

Hämeen ELY-keskus

29.07.2011

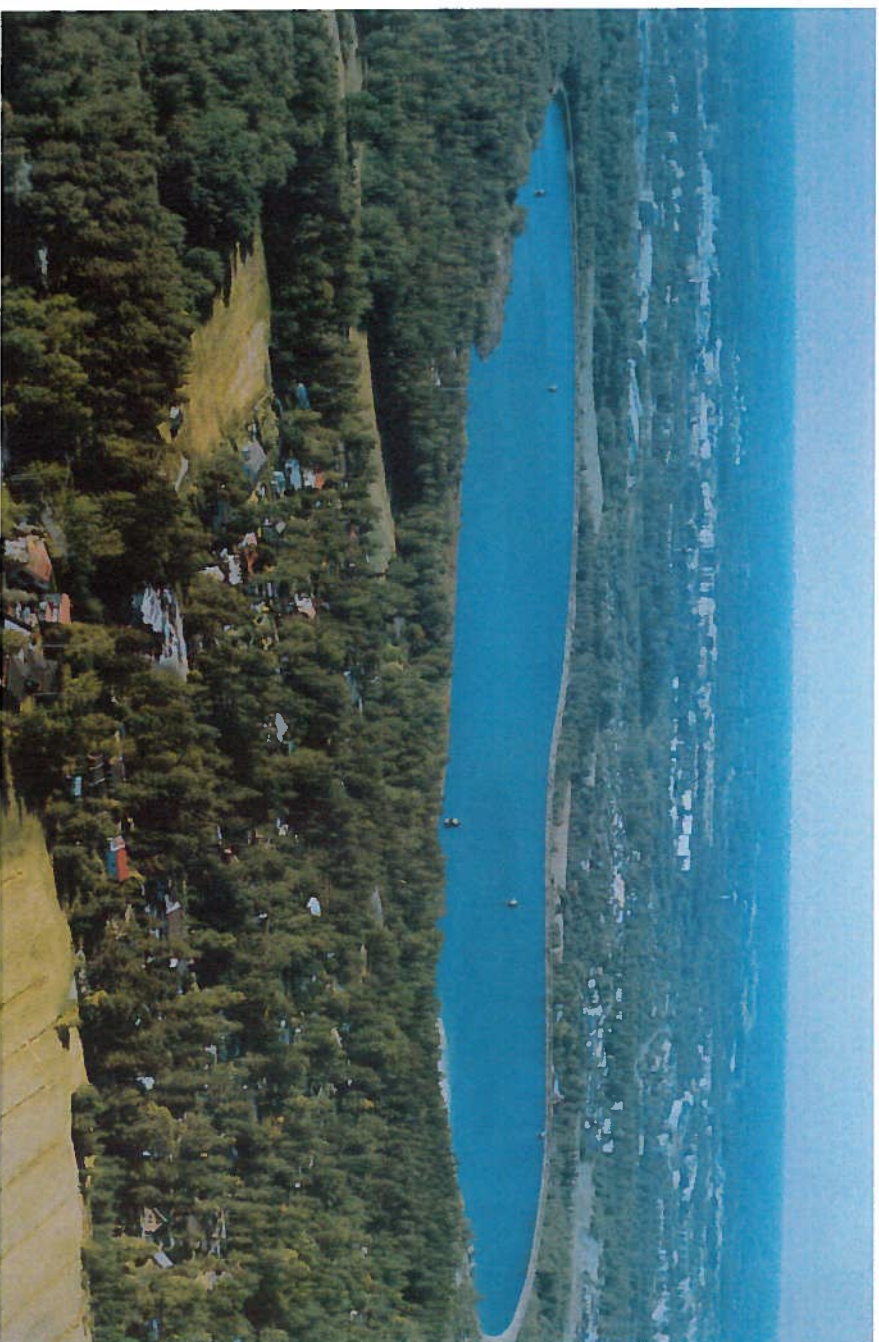
HAMELY/3/07.03/2010

07.03.03.05 MS

HSY

Silvolan tekoaltaan vahingonvaaraselvitys

Raportti



Helsinki, Kesäkuu 2011

Peter Reiter

Peter Reiter
PR Vesisuunnittelu Oy

Vahingonvaaraselvityksen raportin sisällysluettelo

Kappaleen No:	Kappaleen nimi	Sivu No:
1.	YLEISTÄ	7-21
1.1	Selvityksen tarkoitus	7
1.2	Lähtötaineisto	8
1.2.1	Laki ja asetus*teknilliset oppaat*kurssimonisteet	8
1.2.2	Siivolan tekoaltaan vahingonvaaraselvityksen laadinnassa käyty lähtötaineisto	8
1.2.3	Kansainväliset julkaisut	9
1.3	Perustiedot altaasta, padolta ja vesistöistä	10
1.3.1	Siivolan tekoaltaan yleiskuvaus	10
1.3.2	Siivolan tekoaltaan vesittävyydet	13
1.3.3	Siivolan tekoaltaan pato	13
1.3.4	Siivolan tekoaltaan sijaintivesistö ja Vantaanjoen vesistöalue	17
1.4	Selvityksessä käytetty tausta-aineiston käyttöluvat ja julkaisuluvat	21
1.4.1	Selvityksessä käytetty digitaalisen lähtötaineiston omistaja	21
1.4.2	VTY Pätkäpumpkiseudun yhteistyövaliokunta / HSY, SeutuCD'09	21
1.4.3	Maanmittauslaitos, tietopalvelukeskus	21
2.	SELVITYKSESSÄ KÄYTETYT LASKENTAMENETELMÄT JA MALLIT	22-33
2.1	Patomurtumasimulointi	22
2.1.1	Tapahtuneiden maapatomurtumien havainnot.	22
2.1.2	Tilastollinen murtumatiantien määrittely (Froehlichin menetelmä)	23
2.1.2	Murtumasimulointi virtausmallin avulla	24
2.2	Siivolan vahingonvaaraselvityksessä käytetty 2D virtausmalli	26
2.2.1	Yleistä	26
2.2.2	Kuivan maaston peitto ohuella vesikalvolla (thin water film) ja elementin kostumisen ja kuivumisen ratkaisu	27
2.2.3	Laskentaverkon (mesh) kehitys ja Momi-blokki menetelmä	27
2.2.4	Reunaehdot	28
2.2.5	Mallilaskennan lähtötietäminen	29
2.3	Mallien verifiointi ja laskennassa käytetyt karkenskertoimet	29
2.4	Mallilaskennan tulostusjärjestelmä	31
2.4.1	Yleistä	31
2.4.2	Tulokset, joilla voidaan suorittaa mallilaskennan verifiointia ja joita voidaan käyttää raportointia varten	31
2.4.3	Tulokset, jotka palvelevat tulvakarttoja	32
2.4.4	Taulukkotulokset vahingonvaaran määrittelyä varten	32
2.4.5	Yhteenvedotaulukot ja graafiset esitykset raportointia varten	33
3	PATOMURTUMA-ANALYYSI	34-42
3.1	Padon murtumaoleusten, murtumapaikkojen ja murtumaparametrien valinta	34
3.1.1	Patomurtumaoleukset	34
3.1.2	Murtumapaikkojen valinta	36
3.1.3	Patomurtuma-analyyssissä käytetyt alaan vedenpinnoitukset ja murtuma-aukkojen pohjien korkeudet	37
3.2	Padon alustavan murtuma-analyyssin tulokset	38
3.2.1	Yleistä	38
3.2.2	Tulokset taulukoituna	39
3.3	Alustavan patomurtuma-analyyssin tulosten tulkinna ja ja murtumatapausten valinta jatkolaskentaa varten	40
3.4	Lopullisen patomurtuma-analyyssin tulokset	41
4.	SILVOLAN TEKOJÄRVEN ALTAAN PATOMURTUMA-AALLON LASKENTA :1. PADON LÄHIALUE	43-71
4.1	Laskentatapaukset (alustavat ja lopulliset)	43
4.2	Laskentatulokset ALUE 1, Siivolan tekojärvi – Ruutinkoski ”MQ”	46
4.2.1	Siivolan altaan vedenpinta HW tasossa N60+ 42.86 (4 murtumatapausta)	46
4.2.2	Laskentatulosten vertailu ja tapausten valinta MALLIALUE 1:n täydentämistä varten	50
4.3	Lopulliset laskentatulokset	51
4.3.1	Vaihtuvirtaamattilanteet	51
4.3.2	Laskentatulosten esitys (laskennan päätulokset taulukoissa)	52
4.3.3	9 Laskentatapausten tulostusten viitteet raportin ja taustaraportin liitteisiin 3:n tärkeän laskentatuloksen graafinen esittely.	54
4.3.4	Laskentatulosten vertailu ja tapausten valinta MALLI 2:n laskentaa varten	58

Kappaleen No:	Kappaleen nimi	Sivu No:
4.4	MALLI 2, Ruudinkosken yläpuolella Vanhankaupunginkoskeen asi	59
4.4.1	Yleistä	59
4.4.2	Valittu tapaus 1, A2Murt1 Wallas+42.86-MQ	60
4.4.3	Valittu tapaus 2, A2Murt4 Wallas+42.86-MQ	63
4.4.4	Valittu tapaus 3, A2Murt1 Wallas+42.86-HQ50	66
4.5	Siltatukosten simulointi ja vaikutusten analysointi	69
4.5.1	Meneleimän selostus	69
4.5.2	Siltatukosten laskentatulosten yhteenvetot	71
5.	PATOMURTUMAN AIHEUTTAMA VAHINGONVAARA	72-112
5.1	Yleistä	72
5.2	Silvolan pato-onnettomuustulvan suurus	73
5.3	Vahingonvaaran määrittely ja soveltuus vahinkokohteisiin	77
5.4	Osa-aluejako ja potentiaaliset vahinkokohteet	79
5.5	Vahinkokohteiden paikkatieto ja rekisteritiedot	82
5.5.1	Vahinkokohteiden paikkatieto	82
5.5.2	Vahinkokohteiden reiseritieto	83
5.6	Malliaskennan tulosten käyttö vahinkojen määrittelyssä	85
5.6.1	Yleistä	85
5.6.2	Malliaskennan tulokset vahingonvaarojen määrittelyn vaatimassa muodossa	86
5.7	Vahinkokohteistien sisältö ja tapauskohtaiset vahinkolistat	87
5.7.1	Yleistä	87
5.7.2	ALUE 1, 9 tapauksen vahinkovaaralistat	88
5.7.3	ALUE 2, 3 tapauksen vahinkovaaralistat	91
5.7.4	Patomurtumatulvan aiheuttamien siltatukosten erityisvaaroja	93
5.8	Silvolan tekojärven pato-onnettomuuden vahingonvaarojen yksilöidyt esitykset	98
5.8.1	Yleistä	98
5.8.2	Tulva-aallojen eteneemisnopeudet	99
5.8.3	Vahingonvaarat väestölle	103
5.8.4	Vahingonvaarat ja omaisuusvahingot rakennuksille	104
5.8.5	Tulva-aallon vaikutukset silloille ja vahinkoarviointi	107
5.8.6	Tulva-aallon vaikutukset teille- ja rautatiele	109
5.8.7	Tulva-aallon vaikutukset sähköjakeluverkkoon	110
5.8.8	Kunnallisteknilliset vahinkokohteet	111
5.8.9	Silvolantekoaltaan patomurtuman aiheuttamat omaisuusvahingot, yhteenveto	112
6	SILVOLAN PADON JA SEN KÄYTÖN KANNALTA TÄRKEIDEN VESISTÖJÄRJESTELMIEN TOIMINNALLINEN TARKASTELU MITOITUSTULVALLA	113-115
6.1	Silvolan tekoaltaan yleisesitys	113
6.2	Mitoitustulva	114
6.3	Vesistöön kohdistuvat toimenpiteet	114
6.3.1	Yleistä	114
6.3.2	Silvolan tekojärven vedenpinnan alenaminen	114
6.3.3	Toimenpiteet Silvolan tekojärven yläpuolisessa vesistössä	115
6.3.4	Toimenpiteet Silvolan tekojärven alapuolisessa vesistössä	115
6.3.5	Toimenpiteet talvivaikana tapahtuvassa pato-onnettomuudessa	115
7	TULOISTEN YHTEENVETO	116-124
7.1	Vahingonvaaraselvityksen tarkoitukselliset taustatiedot	116
7.2	Vahinkoaluekohtaiset ja tapauskohtaiset yhteenvetot ja kokonaisvahinko	116
8	SILVOLAN TEKÖJÄRVEN PATOJEN LUOKAN TARKISTUS VAHINGONVAARASELVITYKSEN POHjalTA	125
8.1	Vahingonvaarojen tarkistus	125
8.2	Patoluokkaa koskeva lausunto	125

Vahingonvaaraselvityksen raportin liiteluettelo

Liite No.	Sisältö	Sivujen lkm ja/tai CD	
		Raportti tied.kopio	Tausta-raporttinaisto
1	Kartta 1, 1:40 000, Yleiskartta, osa-aluejako, murtumapaikat, laskennan hydrograafien tulostuspaikat.	1 A4 SEL+ 1 karta A3	CD .pdf
2	Karttasarja 02, 1:20 000, Yleiskartta pääasialliset vahinkovaara-alueet ja vahinkokohdelistan kohdenumerot (yht. 400kp)	1 A4 SEL+ 2 karttaa A3	1 A4 Sel CD .pdf
2.1	Kartta 02.01, 1:20 000, OSA1: Alue 1+Alue 2:n yläosa, Yleiskartta pääasialliset vahinkovaara-alueet ja vahinkokohdelistan kohdenumerot	1 A3	CD .pdf
2.2	Kartta 02.02, 1:20 000, OSA2: Alue 2:n alaosa, Yleiskartta pääasialliset vahinkovaara-alueet ja vahinkokohdelistan kohdenumerot	1 A3	CD .pdf
3	Silvolan tekojärven patotyypit ja niiden sijainti, murtumapaikat ja hätätrokustuspaiikat, padon pituusleikkaus ja tyyppioppikkeitkkaukset	1 A4 SEL	1 A4 Sel
3.1	Patokartta	1 A4	CD .pdf
3.2	Padon pituusleikkaus	4 A4	CD .pdf
3.3	Padon tyyppioppikkeitkkaukset	1 A4	CD .pdf
4	Patomurtuma-analyysi ja murtumahydrograafien vertailut.	1 A4 SEL	1 A4 Sel
4.1	Alustavat tilastollisen analyysin (Froehlich) laskenta- ja tulostustaulukot	1 A4	CD .xls
4.2	Mallilaskentatulokset Alustava murtuma-analyysi (4 tapausia)	2 A4	CD, 4 hakemistoa
4.3	Neijan murtumatapauksen animaatiot	ei	CD, 4 mpg
4.4	Lopulliset tilastollisen analyysin (Froehlich) laskentataulukot	1 A4	CD .xls
4.5	Mallilaskentatulokset, lopullinen murtuma-analyysi (7 tapausia)	1 A4	CD .xls
5	2D-virtausmalli ALUE 1 ja ALUE 2 (Vantaanjoen ja Kertvanjoen alapuoliset jaksot)	1 A4 SEL	1 A4 SEL
5.1	2D virtausmallin teorian, laskentaverkon ja ulkoisten reunaehtojen selostus. Englanninkielinen selostus. Huachen Pan	ei	2 Word tied. 3A4 + 6A4
5.2	Korkeusmalli ja maastomalli (maannittauslaitoksen lisenssi TIP A/625/10-M)	1 A4 SEL	Taustarap ohella
5.3	Uomageometria ja kalibrointitainneisto, HEC-RAS	1 A4 SEL	HEC-Ras formaatin aineisto
5.4	Aluekartat ja rekisterit, SeutuCD'09, Käyttölisenssi HSY:n kautta	1 A4 SEL	Taustarap ohella
6	Patomurtumatulvan laskentatulokset	1 A4 SEL	1 A4 SEL
6.1	Laskentatulokset Alue 1, Lopullinen murtuma-analyysi + alustava tulva-aaltolaskenta (4 tapausia)	ei	CD hakemistot Excell, txt, vertailu
6.2	Alustavan tulva-aaltolaskennan animaatio 4 tapauksesta altaan vedennpinnalla N60+42.86	ei	CD, 5 mpg
6.3	Laskentatulokset Alue 1, tulva-aaltolaskenta (9 tapausia)	7 A4	CD 9 hakemistoa
6.4	Raporttiliite: 4:n paikan vedennpinta- ja virtaamavertailu	10 A4	Excell, txt, vertailu
6.4	ALUE 1:n 9 laskentatapauksen graafiset esitykset		vain raporttiliitteenä
6.5	Raportin kappale 4.3.2 täydennys		
6.5	ALUE 2:n 3 laskentatapauksen taulukot ja graafiset esitykset	7A4	
6.6	Q+Wsilat1-5tukos_tai ei hydrograafitaulukot, taustaraportissa laskentatulokset	11 A4	Vertailun lisäksi CD 3 hakemistoa Excell, txt
6.7	Kaikki laskentatulokset, mukaanlukien laskentojen XYX tulostus 1 min välein max 6 tunnin laskentajaksosia. Laskentatulokset Alue 1 + Alue 1+2, murtuma-analyysi ja silatukosimulointeja. Aineisto on siltetty ulkoisella kiintolevyllä suuren tilatarpeen takia omassa hakemistossa	hakemistopolun selostus 4 A4	Ulkoisella kiintolevyllä
7	Asukkaita ja rakennuksia tulva-alueella, väestö- ja rakennusrekisteritiedot	1 A4 SEL	1 A4 SEL
7.1	Rekisterinaisto, sisältö eritasoiset muunnokset ja lukuohje	lukuohje	lukuohje - Excell
7.2	Rekisteripoinninta ja muokkaukset vahingonvaaraselvityksen tarvitsevan muotoon Alue 1	ei	koko rekisteripoinninta-aineisto - Excell
7.3	Rekisteripoinninta ja muokkaukset vahingonvaaraselvityksen tarvitsevan muotoon Alue 2	ei	Alue 1: 3 tiedostoa koko rekisteripoinninta-aineisto - Excell Alue 2: 3 tiedostoa
8	Vahingonmääräitelyyn perusaineisto	1 A4 SEL	1 A4 SEL
8.1	Vahinkokohdelistan seloste	7 A4	1 seloste Excell
8.2	Vahinkokohdelistasarja ALUE 1: 9:lle valitulle laskentatapaukselle	4 A4	9 vahinkokohdelistaa Excel
8.3	Vahinkokohdelistasarja ALUE 1+2: 3:lle valitulle laskentatapaukselle	ei	3 vahinkokohdelista Excel
8.4	Vahinkokohdelistasarja ALUE 1+2: Siltatukosten vaikutukset 1:lle valitulle laskentatapaukselle breki 4286 50 HQ50	ei	5 vahinkokohdelista Excel

