt - onnettomuustilanteesta aiheutuvat kustannukset	- haitat tulvanjälkeisessä elämässä ja toimimisessa - selviytyneiden lisääntynyt vaaranalttius	

Tulvien aiheuttamat vahingot jaetaan usein myös vahinkokohteiden perusteella eri tyyppisiin ja edelleen pienempiin luokkiin. (esim. Elsner ym. 2005) Tulvavahinkotyypeistä rahallisesti mitavimpia ovat yleensä rakennuksille, rakenteille ja infrastruktuurille aiheutuvat vahingot. Infrastruktuurivahingoista tavallisesti merkittävimpiä ovat tiestölle, silloille ja vesihuollolle aiheutuvat vahingot. Usein rakenteille aiheutuvista tulvavahingoista erotetaan vielä teollisuudelle aiheutuvat vahingot, jotka joissakin tulvissa muodostavat pääosan vahingoista epäsuorien kustannusten takia. Teollisuudelle tulvasta aiheutuu vahinkoa tuotannon keskeytymisen, rakenteiden ja tuotantolaitteistojen vaurioitumisen sekä tuotteiden vahingoittumisen takia. Näistä merkittävin vahinko johtuu usein tuotannon keskeytymisestä, riippuen kuitenkin teollisuuden haarasta. (vrt. Koskinen 2006)

Ympäristövahingot ovat joissakin tulvissa keskeinen vahinkotyyppi. Esimerkiksi jäteveden tai teollisuuden kemikaalien pääsy vesistöön ja maaperään voi aiheuttaa vakavia vahinkoja eri elinympäristöissä. Tulvatilanteessa runsaiden hulevesien aiheuttaessa jätevedenpuhdistamon kapasiteetin ylityksen joudutaan jätevesiä ohjauksuttamaan puhdistamattomana vesistöön. Sadevedet ja runsas virtaama vesistöissä kuitenkin lieventävät ohjauksutuksesta aiheutuvia ympäristöhaittoja. Useimmista tulvatilanteista aiheutuu jonkin verran ympäristövahinkoja.

Henkilövahinkoja tulvista aiheutuu erityisesti Aasiassa ja Amerikassa, mutta myös Etelä- ja Keski-Euroopassa. (esim. Estrela ym. 2001, Munich Re Group 2006). Suomen oloissa tulvien aiheuttamat henkilövahingot ovat kuitenkin erittäin harvinaisia, ja ne voidaan useimmiten kokonaan välttää huolehtimalla vesirakenteiden kunnosta sekä muulla tehokkaalla varautumisella.

Maataloudelle tulvista aiheutuu vahinkoja erityisesti Länsi- ja Lounais-Suomessa. Suurtulvissa maatalousvahinkojen suhteellinen osuus kokonaisvahingoista jää nykyisin kuitenkin yleensä varsin pieneksi. Messner ym. (2006) suosittavat, että maatalouden tarkemmat tulvavahinkoarviot tehtäisiin vain, jos ne luultavasti muodostavat huomattavan osan kokonaistulvavahingoista, esimerkiksi harvaan asutulla maatalousvaltaisella seudulla. Muuten maatalousvahingot voidaan lisätä kokonaisvahinkoihin jollakin yksinkertaisella tavalla, esimerkiksi tiettyinä prosentiosuutena.

Varautumis-, tulvantorjunta-, evakuointi- ja raivauskustannuksista aiheutuu erityisesti julkiselle sektorille helposti suuri menoerä. Erityisesti suurten tulvien kaikkia vaikutuksia on hyvin hankala selvittää, sillä suurtulvat vaikuttavat usein myös aluerakenteeseen sekä pitempiaikaiseen taloudelliseen aktiivisuuteen, tuottavuuteen ja hyvinvointiin.

2.3.2 Tulvavahinkojen ja -riskien arviointi

Suomessa säännöstelyn tai vedenlaadun vaikutuksia vesistön käyttöön, erityisesti virkistyskäyttöön on tutkittu melko paljon. (esim. Aittoniemi 1993, Majuri 2001) Vaikka ainakin pienemmät tulvat ja tulvavahingot ovat Suomessa suhteellisen yleisiä, ei tulvien aiheuttamien vahinkojen etukäteen arvioimiseksi kuitenkaan ole mitään yleisesti käytössä olevaa menetelmää. Myös tulvavahinkojen jälkikäteen arvioimisen periaatteet vaihtelevat suuresti riippuen arvioijasta ja menetelmästä. Asukkaalla saattaa olla täysin erilainen käsitys vahinkojen suuruudesta kuin esimerkiksi vakuutusyhtiöllä tai viranomaisella. Tulvavahinkoarvion suuruuteen vaikuttaa merkittävästi se, mitkä vahingot laskeaan tulvan aiheuttamiksi vahingoiksi. Usein va-

hingoiksi lasketaan vain suorat aineelliset vahingot ja joskus lisäksi epäsuorat aineelliset vahingot. Tulvavahinkoarvioinnin haasteellisuutta lisää myös se, että tulvavahingot riippuvat usein oleellisesti tulvan sattumisajankohdasta ja kestosta. Tämä pätee etenkin maa- ja metsätaloudelle aiheutuviin tulvavahinkoihin.

Tulvavahinkojen arvioinnin ja tulvariskien arvioinnin erona voitaneen pitää sitä, että vahinkoarvioinnissa arvioidaan tapahtunut tai mahdollinen tuleva vahinko sellaisenaan, mutta riskiarvioinnissa otetaan lisäksi huomioon vahinkoa aiheuttavan tapahtuman todennäköisyys. (vrt. kuva 2.5). Tosin tulvavahinkojen arvioinnilla tarkoitetaan usein myös tulvariskin huomioimista, ja käsitteet ovatkin osittain päällekkäisiä. Messner & Meyer (2005) käyttävät termiä tulvavahinkoanalyysi (flood damage analysis), joka käsittää myös tulvan todennäköisyyden arvioinnin.

Tulvariskien arviointi on olennainen ja kenties haastavin osa tulvasuojeluprosessia. Tulvasuojelutoimenpiteet täytyy perustella, ja useimmiten tämä tapahtuu tulvariskiarvioihin nojautuen. Lisäksi eri tulvasuojeluvaihtoehtojen keskinäistä edullisuutta voidaan tarkastella riski- ja vahinkoarvioinnin avulla. Tulvariskien arvioinnin avulla voidaan suunnitella maankäyttöä, joka huomioi tulvat. Lisäksi arvioinnista on apua pelastussuunnitelman laadinnassa. Tulvan jo tapahduttua täytyy arvioida mahdollisimman nopeasti ja tarkasti syntyneet vahingot, jotta jälleenrakennukseen voitaisiin jakaa resursseja oikein. Tulvariskien arvioinnista on hyötyä myös suunniteltaessa pidemmän aikavälin korvauspolitiikkaa. Toisaalta vakuutusyhtiöiden ja valtioiden täytyy ottaa huomioon mahdolliset tulvavahingot budjetitessa suunnitellessaan. (Dutta ym. 2003, Messner ym. 2006)

Tulvariskien arviointiprosessi

Aineellisten, suorien tulvavahinkojen arviointiprosessi koostuu Messnerin ym. (2006) mukaan neljästä askeleesta. Kuvassa 2.1 on esitetty aineellisten, suorien tulvavahinkojen yksinkertaistettu arviointiprosessikaavio. Tulvariskien arviointiprosessin alussa täytyy päättää, millainen lähestymistapa tulvariskien arvioimiseksi valitaan. Lähestymistapa riippuu neljästä asiasta. Tutkimusalueen laajuus vaikuttaa siihen, kuinka tarkka tai yleispiirteinen menetelmä valitaan. Jos alue on kovin laaja, ei tarkkuus rajoitettujen resurssien takia voi yleensä olla kovin suuri. Tutkimus voidaan tehdä mikro-, meso- tai makrotasolla eli paikallisella, alueellisella tai kansallisella/kansainvälisellä laajuudella. Tutkimuksen tarkoitus – halutaanko alustava ja nopea yleissilmäys vai yksityiskohtainen analyysi –

vaikuttaa niin ikään menetelmän tarkkuuden valintaan. Myös käytettävien resurssien laajuus sekä valmiiksi käytettävissä olevien, esimerkiksi hydrologisten tai maankäyttötietojen laatu ja olemassaolo vaikuttavat lähestymistavan valintaan. (Messner ym. 2006)

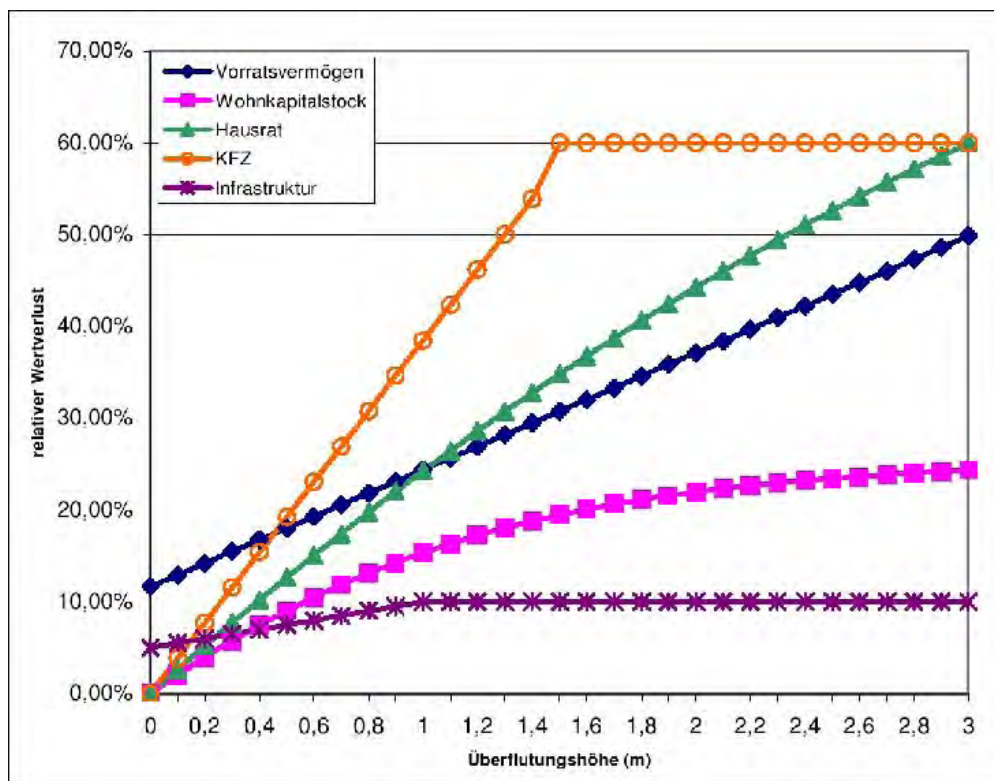
Arviointiprosessin toinen askel on luokitella vahingot eri kategorioihin. On tärkeää tehdä luokittelu sopiviin kokonaisuuksiin, jotta vältetään toisaalta liika työ ja toisaalta liika suurpiirteisyys. Useimmiten suorat, aineelliset vahingot muodostavat pääosan tulvavahingoista, mutta vahinkoarvioinnissa on tärkeää huomioida myös epäsuorat ja aineettomat vahingot esimerkiksi erillisessä tarkatellussa. Kolmas ja yleensä työläin askel arviointiprosessissa on koota tarvittava informaatio tulvan ominaisuuksista, maankäytöstä, tulvauhanalaisen omaisuuden määrästä, laadusta, arvosta ja tulvaherkkyydestä sekä muodostaa vahinkofunktiot näiden tietojen perusteella. Viimeinen askel on laskea kokonaisvahingot kullakin tulvaskenaariolla sekä määrittää vahinkojen alueellinen jakautuminen ja vahinkoarvioinnin epävarmuudet. (Messner ym. 2006)

Kokonaistaloudellinen ja yksityistaloudellinen näkökulma

Tulvasuojelun kannattavuutta arvioitaessa erotetaan toisistaan kokonaistaloudellinen (economical) ja yksityistaloudellinen (financial) näkökulma. Useimmiten julkisissa tulvasuojeluhankkeissa ja tulvariskien hallinnassa halutaan tietää tulvasuojelun kokonaistaloudelliset (kansantaloudelliset) vaikutukset kontrastina yritysten ja yksityishenkilöiden yksityistaloudelliselle ajattelutavalle. Tulvariskien ja -vahinkojen arvioinnin kannalta erottelu on tärkeää, sillä kokonaistaloudellisessa arviointitavassa ja kannattavuuslaskelmissa käytetään ns. varjohintoja, joista on karsittu pois valtion sisäiset tulonsiirtovaikutukset, esimerkiksi erilaiset verot ja tuet. Tulvavahinkoarvioinnissa myös huomioidaan, että esimerkiksi tuotannon keskeytys tai lopettaminen tulva-alueella voi johtaa tuotannon lisäykseen tai korvaamiseen toisaalla saman valtion alueella. Tällöin tuotannon kansantaloudelliset menetykset voivat olla huomattavasti pienempiä kuin tilanteessa, jossa hävinnyt tuotanto korvataan kokonaan ulkomailla. (Kangaspunta 1993, Messner ym. 2006)



Kuva 2.1 Aineellisten, suorien tulvavahinkojen arviointiprosessi (mukailtu Messner ym. 2006)



Kuva 2.2 Esimerkki suhteellisesta vahinkofunktioista. Suhteellinen vahinko prosentteina on esitetty vedensyvyyden funktiona varastolle, asuinkiinteistöille, irtaimistolle, moottoriajoneuvoille ja infrastruktuurille (Elsner ym. 2005).

Vahinkofunktiot

Suhteellisella lähestymistavalla arvioidaan sitä tulvavahinkojen suhteellista osuutta tietyin omaisuustyyppin yksikköarvosta, joka syntyy tietyllä tulvavahinkoparametrin arvolla. (kuva 2.2) Suhteellinen vahinko jonkin omaisuusyksikön kokonaisarvoon nähden saadaan siis tulvavahinkoparametrin funktiona. Suhteellisen lähestymistavan etuina ovat sen

yksinkertaisuus ja helppo sovellettavuus erilaisiin olosuhteisiin. Kääntöpuolena näille on keskimääräistä ja liiaksi yksinkertaistava ominaisuus, esimerkiksi rakennuksen sisältöä ei välttämättä huomioida mitenkään, ainoastaan itse rakennus ja tontti. Suhteellinen lähestymistapa on käytössä useissa Euroopan maissa. (Messner ym. 2006)

Absoluuttisella lähestymistavalla arvioidaan sitä rahamääräistä tulvavahinkoa, joka syntyy omaisuusyksikölle tietyillä tulvavahinkoparametrien arvoilla. (kuva 2.3) Omaisuusyksikön kokonaisarvoa ei siis lasketa, kuten suhteellisella tavalla tehtäisiin. Tulvavahinkoparametrina niin absoluuttisissa kuin suhteellisissakin vahinkofunktioissa on yleensä pelkästään veden syvyys, mutta erityisesti vuoris- toisilla seuduilla, suurten patojen läheisyydessä tai jokilaaksoissa myös virtausnopeudella saattaa olla tulvavahinkojen syntymisen kannalta suuri merkitys. (Messner ym. 2006) Messner & Meyer (2005) kiinnittävät tulvavahinkoparametreina huomiota myös veden mahdolliseen turbulenssiin, haitallisen aineen tai kiintoaineen määrään vedessä sekä tulvan kestoon. Myös tulvan nousunopeudella voi olla merkitystä vahinkojen syntyyn. Lisäksi riittävän aikaisella tulvavaroituksella sekä tulvat huomioivalla rakentamisella voidaan vähentää vahinkoja tuntuvasti. (Ramsbottom 2003)

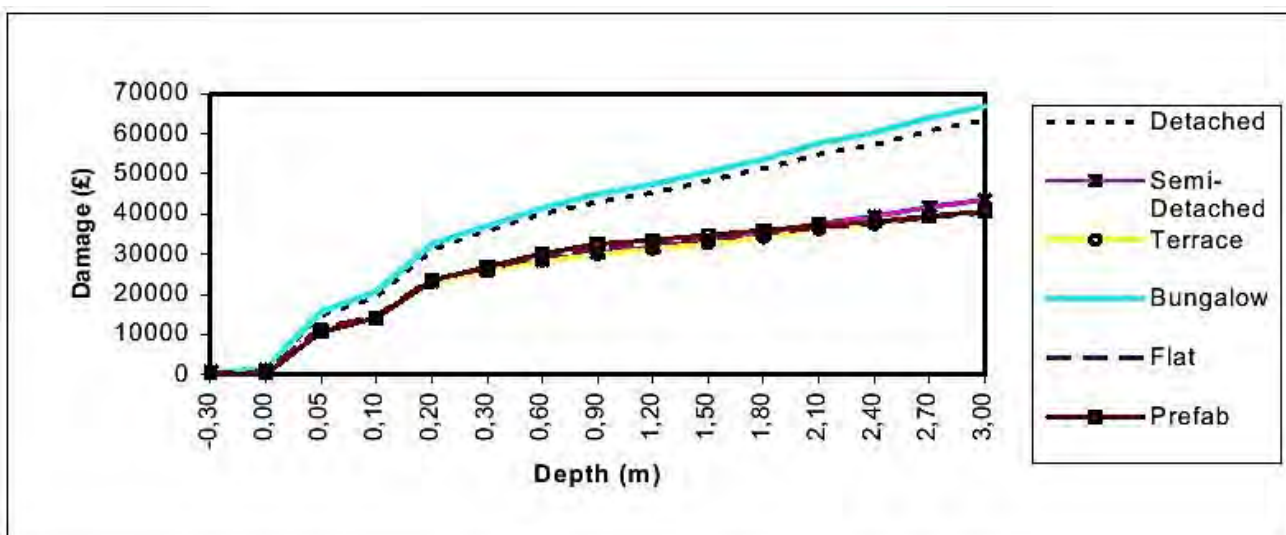
Annual average damage – keskimääräinen vuosittainen vahinko

Tulvasuojelutoimenpiteiden kannattavuuden arvioimiseksi on otettu käyttöön käsite keskimääräinen vuosittainen vahinko (annual average damage, AAD). Joskus puhutaan myös vuosittaisen vahingon odotusarvosta (expected annual damage, EAD), jolla yleensä tarkoitetaan samaa asiaa. AAD-menetelmällä arvioidaan yleensä vain suoria

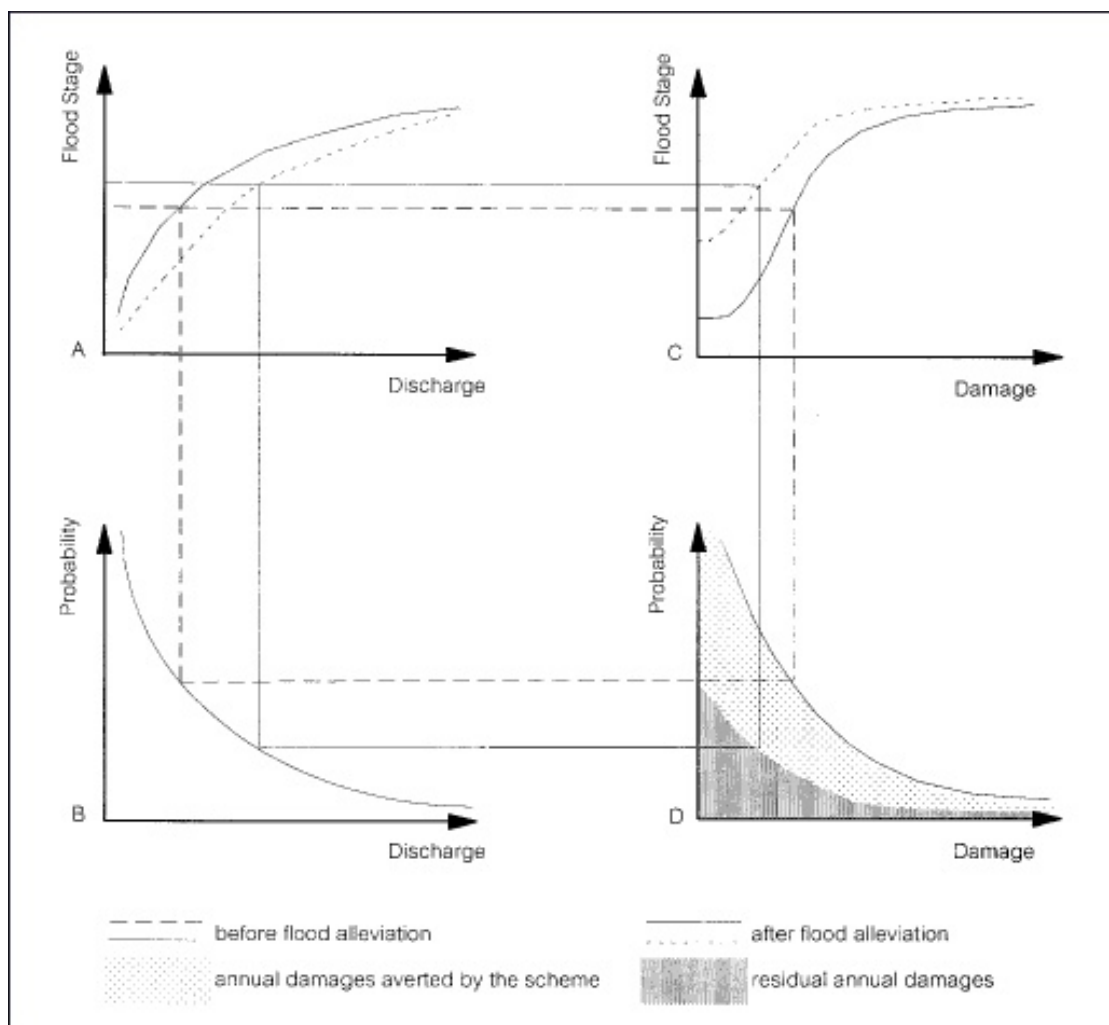
tulvavahinkoja. (Thurston ym. 2005) Keskimääräinen vuosittainen vahinko saadaan neljän suhteen avulla; ne kuvaavat tulvan ominaisuuksia, tulvasta aiheutuneita seurauksia sekä tulvan todennäköisyyttä eli hydrologian, hydraulikan ja talouden välisiä suhteita. Funktiot kuvaavat tavallisesti suuren vedenkorkeuden (W) ja virtaaman (Q), todennäköisyyden (P) ja virtaaman, vedenkorkeuden ja vahingon (I) sekä todennäköisyyden ja vahingon välistä suhdetta. Kuvassa 2.4 on esitetty suhteet kuvaajina. (Lekuthai & Vongvisessomjai 2001, Messner ym. 2006)

Todennäköisyyden ja ylivirtaaman suhde voidaan määrittää joko sadanta-valuntamallin tai aikaisempiin havaintoihin perustuvan toistuvuusanalyysin perusteella. (ks. kohta 2.2) Todennäköisyys ilmaistaan joko toistuvuusajana tai puhtaan lukuna. Vedenkorkeuden ja virtaaman suhde saadaan esimerkiksi virtausmallien avulla, kun tunnetaan riittävän hyvin maaston ja uoman ominaisuudet. Suhde voidaan määrittää joskus myös aikaisempien vedenkorkeus-virtaamahavaintojen perusteella. Vedenkorkeuden ja vahingon suhteen määrittäminen edellyttää kohdekohtaista tai yleisempää, esimerkiksi maankäyttöön perustuvaa vahinkotarkastelua eri vedenkorkeuksilla. Todennäköisyyden ja vahingon suhde saadaan edellisten perusteella. (Lekuthai & Vongvisessomjai 2001)

Jos aikaisempia vedenkorkeushavaintoja on paljon, voidaan todennäköisyys-vedenkorkeus-suhde varsinkin rannikkoalueiden ja järvien osalta



Kuva 2.3. Esimerkki absoluuttisesta vahinkofunktioista. Kuvaajassa on esitetty erityyppisten asuinrakennusten (erillis-, pari-, rivi-, omakoti-, kerros- ja "elementtivalmistalo") asunnoille aiheutuva keskimääräinen vahinko (£) vedensyvyyden funktiona. (Penning-Rowse ym. 2003 ref. Messner ym. 2006)



Kuva 2.4. Vedenkorkeus-virtaama-, todennäköisyys-virtaama-, vedenkorkeus-vahinko- ja todennäköisyys-vahinkosuhteet. Pistealue kuvaa tulvasuojelutoimien aiheuttamaa keskimääräisten vuosittaisten vahinkojen vähennystä, ja tumma alue jäljelle jäävää vuosittaista vahinkoa. (Penning-Rowse & Chatterton 1977 ref. Lekuthai & Vongvisessomjai 2001)

määrittää suhteellisen luotettavasti toistuvuusanalyysin avulla. Tällöin voidaan ilman virtaaman laskemista määrittää vedenkorkeus-vahinkosuhte ja edelleen todennäköisyys-vahinkosuhte. Toistuvuusanalyysiä käytettäessä tulee kuitenkin huomioida sen edellyttämät oletukset esimerkiksi olosuhteiden muuttumattomuudesta ja havaintosarjan pituudesta. (ks. kohta 2.2)

Monimutkaisilla jokivesistöillä, joilla esiintyy jäätä johtuvia tulvia, voi tulvariskien arvioimiseen tarvittavan vedenkorkeuden ja virtaaman suhteen määrittäminen luotettavasti olla ongelmallista. Tulvariskien arviointiprosessin työläin vaihe etenkin rakennetuilla alueilla on kuitenkin useimmiten vedenkorkeus-vahinkosuhteen määrittäminen, sillä vahinkoarvio joudutaan tekemään useilla eri vedenkorkeuksilla. Messner ym. (2006) suosittavat, että vedenkorkeuden ja vahingon suhteen määrittämiseksi vahingot arvioidaan vähin-

tään kolmella, mutta mieluummin kuudella eri vedenkorkeudella.

Tulvasuojelutoimet vaikuttavat todennäköisyys-virtaamasuhteeseen (esim. tulvaveden pidättäminen valuma-alueella), vedenkorkeus-virtaamasuhteeseen (jokiperkaus), vedenkorkeus-vahinkosuhteeseen (rakenteiden suojaaminen) tai kaikkiin kolmeen suhteeseen. Todennäköisyys-virtaamasuhteen ja vedenkorkeus-virtaamasuhteen (kuva 2.4 a ja b) määrittäminen on vesistön hydrologisten ja hydraulisten ominaisuuksien selvittämistä ja hyödyntämistä. Vedenkorkeus-vahinkosuhteen (kuva 2.4 c) määrittäminen voidaan käsittää tulvavahinkojen arvioinniksi. Toisaalta, koska riski on todennäköisyyden ja seurausten tulo (esim. Gouldby & Samuels 2005), voidaan todennäköisyys-vahinkosuhteen (kuva 2.4 d) määrittäminen käsittää tulvariskien arvioinniksi.

Jos todennäköisyys-vahinkosuhte ajatellaan funktiona $P(l)$, niin keskimääräinen vuosittainen vahinko saadaan funktion alle jäävänä pinta-alana, eli integroimalla funktiota:

$$AAD = \int_{-\infty}^{\infty} P(l) dl \quad (1)$$

Tällöin tulvasuojelutoimista saatava hyöty voidaan laskea alkuperäisen ja tulvasuojelun jälkeisen vahinko-todennäköisyysfunktion alapuolelle jäävien pinta-alojen erotuksena, eli toisin ilmaistuna

$$\Delta(AAD) = \int_{-\infty}^{\infty} [P_1(l) - P_0(l)] dl \quad (2)$$

missä $\Delta(AAD)$ on keskimääräisen vuosittaisen vahingon muutos, P_0 on alkuperäinen vahinko-todennäköisyysfunktio, ja P_1 on vahinko-todennäköisyysfunktio tulvasuojelun jälkeen. Käytännössä integrointi tapahtuu numeerisesti. Teoreettisempi ja laajempi perustelu keskimääräisen vuosittaisen vahingon odotusarvon laskemiseksi löytyy esimerkiksi lähteistä USACE (1996) ja Wurbs & James (2001).

Kaikesta päätellen AAD-menetelmällä pystytään arvioimaan myös tulvariskin kasvua, joka aiheutuu tulvasuojelutilanteen heikentymisestä esimerkiksi sadannan kasvun tai yläjuoksulla tapahtuvien maankäytön muutosten takia. Tällöin virtaama-todennäköisyysfunktio ja vahinko-todennäköisyysfunktio siirtyvät oikealle.

Suomessa on vesistön säännöstely- ja järjestelyhankkeiden yhteydessä ollut käytössä AAD-menetelmää muistuttava, maatalouden suhteellisen vahingon ja hyödyn käsitteeseen perustuva menetelmä, jolla voidaan arvioida maatalouden vuotuisten tuottojen muutoksia. (Rantala 1992) AAD-menetelmä ei kuitenkaan ole Suomessa yleisesti käytössä. Tämä johtunee ainakin siitä, että menetelmä on suhteellisen uusi ja lisäksi melko teoreettinen ja työläs. Suomessa tulvasuojeluprojektit ovat yleensä verraten pieniä, eikä mittavaa kannattavuusarviointia monilla eri vedenkorkeuksilla ole useimmiten mielekäästä tehdä. Oman lisänsä tulvasuojelun hyödynarviointiin Suomessa tuovat hyyteestä ja jääpadoista aiheutuvat tulvat, joiden tilastollista toistuvuutta on äärimmäisen vaikea arvioida.

Riskinarvioinnin epävarmuuden lähteet

Tulvista johtuvien riskien arvioimiseen liittyvä epävarmuus johtuu karkeasti kolmesta erityyppisestä seikasta, nimittäin hydrologisesta, hydraulisesta ja taloudellisesta epävarmuudesta. (Al-Futaisi & Stedinger 1999) Erityisesti pienillä vesisyvyyksillä maanpinnan ja tulvaveden korkeuden määrittäykseen liittyvillä epätarkkuuksilla on suuri vaikutus tulvariskiarvion tarkkuuteen. Epätarkkuudet hydrologisissa muuttujissa, kuten sademääräennusteissa tai vedenkorkeushavainnoissa sekä hydraulisissa muuttujissa, kuten uoman poikkileikkauksissa tai karkeuksissa voivat niin ikään vaikuttaa merkittävästi tulvariskiarvion epätarkkuuteen ja epävarmuuteen. Taloudellisiin muuttujiin liittyvät epävarmuudet, kuten epäsuorien aineettomien vahinkojen arvioiminen, aiheuttavat epävarmuutta riskinarviointiin. (Loucks ym. 2005) Riskinarviointiin liittyvien epävarmuustekijöiden dokumentointi auttaa ottamaan ne huomioon päätöksenteossa.

2.3.3 Tulvavahinkoihin liittyvää lainsäädäntöä

Tulviin varautuminen

Vuoden 2000 alussa voimaan tulleessa maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) säädetään, että "rakennuspaikan soveliaisuutta ja kelpoisuutta harkittaessa on muun muassa otettava huomioon, ettei rakennuspaikalla ole tulvan, sortuman tai vyörymän vaaraa." Pelastuslain (468/2003) mukaan "rakennuksen omistaja ja haltija, teollisuus- ja liiketoiminnan harjoittaja, virasto, laitos ja muu yhteisö on asianomaisessa kohteessa ja muussa toiminnassaan velvollinen ehkäisemään vaaratilanteiden syntymistä, varautumaan henkilöiden, omaisuuden ja ympäristön suojaamiseen vaaratilanteissa ja varautumaan sellaisiin pelastustoimenpiteisiin, joihin ne omatoimisesti kykenevät." Ympäristölupamenettelyssä tulvariski voidaan ottaa lupaehdoissa huomioon, mutta nykyään tämä näyttäisi olevan Suomessa vielä jokseenkin harvinaista. (Ekroos 2006, Parsama 2006) Uudet YMPÄRI-hankkeen suositukset (Wessberg ym. 2006) ohjaavat tekemään erityisen häiriöpäästöjen ympäristöriskianalyysin poikkeuksellisten tilanteiden varalta. Tällaisiin poikkeustilanteisiin lukeutuvat periaatteessa myös tulvatilanteet. Vakuutusten avulla tulviin varautuminen on Suomessa vähäistä ja melko rajoitettua, erityisesti yksityisten ihmisten ja pienyritysten osalta. (Kaatra ym. 2006)

Tulvavahinkolaki- ja asetus

Laki poikkeuksellisten tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta (284/1983) eli ns. tulvavahinkolaki tuli voimaan 1.4.1983. Tulvavahinkolain nojalla on annettu valtioneuvoston asetus poikkeuksellisten tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta (93/1995), eli nk. tulvavahinkoasetus, jossa säädetään tarkemmin korvausten hausta ja maksamisesta. (284/1983, Kaatra ym. 2006)

Tulvavahinkolain nojalla korvausta voidaan maksaa vahingosta, joka vesistön poikkeuksellisen tulvimisen takia aiheutunut on aiheutunut

- 1) kasvaville, korjuuvaiheessa oleville tai korjatuille puutarhatuotteille tai korjatulle sadolle,
- 2) kasvavalle puustolle,
- 3) yksityisteille, silloille, ojille tai penkereille,
- 4) rakennuksille tai rakennelmille,
- 5) välttämättömälle kotitalousirtaimistolle,
- 6) ammatin harjoittamisessa valmistuneille tuotteille tai siinä tarvittavalle irtaimistolle.
- 7) kustannuksista, jotka ovat aiheutuneet kohdissa 1–6 tarkoitettujen vahinkojen estämiseksi tai rajoittamiseksi tehdyistä toimenpiteistä.

Kohdan 1) puutarhatuotteille aiheutuneista vahingoista maksetaan korvauksia vain, jos korvauksia ei voida maksaa satovahinkolain (530/1975) nojalla. Korvausta ei myöskään makseta pienistä tai vahingonkärsijän kohtuullisesti estettävissä olevista vahingoista. (Kaatra ym. 2006, 1983/284)

Tulvavahinkolain mukaan maksettavan korvauksen suuruus on enintään 80 prosenttia arvioidusta vahingosta tai vahingon ehkäisemiskustannuksista. Maksettavan korvauksen suuruus perustuu vahinkoarvioon, joka voi poiketa esimerkiksi toteutuneista rakennusten korjauskustannuksista. (Kaatra ym. 2006) Tulvavahinkolain mukaan pääsääntöisesti ”korvausta voidaan maksaa luonnolliselle henkilölle ja kuolinpesälle sekä asunto-osakeyhtiölle, asunto-osuuskunnalle ja asuntotuotantoa varten perustetulle kiinteistöyhtiölle ja yksityisistä teistä annetussa laissa (358/1962) tarkoitettulle tiekunnalle.” (284/1983). Alueellisille metsäkeskuksille voidaan maksaa korvausta vahinkojen arviointiin liittyvästä asiantuntija-avusta. Kuitenkaan muille tahoille, esimerkiksi kunnille, ei korvauksia arviointikustannuksista voida maksaa. (284/1983, 93/1995, Kaatra ym. 2006)

Tulvasta aiheutuneiden vahinkojen arvioinnista vastaa tarvittaessa muiden tahojen avustuksella kunnan maaseutuelinkeinoviranomainen, jolle myös korvaushakemukset jätetään. Tulvan poikkeuksellisuudesta pyydetään lausunto alueelliselta ympäristökeskukselta. Tulvaa pidetään vakiintu-

neen käytännön mukaan poikkeuksellisenä, jos sen keskimääräinen toistuvuusajka on pidempi kuin 20 vuotta. Tulvan poikkeuksellisuutta arvioitaessa otetaan huomioon muun muassa paikalliset hydrologiset olosuhteet ja tulvan ajankohta. Esimerkiksi kesätulvan poikkeuksellisuus arvioidaan eri perusteella kuin kevättulvan poikkeuksellisuus. (Kaatra ym. 2006)

Muu lainsäädäntö

Ns. satovahinkolaissa (530/1975) sekä asetuksissa satovahinkojen korvaamisesta (270/2003 ja 364/2003) on säännöksiä etupäässä maataloudelle aiheutuvien tulvavahinkojen korvaamisesta. Ympäristövahinkolain (737/1994) mukaan korvausvelvollisen on korvattava tietyllä alueella harjoitetusta toiminnasta johtuva vahinko, joka ympäristössä on aiheutunut muun muassa veden tai maaperän pilaantumisesta. Tulvatilanteessa kysymys korvausvelvollisesta on mielenkiintoinen; etupäässä luonnonilmiöstä ja maankäytön muutoksista johtuva tulva saattaa aiheuttaa merkittäviä ympäristövahinkoja, kun teollisuudessa käytettävät kemikaalit joutuvat maaperään ja vesistöön. Tällöin ympäristövahingon korvausvelvolliseksi voi joutua teollisuuslaitos, jos voidaan osoittaa, että mainitun ”toiminnan ja vahingon välinen syy-yhteys on todennäköinen. Syy-yhteyden todennäköisyyttä arvioitaessa on kiinnitettävä huomiota muun ohella toiminnan ja vahingon laatuun sekä vahingon muihin mahdollisiin syihin.” (737/1994) Lisäksi korvausvastuuta määrättäessä otetaan huomioon vahingonaiheuttajan varautuminen mahdolliseen poikkeustilanteeseen ja mahdollisuudet välttää vahinko.

Lainsäädännön muutospaineet

Maa- ja metsätalousministeriön tulvavahinkotyöryhmä (Kaatra ym. 2006) suosittaa, että nykyinen tulvavahinkojen korvausjärjestelmä muutettaisiin vakuutus pohjaiseksi, eli valtion vastuu tulvavahinkojen maksajana vähenisi olennaisesti. Vakuutusmaksujen suuruus olisi tietyn siirtymäajan jälkeen sidoksissa tulvarisktiin. Nykyisin tulvavahinkolain nojalla voidaan korvata vain nimenomaan vesistötulvista aiheutuneet vahingot. Työryhmä ehdottaa myös muiden kuin vesistötulvista, esimerkiksi rankkasateista tai ojen tulvimisesta aiheutuneiden vahinkojen sisällyttämistä tulvavakuutuksen piiriin. (Kaatra ym. 2006)

2.4 Tulvariskien hallinta

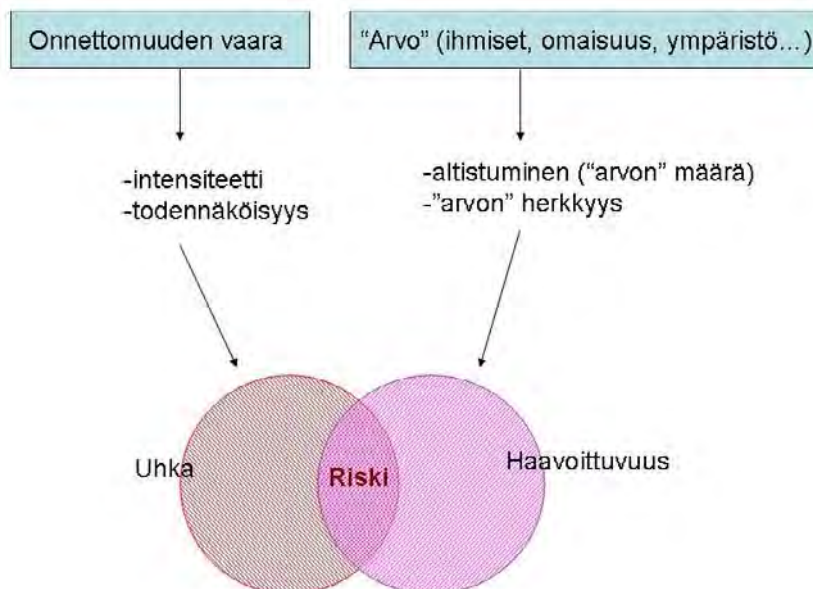
Tulvavahinkoarvioinnin ja koko tulvariskien hallinnan voi kiteyttää kahden keskeisen kysymyksen tarkasteluun: a) mitkä taloudelliset ja sosiaaliset yksiköt ovat haavoittuvimpia erilaisille tulville, ja b) mitkä ovat tehokkaimpia keinoja vähentää tätä haavoittuvuutta. (Messner ym. 2006)

Perinteisesti tulvasuojelulla käsitetään tulvien ja tulvahaittojen vähentämiseen tähtäävä pysyvien rakenteiden suunnittelu ja rakentaminen sekä näiden toteuttamiseksi tarvittavien lupien hakeminen. Tärkeitä tulvasuojelukeinoja ovat esimerkiksi rantojen pengerrykset, jokien perkaukset sekä vesistön säännöstelyn mahdollistamiseksi tehtävät rakentamistoimet. Suomessa suojeltiin tulvilta suuria alueita erityisesti 1960- ja 70-luvulla. Nykyisin tulvasuojelun pääpaino on useimmiten pinta-alaltaan pienempien alueiden asutuksen ja yhdyskunnan suojaamisessa. (Kaatra ym. 2006) Tulvasuojeluksi voidaan käsittää myös tulvia ehkäisevä maankäytön ohjaus.

Tulvantorjunnalla ja erityisesti operatiivisella tulvantorjunnalla tarkoitetaan yleensä tiettyyn, odotettavissa olevaan tulvaan varautumista ja tulvatilanteen aikana tehtäviä toimenpiteitä. Niitä ovat muun muassa tulvaennustemallien käyttö, tehostettu vesitilanteen kehittymisen seuranta, tilapäisten tulvasuojelurakenteiden tekeminen, vesistösäännöstelyn hyödyntäminen, hyyde- ja jääpatojen ehkäisy ja purkaminen, tehostettu tiedottaminen sekä viranomaisyhteistyö. (Kaatra ym. 2006)

Joskus, esimerkiksi vesistösäännöstelyn eri toimenpiteiden kohdalla, voi olla epäselvää, onko toiminta tulvasuojelua vai tulvantorjuntaa. Tämä ei kuitenkaan ole olennaista; nykyisin tulvantorjunta ja tulvasuojelu mahtuvat saman yläkäsitteen, tulvariskien hallinnan alle. Tulvariskien hallinnalla (flood risk management) tarkoitetaan jatkuvaa ja kokonaisvaltaista lähestymistapaa, joka ottaa huomioon kaiken tyyppiset tulvat ja pyrkii arvioimaan ja vähentämään tulvien aiheuttamia riskejä. (Gouldby & Samuels 2005, Messner ym. 2006) Myös Suomessa puhutaan nykyisin mieluummin käsitteestä tulvariskien hallinta. (esim. Kaatra ym. 2006, Peltonen ym. 2006) Tämä viittaa siihen, että tulvat ovat luontainen ja väistämätönkin ilmiö, mutta tulvien haitallisia vaikutuksia pyritään lieventämään. Tulvariskien hallinnan painopiste on siirtynyt ja siirtymässä tulvien hallinnasta ja yleensä tulviin reagoinnista ennakoinnin suuntaan. Tämä tarkoittaa esimerkiksi pyrkimystä tulvavesien pidättämiseen valuma-alueilla sekä maankäytön ja yhteiskunnan toimintojen sopeuttamista hallittuun tulvimiseen. (Brouwer & Kind 2005)

Käsitteellä riski viitataan tavallisesti tapahtuman todennäköisyyden ja sen aiheuttamien seurausten tuloon. (esim. Gouldby & Samuels 2005) Lavalle ym. (2005) määrittelevät riskin kolmen elementin eli "arvon" (exposure), haavoittuvuuden (vulnerability) ja luonnononnettomuuden (hazard) ominaisuuksien tulona. Kuvassa 2.5 on esitetty riskin muodostuminen hieman eri tavalla kuin yleensä (LfU 2005). Riskin elementeistä kuitenkin ollaan yleisesti suhteellisen yksimielisiä (vrt. esim. Messner & Meyer 2005)



Kuva 2.5. Riskin muodostuminen. (mukailtu LfU 2005)

2.4.1 Tulvariskien hallinnan tavoitteet ja keinot

Suomessa lainsäädännössä ei suoraan oteta kantaa siihen, kuinka harvinaista tulvaa vastaan tulisi suojautua rakennettaessa uudisrakennuksia. Ympäristöoppaassa nro 52 (Ollila 1999) suositetaan, että uudisrakennukset tulee sijoittaa siten, etteivät ne kärsi vahinkoja pienemmällä kuin keskimäärin kerran 100–200 vuodessa toistuvilla tulvilla. Euroopassa tulvasuojelussa on perinteisesti suosittu käytäntöä, jossa on määritelty jokin tietty ”riittävä” tulvasuojelutaso. (Messner ym. 2006) Esimerkiksi erittäin tiheästi asutussa Alankomaissa, jossa suurin osa väestöstä asuu tulvavaara-alueella, maan parlamentti on määritellyt tulvasuojelun vähimmäistasoksi alueesta riippuen tilastollisesti keskimäärin kerran 1 250–10 000 vuodessa toistuvan tulvan. (Loucks ym. 2005) Nykyisin käytäntö Euroopassa on kuitenkin muuttumassa siihen suuntaan, että tulvasuojelun toteuttamista arvioidaan nimenomaan kannattavuuden näkökulmasta, eli tulvariskit eivät enää niin usein saa erikoisasemaa muiden yhteiskuntaa uhkaavien riskien joukossa. (Messner ym. 2006)

Tulvariskien hallinnan keinot erotetaan usein kahteen eri pääkategoriaan, rakenteellisiin ja ei-rakenteellisiin keinoihin. Tulvien ehkäisyssä ja niiden vaikutusten lieventämisessä rakenteellisia keinoja on käytetty jo vuosisatoja, mutta ei-rakenteellisten keinojen käyttö on vakiintunut vasta viime vuosikymmeninä. (Estrela ym. 2001)

Rakenteelliset keinot

Rakenteellisilla keinoilla pyritään yleensä suurimpien virtaamahuippujen pienentämiseen, vedenpinnan alentamiseen tietyllä virtaamalla, tulvan keston lyhentämiseen tai rakenteiden tulvaherkyyden vähentämiseen. Rakenteelliset keinot ovat usein melko kalliita, ja lisäksi niillä voi olla haitallista vaikutusta ala- tai ylävirran tulva- tai muihin olosuhteisiin. Mitä harvinaisemmilta tulvilta suojaudutaan, sitä hankalampi on arvioida toimenpiteiden kannattavuutta. (Estrela ym. 2001, Ramsbottom 2003)

Padot ja niihin liittyvät varastoaltaat ovat tärkeä rakenteellinen tulvasuojelukeino, joskin padoilla on usein muitakin, esimerkiksi voimataloudellisia tarkoituksia. Myös muut tulvaveden pidättämiseen tähtäävät keinot, kuten kosteikkojen rakentaminen tai soiden ennallistaminen, kuuluvat rakenteellisiin tulvasuojelukeinoihin. Jokien perkaukset ja oikomisot sekä ohitusuomien rakentamiset ovat niin ikään keskeinen rakenteellinen tulvasuojelu-

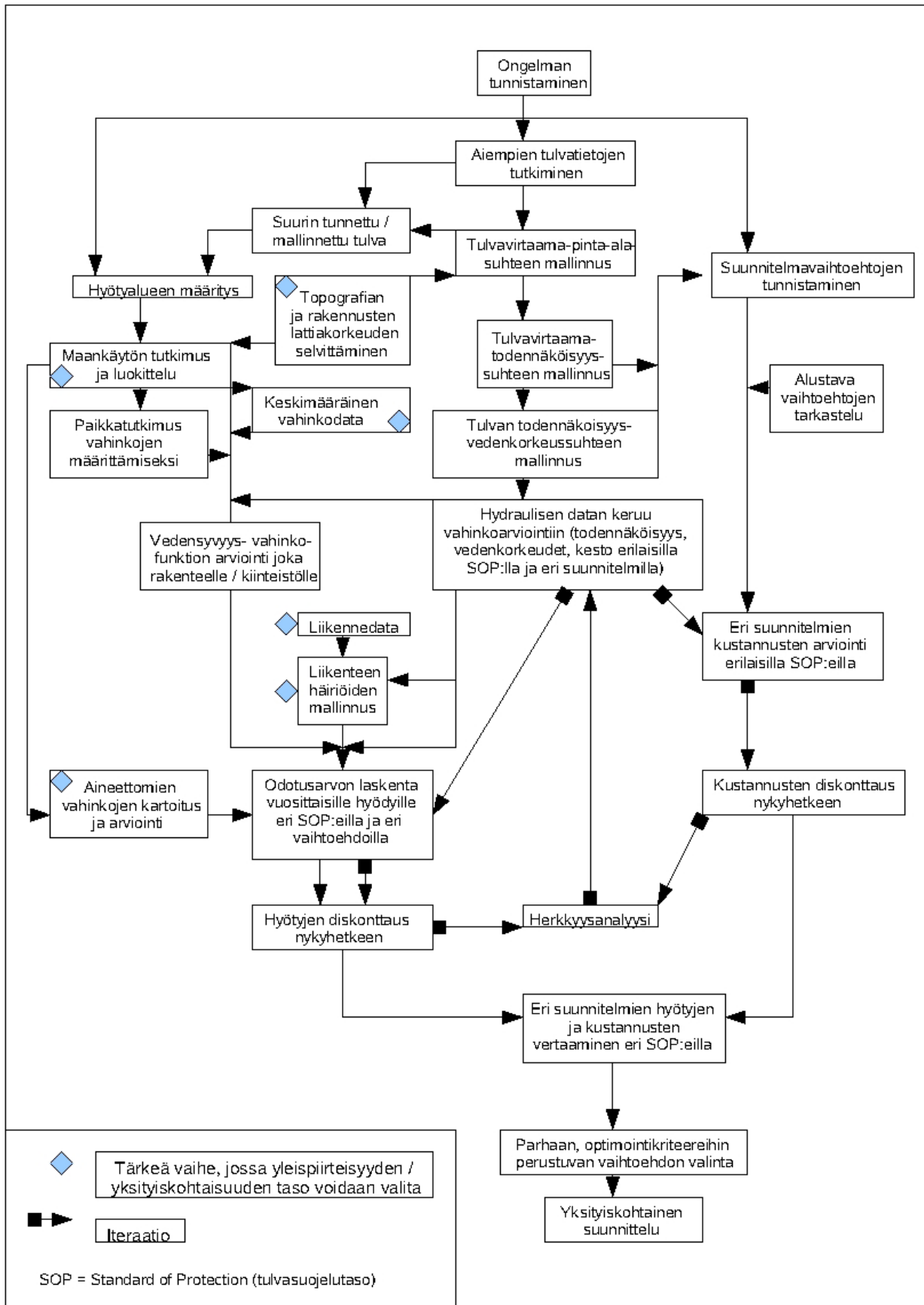
keino, mutta niiden haittapuolena voi olla tulvan pahentaminen tai siirtäminen alavirralle. Suojapenkereet ovat hyvin olennainen tulvasuojelukeino monissa Euroopan maissa; Alankomaissa penkerein on suojattu noin 60 prosenttia maa-alasta ja Unkarissa noin viidennes. Pengerryksiin etenkin Keski-Euroopassa liitetään nykyisin ns. hallittua tulvimista (controlled flooding) käyttäen hyväksi keinotekoisia tulvimisalueita, joille vesi voi suuren tulvan sattuessa levitä penkereissä olevien matalampien kohtien tai luukkujen kautta. Itse asiassa nämä alueet ovat useimmiten olleet tulvan luontaista leviämisaluetta, joka on sittemmin pengerretty kuivaksi. (Estrela ym. 2001, Ramsbottom 2003) Tulvasuojelun rakenteellisiin keinoihin kuuluu Ramsbottomin (2003) mukaan myös rakennusten ja rakenteiden tulvaherkyyden vähentäminen rakennetta ja materiaaleja vaihtamalla tai esimerkiksi penkereiden osalta istutuksilla ja geotekstiileillä.

Ei-rakenteelliset keinot

Ei-rakenteelliset keinot tarkoittavat sellaisia keinoja, jotka eivät ole varsinaista rakentamista ja joilla ei ole suoraa vaikutusta tulvan ominaisuuksiin. Ei-rakenteellisiin keinoihin kuuluvat tulvariskien kartoitus hydrologisen, hydraulisen ja yhdyskunnallisen mallintamisen sekä tulvakarttojen avulla. Tärkeitä ei-rakenteellisia tulvariskien hallintakeinoja ovat rakentamisen ja maankäytön ohjaus niin, että vältetään epäasianmukainen rakentaminen tulva-alueille (precautionary building). Niin ikään pyritään vaikuttamaan uusien alueiden ja rakenteiden tulvankestävyyteen sekä sijoittamaan yhteiskunnan eri toiminnot niin, että otetaan huomioon eriasteiset tulvariskit eri alueilla (flood zoning). Myös tulvaennusteet, riittävän aikaiset varoitussjärjestelmät, varautumis- ja evakuointisuunnitelmat, tulvanjälkeisen toiminnan suunnittelu, tulvavakuutukset sekä väestön tulvatietoisuuden parantaminen kuuluvat ei-rakenteellisiin keinoihin. (Estrela ym. 2001, Ramsbottom 2003)

2.4.2 Tulvasuojeluprosessi

Tulvasuojeluprosessin kulku Messnerin (2006) mukaan on suhteellisen yksityiskohtaisesti esitetty kuvassa 2.6. Prosessin ei tarvitse välttämättä sisältää kaikkia kuvattuja vaiheita.



Kuva 2.6 Kaavio tulasuojelutoimenpiteiden kannattavuuden ja keskinäisen edullisuuden arviointiprosessista (mukailtu Messner ym. 2006)

2.4.3 Tulvasuojelun kannattavuusarviointi

Tulvasuojelutoimenpiteiden kustannusarviointi

Tulvasuojeluhankkeen kustannusten arvioiminen on välttämätön osa hankkeen kannattavuusarviointia. Kustannusten arvioiminen on useimmiten yksinkertaisempi ja mekaanisempi tehtävä kuin esimerkiksi tulvavahinkojen arviointi. Etenkin suurissa ja monitahoisissa hankkeissa kustannusarvion tekemiseen täytyy kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota, sillä kustannukset voivat muodostua kannattavuusarvion tärkeimmäksi epävarmuuden lähteeksi. (Messner ym. 2006) Esimerkiksi Isossa-Britanniassa hankkeiden alustavat kustannusarviot ovat olleet keskimäärin vain noin 60 prosenttia toteutuneista kustannuksista (Defra 2003) Toisaalta vaikka rakentamiskustannusten arvioimiseen kiinnitettäisiin riittävästi huomiota, voivat hankkeesta aiheutuvien käyttö- ja kunnossapitokustannusten arvioiminen jäädä liian vähälle huomiolle. Esimerkiksi pengerryshankkeissa nämä kustannukset voivat vaikuttaa hankkeen kannattavuuteen ratkaisevasti. (Messner ym. 2006) Varsinaisten pääomakustannusten lisäksi hankkeeseen voi liittyä sosiaalisia ja ympäristöllisiä haittoja, joiden osuus hankkeen kokonaishaitoista tai -kustannuksista voi olla merkittävä.

Kustannus-hyötyanalyysi

Kustannus-hyötyanalyysi (Cost-benefit analysis, CBA) on apuväline päätöksenteolle arvioitaessa ja laskettaessa projektien, hankkeiden, ohjelmien ja suunnitelmien taloudellisia vaikutuksia, erityisesti kannattavuutta. Tässä tarkoituksessa se on eräs käytetyimpiä menetelmiä, lähes "standardityökalu". Kustannus-hyötyanalyysi on systemaattinen edullisuustarkastelumenetelmä, jolla pyritään ottamaan huomioon hankkeesta eri osapuolille aiheutuvat hyödyt ja haitat, myös sellaiset, joille ei ole olemassa selvää markkina-arvoa. Hankkeen eriaikaiset vaikutukset pyritään tekemään keskenään vertailukelpoisiksi. Tämä tapahtuu tavallisimmin nettonykyarvoperiaatteella, eli vaihtoehdon hyödyt ja haitat muutetaan eli diskontataan rahan nykyarvoon. (Kangaspunta 1993, HM Treasury 2003, Emerton & Bos 2004) Hankkeella on tarkastelussa useimmiten myös muita, tavoitteiltaan samansuuntaisia vaihtoehtoja ja lisäksi ns. nollavaihtoehto. Kustannus-hyötyanalyysillä arvioidaan vaihtoehdon kannattavuutta ja edullisuutta muihin vaihtoehtoihin verrattuna laskemalla hyötyjen ja kustannusten suhde.

Kustannus-hyötyanalyysiä sovelletaan julkisissa hankkeissa siten, että otetaan huomioon hankkeen

vaikutukset kansantaloudellisesta (kokonaistaloudellisesta) näkökulmasta. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että kustannus-hyötyanalyysissä käytetään tulonsiirtovaikutuksista karsittuja ns. varjohintoja. Lisäksi esimerkiksi rakennusten hintoja arvioitaessa otetaan huomioon iän ja kulumisen aiheuttama omaisuuden arvon vähenemä, eikä käytetä ns. jälleenhankinta-arvoa, jonka käyttö johtaa helposti vahinkojen yliarvioimiseen. (Messner ym. 2006) Erilaisten vaikeasti rahassa mitattavien vaikutusten rahamääräistämiseksi on tarjolla useita eri menetelmiä, muun muassa matkakustannusmenetelmä (travel cost method, TCM) sekä CV-menetelmä (contingent valuation method, CVM), joka perustuu yleensä maksuhalukkuuden selvittämiseen. Näiden menetelmien haittapuolina ovat kuitenkin usein kalleus ja työläisyys sekä toisinaan tulosten epätarkkuus ja epäluotettavuus. (Lesser ym. 1997)

Brouwerin ja Kindin (2005) mukaan kustannus-hyötyanalyysin tulisi olla interaktiivinen prosessi päättäjien, asiantuntijoiden ja asianomaisten välillä, eikä pelkästään mekaaninen työkalu. Näin hankkeen kaikki tärkeät vaikutukset voidaan huomioida jo prosessin alkuvaiheessa. Toisaalta kustannus-hyötyanalyysi on tarkkuudeltaan etenevä prosessi. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että jos jo varhaisessa vaiheessa karkealla kustannus-hyötyanalyysillä huomataan, että jokin vaihtoehto on hyvin selkeästi muita huonompi, voidaan vaihtoehto ajan säästämiseksi jo tässä vaiheessa karsia pois lähemmästä tarkastelusta. Tämän takia kustannus-hyötyanalyysiin pitäisi alkuvaiheessaan sisällyttää tärkeimmät hyöty-kustannussuhteeseen vaikuttavat tekijät. Jos hankkeiden kannattavuus tai keskinäinen edullisuus ei ole selvää, voidaan myöhemmin tarvittaessa ottaa huomioon vähemmän vaikuttavia seikkoja. Tavallisesti kuitenkin kaikkia hankkeen vaikutuksia ei voida eikä kannatakaan ottaa huomioon, vaan vaikutustarkastelu kannattaa yleensä lopettaa parhaan hankevaihtoehdon ollessa suurella varmuudella selvillä. (Messner ym. 2006)

Jos analyysin tavoitteena on verrata eri vaihtoehtoja, jotka tuottavat saman lopputuloksen, esimerkiksi tietyn tulvariski- tai tulvasuojelutason, käytetään termiä kustannus-tehokkuusanalyysi (cost-effectiveness analysis, CEA). (HM Treasury 2005)

Monikriteerianalyysi

Kustannus-hyötyanalyysin avulla ei voida koskaan tarkastella kaikkia tulvasuojelun vaikutuksia, sillä kaikkia tulvasuojelun vaikutuksia ei voida yhteismitallistaa. Kustannus-hyötyanalyysissä otetaan usein huomioon vain aineelliset vahingot, joskus vain suorat aineelliset vahingot. (Messner & Meyer 2005) Usein hankkeiden tai suunnitelmien vaikutustarkastelu jaetaan suoraan kustannus-hyötyanalyysiin (taloudellinen tarkastelu), ympäristövaikutusten arviointiin (environmental impact assessment, EIA) ja sosiaalisten vaikutusten arviointiin (social impact assessment, SIA). Nämä voidaan edelleen yhdistää monikriteerianalyysiksi (multi-criteria analysis). (Brouwer & van Ek 2004) Monikriteerianalyysi on tapa yhdistää ja tarkastella erilaisia, eridimensioisia vaikutuksia ja painottaa niitä halutulla tavalla. (Emerton & Bos 2004)

2.4.4 Epävarmuuden huomioiminen

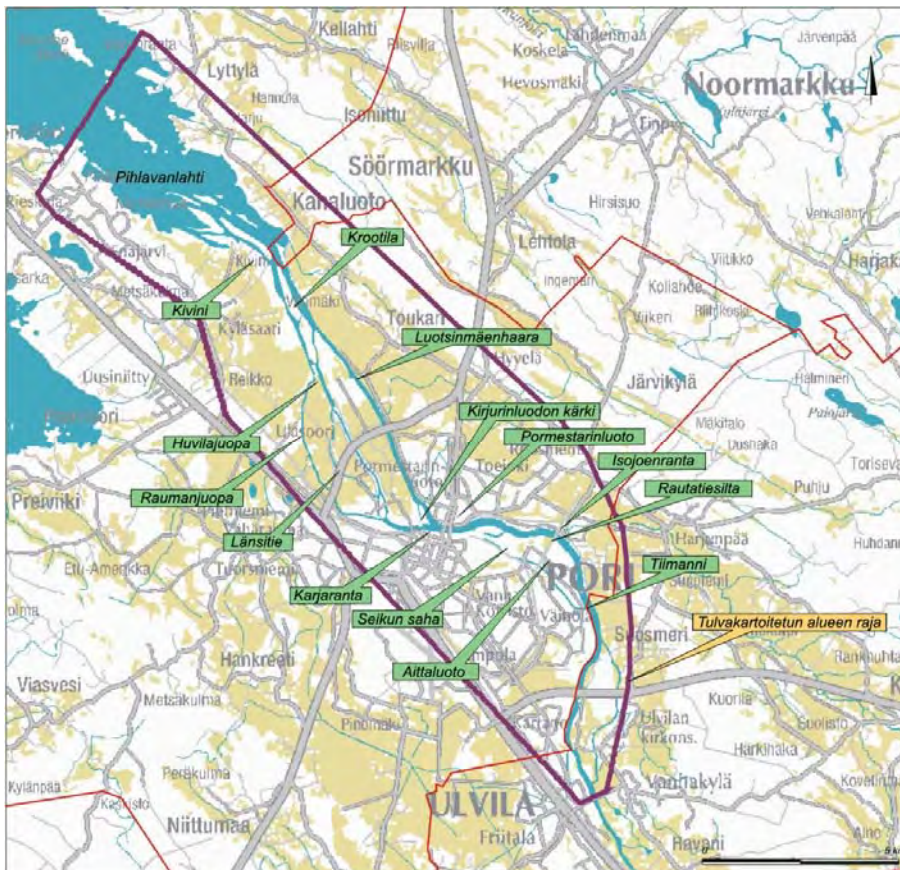
Messner ym. (2006) erottavat kaksi epävarmuuden muotoa: päätöksenteon epävarmuuden (decision uncertainty) ja tiedollisen epävarmuuden (knowledge uncertainty). Päätöksenteon epävarmuus viittaa epävarmuuteen erottaa paras päätös eri vaihtoehdoista, tiedollinen epävarmuus taas viittaa epävarmuuteen asioiden tilasta nyt ja erityisesti tulevaisuudessa. Tiedollisen epävarmuuden käsitteeseen käytetään tavallisesti herkkyysanalyysiä (sensitivity analysis). Herkkyysanalyysin avulla voidaan arvioida, millaisia muutoksia hankkeen kannattavuudelle aiheutuu, jos kannattavuuden kannalta keskeisiksi arvioituja parametreja, esimerkiksi talouskehitystä tai pääomakustannuksia, muutetaan. Epävarmuutta voidaan tarkastella myös esimerkiksi ns. Monte Carlo-analyysillä, jossa vaikutuksia tarkastellaan erilaisilla, generoituilla parametrijohdelmilla. (HM Treasury 2003) Hankkeen kannattavuuden keskeisimmät epävarmuustekijät kytkeytyvät useimmiten tiedolliseen epävarmuuteen, joka liittyy hankkeen pääoma-, käyttö- ja ylläpitokustannuksiin, tulvaveden syvyyksiin, usein toistuvien tulvien aiheuttamiin vahinkoihin sekä maankäyttöön. (Messner ym. 2006)

3 Kokemäenjoen alaosan tulvasuojelu

3.1 Alueen kuvaus

Tässä työssä tarkastellaan Porin tulvat –hankkeen suunnittelualuetta, joka alkaa Selkämereltä Pihlavanlahdelta. Alue käsittää Kokemäenjoen suiston sekä Kokemäenjoen sivuhaaroineen Porin kaupungin yläpuolelle Ulvilan kaupungin puolelle saakka. Virtausmallinnuksessa mukana olleet omat olivat Kokemäenjoen pääuoma, Raumanjuopa, Luotsinmäenjuopa, Huvilajuopa, Lanajuopa sekä muutama pienempi, edellä mainittuja uomia yhdistävä

uoma. Mallinnuksessa ei erikseen tarkasteltu sivujoja tai Kokemäenjokeen rautatiesillan yläpuolella laskevaa Harjunpäänjokea ja niistä aiheutuvia tulvia. Suunnittelualue on esitetty kuvassa 3.1. Kokemäenjoen alaosan virtaus- ja jäämallinnus tehtiin Harjavallan voimalaitokselta merelle saakka. Siten oli mahdollista selvittää jään muodostumista ja jääpuomien vaikutusta Kokemäenjoessa myös Porin yläpuolella. (Koskinen 2006)



Kuva 3.1. Porin tulvat –hankkeen suunnittelualue. (Koskinen 2006)

3.1.1 Valuma-alueen ja kohdealueen hydrologia

Kokemäenjoen vesistöalue on Suomen neljänneksi suurin. Se on pinta-alaltaan noin 27 000 km². Tästä järvien osuus on noin 3 000 km² eli 11 %. Vesistö koostuu Satakunnassa virtaavasta jokijaksosta sekä Suomenselältä Pirkanmaan kautta Hämeen ulottuvasta runsasjärvisestä alueesta. Huitisissa Kokemäenjokeen laskee Loimijoki, jonka valuma-alue on runsaat 3 000 km² ja järvisyys alle kolme prosenttia. Vesistöalueen laskujoki on Kokemäenjoki, joka alkaa Vammalan Liekovedestä ja virtaa Äetsän, Huittisten, Kokemäen, Harjavallan, Nakkilan, Ulvilan ja Porin kautta Selkämereen Pihlavanlahdelle. Joen pituus Liekovedeltä Porin Pihlavanlahteen on 110 kilometriä ja kokonaispuutoskorkeus 57 metriä. Kokemäenjoki on voimakkaasti säännöstelty; jokijaksolla sijaitsevat Tyrvään, Äetsän, Kolsin ja Harjavallan voimalaitokset. (Vainio 1999, Koskinen 2006)

Loimijoen virtaamat vaikuttavat huomattavasti Kokemäenjoen alaosan tulviin. Loimijoen vesistöalue on lähes järvetön, eikä joen virtaamaa voida sanottavasti säännöstellä pienen varastotilavuuden takia. Loimijoen pituus Vuolteen voimalaitokselta Kokemäenjoelle on 46 kilometriä, ja kokonaispuutos tällä matkalla on 26 metriä. Kokemäenjoen vuotuinen ylivirtaama on tavallisesti keväällä, keskimääräinen kevytilivirtaaman ajankohta on toukokuun alkupuolella. Myös Loimijoen ylivirtaama on yleensä keväisin, suunnilleen kuukautta aiemmin kuin Kokemäenjoella. Myös syksyllä ja talvella saattaa esiintyä suuria virtaamia. Tämä on tulvasuojelun kannalta haasteellista, sillä yläpuolisten järvien varastotilavuus on tällöin pieni, ja lisäksi hyyteen muodostuminen voi olla voimakasta. (Vainio 1999, Koskinen 2006)

Vedenkorkeus Porissa

Vedenkorkeutta on havainnoitu Kokemäenjoessa Porin asteikolla (3510700) vuosina 1921–1973. Porin asteikko on sijainnut Kirjurinluodon kärjen yläpuolella mutta jääpatoja aiheuttavien Porinsillan ja Linnansillan alapuolella. Seikun sahan asteikolla (3510720) vedenkorkeutta on havainnoitu vuosina 1977–1995. Harjunpäänjoella vedenkorkeutta on mitattu Harjunpään asteikolla (3510600) maantiesillan kohdalla vuosina 1969–1992. (taulukko 3.1) (Hertta 2006, Koskinen 2006)

Kokemäenjoen virtaama

Porin tulvien kannalta keskeisiä virtaamahavaintopaikkoja ovat Harjavallan voimalaitos sekä Loimijoen Maurialankoski Huitisissa. Näistä havaintopaikoista on saatavana päivittäisiä virtaaman vuorokausikeskiarvoja vuodesta 1931 lähtien. Kokemäenjoen virtaamat Porin keskustan kohdalla on laskettu Harjavallan virtaamista valuma-alueiden pinta-alojen suhteen 1/1,031 avulla. Porin virtaama saadaan kertomalla Harjavallan virtaamaluovulla 1,031. Harjunpäänjoelta virtaamahavaintoja on vuosilta 1970–1991 (taulukko 3.2). (Koskinen 2006)

Kokemäenjoen pääuoma haarautuu Porissa Kirjurinluodon kohdalla Luotsinmäenjuopaan sekä Raumanjuopaan ja Huvilajuopaan. 28.4.2004 tehtyjen virtaamamittausten perusteella saatiin virtaamaksi Kokemäenjoen pääuomassa Porin Lukkarinsannassa 121 m³/s, Luotsinmäenjuovassa 91 m³/s, Raumanjuovassa 50 m³/s sekä Huvilajuovassa 4 m³/s. Pääosa Kokemäenjoen virtaamasta kulkee siis Luotsinmäenjuovan kautta. Virtaamamittausten tuloksia vääristää vuorokausisäännöstelystä johtuva virtaaman muutos lyhyessä ajassa: eri haarojen yhteenlaskettu virtaama on mittausten perusteella paljon suurempi kuin joen mitattu kokonaisvirtaama Lukkarinsannassa. Lisäksi mittaushetkellä on ollut tulvatilanteita ajatellen hyvin pieni virtaama. Kokemäenjoen keskivirtaama Porin kohdalla on hieman yli 230 m³/s. (Koskinen 2006, HydValikko 2006)

Sadanta ja lumen vesiarvo – muutokset

Koko Kokemäenjoen vesistöalueella on suhteellisen samankaltaiset sadantaolot. Vuotuinen sademäärä on yleensä 600–650 mm. Sateisimmat kuukaudet ovat heinä- ja elokuu, vähäsateisimmat helmi-, maaliskuu-, huhti- ja toukokuu. (HydValikko 2006) Pitkältä aikaväliltä mitattuja keskimääräisiä sademääriä paljon enemmän tulviin vaikuttavat kuitenkin sademäärän suuret poikkeamat keskiarvosta ylöspäin. Loimijoella jo vuorokauden kestävä erittäin runsas sade voi saada aikaan tulvimista, kun taas Kokemäenjoella normaalissa vesistötilanteessa tulvimiseen tarvitaan useiden vuorokausien tai viikkojen runsasta sadantaa.

Myös lumen vesiarvo on tulvan syntymisen kannalta tärkeä tekijä. Lumen vesiarvon maksimi Kokemäenjoen vesistöalueella ajoittuu vuosittain yleensä maaliskuun lopulle, huippuarvot on kuitenkin mitattu huhtikuussa. Keskimääräinen lumen vesiarvon vuotuinen maksimi on suurella osalla Kokemäenjoen vesistöaluetta noin 70–120

Taulukko 3.1. Yli- ja keskivedenkorkeuksia Porin havaintopaikoilla. Yliveden sattumisvuosi suluissa. (mukailtu Koskinen 2006, tiedot HydValikko 2006, merivesi Merentutkimuslaitos)

Asteikon paikka	Tunnus	HW, m	MHW, m	MeanW, m	Ajanjakso
Porin asteikko	3510700	N60+2,78 (1951)	N60+1,56	N60+0,5	1921–1973
Harjunpäänjoki	3510600	N60+4,27 (1970)	N60+3,47	N60+2,16	1969–1992
Merivesi, Mäntyluoto		MW+1,32 (1984)	MW+0,76	N60-0,217 teoreettinen keskivesi v. 2005	1925–2002

Taulukko 3.2. Keski- ja ylivirtaamia Kokemäenjoella, Loimijoella ja Harjunpäänjoella. (mukailtu Koskinen 2006, tiedot HydValikko 2006)

Havaintopaikka	Tunnus	HQ, m ³ /s	MHQ, m ³ /s	MQ, m ³ /s	Ajanjakso
Harjavalta, Kokemäenjoki	3510450	918 v. 1966	590	220	1931-2005
Pori, Kokemäenjoki		946	608	225	
Maurialankoski, Loimijoki	3509400	513 v. 1966	225	23	1931-1984
Maurialankoski, Loimijoki	3509410	247 v. 1999	178	23	1985-2005
Äetsä, Kokemäenjoki	3509052	564 v. 1988	395	181	1957-1993
Harjunpäänjoki	3510600	47 v. 1970	28	4,7	1970-1991

mm. Lumen vesiarvon ennätykset alueella ovat olleet noin 150–200 mm. (HydValikko 2006)

Sadannan arvioidaan muuttuvan ilmastonmuutoksen myötä siten, että keskimääräinen sadanta nousee erityisesti talvella. Ilmastonmuutoksen arvioidaan vaikuttavan erityisesti sadannan ääriarvoihin, esimerkiksi 14 vuorokauden mitoitussadantaan, jonka tilastollinen toistuvuus on kymmenen vuotta. Tällaisen mitoitussadannan arvioidaan suurenevan vuosisadan lopulle tullessa noin 20–30 prosenttia nykytilanteeseen verrattuna. (Tuomenvirta ym. 2000, Veijalainen 2005) Mitoitussadannan perusteella on arvioitu ylivirtaamia myös Kokemäenjoelle.

Vesistömalli

Kokemäenjoelta ja Suomen kaikista muista merkittävistä vesistöalueista on laadittu vesistömallit, joiden avulla voidaan tarkastella vesistöalueen vesitilannetta ja sen kehittymistä. Vesistömallin avulla voidaan lisäksi muun muassa optimoida säännöstelyä ja arvioida juoksutuksen vaikutuksia sekä ennustaa tulvariskiä. Tammikuun 2005 tulvatilanteessa Poriin syntyvä tulvauhka pystyttiin ennustamaan vesistömallin avulla hyvin. Vesistömallin avulla myös voitiin hyvin arvioida riittävän

kova ja pitkä pakkasjakso, joka tarvittiin jääkannen muodostumista varten. Vesistömallin kehityksestä ja ylläpidosta vastaa Suomen ympäristökeskuksen hydrologian yksikkö. (Koskinen 2006)

Hydrologista kiertokulkua simuloiva vesistömalli koostuu hydrologisesta sadanta-valuntamallista sekä joki- ja järvimalleista. Vesistömallin lähtötietoina ovat päivittäinen sadanta, lämpötila ja haihdunta. Malli simuloi muuttujina aluesadantaa, evapotranspiraatiota, lumivarastoa, maankosteutta, järvihaihduntaa, pinta-, väli- ja pohjavesivarastoa, valuntaa, virtaamia sekä vedenkorkeuksia tärkeimmissä järvissä ja joissa. (Vehviläinen & Huttunen 2001, Veijalainen 2004)

Säännöstely

Kokemäenjoen vesistö on voimakkaasti säännöstely. Jokijaksolla sijaitsevat Tyrvään, Äetsän, Kolsin ja Harjavallan voimalaitokset. Jokiosuuden voimalaitosten patoaltailla ei ole juuri varastotilavuutta, vaan säännöstely tapahtuu jokijakson yläpuolisten järvien tilavuutta säättämällä. Vesistöalueen suurista järvistä säännösteltyjä ovat Näsijärvi, Pyhäjärvi, Kyrösjärvi, Vanajavesi ja Iso-Kulovesi käsittäen Liekoveden, Rautaveden ja Kuloveden. (Vainio 1999)

Taulukko 3.3 Kokemäen vesistön pääjärvet. (Vainio 1999)

Järvi	Pinta-ala km ²	Säännöstelytilavuus milj. m ³	Nykyisen säännöstelyn alkamisvuosi
Iso-Kulovesi	66	59	1957
Pyhäjärvi	125	195	1962
Vanajavesi	171	310	1962
Näsijärvi	257	385	1980
Iso-Tarjannevesi	209	188 ¹⁾	
Kyrösjärvi	96	118	1997
Keuruselkä	119	107 ¹⁾	2)
Iso-Längelmävesi	410	271 ¹⁾	2)

¹⁾MHW-MNW:n mukainen tilavuus

²⁾Rakenteet mahdollistavat säännöstelyä

Säännöstely vaikuttaa vesistöalueen hydrologiaan merkittävästi. Säännöstelyn takia vedenkorkeus järvissä on loppupalvella ja keväällä alempana kuin luonnontilassa, ja lisäksi keväiset ylivirtaumat ovat hieman pienentyneet. Säännöstelyn rytmisiis vaikuttaa tulvatilanteeseen siten, että keväällä lumensulamistulvien uhka on pienempi kuin luonnontilassa olisi. Toisaalta loppukesällä, syksyllä ja alkupalvella säännösteltyjen järvien vedenpinta on tavallisesti korkeammalla kuin luonnontilassa. (Marttunen ym. 2000) Jos tällöin voimakkaat sateet jatkuvat pitkään, ei järvien varastotilavuus riitä, vaan Kokemäenjoessa joudutaan juoksuttamaan suuria virtaamia yläpuolisten järvien tulvavahinkojen välttämiseksi. Säännöstelyn takia keskimääräinen vuotuinen alivirtaama on pienentynyt, ja se ajoittuu lähes poikkeuksetta kesälle. (HydValikko 2006)

Sadannan kasvusta johtuen Kokemäenjoen vuotuinen kokonaisvirtaama on kasvanut muutaman viime vuosikymmenen kuluessa. Erityisesti talvivirtaamat ovat suurentuneet voimataloudellisen hyödyn maksimoinnin takia; vesivoimalaitosten sähköverkkoon tuomasta energialisäyksestä saadaan suurempi rahallinen hyöty talvella. Samasta syystä kesäaikaiset virtaamat suhteessa koko vuoden virtaamaan ovat pienentyneet. Lisäksi Kokemäenjoen virtaamaa rytmittää vahvasti vuorokausisäännöstely. Jokiosuuden voimalaitosten juoksumuutokset ovat keskenään samankaltaisia, sillä niiden varastoaltat ovat pieniä suhteessa virtaamaan. Juoksumuutos tapahtuu niin, että voimalaitokset saavat sähköenergialle parhaan tuoton. Yöaikaan ja keskipäivällä juoksumuutos on yleensä pienimmillään. Sähkökulutuksen ollessa suurimmillaan aamulla,

iltapäivällä ja illalla, on juoksumuutos suurimmillaan. Tulva-aikaan vuorokausisäännöstelyä ei voi harjoittaa. (Koskinen 2006, HydValikko 2006)

3.1.2 Yhdyskuntarakenne

Suunnittelualue koostuu pääasiassa maatalous- ja taajama-alueista niin, että joen eteläpuolella Länsitieltä aina Ulvilan kaupunkiin saakka sekä keskustan kohdalla joen pohjoispuolella on laaja ja yhtenäinen taajama-alue. Muualla on maatalousvaltaista haja-asutusalueita sekä erityisesti suistossa myös vesialuetta ja vesijättömaata. Joen läheisyydessä alue on suurelta osin melko alavaa ja tasaista, mikä tekee siitä suhteellisen tulvaherkän. Suunnittelualueella asuu valtaosa Porin noin 76 000 asukkaasta. Lisäksi alueelle on keskittynyt muun muassa saha-, konepaja- ja pakkausteollisuutta. Alueella on lisäksi raakavedenhankinnan varalaitoksena toimiva Lukkarinsannan pintavesilaitos Kokemäenjoen pääuoman varressa. (Porin kaupunki 2006, Porin Vesi 2006)

Suunnittelualueella on Luotsinmäen jätevedenpuhdistamo, joka puhdistaa noin 60 000 asukkaan jätevedet Porin ja Noormarkun alueelta sekä useiden teollisuuslaitosten ja julkisten laitosten jätevedet. Vuonna 2005 Luotsinmäen puhdistamo käsitteli jätevettä reilut 9,3 miljoonaa kuutiometriä eli keskimäärin noin 25 600 m³/d. Aikaisempina vuosina vesimäärä on ollut hieman pienempi. (Vahti 2006, Porin Vesi 2006) Vuoden 2006 toisella neljänneksellä eli huhti-kesäkuussa Luotsinmäen puhdistamolle tuleva jätevesimäärä oli noin 2,25 miljoonaa kuutiometriä eli keskimäärin noin 24 700 m³/d (Lindfors 2006) Luotsinmäen puhdistamo laskee puhdistetut jätevedet Luotsinmäenjoon.

Vaasan hallinto-oikeuden 20.4.2006 antaman, toistaiseksi vailla lainvoimaa olevan ympäristölupapäätöksen nojalla Luotsinmäen puhdistamon täytyy 1.7.2008 alkaen puhdistaa tulevasta fosforista ja kemiallisesta hapenkulutuksesta vähintään 95 prosenttia sekä typeistä vähintään 70 prosenttia.

Kaavoitus ja maankäyttö

Porin kaupungin rakennusjärjestys on hyväksytty kaupunginvaltuustossa vuonna 1990. Rakennusjärjestyksen mukaan rakennusten etäisyyden keskivedenkorkeuden mukaisesta rantaviivasta tulee olla vähintään 30 metriä ja alimman lattiatason ranta-alueilla vähintään 1,5 metriä keskivedenkorkeutta ylempänä. Porin yleiskaava on hyväksytty vuonna 1984. Kaupungin alueella on voimassa kymmenen osayleiskaavaa. Kokemäenjoen tulvauhan alaisilla alueilla voimassa olevat osayleiskaava-

Taulukko 3.4. Luotsinmäen jätevedenpuhdistamolle tuleva ja sieltä lähtevä vesistökuormitus sekä ympäristölupaehdot. (Lindfors 2006, Vaasan hallinto-oikeus 2006)

	Tuleva jätevesi		Lähtevä jätevesi		Puhd.teho %	Lupaehto	Lupaehto*) 1.7.2008 ->
	IV-VI 2006	IV-VI 2006	IV-VI 2006	IV-VI 2006			
	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d			
BOD _{7atu} O ₂	350	8700	12	290	97	≤20 mg/l ja ≥90%	≤20 mg/l ja ≥95%
P	6	150	0,26	6	96	≤1,0 mg/l ja ≥90%	≤0,5 mg/l ja ≥95%
N	36	880	21	530	40	---	≥ 70 %
Kiintoaine				440		≤ 35 mg/l	≤ 15 mg/l

*) Vaasan hallinto-oikeuden päätös 20.4.2006, johon on haettu valituslupaa KHO:lta

vat ovat 1. Maa-Pori vuodelta 1993, 3. Meri-Pori vuodelta 2000, 5a. Pohjois-Pori vuodelta 2001 sekä 10. Huvilajuopa vuodelta 2000. Meri-Porissa Natura 2000 –alueilla on yhä voimassa vuoden 1984 osayleiskaava. Porin kaupungin kaikille tärkeimmille taajaan asutuille alueille ja teollisuusalueille on vahvistettu asemakaava. Tulvauhan alaisilla alueilla asemakaavoissa on esitetty, miten tulvasuojelu alueella tulee toteuttaa. (Porin kaupunki 2006, Koskinen 2006)

Kantakaupungin yleiskaavaluonnoksen 2025 (Porin kaupunki 2005) tarkoituksena on tarkistaa Maa-Porin yleiskaavaa vuodelta 1993. Luonnoksen mukaan asutusta ja työpaikkoja lisätään tulevaisuudessa tulvauhanalaisista alueista erityisesti Hevosluodon eteläosassa, Karjarannan ja Ulasoorin välillä sekä Toejoen ja Hyvelän välillä. Vuoteen 2025 mennessä Porin kantakaupungin länsi- ja pohjoisosan asukasluvun ennustetaan kasvavan ja itäosan väkiluvun vähenevän. (Porin kaupunki 2005) Porin asukasluvun, runsaat 76 000, ennustetaan säilyvän lähivuosikymmeninä suunnitteen samansuuruisena. Vuonna 2040 Porin väkiluvun ennustetaan olevan noin 73 400. (Tilastokeskus 2006b)

Maisemalliset ja kulttuurihistorialliset arvot

Tulvauhanalaisilla alueilla tai suunniteltujen ruoppausten tai pengerrysten vaikutusalueella ei sijaitse tunnettuja muinaisjäänöksiä. Ruoppausten ja pengerrysten vaikutusalueella on kaksi valtakunnallisesti merkittävää kulttuurihistoriallista ympäristöä (RKY1993). Porin keskustan pohjoispuolella sijaitsee kohde "1416 Kokemäenjoen kulttuurimaisema" ja Harjunpäänjoen tuntumassa ja eteläpuo-

lella, Kokemäenjoen ja rautatiesillan itäpuolella kohde "1445 Harjunpäänjoen kulttuurimaisema". (Museovirasto 1993)

Ruoppausten ja pengerrysten vaikutusalueella Isosannassa, luotojen alueella ja keskustassa sijaitsee Porin kansallinen kaupunkipuisto KAP000002. Kaupunkipuistoon kuuluvista alueista tulvauhan alaisia ovat arkkitehtonisesti ja historiallisesti ainutlaatuisen Pohjoisrannan teollisuusmiljö, samoin Kirjurinluodon kulttuurihistoriallisesti arvokas puisto ja rantapaviljonki. Kaupunkipuistoon kuuluva erikoislaatuinen Huvilajuovan 1900-luvun alkupuolella rakennettu huvilayhdyskunta on säilynyt varsin eheänä kokonaisuutena. Huvilat ovat pääosin kevytrakenteisia, ja arvokkaimmat niistä on suojeltu asemakaavalla. Huvilajuopa kuuluu Porin tulvaherkimpiin alueisiin. Huvilajuovan läheisyydessä sijaitsee myös siirtolapuutarha, joka on seutukaavan kulttuurihistoriallinen kohde. Hanhiluodon peltojen kautta Porin kansallinen kaupunkipuisto on yhteydessä Kokemäenjoen suiston Natura 2000 –alueeseen, mikä auttaa arvokkaan luontotyypin ulottumista kaupungin keskustaan saakka. Koko luotojen alue on tulvaherkkää aluetta. (Porin kaupunki 2006)

3.1.3 Luonnonarvot

Kokemäenjoen suiston Natura 2000 –alue

Kokemäenjoen suisto on Suomen laajin ja edustavin suistomuodostuma eli delta. Suisto käsittää runsaasti erilaisia kosteikkobiotooppeja avoveden tai niukan vesikasvillisuuden vallitsemista uposkasvillisuusyhdyskunnista järeisiin tervaleppälehtoihin. Lisäksi suiston etelärannoilla on kulttuu-

ribiotooppeja, esimerkiksi laidunniittyjä. Kasvistossa on useita harvinaisuuksia kuten pahaputki, otalehtivita ja litteävitä. Alue on erittäin merkittävä ennen kaikkea linnustollisesti. (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006)

Kokemäenjoen suiston Natura-alue FI0200079 kuuluu Natura 2000 –verkostoon sekä luontodirektiivin mukaisena SCI-alueena että lintudirektiivin mukaisena SPA-alueena. Alueelle on ominaista rantaviivan ja kasvillisuusvyöhykkeiden siirtyminen merelle päin maankohoamisen ja sedimentaation takia. (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006) Maankohoaminen Porin seudulla on noin 6–7 mm vuodessa, ja joki tuo vuodessa noin 100 000 kuutiometriä sedimenttiä sedimentaatioalueille. (Porin kaupunki 2006) Kokemäenjoen suistossa pesii yhteensä noin 110 lintulajia, joista vesilintuja on 21. Vesilintujen parimäärä on yhteensä noin 700. Arvokkaan vesilinnuston ohella suistossa pesii runsaasti kahlaajia, petolintuja ja lukuisia varpuslintulajeja. Suisto on lintujen tärkeä muutonaikainen levähdysalue ja vesilintujen sulkasadon aikainen kerääntymispaikka. (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006)

Fleiviikin niitty suiston etelärannalla on Etelä-Suomen laajin ja arvokkain jatkuvasti laidunnettu jokisuistoniitty. Se on sekä kasvistollisesti että linnustollisesti erittäin merkittävä. Laajaa rantaniittyä elävöittävät rehevät lampareet sekä niitylle työntyvä umpeenkasvava sisälahti. Alueen kasvillisuus vaihtelee laajoista luhtaniityistä nummimaisiin ketokuvioihin. Puustoa on vain muutamassa koillisosan rehevöityneessä, tervaleppää ja katajaa kasvavassa saarekkeessa. Fleiviikin vesi- ja kahlaajalinnuston runsaus perustuu jatkuvaan laidunnukseen. Fleiviikissä pesii myös uhanalainen etelänsuosirri. (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006)

3.1.4 Kalatalous

Kokemäenjoen suistossa ja varsinkin Pihlavanlahdella on aiemmin esiintynyt kohonneita petokalojen elohopeapitoisuuksia, mikä on haitannut kalastusta. (Häkkilä 1987) Myös alueen rehevyys on haitannut kalastusta. Yleisimmät saalislajit kyseisellä alueella ovat olleet hauki, ahven ja särki. Ammattikalastus on keskittynyt suistoa ja Pihlavanlahtea ulommaksi merelle. (vrt. Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2004)

Kuva 3.2. Natura 2000 –alueen sijoittuminen Kokemäenjoen suistossa.



3.1.5 Ravinteet ja ympäristölle haitalliset aineet

Haitalliset aineet sedimentissä

Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. otti Lounais-Suomen ympäristökeskuksen toimeksiantona maaliskuussa 2006 sedimenttinäytteitä Porin alueella Kokemäenjoesta ja Pihlavanlahdelta seitsemästä eri kohdasta. Kohdat olivat Kalaholma, rautatiesilta, Seikku, Karjaranta, Huvilajuopa, Hevosluodonjuopa ja Pihlavanlahti. (liitteet 2 ja 3) Sedimenttinäytteistä analysoitiin useita eri parametreja, erityisesti eri raskasmetallien pitoisuuksia. Liitteessä 6 on kooste tuloksista, joiden mukaan Pihlavanlahdella ja Hevosluodonjuovassa on merkittävästi kohonneita raskasmetallipitoisuuksia. Muiden haitallisten aineiden, kuten orgaanisten tinayhdisteiden, PAH-yhdisteiden, dioksiinien ja furaanien sekä PCB:n osalta kaikki tutkitut sedimenttinäytteet olivat puhtaita. (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 2006, Oravainen 2006)

Ruoppausmassojen laatukriteerit mereen läjitetäville massoille on määritelty suhteellisen tarkasti (Ympäristöministeriö 2004), mutta maalle läjittämisessä käytäntö vaihtelee enemmän tapauskohtaisesti riippuen muun muassa suotovesien kulkeutumisesta ja kiintoaineen pidäytymisestä läjitysaltaaseen. Läjitykseenkin liittyvät määräykset annetaan tavallisesti vesilain mukaisessa lupamenettelyssä. Tapauskohtaisuuden takia on hankala arvioida, kuinka paljon haitallisten aineiden kohonneista pitoisuuksista sedimentissä koituu ruoppaukselle lisäkustannuksia.

Raskasmetallit ja fosfori kulkeutuvat pohjasedimenttiin nimenomaan hienoaineksen mukana. (Ympäristöministeriö 2004) Hienoainessedimentaatiota jokivesistöissä tapahtuu tavallisesti runsaimmin rannan läheisyydessä, jossa veden virtausnopeus on pienempi kuin keskellä uomaa. Suunnitellut ruoppaukset Kokemäenjoen alaosalta tapahtuvat Porin kohdalla suhteellisen keskellä uomaa, kun taas alempana luotojen ja suiston kohdalla saatetaan joutua ruoppaamaan läheltä rantaa.

Vedenlaatu

Kokemäenjoen alaosalta ja Pihlavanlahdella vedenlaadun yleinen käyttökelpoisuusluokitus on välttävä ja osin tyydyttävä. (ympäristöhallinto 2006a) Jätevesikuormituksen vähennyttyä alueen vedenlaatu on parantunut selvästi, mutta ongelmana on edelleen veden sameus ja rehevyys. (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2004)

3.1.6 Eroosio ja sedimentaatio

Luode Consulting Oy teki Kokemäenjoen alaosalta ja Pihlavanlahdelle marras-joulukuussa 2003 kartoituksen, jossa mitattiin vedenlaatua ja hienoainessedimentaatiota. Kartoitus perustui pitkälti veden sameuden laskennallisiin ja mitattuihin eroihin. Mitatut parametrit olivat veden sameus, suolapitoisuus, lämpötila ja a-klorofylli. Kartoituksen tavoitteena oli selvittää, miten Kokemäenjoen vedet leviävät ja sekoittuvat meriveteen Pihlavanlahden alueella. Tulvasuojelun kannalta hienoainessedimentaatiolla on vähäisempi vaikutus joen virtaamaoloihin kuin karkean aineksen sedimentaatiolla. (Luode Consulting Oy 2003, Koskinen 2006)

Kartoituksen tulosten perusteella sedimentaatiota tapahtuu Pihlavanlahden uloimmissa osissa sekä suuremman virtaaman ja sedimenttikuormituksen aikana myös jokisuistossa. Pihlavanlahden keskiosissa havaittiin ainoastaan resuspensiota. Eri jokiuomien sisäiset ja niiden väliset laatuerot ovat kartoituksen mukaan vähäisiä. Tuulen aiheuttama sekoittuminen Pihlavanlahdella on paikoin erittäin voimakasta. Virtaaman muutosten sekä tuulen vaikutus tutkimusalueen vedenlaatuun on merkittävä. (Luode Consulting Oy 2003, Koskinen 2006)

3.2 Aikaisemmat tulvatilanteet ja tulvasuojelutoimet

3.2.1 Tulvahistoriaa

Vuonna 1899 oli suuri kevättulva, jonka tilastolliseksi toistuvuudeksi on arvioitu (esim. Ollila ym. 2000) vähintään 250 vuotta. Kokemäenjoen vesistöalueella tulva peitti maata 47 500 hehtaaria. Vahingot olivat pääosin maatalousvahinkoja; teollisuudelle aiheutuneet vahingot olivat noin kolmannes, ja rakennuksille aiheutuneet vahingot noin kaksi prosenttia kokonaisvahingoista. Kokonaisvahingot Kokemäenjoen vesistöalueella vuoden 2005 hintatasossa olivat noin 10 miljoonaa euroa. (Ollila ym. 2000, Tilastokeskus 2006a)

1920-luvulla jäät tukkivat useana talvena Luotsinmäenhaaran alaosan Pihlavanlahdelle saakka, ja erityisesti kevättulva vuonna 1924 aiheutti vahinkoja. Huhtikuussa vuonna 1936 runsas sadanta ja nopeasti sulanut lumi yhdessä jäidenlähdistä johtuneiden jääpatojen kanssa saivat aikaan suuren tulvan. Tällöin tulvan alle jäivät Toejoki, Isojoenranta, Aittaluoto, Vanhakoivisto sekä osa Hyvelää ja Toukaria. Veden alle jäivät myös luotojen alue ja suistoalue. (Ahomäki 2005, Koskinen 2006)

Vuoden 1951 kevättulva aiheutui runsaista vesisateista ja lumen nopeasta sulamisesta, myöhemmässä vaiheessa jäänlähtöpadosta. Jäät kasaantuivat Lukkarinsannan pumppuaseman ja myöhemmin Porin sillan kohdalle tukkien myös Raumanjuovan ja Luotsinmäenhaaran. Tulva peitti tällöin Karjarannan, Uusi-Aittaluodon ja Herralahden. Luotsinmäenhaarassa oli kiintojäää ja ahtautuneita jäämassoja, mutta Raumanjuovan jääpato saatiin purettua räjäytysten avulla. (Ahomäki 2005, Koskinen 2006)

Viimeaikaisista tulvatilanteista vakavin oli talvitulva 1974–75. Loppuvuonna ja erityisesti joulukuussa 1974 satoi hyvin runsaasti. Suuren virtaaman, avoveden, pakkasjakson ja korkean meriveden takia erityisesti Pihlavan kohdalle muodostui runsaasti hyydettä. Vesi tulvi Kivinillä, Lytlylässä ja Vähäraumalla. Kokemäenjoessa tapahtui myös osittainen jäidenlähtö Harjavallan voimalaitokselta saakka. Jäät kasautuivat rautatiesilta ja myöhemmin Kirjurinluodon kärkeen. Jääpadot tukkivat Raumanjuovan ja Luotsinmäenhaaran, minkä takia vesi nousi Isojoenrantaan, Sunnimeen, Kalaholmaan, Aittaluotoon ja Karjarantaan. Talvitulvan 1974–75 vahingot koko Kokemäenjoen vesistöalueella olivat vuoden 1974 hintatasossa 5,2 miljoonaa markkaa eli nykyrahassa (vuoden 2005 hintataso) noin 4,2 miljoonaa euroa. (Tilastokeskus 2006a) Jokialueen vahingot olivat yli kymmenkertaiset järviolueen vahinkoihin verrattuna. Maa- ja metsätalousvahingot kohdistuivat pääasiassa järviolueelle, muut vahingot jokialueelle. Vahingoista valtaosa koitui jokiosan elinkeinotoiminnalle (noin 83 % kaikista vahingoista). Suurimmat vahingot aiheutuivat jäidenlähden aiheuttamista tuhoista. (Vainio 1999, Ahomäki 2005, Koskinen 2006)

Talvien 1981–82 ja 1982–83 tulvat johtuivat etupäässä voimakkaista sateista ja lauhasta säästä sekä niitä seuranneista hyydeongelmista. Vuoden 1981

joulukuussa hyydettä torjuttiin ensin räjäytyksin. Kun juoksutusta pienennettiin, ja jokeen sää viilennettyä muodostui jääkansi, saatiin tulvatilanne hallintaan. Talven 1982–83 tulva oli vähäisempi, lähinnä uhkaava tilanne. (Ahomäki 2005, Koskinen 2006)

Joulukuussa 2004 olivat Kokemäenjoen yläpuoliset järvioltaat runsaiden sateiden takia suhteellisen täynnä. Ilma kylmeni, ja alkoi muodostua hyydettä ja pohjajäää. Myös korkealla ollut merivesi lisäsi hyyteen muodostumista. Hyydepatoja muodostui pääasiassa Kivinille. Joen ohuehko jääkansi luhistui, ja liikkeelle lähteneet jäät kasaantuivat usean metrin paksuiseksi padoksi jokisuuhun haitaten veden virtaamista mereen. Jääpatoon avattiin uoma hinaajalla, ja lisäksi hyydettä poistettiin Vesimestari-ruoppaajalla. Kokemäenjokeen asennettiin hyydepuomit jääkannen muodostumisen edistämiseksi, ja kylmemmän pakkasjakson alkaessa Kokemäenjoen juoksutus pienennettiin 450 m³/s:sta 180 m³/s:iin. Hyydepuomit ja virtaaman pienentäminen järvioltaiden säännöstelyn avulla mahdollistivat jääkannen muodostumisen, ja uhkaava tulvatilanne raukesi. Kuitenkin tulvan alle jäi Lytlylässä ja Isojuovantien varrella rakennuksia sekä suistoalueella peltoja. Vedenpinnan nousua tosin rajoitti veden leviäminen luotojen alueelle; jos jäät kasautuvat keskustan kohdalle, vesi voi nousta huomattavasti nopeammin ja korkeammalle kuin talvella 2004–2005. Talvitulva 2004–2005 tarjosi paljon käytännön kokemusta tulvantorjuntatöistä ja oli hyvä vertailukohta Porin tulvat-hankkeen tulvasuojelun suunnittelulle. (Ahomäki 2005, Triipponen 2005, Koskinen 2006) Taulukkoon 3.5 on merkitty Porin eri tulvatilanteiden maksimivedenkorkeuksia. Ainakin vuoden 1981 vedenkorkeuksissa on pientä epätarkkuutta, sillä taulukon mukaan Tiimannissa vesi on matalammalla kuin Isojoenrannassa, mikä ei voine pitää paikkaansa.