Lite No	Sisältö	Sivujen lkm ja/tai CD	
		Raportti tied.kopio	Tausta-raportti
9	Asuinrakennuksille ja ihmisille syntyvien vahingonvaarojen ja rakennusten omaisuusvahinkojen määrittely	1 A4 SEL	1 A4 SEL
9.1	Menelelmän seloste ja omaisuusvahinkojen yksikköhinnat	2A2 Excel	Excel
9.2	Rakennusten Skaalattu vahingonvaara	5A2 Excel	Excel
9.3	Pato-onnettomuuden mukaan skaalattu vahingonvaara ihmisille	8 A2 Excel	Excel
9.4	Pato-onnettomuuden mukaan skaalattu rakennusten omaisuusvahingot	5A2 Excel	Excel
10	Sillat säännöstelypadot ja pohjapadot	1 A4 SEL	1 A4 SEL
10.1	Aineiston yhteenvedotaulukko (Perustiedot)	5A4	CD Excel
10.2	Silta- ja mallilaskentakohtaiset tiedot ja vahingonvaarojen määrittely	4A4	Aineisto liite 10.1:n
10.3	Siltavahinkojen luokitus ja omaisuusvahinkojen määrittely	4A4	työkansioissa
10.4	Yksityiskohtainen silta-aineisto, taulut ja valokuvat:	ei	useassa hakemistossa ja eri formaateissa
11	Tiestön vahingonvaaran määrittely	1 A4 SEL	1 A4 SEL
11.1	Tieaineiston ja vahingonvaaramäärittelyn tulosten lukuohje	1A4	CD MS Word
11.2	Tierakennuskustannukset RAPAL 2005	2A4 pdf	CD pdf
11.3	Tiestön vahingonvaara- ja omaisuusvahinkomäärittelyn tulokset (yhteenvedotaulukot)	2A4	Exceek laskentataulukko
12	Sähköjakeluverkko ja sen vahingonvaaramäärittelyn tulokset	1 A4 SEL	1 A4 SEL
12.1	Sähköjakeluverkko ja sen vahingonvaaramäärittelyn tulokset	2A4	
12.2	Yksityiskohtainen vahingonvaarojen ja omaisuusvahinkojen määrittely	7A4	Exel Laskentataulukko
13	Silvojan tekoaltaan vahingonvaaraselvityksen yhteenveto ESITELMÄ	41 ppt-kalvoja kalvoa-print + animaatiot	41 ppt-kalvoja
14	Vahinkokohteiden valokuva-aineisto	1 A4 SEL	1 A4 SEL + JPG
15	Kartta 03 Karttojen lehtiäko 1:40000	1 A3	CD 1 kartta pdf:na
16	Karttasarja 4, ALUE 1: Pato-onnettomuusluvun maksimipeittävyys ja vedensyvyys: Karttasarja 9:stä valitusta laskentatapauksesta, 1:15 000: Kartta 04.01, 1:15000 AI Wallas+42,86-MQ-MURTI Kartta 04.02, 1:15000 AI Wallas+42,86-MQ-MURTI Kartta 04.03, 1:15000 AI Wallas+42,86-MQ-MURTI Kartta 04.04, 1:15000 AI Wallas+42,86-MQ-MURTI Kartta 04.05, 1:15000 AI Wallas+41,06-MQ-MURTI Kartta 04.06, 1:15000 AI Wallas+41,06-MQ-MURTI Kartta 04.07, 1:15000 AI Wallas+41,06-MQ-MURTI Kartta 04.08, 1:15000 AI Wallas+42,86-HQ50-MURTI Kartta 04.09, 1:15000 AI Wallas+42,86-HQ50-MURTI	Kansilehti 1 A4 + Kartta 05.01 Kartta 05.02 Kartta 05.03 Kartta 05.04 Kartta 05.07 Kartta 05.08 Kartta 05.09	CD Kansilehti + 9 karttaa pdf tiedostona
17	Karttasarja 5, ALUE 1, Pato-onnettomuusluvun maksimivahinkoparametri (D*v): Karttasarja 9:stä valitusta laskentatapauksesta, 1:15 000: Kartta 05.01, 1:15000 AI Wallas+42,86-MQ-MURTI Kartta 05.02, 1:15000 AI Wallas+42,86-MQ-MURTI Kartta 05.03, 1:15000 AI Wallas+42,86-MQ-MURTI Kartta 05.04, 1:15000 AI Wallas+42,86-MQ-MURTI Kartta 05.05, 1:15000 AI Wallas+41,06-MQ-MURTI Kartta 05.06, 1:15000 AI Wallas+41,06-MQ-MURTI Kartta 05.07, 1:15000 AI Wallas+41,06-MQ-MURTI Kartta 05.08, 1:15000 AI Wallas+42,86-HQ50-MURTI Kartta 05.09, 1:15000 AI Wallas+42,86-HQ50-MURTI	Kansilehti 1 A4 + Kartta 05.01 Kartta 05.02 Kartta 05.03 Kartta 05.04 Kartta 05.07 Kartta 05.08 Kartta 05.09	CD Kansilehti + 9 karttaa pdf tiedostona
18	Karttasarja 6 ALUE 2, Pato-onnettomuusluvun maksimipeittävyys ja vedensyvyys: Karttasarja 3:stä valitusta laskentatapauksesta, 1:15 000: Kartta 06.01a ja 06.01b, 1:15 000 A2Murt1 Wallas+42,86-MQ (2 karttalehteä A4) Kartta 06.02a ja 06.02b, 1:15 000 A2Murt1 Wallas+42,86-HQ50 (2 karttalehteä A4) Kartta 06.03a ja 06.03b, 1:15 000 A2Murt4 Wallas+42,86-MQ (2 karttalehteä A4)	Sarja avoimma Kansilehti 1 A4 + Kartta 06.01a Kartta 06.02a Kartta 06.03a 6 A4	CD Kansilehti + 2x3 = 6 karttaa pdf tiedostona
19	Karttasarja 7 ALUE 2, Pato-onnettomuusluvun maksimivahinkoparametri (D*v), Karttasarja 3:stä valitusta laskentatapauksesta, 1:15 000: Kartta 07.01a ja 07.01b, 1:15 000 A2Murt1 Wallas+42,86-MQ (2 karttalehteä A4) Kartta 07.02a ja 07.02b, 1:15 000 A2Murt1 Wallas+42,86-HQ50 (2 karttalehteä A4) Kartta 07.03a ja 07.03b, 1:15 000 A2Murt4 Wallas+42,86-MQ (2 karttalehteä A4)	Kansilehti 1 A4 + Kartta 07.01a Kartta 07.02a Kartta 07.03a 6 A4	CD Kansilehti + 2x3 = 6 karttaa pdf tiedostona

Lite No	Sisältö	Sivujen lkm ja/tai CD	
		Raportti tied.kopio	Tausta-raportti
20	Karttasarja 8 ALUE 1+2, Maksimivahinkoparametri vD (m ² /s) ja vahinkokohteet. Karttaesitykset 3:sta valitusta laskenatapauksesta: Kartta 08.01a ja 08.01b, 1:20 000 A1+2Murt1 Wallas+42.86-MQ (2 karttalehteä A3) Kartta 08.02a ja 08.02b, 1:20 000 A1+2Murt1 Wallas+42.86-HQ50 (2 karttalehteä A3) Kartta 08.03a ja 08.03b, 1:20 000 A1+2Murt4 Wallas+42.86-MQ (2 karttalehteä A3)	Kansilehti 1 A4 + Kartta 11.01a Kartta 11.02a Kartta 11.03a 6 A3	CD Kansilehti + 2x3 = 6 karttaa pdf tiedostona
21	Karttasarja 9 ALUE 1+2, Yleiskarttaesitys tulvan etenemisen nopeudesta koko projektialueella. Karttaesitys 3:sta valitusta laskenatapauksesta, 1:40000: Kartta 09.01, 1:40000 A1+A2Murt1 Wallas+42.86-MQ Kartta 09.02, 1:40000 A1+A2Murt1 Wallas+42.86-HQ50 Kartta 09.03, 1:40000 A1+A2Murt4 Wallas+42.86-MQ	Kansilehti 1 A4 + Kartta 09.01 Kartta 09.02 Kartta 09.03 3 A3	CD Kansilehti + 3 karttaa pdf tiedostona
22	Karttasarja 10 ALUE 1+2, siltatukosten aikaansaamat suurimmat vedenpeittävyudet, vedensyyvyudet ja vahinkokohteet riskialteiden siltujen ylävirranpuolella. Laskenatapausten lähtötilanne A1+2Murt1 Wallas+42.86-HQ50 Kartta 10.01 1:40000 Yleiskartta Kartta 10.02, 1:15000 Siltatukos 1, VK 93, Siltvoian silta, Kartta 10.03, 1:15000 Siltatukos 2, VK 199, Tuusulan väylän kaksoissilta, Kartta 10.04, 1:15000 Siltatukos 3, VK 267, Kehä 1:n KL-silta, Kartta 10.05, 1:15000 Siltatukos 4, VK 296, Pukimäen RT-silta, Kartta 10.06, 1:15000 Siltatukos 5, VK321, Oul.-Hertt.Rata-+KL-silta,	Kansilehti 1 A4 +Yleis-kartta 10.01 Kartta 10.02 Kartta 10.03 Kartta 10.04 Kartta 10.05 Kartta 10.06 1A4+1A3+5A4	CD Kansilehti + 1 yleiskartta + 5 detailjikarttaa pdf tiedostona
23	Karttasarja 11 ALUE 1+2, siltatukosten aikaansaamat maksimivahinkoparametrit (D*v), riskialteiden siltujen ylävirranpuolella. Laskenatapausten lähtötilanne A1+2Murt1 Wallas+42.86-HQ50 Kartta 11.01, 1:15000 Siltatukos 1, VK 93, Siltvoian silta, Kartta 11.02, 1:15000 Siltatukos 2, VK 199, Tuusulan väylän kaksoissilta, Kartta 11.03, 1:15000 Siltatukos 3, VK 267, Kehä 1:n KL-silta, Kartta 11.04, 1:15000 Siltatukos 4, VK 296, Pukimäen RT-silta, Kartta 11.05, 1:15000 Siltatukos 5, VK321, Oul.-Hertt.Rata-+KL-silta,	Kansilehti 1 A4 + Kartta 11.01 Kartta 11.02 Kartta 11.03 Kartta 11.04 Kartta 11.05 1A4+5A4	CD Kansilehti + 5 detailjikarttaa pdf tiedostona
24	Karttasarja 12 ALUE 1+2, tulvavahingot katu- ja tieverkostolle ja rautatielle Karttaesitykset 1:sta valitusta laskenatapauksesta: Kartta 12.01, 1:35 000 A1+2 Murt1 Wallas+42.86-HQ50 + Siltatukokset (1 karttalehti A3)	Kansilehti 1 A4 + Kartta 12.01 1 A3	CD Kansilehti + 1 karttaa pdf tiedostona
25	Karttasarja 13 ALUE 1+2, Vedensyyvyys, tulvavahingot sähköjakelulle ja kunnallistekni Karttaesitykset 3:sta valitusta laskenatapauksesta: Kartta 13.01 1:40000 Yleiskartta, Siltatukokset Kartta 13.02 1:15000 Siltatukos 1, Vedensyyvyys VA01, VA02, Siltvoian silta Kartta 13.03 1:15000 A1 Wallas+42.86 MURT4, Vedensyyvyys VA03, Ylasto Kartta 13.04 1:15000 Siltatukos 2, Vedensyyvyys VA 04, Tuusulan väylän kaksoissilta Kartta 13.05 1:15000 Siltatukos 4, Vedensyyvyys VA05, VA06, Pukimäen RT-silta Kartta 13.06 1:15000 Siltatukos 4, Vedensyyvyys VA07, Pukimäen RT-silta Kartta 13.07 1:15000 Savela, Vanhankaupungink., Vedensyyvyys VA08, VA09 Kartta 13.08 1:15000 Siltatukos 5, Vedensyyvyys VA08, VA09, Oul.-Hertt. Rata-+KL-silta	Kansilehti 1 A4 + Kartta 13.01 Kartta 13.02 Kartta 13.03 Kartta 13.04 Kartta 13.05 Kartta 13.06 Kartta 13.07 Kartta 13.08 8 A4	CD Kansilehti + 8 karttaa pdf tiedostona

1. YLEISTÄ

1.1 Selvityksen tarkoitus

Silvolan altaan vahingonvaaraselvitys laadittiin vuonna 1988, yli 20 vuotta siten, silloin käytettävissä olevan vesistömalliteknologian, maastotietojen, rakennuskannan ja muun infrastruktuuritietojen pohjalta. Ajan mittaan on viranomaisien vahingonvaaraselvityksille asetama vaatimustaso noussut ja altaan alapuolella ovat potentiaaliset vahinkokohteet lisääntyneet. Uudessa patoturvallisuusslaissa säädellään vahingonvaaraselvitystä ja padon turvallisuussuunnitelmaa koskevia asioita seuraavalla tavalla:

Patoturvallisuusslaissa PTL26.6.2009/494 ja patoturvallisuussasetuksessa PT A29.4.2010/319

(lähdeaineisto [1]) käsitellään vahingonvaaraselvitystä, padon omistajan turvallisuussuunnitelmaa ja niihin liittyvien tietojen antamismelvoitteita pelastusviranomaiselle seuraavissa paragraafeissa:

- PTL9§ Patoturvallisuutta koskevat selvitykset lupa-asiaassa
- PTL12§ Vahingonvaaraselvitys ja padon turvallisuussuunnitelma
- PTL20§ Vahingonvaaraselvityksen päivittäminen
- PTL24§ Onnettomuuksien ehkäiseminen
- PTL25§ Pelastustoimen suunnitelmat

PTA6§ Vahingonvaaraselvitys

PTA7§ Padon turvallisuussuunnitelma (vain vahingonvaaraselvityksen tuottaman, turvallisuussuunnittelua tukevan aineiston osalta)

PTA28§ Tiedottaminen (vain vahingonvaaraselvityksen tuottaman tiedottamissuunnittelua tukevan aineiston osalta) *lasku kaikkien osajien tiedottamissuunnittelua tukevan ?*

Vahingonvaaraselvitystä käsitellään myös patoturvallisuussoppaan luonnoksen 24.11.2010 (lähdeaineisto [2]) kappaleessa 5 ja sen liitteissä 14, 15, 16 ja 17, mutta oppaassa esitetty ei ole padon omistajaa sitova. Vain laissa ja asetuksessa esitetyt vaatimukset ovat sitovia.

Silvolan tekoaltaan vahingonvaaraselvityksen sisältö, nykyiset menetelmät ja niiden lähdeaineistot on käsitelty 5.5.2010 valmistuksessa Silvolan tekoaltaan vahingonvaaraselvityksen ja turvallisuussuunnitelman uusimisen alkuselvityksessä (lähdeaineisto [9]).

Vahingonvaaraselvityksessä luodaan pelastussuunnitelmalle patoturvallisuusslaissa vaadittu tausta-aineisto, mutta ei suoraa pelastussuunnitelman osiota tai liitteitä.

1.2 Lähtöaineisto

1.2.1 Laki ja asetukset * teknilliset oppaat * kursorimallit:

- [1] Patoturvallisuuslaki (26.6.2009/494) ja asetukset (29.4.2010/319)
- [2] Patoturvallisuusopas, Luonnos 24.11.2010, Timo Maijala Hämeen elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2010
- [3] PATU-Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma 2004-2005 CD ja koulutuksen detailjaineisto. Kontaktihenkiö Timo Maijala timo.maijala@ely-keskus.fi
- [4] RESCDAM-projekti kesäkuu 1999 – maaliskuu 2001, Loppuraportti (Final Report) ja projektin toteutuksen yhteydessä kertynyt aineisto.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=377554&lan=EN>
- [5] Tulva- ja Patopäivät 2008, 2009 ja 2910 SYKE, Koulutus ja seminaarit
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=407&lan=fi>
- [6] Tulvakartoituksen ja tulvariskien alustava arviointi SYKE 21.22.9.2009
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=305739&lan=fi&clan=fi>
- [7] Tulvariskien kartoittaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2008, Suomen ympäristökeskus / Turun yliopisto
- [8] Tulvariskityöryhmän loppuraportti. Rekisterien kuvaukset ja käyttöoikeudet omistavat tahot ks s. 57-59 http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/tyoryhmanmuistiot/2009/5FYK/CAD0/MMM-57142-v1-Tulvariskityoryhman_raportti_26_3_2009_lopullinen_3.pdf

1.2.2 Silvolan tekoaltaan vahingonvaaraselvityksen laadinnassa käytetty lähdeaineisto:

- [9] Silvolan tekoaltaan vahingonvaaraselvityksen ja turvallisuussuunnitelman uusimisen alkuselvitys 15.5.2010 HSY ja PR Vesisuunnittelu Oy
- [10] Silvolan tekoaltaan patoturvallisuuskansio v. 1989, digitaalisessa muodossa (skannaukset) sisältäen hakemistot Patoturv.kansio 1 ja 2, jossa alakansiot.
- [11] Silvolan tekoallaspadon kohdesuunnitelma ja onnettomuusilanteisiin varautuminen. Helsingin kaupungin pelastuslaitos, Vantaan kaupungin pelastuslaitos, Helsingin Vesi, Alkuperäinen 22.6.2000, päivitetty 2004.
- [12] Vantaanjoen ja Keravanjoen alaosan yksityiskohdaisia tulvavaarakarttoja v.2007-2008 <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22075&lan=fi#a4> Vantaanjoen alaosaa "C-kuva" ja Keravanjoki (alaosa).
- [13] Vantaanjoen alaosan ja Keravanjoen alaosan vesistömalli (HEC-RAS 1D) ja lähdeaineisto poikkeileikkauksineen ja siltatietoineen on saatu käyttöön projektikohteisiin käyttöoikeuksin: DI Olli Jaakonaho, Suunnitteluninsinööri, Uudenmaan elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskus, Ympäristö ja luonnonvarat –vastuualue, olli.jaakonaho@ely-keskus.fi
- [14] Aineisto on YKJ koordinaatistossa ja N₆₀ korkeusjärjestelmässä. YTV:n/HSY:n seudulliset paikkatietoaineistot: SeutuCD'09 sisältäen:
 - 1. Rekisterit (6 kpl)
 - 2. Kartat (8 kpl). Hyvä ohjekirja auttaa aineiston käytössä ja ohjeistaa käyttölienssien todentamisessa ja soveltamisessa. Aineistot ovat koordinaattikaistoissa KkJ2 tai KkJ3 (YKJ). Aineistoon ei ole sisällytetty korkeusmallia ja SeutuCD'09 kautta saatu korkeusmalli oli KkJ2 koordinaattijärjestelmässä ja N2000 korkeusjärjestelmässä.