Taulukko 3.5. Eri vuosien tulvatilanteiden maksimivedenkorkeuksia Kokemäenjoella

Tulvan ajankohta	Tiimanni, m	Isojoenranta, m	Pakkahuone, m	Luotsinmäki, m	Kallo, m
12/1974–1/1975	N60 +2,68	N60 +2,62	N60 +2,25	–	N60 +0,75 MW+0,69
11–12/1979	N60 +2,28	N60 +2,22	N60 +1,74	N60 +1,24	N60 +0,51 MW+0,42
11–12/1980	N60 +2,28	N60 +2,17	N60 +1,61	N60 +1,43	N60 +0,47 MW+0,37
12/1981	N60 +2,60	N60 +2,68	N60 +2,00	N60 +1,60	N60 +0,65 MW+0,55
1/1983	N60 +2,25	N60 +2,15	N60 +1,70		N60 +1,0 MW+0,89
12/2004–1/2005	–	–	N60 +1,52	N60 +1,00	N60 +0,86 MW+0,64

3.2.2 Tehdyt tulvasuojelutoimenpiteet

Kuvassa 3.3 on esitetty Porin tulvasuojelun kannalta merkittävät ruoppaukset 1900-luvulla. Kuvissa 3.4 ja 3.5 on esitetty Kokemäenjoen penkereiden sijainnit ja harjan korkeustasot Porin kohdalla.

1930- ja 1950-luvun ruoppaukset

1930-luvulla Kokemäenjokea ja sen haaroja ruopattiin Porin keskustasta alavirtaan päin lähes koko matkaltaan. Ruoppaukset ulottuivat Pihlavanlahdelle saakka, ja ruoppausmassat olivat noin 440 000 m³. Tuolloin tulvantorjunnassa kokeiltiin myös hyydepuomien käyttöä Porin yläpuolella Ulvilassa ja Nakkilassa. Vuosien 1953 ja 1963 välisenä aikana ruopattiin Kokemäenjoen pääuomaa ja Luotsinmäenjuopaa ennen kaikkea alusliikenteen tarpeita varten. Ruoppausmassat olivat noin 280 000 m³. (Länsi-Suomen vesioikeus 1984, Koskinen 2006)

Porin-Kahaluodon-Ruosniemen pengerrys

1950-luvulla aloitettu Porin-Kahaluodon-Ruosniemen pengerryshanke käsitti Kokemäenjoen ja Luotsinmäenjuovan pohjoispuolen pengerrykset Kahaluodosta Ruosniemeen ja Isojoenrantaan Toejoelle saakka sekä pengerrysten vaatimat kuivatusjärjestelyt ja siltojen uusimiset. Pengerryksen tarkoitus oli ensisijassa maatalousmaiden tulvasuojelu, ja penkereet mitoitettiin tulvalle, jonka toistuvuus aika on keskimäärin kerran 20–50 vuodessa. Penkereet ovat paikoin painuneet ja heikossa kunnossa. (Koskinen 2006)

Ojituskuivatukset

Luotojen alueen ja Nuottalanojan kuivatus- ja pengerryshankkeet Kokemäenjoen alaosalla on tehty ojituksina 1950–60-luvulla. Hankkeisiin kuuluivat Kvistinluodon pohjoisosan kuivatus, Hevosluodon, Hanhiluodon ja Raatimiehenluodon kuivatus sekä Nuottalanojan perkaus- ja pengerryshanke. Nuottalanojan pengerrystä on vahvistettu Kokemäenjoen suosan pengerrys- ja perkaushankkeen yhteydessä. Luotojen kuivatuspumppaukset on suunniteltu ainoastaan kevät- ja kasvukaudelle. Hevosluodon hankkeen tarkoituksena on estää keskiyliveden suuruisen tulvan pääsy luodon matalaan keskustaan ja maanviljelyn mahdollistamiseksi alentaa pohjavettä joko pumppaamalla tai kuivempaan aikana luonnollisen kuivatuksen avulla. Hanhiluodon ja Raatimiehenluodon penkereen korkeus on kuivatussuunnitelmassa määritetty niin, ettei keskiylivesi ylitä pengertä. Jääpato- ja

hyyydetulvien aikana vesi leviää luotojen alueelle. (Koskinen 2006)

Kokemäenjoen suosan pengerrys ja ruoppaus

Vesihallitukselle myönnettiin Länsi-Suomen vesioikeuden lupa 9.3.1984 Kokemäenjoen suosan pengerrys- ja perkaushankkeen toteuttamiseksi.

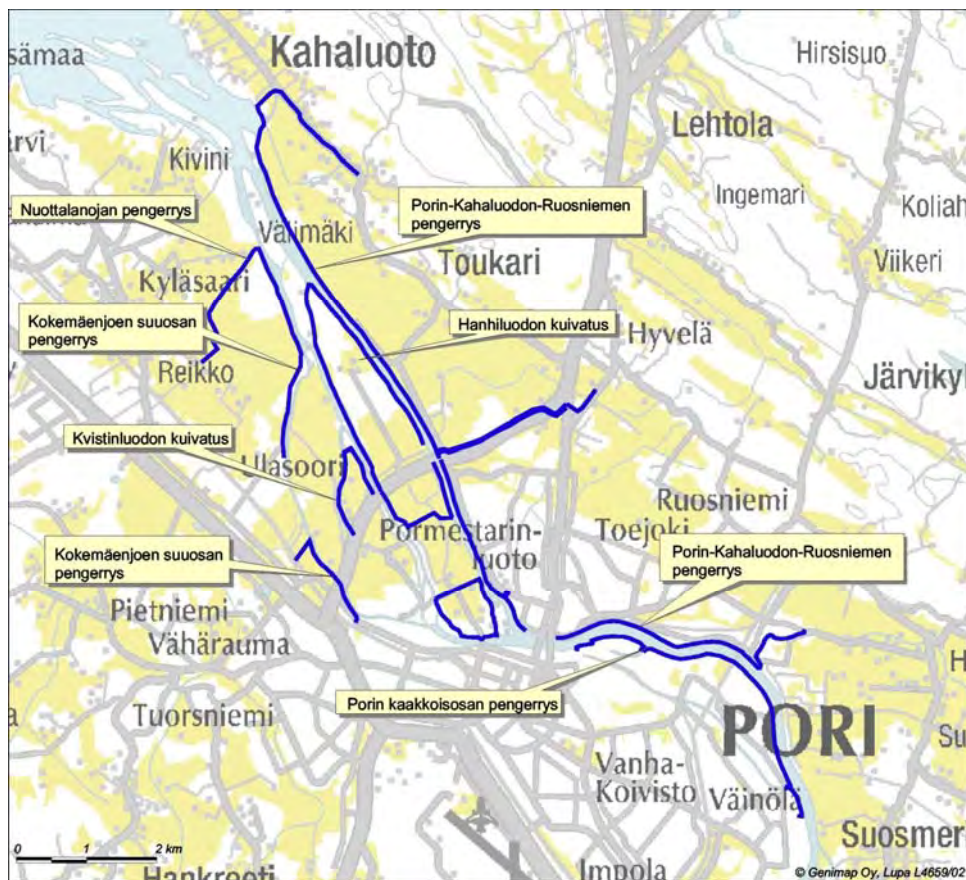
Hanke käsitti (Länsi-Suomen vesioikeus 1984):

- Kokemäenjoen pääuoman ja Luotsinmäenjuovan ruoppauksen Kirjurinluodon edustalla paaluvälillä 224+85 – 230+43 pohjan leveydellä 40–172 metriä ja pohjan tasolla N60-5,0 – -4,5 metriä
- Luotsinmäenjuovan kapeikon poistamisen paaluvälillä 174+00 – 175+20
- Raumanjuovan ruoppauksen paaluvälillä 7+50
- 101+50 pohjan leveydellä 30 metriä ja pohjan tasolla N60-4,0 metriä
- Laiskarännin ruoppauksen Kyläsaarenjuovan päästä ns. Tukkiluodon oikaisu-uomaa pitkin Kokemäenjoen pääuoman paalulle noin 125 pohjan leveydellä 15 metriä ja pohjan tasolla N60-3,5 metriä
- Tulvasulkujen rakentamisen Huvilajuopaan, penkereen rakentamisen Huvilajuovan yläpään läntisen haaran yli, Pajukarin ja Hevosluodon välisen sillan poistamisen ja rummun rakentamisen veden vaihtumiseksi
- Penkereet Raumanjuovan läntiselle rannalle, Raumanjuovan Hevosluodon puoleiselle rannalle, Hanhiluodon ja Raatimiehenluodon rannalle ja Suntinojan länsirannalle välille Raumanjuopa–rautatie
- Pengerrykset Rantakulmaan ja Karjarantaan sekä Nuottalanojan pengerryksen vahvistamisen
- Pengerryksen ja tien Kiviniin
- Tulvasulut neljään Suntinojan lasku-uomaan Pori-Mäntyluoto –tien eteläpuolella

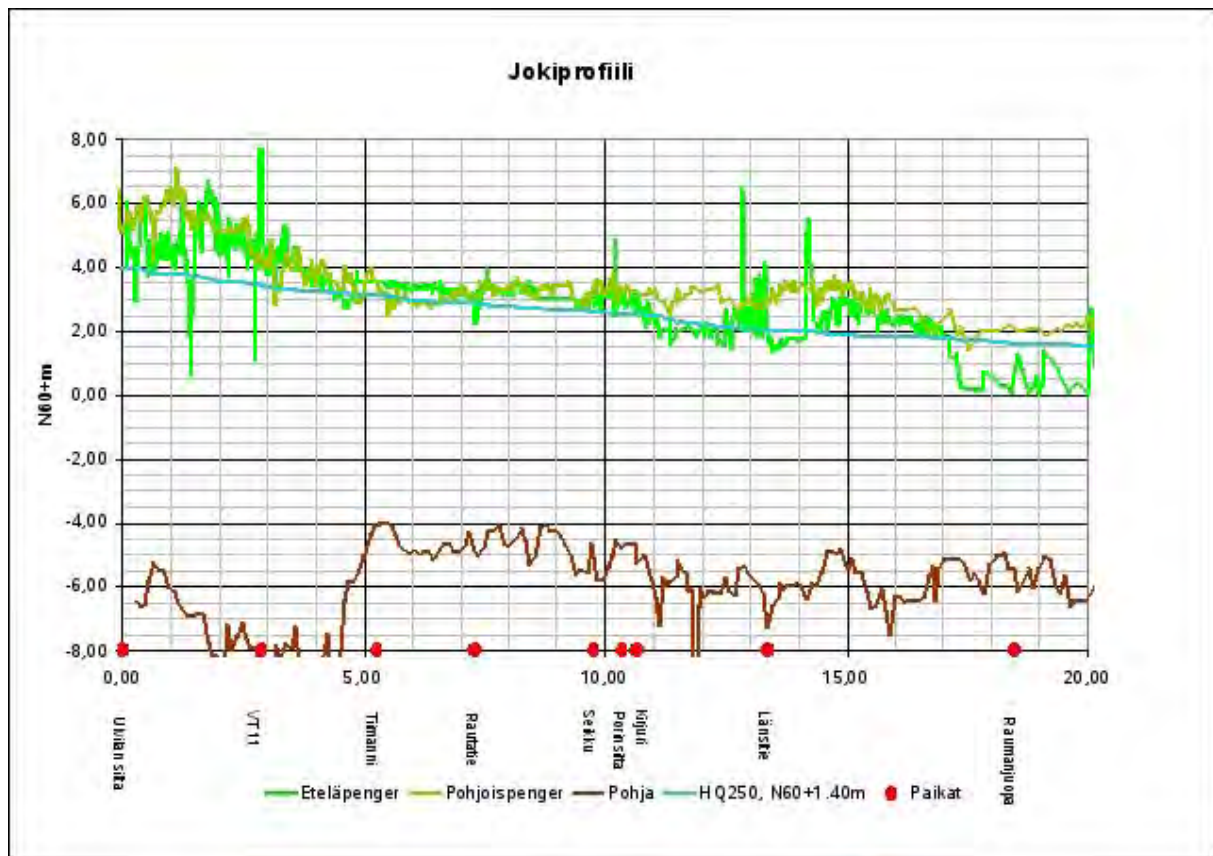
Ennen varsinaista lupapäätöstä vesihallitukselle myönnettiin lupa hankkeeseen kuuluvien töiden aloittamiseksi Kirjurinluodon edustan ja Raumanjuovan yläosan ruoppaukseen, Raumanjuovan ruoppaukseen, Raumanjuovan vasemmanpuoleisen osan kaivamiseen, Karjarannan pengerrykseen kuuluvan rantapenkereen rakentamiseen sekä Raumanjuovan ruoppaukseen Kiviniissä. Kokemäenjoen suosan pengerrys- ja perkaushankkeen lupapäätös jatkoajkoineen umpeutui 8.5.2000. Joitakin hankkeeseen kuuluvia toimenpiteitä, muun muassa tulvasulkujen rakentaminen Huvilajuopaan, penkereen rakentaminen Huvilajuovan yläpään läntisen haaran yli, Pajukarin ja Hevosluodon vä-



Kuva 3.3. 1900-luvulla toteutetut tulvasuojelun kannalta merkittävät ruoppaukset Porissa. (tiedot Koskinen 2006)



Kuva 3.4. Rakennetut tulvapenkereet Porissa. (Koskinen 2006)



Kuva 3.5. Kokemäenjoen pääuoman pituusleikkausprofiili (penkereet, pohja sekä avovesitilanteen vedenpinta merivedenkorkeudella N60+1,40 m ja virtaamalla HQ I/250) Uvilan sillalta Pihlavanlahdelle. (Huokuna 2006)

lisen sillan poistaminen ja rummun rakentaminen veden vaihtumiseksi, on edelleen toteuttamatta. (Koskinen 2006)

Porin kaakkoisosan pengerrys

Porin kaakkoisosan pengerryshanke toteutettiin 1970- ja 80-luvulla. Hankkeen pengerrykset on rakennettu Uuden Aittaluodon, Kalaholman, Väinölän, Tiimannin ja osittain Koivistonluodon alueiden suojaamiseksi. Pengerrys kulkee Kokemäenjoen etelärantaa pitkin Seikun sahan kohdalta Kalaholmansaaren kärkeen saakka. Hankkeeseen kuului myös Varvourinjuovan sulkeminen ylä- ja alapäästään vakaan kuivatustilanteen saavuttamiseksi pengerrysalueella. (Koskinen 2006)

Seikun ja Halssin matalikoiden ruoppaus 1992–1993

Kokemäenjoen pääuomassa Aittaluodon teollisuusalueen kohdalla sijainnut matalampi kohta, ns. Seikun matalikko, ruopattiin touko-kesäkuussa 1993. Ruoppauksen tarkoituksena oli ennen muuta ehkäistä jää- ja hyydepatojen muodostumista ky-

seiseen kohtaan. Ruoppaus tehtiin kaivuruoppauksena paaluvälillä 236 – 243+50 tasoon N60-5,0 metriä pohjan leveydellä 45 metriä. Ruoppausmassoja kertyi noin 58 000 m³, ja ne kuljetettiin proomuilla Raatimiehenluodon läjitysalueelle ruoppauskohdasta 2–3 kilometriä alavirtaan. (Kirkkala 1993)

Pihlavanlahdella sijaitsevalle Halssin matalikolle sedimentoituu Kokemäenjoen kuljettamaa kiintoainesta. Matalikko ruopattiin syystalvella 1992 ja huhtikuussa 1993 kuokkakaivuna. Ruopattu alue oli noin 700 metriä pitkä ja noin 40 metriä leveä. Ruoppausmassoja kertyi noin 40 000 m³. (Kirkkala 1993)

3.3 Porin tulvariskien arviointi

Jotta tulvasuojeluvaihtoehtojen keskinäistä edullisuutta voitaisiin vertailla, täytyy arvioida kunkin vaihtoehdon vaikutus vedenkorkeuteen eri alueilla ja erilaisissa tulvatilanteissa. Eri tulvasuojeluvaihtoehtoja on paljon, ja erilaisia tulvatilanteita lähes rajaton määrä. Lisäksi tarkasteltava alue on laaja ja kalteva. Tämän takia ei ole mielekäästä laatia jokaiselle eri tulvatilanteen ja tulvasuojeluvaihtoehdon

yhdistelmälle virtausmallinnusta ja tulvakarttaa sekä arvioida vaihtoehdon vaikutusta syntyviin vahinkoihin. Paremminkin on saatava hyvä yleiskuva siitä, a) mitkä ovat todennäköisimmät vakavia vahinkoja aiheuttavat tulvatilanteet ja b) kuinka eri tulvasuojeluvaihtoehdot vaikuttavat näissä tilanteissa syntyviin vahinkoihin.

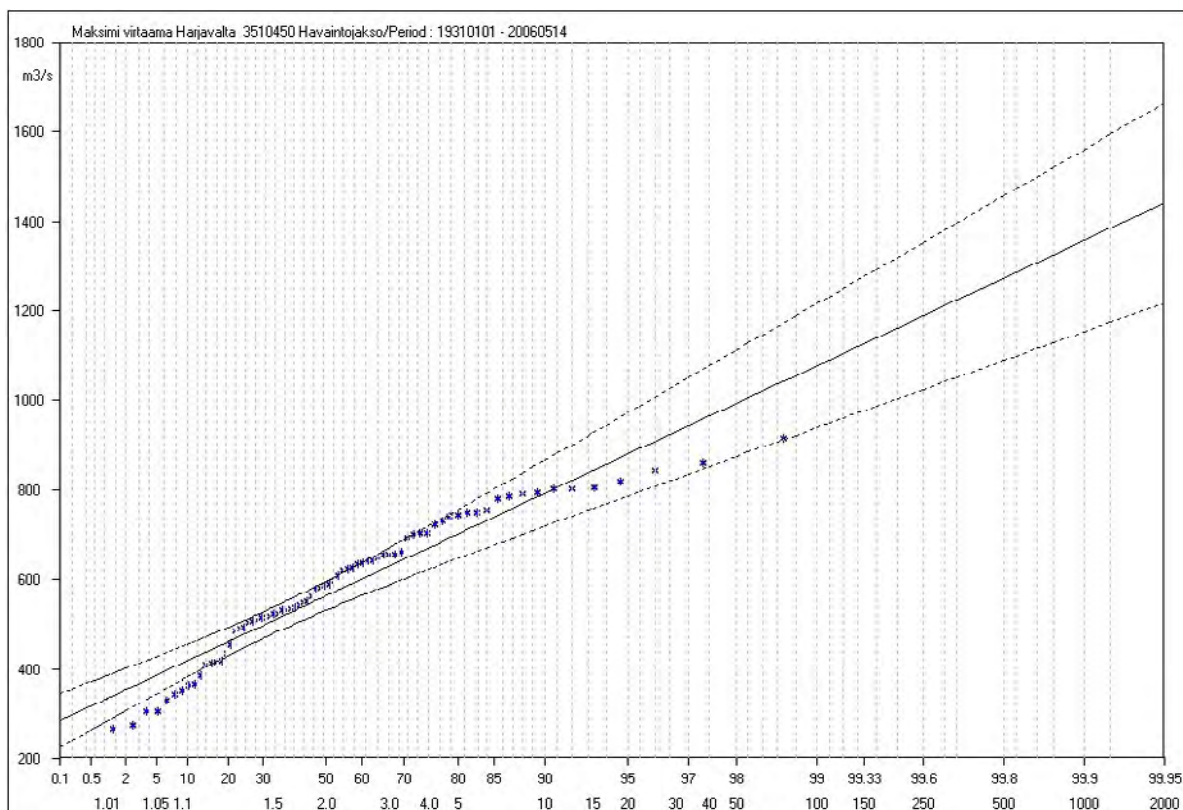
Porin tulvat –projektissa tehtiin virtausmallinukset ja tulvavaarakartat erilaisille avovedenaisille tulvatilanteille sekä tulvatilanteelle, jossa suuri jääpato on Kirjurinluodon kärjen kohdalla. Hyyde- tai jäätyminen aikaisista tilanteista ei tehty tulvakarttoja. Lisäksi laskettiin muutamien eri tulvasuojeluvaihtoehtojen vaikutus vedenkorkeuksiin jokijaksolla joissakin tulvatilanteissa.

3.3.1 Tulvan suuruuden arviointi

Virtaama ja vedenkorkeus Porissa

Porin tulvat –projektissa pyrittiin arvioimaan ja etsimään keinoja vähentää erityyppisten tulvatilanteiden aiheuttamia haitallisia vaikutuksia Porissa. Tulvavaarakartat, jotka perustuvat mallinnettuihin vedenkorkeuksiin, laadittiin tilastollisesti keski-

määrin kerran 50 vuodessa (HQ 1/50), kerran 100 vuodessa (HQ 1/100) ja kerran 250 (HQ 1/250) vuodessa esiintyville virtaamille. Tulvavaarakarttojen laatimista varten määritettiin Kokemäenjoen virtaaman toistuvuudet Harjavallan voimalaitoksen virtaamamittausten perusteella. Virtaama-arvot ovat vuorokausikeskiarvoja ja ne on tallennettu ympäristöhallinnon tietojärjestelmä Herttaan. Virtaamatiedot, jotka on esitetty kuvassa 3.6 ja taulukossa 3.6, analysoitiin ympäristöhallinnon laskentaohjelma HydValikon avulla. (Koskinen 2006) Laskentaohjelma käyttää toistuvuusanalyysissä Gumbelin jakaumaa, laskentakaavana Weibullin todennäköisyyttä ja sovitusmenetelmänä momenttimenetelmää. (HydValikko 2006). Yleisesti käytetyistä jakaumista Gumbelin jakauma on Suomessa ylivoimaisesti tavallisin virtaamien ja vedenkorkeuksien toistuvuuksien arvioinnissa. (Veijalainen 2004). Porin virtaamat on saatu Harjavallan virtaamista kertomalla ne luvulla 1,031, joka on valuma-alueiden suhde Porin ja Harjavallan kohdalla. (Koskinen 2006)



Kuva 3.6. Kokemäenjoen (Harjavallalta) vuotuisen maksimivirtaaman Gumbelin toistuvuusanalyysi verhoikäyrineen. Toistuvuus aika on alimmalla rivillä. (HydValikko 2006)

Taulukko 3.6. Kokemäenjoen maksimivirtaamat Harjavallassa ja Porissa keskimääräisillä toistuvuusajoilla 50, 100 ja 250 vuotta. (tiedot HydValikko 2006)

Toistuvuus	Harjavalta m ³ /s	Pori m ³ /s
HQ I/50	993	1024
HQ I/100	1077	1110
HQ I/250	1189	1226

Tulvavedenkorkeuden toistuvuutta ei yleensä voi kovin luotettavasti laskea virtavesistöille, etenkin jääpadoista tai muista poikkeustilanteista aiheutuville vedenkorkeuksille. Vedenkorkeuden toistuvuuden arviointi on virtaaman arviointia huomattavasti epävarmempaa, eikä esimerkiksi Porin tulvat –hankkeessa käytetty tulvakarttojen laadinnassa vedenkorkeuden toistuvuusanalyysin antamia tuloksia, vaan tulvavedenkorkeuksia arvioitiin lähinnä virtausmallien sekä aikaisempien yksittäisten tulvien perusteella.

Osana tulvavahinkojen ennaltaehkäisyyn tähtäävää EXTREFLOOD-projektia Suomen ympäristökeskuksessa (Veijalainen 2005) arvioitiin Kokemäenjoen ylivirtaaman suuruutta Porin kohdalla. Arviointi tapahtui Suomen ympäristökeskuksessa käytössä olevan vesistömallin avulla. Mallin sadantatietona käytettyä Ilmatieteen laitoksen tuottamaa 14 vuorokauden mitoitussadantaa siirrettiin mallinnuksessa eteenpäin yksi vuorokausi kerrallaan koko 40 vuoden säähavaintojakson läpi. Laskennassa otettiin huomioon lisäksi muun muassa säännöstelyohjeet ja tietyt hydrologiset rajoitukset. Jakson suurimmat virtaamat etsittiin. Nämä vastasivat hyvin Gumbelin toistuvuusanalyysillä saatuja ylivirtaamia. (taulukko 3.7) (Veijalainen 2005)

Ilmastonmuutoksen vaikutus ylivirtaamiin

EXTREFLOOD-projektissa arvioitiin ilmastonmuutoksen vaikutusta ylivirtaamien suuruuteen. Tulevaisuuden ylivirtaamia etsittiin samalla tavoin kuin nykytilanteen ylivirtaamia, kuitenkin muuttaen sadanta- ja lämpötilatietoja kunkin ilmastonmuutosskenaarion mukaiseksi. Vuotuiset ylivirtaamat kasvoivat 3–24 prosenttia nykytilanteeseen verrattuna (taulukko 3.7). Kun nykytilanteessa ylivirtaamat ajoittuvat Kokemäenjoella yleensä kevääseen, niiden ennakoidaan tulevaisuudessa sattuvan syksyllä. Tämä johtuu lumen ajoittaisen talvisen sulamisen lisääntymisestä ja syksyisen sademäärän kasvusta. (Veijalainen 2005)

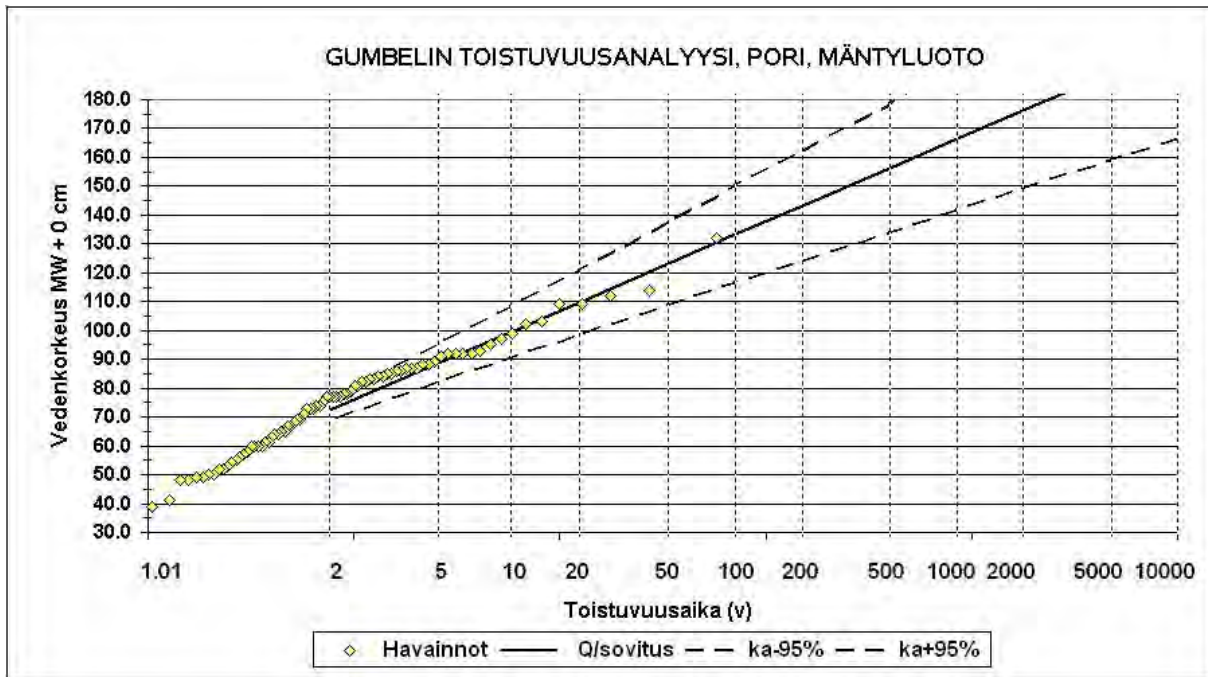
Merivedenkorkeuden toistuvuus

Merivedenkorkeus vaihtelee huomattavasti erityisesti ilmanpaineen ja tuulten vaikutuksesta. Talvitilanteessa vallitsee usein matala ilmanpaine ja etelän- tai lännenpuoleinen tuuli, jolloin merivesi on korkealla. Merivedenkorkeuden seurannasta Porin Mäntyluodon Kallossa vastaa Merentutkimuslaitos. Seuranta on aloitettu vuonna 1925. Näin pitkällä seurantajaksolla keskimerivedenkorkeus maan suhteen Porin edustalla on laskenut huomattavasti maankohoamisen vaikutuksesta. Toisaalta merivedenpintakin on noussut, joskin hitaasti. Merivedenkorkeuden ennustetaan laskevan vuoteen 2100 mennessä Mäntyluodossa ilmastonmuutosskenaariosta riippuen noin 0,20–0,40 metriä. (Koskinen 2006, Merentutkimuslaitos 2006)

Merentutkimuslaitos ilmoittaa havaitsemansa merivedenkorkeudet niin kutsutun teoreettisen keskiveden suhteen. Teoreettinen keskivesi (MW) on käytännön tarpeita varten luotu korkeusjärjes-

Taulukko 3.7. Mitoitussadannan ja toistuvuusanalyysin (havainnot) perusteella saadut Kokemäenjoen ylivirtaamat (m³/s) Porissa keskimääräisillä toistuvuusajoilla 100 ja 250 vuotta nykytilanteessa ja eri ilmastonmuutosskenaarioilla. (Veijalainen 2005, HydValikko 2006)

Tulvan toistuvuus	Nykytilanne mitoitussadanta	Nykytilanne toistuvuus-analyysi	RH A2 2071-2100	RH B2 2071-2100	RE A2 2071-2100	RE B2 2071- 2100
HQ I/100	1140	1110	1173	1225	1398	1372
HQ I/250	1242	1226	1274	1344	1537	1514



Kuva 3.7. Vuosittaisen maksimimerivedenkorkeuden Gumbelin toistuvuusanalyysi Porin Mäntyluodossa vuosien 1925–2005 havaintojen perusteella. Korkeusjärjestelmä on MW. (MS-Excel-analyysimakro Karvonen 2004, vedenkorkeustiedot Merentutkimuslaitos 2006)

telmä, oikeammin ennuste vedenkorkeuden pitkäaikaisesta odotusarvosta, jossa otetaan huomioon merenpinnan hidas vuotuinen nousu sekä maan kohoaminen tai vajoaminen tietyillä rannikkopaikkakunnilla. Merivedenkorkeuden toistuvuusanalyysi on tehty teoreettisen keskiveden suhteen, jotta vedenkorkeuden vaihtelun suuruutta voidaan arvioida. Merentutkimuslaitos on laskenut omille havaintopaikoilleen muunnokset, joiden avulla teoreettisesta keskivedestä saadaan geodeettisten korkeusjärjestelmien mukaiset korkeudet. Muunnokset on saatavana vuodesta 1881, ja ne ulottuvat noin viisi vuotta nykypäivästä eteenpäin. Vuoden 2005 teoreettisesta keskivedestä Mäntyluodon kohdalla saadaan geodeettisen korkeusjärjestelmän mukainen N60-taso vähentämällä siitä 0,217 metriä, eli N60 = MW₂₀₀₅-0,217 metriä. Vastaavasti esimerkiksi vuoden 1975 teoreettiselle keskivedelle saadaan N60 = MW₁₉₇₅-0,064 metriä. (Merentutkimuslaitos 2006)

Kuvassa 3.7 ja taulukossa 3.8 on esitetty Mäntyluodon vuotuisille merivedenkorkeuden maksimiarvoille tehdyn toistuvuusanalyysin tuloksia. Niiden perusteella keskimäärin kerran sadassa vuodessa esiintyvä merivedenkorkeus Mäntyluodossa eli HW 1/100 on noin MW+1,30 – 1,35 metriä, ja HW 1/250 on noin MW+1,45 – 1,50 metriä. N60-tasoon vuodelle 2005 muunnettuna vastaavat merivedenkorkeudet ovat Mäntyluodossa noin N60+1,10

– 1,15 metriä (HW 1/100) ja N60+1,25 – 1,30 metriä (HW 1/250). Toisin sanoen Mäntyluodossa merivedenkorkeus ylittää nykyisin korkeuden 1,3 metriä N60-tasossa tilastollisesti keskimäärin noin kerran 250 vuodessa.

Taulukko 3.8. Merivedenkorkeuden vuotuisen maksimiarvon toistuvuuksia Mäntyluodossa. Korkeusjärjestelmä on MW. (MS-Excel-analyysimakro Karvonen 2004, vedenkorkeustiedot Merentutkimuslaitos 2006)

Merivedenkorkeus Mäntyluoto MW+cm			
Toistuvuus aika	Keskimestimaatti	95 % alaraja	95 % yläraja
2	73	69	76
10	100	91	108
20	110	99	121
50	123	109	138
100	133	117	150
200	143	124	162
500	156	134	179

Virtaama- ja jäämallinnus

Avovesitilanteen virtaamamallinnus tehtiin Suomen ympäristökeskuksessa (Aaltonen 2005). Vedenkorkeudet mallinnettiin toistuvuusanalyysistä saatujen ylivirtaamien perusteella. Ylivirtaamien tilastollisiksi toistuvuusajoiksi avovesitilanteessa asetettiin 50, 100 ja 250 vuotta. Vedenkorkeuden mallinnuksessa käytettiin numeerisia yksiulotteisia virtausmalleja sekä kaksiulotteista Telemac-2d -virtausmallia. Yksiulotteisilla virtausmalleilla laskettiin jokiuoman vedenkorkeus erilaisissa virtaustilanteissa. Kaksiulotteista virtausmallia käytettiin mahdollisen pengersortuman aiheuttaman tulvan leviämisen mallintamiseen. (Aaltonen 2005) Jääpato-, hyydepato- ja jäätymisenaikaiset tilanteet jokiuomassa mallinnettiin Suomen ympäristökeskuksessa (Huokuna 2006) numeerisella jokijäämallilla (ns. JJT-malli) ja HEC-RAS -virtausmallilla. Jokijäämalli kalibroitiin talven 2004–2005 tulvatilanteessa. (Huokuna 2006)

Tulvavaarakartat

Tulvavaarakartat, joihin merkittiin vedenkorkeudet 0,5 metrin tarkkuudella, laadittiin Suomen ympäristökeskuksessa (Aaltonen 2005) virtaamamallinnuksella saatujen vedenkorkeuksien sekä maaston korkeusmallin perusteella. Maaston korkeusmalliin tarvittavat tiedot saatiin Porin kaupungilta, konsulttitoimistoilta ja Maanmittauslaitokselta. (Aaltonen 2005) Maaston korkeusmallin tarkkuus alueella on noin suuruusluokkaa 0,30–0,40 metriä. (Salonen 2006)

3.3.2 Mahdolliset tulvatilanteet

Tulvatilanteita Kokemäenjoen alaosalla aiheuttavat suuri virtaama, jokeen muodostuvat hyyde- ja jääpadot sekä korkea merivesi. Jääpatojen todennäköisimpiä muodostumispaikkoja ovat jokisuun alue Pihlavanlahdella ja Kivinin kohdalla, Kirjurinluodon kärjen edusta sekä Porin sillan ja rautatiesillan välinen alue. Jääpatotilanteessa tulvan kehittyminen ja seuraukset riippuvat pitkälti jääpatojen määrästä, sijainnista ja uoman tukkeuma-asteesta sekä virtaaman suuruudesta. Varsinkin jäänläh- töpadot voivat aiheuttaa vedenpinnan erittäin nopean nousun, kun taas hyydepadot muodostuvat ja nostavat vedenpintaa yleensä hitaammin. Jäänläh- töpato syntyy yleensä suuren virtaaman ja lämpöjakson seurauksena joko keväisin tai myös talvisin, kuten kävi tammikuussa 1975 Porin kes- kustan kohdalla. (Huokuna 2006, Koskinen 2006) Vaikka viime vuosikymmenien tulvat Porissa ovat yleensä johtuneet ainakin osittain jääpadoista, pel-

kästään suuri virtaama avovesiaikana saattaa aiheuttaa vakavan tulvatilanteen. (Koskinen 2006) Ilmastomuutoksen on ennustettu lisäävän avove- denaikaisia ylivirtaamia. (Veijalainen 2004)

Kokemäenjoen alaosalla voi muodostua hyyde- patoja, mikäli joen virtaama jäätymisvaiheessa on suuri. Tällöin jokeen ei pääse muodostumaan jääkantta, joka suojaa vettä alijäähtymiseltä. Hyyde- eli suppopatojen muodostuminen alkaa tavallisesti suistossa Kivinin kohdalla tai alempana Pihlavanlahdella, kun jokiveden mukana kulkeutuva suppojää kasaantuu meren kiintojään reunaan. Hyydepatojen muodostumispaikkaan vaikuttavat olennaisesti kiintojään reunan sijainti sekä merivedenkorkeus. Pihlavanlahdelle ja erityisesti Kivinin muodostuvat hyydepadot voivat nostaa vedenkorkeutta tuntuvasti aiheuttaen tulvimista Kivinillä, Lyttylässä ja Kahaluodossa. (Huokuna 2006, Koskinen 2006)

Todennäköinen hyyde- tai jäänläh- töpato muodostumispaikka on Kirjurinluodon kärjen kohdalla, jossa Kokemäenjoen pääuoman kaltevuus muuttuu loivemmaksi, ja uoman virtaus jakaantuu kahteen haaraan, Luotsinmäenjuopaan ja Raumanjuopaan. Suotuisissa olosuhteissa voi jääpato ulottua jokisuistolta Kirjurinluodon kärkeen saakka, tai Kirjurinluodon kohdalle voi muodostua erillinen jääpato. (Huokuna 2006, Koskinen 2006)

Hyydepato tai jäänläh- töpato saattaa muodostua Kokemäenjoessa myös Porinsillan ja Linnansillan kohdalle Porin keskustassa. Jääpato ollessa siltojen kohdalla tulvatilanne voi nopeasti muuttua pahaksi luontaisen tulvimisalueen puuttumisen ja runsaan rakennuskannan takia. Vesi pyrkii jääpa- don ohitse ja saattaa nousta penkereiden yli; toisaalta voimakas virtaus ja jäät saattavat aiheuttaa pengersortuman. Tällöin syntyvät vahingot ovat mittavia veden turmellessa asutusta ja teollisuutta suurella osalla Porin keskusta-alueetta. Tällainen tilanne toteutui osittain muun muassa keväällä 1936 ja tammikuussa 1975. (Koskinen 2006)

Yhtenäinen jääpato voi ulottua Pihlavanlahdel- ta aina rautatiesillalle saakka. Hyydepatojen muodostuminen näin pitkäksi on erittäin harvinaista, mutta tilanteen seuraukset olisivat hyvin vakavat veden tulviessa suureen osaan Porin keskustaaja- maa, muun muassa Toejoelle, Pormestarinluotoon ja Uusi-Aittaluotoon. (Huokuna 2006, Koskinen 2006)

Vaikka Kokemäenjoen alaosan pahimmat tulvatilanteet johtuvat yleensä jääpadoista, myös avovesitilanteessa tulvista aiheutuu merkittävä vahinkoa virtaaman ollessa hyvin suuri. Keski- määrin kerran sadassa vuodessa esiintyvällä vir- taamalla (noin 1 110 m³/s) ja merivedenkorkeudel- la N60+0,40 metriä vedenpinta on Kokemäenjoessa

Friitalan kohdalla tasolla N60+3,60 metriä, Seikun sahan kohdalla N60+2,35 metriä ja Karjarannassa N60+2,10 metriä. Tällöin kastuu suuri osa Huvilajuovan varrella olevista vapaa-ajan rakennuksista sekä luotojen ja suiston alueella olevia rakennuksia. Kokemäenjoen virtaamalla 1 225 m³/s (HW 1/250) on vedenpinta edellä mainittuja korkeuksia noin 0,20 metriä ylempänä. (Aaltonen 2005, Koskinen 2006)

3.3.3 Tulvavahinkojen arviointi ja alueellinen jakautuminen

Vahinkojen arviointi

Porin tulvat –projektissa arvioitiin syntyvät tulvavahingot määrätettyjen vedenkorkeuksien ja tulvavaarakarttojen avulla neljälle erilaiselle tulvatilanteelle, jotka olivat (Koskinen 2006):

- virtaama 1 110 m³/s (HQ 1/100), avovesitilanne, merivedenkorkeus N60 +0,40 metriä
- virtaama 1 225 m³/s (HQ 1/250), avovesitilanne, merivedenkorkeus N60+1,40 metriä
- virtaama 1 225 m³/s (HQ 1/250), avovesitilanne, merivedenkorkeus N60+1,40 metriä, penkkeet sortuvat
- jääpato Kirjurinluodon kärjessä, virtaama noin 700 m³/s, merivedenkorkeus N60+0,40 metriä

Tulvavaarakartoissa vedensyvyys erotettiin neljään eri luokkaan: 0–0,5 metriä, 0,5–1,0 metriä, 1,0–1,5 metriä ja yli 1,5 metriä.

Vahinkoarviot rakennusluokittain tehtiin kolmelle eri vedensyvyysluokalle: 0–0,5 metriä, 0,5–1,5 metriä ja yli 1,5 metriä. Rakennusten sijainnit, käyttötarkoitukset ja pinta-alat saatiin Väestörekisterikeskuksen Väestötietojärjestelmästä. (Koskinen 2006) Infrastruktuurille aiheutuvia vahinkoja ei Porin tulvat –projektissa ole numeerisesti arvioitu. Tiestölle, silloille, vedenjakelu- ja viemärijärjestelmälle sekä sähkönjakelulle aiheutuvat vauriot, kuten muutkin tulvavahingot, aiheuttavat usein myös seurannaisvaikutuksia, kuten pelastus- ja jälleenrakennustöiden hidastumista, väestön mahdollista sairastumista tai taloudellista ja sosiaalista taantumaa. Tällaisia vaikutuksia ei ole myöskään arvioitu Porin tulvat –hankkeessa eikä tässä työssä.

Teollisuuden vahinkoarviot perustuvat Koskisen alkuvuonna 2005 tekemään kyselyyn, joka suunnattiin tulvauhan kohteena oleville teollisuuslaitoksille Porissa. Alueen laajuuden ja lukuisten teollisuuskiinteistöjen takia teollisuuden tarkempi tulvavahinkoselvitys rajattiin kaikkein merkittävimmiksi arvioituihin laitoksiin. Teollisuuslai-

toksilta pyydettiin arvio vedenkorkeudesta, jolla vahinkoja alkaa syntyä sekä arvio merkittäviä vahinkoja aiheuttavasta vedenkorkeudesta. Lisäksi pyydettiin arvioimaan vahinkoja määrättyillä vedenkorkeuksilla. (Koskinen 2006)

Mikäli tulva nousee alueelle kesän tai alkusyksyn aikana, aiheutuu maataloudelle tuntevia vahinkoja. Nykytilanteessa tulvan kuitenkin arvioidaan sattuvan todennäköisimmin talvella tai keväällä, jolloin maatalousvahingot jäävät suhteellisen vähäisiksi. Tämä tarkoittaa lähinnä kevätkylvön viivästymistä tai viljan talvehtimistuhjoja. Tämän takia tässä työssä ei oteta huomioon maatalousvahinkoja tulvavahinkoarvioinnissa. Lisäksi maatalouden tukijärjestelmä on monimutkainen kokonaisuus, eikä maatalousvahinkojen selkeää kansantaloudellista vaikutusta ole helppo selvittää. Maataloudelle aiheutuvat vahingot Porissa tulvatilanteessa HW 1/100 ovat Koskisen (2006) arvion mukaan vielä melko merkittäviä kokonaisvahinkoihin nähden. Tätä harvinaisemmilla tulvilla maatalousvahinkojen osuus kokonaisvahingoista on pieni. Kohdealueen metsien vähäisen määrän sekä alueella esiintyvien tulvien lyhytkestoisuuden takia metsätaloudelle mahdollisesti aiheutuvia tulvavahinkoja ei ole huomioitu tässä työssä.

Veden noustessa tiheään asutulle taajama-alueelle voi pinnoilta huuhtoutua ravinteita sekä erilaisia ympäristölle haitallisia ja vaarallisia aineita. Samoin tulvavesi huuhtoo myös pelloilta ravinteita. Toisaalta tulvaveden mukana pelloille ja taajama-alueille voi myös kulkeutua ravinteita ja ympäristömyrkyjä. Kummassakin tapauksessa tulvimisesta kuitenkin koituu haittaa joko ainekulkeuman muodossa Pihlavanlahteen ja edelleen Selkämerelle tai viljelymaiden ja taajama-alueiden roskaantumisenä ja mahdollisena pilaantumisenä. Tällaisen vahingon rahallista suuruusluokkaa on varsin hankala arvioida. Vahinko jää yleensä kuitenkin suhteellisen pieneksi verrattuna aineellisiin vahinkoihin.

Todennäköisesti paljon suurempi ympäristövahinko tulvasta aiheutuu Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon vaurioitumisen kautta. Luotsinmäen puhdistamo käsittelee päivittäin noin 60 000 asukkaan jätevedet sekä lisäksi erilaisten pienten ja keskisuurten teollisuuslaitosten jätevesiä. Tulvatilanteessa jätevedet joudutaan juoksuttamaan suoraan Kokemäenjokeen. Puhdistamolaitteiston vaurioituessa ainakin osittaista ohijuoksutusta saatetaan joutua jatkamaan melko kauan. Jos ohijuoksutus kestää kolme viikkoa, niin taulukon 3.4 (kohta 3.1.2) mukaisten tulevan ja lähtevän jäteveden ainemäärien erotusten perusteella aiheutuu Kokemäenjoelle ja edelleen Pihlavanlahdelle ja Selkämerelle ylimääräinen hapenkulutus, joka on

noin 177 000 kg BOD_{7ATU}. Kolmen viikon ohjauksu-
tuksesta aiheutuva ylimääräinen fosforikuormitus
on noin 3020 kg P, ja ylimääräinen typpikuormitus
tulevaisuudessa noin 13 000 kg N. Ylimääräisen
typpikuormituksen suuruusluokka perustuu olet-
tamukseen, että Vaasan hallinto-oikeuden (2006)
päätöksen mukaisesti Luotsinmäen puhdistamolle
tulevasta jätevedestä otetaan heinäkuusta 2008 al-
kaen vähintään 70 prosenttia typestä talteen.