1.2.2 Siivolan tekoaltaan vahingonvauraselvityksen laadinnassa käytetyn lähdeaineiston jatko:

- [15] Maanmittauslaitoksesta hankittiin 26.11.2010 käyttöoikeudet korkeusmalliin 2m xyz, N60, maastotietokanta + rasterit lehdistä 2034 03D, 2034 06B,D, 2043 02c, 2043 04, 2043 05A,C. Käyttöoikeusluvun numero on TIPA/625/10-M ja lisenssi on voimassa yhden vuoden hankintapäivästä alkaen.
- [16] Kunnallisteknilliset kohteet (Pumppusemat, vesilaitokset ym.) HSY
- [17] Sähkönjakelukohteet vaara-alueilla: Sähkövahingonvaurakohteihin liittyvää informaatio toimittivat Timo Uola, Turvallisuusasiantuntija, Helsingin Energia, Helen Sähköverkko Oy:sta ja Timo Kaartio, käyttöinsinööri, VANTAAN ENERGIA SÄHKÖVERKKO sta
- [18] Projektialueen silta-aineisto ja vesirakenteiden aineisto saatiin seuraavilta tahoilta:
1. Liikennevirasto, DI Marja-Kaarina Söderqvist, marja-kaarina.soderqvist@liikennevirasto.fi
 2. VR-Trak, Rautatiesillat, Suunnitteluisinööri Timo Heloaro timo.heloaro@vr.fi
 3. Uudenmaan ely-keskus ymäristö-vastuualue, silta-aineiston täydennykset ja vesirakenteet DI Olli Jaakonaho olli.jaakonaho@ely-keskus.fi
 4. Vantaan kaupunki, sillat, DI Marja-Leena Palviainen marja-leena.palviainen@vanta.fi ja DI Marika Orava. marika.orava@vanta.fi
 5. Helsingin kaupunki, sillat DI Eero Siivonen, eero.siivonen@hel.fi DI Peter Henry, peter.henny@hel.fi
 6. HSY, Vanhankaupunginkosken vesirakenteet ja Pitkäkosken vedenottamon pato ja Siivolan silta Projektipäällikkö Seppo Autere, seppo.autere@hsy.fi
- [19] Vetokamman virkistysalue, suunnitteluaineisto Vantaan kaupungin puistosuunnittelupäällikkö Pirjo Sirén pirjo.siren@vanta.fi
- [20]
- #### 1.2.3 Kansainväliset julkaisut:
- [21] Prediction of Embankment Dam Breach Parameters, DSO-98-004, Tony L. Wahl
- [22] Do Current Breach Parameter Estimation Techniques Provide Reasonable Estimates for Use in Breach Modeling? S. Chauhan, D.Bowles and L.Anderson, Utah State University and RAC Engineers and Economists. [21] Do >breachparameters.pdf<
- [23] Comparison of Dam Breach Parameter Estimators. M.Gee, unclassified US-COE-HEC report 2008
- [24] Dam break modeling on a river with ice cover. Tchamen et al, CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment, 14th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. Quebec City, June 2007.>Tchamen-et-al-2007.pdf<
- [25] Failures of dams arranged in series or in complex, Benjamin Dewals et al, Nat..Hazards DOI.101007/s11069-010-9600-z, Springer
- [26] Central scheme for two-dimensional dam-break flow simulation, Advances in Water Resources 27 (2004), Elsevier, G.Gottardi, M.Vennutelli.

1.3 Perustiedot altaasta, padolta ja vesistöstä

1.3.1 Silvolan tekoaltaan yleiskuvaus

Silvolan tekoallas on pääkaupunkiseudun vedenhankintaa ja -puhdistusta varten rakennuttu raakaveden tasausallas (kuva 1.1), joka sijaitsee Vantaa kaupungin alueella, Ylästön asuntoalueen välittömässä läheisyydessä noin, 500 m päässä HSY:n Pitkäkosken vedenpuhdistuslaitoksesta, Vantaan joen itä- ja pohjoispuolella (kuva 2). Altaalta on matkaa mereen jokiuomaa pitkin mitattuna noin 13 km.

Allas on rakennettu kuivalle maalle vuosina 1960 - 1962 ja otettu käyttöön kesäkuussa 1962. Aluksi altaan vesi otettiin Vantaanjoesta pumppaamalla. Vuodesta 1982 lähtien altaaseen on johdettu omapaineisesti Päijänteen vettä kalljotunnelia pitkin.

Silvolan tekoaltaan maapatojen pituus on 2,3 km ja harjakorkeus NN₆₀ +44,66 (NN +44,60). Tavanomaisella vedenkorkeudella NN₆₀ +42,00 (NN +42,00) altaan vesipinta-ala on noin 50 ha, vesitilavuus 5,4 milj. m³, suurin pituus yksi kilometri, suurin leveys puoli kilometriä sekä suurin syvyys 17 m. Veden keskisyvyys on 10 m (taulukko 1.1). Altaan vedenkorkeutta, jonka vaihtelu on normaalisti pieni, säädellessään Ylästön sulkukeskuksen ja/tai Pitkäkosken vedenpuhdistuslaitoksen vedenottamon laitteiden avulla. Altaan täyttötunnelin sulkulaitteiden häiriöiden varalta on altaan koillispuolella ylisyöksypato, jonka kynnykskorkeus on tasolla N60+42.36m (NN+42.31m).

Koska allas on suurimmalta osaltaan padottu keinotekoisella penkereellä, on altaan oma valuma-alue hyvin pieni (n. 0,5 ha). Siten mahdolliset rankkasateet eivät nosta altaan veden pintaa merkittävästi. Altaassa ei ole patoluukkuja tai muita vastaavia rakenteita.

Allas täytettiin ja tyhjenettiin aikaisemmin ns. tulo- ja ottotornien kautta. Nykyisin vesi virtaa tarpeen mukaan edestakaisin Ylästön sulkukeskuksen kautta Päijänne-tunneliin. Tarvittaessa allas voidaan tyhjentää nopeimmin ottamalla raakavesi pelkästään altaasta ja avaamalla tulo- ja ottotornien Vantaanjokeen johtavien tyhjennysviemäreiden venttiilit. Tyhjennysvirtaama on tällöin aluksi noin 15 m³/s, ja altaan vesipinta laskee noin 2,5 m/vrk. Kaavio Silvolan tekoaltaan vedenotto- ja tyhjennysjärjestelyistä on esitetty lähdeaineistossa [11] Silvolan tekoallaspadon kohdesuunnitelma ja onnettomuusilanteisiin varautuminen, liitteessä 2B.

Mikäli ulkoiset tekijät vaikuttavat pato-onnettomuustulvan vakavuuteen, kuten esimerkiksi poikkeukselliset tulvanvirtaamat, voidaan vaikutuksia lieventää alentamalla altaan vedenpinnan korkeutta. Tätä mahdollisuutta harkittaessa on hyvä ottaa huomioon, ettei vedenpinnalla N₆₀ + 41,06 m (NN+ 41,00) vesilaitoksen toiminta vielä vaikeudu.



Kuva 1.1 Silvolan tekoaltaan sijainti pääkaupunkiseutualueella

1.3.2 Silvolan tekoaltaan vesitilavuudet

Taulukko 1.1 Silvolan altaan tilavuus ja pinta-ala (Ote: patoturvallisuuskansio)

Vuodenaika / olosuhteet	Veden korkeustaso (rajakorkeus)	Varastotilavuus ($N_{60} + m$)	Altaan pinta- ala
teknillinen NW	~25,56	(NN+tai N_{3m}) ~25,50	(milj. m ³) 0
Talvi NW	40,06	40,00	4,3
Kesä NW	40,06	40,00	4,3
Alhaisin W ilman haittoja käytölle	41.06	41.00	4.88
HW	42,06	42,00	5,3
tulva HW	42,86	42,80	5,7
* hätä HW	42,96	42,90	5,8

*) hätä HW = ylivedenkorkeus, jonka ylittäminen voi aiheuttaa muutoksia padossa (padon tiiviin osan alin yläpinta).

Punainen ehostus = käytetty murtuma-analyysissä

Taulukko 1.2 Silvolan altaan tilavuus (Ote: Silvolan altaan suunnitelma)

No:	Veden korkeustaso (rajakorkeus)	Varastotilavuus (milj. m ³)
1 teknillinen NW	($N_{60} + m$) ~25,56	(NN+tai N_{3m}) ~25,50
2	27,06	27,00
3	28,06	28,00
4	29,06	29,00
5	30,06	30,00
6	31,06	31,00
7	32,06	32,00
8	33,06	33,00
9	34,06	34,00
10	35,06	35,00
11	36,06	36,00
12	37,06	37,00
13	38,06	38,00
14	39,06	39,00
15	40,06	40,00
16	41,06	41,00
17 normaali käyttö alaraja	42,06	42,00
18 normaali käyttö yläraja	42,21	42,15
19 tulva HW	42,86	42,80
20 hätä HW	43,06	43,00

1.3.3 Silvolan tekoaltaan pato

Tässä annettu yleisluonteinen kuvaus Silvolan altaan patorakenteista perustuu patoturvallisuuskansion aineistoon mm. Lauri Pitkäkosken kirjoitukseen (Vestitalous 1962) > Silvolan tekojärven maarakenteista< ja Silvolan tekoaltaan maapato, perustarkastuksen loppulausunto 9.12.1988.

Silvolan allas rakennettiin vuosina 1960 -1962. Se otettiin käyttöön 10.5.1962. Patoturvallisuuslain (vuodelta 1984) mukainen perustarkastus on valmistunut vuonna 1988. Se perustuu padon suunnitelmaan, rakennustyön aikaisin valvontatietoihin ja padon kunnan pitkäaikaiseen seurantaan.

Pato on kaksiosainen:

Patolinja I -pohjois- länsi- ja eteläpuolella, pituus 1,94 km ja patolinja II, idänpuolella 0,40 km. Niiden välillä on luonnolliset kallioharjanteet. Padon suurin rakennekorkeus on 24 m.

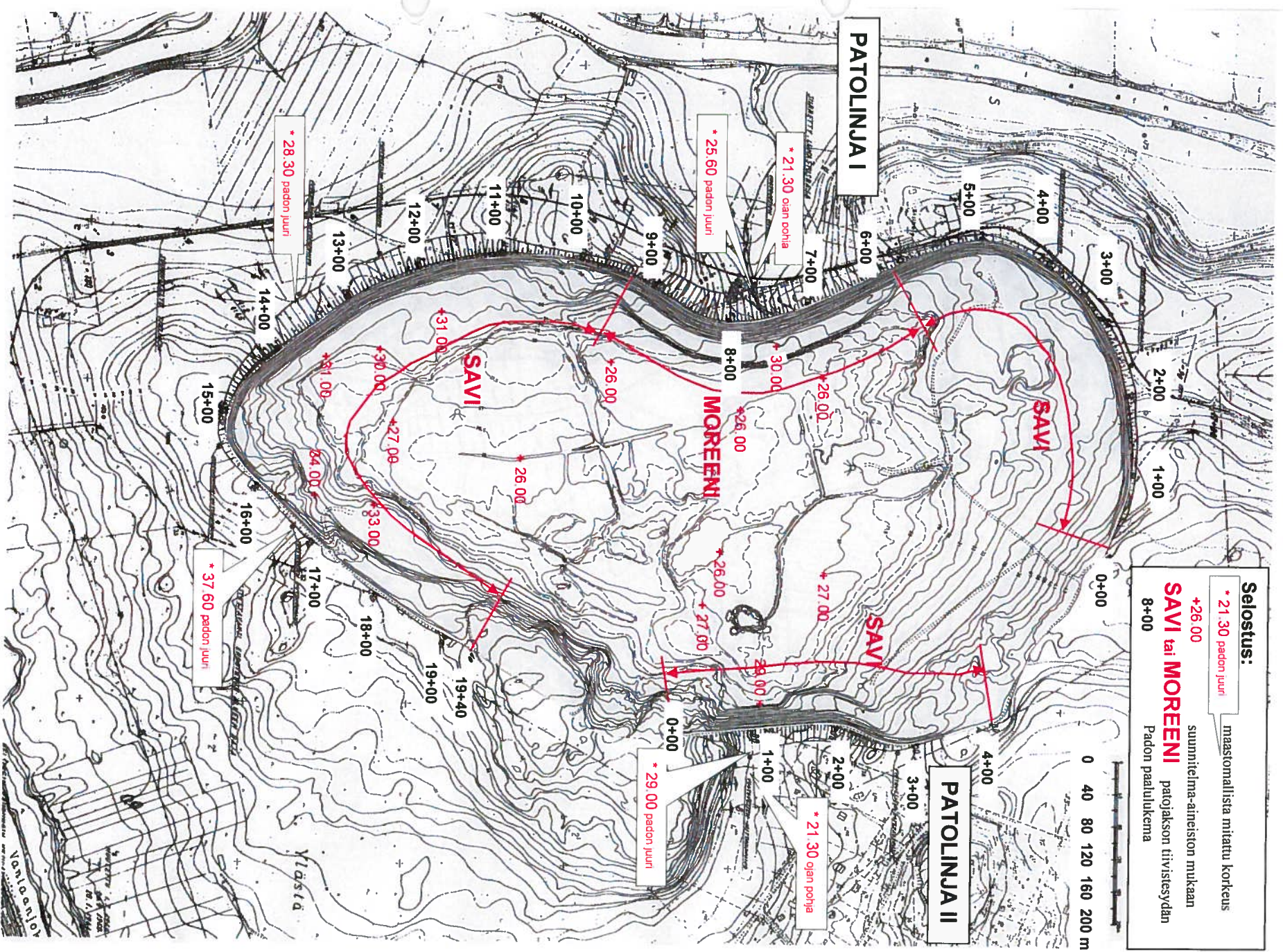
Pato on rakenteeltaan vyöhykepato. Tiivistävänä osana on suurimmalla osalla savisydän, ja padon korkeimmalla osalla morenisydän. Savisydämen leveys on alhaalla, kontaktipinnalla kalliioon 6 m ja sen seinämät ovat lähellä pystysuora. Savisydämen ja tukipengerten välissä on kaksi suodatinkerrosta. Poikkileikkaus padosta, jossa tiivistyssydän on moreenia, on rakenteeltaan samaa kuin savisydänpadolla, mutta sydänvyöhyke on leveämpi ja suodatinkerroksia on vain yksi. Padon korkeimmassa osissa on rakennettu 20 metrin levyiset painopenkereet padon vedenpuolisille juurille, tasoon 30,00-35,00 m.

Silvolan patorakenteiden tiivistyssydämet liittyvät koko pituudeltaan kalliioon. Kallion pinnassa olleita rappeutuneita kohtia louhittiin tai tasoitettiin betonoimalla. Kallio on injektoitu 4,8 metrin syvyyteen, yleensä yhdessä rivissä, paitsi paaluvälillä 10+50 ... 12+00, jossa kalliiossa on kalkkiviivyöhyke. Siellä kallion pinnalle on valettu n. 50 cm paksu betoni-laatta ja injektointi on tehty kolmessa rivissä.