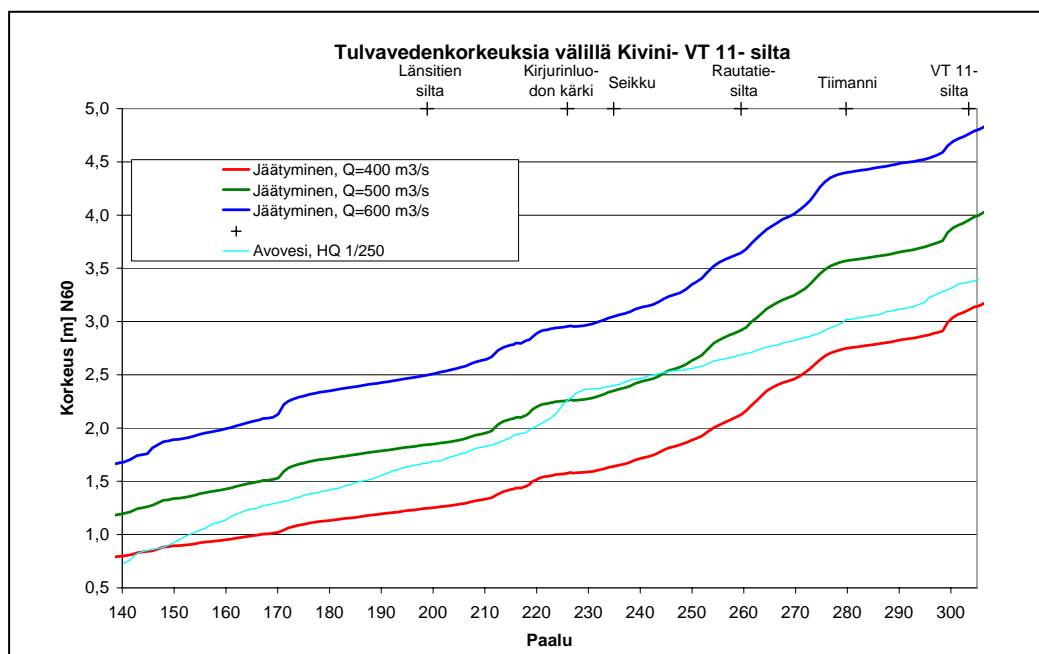
Porissa tulvariskialueella sijaitsee teollisuuslai-
toksia ja polttoaineen jakelupisteitä, joilta saattaa
tulvatilanteessa päästä ympäristöön haitallisia ai-
neita. Laitokset voivat joutua tällaisessa tapauk-
sessa korvausvastuuseen aiheutuneesta vahingos-
ta etenkin, jos ne eivät ole riittävästi varautuneet
poikkeuksellisiin tilanteisiin. Teollisuuslaitosten li-
säksi tulva-alueella sijaitsee Luotsinmäen käytöstä
poistettu kaatopaikka, jolta tulvatilanteesta myös
saattaa päästä haitallisia aineita ympäristöön.

Vahinkojen alueellinen jakautuminen

Porissa herkimvät kohdat tulvaveden leviämi-
sen kannalta ovat luotojen alue, Kivini ja Kroo-
tila. Näillä alueilla vahingot eivät kuitenkaan
yleensä muodostu mittaviksi. Tilanne on pahempi
kaupungin keskustasta ylävirtaan, jossa rantojen
penkereet ovat harjakorkeudeltaan noin N60+3,0
metriä. Penkereiden kestävyys asutuksen tulva-
suojelurakenteena ei kuitenkaan ole riittävä, ja jo
tasolla N60+2,50 metriä oleva vedenpinta saattaa
aiheuttaa pengersuojauksen pettämisen ja veden

purkautumisen maa-alueille. Vesi leviäisi tällöin
Isojoenrannan kautta Toejoelle, Hyvelään ja Por-
mestarinluotoon. Sampo Rosenlewin ja Seikun sa-
han teollisuusalueiden tulvavahinkoraja on juuri
tasossa N60+2,50 metriä. Vedenkorkeustasolla
N60+2,70 metriä vesi nousee teollisuusalueiden
lisäksi Kalaholmaan ja Sunniemeen. (Salminen
2005, Koskinen 2006)

Kuvassa 3.8 on esitetty avoveden- ja jäätymi-
senaikaisia maksimivedenkorkeuksia Kokemäen-
joella välillä Kivini–Outokummun silta. Kuvasta
nähdään, että avovedenaikainen vedenkorkeus ja
jäätymisenaikainen maksimivedenkorkeus virtaa-
malla 500 m³/s laskevat suunnilleen saman verran
mentäessä Outokummun sillalta Kivinille saakka.
Verrattuna avovedenaikaiseen vedenkorkeuteen
jäätymisenaikainen vedenkorkeus laskee kuiten-
kin nopeammin välillä Tiimanni–Kirjurinluoto ja
hitaammin välillä Kirjurinluoto–Kivini. Tämän
takia avovedenaikaisesta tulvatilanteesta laadit-
tuja tulvavaarakarttoja ei voida suoraan soveltaa
jäätymisenaikaiseen tilanteeseen. Vedenkorkeus
jäätymisenaikaisessa tulvatilanteessa on hyvin mo-
nimutkainen mallintaa, ja lisäksi tilanne muuttuu
koko ajan jäätymisen tapahtuessa. Tällaisesta tilan-
teesta ei siis voida laatia kovin edustavaa kuvaa
siitä, minne vesi leviää ja kuinka nopeasti. Jääty-
misen aikaisten tulvavahinkojen alueellista jakau-
tumaa arvioitaessa on käytetty hyväksi avoveden-
aikaisia tulvavaarakarttoja eli oletettu, että tilanteet
veden leviämisen osalta riittävän hyvin vastaavat
toisiaan. (Aaltonen 2005, Huokuna 2006)



Kuva 3.8. Jäätymisen- ja avovedenaikaisia maksimivedenkorkeuksia Kokemäenjoen pääuomassa välillä Kivini – valtatie II. Merivedenkorkeus on N60+0,40 metriä. (Aaltonen 2005, Huokuna 2006)

Taulukko 3.9. Mallinnettuja vedenkorkeuksia Kokemäenjoen pääuoman eri kohdissa erilaisilla tulvatilanteilla. (tiedot Aaltonen 2005 ja Huokuna 2006)

Mallinnettuja vedenkorkeuksia [N60 +m] Kokemäenjoen pääuomassa							
	a	b	c	d	e	f	g
Tiimanni		3,02		3,51	3,87	3,57	4,40
Rautatie-silta	2,51	2,69	2,83	3,45	3,83	2,92	3,65
Seikku	2,33	2,39	2,64	3,08	3,11	2,35	3,05
Kirjurin-luoto	2,22	2,27	2,53	1,85	1,76	2,26	2,96
Luotsinmäen JVP	1,58	1,65	1,97	1,38	1,38	1,82	2,47

a = avovesitilanne, HQ 1/100 (1 110 m³/s), merivedenkorkeus = N60+0,40 m

b = avovesitilanne, HQ 1/250 (1225 m³/s), merivedenkorkeus = N60+0,40 m

c = avovesitilanne, HQ 1/250 (1225 m³/s), merivedenkorkeus = N60+1,40 m

d = jäänlählepato Kirjurinluodon kärjen kohdalla, Q = 700 m³/s, merivedenkorkeus = N60+0,40 m

e = jäänlählepato Linnansillan kohdalla, Q = 700 m³/s, merivedenkorkeus = N60+0,40 m

f = jäätymisenaikainen tilanne, Q = 500 m³/s, merivedenkorkeus = N60+0,40 m

g = jäätymisenaikainen tilanne, Q = 600 m³/s, merivedenkorkeus = N60+0,40 m

Taulukosta 3.9 nähdään, että merivedenkorkeuden nouseminen yhdellä metrillä nostaa vedenkorkeutta Porin keskustan kohdalla suurella avoveden-aikaisella virtaamalla noin 20–30 cm. Virtaaman suureneminen HQ 1/100:sta (1 110 m³/s) HQ 1/250:een (1 225 m³/s) nostaa vedenpintaa Porin keskustan kohdalla noin 5 cm ja ylempänä rautatiesillan kohdalla noin 18 cm.

3.3.4 Tulvan leviäminen eri tilanteissa

Virtaama 1 110 m³/s (HQ 1/100), merivedenkorkeus N60+0,40 metriä, avovesitilanne

Tulvatilanteessa vesi peittää maa-alueen, jonka pinta-ala on noin 2 000 hehtaaria. Vahinkoalueista keskeisimpiä ovat luotojen alue (Hevosluoto, Kvistinluoto, Hanhiluoto ja Täiluoto), jokirannan alavat alueet länsitien eli valtatie 8:n alapuolella sekä Krootilan ja Kivinin alueet. (kuva 3.9) Tulva aiheuttaa suurimmat vahingot Huvilajuovan varrella ja Krootilassa; yksittäisiä rakennuksia kastuu myös muualla suistoalueella ja joen alaosalla. (Aaltonen 2005, Koskinen 2006)

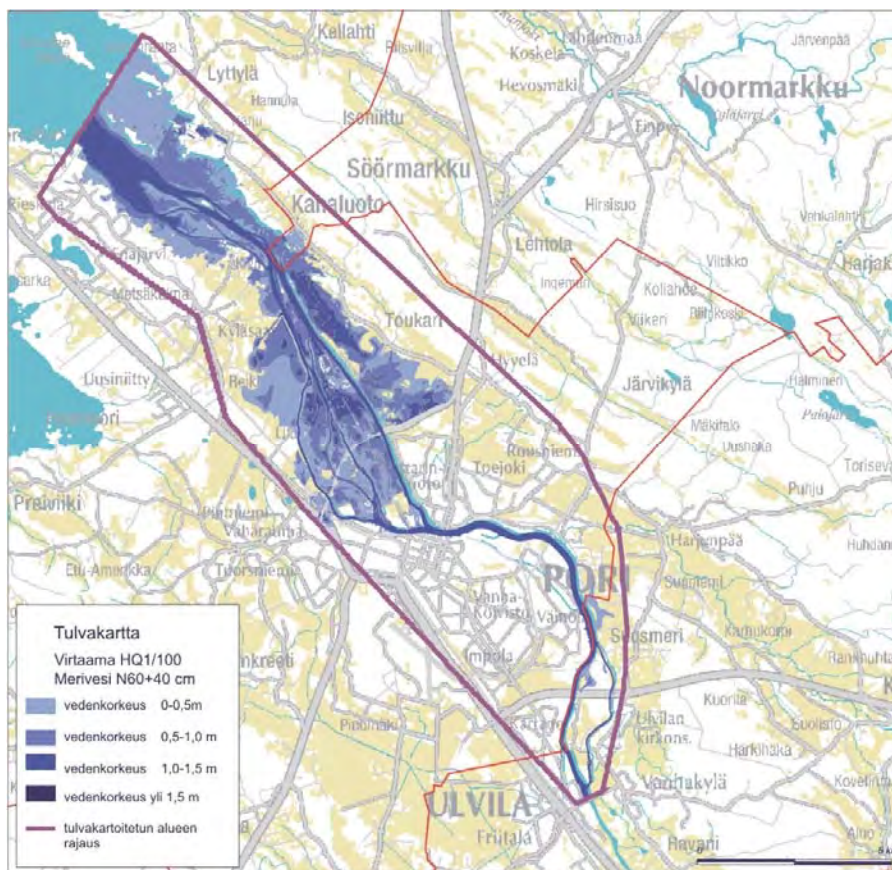
Koskisen (2006) arvion mukaan tulvatilanteessa on veden peittämällä alueella noin 400 rakennusta, joista asuinrakennuksia on noin 15 sekä vapaa-ajan rakennuksia ja talousrakennuksia yhteensä noin 350. Vesi nousee myös Luotsinmäen jätevedenpuhdistamolle ja lietteenkäsittelyalueelle. Tulvatilanteessa rakennuksille aiheutuvat kokonaisvahin-

got ovat vajaat neljä miljoonaa euroa. (Koskinen 2006)

Jokiranta ja luotojen alue Kokemäenjoen suistossa ovat maatalousvaltaisia. Peltoa kastuvasta noin 2 000 hehtaarin alueesta on lähes 1 800 hehtaaria eli noin 90 %. Teollisuuden toiminnan keskeytymisestä aiheutuvat päivittäiset bruttomenetykset ovat yli 6 000 euroa vuorokaudessa. Jos tuotannon katkos on kuukauden mittainen ja oletetaan, että kuukaudessa on 21 työpäivää, tuotannon menetykset ovat noin 130 000 euroa. Tuotteiden pilaantumisen aiheuttavat kertakustannukset ovat yli 100 000 euroa, minkä lisäksi teollisuudelle aiheutuu rakennusten ja mahdollisesti rikkoutuneiden tuotantolaitteistojen korjauskustannuksia. (Koskinen 2006)

Virtaama 1225 m³/s (HQ 1/250), merivedenkorkeus N60+1,40 metriä, avovesitilanne

Porin tulvat –projektissa tulvavaarakartta ja vahinkoarviot laadittiin myös tulvatilanteelle, jossa virtaama on 1 225 m³/s (HQ 1/250) ja merivedenkorkeus N60+1,40 metriä. Jos merivedenkorkeus noudattaa suurilla arvoilla suunnitelleen Gumbelin jakaamaa, niin merivedenkorkeuden N60 +1,40 metriä keskimääräinen tilastollinen toistuvuus on noin 700 vuotta (kuva 3.7, huom. eri korkeusjärjestelmä). Jos merivedenkorkeus ja virtaama olisivat toisistaan riippumattomia, saataisiin tapahtuman keskimääräinen tilastollinen toistuvuus aika, 250*700 = 175 000 vuotta. Riippumattomuusoletus ei pidä kuin osittain paikkansa (tulvan sattuessa



Kuva 3.9. Tulvan leviäminen avovesitilanteessa virtaamalla 1 110 m³/s (HQ 1/100) ja merivedenkorkeudella N60+0,40 metriä. Kastuva maa-alue on lähes 2 000 hehtaaria. (Aaltonen 2005)

merivesi on matalapaineen takia yleensä tavallista korkeammalla), mutta joka tapauksessa tällaisen tulvatilanteen todennäköisyys on hyvin pieni. Realistisempi merivedenkorkeus tulvatilanteessa olisi N60+0,40 metriä, jota käytettiin edellisessä kohdassa, tai esimerkiksi N60+0,70 metriä.

Vedenpinta on noin 0,3–0,4 metriä ylempänä kuin edellisessä kohdassa virtaamalla HQ 1/100 ja merivedenkorkeudella N60+0,40 metriä. Tulva peittää maa-alueita noin 3 600 hehtaaria. Keskeisimmät vahinkoalueet ovat Kivini, Krootila ja osittain Kahaluoto sekä Toukari, luotojen alue ja joen viereiset peltoalueet kokonaisuudessaan. Lisäksi kastuvat osittain Karjaranta sekä kokonaan Pormestarinluoto, Isosanta, Hyvelä, Toejoen alue ja Isojoenranta. (kuva 3.10) (Aaltonen 2005, Koskinen 2006)

Tulvatilanteessa rakennuksia kastuu noin 3 250, joista asuinrakennuksia on noin 2 250. Aiheutuvat kokonaisvahingot ovat Koskisen (2006) mukaan noin 77 miljoonaa euroa. Tulvatilanteessa teollisuudelle toiminnan keskeytymisen takia aiheutuu päivittäin noin 530 000 euron bruttovahingot. Jos tuotanto keskeytyy kuukauden ajaksi, ovat menetykset noin 11 miljoonaa euroa. Tuotteita vahin-

goittuu arviolta viiden miljoonan euron arvosta. (Koskinen 2006)

**Virtaama HQ 1/250 (1 225 m³/s),
 merivedenkorkeus N60+1,40 metriä,
 avovesitilanne, penkereet murtuvat**

Tulvatilanteessa merivedenkorkeus sekä tulvavedenkorkeudet Kokemäenjoessa on oletettu samoiksi kuin edellisessä kohdassa, mutta penkereiden on oletettu murtuvan Koivistonluodon ja Isojoenrannan kohdalta. Tulva peittää maa-alueita noin 4 100 hehtaaria. Penkereiden murtuessa kastuvat edellisen kohdan alueiden lisäksi myös koko Aittaluoto, Uusi Aittaluoto ja Herralahti sekä lähes kokonaan Kalaholma, Väinölä, Koivistonluoto ja Vanha Koivisto. (Aaltonen 2005, Koskinen 2006)

Tulvatilanteessa rakennuksia kastuu noin 4 700, joista asuinrakennuksia on noin 3 300. Rakennuksille aiheutuu vahinkoja yli sadan miljoonan euron arvosta. Teollisuuslaitoksille aiheutuvat tuotannon bruttomenetykset tulvatilanteessa ovat yli 830 000 euroa vuorokaudessa. Mikäli tuotanto keskeytyy kuukauden ajaksi, ovat tuotannon bruttomenetykset 15–20 miljoonaa euroa. Tuotteita pilaantuu

yli kuuden miljoonan euron arvosta. (Koskinen 2006)

Jääpato Kirjurinluodon kärjessä, virtaama 700 m³/s, merivedenkorkeus N60+0,40 metriä

Kun virtaama on 700 m³/s ja virtausta estävä jääpato on Kirjurinluodon kärjessä, tulvan alle jäävät joen eteläpuolelta Herralahti, Väinölä, Uusi Aittaluoto ja Aittaluodon teollisuusalue sekä osa Koivistonluotoa. Joen pohjoispuolella tulvavesi peittää Isojoenrannan ja Toejoen alueet sekä Pormestari luodon. Porin keskustan alapuolella vesi leviää luotojen alueella ja Kokemäenjoen rannoilla. (kuva 3.11) Suistoalueella tulvan leviäminen riippuu merivedenkorkeudesta. (Aaltonen 2005, Huokuna 2006, Koskinen 2006)

Kun vaikea jääpato on muodostunut Kirjurinluodon kärkeen, syntyy Porissa mittavia vahinkoja sekä Kokemäenjoen pohjois- että eteläpuolella. Rakennuksia tulvatilanteessa kastuu noin 4 950, joista asuinrakennuksia on noin 3800. Rakennuksista suurimmalla osalla vesisyvyys on yli 0,5 metriä. Rakennuksille aiheutuvat kokonaisvahingot ovat tulvatilanteessa arviolta 240 miljoonaa euroa. Teollisuuslaitoksilla toiminnan keskeytymisestä aiheutuvat bruttomenetykset ovat yli 700 000 euroa vuorokaudessa. Jos toiminta keskeytyy kuukaudeksi, ovat bruttomenetykset noin 15 miljoonaa euroa. Valmiita tuotteita pilaantuu 6,7 miljoonan euron arvosta, lisäksi merkittäviä kustannuksia aiheutuu laitteiden korjauksista sekä kiinteistöjen kunnostuksista. (Koskinen 2006)

3.4 Tulvasuojeluvaihtoehdot ja niiden vaikutusten arviointi

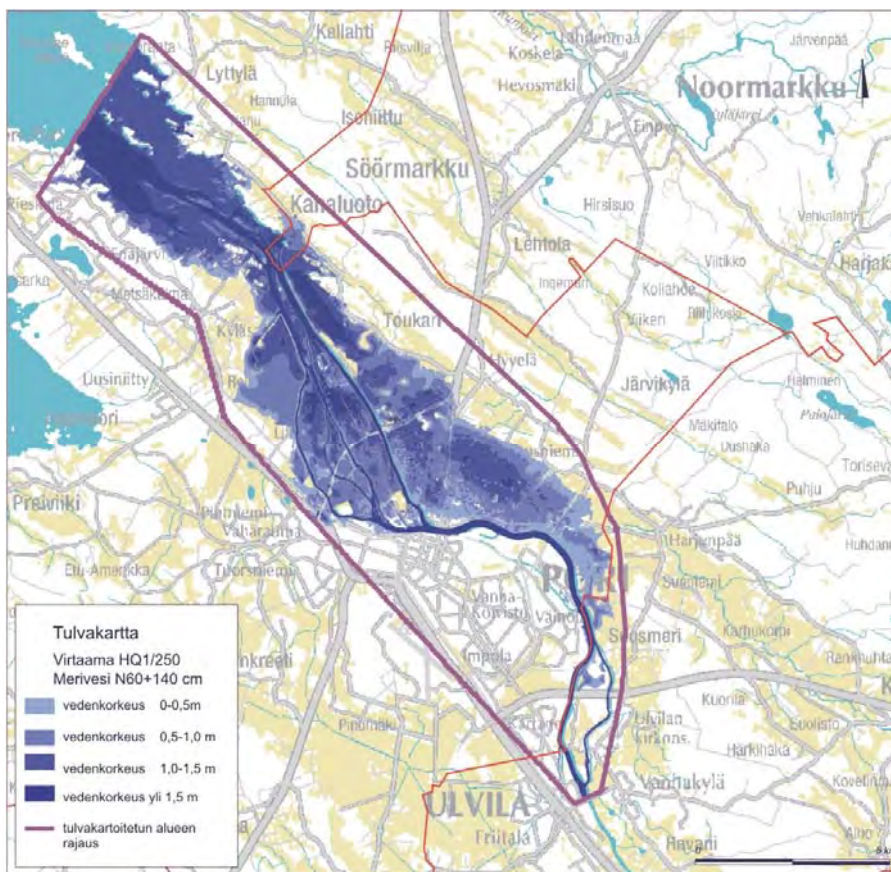
Porin tulvat –hankkeeseen kuului erilaisten tulvasuojelu- ja tulvantorjuntavaihtoehtojen vaikutusten tarkastelu. Virtausmallien avulla arvioitiin jokiperkausten, säännöstelyn ja jääpuomien vaikutuksia vedenkorkeuteen erilaisissa tulvatilanteissa. (Huokuna 2006) Kaikkia kolmea menetelmää, varsinkin perkauksia ja säännöstelyä, on käytetty perinteisesti Kokemäenjoen tulvantorjunnassa ja tulvasuojelussa. Viime vuosikymmeninä tietokoneiden laskentatehon ja ohjelmistojen kehittyttä on tullut mahdolliseksi arvioida suhteellisen luotettavasti ja tarkasti vesistöjen vedenkorkeuksia erilaisissa tulvatilanteissa sekä erilaisten toimenpiteiden vaikutusta tulvavedenkorkeuksiin.

Eri perkausvaihtoehtojen vaikutuksia vedenkorkeuksiin tarkasteltiin pääasiassa jäätymisenaikaisessa tulvatilanteessa sekä jäänlähtöpadon aiheuttamissa tulvatilanteissa. Jäätymisenaikaisella

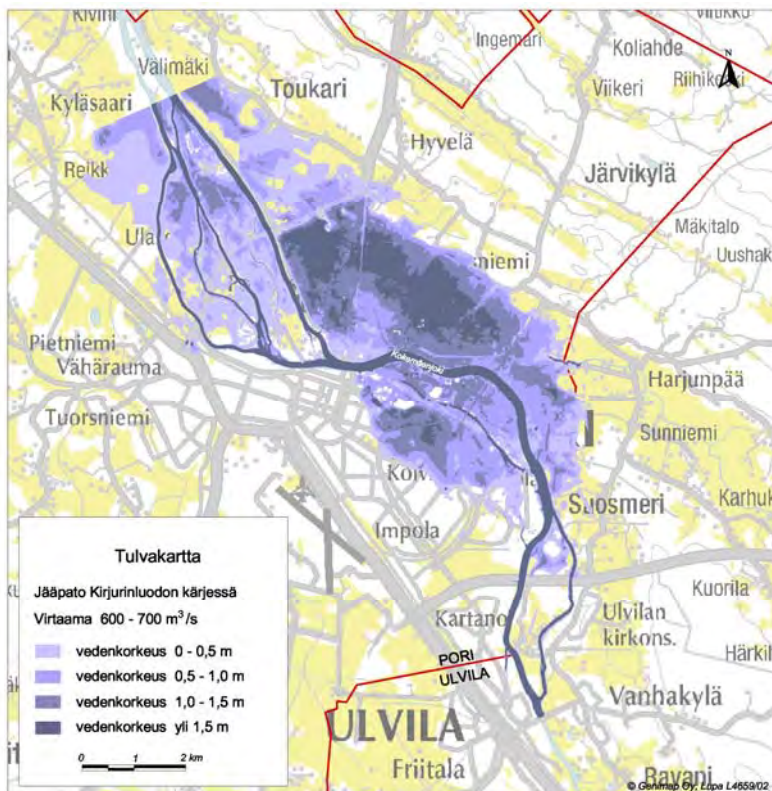
tilanteella simuloitiin lähinnä kovan pakkasen, avoveden ja suuren virtaaman aiheuttamaa hydeongelmaa, jonka seurauksena vedenpinta nousee voimakkaasti. Vertailu jäätymisenaikaisessa tulvatilanteessa antaa hyvän yleiskuvan kunkin perkausvaihtoehdon vaikutuksesta tulvavedenkorkeuksiin. Jäätymisenaikainen tilanne on siinä mielessä teoreettinen, että vedenpinta ei ole yhtä aikaa maksimikorkeudessa koko jokijaksolla, vaan vedenpinta saavuttaa paikkakohtaisen maksiminsa jääkannen reunan sijainnista riippuen yleensä ensin alajuoksulla edeten sitten jääkannen muodostumisen tahdissa ylävirtaan päin. Vedenkorkeus on suurimmillaan kussakin kohdassa siis juuri jääkannen muodostuessa laskien vähitellen sen jälkeen. (ks. kuva 3.31) Jäätymisenaikaisen tulvatilanteen kuvaajiin on merkitty nimenomaan maksimivedenkorkeudet kussakin paikassa. (Huokuna 2006)

Mallinnuksessa käytetty lämpötila-virtaamayhdistelmä (T = -15° C, Q = 600 m³/s) on pitkään jatkuessaan hyvin epätodennäköinen. Toisaalta jääkannen reunan ollessa jo valmiiksi esimerkiksi Kirjurinluodon kohdalla ei vedenkorkeuden maksimin saavuttamiseksi ylempänä Seikun sahan kohdalla tarvita kovin pitkää aikaa. (Huokuna 2006) Tällöin kuitenkin voidaan säännöstelyn muutosten avulla helpommin välttää tulvatilanne; pienentämällä virtaamaa jääkansi syntyy nopeammin Kirjurinluodolta Tiimanniin saakka kuin esimerkiksi Kiviniltä Tiimanniin. Siten voidaan säästää varastotilavuutta ja mahdollisesti välttää tulvavahingot yläpuolisilla järvillä.

Jäänlähtöpadot ovat eräs keskeinen tulvien aiheuttaja Porissa. Jäänlähtöpadot voivat aiheuttaa suurta vahinkoa erityisesti Porin keskustan kohdalla, jossa Kokemäenjoki virtaa yhtenä uomana ja jossa tulvien leviämisaalueella on paljon asutusta ja teollisuutta. Eri perkausvaihtoehtojen vaikutuksia vedenkorkeuksiin tarkasteltiin kolmessa erilaisessa jäänlähtötilanteessa, joissa suuri jäänlähtöpato simuloitiin joko Kirjurinluodon kärjen, Linnansillan tai rautatiesillan kohdalle. (Huokuna 2006) Eri perkausvaihtoehtojen vaikutuksia avovedenaikaiseen vedenkorkeuteen ei vertailtu, sillä Porin kohdalla esiintyviin suuriin tulviin liittyy lähes poikkeuksetta hyyteen muodostumista tai jäänlähtöpatoja. Lisäksi perkausvaihtoehtojen vaikutus avovedenaikaisiin tulvavedenkorkeuksiin on verraten vähäinen. (Aaltonen 2006)



Kuva 3.10. Tulvan leviäminen avovesitilanteessa virtaamalla 1 225 m³/s (HQ 1/250) ja merivedenkorkeudella N60+1,40 metriä. Kastuva maa-alue on noin 3 600 hehtaaria. (Aaltonen 2005)



Kuva 3.11. Tulvan leviäminen, kun Kirjurinluodon kärjessä on jääpato ja virtaama on noin 700 m³/s. Huom. Mallinnettu alue ei yllä merelle asti. (Aaltonen 2005)

3.4.1 Ruoppauksen vaikutukset

Haitat

Tavallisimpia ruoppauksista aiheutuvia haittoja ovat melu sekä pohjasedimentissä olevien ravinteiden ja kiintoaineen liikkeellelähtö. Melu ja veden samentumisena ilmenevä kiintoaineen huuhtoutuminen karkottavat muun muassa kaloja ja lintuja sekä heikentävät yleistä viihtyisyyttä ja vesistön virkistyskäyttöä. Veden samentumisesta aiheutuu haittaa erityisesti raakavedenotolle ja kalastukselle. Kiintoaineen, ravinteiden ja orgaanisen aineksen veteen vapautuminen voi aiheuttaa lisäksi rehevöitymistä ja happikatoa. Ihmistoiminnan, erityisesti teollisuuden päästöjen vaikutusalueella sijainneiden alueiden ruoppauksesta voi aiheutua haitallisten aineiden, esimerkiksi raskasmetallien tai orgaanisten tinayhdisteiden vapautumista takaisin vesistöön. Haitalliset aineet voivat sedimentoitua uudelleen pohjaan tai rikastua vesieliöihin ja edelleen ravintoketjun yläpäähän, esimerkiksi lintuihin tai ihmisiin. (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991, Raunio 1992, Ympäristöministeriö 2004)

Ruoppaus muuttaa virtavesistön geomorfologiaa ja hydraulisia ominaisuuksia, mikä vaikuttaa kasvien ja eliöiden elinolosuhteisiin. Ruopattavien maamassojen mukana poistuu kasveja ja pohjaan tai kasvillisuuteen kiinteästi sidoksissa olevia eliöitä. Tämä vaikuttaa yleensä heikentävästi myös muiden vesieliöiden, esimerkiksi kalojen elinolosuhteisiin. (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991, Ympäristöministeriö 2004) Uoman hydraulisten ominaisuuksien muuttaminen myös saattaa lisätä tulvia ruoppauskohdan alapuolella. Ruoppaukset voivat lisäksi muuttaa vesimaisemaa voimakkaasti, kun matalikkoja kasveineen poistetaan. Läjitys tapahtuu usein lähelle rantaa, jolloin rantamaisema muuttuu. Muutokset maisemassa voidaan kokea kielteisinä tai myönteisinä. Kielteisiä vaikutuksia voidaan lieventää huomattavasti läjitysalueiden asianmukaisella maisemoinnilla.

Kokemäenjoen alaosalla tehtävästä ruoppauksesta aiheutuvat haitat voidaan melko hyvin ennakoida alueelta otettujen sedimenttinäytteiden sekä aiempien alueella tehtyjen ruoppauksen perusteella. Aikaisempien Kokemäenjoen alaosan ruoppauksen vesistövaikutuksia on tutkittu melko laajasti (esim. Kotilainen 1988 ja Kirkkala 1993). Näiden tutkimusten perusteella 1980- ja 90-luvulla tehdyistä ruoppauksista aiheutui havaittavaa muttei merkittävää vesistökuormitusta Kokemäenjokeen.

Hyödyt

Usein ruoppauksia tehdään tulvasuojelun takia, jolloin alueen tulvasuojelutilannetta uoman parantuneen vetokyvyn vuoksi voidaan parantaa merkittävästikin. Kunnostusruoppauksilla pyritään yleensä parantamaan rannan tai matalan vesialueen virkistys- ja luontoarvoja. Ruoppauksen avulla voidaan laajentaa ja syventää avovesialuetta, tehdä uutta maa-aluetta tai avartaa rantamaisemaa. Ruoppauksilla myös voidaan poistaa pohjan saastunutta tai runsasravinteista sedimenttiä ja siten poistaa haitallisia aineita vesiympäristön luonnonkierrosta. Pitkällä aikavälillä ruoppaukset voivat parantaa vedenlaatua myös suurentuneen vedenvaihtuvuuden ansiosta. (esim. Ihme 1990) Laiva- ja veneväyliä sekä satama-altaita ruopataan vesiliikenteen tarpeiden takia. Joskus ruoppaus tehdään pelkästään maa-aineksen oton takia. Useimmiten yhdellä ruoppauksella kuitenkin voidaan saavuttaa monia eri tavoitteita, esimerkiksi sekä luontoarvojen, vesimaiseman että tulvasuojelun paranemista.

Kustannukset

Ruoppauksen yksikkökustannukset riippuvat suuresti ruopattavan maan ominaisuuksista eli muun muassa kaivuvastuksesta ja mahdollisista haitallisten aineiden pitoisuuksista. Ruoppausmassan ominaisuudet ja määrä vaikuttavat myös ruoppausmenetelmän valintaan, joka puolestaan vaikuttaa kustannuksiin. Kustannuksiin vaikuttavat olennaisesti myös läjitysmenetelmä ja -etäisyys sekä vesisyvyys. Ruoppauskustannuksiin vaikuttavat ympäristön ja rannan erityispiirteet ja vaativuus; esimerkiksi kaupungin keskustassa tai luonnonsuojelualueella tapahtuvalle ruoppaukselle asetetaan erityisvaatimuksia. Ruoppauksen yksikkökustannukset ilmoitetaan tavallisesti kustannuksina ns. kiintoteoreettista kuutiometriä kohden (€ / ktr m³), mikä tarkoittaa poikkileikkausten perusteella laskettuja maamassojen tilavuuksia.

Imuruoppaus on yleensä suurissa hankkeissa edullisempi menetelmä kuin kaivuruoppaus. Toituneiden ruoppauskustannusten perusteella imuruoppaus sisältäen läjityksen maksaa noin 5–6 € / ktr m³, jos läjitysalue on aivan ruoppauskohdan vieressä. Kokemäenjoen alaosalla läjitysetäisyys jää kaikkialla alle kolmen kilometrin, mille etäisyydelle imuruoppausmassat pystytään nykyisin varsinkin välipumppauksen avulla siirtämään. Hinta on tällöin noin 12–13 € / ktr m³. Karkeasti yksikkökustannukset imuruoppaukselle Porin alueella voidaan lausua läjitysetäisyyden funktiona:

$$K = 5,5 + 2,33 \cdot L \quad (3)$$

missä K on imuruoppauksen yksikkökustannus (€ / ktr m³), ja L ruoppauskohdan ja läjitysalueen välinen etäisyys kilometreinä, 0 < L < 3,0. Kustannusten laskennassa käytetyt läjitysalueiden sijainnit on esitetty kuvassa 3.12.

Näiden kustannusten lisäksi ruoppauksesta aiheutuu vielä erilaisia suunnittelu- ja tutkimuskustannuksia, läjitysalueiden mahdollisia lunastuksia tai käyttökorvauksia sekä läjitysalueiden perustamisesta, kunnossapidosta ja maisemoinnista aiheutuvia kustannuksia. Porin tulvasuojeluhankkeessa näiden kustannusten suuruusluokan on arvioitu olevan noin 20 prosenttia kokonaiskustannuksista eli 25 prosenttia edellä olevalla kaavalla saaduista kustannuksista.

Oman lisänsä ruoppauksen kokonaiskustannuksiin tuovat saastuneiden ruoppausmassojen käsittelystä aiheutuvat kustannukset. Jos merkittävä osa ruoppausmassasta on saastunutta, voi lisäkustannus muodostua huomattavaksi. Ruoppausmassojen saastuneisuus voi estää mereen läjittämisen. Tämä ei kuitenkaan ole suuri ongelma Kokemäenjoen alaosalla, sillä sopivia läjitysalueita on maalla. Saastuneet ruoppausmassat kuitenkin aiheuttavat lisävaatimuksia kiintoaineen hyvin tehokkaalle laskeuttamiselle esimerkiksi kemikaalien ja läjitysaltaiden rakenteen avulla. Toisaalta erittäin saastuneet ruoppausmassat täytyy käsitellä kaatopaikka- tai ongelmajätteenä, mikä lisää tuntuvasti kokonaiskustannuksia. Kokemäenjoen alaosalla lisäkustannuksia ruoppausmassojen saastuneisuudesta aiheutuu läjityskustannusten lisääntymisenä ainakin suistossa ruopattaessa. Ruoppausmassoja ei todennäköisesti kuitenkaan tarvitse käsitellä kaatopaikkajätteenä. Saastumisen



Kuva 3.12. Ruoppauskustannusten laskennassa käytetyt läjitysalueiden sijainnit. Alueiden sijainnit perustuvat pääosin Porin kaupungin alustaviin suunnitelmiin.

aiheuttamia lisäkustannuksia on vaikea arvioida kovin tarkasti, joten niitä on arvioitu tässä työssä vain sanallisesti.

Riippuen ruoppauskohdasta on ruoppauksia sedimentaation takia uusittava aika ajoitin. Porissa ruoppausten uusimisväli on yleensä muutama vuosikymmen. Lyhin ruoppausten uusimisväli on suistossa, mutta myös luotojen kohdalla muualla kuin Luotsinmäenjuovassa ja Isojuovassa tapahtuu paikoin huomattavaa sedimentaatiota. Esimerkiksi Raumanjuopa on 1980-luvulla tapahtuneen ruoppauksen jälkeen paikoin mataloitunut. Toisaalta suurimmassa osassa Kokemäenjoen pääuomaa ei huomattavaa sedimentaatiota veden suuren virtausnopeuden takia tapahdu.

3.4.2 Ruoppausvaihtoehtojen vaikuttavuustarkastelu

Raumanjuovan yläpään perkaus

Raumanjuovan yläpäässä Kirjurinluodon kärjen eteläpuolella on matala alue, joka aiheuttaa padotusta (kuva 3.13). Matalikon kohdalla on ruopattu 1980-luvun alussa, mutta alue on melko pahasti liettynyt ja mataloitunut. (Kotilainen 1988, Koskinen 2006)

Raumanjuovan yläpään kohdalla (piste 4, liite 2) on pohjassa noin 5 cm melko puhdasta hiekkaa sekä 25 cm saakka hiekkaa ja kariketta, jonka alla on erittäin kovaa, sitkeää saviliejuu. Keväällä 2006 otetun sedimentinäytteen perusteella ruopattavat massat ovat riittävän puhtaita normaaliin maalle läjittämiseen, joskin kupari- ja kadmiumpitoisuudet ovat lievästi kohonneet. (liite 6) (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 2006)

Perkausvaihtoehdossa Raumanjuovan yläpäästä ruopataan paaluvälillä 97–102 alue, jonka pohjan leveydeksi tulee 60 metriä ja pituudeksi noin 500 metriä (kuva 3.14, paalukartta on esitetty liitteessä 1). Tällä alueella ruoppaus tehdään tasoon N60-5 metriä. Ruopattava massamäärä on noin 65 000 m³. (Huokuna 2006) Raumanjuovan yläpään ruoppaus kannattaa tehdä imuruoppauksena maalle läjittämisen. Ruoppausalueelta kertyy matkaa kaavailluille läjitysalueille noin 1,8–2,2 kilometriä.

Haitat ja kustannukset

Ruopattava massamäärä on noin 65 000 m³. (Huokuna 2006) Jos oletetaan, että matka ruoppauskohdasta läjitysalueelle on keskimäärin 2,0 kilometriä, koituu kustannuksia noin 660 000 euroa. [kaava (3)] Lisäkustannuksia aiheutuu muun muassa läjitysalueen perustamisesta. Ruoppausmassat

voidaan todennäköisesti läjittää Hevosluodon eteläosan vanhalle läjitysalueelle, mikä vähentää läjityskustannuksia. Realistinen kustannusarvio Raumanjuovan yläpään perkaukselle on noin 700 000 euroa.

Vaihtoehdon toteuttaminen virtaaman ollessa 500 m³/s nostaisi jäätyminen aikaisia vedenkorkeuksia Raumanjuovan ylä- ja keskiosassa 2–4 cm ja alaosassa 0–2 cm sekä Huvilajuovassa 2–4 cm. (Huokuna 2006)

Hyödyt

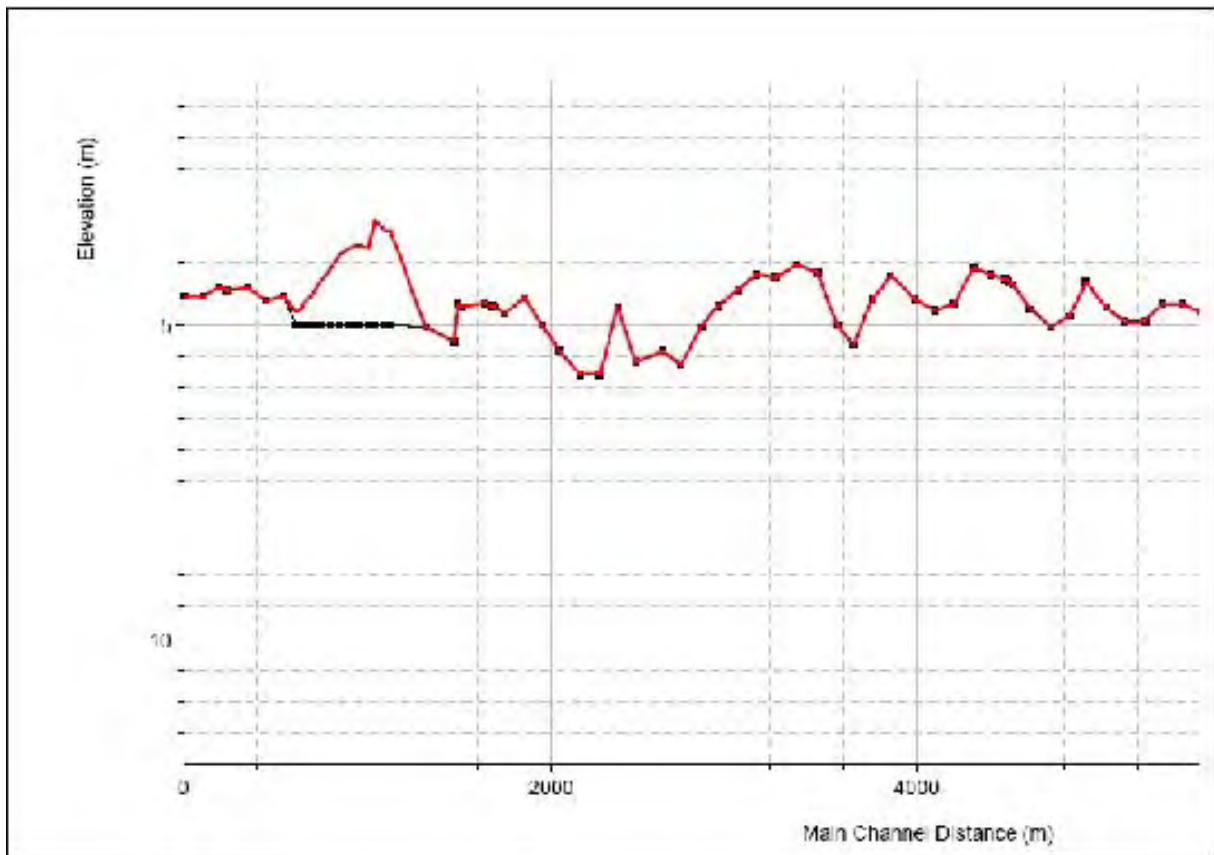
Pelkästään tällä vaihtoehdolla ei saavuteta suurta tulvasuojeluhuotyä. Vedenpinnan alenema jäätyminen aikaisessa tulvatilanteessa virtaamalla 500 m³/s on noin 4 cm Luotsinmäenjuovassa sekä pääuomassa Kirjurinluodon kärjestä Seikun sahan kohdalle saakka. Vaihtoehto on tulvasuojelullisesti paljon tehokkaampi yhdessä Huvilajuovan perkauksen kanssa. Tällöin myös Huvilajuovan perkauksen vaikutus tehostuu. (Huokuna 2006) Jos Raumanjuopa ja Huvilajuopa halutaan pitää avoimina virtavedelle, Raumanjuovan yläpään liettymistä täytyy käytännössä kuitenkin ehkäistä tulevaisuudessa.

Huvilajuovan perkaus

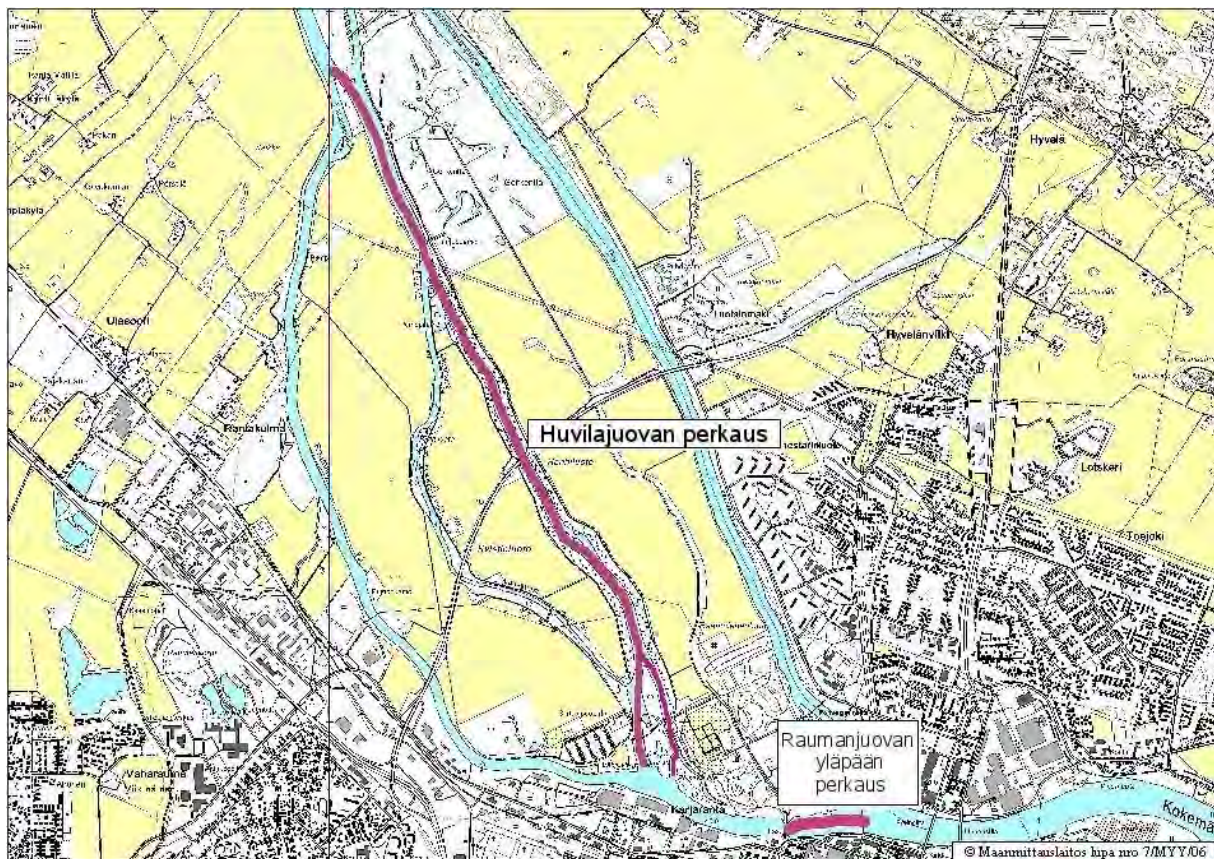
Huvilajuopa on Hevosluodonjuopa mukaan lukien noin 4,5 kilometriä pitkä ja noin 40–60 metriä leveä uoma, joka erkanee Raumanjuovasta Karjarannan kohdalla pohjoiseen. Huvilajuovan virtaama on vain murto-osa Kokemäenjoen kokonaisvirtaamasta: 28.4.2004 tehtyjen virtaamamittausten perusteella joen virtaama oli Luotsinmäenjuovassa 91 m³/s, Raumanjuovassa 50 m³/s sekä Huvilajuovassa 4 m³/s. Kokemäenjoen keskivirtaama Porin kohdalla on noin 225 m³/s. (Koskinen 2006)

Huvilajuovan molemmin puolin vajaan kolmen kilometrin matkalla on yli 160 vapaa-ajan asuntoa sekä lisäksi niihin kuuluvia talousrakennuksia ja saunoja. (Porin kaupunki 2005) Rakennusten lattiataso on lähellä maanpintaa, eikä niitä ole suojattu penkerein. Rakennukset sijaitsevat lisäksi lähellä rantaa, eikä penkereen rakentaminen rannan ja rakennusten väliin ole realistista. Huvilajuovan rakennusten ja juopaa ympäröivän pellon välissä on tie (kuva 3.16).