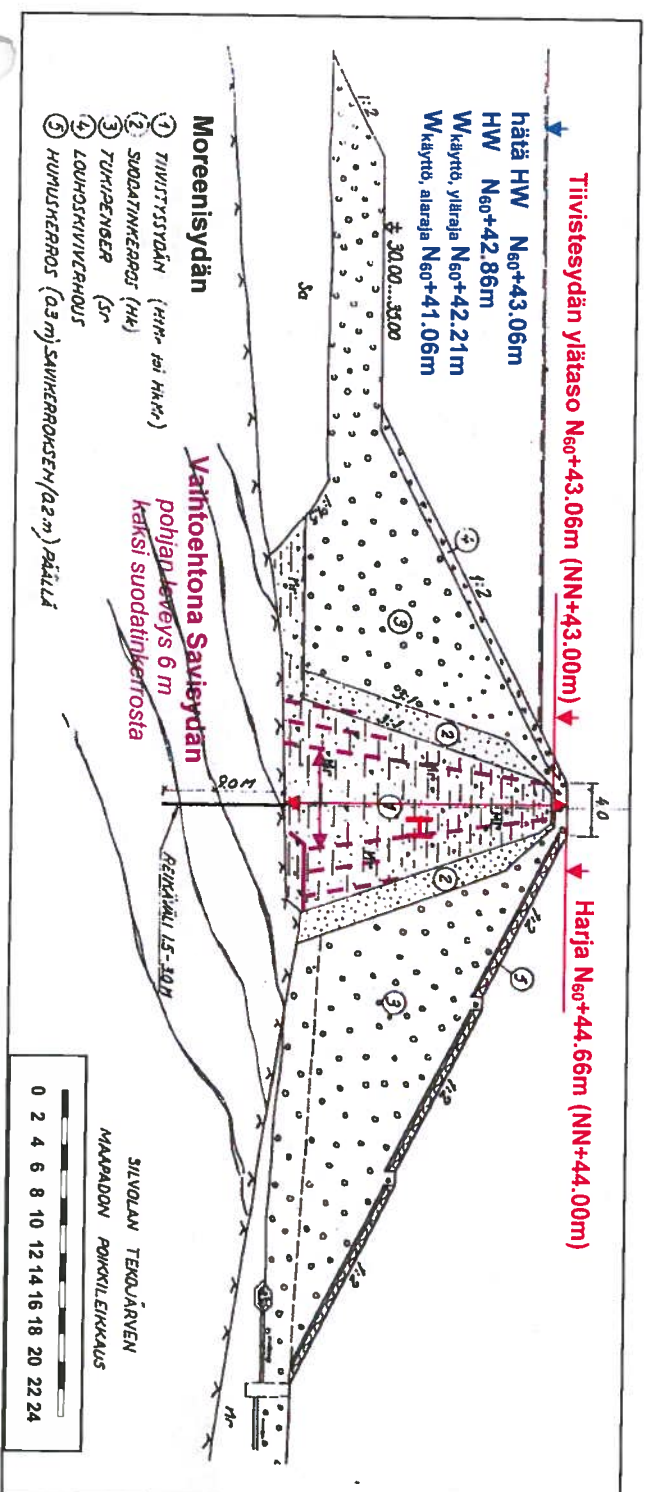
Padon harjalle suunniteltu routasuojaus kevytsoralla on rakennusvaiheessa korvattu korotetulla sorakerroksella. Padon harjan taso on N60+ 44,66m (NN + 44,60m) ja tiivistesydämen yläpinnan taso on N60+ 43,06m (NN + 43,06m). Altaan HW on N60+ 42,06m (NN+42,0m). Täten padon kuivavara on 2,6 metriä ja turvavara 1 metri. Harjan leveys on 4 metriä, luiskien kaltevuus on 1:2, paitsi harjalla missä korotetun sorakerroksen takia luiskat ovat 1:1,5.

Päijänne-tunneli ja sen yhteystunneli järveen kulkevat kalliiossa patolinja II läheisyydessä. Päijänne-tunnelin rakentamisen jälkeen altaan käyttötapana on muuttunut. Sulkukeskuksen laitteiden mennessä epäkuntoon voi Päijänne-tunneli poikkeustilanteessa jonkin aikaa purkautua järveen. Vesimäärä on noin 9m³/s. Tunnelista purkautuvan veden aiheuttaman ylivirtausvaaran takia on louhittu ylisyyöksykynnys kalliioon patolinja II alkupään lähelle. Kynnnyksen purkautumiskäyrän mukaan altaan vedenpinta voi nousta tasolle N60+42,86m (NN+42,80m).

Padon yli on rakennettu lappojointo padon paalun 8+00 kohdalle, altaan pohjan vedenvaihtoa varten. Kolme rinnakkaisista 160mm muoviputkea kulkee altaan pohjalta padon luiskien pinnalla padon ulkopuoliseen ojaan. Harjalla ne on upotettu 0,5metriä harjan sorakerrokseen. Virtaama on yhteensä 200 l/s.



Kuva 1.3 Silvolan altaan pohja ja patotyypin sijainti



Kuva 1.4 Silvolan padon tyypipiirustus

Padon suunnitelman mukaiset perustuskorkeudet on tarkistettu Patoturvallisuuskansio: hakemistosta > Patoturv-kansio 1/5 lehti < olevasta tiedostosta 707L038.tif Pato I ja Pato II keskiiviivan pituusleikkaus. Korkeustiedot on koottu taulukkoon 1.3 patomurtuma-analyyssissä ratkaisevaksi katsottuista patojaksosista.

Taulukko 1.3 Silvolan padon suunnitelman mukaiset perustusten korkeudet N₆₀+m

Pato	Oletettu murtuma-alue	Murtuma-alueen patopäälly		Kohdis-tettu paalu-lukema	Maaston ja perustusten korkeudet			
		alku	loppu		Pohja = kallio	Maapinta patolinjassa	Altaan pohjan korkeus	Padon kuivan luiskan juuren kork.
I	1	5+50	9+50	6+40	20.96	28.47	33/29	
				6+90	22.46	26.95	31/28	
				7+30	22.06	26.31	30/26	25.6/21.3
				8+00	22.91	26.80	31/26	
				8+50	22.22	28.81	32/28	
				11+50	27.95	30.25	33/31	
				12+00	27.15	28.53	32/30	
				12+30	23.91	27.47	31/29	
				12+50	27.47	29.10	31/29	
				13+00	22.54	28.59	31/28.5	28.3
II	4	0+50	2+50	13+30	26.00	28.00	31/28.5	
				13+80	23.15	27.65	32/28.5	28.3
				14+00	28.28	29.67	32.5/29	
				16+30	37.22	40.72	39/34	
				16+40	39.87	40.04	35/33	
				16+60	37.72	38.16	35/33	
				16+80	36.04	38.11	35/33	
				16+90	35.66	38.56	35/33	37.8
				17+00	38.10	40.01	35/33	
				0+50	36.21	36.43	30/28	
0+90	28.49	31.40	29/27	29/28.3				
1+30	32.43	32.65	29/27					
1+50	29.65	32.08	30/27					
2+20	34.54	35.34	36/30					

1.3.4 Silvolan tekoaltaan sijaintivesistö on Vantaanjoen vesistöalue.

Vantaanjoen vesistö kuvataan kattavasti Uudenmaan ympäristökeskuksen raportissa 1/2006, Vantaanjoen tulvantorjunnan toimintasuunnitelmassa (Ville Suhonen ja Kari Rantakokko). Jaljempänä esitetyt vesistökuvaukset ja taustatiedot ovat suorita toistoja en. raportista. Ohessa annetaan viitteitä raportin sivuille.

1.1 Vesistön kuvaus, Uudennaan ympäristökeskuksen raportteja 1 | 2006Sivu 11,

Vantaanjoen vesistöalue sijaitsee Suomenlahden rannikolla pääkaupunkiseudun tuntumassa. Vantaanjoki saa alkunsa Hansjärven kunnan eteläosassa sijaitsevasta Erkyjärvestä ja päätty Vanhankaupunginlahteen. Pituutta pääuomalle kertyy 99 km ja puotuskorkeutta Erkyjärvenlähelle mereen 110 m. Valuma-alueen pinta-ala on 1 686 km² ja järvisyys 2,25 %.

Valuma-alue muodostuu yhdeksästä toisen jakovaiheen osavaluma-alueesta, jotka on nimetty Vantaanjoen sivuhaarojen mukaan. Osavaluma-alueet näkyvät kuvassa 2 ja niiden pinta-alat ja järvisyydet on esitetty taulukossa 2. Yleiskartta Vantaanjoen vesistöalueesta on kuvassa 1. Valuma-alueella on 10 pinta-alaltaan yli 1 km²:n kokoisia järviä (taulukko 1).

Vesistöalueella asuu yli puoli miljoonaa ihmistä ja se ulottuu 14 kunnan alueelle. Väestönkasvu ja elinkeinoelämän muutokset ovat muuttaneet maankäyttöä voimakkaasti. Suuri asukastiheys lisää osaltaan paineita rakentaa yhä lähemmäs vesistöjä niiden luontaisen tulva-alueiden tuntumaan. Rakentaminen on keskittynyt etenkin vesistön alaosaan.

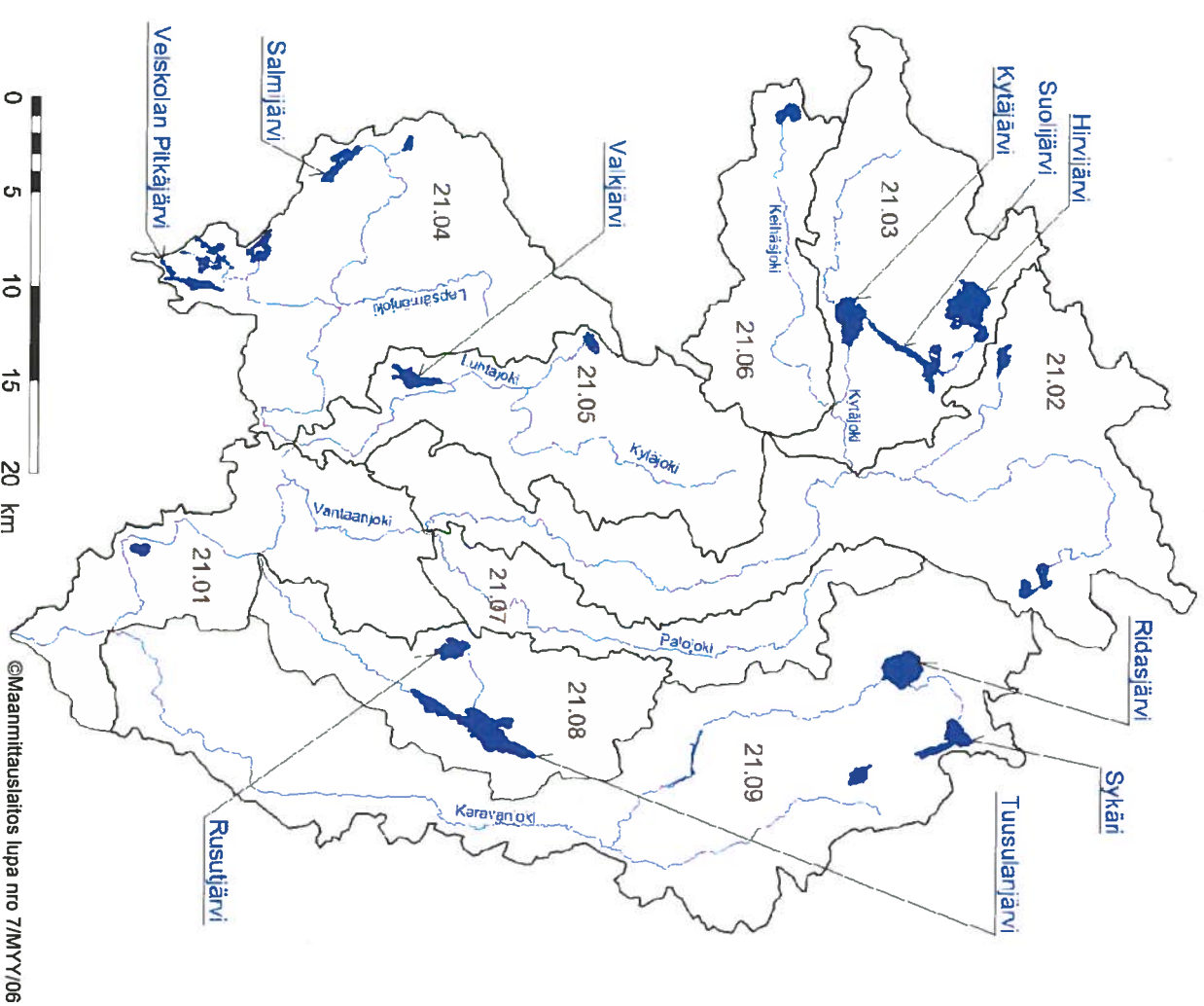
Taulukko (1). Vantaanjoen valuma-alueella sijaitsee pinta-alaltaan yli 1 km²:n kokoisia järviä seuraavasti.

Järvinumero	Järven nimi	Vesiala (km ²)	Valuma-alue (km ²)
21.032.1.001	Kytäjärvi 1)	2,67	138,7
21.033.1.001	Suolijärvi 1)	1,86	6,7
21.033.1.009	Hirvijärvi 1)	4,29	27,2
21.044.1.012	Veskolan Pitkijärvi	1,02	7,6
21.045.1.007	Salmijärvi	1,23	10,6
21.054.1.001	Valkjärvi 1)	1,52	7,7
21.082.1.001	Tuusulanjärvi 1)	5,92	92,2
21.083.1.001	Rasujärvi	1,33	13,4
21.094.1.001	Ridasjärvi	2,97	87,8
21.094.1.002	Sykäri	1,96	19,8

1) Säätämöselty järvi.

Osa Vantaanjoen vesistöalueen järvisiä on säännösteltyjä. Pato-onnettomuustulvan torjuntatoimenpiteenä ei näiden järvien säännöstelykapasiteetit ole riittäviä ja järvet sijaitsevat kaukana altaasta, jotta syntyisi säännöstelyjen avulla lieventäviä vaikutuksia!

Uudenmaan ympäristökeskuksen raportteja 1 | 2006, Sivut 13



Kuva (2). Vantaanjoen osavalmu-alueet sekä suurimmat joet ja järvet

Taulukko (2). Vantaanjoen osavalmu-alueiden pinta-alat ja järvisyysprosentit (Eklholm 1993).

Nro	Nimi	Alaraja	Pinta-ala (km ²)	Järvisyys (%)
21.01	Vantaan alaosa	Suomenlahti	147,13	0,42
21.02	Vantaan yläosa	Palojoki	299,35	0,75
21.03	Kytäjärvi	Vantaa	164,81	6,59
21.04	Lepsämäenjoki	Luntajoki	213,71	3,31
21.05	Luntajoki	Lepsämäenjoki	153,54	1,44
21.06	Keihäsjoki	Kytäjoki	91,35	1,58
21.07	Palojoki	Vantaa	88,41	0,05
21.08	Tuusulanjoki	Vantaa	125,44	5,99
21.09	Keravanjoki	Vantaa	402,18	1,49
21	Vantaanjoki	Suomenlahti	1685,92	2,25

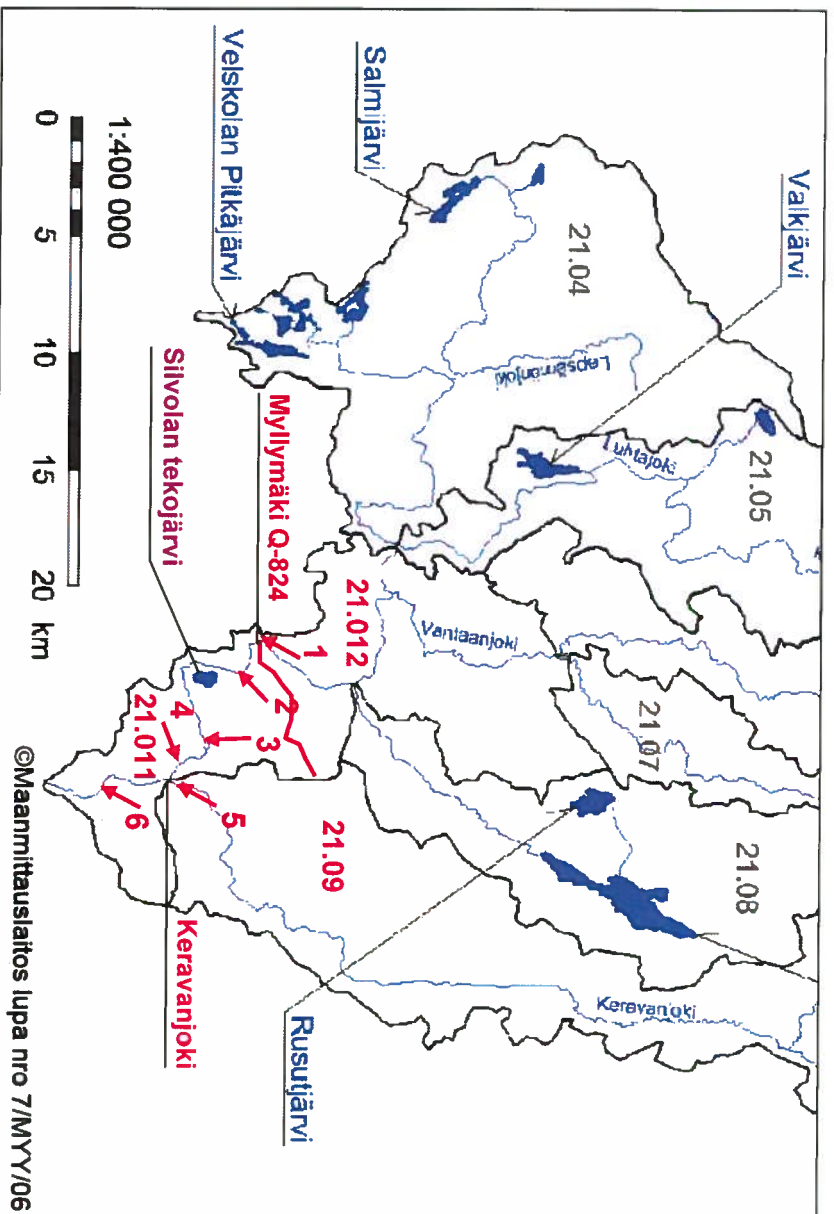
Silvolan altaan läheinen vesistöalue

Silvolan altaan vahingonvaaraselvityksen kannalta on tärkeää tarkistaa altaan lähivesistö alkaen Vantaanjoen Myllykosken tulovirtaamalta. Valuma-alue 21.01 jakautuu siellä seuraavasti:

Taulukko 1.4 Vantaanjoen alaosan osa-alueiden ja Keravanjoen alue 21.09 pinta-alat ja järvisyysprosentit (Ekholm 1993).