Ruoppausalueella (pisteet 5 ja 6, liite 2) on pohjassa 5 cm saakka löysähköä saviliejuu, ja tämän alla pääosin saviliejuu, joka on sitkeää. Sedimentinäytteiden perusteella ruopattavissa massoissa on kohonneita pitoisuuksia sinkkiä, kromia, elohopeaa ja lyijyä sekä voimakkaasti kohonneita pitoisuuksia kuparia ja kadmiumia. (liite 6) Pisteessä



Kuva 3.13. Raumanjuovan pituusleikkaus ja ruopattava kohta paaluvälillä 97–102. (Huokuna 2006)



Kuva 3.14. Raumanjuovan yläpään perkauksen ja Huvilajuovan perkauksen linjaukset.



Kuva 3.15. Huvilajuovan vapaa-ajan asutusta rannan läheisyydessä.

6 eli alempana Hevosluodonjuovassa pitoisuudet ovat suurempia kuin ylempänä Huvilajuovassa (piste 5). (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 2006)

Perkausvaihtoehto käsittää Huvilajuovan, Hevosluodonjuovan ja Kolmihaaran perkauksen Liljanluodon silloilta Kolmihaaran alaosaan noin Kyläsaarenjuovan paalulle 35 saakka (kuva 3.14). Ruoppauksen pohjan taso on N60-3 metriä, pohjan leveys 30 metriä ja pituus noin 4,5 kilometriä. Siltojen kohdalla Huvilajuovan yläpäässä juovan päähaaran pohja ruopataan 20 metriä leveäksi ja Liljanluodon itäpuoleisen haaran pohja 10 metriä leveäksi. Ruoppausmassaa vaihtoehdosta kertyy noin 80 000 m³. (Huokuna 2006) Ruoppaus tapahtuu imuruoppauksena maalle läjittäen. Ruoppausalueen läheisyydessä sijaitsee peltoja, joille läjittäminen on mahdollista. Suurin etäisyys ruoppausalueelta läjitysalueelle jää alle 1,5 kilometrin.

Haitat ja kustannukset

Vaihtoehdon toteuttaminen nostaisi vedenkorkeutta Huvilajuovan ylä- ja keskiosalla jäätymisenaikaisessa tilanteessa virtaamalla 600 m³/s enimmillään noin 17 cm ja Huvilajuovan alaosalla noin 5–10 cm. Vastaavasti virtaamalla 400 m³/s vedenpinnan nousu Huvilajuovan ylä- ja keskiosalla on noin 7 cm ja virtaamalla 500 m³/s noin 12 cm. (Huokuna

2006) Näin ollen perkaus heikentäisi Huvilajuovan jo ennestään vaikeaa tulvasuojelutilannetta.

Ruopattavat massat ovat noin 80 000 m³. (Huokuna 2006) Jos oletetaan, että matka ruoppauskohdasta läjitysalueelle on keskimäärin 1,0 kilometriä, koituu kustannuksia noin 630 000 euroa. [kaava (3)] Tämän lisäksi kustannuksia aiheutuu muun muassa läjitysalueiden perustamisesta niin, että kustannukset ovat arviolta 800 000 euroa. Ruoppausmassojen kohonneet raskasmetallipitoisuudet todennäköisesti lisäävät kustannuksia selvästi vielä tästä. Huvilajuovan perkauksen kaikkia kustannuksia on hankala arvioida paitsi sedimenttien saastuneisuuden, myös sen takia, että vedenpinnan nousu juovan yläosalla täytyy jotenkin kompensoida ranta-asukkaille.

Perkauksen toteuttaminen aiheuttaisi todennäköisesti voimakkaita eturistiriitoja eri osapuolten välillä. Perkauksesta aiheutuvien haittojen kompensoiminen Huvilajuovan ylä- ja keskiosan asukkaille muodostuisi erittäin vaikeaksi, sillä penkereitä Huvilajuovan rannalle ei voida rakentaa. Lisäksi suurelta osin tehtävät perkaukset haittojen kompensoimiseksi eivät olisi riittäviä. Toisaalta rahallisen korvauksen määrittäminen tulvasuojelutason heikkenemisestä olisi nykyisillä käytännöillä erittäin monimutkainen ja pitkä prosessi.



Kuva 3.16. Vapaa-ajan asutusta Huvilajuovan ja tien välissä.

Hyödyt

Perkausvaihtoehdon toteuttaminen lisää veden virtausta Raumanjuovan yläosan ja Huvilajuovan kautta. Virtaamalla 600 m³/s jääytymisenäikainen suurin vedenkorkeus pääuomassa laskee Pormestarinluodon kohdalla noin 12 cm ja Linnansillan kohdalla noin 10 cm sekä Raumanjuovan yläosassa Karjarannan kohdalla noin 17 cm. Virtaamalla 500 m³/s vedenpinnan lasku pääuomassa Pormestarinluodon kohdalla on noin 9 cm, Linnansillan kohdalla noin 10 cm ja Raumanjuovan yläosassa Karjarannan kohdalla noin 15 cm. Vastaavasti virtaamalla 400 m³/s vedenpinnan laskut ovat noin 5 cm, 6 cm ja 8 cm. Vaihtoehto olisi järkevää toteuttaa yhdessä Raumanjuovan yläpään perkauksen kanssa, jolloin perkausten vaikutus tehostuisi. (Huokuna 2006)

Vaihtoehtoon toteuttaminen todennäköisesti lisäisi jonkin verran Huvilajuovan virkistysarvoa nykyistä tehokkaamman veden vaihtumisen sekä veneilymahdollisuuksien paranemisen takia.

Perkaus välillä Kirjurinluodon kärki – Seikku

Kirjurinluodon kärjen kohdalla Kokemäenjoen päähaaran virtaama jakautuu jyrkästi luoteeseen kääntyvään Luotsinmäenjuopaan sekä Rauman- ja Huvilajuopaan. Kohta on todennäköisin jään-

lähtöpatojen muodostumispaikka Porissa. (Huokuna 2006) Ruoppaamalla Kirjurinluodon kärjen yläpuolista uomaa jääpadon aiheuttamaa tulvaa voidaan pienentää oleellisesti.

Perkausvaihtoehto käsittää Kokemäenjoen pääuoman ruoppauksen paaluvälillä 227–238 Kirjurinluodon kärjen kohdalla Seikun sahan edustalle saakka. (kuva 3.17) Ruoppauksen pohjan taso on N60-6 metriä, pohjan leveys 60 metriä ja pituus 1,1 kilometriä. Ruoppausmassaa vaihtoehdosta kertyy noin 150 000 m³. (Huokuna 2006) Ruoppaus tapahtuu imuruoppauksena maalle läjittäen. Ruoppausalueelta kaavaillulle läjitysalueelle on matkaa noin 900–1 900 metriä.

Ruoppausalueella on Seikun sahan kohdalla (piste 3, liite 2) pohjassa saviliejuja noin 30 cm saakka sekä alempana kovaa, pelkistynyttä saviliejuja. Keväällä 2006 otetun sedimentinäytteen perusteella ruopattavat massat ovat riittävän puhtaita normaaliin ruoppaukseen. (liite 6) (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 2006)

Haitat ja kustannukset

Ruopattava massamäärä on noin 150 000 m³. (Huokuna 2006) Oletuksella, että matka ruoppauskohdasta läjitysalueelle on keskimäärin 1,45 kilometriä, koituu kustannuksia kaavan (3) perusteella noin 1,3 miljoonaa euroa. Tämän lisäksi kustannuksia aiheuttaa muun muassa läjitysalueen perustami-

nen niin, että perkauksen kokonaiskustannukset ovat arviolta 1,65 miljoonaa euroa. Ruoppausalue täytyy pitää jatkossakin riittävän syvänä ruoppauksin, vaikka ruoppauksen vaikutukset uoman vetokykyyn säilyvät suhteellisen kauan. Vuonna 1993 tehdyn ruoppauksen sekä uoman pohjan nykyisen tason perusteella voidaan olettaa, että ruoppausalueella tapahtuu mataloittavaa sedimentaatiota ainakin paikoin.

Hyödyt

Jos jäänlählepato on Kirjurinluodon kärjen kohdalla ja virtaama on 600 m³/s, perkaus laskee vedenkorkeutta rautatiesillan kohdalla noin 48 cm verrattuna nykytilanteeseen. Jos jäänlählepato on muodostunut Linnansillan yläpuolelle ja virtaama on 600 m³/s, perkaus laskee vedenkorkeutta rautatiesillan kohdalla noin 62 cm nykytilanteeseen verrattuna. Perkauksella ei ole vaikutusta vedenkorkeuteen, jos jäänlählepato on muodostunut rautatiesillan yläpuolelle. Jäätymisenäikaiseen vedenkorkeuteen perkaus vaikuttaa vain vähän. Tällöin virtaaman ollessa 600 m³ perkausvaihtoehdon alentava vaikutus vedenkorkeuteen on suurimmillaan noin 8 cm. (Huokuna 2006)

Perkaus välillä Kirjurinluodon kärki – Tiimanni

Perkausvaihtoehdoista käsittää Kokemäenjoen pääuoman ruoppauksen paaluvälillä 227–285 Kirjurinluodon kärjen kohdalla Tiimannin yläpuolelle saakka. Ruoppauksen pohjan taso on N60-5 metriä, pohjan leveys 60 metriä ja pituus noin 5,8 kilometriä. Ruoppausmassaa vaihtoehdosta kertyy noin 500 000 m³. (Huokuna 2006) Ruoppausvaihtoehdon linjaus sekä pohjan pituusleikkaus on esitetty kuvissa 3.18 ja 3.19.

Ruoppausalueella (pisteet 1, 2 ja 3, liite 2) on pohjassa kovaa, pelkistynyttä saviliejua. Keväällä 2006 otettujen sedimenttinäytteiden perusteella ruopattavat massat eivät sisällä selvästi kohonneita haitallisten aineiden pitoisuuksia. (liite 6) (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 2006)

Ruoppaus tapahtuu imuruoppauksena maalle läjittäen. Läjitysalueiksi on kaavailtu kahta aluetta, joista toinen sijaitsee Seikun sahan läheisyydessä ja toinen joen itäpuolella Kalaholman kohdalla. Ruoppausalueelta kaavailuille läjitysalueille kertyy matkaa noin 200–1 900 metriä.

Haitat ja kustannukset

Ruopattava massamäärä on noin 500 000 m³. (Huokuna 2006) Olettaen, että matka ruoppauskohdasta läjitysalueelle on keskimäärin 1,1 kilometriä, koituu kustannuksia kaavalla (3) laskien noin 4,0 miljoonaa euroa. Tämän lisäksi kustannuksia aiheutuu muun muassa läjitysalueiden perustamisesta. Perkauksen arvioidut kokonaiskustannukset ovat noin 5,0 miljoonaa euroa.

Hyödyt

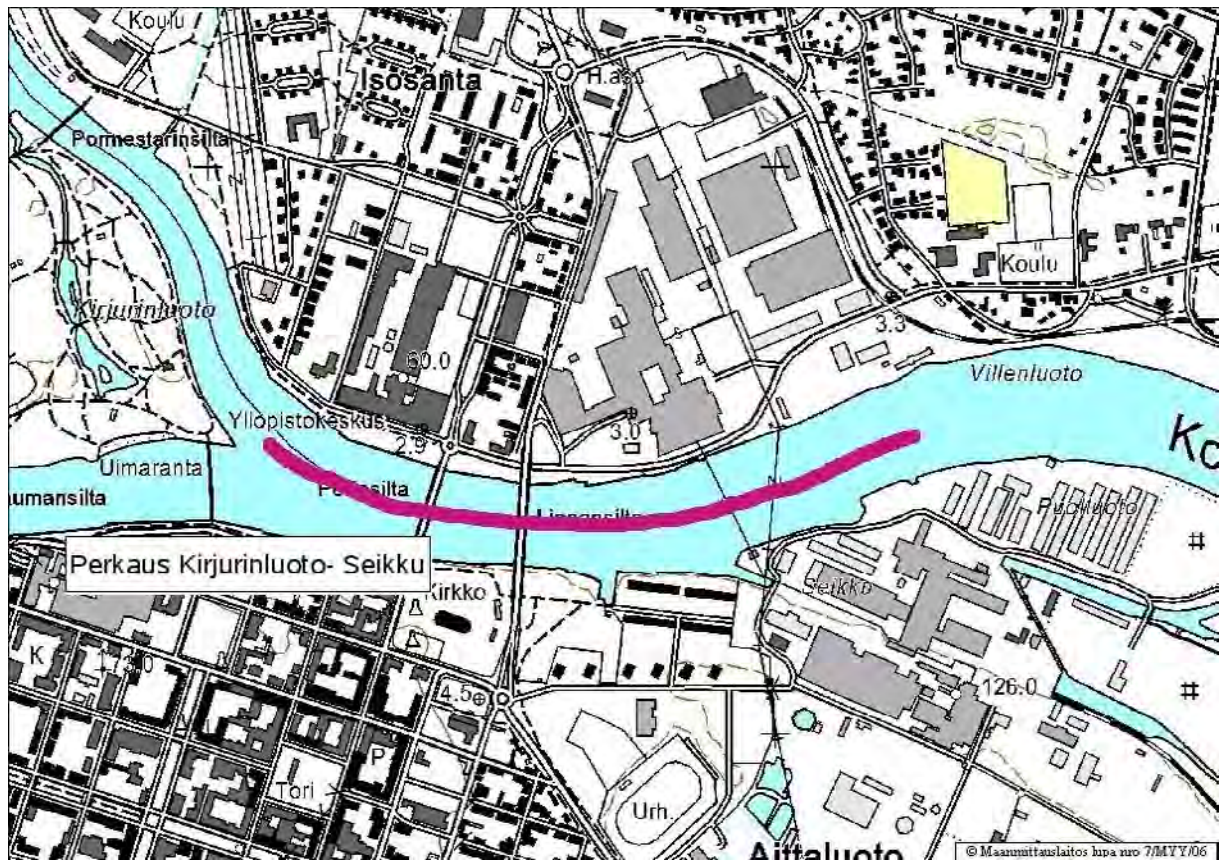
Jos jäänlählepato on Kirjurinluodon kärjen kohdalla ja virtaama on 600 m³/s, perkaus laskee vedenkorkeutta välillä Outokummun silta (Valtatie 11) – Seikku noin 50–55 cm verrattuna nykytilanteeseen. Jos jäänlählepato on muodostunut Linnansillan yläpuolelle ja virtaama on 600 m³/s, perkaus laskee vedenkorkeutta välillä Outokummun silta–Seikku noin 65–70 cm nykytilanteeseen verrattuna. Jos jäänlählepato on rautatiesillan yläpuolella ja virtaama on 600 m³/s, perkaus laskee vedenkorkeutta välillä Outokummun silta–Harjunpäänjokisuun noin 95–100 cm verrattuna nykytilanteeseen. Outokummun sillan yläpuolella perkauksen vaikutus vedenkorkeuksiin jatkuu suurena pitkälle Ulvilan kunnan alueelle. (kuva 3.20) (Huokuna 2006)

Laiskarännin perkaus

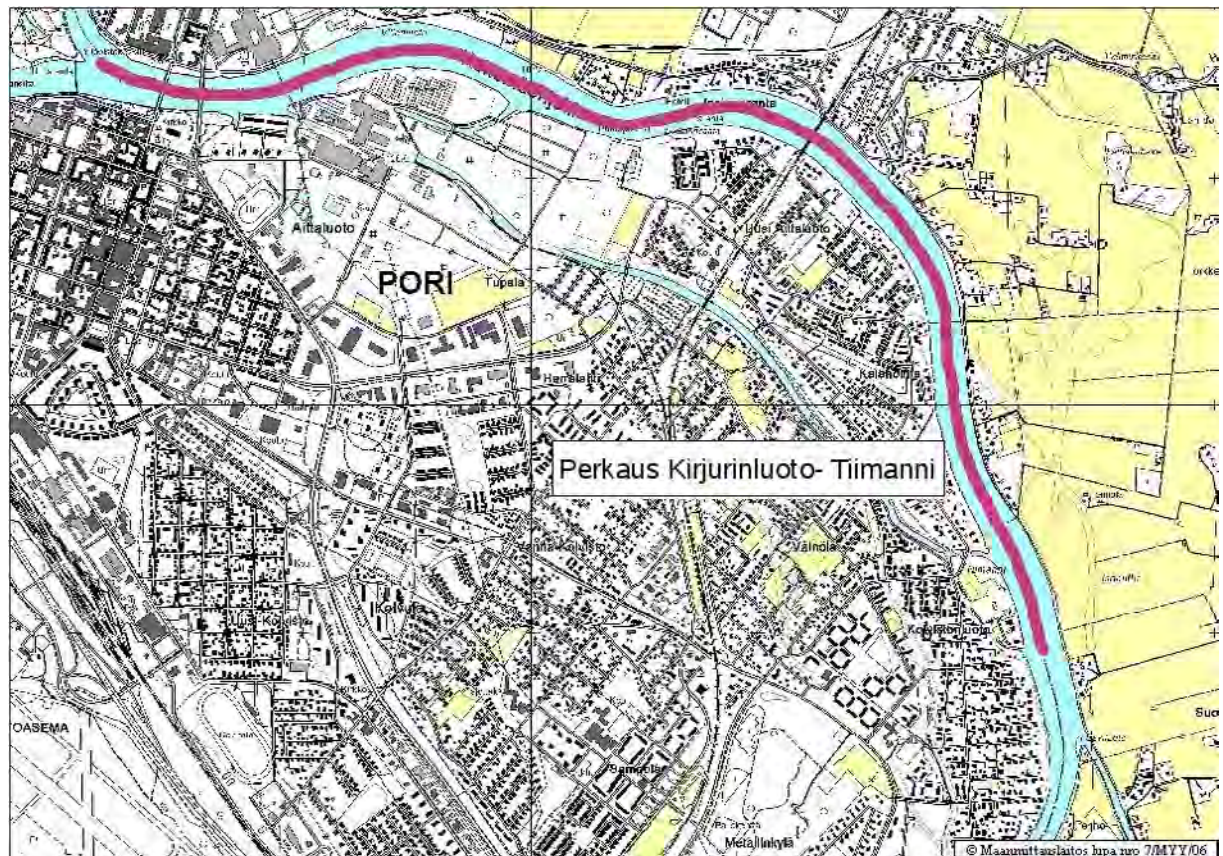
Kokemäenjoen suistossa Kivinin kylän edustalla sijaitsevaa Laiskaränniä ruopattiin 1980-luvun loppupuolella. (Kotilainen 1988) Samalla Laiskarännin veden virtausta takaisin pääuomaan parannettiin tekemällä oikaisu-uoma Tukkiluodon ja Pooleen saarten välistä. Ruoppauksen pohjan leveys oli 15 metriä ja pohjan taso N60-3,5 metriä. (Länsi-Suomen vesioikeus 1984)

Perkausvaihtoehdossa ruopataan Laiskarännin vanhaa uoma Tukkiluodon kaakkoiskärjestä Kyläsaarenjuovan paalulta 10 aina Halssin edustalle saakka siten, että perattu uoma saavuttaa siellä syvemmän ja laajemman avoveden. (kuva 3.21) Ruoppaus tehdään tasoon N60-5 metriä pohjan leveydellä 20 metriä. Ruopattavaa massaa vaihtoehdosta kertyy noin 360 000 m³. (Huokuna 2006)

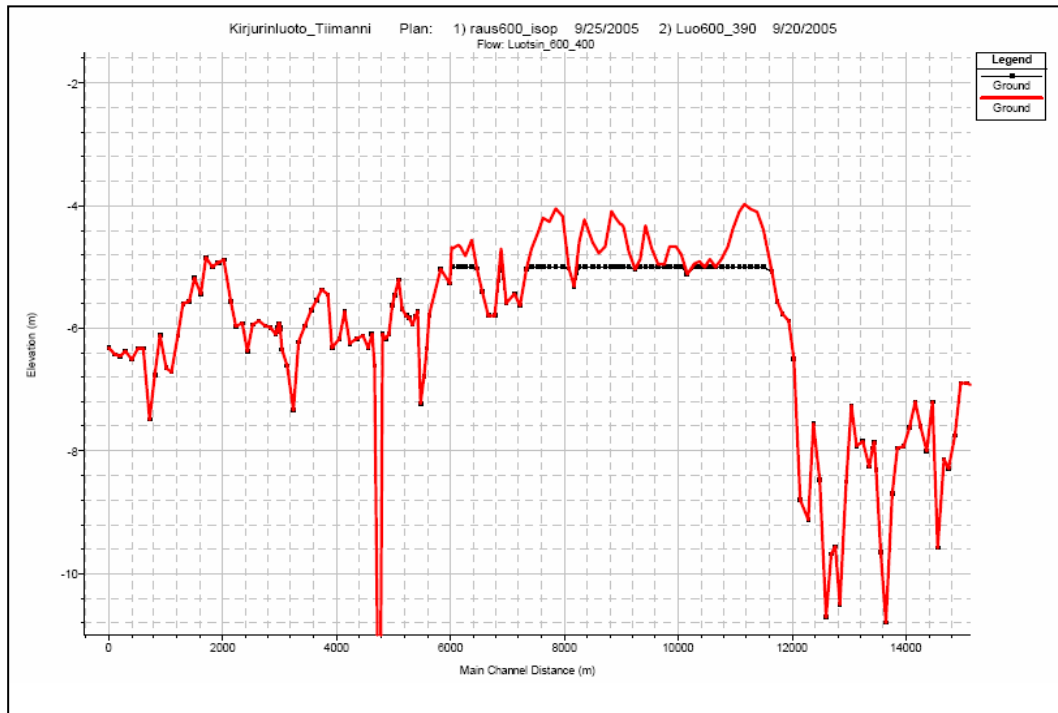
Ruoppausalueen läheisyydestä otettujen sedimenttinäytteiden perusteella ruoppausalueella on kohonneita pitoisuuksia erityisesti kadmiumia, kuparia ja elohopeaa (liitteet 3, 6, 7 ja 8). (Meriluoto 2001, Pirkanmaan ympäristökeskus 2004 ja Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 2006) Kohonneet raskasmetallipitoisuudet todennäköisesti tekevät veteen läjittämisen mahdottomaksi. Sedimentin raskasmetallipitoisuudet ovat



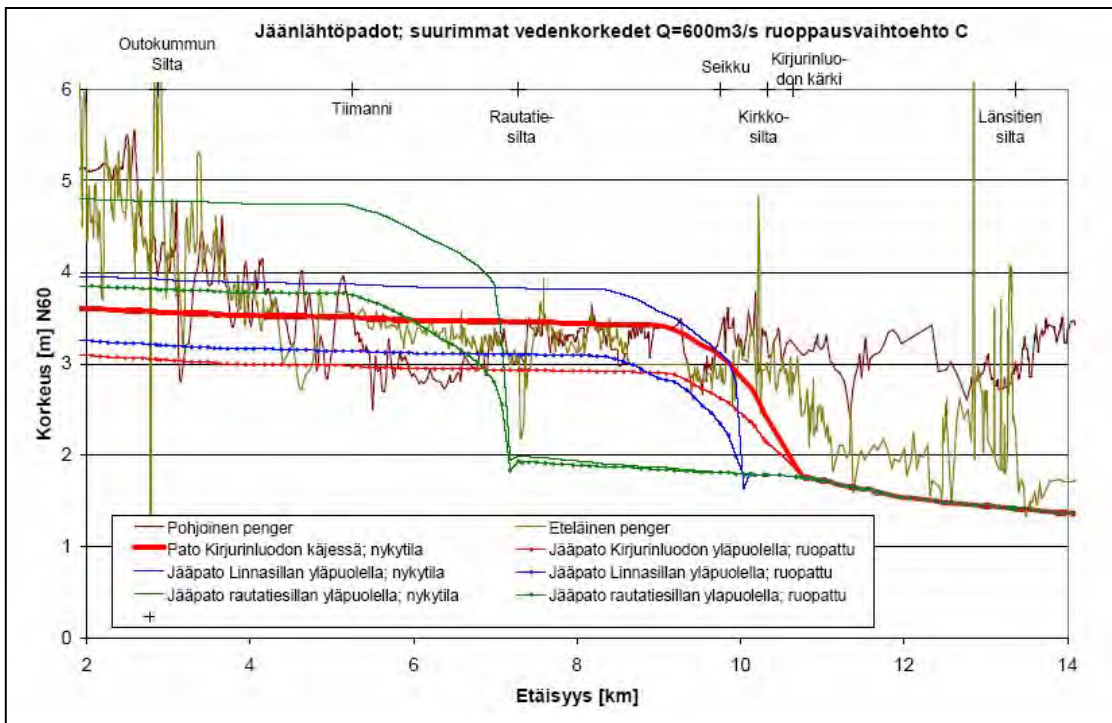
Kuva 3.17. Kirjurinluoto-Seikkuri –ruoppausvaihtoehdon linjaus.



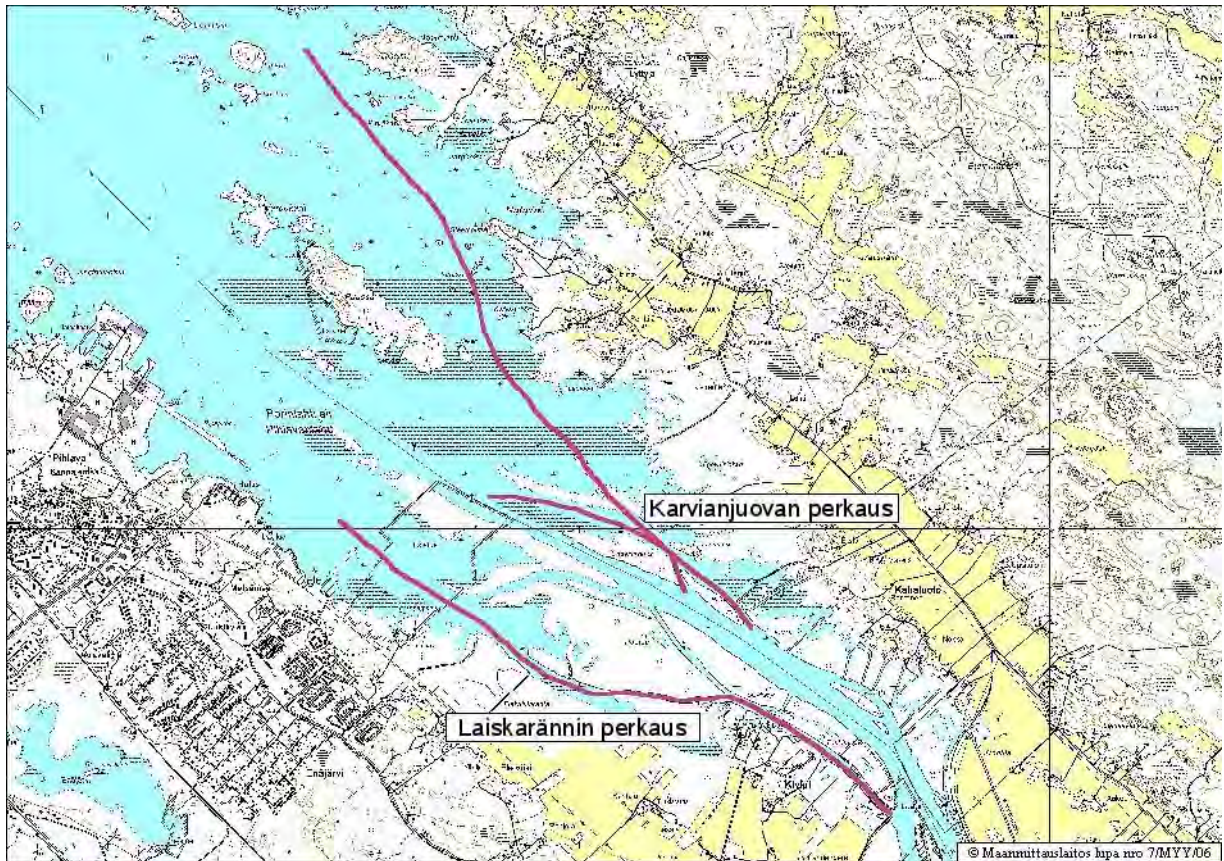
Kuva 3.18. Kirjurinluodon kärjestä Tiimanniin ulottuvan ruoppausvaihtoehdon linjaus.



Kuva 3.19. Kokemäenjoen pääoman ja ruoppausvaihtoehdon Kirjurinluoto-Tiimanni pituusleikkaus. (Huokuna 2006)



Kuva 3.20. Kirjurinluoto-Tiimanni –perkauksen vaikutus vedenkorkeuksiin virtaamalla 600 m³/s eri jäänlähtöpatotilanteissa Kokemäenjoen pääomassa paaluvälillä 303–196. Kuvaan on merkitty myös pääoman penkereiden harjakorkeudet. (Huokuna 2006)



Kuva 3.21. Laiskarännin ja Karviajuovan perkausten linjaukset.

todennäköisesti korkeampia Laiskarännin alaosal-
la kuin yläosalla, jossa hienoainessedimentaatio ei
nopeamman virtauksen takia luultavasti ole niin
suurta.

Laiskarännin ruoppaus kannattaa tehdä imu-
ruoppauksena maalle läjittäen. Kaavaillun ruop-
pausalueen läheisyydessä on läjitykseen soveltu-
via maa-alueita. Suurin etäisyys ruoppausalueelta
läjitysalueelle jää alle 1,8 kilometrin. Laiskarännin
ruoppaus- ja läjitysalueet sijaitsevat luonnonsuoje-
lualueella, joten ruoppauksen vaikutukset alueen
luontoarvoihin tulee selvittää riittävällä tarkkuu-
della.

Haitat ja kustannukset

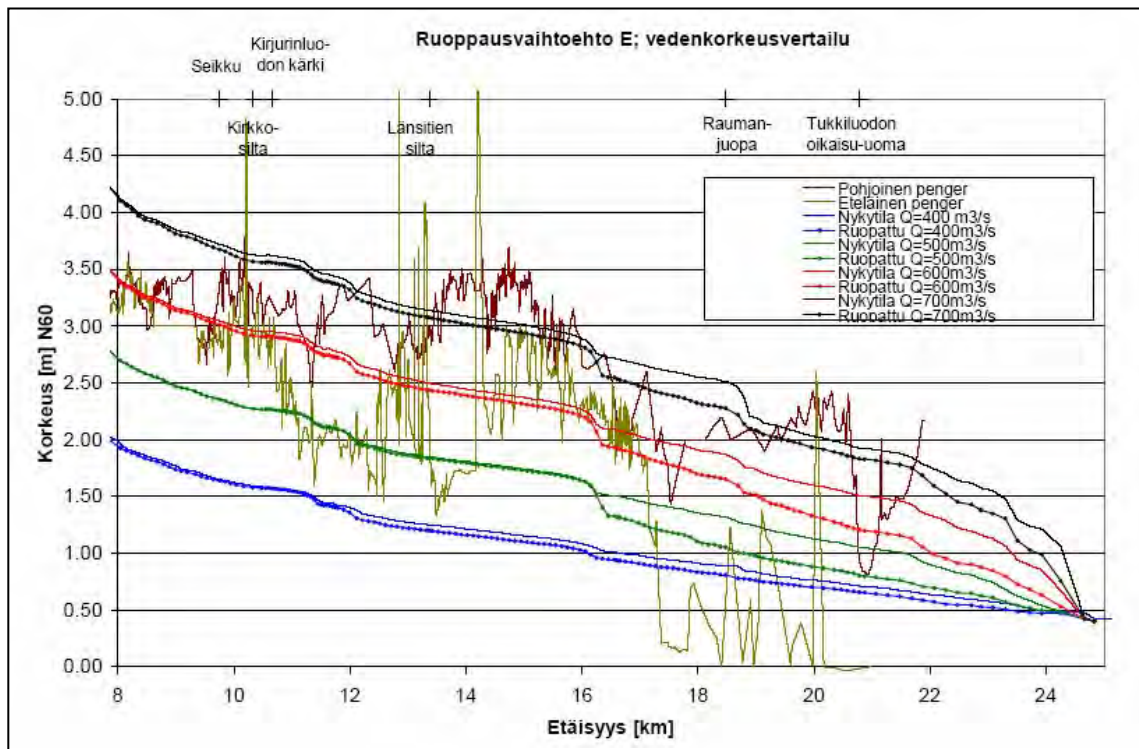
Ruopattavat massat ovat noin 360 000 m³. (Huoku-
na 2006) Olettaen, että matka ruoppauskohdasta
läjitysalueelle on keskimäärin 0,7 kilometriä, aiheu-
tuu kustannuksia noin 2,6 miljoonaa euroa. [kaava
(3)] Lisäksi kustannuksia aiheutuu muun muassa
läjitysalueen perustamisesta ja maisemoinnista
sekä suunnittelusta niin, että kustannukset ovat

arviolta 3,3 miljoonaa euroa. Kuitenkin ruoppaus-
massojen huomattavasti kohonneet raskasmetalli-
pitoisuudet todennäköisesti lisäävät kustannuksia
tästä reilusti.

Hyödyt

Vaihtoehdon toteuttaminen alentaisi vedenpin-
taa erityisesti tilanteessa, jossa jää- tai hyydepat-
to on muodostunut pääuomaan Kivinin edustalle.
Tällöin vesi pääsee edelleen vapaasti virtaamaan
Laiskarännissä hydealueen ohitse. Perkauksen
vaikutuksesta Laiskarännin virtaama jäätyminenai-
kaisessa tilanteessa Kokemäenjoen virtaamalla 600
m³/s kasvaa noin 30–50 m³/s. (Huokuna 2006)

Virtaamalla 600 m³/s jääkannen muodostumis-
tilanteessa vedenpinnan alenema pääuomassa
Kivinin Masajuovan kohdalla on noin 27 cm ver-
rattuna nykytilanteeseen. Perkauksen vaikutukset
pääuoman vedenkorkeuteen jääkannen muodos-
tumistilanteessa ovat selviä entisen kaatopaikan
kohdalle eli noin paalulle 180 saakka. Vaikutukset



Kuva 3.22. Laiskarännin perkauksen vaikutus jäätymisenäikaisiin vedenkorkeuksiin Kokemäenjoen pääuomassa välillä Isojoenranta–Pihlavanlahti. Kuvaan on myös merkitty pääuoman penkereiden harjakorkeudet. (Huokuna 2006)

tästä ylävirtaan ovat vähäisiä, alle 7 cm (kuva 3.22). (Huokuna 2006)

Jos Kokemäenjoen tulvavedenkorkeutta Kivinin alueella halutaan alentaa, Laiskarännin perkaus on tehokkaampi vaihtoehto kuin Karvianjuovan perkaus. (Huokuna 2006)

Karvianjuovan perkaus

Kokemäenjoen suistossa pääuoman pohjoispuolella sijaitseva Karvianjuopa on osittain umpeenkasvanut ja matala uoma. Perkausvaihtoehto käsittää Karvianjuovan avauksen lisäksi uoman avauksen pääuomasta kahden saaren, Hirven ja Lindenin sannaan pohjoispuolitse takaisin pääuomaan (kuva 3.21). Kaikkien uomien pohja ruopataan tasoon N60-4 metriä pohjan leveyden ollessa 30 metriä. Ruopattavaa massaa vaihtoehdosta kertyy noin 550 000 m³. Perkausvaihtoehdolla on hyvin samansuuntaiset vaikutukset kuin Laiskarännin perkauksella. (Huokuna 2006)

Ruoppausalueelta ei ole tiedossa sedimenttinäytteitä viime vuosilta. Ruoppausalueen pohjasedimentin raskasmetallipitoisuuksien referenssiarvoina voidaan pitää, kuten edellisessä kohdassa Laiskarännin osalta, Kokemäenjoen vesistön ve-

siensuojeluyhdistys r.y.:n (2006), Pirkanmaan ympäristökeskuksen (2004) sekä Meriluodon (2001) ilmoittamia arvoja (liitteet 6, 7 ja 8). Ne viittaavat siihen, että Karvianjuovankin ruoppausalueen sedimentin raskasmetallipitoisuudet ovat merkittävästi kohonneet. Tämä estänee ainakin ruoppausmassojen veteen läjittämisen.

Karvianjuovan kaavailtuna ruoppausmenetelmänä on imuruoppaus maalle läjittäen. Kaavailun ruoppausalueen läheisyydessä sijaitsee sopivia maa-alueita, joille läjittäminen on mahdollista. Suurin etäisyys ruoppausalueelta läjitysalueelle jää alle 1,5 kilometrin. Karvianjuovan ruoppaus- ja läjitysalue sijaitsee luonnonsuojelualueella, joten ruoppauksen vaikutukset alueen luontoarvoihin tulee arvioida riittävän hyvin.

Haitat ja kustannukset

Ruopattavat massat ovat noin 550 000 m³. (Huokuna 2006) Olettaen, että matka ruoppauskohdasta läjitysalueelle on keskimäärin 0,8 kilometriä, aiheutuu kustannuksia noin 4,1 miljoonaa euroa. [kaava (3)] Tämän lisäksi kustannuksia aiheutuu muun muassa suunnittelusta ja läjitysalueiden perustamisesta niin, että kustannukset ovat arviolta

5,1 miljoonaa euroa. Ruoppausmassojen kohonneet raskasmetallipitoisuudet todennäköisesti lisäävät kustannuksia vielä tästä merkittävästi.

Hyödyt

Vaihtoehdon toteuttaminen alentaisi vedenpintaa erityisesti tilanteessa, jossa jää- tai hyydepato on muodostunut pääuomaan Kivinin alapuolelle. Tällöin vesi pääsee edelleen vapaasti virtaamaan Karvianjuoppaa hyydealueen ohitse.

Jääkannen muodostumistilanteessa virtaaman ollessa 600 m³/s vedenpinnan alenema pääuomassa Kivinin kohdalla on noin 24 cm verrattuna nykytilanteeseen. Myös tässä vaihtoehdossa perkauksen vaikutukset pääuoman vedenkorkeuteen jääkannen muodostumistilanteessa ovat selviä entisen kaatopaikan kohdalle eli noin paalulle 180 saakka. Vaikutukset tästä ylävirtaan ovat vähäisempiä kuin Laiskarännin perkauksen vaikutukset. (Huokuna 2006)

Varvourinjuovan avaaminen ja pengerrys

Varvourinjuopa on vanha Kokemäenjoen haara, joka sijaitsee Seikun sahan ja Tiimannin välillä. Varvourinjuopa suljettiin veden vapaalta virtauk-

selta 1980-luvulla pyrkimyksenä suojella sen läheisyydessä olevaa asutusta ja teollisuutta tulvilta. Varvourinjuovan vedenpinta pidetään lupaehtojen mukaan pumppaamalla suhteellisen vakiona noin tasolla N60+0,50 metriä. Veden vaihtuvuus on vähäistä. Länsi-Suomen vesioikeuden päätös vuodelta 1983 velvoittaa pumppaamaan muulloin kuin tulva-aikana jatkuvasti vettä Kokemäenjoesta juovan itäpäähän vähintään 0,2 m³/s. (Länsi-Suomen vesioikeus 1983) Varvourinjuovan virkistyskäyttö on muun muassa rajoitettujen veneilymahdollisuuksien ja heikentyneen vedenlaadun takia suhteellisen vähäistä, mutta juopa tarjoaa ranta-asukkaille vesimaiseman ja toimii rauhoittavana elementtinä alueella.

Varvourinjuovan leveys on noin 25–35 metriä. Uoman keskisyvyys vuonna 1980 oli noin kaksi metriä. (Länsi-Suomen vesioikeus 1983). Tästä syvyys ei liene paljon muuttunut. Juovan etelärannalla noin kilometrin matkalla kulkee tie. Asutusta juovan eteläpuolella on heti rannan tuntumassa, ja lähimmät talot ovat vain muutaman metrin etäisyydellä rannasta. (kuva 3.23) Juovan pohjoispuolella rannan tuntumassa on sähkölinja ja joutomaa. Varvourinjuovan alapuolella eli länsipuolella on Seikun sahan puuvarastoalue. Varvourinjuovan rantoja ei ole sanottavasti pengerrytety.



Kuva 3.23. Erityisesti Varvourinjuovan eteläpuolella on taloja lähellä rantaa.

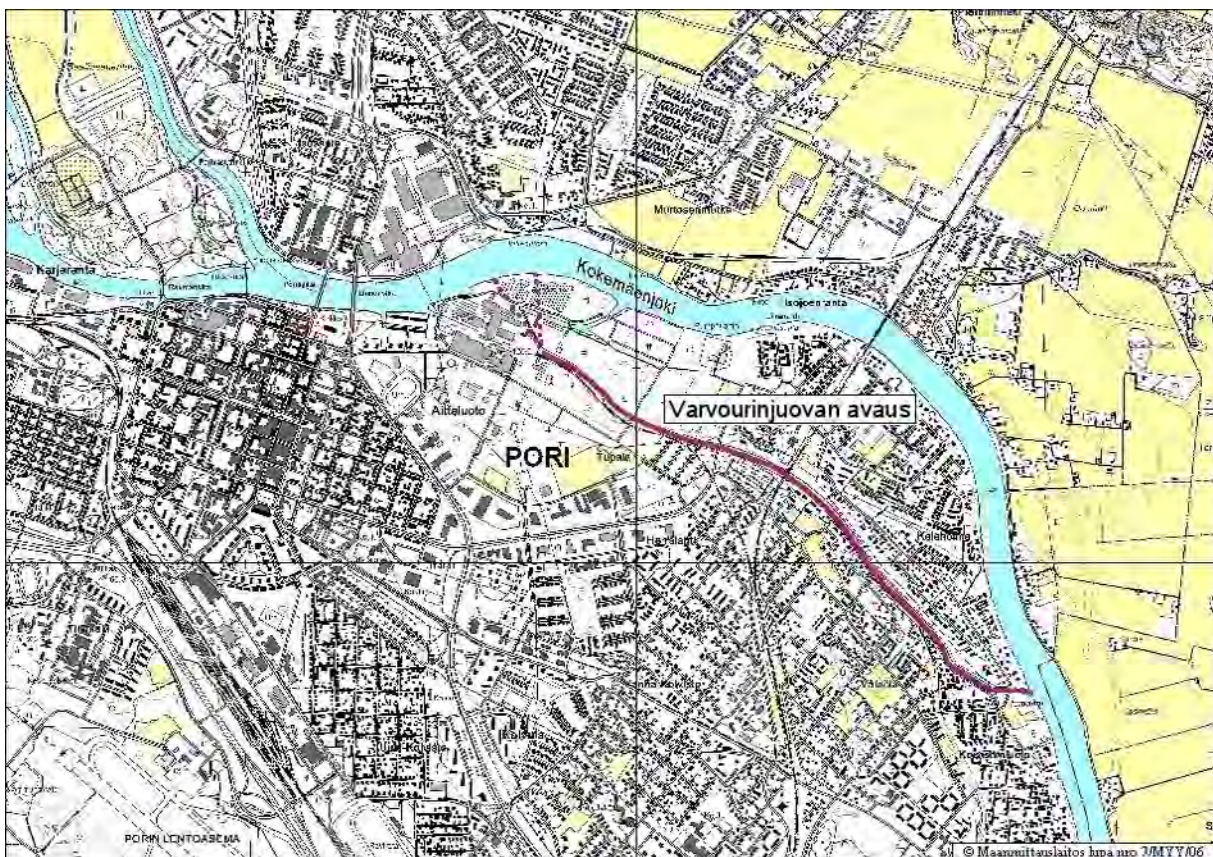
Varvourinjuovan sedimentin raskasmetallipitoisuuksista ei ole tietoa. Raskasmetallikuormitus Porin kohdalle Kokemäenjokeen oli suurta vielä 1970- ja 80-luvulla Varvourinjuovan sulkemiseen saakka. (Meriluoto 2001) Tiedossa ei ole Varvourinjuovan ruoppauksia tältä ajalta eikä sen jälkeen. On todennäköistä, että Varvourinjuovan sedimentti sisältää kohonneita raskasmetallipitoisuuksia. Sedimentin raskasmetallipitoisuuksien referenssiarvoina Varvourinjuovalle voidaan pitää Häkkilän (1984) ja Piironen (1987) esittämiä arvoja Kokemäenjoen pääuoman pintasedimentistä noin Kalaholman kohdalla (liitteet 9 ja 10). Niiden mukaan sedimentissä on kohonneita pitoisuuksia erityisesti kuparia, elohopeaa ja kadmiumia.

Vaihtoehto käsittää Varvourinjuovan avauksen ja ruoppauksen sekä rantojen pengerryksen. Pohja ruopataan 30 metrin leveydeltä tasoon N60-3 metriä. (Huokuna 2006) Penkereet rakennetaan siten, että ne suojaavat asutuksen ja teollisuuden vielä keskimäärin noin kerran 200 vuodessa sattuvilta tulvilta.

Haitat ja kustannukset

Koska Varvourinjuovan rannalla on paikoin asutusta lähellä uoma, tulvapenkereiden rakentaminen on erittäin hankalaa ja kallista. Pengerryksellä voisi jokinäkymät arviolta noin 20–40 talon asukkaalta juovan varrella. Kiinteistön käytön heikkenemisen ja maa-alueiden lunastamisen takia joudutaan maksamaan korvauksia rantakiinteistöjen omistajille. Korvausten suuruusluokka on arviolta 1,5 miljoonaa euroa. Tämä perustuu oletukseen, että korvauksia maa-alueiden lunastamisesta ja kiinteistöjen käytön heikkenemisestä maksetaan 30 kiinteistölle kullekin keskimäärin 50 000 euroa.

Varvourinjuovan avaamisen toteuttaminen vaatii tavallisiin ruoppauksiin verrattuna huomattavasti enemmän suunnittelua, joka teetetään suurelta osin ulkopuolisella suunnittelijalla. Lisäksi Porin kaupungin, Lounais-Suomen ympäristökeskuksen sekä lupaviranomaisten virkatyötä hankkeen arvioimiseksi ja toteuttamiseksi kuluu runsaasti. Kustannukset näistä työpanoksista ovat mittavia, vaikka suunnittelun ja lupakäsittelyn yhdistäisi muihin Kokemäenjoen alaosan tulvasuojelutoimenpiteisiin.



Kuva 3.24. Varvourinjuovan sijainti ja sen alaosan eräitä mahdollisia linjauksia.

Varvourinjuovan avaamisesta ja ruoppauksesta tulevia massamääriä on hankala arvioida. Jos oletetaan, että kokonaan uutta uomaa joudutaan kaivamaan noin kilometrin matkalta, ja kolmen kilometrin matkalta joudutaan ruoppaamaan keskimäärin noin neljäsosa poikkileikkauksen alasta, on ruopattava massamäärä noin 200 000 m³. Suurehko massamäärä johtuu osaltaan siitä, että pohjan leveydellä 30 metriä ja luiskakaltevuudella 1:2 uomaa joudutaan leventämään. Maamassojen poistosta aiheutuu noin 1,2 miljoonan euron kokonaiskustannukset olettaen, että yksikkökustannukset ovat 6 € / ktr m³. Jos ruoppauksen pohjan leveydeksi tehdään noin 25 metriä, mikä on realistisempi kuin virtaamamallinnuksessa oletettu 30 metriä, kustannukset alenevat jonkin verran edellä esitetystä. Silloin tosin ruoppauksen hyödytkin jäävät vähäisemmiksi. Maamassojen poisto voi onnistua pääosin kuivatyönä, jolloin kustannukset hieman pienenevät. Toisaalta maamassojen mahdollinen, jopa todennäköinen saastuneisuus lisää kustannuksia merkittävästi. Mikäli Varvourinjuovan avaaminen toteutetaan kuivatyönä, lähialueen pohjavedenpinnassa tapahtuu muutoksia. Tämä saattaa aiheuttaa ongelmia rannan läheisyydessä olevien talojen perustuksille.

Pengertä täytyy rakentaa noin 8–9 kilometriä. Keskimäärin 1,5 metriä korkea, harjaltaan neljä metriä leveä, pituudeltaan 8,5 kilometriä ja luiskakaltevuudeltaan 1:2 oleva penger vaatisi vajaat 90 000 kuutiometriä maata. Jos penkereen hinta on 35 €/m³, aiheutuu tästä noin 3,1 miljoonan euron kustannukset. Lisäksi rannan erikoisjärjestelyistä, muun muassa kapeampien penkereiden rakentamisesta asutuksen kohdalle, aiheutuu merkittäviä lisäkustannuksia, joiden suuruusluokka on arviolta 0,5 miljoonaa euroa. Lisäksi juovan yli täytyy rakentaa kaksi siltaa. Tästä arvioidaan aiheutuvan noin kahden miljoonan euron kustannukset.