Nro	Nimi	Alaraja	Pinta-ala (km ²)	Järvisyys (%)
21.01	Vantaan alaosa	Suomenlahti	147,13	0,42
21.011	Vantaan suualue	Suomenlahti	53,62	1,08
21.012	Seutulän alue	Myllymäki (Q-824)	93,51	0,04
21.09	Keravanjoki	Vantaa	402,18	1,49

Karttaleikkaus: Uudenmaan ympäristökeskuksen raportteja 1 | 2006, Sivut 13, Kuva (2)



Kuva 1.5 Vantaan alaosan aluejako ja tulovirtaamat Vantaan suualueelle.

Silvolan vahingonvaaraselvityksen virtausmallituksessa käytettiin lähtöaineistona Uudenmaan Ely-keskuksen kehittämää HEC-RAS mallia. Mallia käytettiin marraskuussa 2007 julkaistussa Vantaanjoen yksityiskohtaisessa tuuvaarakartoituksessa. Kuvassa 5 esitetyt Vantaanjoen suualueen (21.011) kuusi tulovirtamaa perustuvat tähän HEC-RAS virtausmallissa käytettyihin päätulovirtaamiin. Tulovirtaamat on esitetty taulukossa 1.5. Projektialueen Vantaanjoen virtaamat erikokoisilla virtaamantilanteilla on esitetty taulukossa 1.6 (Vantaanjoen yksityiskohtainen tuuvaarakartointus).

Taulukko 1.5 Vantaanjoen virtaamien suualueen (21.011) tulovirtaamat 2D-virtausmalliin.

No:	Nimi	Tulovirtaaman paikkatieto		
		Vantaan PL	YKJ - x	YKJ - y
1	Vantaa Myllymäki Q-824	17+600	3.382,166.65	6.688,808.65
2	Voutila, oja vasemmalla	16+400	3.383,401.47	6.688,201.52
3	Skrokabäckens vasemmalla	9+200	3.386,918.62	6.686,960.34
4	Näsinoja oikealla	8+000	3.387,250.60	6.685,865.72
5	Keravanjoki vasemmalla	7+236	3.387,995.55	6.685,391.49
6	Longinoja vasemmalla	3+142	3.388,800.61	6.681,931.42

Taulukko 1.6 Vantaanjoen virtaamat eri virtaamatilanteilla Vantaanjoen yksityiskohittaisen tuvavaarakartoituksen mukaan

No:	Nimi	MQ	Tulovirtaama (m ³ /s)					
			HQ0020	HQ0050	HQ0100	HQ0259	HQ1000	
1	Vantaa Myllymäki Q-824	13	154	178	197	221	257	
2	Voutila, oja vasemmalla	13	154	178	197	221	257	
3	Skrokabäckens vasemmalla	13	155.1	179.3	198.4	222.5	258.8	
4	Näsinoja oikealta	13.5	159.6	184.4	203.9	228.7	266.2	
5	Keravanjoki vasemmalla	14	165.1	190.7	210.8	236.4	275.2	
6	Longinoja vasemmalla	17	211.6	243.9	268.5	300.9	351.4	
Q _{out}	Vanhankaupunginkosken yläpuoli PL(1+200)	17	216	249	274	307	357	
	Vantaan suuosan 21.011	1	15.5	17.8	19.3	21.5	23.8	
	Q _{21.011} = Q _{OUT} - Q _{1-Q5}	1						

ALUE 1
ALUE 2

po. 12+0(?)

ks. 5-8.1 Q_{omst}/Q₁₀₀₀

Pato-onnettomuustilanteiden osalta on otettava huomioon, että patomurtuman aiheuttama hetkellinen virtaamalisäys ei ole, vaikka mittava onkin, ainoa vahingonvaarojen aiheuttaja. Silvolan altaan vesitilavuus lisättyinä tulovirtaaman tietyn ajanjakson tilavuuteen synnyttää lisäongelma. Erikoisesti siltatukosten jäiden, uivan aineksen(puut juurineen) ja padosta huuhoutuneiden maamassojen synnyttämät uomatukokset saavat aikaan sen, että joen virtaaman purkautuminen tulee estetyksi ja kohteen ylävirtapuolelle kertyy altaan vesitilavuuden lisäksi myös huomattava osa luonnottuvan volyyministä.

Vuorokausivirtaama kuvaa hyvin mistä uhan suuruusluokasta puhutaan:

10 m ³ /s	→	864 000 m ³ /vrk	→	0,864 milj.m ³ /vrk
100 m ³ /s	→	8 640 000 m ³ /vrk	→	8,640 milj.m ³ /vrk
150 m ³ /s	→	12 960 000 m ³ /vrk	→	12,960 milj.m ³ /vrk
200 m ³ /s	→	17 290 000 m ³ /vrk	→	17,290 milj.m ³ /vrk
300 m ³ /s	→	25 920 000 m ³ /vrk	→	25,920 milj.m ³ /vrk

1.4 Selvityksessä käytetyn tausta-aineiston käyttöluvut ja julkaisuluvat

1.41 Selvityksessä käytetyn digitaalisen lähdeaineiston omistajat:

Digitaaliseen työhön käytetään aineistoa seuraavilta tahoilta:

- **YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta / HSY, SeutuCD'09**
Edustaa useita omistajatahoja joiden kanssa on tehty käyttö- ja julkaisusopimukset
- **Maanmittauslaitos, tietopalvelukeskus**

1.42 YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta / HSY, SeutuCD'09.

Vahingonvaaraselvityksen laadintaa varten luovutettiin konsultille 2.11.2010 aineisto CD:ssä. Konsulttiluovutuksen myöntämä käyttöoikeuden vastuunhenkilö on HSY:n projektipäällikkö Seppo Autere ja konsultti PR Vesisuunnittelu Oy:n puolesta Peter Reiter.

CD:hen sisältyy rekistereitä ja karttoja. Aineistoon liittyy monenlaisia käyttöoikeuksia ja niiden copyright-merkintä on esitettävä kuhunkin tuotettuun kuvaan SeutuCD'09 opaskirjan mukaan. Käyttöoikeus ja sen todistaminen ei vielä oikeuta julkaisemaan tuotettua raporttia. Sitä varten on hankittava julkaisulupa. Käyttöoikeuksien mukaisten reunaehtojen puiteessa on YTV/HSY:n aineiston julkaisuluvat valmiiksi neuvoteltu.

Varsinaisen CD:ssä olevan aineiston lisäksi eri lähetyksenä on toimitettu:

- * Maanmittauslaitoksen 2 metrin ja 10 metrin korkeusmalliaineistot grid-tiedostoina ETRS-TM35FIN koodinaatistossa ja N2000-korkeusjärjestelmässä
- * Maanmittauslaitoksen uusi Maastokartta 1:100 000, jossa on korkeuskäyrät SeutuCD'10

1.43 Maanmittauslaitos, tietopalvelukeskus

Maanmittauslaitos on luovuttanut 26.11.2010 rajoitetun rinnakkaisen käyttöoikeuden PR Vesisuunnittelu Oy:lle numeerisen kartta-aineiston valmistamista varten. Aineisto on korkeusmalliin 2m xyz, N60 ja maastotietokanta + rasterit lehdistä 2034 03D, 2034 06B,D, 2043 02c, 2043 04, 2043 05A,C. Käyttöoikeusluvun numero on TTPA/625/10-M ja lisenssi on voimassa yhden vuoden hankintapäivästä alkaen.

Maanmittauslaitoksella on tekijänoikeus edellä mainittuun numeeriseen aineistoon ja osoituksena tästä jokaisessa tietovälineessä, jossa aineisto toimitetaan, tulee olla
”© Maanmittauslaitos 201.” tai ”Copyright Maanmittauslaitos 201.”. Lisäksi tulee olla esim. maininta: ”Aineiston kopiointi ilman Maanmittauslaitoksen lupaa on kielletty.”

Käyttö lupa ei sisällä minkäänlaista julkaisulupaa. On sovittava erikseen, mikäli aineistoa käytetään julkaisuun, esimerkiksi raporteihin.

2. SELVITYKSESSÄ KÄYTETYT LASKENTAMENETELMÄT JA MALLIT

2.1 Patomurtumasimulointi

2.1.1 Tapahuneiden maapatomurtumien havainnot.

Tunnettuja patomurtumia on koko sarja ja suurimpana ongelmana on saada tilanteet ennen murtumaa ja murtuma-aikaa rekonstruoitua. Selvimät jälkimitauksina todettavissa olevat tiedot ovat lopullinen murtuma-aukon geometria ja murtumavirtaaman erodoima maapato-osa. Myös altaan vedenpinta ja vedenlilavuus ennen murtumaa on yleensä rekonstruoitavissa tai havaittu.

Suurimmat epävarmuusstekijät ovat:

- murtumaprosessin dynaaminen eteneminen
- maapatotyyppejen ja materiaalien vaikutukset murtuman kehitykseen
- altaan tilavuuden vaikutus murtumatyyppiin ja milloin murtuman alkumuoto muuttuu siivutaisuunnitukseksi eroosioiksi.
- edellä kuvatun voimakkaan dynaamikan takia on erittäin vaikeaa saada luotettava tieto murtumavirtaaman maksimiarvosta ja siitä milloin se esiintyy murtumaukon ajallisen kehityksen osalta.

Suunnittakavaaiset patomurtumakokeiden yhteydessä kerätyt tiedot antoivat paljon valaistusta patomurtumaprosesseista. Niitä on käsitelty kiinalais-suomalaisena yhteistyöhankkeena vuosina 1996-1998. Nojassa suoritettiin 2002-2004 erikokoisten ja erityyppisten 6 metrin korkuisten ja 30 metrin levyisten mallipatojen koesarjat.

Yhteenvetona voidaan todeta:

- On saatu käsitys, että murtumaan johdamisen alkuvaiheiden kehitys kestää yleensä pitkään ja se pitäisi voida havaita, mutta valitettavasti tositapahuneissa ei hyvin usein havaitua!
- Kuitenkin murtuma kehityy tietyn kriittisen hetken jälkeen hyvin nopeasti.
- Ymmärretään paremmin maapatojen rakenneseien kuten esimerkiksi tiivistysydämen vaikutus eroosion kehitymiseen.
- Ymmärretään, että murtuma kehityksen sivueroosioilla voi kasvattaa virtaamaa samalla kun murtuma-aukko levenee, erikoisesti silloin kun suuren allasilavuuden takia ei altaan vedenpinnan lasku ratkaisevasti vaikutu.
- Kaikista havainnoista huolimatta ei ole vielä omistuttu kehittämään eroosiokaavoihin perustuvaa ja luotettavaa patomurtumamallia!

Kpl. 1.2.3, Kansainväliset julkaisut kootussa julkaisuissa käsiteltiin jo v.1998 [21] (DSO-98-004) tarvetta saada tilastolliset patomurtumaparametrit käyttöön. Jo silloin verrattiin käytössä olevia menetelmiä. Vuonna 2005 [22] Breachparameters D.Bowles et Al:ssa, käsitellään samaa aihetta ja todetaan edelleen tarve saada lisätietoja parametrejä kehitteässä käytettävästä tausta-aineistosta. Viime vuonna elokuussa 2010 julkaistu artikkeli [25] käsittelee koko tulva-aalolaskentaa sisältäen murtuma-analyysin ja 2D-mallilaskennan, mukaanlukien pääpadon alavirtanuolella sijaitsevien patojen ja vesirakenteiden vikatilanteet ja niistä johtuen murtumaskaenaariot. Artikkelin kirjoittajat eivät välitä pyytää tarjolla olevista parametrimenetelmistä detajitietoja, mutta edelleen käyttävät Froehlichin menetelmällä määritellyä murtuma-aukon lopullista muotoa ja murtuman kehityksen aikaa. Murtuma-virtaama kehitetään siihen sopivalla virtausmallilla.

2.1.2 Tilastollinen murtumatilanteiden määrittely (Froehlichin menetelmä)

DSO-98-004 [21] mukaan tilastolliseen aineistoon perustuvien patomurtumaparametrien kehitys alkoi jo vuonna 1976. Julkaisussa esitetään 10 eri menetelmää, joista viimeisin on Froehlichin vuonna 1995 kehittämä. Froehlich käytti lähdeaineistona 63 patomurtumatietoa, murtuma-aukon muodon (pohjan leveys ja sivujen kaltevuuden) määrittelyssä. Perusteena oli, että suuremmalla osalla lähdetapauksia oli murtuma-aukkosivujen kaltevuus lähellä 1 ja Froehlich ehdotti kiinteäksi arvoksi kaltevuut $z=1$ (vaakaa) : 0.9(pysty). Lähdeaineiston pohjalta Froehlich ehdotti myös, että patoharjan ylivirtauksessa on ollut seurauksena sivueroosio, jonka takia pohja-aukon leveyden kaavassa on lisäparametri K_0 , joka sisäisellä eroosiomurtumalla on 1.0 ja ylivirtausmurtumalla 1.4. Froehlich ehdotti myös käytämään ylivirtausmurtuma-aukossa loivempia sivujen kaltevuuksia $z = 1 : 1.4$.

Pohjamaan valtion patojen vahingonvaaraselvitysten päivityksissä käytettiin samaa kasainvälistä suosiota saatua menetelmää virtausmallilaskentaan Froehlichin parametreilla lähtöarvojen määrittelyssä. Kyseessä on empiirinen menetelmä, joka perustuu 63 havaittun pato-onnettomukseen.

Froehlichin (1995) mukaan maapadon murtuma-aukon lopullinen leveys voidaan määrittää yhtälöllä:

$$B_f = 0.183 K_0 V_w^{0.32} h_b^{0.19}$$

jossa:

$$\begin{aligned} B_f &= \text{murtuma-aukon keskimääräinen leveys} \\ K_0 &= \text{kerroin, 1.4 ylivirtaukselle 1.0 sisäiselle eroosiolle} \\ V_w &= \text{altaan tilavuus m}^3 \\ h_b &= \text{murtuma-aukon korkeus (padon korkeus)} \end{aligned}$$

ja murtuman muodostumiseen kuluva aika yhtälöllä

$$T_f = 0.00254 V_w^{0.53} h_b^{-0.9}$$

jossa:

$$T_f = \text{murtuma-aukon muodostumiseen kuluva aika (h)}$$

Menetelmän sopivuudesta on koottu kansainvälisten asiantuntijoiden kommentit taustaraporttiin.

Froehlich kehitti myös parametrimenetelmän patomurtuman huippuvirtaaman määrittämiseksi. Lähdeaineisto oli huomattavasti suppeampi kuin muiden parametrien osalta ja vain 22 kpl.

$$Q_p = 0.607 V_w^{0.295} h_w^{1.24}$$

jossa:

$$\begin{aligned} V_w &= \text{altaan tilavuus m}^3 \\ h_w &= \text{veden syvyys murtuma-aukossa} \end{aligned}$$

ks myös PATU-kurssi: 07_Huokuna_vahingonvaaraselvitykset.pdf (kalvot 25 –27)

2.1.3 Murtumasimulointi virtausmallin avulla

Virtausmallina käytettiin samaa 2D-virtausmallia, joka alustavasti kuivan maaston päällä etenevän tulva-aallon simuloinnikyvyn takia sopii hyvin myös murtumavirtaaman simulointiin. Korkeusmalli täydennettiin altaan pohjageometrialla ja maapatojen märkien luiskien tiedot. Kuivia maapato-osia oli jo ennestään korkeusmallissa. Malli ei simuloi patomurtuman eroosiota vaan sille annetaan syöttödatana seuraavia tietoja:

- Murtumakohdan paikkatiedot (koordinaatit)
- Altaan vedenpinnan taso murtumahetkellä (N60-m)
- Oletusarvona patomurtuman pohjan korkeus (N60+m)
- Froehlichin analyysin tuloksena saatu lopullinen murtuma-aukon leveys B_f (m)
- Froehlichin analyysin tuloksena saatu murtuman kehityksen aika T_f (h)

Kiinteänä arvona annetaan murtuma-aukon seinämien kaltevuus $z = 1/0.9$.

Mallin murtuma-rutiini laskee altaan ylävedenpinnan tasosta alkaen laskenta-aika-askelta kohden aina uutta geometriaa, kohti annettua loppumuotoa. Käytössä on kaksi mahdollisuutta:

1. altaan vedenpintaan asti ulottuva aukko on saman levyinen kuin pohja-aukon leveys.
2. altaan vedenpinnalle asti ulottuva aukko on pohjaltaan alkuhetkellä annettun kokoinen ja laajenee ajan myötä kohdi lopullista, annettua leveyttä B_f .

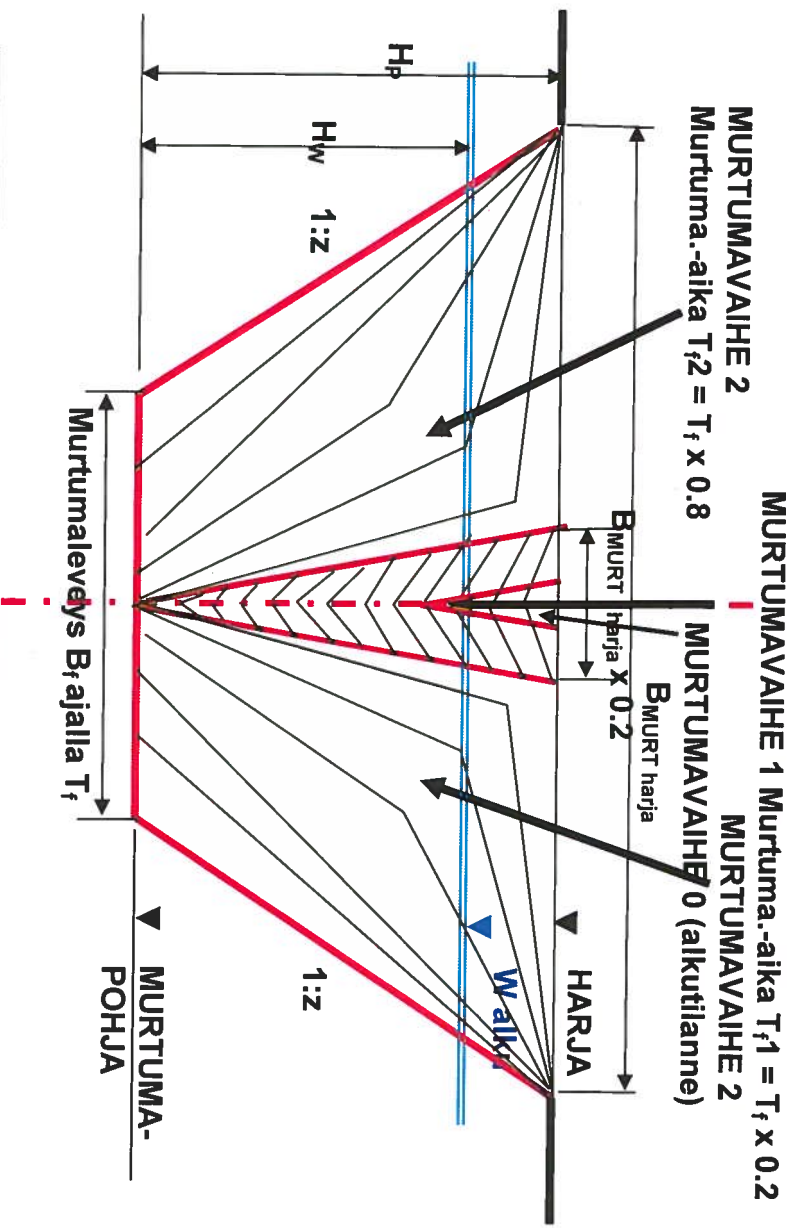
2D-mallin ominaisuuksista johtuen, ei varsinaista pohjassa syntyvää sisäistä eroosiota simuloida. Havaintoihin perustuen voidaan kuitenkin todeta, että virtaamien kehityksen ja huippuvirtaaman osalta ei ole suuria eroja tuloksissa.

Alustava patomurtuma-analyysissä selvitettiin useat skenaariot ja tutkittiin mallilaskennan tuloksia kahdella eri murtuman kehitystä simuloivalla apumallilla. Lopullisessa analyysissä käytettiin edelleen kehitettyä murtumarutiinia ja erikokoisia ja syvyydeltään alustavasta analyysistä poikkeavia murtumia. Kaikki alustavan analyysin tulokset on siirretty Tausstaraporttiin.

Lopullista patomurtuma-analyysistä varten kehitettiin mallilaskennassa käytettyjä murtumaparametreja samalla Froehlichin menetelmällä kuin alustavassa analyysissä.

2D-patomurtumamalli kehitettiin edelleen lopullista analyysistä varten. Alkuvaiheen vuotovirtaama ajalla $T_{murt} = 0.00h$ simuloitiin pienenä V-aukkona, josta murtuma kehittyi kaksivaiheisena ja saavuttaa annettun tilastoanalyysin avulla määrättyllä leveydellä B_f ja murtuma-ajalla T_f . Uuden ratkaisumenetelmän kaaviokuva on kuvassa 2.1.

0-luokan



Kuva 2.1 Patomurtumien ajanmukainen kehittäminen 2D virtausmallilla kaksivaiheisena

2.2 Silvolan vahingonvaaraselvityksessä käytetty 2D virtausmalli.

2.2.1 Yleistä

Silvolan vahingonvaaraselvitystä varten on ollut tarkoitus kehittää 2D virtausmalli CFD laskenta-algoritmien pohjalta. Tätä menetelmää on käytetty lukuisin sovellutuksin teollisessa virtausmallituksessa (turbiini ja hyvin erikoiset virtauskoneet), mutta myös avooma virtauslaskennassa ja järvien ja merenlahtien vedenlaatuselvityksiä palvelevassa 2- ja 3 D virtauslaskennassa. Silvolan altaan vahingonvaaraselvityksen tekijät CFD-Finland (Prof. Huachen Pan) ja PR Vesisuunnittelu Oy (DI Peter Reiter) ovat saaneet erinomaiset kokemukset Tammerkosken monissa virtausmallitustehävissä. CFD-menetelmä soveltuu kuitenkin parhaiten aina määälle sovellutukselle, kuten virtaus Tammerkosken reunamuurien välissä.

Silvolan tapaus on aivan toinen. Murtumakohdalta etenee tulva-aalto alkuperäisesti kuivien alueiden yli ja alueen monimuotoisuuden takia virtaus voi edetä käytännöllisesti katsoen mihin suuntaan vaan! Aluksi kuiva alue voi pysyä virtauslaskennan ajan märkänä, mutta voi myös hyvin nopeasti kuivua tietyn ajan kuluessa. Päätettiin kehittää Silvolan vahingonvaaraselvityksen virtauslaskentaa varten aivan uusi ja parhaiten tapausa hallitseva malliteknologia.

Mallin kehitystavoitteet olivat:

- Mallin on oltava rakenteeltaan sellainen, että sillä voidaan mallittaa koko projektialueen virtaamat ja erikoisselvitykset, kuten itse patomurtuma, silta-aukkojen tukokset jne.
- Mallilla on voitava hyödyntää maastomallin 2m ruudukko hyväksi suoraan laskentaverkkona (grid).
- Laskenta-algoritmien on kyettävä hallitsemaan nopeasti etenevän tulva-aallon kulkua alussa kuivan maaston yli ja hallitsemaan myös elementtien kuivumisista kun tulva-aalto on kulkenut ohi.
- Mallitustekniikan on kyettävä hallitsemaan patomurtumatulva-aaltojen voimakkaat kiitovirtausilanteet ja jyrkän aaltokärjen muotoja. Sen on myös kyettävä simuloimaan nopeat virtausyppien vaihtelut kiitovirtauksen ja verkasvirtauksen välillä.
- Mallitusteknologialla on oltava hyvät referenssit ja testitulokset teoreettisen, analogisen verifiointiaineiston ja todellisten sovellutusten osalta.
- Algoritmien on oltava selkeitä ja robustia

Mallin kehityksen numeeriseksi perusrungoksi valittiin tavoitteisiin sopiva ja käytännössä testattu numeerinen menetelmä G.Gottardin ja M.Venturinin vuonna 2004 julkaistusta artikkelista [26]. Menetelmä ratkaisee 2D matalan veden virtausyhtälöt eksplisiittisen aikaetenenemisen ratkaisumenetelmän avulla. Tutkijat nimittivät julkaisussaan menetelmän ”keskitetyksi menetelmäksi (Central Scheme)”. Todellisuudessa se on toisen kertaluvun ylävirtamenetelmä (2nd Order Upwind Scheme). Äkillisten virtaamamuutosten ja jyrkkien tulva-aaltojen kärkien eliminoiniseksi sovellettiin ohjelmaan aerodynaamikkassa käytettyä korkeatasoista flux-vector-splitting menetelmää. Pitkään kehitetty ja selkeä perusohjelmisto tarjosi hyvän kehityspohjan. Testiajojen pohjalta voidaan todeta, että menetelmä toimii häiriöttä ja kykenee hyvin simuloimaan huomattavat kiito- ja vaihtovirtaamatilanteet ja nopeasti etenevät patomurtuma-aallot sekä kuivan alueen kuten myös veden päällä. Mallilaskennan aika-askelleeksi on testiajojen ja laskentastabiilisuuden pohjalta määritely 0.025 sekuntia!

2D-Silvolan virtausmallin kehitys perustuu Prof. Huachen Panin kirjoitukseen (liite 5.1)

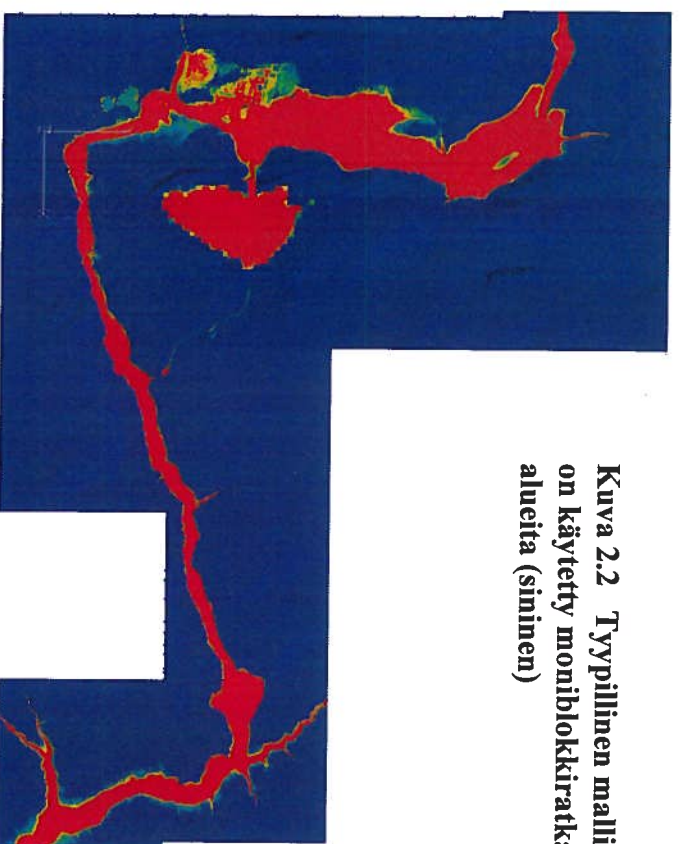
2.2.2 Kuivan maaston peitto ohuella vesikalvolla (thin water film) ja elementin kostumisen ja kuivumisen ratkaisu

Ohuen vesikalvon on oletettu peittävän kuivan osan mallitetusta maastosta. Kalvon paksuus on 0.00001 m. Kastumisen ja kuivumisen ratkaisumenetelmä (WAD) ei ole varsinainen teoreettinen menetelmä, vaan ohjelmoiminn tehtävä. Tässä mallin kehitystyössä käytetty ratkaisu antaa ohjelman määrälliä vedensyydydet laskentatoiminnassa olevan verkkosolun ympärillä olevien solujen vedensyydydet. Mikäli kaikilla ympärillä olevien vesikalvon paksuus on annettua paksuutta (esim. 1mm) pienempi, on ne ja myös niiden keskellä olevan solun oletettu olevan kuiva. Ohjelma lopettaa siellä kaikki laskentatoimitukset ja siirtyy seuraavaan kohteeseen. Mikäli yhdessä naapurisolussa on vedensyyvyys suurempi kuin annettu raja-arvo, alkaa ohjelma taas laskentatoimitukset.

On selvää, että laskennan suorittaminen ainoastaan määrillä solulla säästää huomattavasti laskenta-aikaa. Ohuen kalvon käyttö alustavasti ”kuivien” alueiden simuloimiseksi on laajasti käytetty menetelmä. Yleensä on kysymys tasasten tulva-alueiden alkutilanteen simuloimisesta. Silvolan malli on vaatinut edelleen kehittämistä koska padon lähialueella on osittain hyvin jyrkkiä vuoriluiskia, josta ohutkin vesifilmi seuraa painovoimaa ja alkaa virtaa.

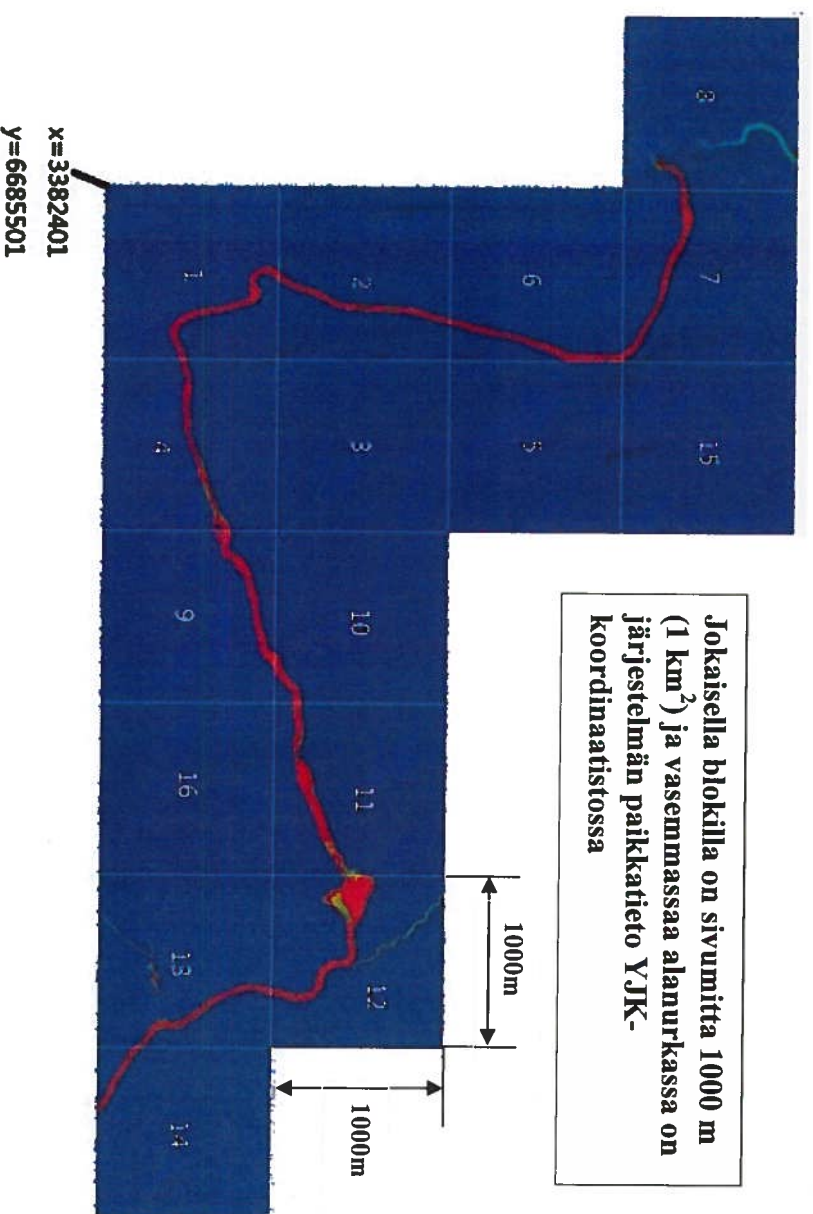
2.2.3 Laskentaverkon (mesh) kehitys ja Moni-blokki menetelmä

Veden virtauksen eteneminen kuivan maaston poikki riippuu niin monesta tekijästä, ettei laskennalla käsiteltävää aluetta voida tarkasti määrittellä. Voidaan tietysti arvioida laskenta-alue, mutta on oltava valmis laajentamaan aluetta tarvittaessa. Joustava laskentaverkon menetelmä (meshing technique) on kehitettävä! Laskentaverkoksi otettiin käyttöön suoraan maastomallin 2m ruudukko. Tällöin voidaan saavuttaa ainuttautinen tarkkuus, mutta tietokoneen laskenta-aika (cpu-tarve) tulee kasvamaan huomattavasti. Silvola mallissa käytämme Moni-blokki konseptia (multi-block concept). Mallialue on jaettu moniin nelionmuotoisiin osa-alueisiin, kooltaan 1 km². Osa-alueitöistä kootaan tarvittavia kokonaisuuksia virtauslaskentaan.



Kuva 2.2 Tyypillinen mallilaskenta-alue, jossa on käytetty moniblokkiratkaisua ja jossa on kuivia alueita (sininen)

Kuva 2.2 näyttää tyypillisen laskenta-alueen, jossa sininen väri näyttää kuivan alueen (Ohut vesifilmi). Muut värit näyttävät tulvan peittämän alueen ja osittain kuivana olevan tekoaltaan. Punainen väri tarkoittaa tässä, että tulva-aallon vedensyvyys on korkeampi kuin 1 metri. Silvolan virtausmallin moniblokki järjestelmän numerointi ja YKJ-koordinaatit on esitetty kuvassa 2.3.



Kuva 2.3 2D-virtausmallin ALUE 1:n moniblokkien numerointi ja koordinaatit

2.2.4 Reunaehdot

Koska kastumisen ja kuivumisen (wetting and drying WAD) menetelmiä käytetään, ei tarvita määrittellä kuivien ja märkien alueiden välistä rajaa (reunaehdon), joka olisi määriteltävissä jokaisessa aika-askeleessa. Tässä reunaehto määrittellään suoraan laskenta-algoritmossa. Mikäli tyypillisessä raja solussa ei selviä, onko solu kuiva vai märkä, asetetaan se ei sisääntulovirtaamia sallivaksi ja virtaama voi ainoastaan purkautua sieltä. Mikäli joki virtaa reunaehdon läpi, on määriteltävä jokaiselle solulle virtausnopeus, sen vektori ja vedenpinta. Virtausnopeudet saadaan jakamalla tulo- tai lähtöpoikkileikkauksen tunnettu virtaama jokaiselle poikkileikkaukselta jakavalle laskentaverkon solulle. Varmoin 2D-mallin alapuolinen reunaehto on suuren ja riittävän syvän vesialueen, meren tai järven vedenpinta ja vapaasti kehittyvä vedennopeusparvi.

2.2.5 Mallilaskennan lähtötilanteet

Järvien tai jokiuomien lähtövirtamatilanteet voidaan kehittää juoksuttamalla tunnettua virtaamaa kuivaan tai pienemmän virtaaman kuljettamaan jokiuomaan. Uoman täyttämisen saattaa kuluttaa huomattavasti laskenta-aikaa, kunnes tarvittu tasapainoinen tasavirtamatilanne on saavutettu. Toinen vaihtoehto on asettaa joen vedenpinta halutulla virtaamalla tunnettuun korkeuteen, koko jokiuoman pituudella. Myös tässä tapauksessa tarvitaan aikaa saavuttaa em. tasopainotilanne ja vedenpinta saattaa nousta tai laskea. Verifiointi suoritetaan tunnettua vedenpinta/virtaaman pituusprofiilia käyttämällä.