Alueen kiinteistöille aiheutuu jonkin verran haittaa vedenkorkeuden vaihtelun merkittävästä lisääntymisestä. Lisäksi vaihtoehdon toteuttaminen todennäköisesti heikentää jonkin verran Heralahden, Tupalan ja Väinölän alueiden tulvasuojelutasoa erittäin harvinaisissa tulvatilanteissa. Tälle on vaikea laskea rahallista kustannusta. Alueiden tulvasuojelutaso säilyy kuitenkin reilusti hyväksyttävällä tasolla. Varvourinjuovan avaaminen aiheuttaisi todennäköisesti voimakkaitakin eturistiriitoja.

Varvourinjuovan avaamisen ja pengerryksen kokonaiskustannukset ovat arviolta 8,5 miljoonaa euroa.

Hyödyt

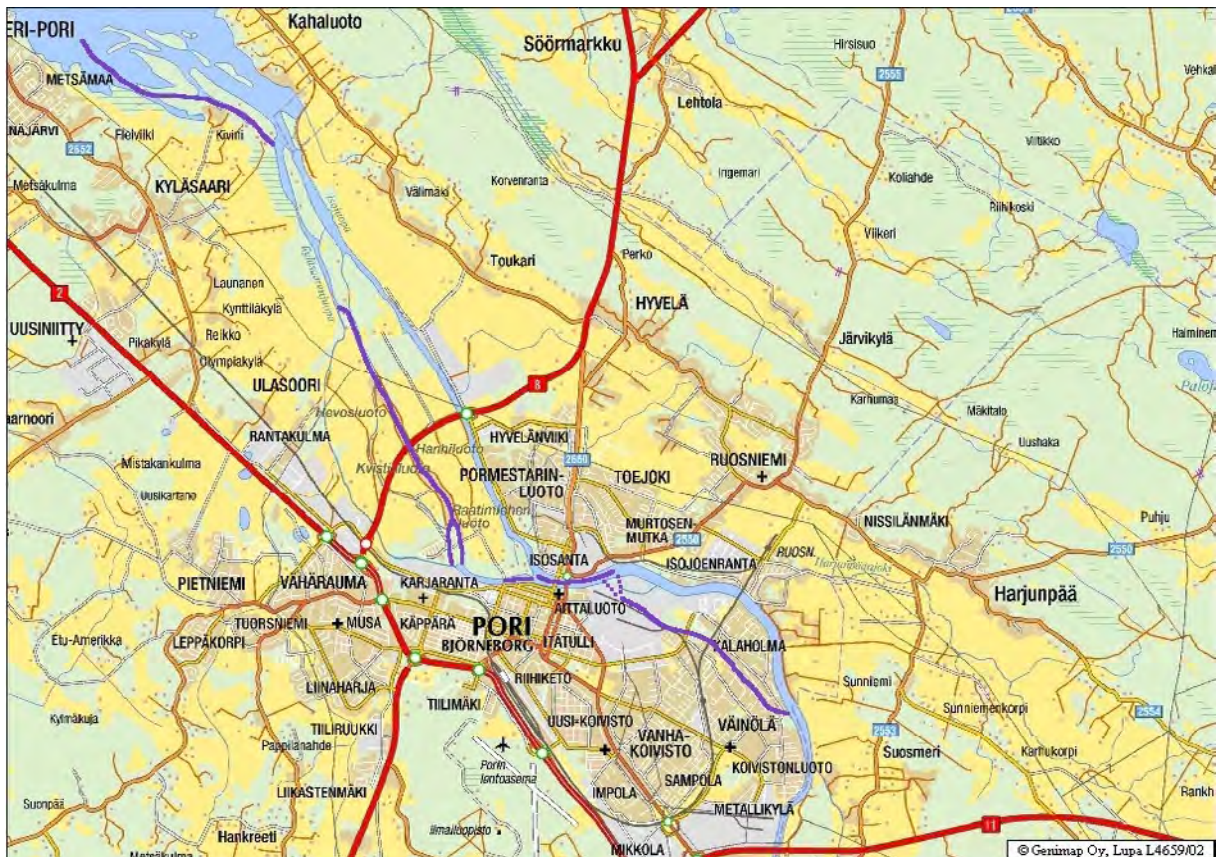
Varvourinjuovan avaamisesta on hyötyä erityisesti tilanteessa, jossa jäänlähtöpato on Linnansillan tai rautatiesillan yläpuolella. Myös tilanteessa, jossa jäänlähtöpato on Kirjurinluodon kärjen kohdalla, juovan avaamisesta on hyötyä. Laskelmissa jäänlähtöpato tilanteessa on oletettu Varvourinjuovan virtaamaksi 180 m³/s, kun kokonaisvirtaama jossa on 600 m³/s. (Huokuna 2006)

Jos jäänlähtöpato on Kirjurinluodon kärjen kohdalla ja virtaama on 600 m³/s, vaihtoehdon toteuttaminen laskee vedenkorkeutta välillä Outokummun silta (paalu 303) – Puolluoto (noin paalu 245) noin 30–35 cm verrattuna nykytilanteeseen. Jos jäänlähtöpato on muodostunut Linnansillan yläpuolelle ja virtaama on 600 m³/s, perkaus laskee vedenkorkeutta välillä Outokummun silta – Uusi-Aittaluodon pumppaamo (noin paalu 250) noin 70 cm nykytilanteeseen verrattuna. Jos jäänlähtöpato on rautatiesillan yläpuolella ja virtaama on 600 m³/s, perkaus laskee vedenkorkeutta välillä Outokummun silta – Harjunpäänjokisuu noin 100–110 cm verrattuna nykytilanteeseen. Outokummun sillan yläpuolella perkauksen vaikutus jatkuu lähes samansuuruisena pitkälle Ulvilan kunnan puolelle. Varvourinjuovan avaamisesta on hyötyä myös jääkannen muodostumistilanteessa sekä avovedenaisissa tulvatilanteissa. (Huokuna 2006)

Varvourinjuovan avaaminen ja ruoppaus parantaisivat sen vedenlaatua, joka nykytilassa kärsii veden vähäisestä vaihtuvuudesta. Varvourinjuovan virkistysarvo nousisi parantuneen vedenlaadun, veneliikenteen kulkuyhteyksien ja kalastusmahdollisuuksien myötä. Alueen osittain pusikkoinen yleisilme voisi samalla kohentua. Toisaalta rantasukkaiden virkistyskäyttömahdollisuudet saattaisivat osittain heiketä.

Yhdistelmä A

Yhdistelmävaihtoehto A käsittää Raumanjuovan yläpään, Huvilajuovan ja Laiskarännin perkaukset, Kokemäenjoen pääuoman perkauksen välillä Kirjurinluodon kärki – Seikku sekä Varvourinjuovan avauksen ja pengerryksen. (kuva 3.25) Yhdistelmävaihtoehdon A on arvioitu parhaiten parantavan tulvasuojelutasoa erilaisissa tulvatilanteissa. Yhdistelmävaihtoehdon A ruopattavat massat ovat noin 655 000 m³. (Huokuna 2006)



Kuva 3.25. Yhdistelmävaihtoehto A perkauslinjaukset.

Haitat ja kustannukset

Yhdistelmävaihtoehto A arvioidut kokonaiskustannukset ovat osavaihtoehtoista yhteen laskettuna noin 15 miljoonaa euroa. Vaihtoehto toteuttaminen virtaaman ollessa 500 m³/s nostaa jääytymisen aikaisia vedenkorkeuksia noin 8–10 cm Huvilajuovan yläosassa Liljanluodon siltojen alapuolella noin 1,3 kilometrin matkalta. Tästä alavirtaan noin yhden kilometrin matkalla vedenpinnan nousu vaimenee siten, että kohdalla noin 2,3 km silloilta alavirtaan perkauksella ei ole vaikutusta (Huokuna 2006). Vaihtoehto toteuttaminen heikentää jonkin verran Herralahden, Tupalan ja Väinölan alueiden tulvasuojelutasoa vaikeissa tulvatilanteissa. Tätä haittaa on vaikea mitata rahassa. Alueiden tulvasuojelutaso säilyy kuitenkin reilusti hyväksyttävällä tasolla.

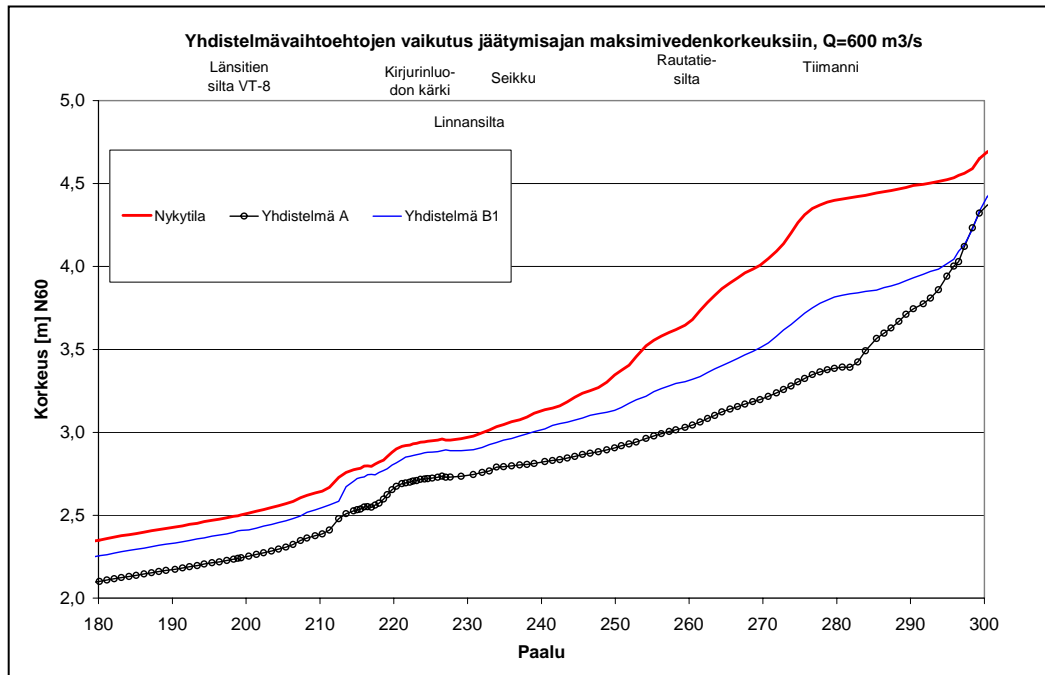
Hyödyt

Yhdistelmävaihtoehto A toteuttamisesta on hyötyä kaikilla tulvatilanteilla, erityisesti jäänlähtö- ja hyydepatilanteissa. Tulvavedenpinnan alenemisesta aiheutuva hyöty kohdistuu koko tarkastellu-

le alueelle Huvilajuovan ylä- ja keskiosaa lukuun ottamatta.

Virtaamamallinnuksessa jääkannen muodostumistilanteessa Varvourinjuovan kautta on oletettu virtaavan 95 m³/s Kokemäenjoen kokonaisvirtaamalla 400 m³/s, 120 m³/s kokonaisvirtaamalla 500 m³/s sekä 140 m³/s kokonaisvirtaamalla 600 m³/s. Jääkannen muodostumistilanteessa virtaamalla 600 m³/s vedenpinnan alenema päähaarassa Kirjurinluodolta alavirtaan on noin 23 cm, rautatiesillan kohdalla noin 62 cm ja Tiimannissa noin 100 cm nykytilaan verrattuna. (kuva 3.26) Virtaamalla 500 m³/s vastaavat luvut ovat suunnilleen 20 cm, 54 cm ja 80 cm sekä virtaamalla 400 m³/s suunnilleen 15 cm, 43 cm ja 70 cm. (Huokuna 2006)

Jääkannen muodostumistilanteessa virtaaman ollessa 500 m³/s vedenpinnan alenema Raumanjuovassa kohdasta riippuen on noin 10–22 cm. Hyyde- ja jäänlähtöpatilanteissa vaikutus on samansuuntainen. Myös avovesitilanteessa vedenpinta Raumanjuovassa alenee verrattuna nykytilaan. Huvilajuovan alaosassa jääytymisen aikainen vedenpinta laskee noin 5–10 cm virtaaman ollessa 500 m³/s verrattuna nykytilaan. Vaikutus on samansuuntainen myös muissa tulvatilanteissa. (Huokuna 2006)



Kuva 3.26. Yhdistelmävaihtoehtojen vaikutus jäätyminen aikaisiin maksimivedenkorkeuksiin Kokemäenjoen pääuomassa virtaamalla 600 m³/s. Toteutettavaksi ehdotettu yhdistelmä B on variaatio kuvan yhdistelmästä B1; näiden vaikutukset vedenkorkeuteen ovat hyvin samankaltaisia. (mukailtu Huokuna 2006)

Yhdistelmä B

Yhdistelmävaihtoehto B käsittää Kokemäenjoen pääuoman perkauksen siten, että ruoppaus tehdään tasoon N60-5,6 metriä välillä Kirjurinluodon kärki – Seikku (noin paaluväli 227–238) ja tasoon N60-5,0 metriä välillä Seikku–Tiimanni (noin paaluväli 238–285). Pohjan leveydeksi ruopataan 60 metriä. Perkausvaihtoehdon linjaus on esitetty kuvissa 3.27 ja 3.28. Ruoppaus kannattaa tehdä syvempänä Kirjurinluodon ja Seikun välillä, koska Kirjurinluodon kärki on todennäköisin jäänlähtöpatojen ja melko todennäköinen hyydepatojen muodostumispaikka. Jääpadon ollessa Kirjurinluodon kärjessä voivat tulvavahingot muodostua erittäin suuriksi. Ruopattavat massat ovat arviolta 570 000 m³. Arvio perustuu massamääriin, jotka kertyvät perkauksista Kirjurinluoto-Tiimanni ja Kirjurinluoto-Seikku.

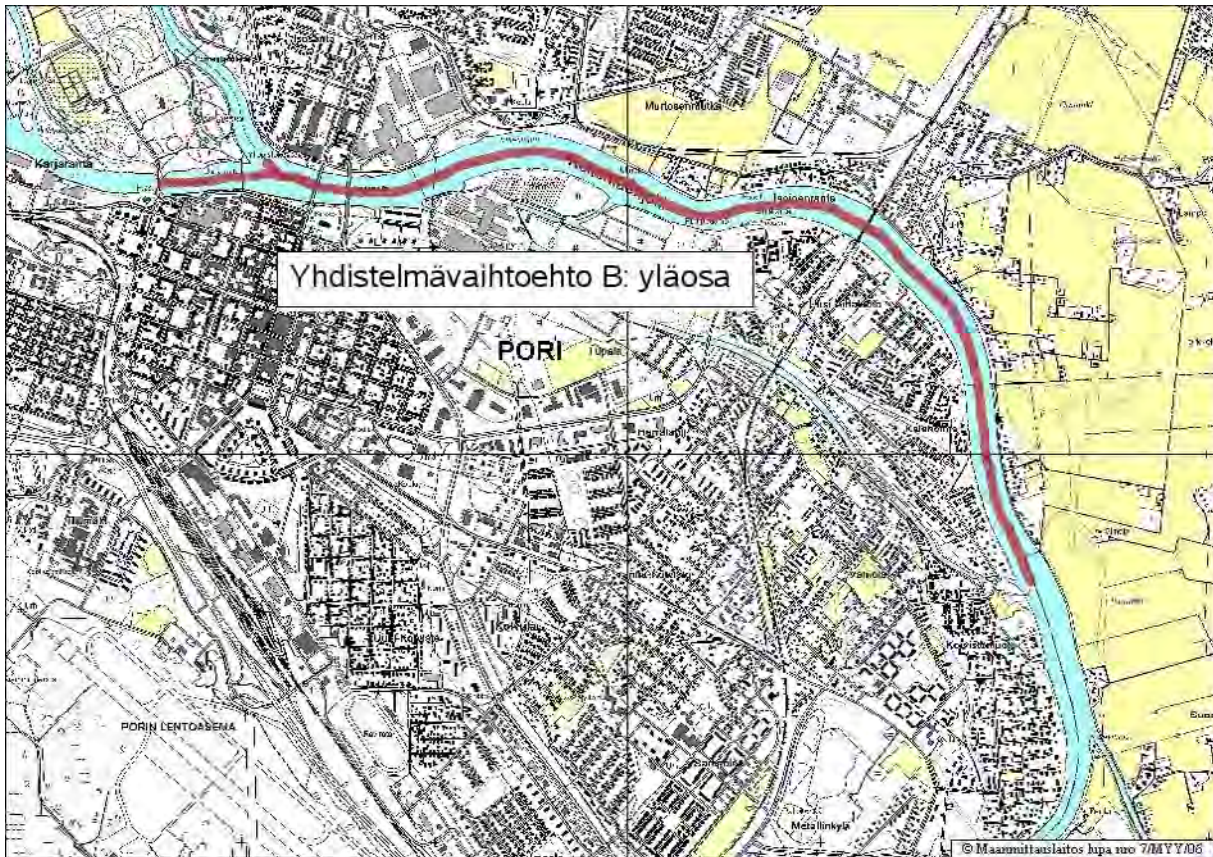
Lisäksi toteutetaan Raumanjuovan yläpään perkaus paaluvälillä 97–102 pohjan leveydellä 40 metriä ja pohjan tasolla N60-4,5 metriä. Perkaus tehdään pienempänä kuin alkuperäisessä ehdotuksessa (Huokuna 2006), koska ruopattavasta kohdasta alavirtaan mentäessä Raumanjuopa kapenee, ja uoman suurin syvyys on pääasiassa 4–6 metriä.

Siten uoman vetokyky ei juuri lisääntyisi, vaikka tehtäisiin syvempi ja leveämpi ruoppaus. Alkuperäisessä ehdotuksessa Raumanjuovan yläpään perkaus oli suunniteltu toteutettavaksi yhdessä Huvilajuovan perkauksen kanssa, jolloin syvempi ja leveämpi perkaus olisi puolustanut paikkaansa. Raumanjuovan yläpään supistetun perkauksen ruoppausmassat ovat arviolta 30 000 m³.

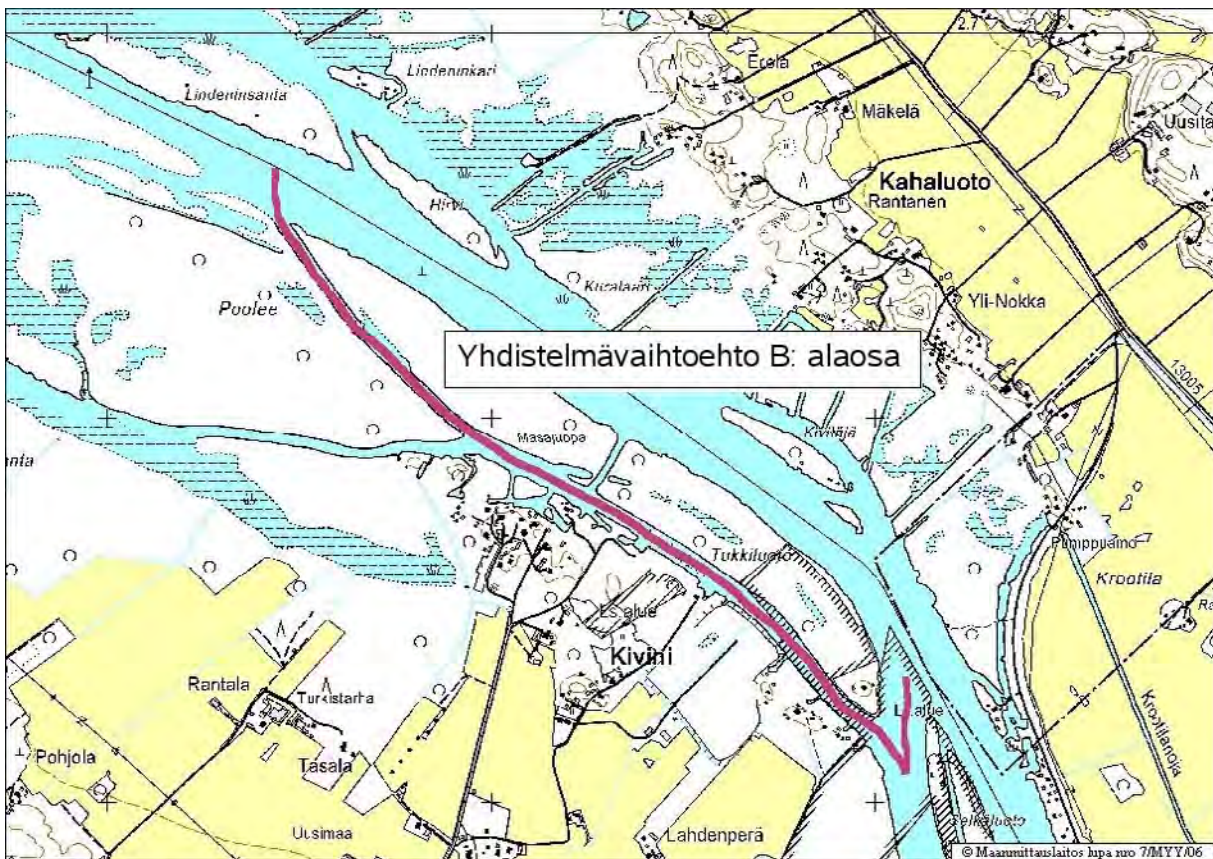
Yhdistelmävaihtoehto B käsittää lisäksi Laiskärännin perkauksen tasoon N60-4,5 metriä pohjan leveydellä 18 metriä välillä Tukkiluodon kaakkoispuoli-oikaisu-uoman alapää. Ruoppauksen pituus on noin 2,5 kilometriä. Lisäksi ruopataan Kyläsaarenjuovan alaosan mataloitunut kohta paaluvälillä 7–10 pohjan leveydellä 30 metriä ja syvyydellä N60-4 metriä. Perkaus alentaa vedenpintaa suistossa ja luotojen kohdalla erityisesti tilanteessa, jossa jääpato on pääuomassa Kivinin kohdalla. Perkauksen massamäärä on yhteensä noin 100 000 m³.

Haitat ja kustannukset

Alkuperäisen Kirjurinluoto-Tiimanni –perkausvaihtoehdon kustannuksiksi on arvioitu noin 5,0 miljoonaa euroa. 70 000 m³ massamäärän lisäys välillä Kirjurinluoto–Seikku lisää kustannuksia



Kuva 3.27. Yhdistelmävaihtoehto B linjaukseen Porin kohdalla.



Kuva 3.28. Yhdistelmävaihtoehto B linjaukseen suistossa.

arviolta 700 000 euroa yhteensä noin 5,8 miljoonaan euroon. Raumanjuovan yläpään alkuperäisen perkausvaihtoehdon kustannuksiksi on arvioitu noin 700 000 euroa. Tämän perusteella Raumanjuovan yläpään supistettu perkaus aiheuttaa arviolta 330 000 euron kustannukset.

Laiskarännin yläpään ja oikaisu-uoman ruoppauksen massamäärä on arviolta 100 000 m³. Olettaen, että matka ruoppauskohdasta läjitysalueelle on keskimäärin 0,9 kilometriä, aiheutuu kustannuksia noin 760 000 euroa. [kaava (3)] Lisäksi muun muassa suunnittelu ja läjitysalueen perustaminen aiheuttavat lisäkustannuksia niin, että kustannukset ovat noin 1,0 miljoonaa euroa. Ruoppausmassojen mahdollisesti, jopa todennäköisesti kohonneet raskasmetallipitoisuudet lisäävät kustannuksia vielä tästä. Yhdistelmävaihtoehdon B kokonaiskustannukset ovat arviolta 7,2 miljoonaa euroa.

Yhdistelmävaihtoehdon B toteuttaminen nostaa vedenkorkeuksia jääytymisen aikaisessa tilanteessa virtaamalla 600 m³/s Huvilajuovan yläosassa enimmillään noin 3 cm ja Raumanjuovassa enimmillään noin 5 cm.

Hyödyt

Yhdistelmävaihtoehdon B vaikutukset Porin keskustan kohdalla ovat hieman suuremmat kuin perkauksen Kirjurinluoto-Tiimanni vaikutukset. Näin on sekä jääytymisen aikaisessa tilanteessa (kuva 3.26) että jääpatotilanteessa (kuva 3.20). Kuvan 3.26 laskelmat on tehty yhdistelmälle B1, josta yhdistelmä B on muodostettu pienin muutoksin. Vaikutukset vedenkorkeuteen ovat molemmilla hyvin samankaltaiset. Luotojen kohdalla ja suistossa virtaamalla 600 m³/s jääytymisen aikainen vedenkorkeus laskee Raumanjuovan alaosalla (Kyläsaarenjuopa) ja Luotsinmäenjuovassa (Isojuopa) enimmillään noin 13 cm. (Huokuna 2006)

Avovesitulvatilanteessa perkauksella on vain vähäinen vaikutus vedenkorkeuksiin. Virtaamalla 1 225 m³/s (HQ 1/250) perkaus alentaa vedenkorkeutta nykytilanteeseen verrattuna noin 15 cm Tiimannissa, noin 6 cm rautatiesillan kohdalla ja noin 1 cm Kirjurinluodon kohdalla. (Aaltonen 2006)

3.4.3 Pengerrykset

Olemassa olevat penkereet on suunniteltu pääasiassa maatalouden tulvasuojelun tarpeisiin suojaamaan alueet pienemmiltä kuin keskimäärin kerran noin 50 vuodessa toistuvilta tulvilta. Ne ovat riittämättömät laajamittaisen asutuksen suojelemiseen. Penkereet on rakennettu pääosin 1950-luvulla, eikä suurin osa niistä rakenteensa puolesta täytä nykyaikaisia suunnittelukriteerejä. (kuvat 3.29 a



Kuvat 3.29 a ja b. Kokemäenjoen rannan heikkokuntoista pengertä Isojoenrannassa keväällä 2006.



ja b) Penkereet on rakennettu etupäässä siltti- ja savimaasta. Penkereiden luiskakaltevuudet ovat 1:1–2 ja harjaleveydet vain 0,5–1,5 metriä, ja eroosiosuojaksi rakennettu puupaalutus on lahonnut. Penkereiden eroosioherkkyys tulvatilanteessa on siis paikoin erittäin suuri varsinkin sulan maan aikana. (Salminen 2005, Koskinen 2006)

Pengerrys ei ole varsinainen vaihtoehto ruoppauksille. Pengerrys on ollut ja on tulevaisuudessakin Kokemäenjoen alaosan pääasiallinen tulvasuojelukeino. Olemassa olevien penkereiden kunto on pääpiirteissään kartoitettu, ja niitä ryhdytään korjaamaan ja korottamaan vuonna 2007. Kokonaisuuden kannalta edullisinta harjatasoa penkereille ei ole tarkemmin selvitetty. Penkereiden suojaustason tavoitteeksi on kuitenkin asetettu varmuus vaikeaa jääpatotilannetta vastaan. Toistuvuudeltaan tällainen tapahtuma olisi noin 100–200 vuotta. Tässä työssä ei tarkastella lähemmin pengerryksen vaikutuksia tulvasuojeluun Kokemäenjoen alaosalla.

Penkereiden kunnostamisessa ja korottamisessa tulee ottaa huomioon veden luonnolliset purkautumisväylät sijoittamalla penkereeseen niiden kohdalle ylivirtauspenkereitä eli tulvakynnyksiä. Siten pystytään ehkäisemään veden hallitsematonta leviämistä kaikkein eniten vahinkoa kärsiville alueille. Uusia penkereitä Poriin saatetaan joutua rakentamaan maankäytön edistyessä. Uusia penkereitä rakennettaessa ne tulisi mahdollisuuksien mukaan rakentaa kauemmaksi rannasta. Tällä tavoin säilytetään jokimaisema avoimena ja kasvatetaan tulvimisalueen avulla hieman varastotilavuutta sekä parannetaan jokitormän vakavuutta. Lisäksi väliaikaiset tulvimisalueet lisäävät maiseman ja luonnon monimuotoisuutta sekä jokirannan virkistyskäytömahdollisuuksia. Tällaisia tulvasanteita käytetään enemmälti muun muassa Keski-Euroopassa. (Loucks ym. 2005)

Tarkastettavia ja mahdollisesti kunnostettavia penkereitä on noin 15 kilometriä. Penkereiden kunnostamisen kustannukset ovat arviolta kolme miljoonaa euroa. Penkereiden korottaminen saattaa heikentää jonkin verran ranta-asukkaiden jokinäkymiä. Tämän kustannuksia on hankala arvioida, sillä vastaavia tapauksia tunnetaan Suomessa vähän. On kuitenkin todennäköistä, että korvauksia jokinäkymän heikkenemisestä maksetaan vain vähän tai ei ollenkaan rannan asukkaille, sillä asukkaat hyötyvät penkereiden korottamisesta parantuneena tulvasuojelutasona ja rannan vahvistumisena. Penkereiden korottaminen sen sijaan vaatii maa-alueiden lunastamista muualla kuin Porin kaupungin omistamalla alueella.

3.4.4 Muu tulvasuojelu ja tulvantorjunta

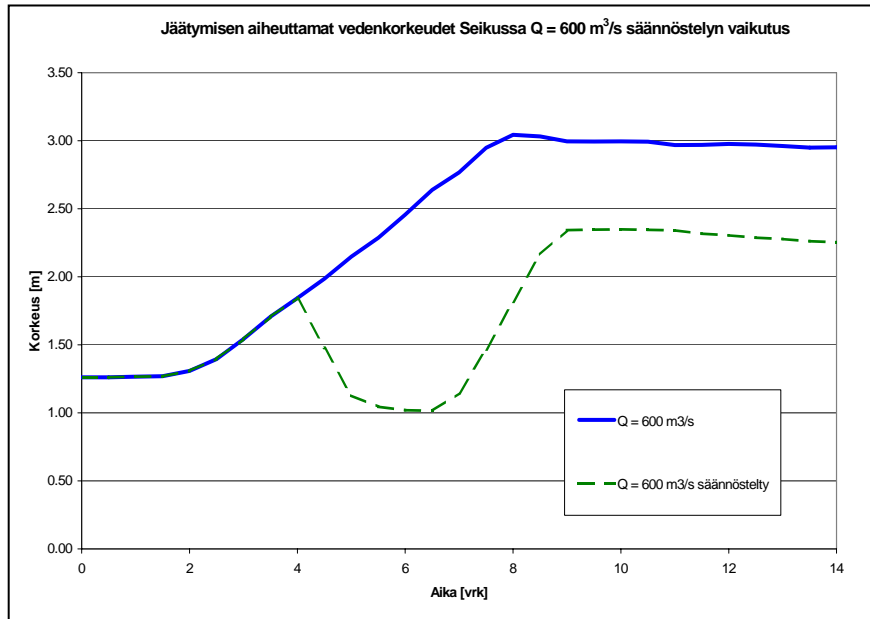
Säännöstely on Kokemäenjoen alaosan operatiivisista tulvantorjuntakeinoista keskeisin. Säännöstelyllä pystytään tavanomaisissa kevättulvatilanteissa leikkaamaan virtaamahuippua ja pienentämään olennaisesti syntyviä vahinkoja. Säännöstelyn vuosirytmä sopii luonnostaan kevättulvien ehkäisyyn, sillä talviaikaan varastotilavien vesitilavuus kannattaa voimataloudellisten syiden takia juoksuttaa minimiin. Tällöin lumen sulamisvesille keväällä on varastotilaa järvissä, ja tulvahuippu leikkaantuu pienemmäksi.

Kokemäenjoen vesistön säännöstelystä ja sen optimoinnista on tehty laaja selvitys (Marttunen ym. 2004). Säännöstelyn vaikutuksia tarkastellaan myös Kokemäenjoen vesistön tulvantorjunnan toimintasuunnitelmassa (Vainio 1999). Kokemäenjoen vesistöstä on valmistumassa lähivuosina uusi tulvantorjunnan toimintasuunnitelma, jossa tarkastellaan seikkaperäisemmin koko vesistöalueen säännöstelyä ja tulvariskien hallintakeinoja.

Säännöstelyyn liittyvät olennaisena osana luotettavat sää- ja vesistöennusteet. Ennusteet ovat kehittyneet merkittävästi viimeisimmän pahan tulvatilanteen (1974–75) jälkeen. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että pelkästään säännöstelyllä pystyttäisiin hallitsemaan kaikenlaiset tulvatilanteet Kokemäenjoella. Oikealla säännöstelyllä on erittäin suuri merkitys erityisesti talvitulvien ehkäisyssä. Juoksutuksen pienentämisellä pakkasjakson aikana voidaan edesauttaa jääkannen muodostumista jokeen, mikä ehkäisee hyydepatojen syntymistä. Hyydepuomien käytöllä voidaan tehostaa talvisen säännöstelyn vaikutusta.

Kuvan 3.30 mukaisessa tilanteessa yläpuolisiin järvi-altaisiin joudutaan kymmenen vuorokauden aikana varastoimaan lisävetä noin 300 miljoonaa kuutiometriä ($350 \text{ m}^3/\text{s} * 3600 \text{ s} * 24 * 10$) verrattuna säännöstelemättömään tilanteeseen. Kuvan mukainen tilanne kaksi viikkoa kestäessään on äärimmäisen harvinainen, sillä pitkä pakkasjakso ja suuri virtaama voivat yleensä vallita samanaikaisesti vain jonkin aikaa. Taulukossa 3.10 on esitetty yläpuolisilla järvillä syntyviä vahinkoja kyseisessä poikkeusjuoksutustilanteessa.

Jääpuomit ovat yhdessä säännöstelyn kanssa käytettyinä tehokas keino vähentää hyyteestä aiheutuvia tulvaongelmia. Jääpuomit ”keräävät” vedessä liikkuvaa hyydettä ja siten edistävät jääkannen muodostumista puomista ylävirtaan. Jääkannen muodostuminen pienentää tulvariskiä ehkäisemällä hyyteen ja pohjajään muodostumista. Kuvassa 3.31 on esitetty jääpuomien vaikutus jäätymisenäikaisessa tilanteessa, jossa virtaama on $600 \text{ m}^3/\text{s}$. (Huokuna 2006) Tässä työssä ei erikseen tarkasteltu jääpuomien käytöstä syntyviä hyötyjä ja kustannuksia.



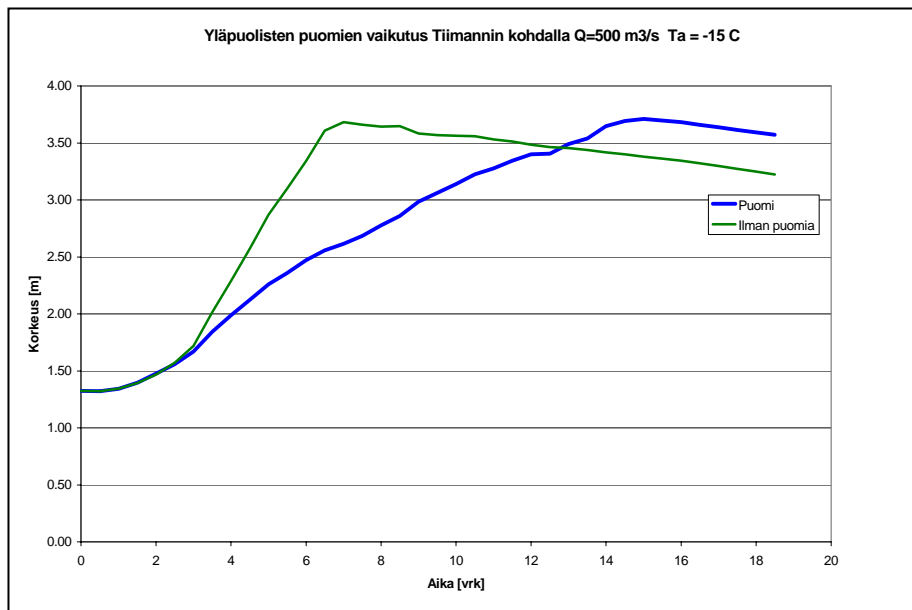
Kuva 3.30. Jäätymisvaiheen säännöstelyn vaikutus vedenkorkeuteen Tiimannissa, kun alkuperäinen virtaama on 600 m³/s ja säännöstelyvaiheessa se pienennetään arvoon 250 m³/s. Ilman lämpötila on koko ajan -15° C. (Huokuna 2006)

Taulukko 3.10. Kokemäenjoen säännöstelyn vaikutus yläpuolisten järvien rannoilla aiheutuviin vahinkoihin, kun virtaamaa vähennetään 350 m³/s, ja yläpuolisten järvien vedenpinnat ovat alkutilanteessa säännöstelyn ylärajalla. (mukailtu Vainio 1999)

Aika vrk	Vesimäärä milj. m ³	Vahingot milj. mk *	Milj. € **
1,2	35	1,2	0,22
2,3	70	2,5	0,47
3,5	105	4,2	0,79
4,6	140	5,0	0,93
5,8	175	7,2	1,3
6,9	210	9,5	1,8
8,1	245	13,5	2,5
9,3	280	16,0	3,0
10,4	315	20,0	3,7

*Vahingot vuoden 1999 alun hintatasossa

**Vahingot vuoden 2006 alun hintatasossa (Tilastokeskus 2006a)



Kuva 3.31. Vedenkorkeus Tiimannin kohdalla ilman jääpuomeja ja tilanteessa, jossa on jääpuomit Kirkkojuovan, Ulvilan sillan ja Nakkilan kohdalla. (Huokuna 2006)

Muita tulvantorjunta- ja tulvasuojelutoimenpiteitä, kuten jää- ja suppopatojen räjäytyksiä, alustai kaivuriraivausta, tilapäisiä tulvasuojelurakenteita tai tulvatilavuuden kasvattamista valuma-alueella ei tarkastella tässä työssä.

3.5 Ruoppausvaihtoehtojen edullisuusvertailu

3.5.1 Käytetyt menetelmät

Eri ruoppausvaihtoehtojen edullisuusvertailu perustui tässä työssä pitkälti laadullisesti arvioituihin vaikutuksiin, joskin myös kvantitatiiviseen, yhteismitalliseen arviointiin pyrittiin. Eri ruoppausvaihtoehtojen edullisuuden vertailemiseksi kehitettiin yksinkertainen menetelmä, josta käytetään jatkossa nimeä WWL-menetelmä (weighted water level). WWL-menetelmän ideat ovat tuttuja muun muassa päätösanalyttisistä menetelmistä. (esim. <http://www.hipre.hut.fi>) WWL-menetelmällä painotetaan tulvasuojeluvaihtoehdon aiheuttamaa vedenkorkeuden alenemaa toisaalta eri tulvatilanteiden arvioiduilla todennäköisyyksillä ja aiheutuvilla seurauksilla (=riski) sekä toisaalta eri alueiden erilaisilla tulvavahinkopotentiaaleilla. Menetelmä keskittyy kahden tulvariskien hallinnan kannalta keskeisen kysymyksen tarkasteluun:

a) mitkä taloudelliset ja sosiaaliset yksiköt, tässä tapauksessa eri alueet, ovat haavoittuvimpia erilaisille tulville, sekä b) mitkä ovat tehokkaimpia keinoja vähentää tätä haavoittuvuutta eli tässä tapauksessa ainoastaan tulvavedenkorkeutta (vrt. kohta 2.4). Menetelmällä ei yritetäkään arvioida kunkin tulvasuojeluvaihtoehdon kannattavuutta tai rahallista hyötyä, vaan pikemminkin suhteellista edullisuutta verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Menetelmän prosessikaavio on esitetty kuvassa 3.32.

WWL-menetelmän lähtötietoina tarvitaan joko havaintoihin tai mallinnukseen perustuvia tulvavedenkorkeustietoja muutamalla keskeisellä tulvatilanteella sekä käsitys tulvaveden leviämisestä, joka ilmaistaan usein tulvavaarakartan avulla. Lisäksi täytyy tietää maankäytön alueellinen jakautuminen tai eri alueiden yksityiskohtaisempi tulvavahinkopotentiaali. Tulvavahinkopotentiaaliin voidaan sisällyttää myös muita kuin suoraan rahassa mitattavia vahinkoja. Kun tiedetään tulvavahinkopotentiaalin alueellinen jakautuminen, voidaan tarkasteltava alue jakaa pienempiin osa-alueisiin, jolloin otetaan lisäksi huomioon mahdollisuuksien mukaan sellaiset maaston muodot (esimerkiksi tiet), jotka saattavat vaikuttaa tulvan leviämiseen.

Osa-alueisiin jakamisen jälkeen voidaan määrittää kunkin osa-alueen painokertoimet. Määrittämisessä otetaan huomioon kunkin osa-alueen tulvariskialttius, ja lisäksi painokertoimien avulla

voidaan periaatteessa ottaa kantaa siihen, kuinka tärkeänä kunkin osa-alueen suojaamista tulvilta pidetään. Painokerroin on siis sitä suurempi, mitä suurempi on alueelle kohdistuva tulvariski. Joskus, jos joki haarautuu useampaan uomaan ja tulvasuojelutoimet kohdistuvat epätasaisesti eri uomiin, voi olla tarpeen erottaa eri jokihaarat omiksi alueikseen eri uomien rannoille kohdistuvien erilaisten tulvariskien takia. Tällöin kuitenkin tulee huomioida alavalla seudulla tulvan leviäminen eri uomien välillä.

Muutamalle keskeisimmälle, erityyppiselle tulvatilanteelle määritetään painokerroin. Painokerrotoimia määritettäessä huomioidaan eri tulvatilanteista aiheutuva riski, eli tulvan todennäköisyys ja seuraukset. Erityyppisille tulvatilanteille tarvitaan erilaiset painokertoimet siksi, että eri tulvasuojelutoimet vaikuttavat eri tavoin erityyppisten tulvien ominaisuuksiin ja seurauksiin. Jos tulvat alueella johtuvat ainoastaan yhdestä tietystä syystä, esimerkiksi suurista avovedenaikaisista virtaamista, ei painokertoimia eri tulvatilanteille (tässä tapauksessa muutamalle erisuuruiselle virtaamalle) välttämättä tarvitse määrittää. Porin tapauksessa tulvatilanteet olivat jäätyminen aikainen tulvatilanne sekä kolme erilaista jääpatotulvatilannetta. Periaatteessa eri tulvatilanteiden ja eri osa-alueiden painokertoimet riippuvat toisistaan, ja ne voitaisiin yhdistää, mutta tällöin mallin läpinäkyvyys ja herkkyysanalyysin kertovuus kärsisivät.

Tulvasuojeluvaihtoehtojen vaikutus tulvavedenkorkeuksiin lasketaan tavallisesti virtausmalleilla. Vedenkorkeuden muutos painotetaan eri osa-alueiden ja eri tulvatilanteiden kertoimilla, ja muutos summataan yhteen. Kustakin tulvasuojeluvaihtoehdosta saatava hyötyluku eri tulvatilanteissa ja eri alueilla voidaan nyt ilmaista yhteismitallisesti. Hyötyluku jaetaan kunkin tulvasuojeluvaihtoehdon hinnalla, ja siten saadaan vaihtoehdon suhteellinen hyöty. Nyt voidaan verrata eri tulvasuojeluvaihtoehtojen edullisuutta.

Saaduille tuloksille tehdään herkkyystarkastelu, jolloin laskenta suoritetaan muutetuilla painokertoimien arvoilla ja katsotaan, miten tulokset muuttuvat alkuperäisistä. Herkkyystarkastelun tarkoituksena on toisaalta testata mallin antamien tulosten herkkyyttä parametrien muutoksille, ja toisaalta testata mallin loogisuutta. Jos tulokset eivät muutu, vaikka parametreja muutetaan paljonkin, tämä voi kertoa mallissa olevasta rakenteellisesta virheestä tai asenteellisesta, ”ennalta määrätyn” tuloksen tavoittelusta. Koska menetelmä on suhteellisen subjektiivinen esimerkiksi painokerrotoimien määrittämisen osalta, on herkkyystarkastelu tärkeää menetelmän luotettavuuden kannalta.

WWL-menetelmä pyrkii arvioimaan tulvasuojeluvaihtoehdon toteuttamisesta aiheutuvaa tulvariskin muutosta tulvavedenkorkeuden muutosten avulla. Ne tulvasuojeluvaihtoehdon toteuttamisesta aiheutuvat hyödyt ja haitat, joita menetelmä ei ota huomioon, täytyy arvioida erikseen. Menetelmä onkin lähinnä apuväline tulvasuojeluvaihtoehtojen syvällisempään edullisuusvertailuun, joka voidaan tehdä esimerkiksi monikriteerianalyysiä käyttäen. Menetelmä soveltuu lähinnä jokivesistöille, joissa tulvavedenkorkeuden muutokset ovat erilaisia eri alueilla. WWL-menetelmän tärkeä oletus on, että tulvavahingot riippuvat likimain lineaarisesti vedenkorkeudesta niillä vedenkorkeuksilla, joita tarkastellaan. Käytännössä vähänkin laajemmilla alueilla näin voidaan useimmiten riittävällä tarkkuudella olettaa. Tämä johtuu siitä, että esimerkiksi kaikki rakennukset eivät ole samassa korkeustasossa. WWL-menetelmän tarkkuus ja luotettavuus kärsivät sen subjektiivisista elementeistä. Vaihtoehtoinen ja tarkempi, mutta myös työlämpi menetelmä edullisuusvertailuun on kohdassa 2.3.2 esitelty AAD-menetelmä, joka soveltuu lisäksi tulvasuojelun kannattavuuden arvioimiseen. AAD-menetelmä edellyttää useita virtausmallinnuksia ja vahinkoarvioita sekä tulvakarttojen tekemistä useissa erilaisissa tulvatilanteissa.

WWL-menetelmä sopii edullisuuden tarkasteluun sellaisilla tulvasuojeluvaihtoehdoilla, jotka eivät nosta vedenkorkeutta toisaalla. Jos esimerkiksi perikauksen takia vedenkorkeus nousee jossakin kohdassa jokijaksoa, pitää tilannetta aina tarkastella tapauskohtaisesti. Vesilain mukaan vesistöistä aiheutuva haitta on yleensä kompensoitava haitankärsijälle. Tulvavedenkorkeuden noususta aiheutuvan haitan kompensatio voi tarkoittaa esimerkiksi lisäruoppausta alajuoksulla tai pengerrystä. Jos kompensatioiden kustannukset tiedetään etukäteen, ne tulee ottaa huomioon kunkin tulvasuojeluvaihtoehdon kustannuksina. Tässä työssä vedenkorkeuden nousu hyötylaskennassa on otettu huomioon vain etumerkissä, eli vedenkorkeuden nousu vähennetään suoraan kokonaisyödystä. Jos tulvavedenkorkeuden nousulle haluttaisiin määrittää numeerinen haitta, tulisi varsinkin suurta tulvavedenkorkeuden nousua painottaa enemmän kuin vastaavaa tulvavedenkorkeuden laskua. Käytännössä tämä johtaisi eksponenttifunktioiden käyttöön, jolloin hyötylaskennan selkeys ja yksinkertaisuus kärsisivät.



Kuva 3.32. Prosessikaavio tulvasuojeluvaihtoehtojen edullisuusvertailusta.

Menetelmien soveltaminen Poriin

Porissa tulville altis alue voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen. Jako pohjautuu eri osa-alueiden erilaiseen yhdyskuntarakenteeseen ja tulvavahinkopotentiaaliin. Lisäksi jaossa on mahdollisuuksien mukaan otettu huomioon uomaston erilaiset hydrauliset ominaisuudet eri jokijaksoilla (yksiuomainen vs. moniuomainen) sekä tulvaveden leviämiseen vaikuttavat maaston ominaisuudet (esim. keskustasta pohjoiseen kulkeva Vaasantie).

Alue, joka on kuvaan 3.33 merkitty kirjaimella A, käsittää Kokemäenjoen pääuoman ympäristöineen Tiimannista Porinsillalle saakka. Tällä matkalla Kokemäenjoki virtaa yhdessä uomassa. Hyyteen ja jääpatojen muodostuminen on mahdollista erityisesti Kirjurinluodon ja siltojen kohdalla.

Vaikka Kirjurinluoto ei kuulu osa-alueeseen A, on osa-alue Kirjurinluodon kärjen jääpatotulvan vaikutusalueella. Osa-alueella joki virtaa rännimäisessä, pengerrytyssä uomassa, eikä luontaisia tulvasanteita juuri ole. Asutus ja teollisuus sijaitsevat lähellä uomaa tehden kunnollisen pengerryksen paikoin haastavaksi. Suurtulvatilanteessa tällä alueella syntyvät Porin pahimmat tulvatuhot.