2.3 Mallin verifiointi ja laskennassa käytetyt karkeuskertoimet

Käytettävissä oleva mallin verifiointitaineisto on ainoastaan 1D HEC-Ras mallilla tuotettu aineisto, jossa tavanomainen poikkileikkausväli oli 200m. Laskentavaatimusten mukaan interpoloitin koskijaksosissa lisäpoikkileikkauksien väli ja poikkileikkausväliksi tuli siellä 50m tai 20m. Vesistörakenteille, kuten pohjapadoille ja silloille annettiin rakenteiden geometrian vaatimat poikkileikkaukset. Vantaanjoen HEC-Ras malli kalibroitiin ainoastaan yhden tulvavirtaaman (2004) vedenpintahavainnoilla. Vuoden 2004 tulva oli virtaaman mukaan selvästi HQ20 pienempi ja toistuvuudeltaan noin HQ 5 – HQ10. Keravanjoen HEC-Ras malli kalibroitiin vuoden 2004 havaintojen lisäksi myös vuoden 1966 tulvahavaintoja käyttäen. Vuoden 1966 tulva oli poikkeksellinen ja toistuvuudeltaan 1/200 vuotta.

HEC-Ras mallin tulokset voidaan pitää vain suuntaa antavina arvoina ja on pyrittävä käyttämään 2D-mallilaskennan muissa projekteissa käytettyjä ja perusteltuja arvoja. Niistä on mm. ranskalainen alan EDF:n asiantuntija ryhmä raportoinut RESDAM-projektin virausmallitus-raporttissaan.

1D-mallilaskennan karkeudet (Manning "n") sisältävät 200 m poikkileikkausväliässä tapahtuvat poikkileikkausten muodon ja pinta-alan vaihtelut, uoman mutkitelun (geometriset komponentit), kasvillisuuden ja pohjan karkeuden. 2 D mallin laskentaverkon solun (elementin) koko on yleensä 5-10 m ja Silvolan tapauksessa vain 2 m!

2m:n ruudukolla pystytään huomioimaan kaikki e.m. karkeuskertoimen geometriset komponentit laskenta algoritmin avulla ja karkeuskorttoimeksi jää kasvillisuus ja uoman karkeus.

Ranskalaisten asiantuntijoiden ohjeistus jokiuomien 2D-mallituksen Manning "n" karkeus on 0.025 – 0.030- 0.033!

Perusverifiointi laadittiin karkeuskertoimella n=0.030

Luonnontulvalaskennassa on pidettävä vedenpintojen laskentatulosten tarkkuus tärkeänä, koska yleensä ovat veden virtausnopeudet lähellä 1 m/s-luokkaa. Pato-onnettomuuden vahingonvaaraselvityksessä käytetty tärkein tekijä on vahinkoparametri tai tulvaintensiteetti, joka muodostetaan vahinkokohteessa esiintyvän vedensyvyyden (D) ja virtausnopeuden (V) kertonnaislukuna $V \cdot AHP \cdot RAM = v \cdot D$ (m^2/s). Laskentatuloksista (kontinuiteetti) on johdettavissa, että karikkeutta lisäämällä saadaan vedenpinta nousemaan ja virtausnopeus pienenee.

Kartkeuden pienennys vaikuttaa vastaakkaisesti. Kertomaisluvuun muodostus elemi noi kartkeuskertoimen mahdolliset virheet. Tulva-aallon etenemisnopeus on kuitenkin sidottu oikeansuuruisen kartkeuteen.

Verifiointitulokset ovat:

MQ: Verifiointi pyrittiin tekemään laserkeilauksessa Vartaanjoen ja Keravanjoen vesipinnalta tapahtuneen heijastusten korkeustietojen pohjalta. Tämä epäonnistui laserkeilauksen aineiston epäloogisten korkeuserojen takia. Tarkistettiin 2D laskennan vedenpinnat HEC-RAS poikkeileikkausaineiston merkinnän ”Bank station:in” mukaan. Kaikki laskennan vedenpinnat sijoituvat tämän merkinnän alapuolelle, mitä pidettiin riittävän tarkkana paromurtuma-tulvalaskentaa silmällä pitäen.

HQ₅₀: Varsinainen verifiointiaineisto ei ollut käytettävissä. Ohjeellisenä tietona HQ 50 tulva-virtaamien aikaisista vedenpinoista käytettiin yksityiskohtaisen tulvaarakartoituksessa käytetyn HEC-RAS 1D mallin tuloksia. Hajonta on ollut suhteellisen suuri ja on vaikeasti selostettävissä. Yleensä on 2D laskenta tuottanut joissakin jokijaksossa yli 0.5 m korkeimmat vedenpinnat kun 1 D-laskenta, vaikka Manning kartkeuseroimena käytettiin n=0.03. Suoritetiin herkkyysanalyysi kartkeuseroimilla 0.02 ja 0.01. Näillä luonnollisille liian sileillä kartkeuksilla ei ollut kovinkaan suurta merkitystä ja vedenpinnat laskevat ainoastaan 15%.

Vedenpintojen 2D mallilaskentatulokset suhteessa 1D HEC-Ras laskentatuloksiin nähdn ovat:

No:	Vartaanjoen jokijako:	W2D – W1D
1.	12+00 – 49+02 (Kehä 1 KL-silta)	-0.08m +0.10m max +0.20m
2.	49+02 – 71+28 (Keravanj. tulo)	+0.24m +0.35m max +0.50m
3.	71+28 – 99+00 (Ruutinkosken alap)	+0.52m +0.60m max +0.75m
4.	99+00 – 140+00 Ruutinkoski – Viherkumpu	-0.3m +0.10m max +0.18m
5.	140+00-159+00 Viherkumpu-Ylästöntien silta	+0.26m +0.50m max +0.75m
6.	Keravanjoen mallitusjaksossa ovat 2D vedenpinnat yhtymäkohdasta Kirkonkylän myllypatoon asti noin 0.50 m korkeammat kuin 1D mallin tulokset. Tämä johtuu yhtymäkohdan noin 0.5 m. korkeimmista vedenpinoista.	

Kommentit:

- Jakso sisältää Pikkukosken, Savelan jakson ja Pukimäen rautatiesillan ja Kehä I:n siltojen välisen jakson. 2D ja 1D laskennat antavat samansuuruiset tulokset.
- 2D ja 1D mallien tuottamien vedenpintojen erot kasvavat tasaisesti noin 0.13 metristä 0.54 metriin (dW=+0.41 m). Mikäli kartkeutena käytettäisiin n=0.01 olisi vastaanvanlaiset arvot 0.04m ja 0.39 m (dW=+0.35m).
- Sama kumulatiivisesti vaikuttava ero kuin edellisessä jaksossa todettu nousee 1D ja 2D mallien tuottaman vedenpinnan ero Ruutinkosken alavirtanpuolella +0.75metriin. Mikäli kartkeudeksi sovellettaisiin n=0.01 jäisi silti 2D laskennan vedenpinta noin 0.5 m. 1D vedenpintaa korkeammaksi.
- Jaksossa sijaitsee koskia ja niiden välissä tasaisia jaksoja. Koskijaksojen vedenpinnat ovat 2D mallissa n.0.50m 1D mallia alhaisemmat, mutta tasaisilla koskien välillä vedenpintaerot tasoittuvat. tulva-araojen kannalta ei jaksolla ole kovin suurta merkitystä. Silvolan sillan ja Viherkummun asunalueen välisen jakson vedenpintojen ero on noin 0.1-0.2m.
- Samaa kumulatiivisesti vaikuttava ero kuin edellisissä jaksossa 2 ja 3 on todettu nousee 1D ja 2D mallien tuottaman vedenpinnan ero ja Ylästön tiesillan ylävirtanpuolella on noin 0.75 m. Mikäli sovellettaisiin kartkeudeksi n=0.01 jäisi silti 2D laskennan vedenpinta noin 0.6 m 1D vedenpintaa korkeammaksi.

2.4 Mallilaskennan tulostusjärjestelmä

2.4.1 Yleistä

2 D mallilaskenta, jonka laskentaverkko perustuu #2 metrin maastomallin ruudukkoon, tuottaa valtavan määrän tuloksia. Tulosten käyttö on myös monimuotoista:

- Tulokset, joilla voidaan mallilaskennan verifiointia suorittaa ja joita voidaan käyttää raportointia varten
- Tulokset, jotka palvelevat tulvakartoja
- Taulukkotulokset vahingonvauraan määrittelyä varten
- yhteenvetotaulukot ja graafiset esitykset raportointia varten

2D mallilaskennan tuloksena saadaan maastomallin ruudukon (YKJ-x ja y koordinaatit) päälle määritellyt virtausnopeudet v_x ja v_y suuruus ja suunta ja vedenpinta W . Kun tunnetaan kohteen maastokorkeus z (N60+ m) voidaan laskea vedensyvyys D (m) ja virtausnopeuden maksimiarvo ja vektorin suunta (kulma pohjoissuunnasta lasketuna). Laskenta etenee aika-askeleen ja halutulla tulostusaika-askeleella voidaan siis tuottaa em. arvoja ja säilyttää ne tietokantaan tai tiedostoihin.

Tulva-aallon peittämä alue on noin 20 km pitkä (17.6 km Vantaanjoki ja 2.4 km Keravan-joen osa) ja noin 200-500 m levyinen sivuttaissuunnassa. Laskennan tulvapinta-ala on noin 20 km x 0.35 km = noin 7 km². #2 m ruudukkoverkolla (maastomalli ja virtausmalli) ovat 1 km² 250 000 ruudukko ja Siltölan vahingonvauraselvityksen mallissa noin 7 x 250 000 = 1,75 miljoona ruutua.

Mallin käyttämä ratkaisumenetelmä on laskentavarma mutta, vaatii hyvin pienen aika-askeleen, $dt = 0,01$ sec. On siis selvää, ettei kaikkia laskentatuloksia voida säilötä. On sovittu, että kaikki laskentatulokset säilötään 6 minuutin välein (0.1 h). Tätä kiinteää aika-askelta käytetään sekä kartoituksia varten säilytyssä XYZ-datassa, kuin myös kaikissa taulukoissa. Mikäli halutaan laatia joidenkin tapausten, kohtien tai aikajaksojen animaatiot on se määriteltävä erikseen, koska siihen ei 6 minuutin kuvaväli ole riittävä.

Malliverkkoon sidotut tulokset ovat kaikkien muiden tulosten lähtökohdana. Eri tulostusmuotoja voidaan saada aikaan laskennan yhteydessä etukäteen annettussa formaatissa. Raskaan ja pitkiä laskenta-aikoja vaativassa mallilaskennassa on tästä etuna, että laskennan edetessä voidaan tarkistaa tulokset, poimia laskennan alkualueiden tuloksia tai maksimiarvoja sen jälkeen kun laskenta on päässyt huipparvojen ohi. Laskenta voidaan suorittaa loppuun ja prosessoida tulokset halutuissa formateissa jälkiprosessoinnin avulla.

2.4.2 Tulokset, joilla voidaan suorittaa mallilaskennan verifiointia ja joita voidaan käyttää raportointia varten

Vesistöissä on yleensä puute kalibroinnissa ja verifoinnissa tarvittavista havainnoista. Usein on havaintojen puutteista johtuen kalibrointi mahdollonta. Verifiointi tehdään soveltaen laskentatulokset harvoin ja joskus epävarmoin havaintoihin käyttäen avuonmahydrauliikan yleistietoja. Tulostusrakenne riippuu käytettävissä olevista havainnoista. Jokuoman vedenpinnan pituusprofiilit voidaan muodostaa antamalla esimerkiksi tunnettujen jokipoikkileikkausten koordinaatit ja poimia mallilaskennasta tasapainotetun tasavirtaamatilanteen vedenpinnan korkeudet tai dynaamisen laskennan alkutilanteen ja maksimitilanteen arvot.

Raportoinnissa saattaa tulla tarvetta esittää tulokset eritavalla kuin alempana esitetyt muut tulostusmuodot. Tulostusrakenne on kehitettävä tarpeen mukaan.

2.4.3 Tulokset, jotka palvelevat tulvakarttoja

Tulvakartat ovat vahingonvaarojen esittämisessä tärkeitä työvälineitä. Tarkat tulvakartat palvelevat hyvin kun vahingonvaarat kartoitetaan ja yleisesityksille on määriteltävä toinen mitakaava. Silvolan altaan alapuoliset alueet ovat pääasiassa tiheästi asuttuja pientaloalueita ja vahinkokohteiden suurilukuisuus yllätti. Peruskarttatasoiset mittakaavat 1:20000 –1:25000 ovat Silvolan vahingonvaaraselvityksen tekijän mielestä liian karkeita. Yleisluonteisesti palvelevat mittakaavat olisivat 1:10000-1:15000 ja detaljeja esittävän kartan mittakaava olisi valittava 1:5000 mittakaavaiseksi.

Vahingonvaaraselvityksille määritetty tulvakarttojen sisältö esitettävistä parametreista. Esityksiä tarvitaan seuraavista laskentatuloksista:

- vedenpinta W määrittäytynä aikoina (tulva-aallon eteneminen) tai vedenpinnan maksimikorkeus katsomatta siitä, milloin maksimi on kohteessa esiintynyt.
- eri vedensyvyyydet, maksimivedenpintojen mukaan. Eri syvyyksalueita voidaan ehostaa kartassa eri värein.
- samantyyppisenä kuin veden syvyyyskarttaesitykset voidaan laatia virtausnopeus karttoja. Yleensä kuitenkin virtausnopeuksien erot ovat tulva-alueella niin pieniä, että paremman kuvan varingonvaarasta saa käyttämällä
- vahingonvaaraparametrin VD:n karttoja, jotka on porrastettu eri tasoista vahingonvaara-alueista.

Veden SYVYY- virtausnopeus, vahinkoparametriporrastuksista löytyy ohjeistusta paroturvallisuusoppaasta 2010. Myös tulvan etenemisestä kuvaavista vedenpeittävyysien aikaskenaarioista löytyy ohjeistusta samasta oppaasta. Patoturvallisuusoppaassa määritellään huomattava määrä asioita, jotka on esitettävä kartoissa. Tämä yhdessä suuren määrän laskentatapausien kanssa, kasvattaa karttojen määrää. Kartat voidaan tehdä eri mittakaavoissa ja vaikka kaikkia tapauksia käsitäväksi. Tulosteena olisi kuitenkin käytettävä valikoitua ja lukumäärältään harvennettua aineistoa.

Kartoituksen printattavissa oleva kartta on yleensä Adobe pdf formaatissa. Sähköisesti Adobe-pdf tiedosteina toimitetut kartat voidaan kuitenkin tietokoneella suurentaa 400-800 %:iksi. Tällöin tulee detaljeihin menevä tarkkuus myös printtausta mahdollistamasta formaatista, eikä kartan mittakaavassa ole sähköisessä käytössä suurta merkitystä.

2.4.4 Taulukkotulokset vahingonvaaran määrittelyä varten

A)) **Maximiarvot määrittelyille paikoille:** Vahingonvaara määritellään yleensä maximiarvojen pohjalta. Vedenpinnan maximiarvon esiintymisaajan $T_{max} = T2$ lisäksi määritellään aika, jolloin tulva-aalto saapuu vahinkokohteseen Talku=T1 ja aikaa jolloin tulva on laskenut tasoon, jossa ei ole enää vaaraa Tloppu=T3.

Silvolan vahingonvaaraselvityksessä määritellään vahingonvaarat vahinkokohdelistan avulla. Vahinkokohteet on määritely ennen laskennan alkua. Alueella 1 oli käytössä 202 tulostuspisteiden taulukkorakennetta, mutta niistä käytettiin vain 156 kpl. Alueella 2 laajennettiin 156 pisteen taulukko 400:lle eli Alue 2:ssa on käytössä 244 kohdetta.

Taulukossa olevat tulospaarametrit ovat seuraavissa sarakkeissa:

- T_elev kohteen pohja tai vaarakorkeus
- W_start $z(N_{60+}m)$ kohteen pohja tai vaarakorkeus
- T_alku $W_{alku}(N_{60+}m)$ Vedenpinnan korkeus laskennan alkuehkellä:
alussa kuivan alueen kriteeri on $T_elev = W_{start}$
Aika, jolla $W = W_{start} + 0.2m$ tai annettu vahinkokorkeus.
- T_alku T_alku voidaan määrittellä myös vahinkokohteen lähellä olevan
hydrograafitulostuksen avulla.
 $T_{max} = T_{0+h}$ Maksimivedenpinnan esiintymisaika
- T_max $W_{max}(N_{60+}m)$ Maksimivedenpinnan korkeus
- v_max $v_{max}(m/s)$ Maksivirtausnopeus
- AnglMax v_{max} suunta (°) Pohjoissuunta on nolla ja virtaussuunta kellon
suunnan mukaan
- Damage $Dv(m^2/s)$ Vahinkoparametri (vedensyvyys x virtausnopeus)
- Twend TW_{loppu} Tulo on laskenut alkutilaan tai korkeuteen, jossa
vahinkoja ei synny

Lasketatulosten taulukon vienti vahinkokohdelistaan selostetaan tämän raportin kappaleessa 5

B)) Hydrograafitaulukot: Määrityille kohteille ALUE 1 (28 kpl) ja ALUE 2 (44 kpl) eli yhteensä 72 paikalle tulostetaan 6 paarametriä 6 min aikavälein. Paarametrit ovat:

- depth D (m) vedensyvyys
 - N60 W ($N_{60+}m$) vedenpinnan korkeus
 - speed v (m/s) virtausnopeus
 - direction maksimivirtausnopeusvektorin suunta asteena pohjoissuunnasta
alkaen
 - qx200m $Qx(m^3/s)$ kohteen x-päävirtaussuunnassa purkautuva virtaama
 - qy200m $Qy(m^3/s)$ kohteen y-päävirtaussuunnassa purkautuva virtaama
- Taulukkotulokset on viety Exceltaulukoon, jossa voidaan koota eri kohteiden yhteisesitykset ja tuottaa kuvia. Taulukkolaskennan avulla voidaan kahdesta taulukosta laskea kolmannen paarametri, kuten esimerkiksi vahingonvaarapaarametri $Dv(v^2/sec)$

2.4.5 Yhteenvetotaulukot ja graafiset esitykset raportointia varten

Yhteenvetotaulukot kehitetään erikseen, eikä suunnitella etukäteen laskentamallin yhteyteen. Siihen tarkoitukseen sopii taulukkolaskentaohjelma, kuten esimerkiksi MS Excel.