Vakaville tulvatuholle altis on myös alue, joka alkaa Porinsillalta jatkuen Luotsinmäenjuovassa Luotsinmäen puhdistamolle saakka, Huvilajuovassa Lanajuovan alaosaan saakka sekä Raumanjuovassa noin paalulle 70 saakka (alue B kuvassa 3.33, paalukartta esitetty liitteessä 1). Alueen tärkeimmät tulvavahinkokohteet ovat Karjarannan ja Isosannan teollisuus, Pormestarinluodon asuinalue, Luotsinmäen jätevedenpuhdistamo sekä

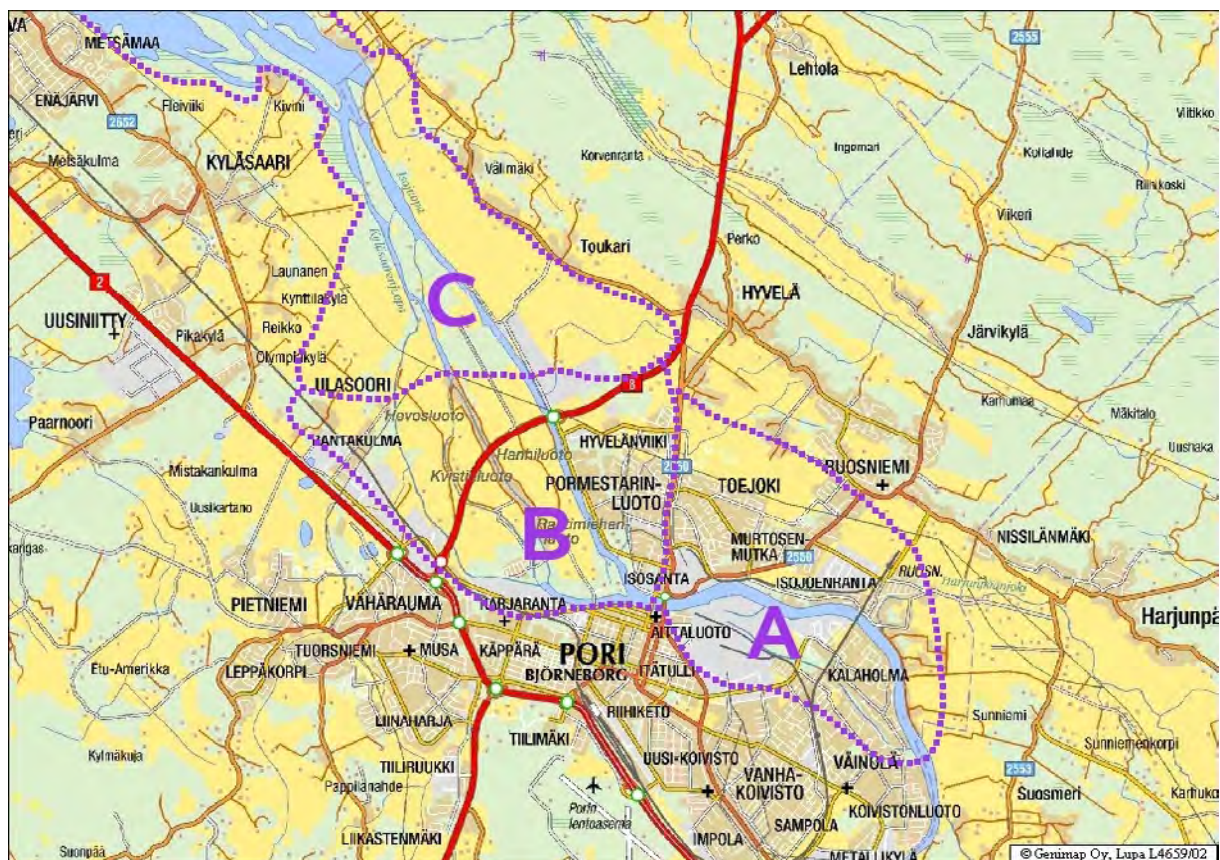
Huvilajuovan läheisyydessä sijaitseva vapaa-ajan asutus ja siirtolapuutarha. Raumanjuovan osalta paaluvälin 50–70 kohdalle vasta suunnitellaan teollisuutta ja asutusta. (Porin kaupunki 2005)

Kokemäenjoen suisto ja luotojen alueen alaosa on kaavoituksessa varattu pääasiassa luonnonsuojelualueeksi ja virkistyskäyttöön. Alue on maatalousvaltaista; siellä ei ole eikä sinne todennäköisesti rakenneta vakaville tulvatuhoille alttiita kohteita. Suurin osa alueen rakennuksista on tulva-alueen ulkopuolella. Alue on tulvasuojelullisesti toissijainen Porin keskustaaajamaan verrattuna. Alue on merkitty kuvaan 3.33 kirjaimella C. Kokemäenjoen suistolle on ominaista sedimentaatio ja maankohoaminen sekä näiden seurauksena jokisuiston eteneminen meren suuntaan, umpeenkasvu ja uusien saarien muodostuminen. Alueella sattuu jonkinasteisia tulvia verraten usein, ja suuremman tulvan sattuessa vesi pääsee leviämään laajalle alueelle ehkäisten vedenpinnan voimakasta nousua.

Eri osa-alueilla on erilainen tulvavahinkopotentiaali. Siksi tulvavedenkorkeuden alenema toisella alueella on tärkeämpää kuin toisella. Tämä on hyötylaskennassa otettu huomioon painottamalla eri osa-alueilla tapahtuvia vedenkorkeuden alene-

mia eri kertoimilla. Harvinaisessa tulvatilanteessa alue A on arvioitu kaikkein herkimmäksi suurille vahingoille, ja sille on annettu kerroin 1,0. Alueelle B on annettu kerroin 0,8 ja alueelle C kerroin 0,1. (taulukko 3.11) Kertoimien lukuarvot perustuvat arvioon tulvatuhojen alueellisesta jakautumisesta erilaisissa jäätyminen ja jäänlähtöpadon aikaisissa tulvatilanteissa.

Alueilla B ja C eri uomissa tapahtuvilla tulvavedenkorkeuden alenemilla on erilaiset vaikutukset syntyviin tulvavahinkoihin. Tämän takia eri uomille on annettu erilaiset painokertoimet siten, että alueella B Luotsinmäenjuopa saa painokertoimen 0,5, ja Huvilajuopa ja Raumanjuopa kumpikin painokertoimen 0,25. (taulukko 3.11) Kertoimien arvot perustuvat arvioihin tulvavahinkojen suuruudesta eri uomien varrella. Mallin säilyttämiseksi riittävän yksinkertaisena osa-alueella C olevia uomia ei ole erikseen painotettu, vaan ainoastaan Luotsinmäenjuovan vedenkorkeuden muutos huomioidaan sen saadessa painoarvon 1,0. Lisäksi eri tulvatilanteiden ja perkausvaihtoehtojen mallinnustuloksia oli usein saatavana vain Luotsinmäenjuovan osalta.



Kuva 3.33. Perkausvaihtoehtojen edullisuusvertailussa käytetyt osa-alueet A–C.

Taulukko 3.11. Edullisuusvertailussa käytetyt painotukset eri osa-alueilla, uomissa ja tulvatilanteissa. 1 on jäätyminen-ikäinen tilanne, 2 on tilanne, jossa jäänlähtöpato on Kirjurinluodon kärjessä, 3 on tilanne, jossa jäänlähtöpato on Linnansillan kohdalla, 4 on tilanne, jossa jäänlähtöpato on rautatiesillan kohdalla, 5 on Luotsinmäenjuopa, 6 on Huvilajuopa, ja 7 on Raumanjuopa. Virtaama kaikissa tilanteissa on, ellei toisin mainita, 600 m³/s.

Alue	Painotus							
	Alue p	Eri tulvatilanteet k _j				Eri uomat K _h		
		1	2	3	4	5	6	7
A	1	0,4	0,3	0,15	0,15			
B	0,8	1				0,5	0,25	0,25
C	0,1	1				1		

Eri tulvatilanteilla on erilaiset vaikutukset vahinkojen syntymiseen, ja lisäksi erilaisten tulvatilanteiden sattumistodennäköisyydet ovat erisuuruisia. Tämä on huomioitu eri tulvatilanteiden erilaisilla painotuksilla. Riskiltään suurimmaksi on arvioitu jäätyminen-ikäinen tilanne, jolle on annettu kerroin 0,4. Jääpatojen aiheuttamien tulvatilanteiden riskejä on painotettu siten, että painokerroin on 0,3 jääpadon ollessa Kirjurinluodon kärjessä ja 0,15 jääpadon ollessa keskustan siltojen (Linnansilta) kohdalla tai rautatiesillan kohdalla. (taulukko 3.11) Eri tulvatilanteiden painokertoimet perustuvat tapahtuneisiin tulviin sekä arvioihin erilaisten tulvatilanteiden riskeistä. Osa-alueilla B ja C hyötylaskenta on tehty vain jäätyminen-ikäisessä tulvatilanteessa, koska jäänlähtöpädat vaikuttavat vain vähän näiden alueiden vedenkorkeuksiin.

Eri perkausvaihtoehtojen vaikutuksista avovedenaikaisiin tulvavedenkorkeuksiin ei ollut saatavana riittävästi mallinnustuloksia. Tämä ei kuitenkaan ole suuri puute, sillä Kokemäenjoen suuret tulvat Porin kohdalla johtuvat etupäässä jäästä. Lisäksi perkaukset vaikuttavat vedenkorkeuksiin avovesitulvissa paljon vähemmän kuin jäätalanteiden tulvissa. Hyötylaskelmissa ei ole otettu huomioon avovedenaikaisia vedenkorkeuden alenemia.

Jokijaksojen pituudet sekä niiden kohtien lukumäärä, joille vedenkorkeus on mallinnettu, vaihtelevat eri osa-alueilla ja eri uomissa. Jotta tämä ei vääristäisi hyötylaskentaa, täytyy kultakin jokijaksolta saatava hyöty jakaa jokijakson poikkileikkausten lukumäärällä n.

Tietyn perkausvaihtoehdon z hyötyluku U osa-alueella A saadaan kaavalla

$$U_{Az} = -p_A \frac{1}{n_A} \sum_{i=1}^{n_A} \sum_{j=1}^4 \Delta W_i k_j \quad (4)$$

missä p_A on osa-alueen A painokerroin, ΔW_i on vedenpinnan muutos kohdassa i, k_j on painokerroin eri tulvatilanteille j, ja n_A on alueella A niiden poikkileikkausten lukumäärä, joille vedenkorkeus on mallinnettu.

Tietyn perkausvaihtoehdon z hyötyluku U osa-alueella B saadaan kaavalla

$$U_{Bz} = -p_B \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{h=5}^7 \Delta W_i K_h \quad (5)$$

missä p_B on osa-alueen B painokerroin, ΔW_i on jäätyminen-ikäisen vedenpinnan muutos kohdassa i, K_h on painokerroin eri uomille, ja n_h on uomassa h niiden poikkileikkausten lukumäärä, joille vedenkorkeus on mallinnettu.

Tietyn perkausvaihtoehdon z hyötyluku U osa-alueella C saadaan kaavalla

$$U_{Cz} = -p_C \frac{1}{n_C} \sum_{i=1}^{n_C} \Delta W_i \quad (6)$$

missä p_C on osa-alueen C painokerroin, ΔW_i on jäätyminen-ikäisen vedenpinnan muutos kohdassa i, ja n_C on alueella C niiden poikkileikkausten lukumäärä, joille vedenkorkeus on mallinnettu.

3.5.2 Edullisuustarkastelu

Kaavoilla (4–6) voidaan laskea kunkin perkausvaihtoehdon hyötyluku kullakin osa-alueella. Summaamalla hyötyluvut eri osa-alueilta saadaan

Taulukko 3.12. Eri perkausvaihtoehtojen arvioidut hyötyluvut ja kustannukset sekä suhteelliset hyödyt.

	Perkausvaihtoehto						Yhd. A	Yhd. B
	Raumanj. yläpää	Huvila-juopa	Kirjuri-Seikku	Kirjuri-Tiimanni	Laiskäränni	Varv.-juopa		
Alue A								
1	120,0	51,3	200**	650**	37,0	1100**	1308,0	681,4
2			829,1	782,8		404,1	1233,2	782,8
3			458,4	507,1		449,1	907,5	507,1
4			0,0	298,8		308,2	308,2	298,8
Alue B, jäätyminen								
5		185,9			120,6		518,8	153,6
6		-139,5					-126,7	-15,1
7		125,6					139,6	-17,5
Alue C, jäätyminen								
5					222,0		158,7	35,7
Hyöty	120*	223	1290/ 1490**	1590/ 2240**	380	1160/ 2260**	4450	2430
Kust. M€	0,7	0,8	1,65	5	3,3	8,5	15	7,2
Suht. Hyöty	171	279	782/ 903**	318/ 448**	115	136/ 266**	297	338

1=Jäätymisen aikainen tilanne, 2=Jääpato Kirjurinluodon kärjessä, 3=Jääpato Linnansillan kohdalla, 4=Jääpato rautatiesillan kohdalla, 5=Luotsinmäenjuopa, 6=Huvilajuopa, 7=Raumanjuopa

*Raumanjuovan yläpään perkauksen hyötyluku on laskettu virtaamalla 500 m³/s ja ainoastaan jäätymisen aikaisessa tilanteessa. Todellisuudessa Raumanjuovan yläpään perkauksen hyötyluku on taulukossa mainittua suurempi eli arviolta 150-200, mikä suurentaa myös suhteellista hyötyä arviolta 30–60 %

**Vaihtoehtojen Kirjurinluoto-Seikku, Kirjurinluoto-Tiimanni sekä Varvourinjuopa hyötyluvut jäätymisen aikaisessa tulvatilanteessa perustuvat arviointiin. Vaihtoehtojen hyötyluvut ja suhteelliset hyödyt on ilmoitettu ilman arviota ja sen kanssa.

perkausvaihtoehdon kokonaishyötyluku. Jakamalla näin saatu hyötyluku vaihtoehdon arvioiduilla kustannuksilla voidaan tarkastella kunkin vaihtoehdon edullisuutta verrattuna toisiin vaihtoehtoihin. Kunkin perkausvaihtoehdon suhteellinen hyöty on esitetty taulukossa 3.12.

Taulukossa 3.12 yhdistelmän A hyötyluvut jäänlähtöpatotilanteissa on laskettu Varvourinjuovan ja Kirjurinluoto-Seikku –perkausten hyötylukujen summana. Yhdistelmän B hyödyt jäänlähtöpatotilanteissa on oletettu samoiksi kuin ruoppauksen Kirjurinluoto-Tiimanni hyödyt vastaavassa tilanteessa. Yhdistelmän B todelliset hyödyt ovat hieman suuremmat kuin taulukossa esitetyt, sillä hyötylaskennassa ei ollut mukana Kirjurinluoto-Seikku –välille suunnitellun syvemmän (N60-5,6 metriä) perkauksen vaikutuksia, mutta toisaalta ei myöskään Raumanjuovan yläpään perkauksen supistamisen vaikutuksia.

Taulukossa 3.12 on ilmoitettu kaksi hyötylukua ja suhteellista hyötyä vaihtoehdoille Kirjurinluoto-Seikku, Kirjurinluoto-Tiimanni sekä Varvourinjuopa. Nämä vaihtoehdot vaikuttavat vedenkorkeuteen myös jäätymisen aikaisessa tulvatilanteessa, mutta niiden vaikutuksia ko. tilanteessa ei ole erikseen mallinnettu. Ensimmäinen luku ilmoittaa vaihtoehdon hyödyn ilman jäätymistilanteen hyötyjä, jälkimmäinen luku hyödyn jäätymistilanteen arvioitujen hyötyjen kanssa. Jäätymistilanteen hyödyt on arvioitu yhdistelmävaihtoehtojen jäätymisen aikaisien hyötyjen perusteella.

Kirjurinluoto-Seikku –perkauksen suhteellinen hyöty osoittautui tarkastelluista vaihtoehdoista selvästi suurimmaksi. Kirjurinluoto-Seikku –perkauksen syvyydeksi suositetaan N60-5,6 metriä. Tämä on selvästi enemmän kuin alkuperäisessä Kirjurinluoto-Tiimanni –perkausvaihtoehdossa (-5,0 metriä), mutta vähemmän kuin alkuperäisessä Kirjurinluoto-Seikku –vaihtoehdossa (-6,0 met-

riä). Perkaussyvyyden lisäys viidestä 5,6 metriin alentaa selvästi tulvavedenkorkeuksia tilanteessa, jossa jäänlähtö- tai hyydepatto on Kirjurinluodon kärjen kohdalla. Toisaalta massamäärä jää selvästi pienemmäksi kuin kuuden metrin syvyisellä perkauksella. Virtausmallinnusta täsmälleen tämän ruoppausyhdistelmän vaikutuksista vedenkorkeuksiin ei ole toistaiseksi saatavilla.

Toisaalta Raumanjuovan yläpään perkaus alkuperäisessä laajuudessaan näyttää olevan ilman Huvilajuovan perkausta melko kannattamaton. (vrt. taulukko 3.12) Raumanjuovan yläpään ruoppausmassat joudutaan todennäköisesti läjittämään melko kauas Hevosluodon läjitysalueelle, mikä lisää vaihtoehdon kustannuksia. Raumanjuovan yläpään ruoppausta suositetaan supistettavaksi hieman alkuperäisestä niin, että pohjan leveydeksi ruopataan 45 metriä tasossa N60-4,5 metriä.

Karvianjuovan perkaus osoittautui virtaamallinnuksen (Huokuna 2006) perusteella kalliimmaksi ja tehottomammaksi kuin sen vaihtoehtona ollut Laiskarännin perkaus. Koska nämä vaihtoehdot ovat muilta, esimerkiksi luonto- tai ympäristövaikutuksiltaan suunnilleen samanveroisia, ei Karvianjuovan perkausvaihtoehdon vaikutuksia arvioitu tarkemmin.

Laiskarännin alkuperäinen perkaus osoittautui hyötylaskelmien valossa suhteellisen kannattamattomaksi. Jos kuitenkin luotojen alueella jääpatojen aiheuttamia tulvavedenkorkeuksia halutaan alentaa, on Laiskarännin perkaaminen tällöin todennäköisesti kannattavin vaihtoehto. Laiskarännin perkaus suositetaan tehtäväksi tasoon N60-4,5 metriä pohjan leveydellä 18 metriä. Lisäksi suositetaan, että Kyläsaarenjuovan mataloitunut alaosa paaluvälillä 7–10 ruopataan tasoon N60-4 metriä pohjan leveydellä 30 metriä. Perkauksen suositeltava linjaus on esitetty kuvissa 3.27 ja 3.28. Perkaus on huomattavasti suppeampi kuin alkuperäinen Laiskarännin perkausvaihtoehto. Perkauksesta on hyötyä erityisesti tilanteissa, joissa jää tukkii Isojuovan tai pääuoman suistossa.

Huvilajuovan perkaus on numeroiden valossa kolmanneksi kannattavin tarkastelluista yksittäisistä perkausvaihtoehdoista, ja toteutettuna yhdessä Raumanjuovan yläpään perkauksen kanssa sen kannattavuus edelleen paranee. Kuitenkin tulvavedenkorkeuksien nousu Huvilajuovassa sekä sedimenttien saastuneisuus huonontavat olennaisesti Huvilajuovan perkauksen kannattavuutta. Huvilajuovan perkaus nostaisi tulvavedenkorkeuksia Huvilajuovan ylä- ja keskiosalla noin 10–20 cm. Tästä aiheutuvan haitan kompensointi Huvilajuovan ranta-asukkaille olisi kallista ja vaikeaa, sillä pengerrysmahdollisuutta Huvilajuovalla ei käytännössä ole. Myöskään alempana tehtävät

ruoppaukset eivät ole tehokkaita kompensointikeinoja. Huvilajuovan vapaa-ajan asutus on eräs Porin tulvaherkkimmistä kiinteistövahinkojen kannalta merkittävistä kohteista. Huvilajuovan pohjasedimenteissä todettiin voimakkaasti kohonneita raskasmetallipitoisuuksia keväällä 2006 tehdyissä sedimenttitutkimuksissa. (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 2006) Ruoppausmassojen saastuneisuus lisää tuntuvasti Huvilajuovan perkauksen kokonaiskustannuksia. Huvilajuovan perkausta ei suositella tehtäväksi.

Tulvasuojeluvaihtoehtona Varvourinjuovan avaaminen ja pengertäminen osottautui niin kannattamattomaksi, että vaihtoehdon toteuttamisen ja sen vaikutusten tarkempi tutkiminen jätettiin tämän työn ulkopuolelle. Sen sijaan päädyttiin suosittamaan joiltakin tulvasuojeluvaihtoehtoiltaan hieman vähäisempää, mutta kustannuksiltaan huomattavasti edullisempää perkausvaihtoehtoa eli ruoppausta välillä Kirjurinluoto–Tiimanni.

Yhdistelmävaihtoehto B on numeroiden valossa hieman kannattavampi kuin alkuperäinen yhdistelmävaihtoehto A vastaavien suhteellisten hyötylukujen ollessa noin 300 ja 340. (vrt. taulukko 3.12) Yhdistelmän A toteuttaminen aiheuttaa Huvilajuovan ylä- ja keskiosalle selvän tulvavedenkorkeuden nousun, ja lisäksi yhdistelmässä A saastuneiden sedimenttien osuus on suurempi, mikä lisää kustannuksia. Näitä seikkoja ei kuitenkaan ole juuri otettu huomioon numeerisessa kannattavuustarkastelussa. Tämän takia yhdistelmän B kannattavuus yhdistelmään A verrattuna on vielä parempi kuin numeerinen tarkastelu indikoi. Yhdistelmävaihtoehto B suositetaan toteutettavaksi kohdassa 3.4.2 kuvatulla tavalla kuitenkin niin, että ensisijaiset perkaukset ovat Porin keskustan kohdalla, ja Laiskarännin perkaus toteutetaan toissijaisena keskustaruoppausten jälkeen. Laiskarännin ruoppauksen toteuttaminen vaatii lisänäytteiden ottamista sedimentistä raskasmetallipitoisuuksien selvittämiseksi.

3.5.3 Mallin herkkyytarkastelu ja virhelähteet

WWL-malli tulvasuojeluvaihtoehtojen, erityisesti ruoppausvaihtoehtojen keskinäisen edullisuuden vertailemiseksi on paljolti yksinkertaistettu, eikä se ota huomioon veden leviämistä osa-alueelta toiselle. Myöskään padotuksen vaikutusta ei ole huomioitu. Padotus saattaa joissakin tulvatilanteissa johtaa alempana olevien osa-alueiden merkityksen korostumiseen. Lisäksi malli ei ota haittana riittävästi huomioon tulvavedenkorkeuden mahdollista nousua. Porin tapauksessa osa-alueita on vain kolme, mikä toisaalta parantaa mallin käytettävyyttä

mutta toisaalta voi johtaa liian karkeisiin yksinkertaistuksiin. Osa-alueiden lukumäärän oikea valinta on mallin käytettävyyden ja tarkkuuden kannalta tärkeää. Mallin suurimmat virhelähteet tulevat kuitenkin eri osa-alueiden ja tulvaskenaarioiden määrittämisessä sekä painokertoimien määrittämisessä niille.

Tulvat Kokemäenjoen alaosalla ovat hyvin monenlaisten syiden summa, ja tulvatilanteet poikkeavat aina jonkin verran toisistaan. Mallissa on huomioitu neljä erilaista tulvatilannetta, eräänlaista pääskenaariota, jotka kaikki johtuvat pääasiassa jäistä tai jäätymisestä. Näiden pääskenaarioiden avulla saa hyvän yleiskuvan Kokemäenjoen alosan tulvista ja ruoppausten vaikutuksista niihin. Avovedenaikaisia tulvatilanteita mallissa ei ole huomioitu, sillä perkaukset vaikuttavat vain vähän niihin, ja lisäksi jäänaikaiset tulvat ovat yleensä vakavampia kuin avovedenaikaiset tulvat.

Mikäli eri alueille, uomille tai tulvatilanteille halutaan antaa erilainen painotus kuin edellä, se tapahtuu helposti muuttamalla kyseisten parametrien (painokertoimien) arvoja. Malli käyttäytyy suhteellisen epäherkästi mutta loogisesti parametreja muutettaessa. Ainoastaan molempien yhdistelmävaihtoehtojen osalta voidaan tehdä suhteellisen kattava herkkyytarkastelu, sillä vain niistä on saatavana melko kattavat virtausmallinnukset eri uomien, tulvatilanteiden ja alueiden osalta. Kun parametrien arvoja muuttaa joitakin kymmeniä prosentteja, ei vaihtoehtoyhdistelmien keskinäisessä edullisuudessa vielä tapahdu olennaista muutosta.

Painotettaessa luotojen ja suiston aluetta eli alueita B ja C paranee yhdistelmävaihtoehdon A kannattavuus, kun taas yhdistelmän B kannattavuus paranee aluetta A painotettaessa. Tämä on loogista, sillä yhdistelmän A vaikutukset kohdistuvat myös suiston ja luotojen alueelle, yhdistelmän B vaikutukset taas pääosin Kirjurinluodolta ylävirtaan. Eri uomien osalta yhdistelmän A kannattavuus parane suhteessa yhdistelmään B, kun Luotsinmäenjuovan tai Raumanjuovan tulvavedenkorkeuksia painotetaan enemmän; Huvilajuovan osalta vaikutus on päinvastainen.

Mikäli jäätymisenäikaiselle tulvavedenkorkeuden alenemalle annetaan lisää painoarvoa, paranee yhdistelmän A kannattavuus hieman yhdistelmään B verrattuna. Näin on myös silloin, kun painoarvoa annetaan lisää Kirjurinluodon tai Linnansillan jääpatotilanteelle. Kun rautatiesillan jääpatotilanteen tai yleensä jääpatotilanteiden painoarvoa lisätään, paranee yhdistelmän B kannattavuus hieman suhteessa yhdistelmään A.

3.6 Hankkeen toteutus ja haittojen minimoiminen

Ruoppaukset, joita tässä työssä tarkastellaan, vaativat vesioikeudellisen luvan hakemista laajuutensa takia ja sen takia, että ne eivät ole pelkkiä aikaisemman luvan edellyttämiä kunnossapitoruoppauksia. Vesioikeudellinen lupa haetaan tarkempien suunnitelmien pohjalta ympäristölupavirastolta. Hankkeen hyödyt arvioidaan huomattavasti haittoja suuremmiksi, joten hanke on toteuttamiskelpoinen. Koska ruoppaukset tapahtuvat osittain Natura 2000 -alueella, täytyy niiden vaikutus Natura-alueen luonnonarvoihin selvittää riittävässä laajuudessa. Joen virtauspoikkileikkauksen pysyessä suunnilleen ennallaan eivät penkereiden kunnostukset vaadi lupaa, sillä kunnostusta edellyttävät aikaisemmat lupaehdotkin. Sen sijaan penkereiden varsinaiset korotukset vaatinevat ainakin maisematyöluvan hakemista.

Ruoppaustyöt tehdään sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjeen (Ympäristöministeriö 2004) mukaisesti. Lisäksi otetaan huomioon vesi- ja ympäristöhallituksen (1991) ohjeet vesirakennustyön haittojen vähentämiseksi. Pengerrysten ja läjitysalueiden hyvään rakenteelliseen ja esteettiseen suunnitteluun sekä maisemointiin kiinnitetään huomiota niin, että ne sopeutuvat ympäristöönsä ja voivat toimia osana virkistysaluetta. Läjitysalueiden kunnollinen toiminta on ratkaisevassa asemassa kiintoaineen, ravinteiden ja ympäristölle vaarallisten aineiden pidättämisessä. Suunnitellut läjitysalueet sijaitsevat kuivalla maalla osittain Porin kaupungin omistamalla alueella. Ruoppausten ajankohta valitaan niin, ettei aiheuteta tarpeetonta haittaa vesistöön liittyvälle virkistyskäytölle, luonnonarvoille tai muulle toiminnalle. Käytännössä suosittelavin ruoppausajankohta on 15.9. ja 30.4. välisenä aikana.

4 Pohdinnat ja johtopäätökset

Tulvariskien arviointi ja hallinnan keinot sekä termistö ovat viime vuosina eläneet ja elävät yhä murroskautta. Varsinkin suomalainen termistö on vielä suhteellisen vakiintumatonta. (vrt. kohta 2.4) Termistö vakiintuneen ajan myötä, mutta asiaan kannattaa silti kiinnittää huomiota. Tulvariskien arvioinnissa ja hallinnan keinoissa on sovellettu viime aikoina yhä enemmän kokonaisvaltaista lähestymistapaa (esim. Brouwer & van Ek 2004) pelkän suppean taloudellisen analyysin sijaan, mikä onkin oikea suunta. Lähestymistapaan kuuluu myös se, että tulvariskit asetetaan samalle tasolle muiden yhteiskunnassa olevien riskien kanssa, ei siis ylempiä eikä alemmiksi. Toisin sanoen tulvariskien hallintakeinojen kannattavuus pitää pysyä perustelemaan. Suomessa tällaiset perustelut ovat toisinaan olleet ohuehkoja, toisaalta esimerkkejä toiseen, tulvariskejä vähätteleväänkin suuntaan erityisesti maankäytön ohjauksessa löytyy. Tämän osoittavat viime aikoina uudemmillekin rakennuksille aiheutuneet tulvavahingot.

Suomessa tarve tulvavahinkojen arvioimisen ja koko tulvariskien hallinnan käytäntöjen yhtenäistämiseksi on ilmeinen. Yhtenäistäminen voi tapahtua esimerkiksi siten, että kansainvälisistä, lähinnä EU:n alueella käytössä olevista arviointikäytännöistä ja EU:n suosituslinjauksista (esim. Messner ym. 2006) koostetaan suomenkielinen ja Suomen oloihin sovellettavissa oleva suosituslinjaus. Tämä auttaa tulvariskien hallinnan parissa työskenteleviä tahoja, kuten alueellisia ympäristökeskuksia, kuntia, ministeriöitä ja Suomen ympäristökeskusta arvioimaan selkeämmin ja tehokkaammin tulviin liittyviä kysymyksiä. Myös lupaviranomaisille yhtenäisemmästä käytännöstä on hyötyä tulvasuojelun ja tulvantorjunnan luvista päätettäessä. Suomen oloihin soveltuvia yhdyskunnan tulvavahinkojen arviointimenetelmiä on onneksi alettu nykyään kehittää esimerkiksi EXTREFLOOD II -tutkimushankkeessa. (ympäristöhallinto 2006b, Turun yliopisto 2006) Selkeä tarve jatkotutkimukselle on yhä tulvasuojelutoimenpiteiden kannat-

tavuusarvioinnissa ja keskinäisessä edullisuustarkastelussa. Euroopassa alkaa olla yleisesti käytössä annual average damage –menetelmä (AAD), jossa otetaan huomioon keskimääräiset vuotuiset odotettavissa olevat vahingot ja niiden pienentämisen kustannukset. Suomessa tämänkaltaiseen hyödynarviointiin tuovat haasteita jääpadot ja hyyde. Lisäksi hankkeet ovat yleensä pieniä, mikä karsii monimutkaisten menetelmien käytön. Tulisi kehittää yksinkertainen, luotettava ja suhteellisen yleispätevä mutta toisaalta riittävän täsmällinen menetelmä tulvasuojelutoimenpiteiden kannattavuuden ja edullisuusvertailun tekemiseksi.

Vesitalousasioiden kokonaisvaltaisempi hallinta, johon nykyisin tähdätään muun muassa tulva-direktiivin ja vesipolitiikan puitedirektiivin kannustamina, voisi tarkoittaa Kokemäenjoen vesistö-alueella esimerkiksi Loimijoen tai Harjunpäänjoen alueella tehtäviä projekteja (esim. kosteikot), joiden päätavoitteena olisi vedenlaadun, vesistön käytettävyyden ja luonnon monimuotoisuuden parantaminen, mutta jotka ottaisivat pieneltä osaltaan huomioon myös tulvasuojelun. Toinen esimerkki voisi olla Kokemäenjoen suisto, jossa tietyn hankkeen avulla voitaisiin parantaa sekä tulvasuojelua että virkistys- ja luontoarvoja. Yhdistetyt tavoitteet voivat auttaa rahoituksen järjestämisessä. Jotta lisäksi saataisiin tietoa laaja-alaisen tulvan vaikutuksista huuhtoumaan ja yleisemmästä merkityksestä ympäristölle ja terveydelle, tulee mahdollisessa tulvatilanteessa mahdollisuuksien mukaan järjestää myös vedenlaatumittauksia jatkotutkimuksia varten (mm. vedenlaatu ja kulkeutunut ainemäärä sekä alueelliset erot).

Timonen ym. (2003) (ks. myös European Commission 2003) kiinnittävät huomiota teollisuuden ympäristövahinkojen mahdollisuuden suurtulvatilanteessa ja suosittavat pelastuslain mukaisten pelastussuunnitelmien tekemistä teollisuuslaitoksille. Teollisuuden varautuminen tulviin olisi otettava paremmin huomioon myös ympäristölupakäsittelyssä (mm. lupaehdot) ja muussakin toimin-

nassa. Tähän ohjaavat osaltaan YMPÄRI-hankkeen suositukset (Wessberg ym. 2006), joissa korostetaan poikkeustilanteiden häiriöpäästöjen merkitystä ja riskien kartoittamisen tärkeyttä teollisuuden toiminnassa. Tämän kannalta olennaista on, että riittävän tarkkaa tietoa tulvariskeistä on saatavana ja että tietoa myös omaksutaan ja käytetään.

Kokemäenjoen alaosalla Porissa kenties akuutein tulvilta suojattava kohde on mahdollisten suurten ympäristövahinkojen ja heikon tulvasuojelutason takia Luotsinmäen jätevedenpuhdistamo. Lisäksi muun muassa Isojoenrannassa on heikkokuntoista, pikaista kunnostamista vaativaa pengertä. (Koskinen 2006) Toisaalta Huvilajuovan vapaa-ajan asutus on merkittävin yksittäinen asutuskohde, jonka tulvasuojelutaso on erittäin heikko. Nykyisellään ainoa keino suojata Huvilajuovan rakennukset tulvilta tehokkaasti olisi rajoittaa tulvaveden pääsyä Huvilajuopaan rakentamalla sen molempiin päihin säädettävät tulvaluukut. Jotta estettäisiin veden leviäminen luotojen kautta, täytyisi lisäksi rakentaa pengeri joko korottamalla Huvilajuopaa kiertävää tietä tai korottamalla ja kunnostamalla nykyisiä, luotoja ympäröiviä penkereitä. Tien korotus olisi maisemallisesti arveluttavaa. Luotoja ympäröivien penkereiden korottaminen taas olisi osittain vastoin nykyisiä vesirakentamisen ja tulvasuojelun periaatteita, joiden mukaan jokiuomaa ei tule kuristaa tiukkarajaiseksi ränniksi. Lisäksi hanke kokonaisuudessaan olisi hyvin kallis toteuttaa.

Realistisin ja kannattavin vaihtoehto koko Porin alueen pitkän tähtäimen tulvasuojeluun on Kokemäenjoen pääuoman ja Luotsinmäenjuovan vetokyvyn turvaaminen, Raumanjuovan vetokyvyn parantaminen sekä olemassa olevien penkereiden kunnostaminen ja korottaminen. Lisäksi kehittyvien sääennusteiden avulla voitaneen edelleen parantaa sääennustelyn tehoa tulvantorjunnassa esimerkiksi hyytien ehkäisyn keinoin. Joissakin kohden joudutaan turvautumaan rakenteiden paikalliseen suojaamiseen. Myös rakenteiden tulvavahinkoherkkyyden vähentämiseen kannattaa kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Ylipäänsä tulee pyrkiä Kokemäenjoen alaosan alueen sellaiseen maankäyttöön, että se sallii esimerkiksi tulvatasanteiden, penkereiden ja tulvasuojelurakenteiden sujuvan integroimisen jokimaisemaan. Käytännössä tämä on useassa paikassa erittäin hankalaa.

Kokemäenjoen suistossa täytyy ruopata myös tulevaisuudessa suiston mataloitua ja edetessä merelle päin. Laajamittaista penkereiden korottamista luotojen ja suiston alueella ei kannata tehdä, vaan alue tulee säilyttää tulvan leviämisalueena. Alueen pitäminen avoimena niin vesialueen kuin rantojenkin osalta on tulvasuojelun kannalta hyödyllistä. Toisaalta se on pääsääntöisesti edullista

myös maisema-, luonto- ja virkistysarvojen kannalta. Niinpä luotojen ja suiston aluetta tulee kehittää monitavoitteisesti kaikki em. arvot huomioiden. Tällöin myös rahoituksen järjestymisen alueen kehittämiseen helpottuu.

Tämän työn osatavoitteena oli kehittää yksinkertainen edullisuustarkastelumenetelmä Kokemäenjoen alaosan eri ruoppausvaihtoehdoille. Nk. WWL-menetelmän (weighted water level) periaatteita voidaan pienin muutoksin soveltaa ja testata myös muihin, erityisesti jokijaksoilla oleviin tulvasuojelukohteisiin. Menetelmä on suhteellisen yksinkertainen ja vähätöinen, ja sillä voidaan arvioida yhteismitallisesti vedenkorkeuden muutosten vaikutuksia eri alueilla ja eri tulvatilanteissa. Toisaalta menetelmä häivyttää tulvasuojelun vaikutuksia numeroiden taakse, ja se on subjektiivinen eri painokertoimien valinnan osalta. Tämän takia tuloksille täytyy tehdä herkkyystarkastelu. Menetelmä toimii osana monikriteerianalyysiä, ikään kuin sen "numeerisena osiona", eikä sillä koskaan voida korvata tulvasuojelun vaikutusten puolista ei-numeerista tarkastelua. On vaikea sanoa, kuinka paljon WWL-menetelmä tuo lisäarvoa "mutu-perusteluihin", mutta ainakin menetelmä voi vahvistaa muodostettua ennakkokäsitystä eri vaihtoehtojen keskinäisestä edullisuudesta, kuten kävi tässä työssä.

Ruoppausvaihtoehtojen edullisuusvertailussa päädyttiin suosittamaan yhdistelmävaihtoehtoa B, joka käsittää pitkän ruoppauksen Kokemäenjoen pääuomassa Porin keskustan kohdalla Kirjurinluodon ja Tiimannin välillä, Raumanjuovan yläpään perkauksen sekä Laiskarännin yläosan ja ns. vanhan oikaisu-uoman perkauksen niin, että ensisijaiset perkaukset ovat Porin keskustan kohdalla. Laiskarännin ja oikaisu-uoman perkaus toteutetaan toissijaisena keskustaruoppauksien jälkeen. Yhdistelmävaihtoehto B muodostettiin pääasiassa Porin tulvat -hankkeessa esiteltujen ruoppausvaihtoehtojen pohjalta.

Porin tulvat -hanke on suurimpia meneillään olevia tulvasuojeluun liittyviä hankkeita Suomessa. Kuitenkin kirjallisuuskatsauksessa esitellyt menetelmät on tarkoitettu pääasiassa vielä suuremmille hankkeille tai sellaisille hankkeille, joissa ei tarvitse huomioida vaikeasti arvioitavia jäädä aiheutuvia tulvia. Olisi mielenkiintoista nähdä menetelmien sovellettavuus Suomen oloihin. Menetelmät voisivat toimia parhaiten suurilla vesistöillä, joilla ei ole suuria hyytö- tai jääpato-ongelmia, esimerkiksi Saimaalla tai rannikkoalueella. AAD-menetelmällä voisi olla käyttöä myös arvioitaessa ilmastomuutoksen vaikutuksia tulvariskeihin.

5 Yhteenveto

Tutkimuksen alussa luotiin kirjallisuuskatsaus eurooppalaisiin tulvariskien arviointi- ja hallintamenetelmiin. Alan menetelmät ja termistö ovat vasta muotoutumassa. Suomessa tarve tulvavahinkojen arvioimisen ja koko tulvariskien hallinnan käytöjen yhtenäistämiseksi on ilmeinen. Selkeä tarve jatkotutkimukselle on tulvasuojelutoimenpiteiden kannattavuusarvioinnissa ja keskinäisessä edullisuustarkastelussa. Euroopassa käyttöön otettu ns. AAD-menetelmä voi olla käyttökelpoinen Suomessakin laajemmilla järviolueilla. Menetelmän huokuttelevuutta vähentää sen työläys; Suomessa tulvasuojeluhankkeet ovat usein niin pieniä, ettei mittavaa kannattavuusarviointia kannata tehdä. Lisäksi Suomessa esiintyvät hyide- ja jääpato-ongelmat haittaavat tulvan todennäköisyyden määrittämistä, mikä vaikeuttaa AAD-menetelmän käyttöä.

Tutkimuksen päätavoitteena oli löytää kustannustehokas tulvasuojeluvaihtoehto Kokemäenjoen alaosalle. Lähinnä keskityttiin ruoppausten vaikutusten ja keskinäisen edullisuuden tarkasteluun. Työ tehtiin Lounais-Suomen ympäristökeskuksessa jatkona Porin tulvat –hankkeelle.

Tutkimuksessa myös kehitettiin menetelmä, jonka avulla voidaan verrata eri tulvasuojeluvaihtoehtojen edullisuutta. Nk. WWL-menetelmä (weighted water level method) perustuu tulvavedenkorkeuden muutoksiin, joita painotetaan eri alueiden ja tulvatilanteiden erisuuruuksilla tulvariskeillä. Menetelmää voidaan pienin muutoksin soveltaa ja testata myös muihin, erityisesti jokijaksoilla oleviin tulvasuojelukohteisiin. Menetelmä on verrattain yksinkertainen, ja sillä voidaan arvioida yhteismittaisesti vedenkorkeuden muutoksia eri alueilla ja tulvatilanteissa. Toisaalta menetelmä häivyttää tulvasuojelun vaikutuksia numeroiden taakse, ja se on subjektiivinen eri painokertoimien valinnan osalta. Tämän takia tuloksille täytyy tehdä herkkyystarkastelu. Menetelmää tulisi aina käyttää osana monipuolista monikriteerianalyysiä.

Tässä työssä WWL-menetelmää sovellettiin Porin tulvat –hankkeessa esitettyihin ruoppausvaihtoehtoihin ja niistä muodostettuihin yhdistelmiin. Monikriteerianalyysin tulosten perusteella päädyttiin suositteluun Kokemäenjoen pääuoman ruoppausta välillä Tiimanni–Kirjurinluoto, Laiskarännin ja ns. oikaisu-uoman ruoppausta välillä Kivini – Pooleen pohjoispuoli sekä Raumanjuovan yläpään ruoppausta. Ruoppauskustannuksiksi arvioitiin reilut seitsemän miljoonaa euroa.

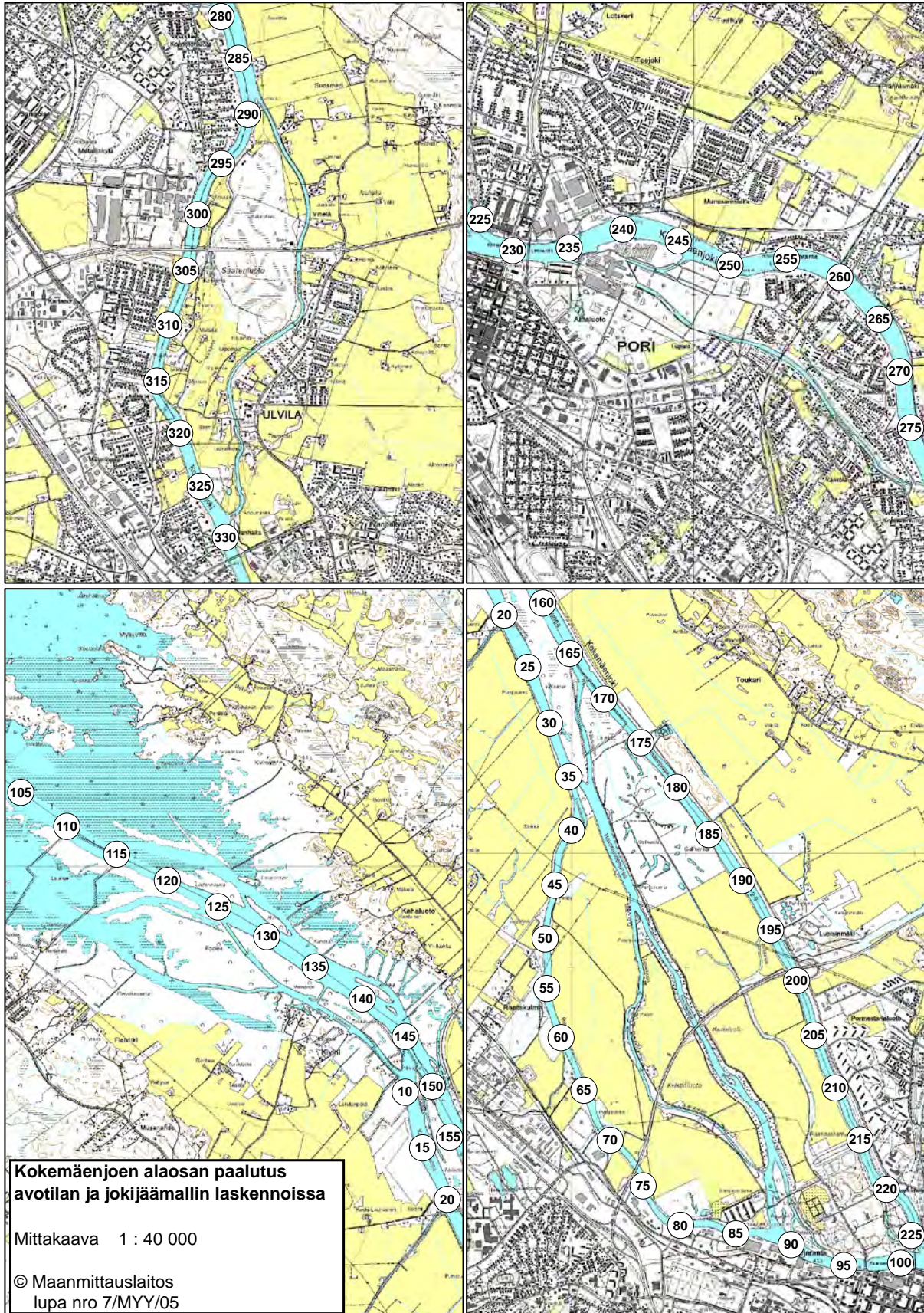
Lähdeluettelo

- 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.
- 284/83. Laki poikkeuksellisten tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta 18.3.1983/284.
- 468/2003. Pelastuslaki 13.6.2003/468.
- 737/1994. Laki ympäristövahinkojen korvaamisesta 19.8.1994/737.
- 93/1995. Asetus poikkeuksellisten tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta 24.1.1995/93.
- Aaltonen, J. 2005. Avotilan virtauslaskennat ja tulvakarttojen laatiminen. Porin tulvat – hankkeen osaselvitys. Porin tulvat, Loppuraportti-CD. Suomen ympäristökeskus 2006.
- Aaltonen, J. 2006. Avotilan virtausmallinnuksen tulokset sekä ruoppausvaihtoehtojen massamääriä Kokemäenjoen alaosalle. Sähköposti 14.6.2006. Suomen ympäristökeskus. <juha.k.aaltonen@ymparisto.fi>
- Ahomäki, A. 2005. Porin aikaisempien tulvatilanteiden selvitys. Porin kaupunki. Porin tulvat –projektin julkaisematon osaraportti.
- Aittoniemi, P. 1993. Vesistön säännöstelyn vaikutukset rantojen virkistyskäyttöön. Tutkimusraportteja IVO-A-01/93. Imatran Voima Oy. Vantaa. 135 s.
- Al-Futaisi, A. & Stedinger, J.R. 1999. Hydrologic and Economic Uncertainties and Flood-Risk Project Design. Journal of Water Resources Planning and Management, November/December 1999, 314–324.
- Brouwer, R. & van Ek, R. 2004. Integrated ecological, economic and social impact assessment of alternative flood control policies in the Netherlands. Ecological Economics 50 (2004) 1–21.
- Brouwer, R. & Kind, J.M. 2005. Cost-benefit analysis and flood control policy in The Netherlands. s. 93–123. Teoksessa Brouwer, R. & Pearce, D. 2005. Cost-Benefit Analysis and Water Resources Management. Edward Elgar Publishing. 432 s.
- Defra. 2003. Revisions to economic appraisal procedures arising from the new HM Treasury “Green Book”. <http://www.defra.gov.uk/environ/fcd/pubs/pagn>
- Dutta, D., Srikantha, H. & Musiakke, K. 2003. A mathematical model for flood loss estimation. Journal of Hydrology 277, 24–49.
- Ekroos, A. Henkilökohtainen sähköposti 15.8.2006. <ari.ekroos@tkk.fi>
- Elsner, W., Otte, C. & Yu, I. 2005. Klimawandel und regionale Wirtschaft. Vermögensschäden und Einkommensverluste durch extreme Klimaereignisse sowie Kosten- Nutzen- Analysen von Schutzmassnahmen. – Am Beispiel der nordwestdeutschen Küstenregion –. Universität Bremen. 179 s.
- Emerton, L. & Bos, E. 2004. Value. Counting ecosystems as an Economic Part of Water Infrastructure. IUCN. Gland, Switzerland & Cambridge, UK. 88 s. <http://www.iucn.org/themes/wani/pub/VALUE.pdf>
- 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. European Environment Agency. Environmental issue report No 21. 76 s. http://reports.eea.europa.eu/Environmental_Issues_No_21/en
- European Commission. 2003. Best practices on flood prevention, protection and mitigation. 29 s. http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/pdf/flooding_bestpractice.pdf
- European Commission. 2006. Vierailtu 19.7.2006. http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/index.htm.
- Euroopan yhteisöjen komissio. 2006. KOM(2006) 15 lopullinen. 18.01.2006. 2006/0005 (COD). Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi tulvien arvioinnista ja hallinnasta SEC (2006) 66. Bryssel. http://europa.eu.int/comm/environment/water/flood_risk/pdf/com_2006_15_fi.pdf
- Gouldby, B & Samuels, P. 2005. Language of Risk – Project definitions. FLOODsite Project Report T32-04-01. 34 s. <http://www.floodsite.net/html/publications.asp>
- Guang-Yan, J. 1987. Problems in statistical treatment of flood series. Journal of Hydrology. No 96. s. 173–184.
- Herta. 2006. Ympäristöhallinnon tietojärjestelmä.
- HM Treasury. 2003. The Green Book. Appraisal and Evaluation in Central Government. London. 114 s. www.hm-treasury.gov.uk
- HM Treasury. 2005. Managing risks to the public: appraisal guidance. London. 58 s. www.hm-treasury.gov.uk
- Huokuna, M. 2006. Selvitys eri toimenpiteiden vaikutuksesta Kokemäenjoen alaosan jäätulviin. Porin tulvat – hankkeen osaselvitys. Porin tulvat, Loppuraportti-CD. Suomen ympäristökeskus 2006.
- HydValikko. 2006. Ympäristöhallinnon hydrologinen tieto- ja tiedonhallintajärjestelmä.
- Häkkilä, K. 1984. Pohjasedimentin ja jokisimpukan raskasmetallipitoisuudet Kokemäenjoessa. Vesihallituksen monistesarja 1984:303. Helsinki. 33 s.
- Häkkilä, K. 1987. Elohoepä Kokemäenjoessa. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 53. Helsinki. 47 s.
- Ihme, R. 1990. Ruoppaus. s. 343–361. Teoksessa Ilmavirta, V (toim.). Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki. 479 s.
- IPCC. 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge. 785 s. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/
- Kaatra, K., Suihkonen, K., Tolvi, T., Välipirtti, K.L., Leinonen, A., Reskola, V-P., Ollila, M., Kujanpää, M., Hurmeranta, U., Gullstén, N., Ijäs, H., Seppänen, R. & Valjakka, K. 2006. Tulvavahinkotyöryhmä. Työryhmämuistio MMM 2006:16. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki. 55 s. <http://www.mmm.fi/fi/index/julkaisut/tyoryhmuistiot.html>
- Kangaspunta, M. 1993. Tulvasuojeluhankkeiden kannattavuuslaskenta. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 434. Helsinki. 70 s.
- Karvonen, T. 2004. Microsoft Excel –tiedosto Gumbelin toistuvuusanalyysin tekemiseksi. Suomen ympäristökeskuksen patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelman (PATU) 2004–05 kurssimateriaali, osa 2, hydrologia.
- Karvonen, T., Vehviläinen, B & Järvinen, E. 2004. Suomen ympäristökeskuksen patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelman (PATU) 2004–05 kurssimateriaali, osa 2, hydrologia.
- Kirkkala, T. 1993. Seikun matalikon ruoppaus – Halssin matalikon liettymien poisto – vaikutusten seuranta. Turun vesi- ja ympäristöpiiri. 19 s.
- Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 1993. Kokemäenjoen ja Porin edustan merialueen yhteistarkkailu. Tarkkailuohjelma. 94 s.

- Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 2006. Kokemäenjoen suosan ruoppaushankkeen sedimenttien laadun esiselvitys. Näytteet otettu 23.3.2006.
- Koskinen, M. (toim.) 2006. Porin tulvat – hallittuja riskejä? Suomen ympäristö 19/2006. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku. 82 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=202895&lan=FI>
- Kotilainen, H. 1988. Raumanjuopan ruoppauksen vesistövaikutuksista. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 56. Helsinki. 29 s.
- Kuusisto, E. 1986. Lumipeite ja jääilmiöt, luku 4. Teoksessa Mustonen, S. (toim.). Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys r.y. Helsinki. 503 s.
- Lavalle, C., Barredo, J.I., De Roo, A., Niemeyer, S., San Miguel-Ayanz, J., Hiederer, R., Genovese, E. & Camia, A. European Commission. 2005. Towards an European integrated map of risk from weather driven events. A contribution to the evaluation of territorial cohesion in Europe. EUR 22116 EN. 40 s. http://moland.jrc.it/documents/EUR_22116_2005_Lavalle_et_al.pdf
- Lekuthai, A. & Vongvisessomjai, S. 2001. Intangible Flood Damage Quantification. Water Resources Management 15, 343–362.
- Lesser, J.A., Dodds, D.E. & Zerbe Jr., R.O. 1997. Environment Economics and Policy. Addison-Wesley. 751 s.
- LfU. 2005. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes. Daucher, H., Straub, H., Katzenberger, B., Karolus, B., Störk, K., Schultz, W., Wald, J. & Göppert, H.G. Ettlingen. 92 s. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/14024>
- Lindfors, I. 2006. Neljännesvuosiyhteenveto Porin kaupungin Luotsinmäen keskuspuhdistamon jätevesitarkkailusta huhti-kesäkuulta 2006. Porin Vesi. 3 s. www.pori.fi/ves/jatevesi/neljannesvuosiraportti.doc
- Loucks, D.P., van Beek, E., Stedinger, J.R., Dijkman, J.P.M. & Villars, M.T. 2005. Water Resources Systems Planning and Management. An Introduction to Methods, Models and Applications. Appendix D: Flood Management. UNESCO. 680 s.
- Lounais-Suomen ympäristökeskus, internet-sivut. Vierailtu 17.8.2006. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=14046&lan=FI>
- Luode Consulting Oy. Kiirikki, M., Lindfors, A. & Huttunen, O. 2003. Pihlavanlahden ja Kokemäenjoen vedenlaatu- ja hienosedimentaatiokartoitus marras-joulukuussa 2003. Luode Consulting Oy 1636922 – 4. Helsinki. Moniste, 17 s.
- Länsi-Suomen vesioikeus. 1983. Päätös N:o 53/1983, diaarinumerot 79/79–76, koskien vesihallituksen hakemusta luvan saamiseksi Porin kaakkososan pengerrykseen.
- Länsi-Suomen vesioikeus. 1984. Päätös Nro 12/1984, diaarinumerot 79060 ja 82268, koskien vesihallituksen hakemusta luvan saamiseksi Kokemäenjoen suosan pengertämiseen ja ruoppaamiseen Porin kaupungissa.
- Länsi-Suomen ympäristölupavirasto. 2004. Lupapäätös Nro 43/2004/1, diaarinumero LSY-2002-Y-338, koskien Porin Veden Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon ympäristölupahakemusta.
- Majuri, H. 2001. Hyödynarviointi vesistöjen kunnostushankkeissa. Väitöskirja. Tampereen teknillisen korkeakoulun julkaisuja 333. Tampere. 192 s.
- Marttunen, M., Kiuru, L.-L. & Hellsten, S. 2000. Pirkanmaan järvisäännöstelyjen kehittäminen – Vedenkorkeuksien analyysiin perustuva arvio Näsijärven, Pyhäjärven, Vanajaveden ja Iso-Kuloveden säännöstelyjen vaikutuksista. Suomen ympäristökeskus, alueelliset ympäristöjulkaisut 179. Helsinki. 54 s.
- Marttunen, M., Nieminen, H., Keto, A., Suomalainen, M., Tarvainen, A., Moilanen, S. & Järvinen, E. 2004. Pirkanmaan keskeisten järvien säännöstelyjen kehittäminen. Yhteenveto ja suositukset. Suomen ympäristö 689. Helsinki. 163 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=91762&lan=fi>
- Merentutkimuslaitos. 2006. Internet-sivut. Vierailtu 23.5.2006. <http://www.fimr.fi/fi/itamerkanta/itamerynyt/vedenkorkeus.html>
- Meriluoto, E. 2001. Kokemäenjoen ja Porin edustan merialueen yhteistarkkailu. Sedimentin metallipitoisuudet Kokemäenjoessa ja Porin edustan merialueella vuonna 2000. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. Julkaisu nro 437. 16 s.
- Messner, F. & Meyer V. 2005. Flood damage, vulnerability, risk perception – challenges for flood damage research. UFZ Discussion Papers 13/2005. University of Leipzig. 24 s. http://www.ufz.de/data/Disk_Papiere_2005-132647.pdf
- Messner, F., Penning-Rowsell, E., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S. & van der Veen, A. 2006. Guidelines for Socio-economic Flood Damage Evaluation. FLOODsite Project Report T9-06-01. 170 s. <http://www.floodsite.net/html/publications.asp>
- Munich Re Group. 2005. Annual Report 2004. München. 212 s. <http://www.munichre.com>
- Munich Re Group. 2006. Annual Report 2005. München. 224 s. <http://www.munichre.com>
- Museovirasto. 1993. Rakennettu kulttuuriympäristö. Valtakunnallisesti merkittävät kulttuurihistorialliset ympäristöt. Museoviraston rakennushistorian osaston julkaisuja 16. Helsinki. 278 s.
- Nedies. Natural and Environmental Disaster Information Exchange System. 2006. Internet-sivut. Vierailtu 27.7.2006. <http://nedies.jrc.it/index.asp?ID=166>
- Ollila, M. 1999 (toim.) Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumariskit ranta-alueille rakennettaessa. Suositus alimmista rakentamiskorkeuksista. Ympäristöopas 52. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 53 s.
- Ollila, M., Virta, H. & Hyvärinen, V. 2000. Suurtulvaselvitys. Arvio mahdollisen suurtulvan aiheuttamista vahingoista Suomessa. Suomen ympäristö 441. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 138 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=137415>
- Oravainen, R. 2006. Raportti Kokemäenjoen suosan sedimenttiselvityksestä 23.3.2006. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y.
- Parsama, M.-T. Henkilökohtainen sähköposti 16.8.2006. <marja-terttu.parsama@ymparisto.fi>
- Peltonen, L., Haanpää, S. & Lehtonen, S. 2006. EXTREFLOOD – Tulvariskien hallinta yhdyskuntasuunnittelussa. Suomen ympäristö 22/2006. Ympäristöministeriö. Helsinki. 56 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=198965&lan=fi>
- Penning-Rowsell, E.C & Chatterton, J.B. 1977. The Benefits of Flood Alleviation: A Manual of Assessment Techniques. Aldershot, UK.
- Penning-Rowsell, E.C., Johnson, C., Tunstall, S., Tapsell, S., Morris, J., Chatterton, J., Coker, A. & Green, C. 2003. The Benefits of flood and coastal defence: techniques and data for 2003. Flood Hazard Research Centre. Middlesex University.
- Piironen, O. 1987. Kokemäenjoen alajuoksun yhteistarkkailu. Haukien elohopeapitoisuudet ja sedimentin raskasmetallipitoisuudet Kokemäenjoessa ja Pihlavanlahdella 1985. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y., julkaisu 196. 25 s.
- Pirkanmaan ympäristökeskus. 2004. Analyysitulokset Kokemäenjoen suistosta 19.8.2004 otetuista sedimenttinäytteistä.

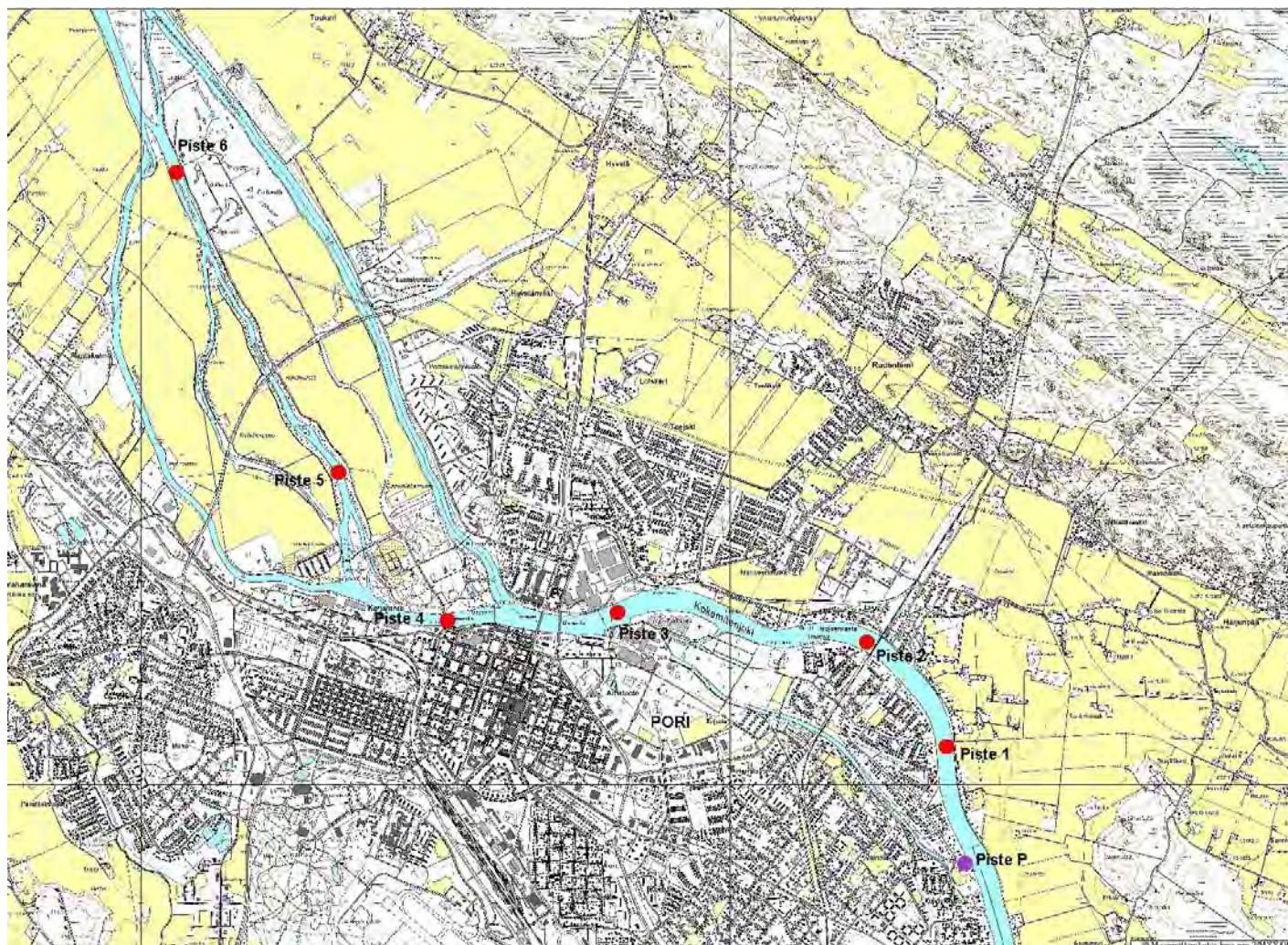
- Porin kaupunki. 2005. Pori. Kantakaupungin yleiskaava 2025. Luonnos 17.11.2005. Mäkelä, O. & Salminen H. Porin kaupungin kaavoitusosasto. 27 s. http://www.pori.fi/kan/kan1/kantakaupunki/se_kantapori1.pdf
- Porin kaupunki. 2006. Internet-sivut. Vierailtu 17.8.2006. <http://www.pori.fi/>
- Porin Vesi. 2006. Toimintakertomus 2005. 28 s. <http://www.pori.fi/ves/lyhyesti/Vuosikertomus2005.pdf>
- Ramsbottom, D. 2003. Guide to the Management of Floodplains to Reduce Flood Risks. Stage 1: Development Draft. R&D Technical Report FD2010/TR. Defra. Environment Agency. London. 74 s. http://www.defra.gov.uk/science/project_data/DocumentLibrary/FD2010/FD2010_1807_TRP.pdf
- Rantala, A. 1992. Maa- ja metsätalous. Luku 25, s. 497–512. Teoksessa Äijö, H., Siivola, L. & Vakkilainen, P. (toim.) 1992. Hyödyn ja vahingon arviointi vesitaloudessa. Espoo. 560 s.
- Raunio, A. 1992. Ympäristötietoa Kokemäenjoesta. Satakunnan luonnonsuojelupiiri ry. Satakuntaliitto. Sarja A 189. Pori. 165 s.
- Salminen, P. 2005. Porin tulvasuojelurakenteiden ja tehtyjen ruoppausten tila 2005. Porin kaupunki. Porin tulvat –hankkeen julkaisematon osaraportti.
- Salonen, K. 2006. Keskustelu 14.9.2006 Porin tulvat –ohjausryhmän kokouksessa. Turku.
- Smith, K. & Ward, R. 1998. Floods – Physical Processes and Human Impacts. Chichester, 394 s.
- Thurston, N., Finlison, B., Spaliverio, F., Glynn, J., Finan, A., Chatterton, J., Sayers, P. & Ashton, H. 2005. Making Communities Sustainable. Managing flood risks in the Government's growth areas. Final Technical Report (Vol. 2). Chapter 7. Assessing current and future flood losses across the Growth Areas. Entec. Association of British Insurers. http://www.abi.org.uk/display/File/Child/554/Managing_Flood_Risks_Vol2_Chapter7_Chapter8partA.pdf
- Tilastokeskus. 2006a. Elinkustannusindeksi 1951:10=100. Vierailtu 29.8.2006 <http://www.stat.fi/til/eki/index.html>
- Tilastokeskus. 2006b. Väestöennuste 2004 kunnittain ja maakunnittain vuoteen 2040. Vierailtu 16.8.2006. https://www.tilastokeskus.fi/til/vaenn/2004/vaenn_2004_2004-09-20_tau_002.html
- 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. Helsinki. 96 s. http://www.mmm.fi/fi/index/julkaisut/tyoryhmamuistiot/aikaisemmat_muistiot.html
- Triipponen, J.-P. 2005. Raportti tulvatilanteesta Kokemäenjoen vesistöissä talvella 2004/2005. Julkaisematon. 5 s.
- Tunstall, S.M., Johnson, C.L. & Penning-Rowsell, E.C. 2004. Flood Hazard Management in England and Wales: From Land Drainage to Flood Risk Management. World Congress on Natural Disaster Mitigation, 19–21 February 2004. http://www.fhrc.mdx.ac.uk/resources/docs_pdfs/India%20paper%20final%20version.pdf
- Tuomenvirta H., Uusitalo K., Vehviläinen B. & Carter T. 2000. Ilmastonmuutos, mitoitussadanta ja patoturvallisuus: arvio sadan ja sen ääriarvojen sekä lämpötilan muutoksista Suomessa vuoteen 2100. Ilmatieteen laitos, raportteja N:o 2000:4.
- Turun yliopisto. 2006. EXTREFLOOD II –tutkimushankkeen internet-sivut. Vierailtu 21.11.2006. <http://extreflood.utu.fi/>
- USACE. U.S. Army Corps of Engineers. 1996. Engineering and Design – Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction Studies. Engineering Manual Nr 1110-2-1619 <http://www.usace.army.mil/usace-docs/eng-manuals/em1110-2-1619/entire.pdf>
- Vaasan hallinto-oikeus. 2006. Päätös nro 06/0118/3, diaarinumero 01640/04/5110, koskien Luotsinmäen puhdistamon ympäristölupaa. 30 s.
- Vahti. 2006. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmä. Ympäristöhallinto.
- Vainio, M., (toim.) 1999. Kokemäenjoen vesistön tulvatorjunnan toimintasuunnitelma. Alueelliset ympäristöjulkaisut 132. Pirkanmaan ympäristökeskus. Tampere. 83 s.
- Vehviläinen, B. & Huttunen M. 2001. Hydrological forecasting and real time monitoring in Finland: the watershed simulation and forecasting system (WSFS). 27 s. Vesistömallijärjestelmä, ympäristöhallinnon sisäinen käyttöliittymä.
- Veijalainen, N. 2004. Suuret tulvat – Arvioimisen menetelmät ja ilmastonmuutoksen vaikutukset. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo. 116 s.
- Veijalainen, N. 2005. Porin tulvat, ilmastonmuutos. Julkaisematon osaraportti EXTREFLOOD-projektissa.
- Vesi- ja ympäristöhallitus 1991. Vesirakennustyön haittojen vähentäminen. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja –sarja B 4. Helsinki. 28 s.
- Wessberg, N., Seppälä, J., Molarius, R., Koskela, S., Pennanen, J., Silvo, K. & Kekoni, P. 2006. Häiriöpäästöjen ympäristöriskianalyysi. YMPÄRI-hankkeen suositukset. Suomen ympäristö 2/2006. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 63 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=178349&lan=fi>
- Wurbs, A. R. & James, P.W. 2002. Water resources engineering. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA. 828 s.
- Ympäristöhallinto. 2006a. Pintavesien vedenlaatukartta 2000–2003. Alueelliset ympäristökeskukset & Suomen ympäristökeskus. Vierailtu 12.11.2006 <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=7543&lan=fi#a1>
- Ympäristöhallinto. 2006b. EXTREFLOOD II –tutkimushankkeen internet-sivut. Vierailtu 21.11.2006 <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=192113&lan=fi>
- Ympäristöministeriö. 2004. Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje. Ympäristöopas 117. Helsinki. 121 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=107762&lan=fi>
- Yue, S., Ouarda, T.B.M.J., Bobée, B., Legendre, P. & Bruneau, P. 1999. The Gumbel mixed model for flood frequency analysis. Journal of Hydrology 226, 88–100.

Kokemäenjoen alaosan paalutus (Juha Aaltonen, Suomen ympäristökeskus 2005)

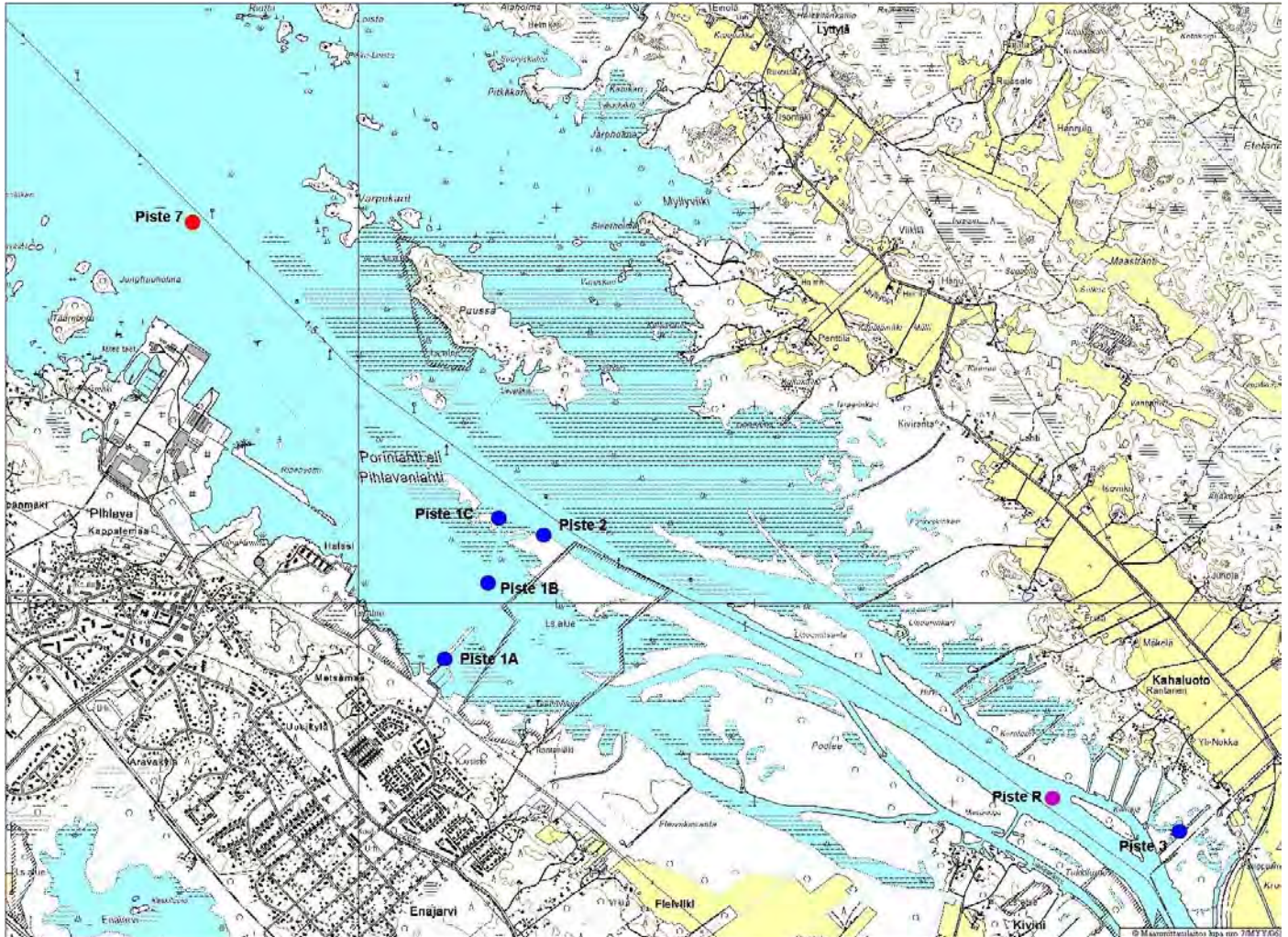


Kartassa ilmoitettu alkuperäinen mittakaava, kuva pienennetty.

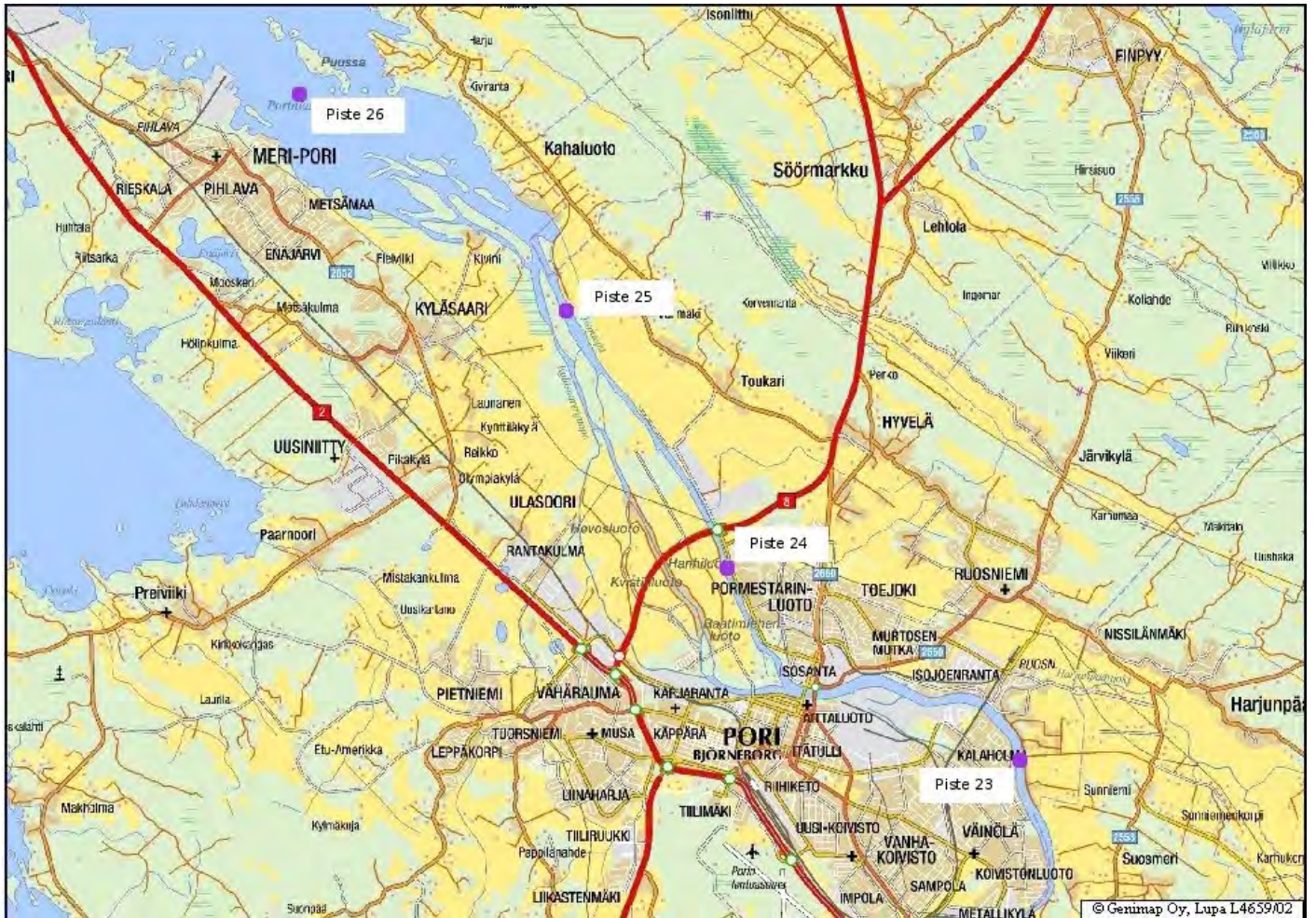
**Sedimenttien näytteenottopisteet 1–6 Kokemäenjoessa Porin kohdalla
keväällä 2006 (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y.
2006) sekä näytteenottopiste P vuonna 2000. (Meriluoto 2001)**



Kokemäenjoki-LIFE –hankkeen sedimenttien näytteenottopisteet 1A–3 vuonna 2004 (Pirkanmaan ympäristökeskus 2004), Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y:n tarkkailuohjelmaan kuuluva sedimentin näytteenottopiste R (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 1993) sekä näytteenottopiste 7 keväällä 2006. (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 2006)



Loppukesällä 1980 otettujen sedimenttinäytepisteiden 23–26 likimääräiset sijainnit (Häkkiä 1984)



Ruoppausmassojen laatukriteerit normalisoiduille (korjatuille) pitoisuuksille koskien arseenia ja eräitä metalleja.

Metallit ja arseeni	taso 1 mg/kg kuiva-ainetta	taso 2 mg/kg kuiva-ainetta
• elohopea (Hg)	0.1	1.0
• kadmium (Cd)	0.5	2.5
• kromi (Cr)	65	270
• kupari (Cu)	50	90
• lyijy (Pb)	40	200
• nikkeli (Ni)	45	60
• sinkki (Zn)	170	500
• arseeni (As)	15	60

Tason 2 ylittyessä ruoppausmassa luokitellaan pääsääntöisesti mereen läjityskelvottomaksi. Pitoisuuden ollessa tasojen 1 ja 2 välillä on ruoppausmassojen haitallisuus ja mereen läjityskelpoisuus selvitettävä tapauskohtaisesti. (Ympäristöministeriö 2004)

**Sedimenttien normalisoidut metalli- ja arseenipitoisuudet Kokemäenjoen
suosalla 23.3.2006
(Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. 2006 & Oravainen 2006)**

Näytteenottopiste	syvyys cm	kuiva-aine g/kg	org.aine %	Zn mg/kg ka	Cr mg/kg ka	Hg mg/kg ka	As mg/kg ka	Cu mg/kg ka	Cd mg/kg ka	Pb mg/kg ka	Ni mg/kg ka
Piste 1	0-5	634	3,3	104	47	<0,1	7,3	26	0,1	10,4	33
Piste 1	5-20	597	4,0	105	48	<0,1	7,1	27	0,1	11,1	34
Piste 1	20-40	612	3,9	108	49	<0,1	4,5	27	0,1	12,2	32
Piste 2	0-5	578	4,7	102	41	<0,1	7,7	26	0,1	9,7	31
Piste 2	5-20	612	3,7	101	42	<0,1	5,5	25	0,1	9,4	32
Piste 2	20-40	608	4,3	91	40	<0,1	5,3	23	0,1	10,2	28
Piste 3	0-5	552	5,1	104	50	<0,1	7,3	27	0,1	10,0	32
Piste 3	5-20	566	5,2	108	45	<0,1	6,8	32	0,1	12,0	34
Piste 3	20-30	599	4,2	105	42	<0,1	6,4	28	0,1	10,5	34
Piste 4	0-5	721	1,1	100	26	<0,1	3,8	46	0,4	10,6	32
Piste 4	5-20	638	2,9	132	39	<0,1	9,4	48	0,5	23,7	31
Piste 4	30-50	509	6,7	115	50	<0,1	6,1	30	0,2	11,4	36
Piste 5	0-5	676	2,4	152	50	0,2	5,6	55	0,9	14,7	43
Piste 5	5-20	613	3,6	115	50	<0,1	6,4	27	0,3	10,7	39
Piste 5	20-50	582	4,5	121	61	<0,1	8,1	27	0,2	10,7	40
Piste 6	0-5	623	2,5	180	118	0,5	9,1	93	1,8	22,5	41
Piste 6	5-20	732	1,9	193	73	0,9	5,4	100	2,7	48,9	24
Piste 6	20-50	625	2,8	106	63	<0,1	5,4	23	0,1	10,6	33
Piste 6	50-70	630	2,9	110	63	<0,1	5,6	24	0,3	10,9	37
Piste 7	0-5	799	5,3	145	21	<0,1	5,9	14	0,7	11,4	42
Piste 7	5-20	717	0,7	96	13	0,2	3,9	14	0,2	7,7	28
Piste 7	20-50	659	1,9	140	32	0,1	4,2	49	0,5	12,9	35
Piste 7	50-60	710	2,6	345	134	1,3	8,8	202	7,5	107,7	37

Solut merkitty keltaisella ruoppausmassojen laatuksiteerien (Ympäristöministeriö 2004) tason 1 ylittyessä ja oranssilla tason 2 ylittyessä.

**Sedimentin normalisoimattomat metalli- ja arseenipitoisuudet
Kokemäenjoen suistossa elokuussa 2004. (Pirkanmaan ympäristökeskus 2004)**

Piste	syvyys cm	As mg/kg ka	Cd mg/kg ka	Cr mg/kg ka	Cu mg/kg ka	Pb mg/kg ka	Ni mg/kg ka	Zn mg/kg ka	Hg mg/kg ka
1A, p. päältä	30–50	3,4	0,45	23	18	9,2	17	56	0,14
1A, p.reuna	60–75	4,0	0,43	25	16	8,0	17	54	0,07
1A, p.reuna	100–120	3,7	0,17	22	13	6,5	14	35	0,03
1B	0–50	3,9	0,46	30	29	13	16	56	0,18
1B	50–100	5,8	1,5	12	53	28	24	110	0,52
1B	100–150	4,9	0,22	39	17	11	20	71	0,07
1C, p. päästä, W	0–50	5,5	2,1	81	84	57	25	110	0,96
1C, p. päältä	20–40	6,8	0,36	67	41	20	17	54	0,22
1C, p. päältä	80–100	7,1	0,65	47	35	20	22	79	0,26
2	0–40	4,9	0,13	38	13	9,6	20	69	0,02
3	10–30	4,7	0,07	29	16	9,4	13	39	0,12
3	50–100	6,5	0,22	44	19	11	26	86	0,02
3	100–150	5,9	0,26	47	22	12	28	85	0,09
3	150–200	5,1	0,12	39	17	9,4	22	66	0,02

p. = penkka, W = vedenpinnan taso

**Pintasedimentin (0–2 cm) metallipitoisuuksia Kokemäenjoen
alaosalla 22.11.2000. (Meriluoto 2001)**

Normalisoimattomat pitoisuudet							
Piste	kuiva- aine %	Cr mg/kg ka	Hg mg/kg ka	Cu mg/kg ka	Cd mg/kg ka	Pb mg/kg ka	Ni mg/kg ka
P	36	27	0,19	110	1,1	15	47
R	44	20	0,10	26	0,64	10	22

Normalisoidut pitoisuudet							
Piste	kuiva- aine %	Cr mg/kg ka	Hg mg/kg ka	Cu mg/kg ka	Cd mg/kg ka	Pb mg/kg ka	Ni mg/kg ka
P	36	35	0,23	160	1,5	19	72
R	44	29	0,13	42	1,0	14	39

Normalisoinnissa käytetyt oletukset: Piste P: savi 13 %, orgaaninen aines 4 %; Piste R: savi 10 %, orgaaninen aines 2,5 %. Oletukset perustuvat pääosin Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y:n (2006) ilmoittamiin arvoihin. Solut merkitty keltaisella ruoppausmassojen laatuksien (Ympäristöministeriö 2004) tason 1 ylittyessä, ja oranssilla tason 2 ylittyessä.

Pintasedimentin (0–2 cm) metallipitoisuuksia Kokemäenjoen alaosalla 1985 (Piironen 1987)

Normalisoimattomat pitoisuudet						
Piste	Cr mg/kg ka	Hg mg/kg ka	Cu mg/kg ka	Cd mg/kg ka	Pb mg/kg ka	Ni mg/kg ka
P	27	0,23	54	0,9	26	23
R	8	3,50	34	0,5	22	13

Normalisoidut pitoisuudet						
Piste	Cr mg/kg ka	Hg mg/kg ka	Cu mg/kg ka	Cd mg/kg ka	Pb mg/kg ka	Ni mg/kg ka
P	35	0,28	77	1,2	33	35
R	11	4,40	54	0,8	30	23

Normalisoinnissa käytetyt oletukset: Piste P: savi 13 %, orgaaninen aines 4 %; Piste R: savi 10 %, orgaaninen aines 2,5 %. Oletukset perustuvat pääosin Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y:n (2006) ilmoittamiin arvoihin. Solut merkitty keltaisella ruoppausmassojen laatukriteerien (Ympäristöministeriö 2004) tason 1 ylittyessä, ja oranssilla tason 2 ylittyessä.

Pintasedimentin (0–2 cm) metallipitoisuuksia Kokemäenjoen alaosalla loppukesällä vuonna 1980. (Häkkinen 1984)

Normalisoimattomat pitoisuudet								
Piste	kuiva- aine %	hehkutus- häviö %	Zn mg/kg ka	Cr mg/kg ka	Hg mg/kg ka	Cu mg/kg ka	Pb mg/kg ka	Ni mg/kg ka
23	57	3	167	91	1,3	124	21	21
24	40	4	167	70	1,2	63	22	27
25	38	5	217	148	1,1	103	25	32
26	54	3	132	78	0,77	59	15	21

Normalisoidut pitoisuudet								
Piste	kuiva- aine %	hehkutus- häviö %	Zn mg/kg ka	Cr mg/kg ka	Hg mg/kg ka	Cu mg/kg ka	Pb mg/kg ka	Ni mg/kg ka
23	57	3	250	120	1,6	180	27	32
24	40	4	250	95	1,5	92	28	43
25	38	5	350	210	1,4	150	33	56
26	54	3	240	120	1,0	100	21	43

Normalisoinnissa on käytetty seuraavia oletuksia: Piste 23: savi 13 %, Piste 24: savi 12 %; Piste 25: savi 10 %; Piste 26: savi 7 %. Oletukset perustuvat pääosin Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y:n (2006) ilmoittamiin arvoihin. Solut merkitty keltaisella ruoppausmassojen laatuksiteerien (Ympäristöministeriö 2004) tason 1 ylittyessä, ja oranssilla tason 2 ylittyessä.

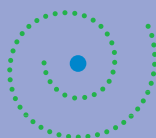
KUVAILEHTI

Julkaisija	Lounais-Suomen ympäristökeskus			Julkaisu-aika Toukokuu 2007
Tekijä(t)	Teppo Linjama			
Julkaisun nimi	Tulvasuojeluvaihtoehtojen edullisuusvertailu - esimerkkitapauksena Pori (En förmånlighetsjämförelse av alternativa översvämningsskydd - exempelfallet Björneborg)			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Lounais-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 5/2007			
Julkaisun teema				
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut				
Tiivistelmä	<p>Porin kaupunki Kokemäenjoen alaosalla on Suomen merkittävimpiä yksittäisiä tulvariskikohteita. Tämän tutkimuksen tavoitteena on löytää Kokemäenjoen alaosalle kustannustehokas tulvasuojeluratkaisu erityisesti Porin tulvat –hankkeen selvitysten pohjalta. Lähinnä keskitytään eri ruoppausvaihtoehtoihin. Monikriteerianalyyssillä saatujen tulosten perusteella esitetään Kokemäenjoen pääuoman ruoppausta välillä Tiimanni–Kirjurinluoto sekä Raumanjuovan yläpään ja Laiskarännin ylä- ja keskiosan ruoppausta.</p> <p>Tutkimuksessa pyritään kehittämään menetelmä, jonka avulla voidaan vertailla tulvasuojeluvaihtoehtojen keskinäistä edullisuutta. Menetelmän tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen mutta samalla riittävän informatiivinen. Nk. WWL-menetelmä (weighted water level) perustuu tulvasuojelutoimista aiheutuvien tulvavedenkorkeuden muutosten painottamiseen tulvariskin alueellisella jakautumisella ja erityyppisten tulvatilanteiden aiheuttamilla riskeillä.</p> <p>WWL-menetelmä auttaa muodostamaan nopean ja konkreettisen käsityksen tulvasuojeluvaihtoehtojen vaikutuksista. Menetelmä on kuitenkin painokertoimien määrittämisen osalta varsin subjektiivinen. Tämän vuoksi menetelmän avulla saaduille tuloksille on tärkeää tehdä herkkyystarkastelu, jonka avulla voidaan arvioida mallin loogisuutta sekä herkkyyttä painokertoimien muutoksille. Eri alueiden ja tulvatilanteiden sekä niiden painokertoimien valinnat peittävät aina osan sellaisista vaikutuksista, joita tulisi tarkastella erikseen. Tämän takia WWL-menetelmää tulee käyttää osana laajempaa monikriteerianalyyssiä.</p> <p>Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan nykyeurooppalaista tulvariskien hallintaa. Tulvariskien hallinnan menetelmät ja alan suomalainen termistö ovat vasta muotoutumassa. Painopiste on siirtynyt maatalouden tulvasuojelusta kokonaisvaltaiseen, yhteiskunnan tulvariskien hallintaan. Suomessa olisi tarpeen yhtenäistää tulvariskien hallinnan käytäntöjä esimerkiksi tulvariskin arvioinnin ja tulvasuojelutoimien kannattavuusarvioinnin osalta.</p>			
Asiasanat	tulva, tulvariski, tulvariskien hallinta, tulvasuojelu, ruoppaus, Pori, Kokemäenjoki, edullisuusvertailu, monikriteerianalyysi			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Lounais-Suomen ympäristökeskus			
	ISBN (nid.) 978-952-11-2675-8	ISBN (PDF) 978-952-11-2676-5	ISSN (pain.) 1796-1750	ISSN (verkkoj.) 1796-1769
	Sivuja 89	Kieli suomi	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta (sis.alv 8 %) -
Julkaisun myynti/ jakaja	Lounais-Suomen ympäristökeskus, PL 47, 20801 Turku, puh. (02) 525 3500			
Julkaisun kustantaja	Lounais-Suomen ympäristökeskus			
Painopaikka ja -aika	Karhukopio Oy, Turku 2007			

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Sydvästra Finlands miljöcentral			Datum Maj 2007
Författare	Teppo Linjama			
Publikationens titel	Tulvasuojeluvaihtoehtojen edullisuusvertailu - esimerkitapauksena Pori (En förmånlighetsjämförelse av alternativa översvämningsskydd - exempel-fallet Björneborg)			
Publikationsserie och nummer	Sydvästra Finlands rapporter 5/2007			
Publikationens tema				
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt				
Sammandrag	<p>Staden Björneborg vid nedre loppet av Kumo älv är ett av de mest betydande enskilda riskobjekten för översvämningar i Finland. Målet för denna undersökning är att för nedre loppet av Kumo älv finna en kostnadseffektiv lösning för översvämningsskyddet särskilt på basis av utredningarna inom projektet Porin tulvat (Björneborgs översvämningar). Främst koncentrerar man sig på olika muddringsalternativ. Utifrån de resultat som erhållits genom flerkriterieanalyser föreslås en muddring av huvudfåran för Kumo älv på avsnittet Tiimanni-Kirjurinluoto och en muddring av övre ändan av Raumanjuova och den övre och mellersta delen av Laiskaränni.</p> <p>Vid undersökningen strävar man efter att utveckla en metod, med vars hjälp det går att jämföra hur förmånliga de olika alternativen för översvämningsskyddet inbördes är. Den s.k. WWL-metoden (weighted water level) grundar sig på en betoning av förändringarna i översvämningssvattenståndet, vilka orsakas av åtgärderna för översvämningsskyddet genom en regional fördelning och risker som vållas av översvämningssituationer av olika typ.</p> <p>WWL-metoden bidrar till att en snabb och konkret uppfattning om verkningarna av alternativen för översvämningsskyddet kan bildas. Metoden är dock rätt subjektiv med hänsyn till hur koefficienterna för dess vikt fastställs. På grund härav är det viktigt att för de resultat som erhållits med hjälp av metoden utföra en känslighetskontroll, med vars hjälp man kan bedöma hur logisk modellen är och känsligheten för ändringarna av vikt-koefficienterna. Valet av olika områden och översvämningssituationer samt deras vikt-koefficienter täcker alltid en del av sådana effekter som borde granskas skilt för sig. På grund härav skall WWL-metoden användas som en del av en mer omfattande flerkriterieanalys.</p> <p>I litteraturöversikten för undersökningen granskas hanteringen av översvämningssriskerna i Europa av i dag. Metoderna för en hantering av översvämningssriskerna och den finländska terminologin på området håller först på att utformas. Tyngdpunkten har överflyttats från ett översvämningsskydd för lantbruket till en övergripande hantering av översvämningssriskerna i samhället. I Finland vore det nödvändigt att förenhetliga praxis för hanteringen av översvämningssriskerna till exempel med hänsyn till bedömningen av översvämningssrisk och bedömningen av lönsamheten för åtgärderna för översvämningsskydd.</p>			
Nyckelord	översvämning, översvämningssrisk, hantering av översvämningssrisker, översvämningsskydd, muddring, Björneborg Kumo älv, förmånlighetsjämförelse, flerkriterieanalys			
Finansiär/ uppdragsgivare	Sydvästra Finlands miljöcentral			
	ISBN (hft.) 978-952-11-2675-8	ISBN (PDF) 978-952-11-2676-5	ISSN (print) 1796-1750	ISSN (online) 1796-1769
	Sidantal 89	Språk finska	Offentlighet offentlig	Pris (inneh. moms 8 %) -
Beställningar/ distribution	Sydvästra Finlands miljöcentral, PB 47, 20801 Åbo, tel. (02)525 3500			
Förläggare	Sydvästra Finlands miljöcentral			
Tryckeri/tryckningsort och -år	Karhukopio Oy, Åbo 2007			

Kokemäenjoen alaosalla sijaitseva Porin kaupunki on maamme merkittävimpiä yksittäisiä tulvariskikohteita. Alueella on käynnistynyt mittava tulvasuojeluhanke. Raportissa etsitään Porin tulvat –hankkeen selvitysten pohjalta Kokemäenjoen alaosalle soveltuva, kaikilta vaikutuksiltaan mahdollisimman kustannustehokas ruoppausvaihtoehto. Lisäksi raportin alkuosassa luodaan katsaus nykyeurooppalaisiin tulvariskien hallintamenetelmiin, joista osa on pienin muutoksin sovellettavissa Suomenkin oloihin.



**LOUNAIS-SUOMEN
YMPÄRISTÖKESKUS**
SYDVÄSTRA FINLANDS
MILJÖCENTRAL

ISBN 978-952-11-2675-8 (nid.)

ISBN 978-952-11-2676-5 (PDF)

ISSN 1796-1750 (pain.)

ISSN 1796-1769 (verkkoj.)