3. PATOMURTUMA-ANALYYSI

3.1 Padon murtumaoleusten, murtumapaikkojen ja murtumaparametrien valinta

3.1.1 Patomurtumaoleutukset

Silvolan pato on perustettu kuivalle maalle, eikä vesistön luonnolliset virtaamat purkaudu altaan kautta, lukoontamatta tekojärveä ja sen hyvin pienen valuma-alueen synnyttämiä tulovirtaamia.

Tämä poistaa padon harjan / (taso N60+ 44.66m) ylipurkautumisen mahdollisuuden.

Suurin riski olisi se, ettei Päijänne-tunnelista tekojärveen purkautuvaa virtaamaa saada suljettuksi, sulkukeskuksen käyttöhäiriön takia. Jonkin aikaa voi tekoaltaaseen purkautua maksimissaan noin 9 m³/s vettä.

Altaan tavanomaisen käytön vedenpinnan ylä- ja alarajat ovat:

Tavanomainen käyttö, yläraja N60+ 42.21m (NN+42.15m)

Tavanomainen käyttö, alaraja N60+ 42.06m (NN+42.00m)

Laitossuunnitelman mukaan voidaan vedenpinnan nousua estää erilaisia tyhjennysratkaisuja käyttäen. Tyhjennyskapasiteetti on altaan normaalikäytön ylärajalla N₆₀ + 42.21 m (NN+ 42.15m) 8-15 m³/s. Patoturv-kansio 1/3lehti, Silvolan altaan vedenpinnan haitallinen nousu nousu olisi tällöin estetty. Vedenpinnan haitallisen nousun estämisen varmistamiseksi on louhimalla kallioon rakennettu kiinteä ylisyyksykynnys altaan idänpuoliselle reunalle tasoon N60+ 42.36m (NN+ 42.30m)/Pati-kansio Kynnysen leveys on 15.00 m

Q ylisyyksy = $2/3 * 0.6 * 15.0 * (2g)^{0.5} * H^{3/2}$

Taulukko 3.1 Silvolan tekoaltaan hätäkynnysen purkautumiskäyrä

W (N60+m)	H (m)	Q (m ³ /s)
43.36	1	26.6
43.26	0.9	22.7
43.16	0.8	19.0
43.06	0.7	15.5
42.96	0.6	12.3
42.86	0.5	9.4
42.76	0.4	6.7
42.66	0.3	4.4
42.56	0.2	2.4
42.46	0.1	0.8
42.36	0	0.0

*hätä-HW: NN+43,66
HW - NW + 42,06*

Tulvakyynnysen avulla on varmistettu, ettei altaan vedenpinta voi nousta hätätilanteissaan yli HW tason NN60+42.86 (NN+42.80m). HW taso on alempi kuin tiivistesydamen harjataso N60+ 43.06m (NN43.00m).

Tiivistesydamen ylipurkautumisvaaraa ei ole.

Tämä kuitenkin ei poista riskiä, että tiivistesydamen yläpinta alenee paikallisesti ja murtuma kehittyä tällaisesta paikasta!

HSY:n ilmoituksen mukaan Pitkäkosen vesilaitos voi toimia vaikkeusitta altaan vedenpinnalla N60+ 41.06m (m+ 41.00m). Altaan vedenpintaa voidaan alentaa nopeasti silloin kun tästä on patoturvallisuuden kannalta hyötyä. Esimerkkinä tuli esille, että poikkeukselliset tulvavirtaamat Vantaanjõesa saattavat aiheuttaa suuremman vahingonvauraan, jos pato sortuu korkeammalla vedenpinnalla kuin alennetulla. Asian selvittämiseksi on sovittu oma virtauslaskenta.

Silvolan vedenpinnan laskiessa alle N60+ 40,06m (NN+40,00m), Pitkäkosen laitoksen vedenotto vaikeutuu ja loppuu tasolla NN+38,00. Tällöin voidaan siirtää kuormitusta Vanhankaupungin laitokselle tai käyttää suoraa Päijänne-tunnelia.

Murtumasy 1: Todennäköisimmät murtumasytyt voivat olla sisäinen eroosio padon läpi koko korkeudeltaan

Murtumasy 2: Tuhoystönä rikotaan padon harja vedenpintaan asti, jolloin ylipurkautuminen alkaa.

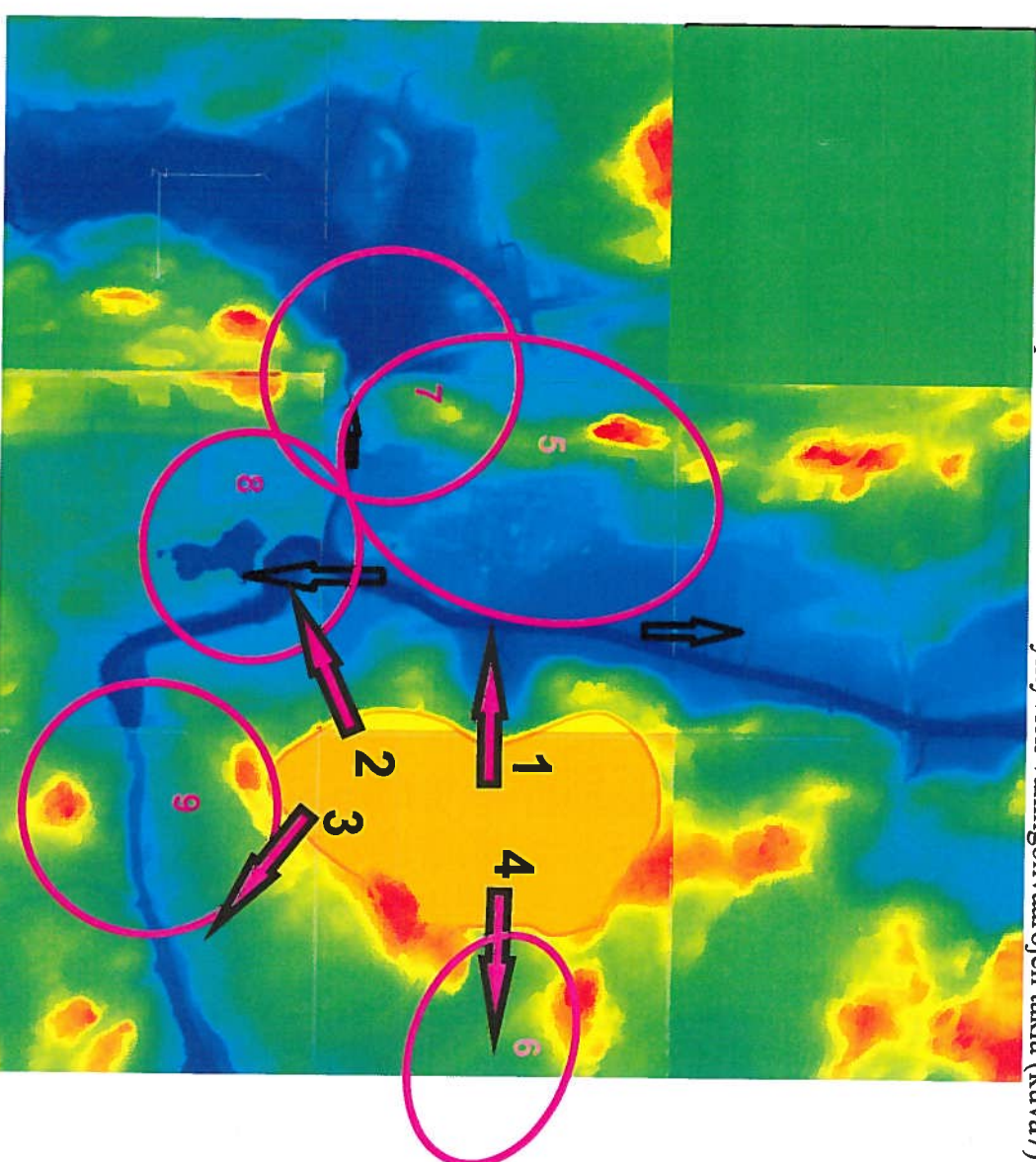
Molemmat murtumaoletukset johtavat samantyyppiseen murtumakehitykseen ja murtumasta purkautuvaan virtaamahydrografiin (aikaan sidottu virtaama) vaikuttavat seuraavat alkutekijät:

- Murtuma-aukon pohjatason korkeus (N_{60+m})
- Padon korkeus H_b (m)
- Altaan murtumahetken vedenpinnan korkeus H_w (N_{60+m}) ja sen mukaan altaan vedentilavuus V_w (m³)
- Murtuma-aukon pohjan lopullinen leveys M_r (m). Suuntaa-antavat luvut saadaan Froehlichin menetelmästä
- Murtuma-aukon seinien kaltevuus voidaan valita suhteellisen jyrkkäksi Silvolan altaan suhteellisen pienen vesitilavuuden suhtautuksen padon korkeuteen takia. Froehlichin tilastollisesti todettu kaltevuus on noin 1:1. Silvolan altaan osalta on sopivaksi katsottu 0.9:1.
- Murtumakehityksen nopeus T_r (h), jossa alku on silloin kun virtaama on selvästi havaittavissa ja loppu kun murtuman pohjan kehitys on loppunut

Altaan vedenpintojen vaikutukset analysoidaan eri korkeuksilla ja pohja-aukon korkeus määritellään tämän selvityksen kpl 1.3.3 taulukko 3:n pohjalta.

3.1.2 Murtumapaikkojen valinta

Padon pituusleikkausta ja patoa ympäröivää maastoa tarkastellen on valittu neljä murtumakohtaa, niiden alapuolella mahdollisesti syntyvien vahingonvaarojen takia (kuva 7).



Selostus:

1, 2, 3, 4 Mahdolliset murtumapaikat ja tulva-aallon purkautumis suunnat

5, 6, 7, 8, 9, Huomiioon otettavia kohteita altaan lähialueella.

Kohta 5 ja 6 Pientaloalueet mittavassa vahingonvaarassa

Kohta 7 Tulva-aallon mahdollinen bifurkaatio viereiselle Mätäjoen valuma-alueelle (mahdollinen kevytliikenneiden, isojen teiden aitusten kautta).

Kohta 8 Vetokannan virkistysalue (rakenteilla)

Kohta 9 Pitkäkosken vedenottoamo, pato, Silvolan silta ja niiden alavirtapuolella sijaitseva putki+kävelyysilta ja kapea ja jyrkkä jokinoma tulevat aiheuttamaan padotusta patomurtumakohdista 1 ja 2 purkautuville tulville. Siltatukokset tulevat syventämään ongelmia!

Kuva 3.1 Silvolan patojen murtumakodat ja potentiaaliset vaara-alueet

Silvolan patolinjojen pinnusleikkaus 707L038.tif on katkaistu, kukin murtumakohta erikseen käsiteltäväksi (liite 4.1).

Murtumakohtien paikat on pidetty samana koko analyysin ajan tulosten vertailukelpoisuuden takia. Tämä ei tarkoita, ettei murtuma voisi tapahtua murtumien osalta noin 100 metriä pääkohdasta vasemmalla- tai oikealla puolella, Pääkohda on kuitenkin valittu padon alapuolisen maaston ja ojiston mukaan, joka antaa purkauhvalle virtaamalle suunnan. Neljän murtumakohdan paikkatiedot padon harjalla on esitetty YKJ-koordinaatein ja patopaalunumeroina taulukossa 8. Patomurtuma-analyysin valittujen murtuma-aukkojen korkeudet on esitetty taulukossa 9

Taulukko 3.2 Patomurtumakohtien paikkatiedot

Pato- ja murtumanumero	Pato-PL	YKJ-x	YKJ-y
Pato I – MURT 1	Pato-PL 7+50	3383437.00	6687019.00
Pato I – MURT 2	Pato-PL 13+60	3383440.00	6686450.00
Pato I – MURT 3	Pato-PL 16+73	3383680.00	6686450.00
Pato II – MURT 4	Pato-PL 0+90	3383950.00	6686988.00

3.1.3 Patomurtuma-analyysissä käytetyt altaan vedenpinnan korkeudet ja murtuma-aukkojen pohjien korkeudet

Varsinaisen patomurtuma-analyysin edellä on suoritettu testilaskenta yksinkertaistetulla, murtumarutiinilla. Tällöin murtuma eteni samalla leveydellä padon vedenpinnan tasolta kohti lopullista pohjankorkeutta. Tarkoituksessa analyysissä oli saada käsitys kuinka yhteneviä tuloksia Froehlichin virtaamakaava antaa mallilaskennan tulosten kanssa. Toinen syy on ollut hakea ensituntumaa vahingonvauraa-alueiden koosta ja tulvan etenemismopeudesta padon lähialueella. Patomurtuman simulointijärjestelmän kytkennän suoraan 2D-virtausmalliin avulla, on voitu joustavasti täyttää tämä tavoite.

Alustavassa analyysissä tutkittiin sarja murtumia kahdella eri vedenpinnalla:

Hätä-HW = tiivistesydämen ylätaso..... N₆₀+ 43.06 m (NN+43.00m)

Wkäytön yläraja N₆₀+ 42.21 m (NN+42.15m)

Tulosten ja lähtöarvojen tarkistuksessa todettiin, että veden nousu Hätä-HW:n tasoon on estetty niin monella tavalla, että veden nousu yli viralliseen HW tasoon ei ole mahdollista. Ennakoivaa toimintatoimenpiteitä silmällä pitäen päätettiin selvittää vedenpinnan korkeus, jolloin Pitkäkosken vesilaitokselle ei synny vielä käyttöhäiriöitä. Vesilaitoksen puolesta määriteltiin tämä vedenpinnan tason NN + 41.00 metriksi

Lopullisessa analyysissä tutkittiin sarja murtumia näillä kahdella eri vedenpinnalla:

HW N₆₀+ 42.86 m (NN+42.80m)

W häiriöttömän käytön alaraja N₆₀+ 41.06 m (NN+41.00m)

Analysoitujen murtumakohtien korkeudet on esitelty jokaisessa murtumakohdekuvassa ja valintaperusteet on annettu. Erikoisesti korkeiden patojaksujen osalta murtumakohdat on sijoitettu lähelle perustustasoa, joka on padon rakennusselostuksen mukaan käytännöllisesti sama kuin kallio, johon koko pato on perustettu.

Taulukko 3.3 Patomurtuma-analyyssissä käytetyt vedenpintakorkeudet ja murtuma-aukkojen pohjakorkeudet

MURT-AUKKO	ALTAAN W (N ₆₀ +m)	Murtuman pohja-aukon korkeus (N ₆₀ +m)			Huomautus
		Murt 1- pohjakorkeus	Murt 2- pohjakorkeus	Murt 3- pohjakorkeus	
MURT 1	Hätä 43.06	27.06	25.56	25.06	alustava analyysi
	HW 42.86	27.86	27.06	25.06	lopullinen analyysi
MURT 2	W _{käyttö} 42.21	27.06	25.56	25.06	alustava analyysi
	W _{käyttö-min} 41.06	30.06	27.06	25.06	lopullinen analyysi
MURT 3	Hätä 43.06	27.56	27.06	26.06	alustava analyysi
	HW 42.86	29.56	26.06	25.06	lopullinen analyysi
MURT 4	W _{käyttö} 42.21	27.56	27.06	26.06	alustava analyysi
	W _{käyttö-min} 41.06	30.06	26.06	26.06	lopullinen analyysi
MURT 1	Hätä 43.06	38.06	37.06	35.66	alustava analyysi
	HW 42.86	38.06	37.06	37.06	lopullinen analyysi
MURT 2	W _{käyttö} 42.21	38.06	37.06	35.66	alustava analyysi
	W _{käyttö-min} 41.06	38.06	37.06	35.66	lopullinen analyysi
MURT 3	Hätä 43.06	31.06	30.56	30.06	alustava analyysi
	HW 42.86	31.06	30.06	29.06	lopullinen analyysi
MURT 4	W _{käyttö} 42.21	31.06	30.56	30.06	alustava analyysi
	W _{käyttö-min} 41.06	31.06	30.06	29.56	lopullinen analyysi

Alustava analyysi Lopullinen analyysi

vain Froehlichin analyysi vain Froehlichin analyysi

+ 2D mallilaskenta Froehlichin parametr + 2D mallilaskenta Froehlichin parametr

3.2 Padon alustavan murtuma-analyyssin tulokset

3.2.1 Yleistä

Alustavan murtuma-analyyssin avulla määriteltiin ensiksi kolmelle murtumapaikalle Froehlichin menetelmän avulla ja 20 eri yhdistelmälle, käyttäen altaan eri vedenpintoja (2 W-pintaa) ja eri murtuma-aukkojen pohjankorkeuksia (3 pohjaa). Murtumakohdassa 3 käsiteltiin vain kahdella vedenpinnalla yhtä murtumapohjaa. Laskentaa varten tarvittavat tiedot, kuten lähtökorkeudet, altaan tilavuustaulukko ja kaavat vietiin Exceltaulukkolaskentaohjelmaan. Laskenta- ja tulostustaulukot ovat liitteessä 4.2. Kaikista 20 tapauksesta on myös laskettu murtumasta purkautuva maksimivirtaama.

Tulostuksista käytettiin neljän valitun tapauksen (ks taulukko 9) vedenpintaa, murtuma-aukkoa, pohjan korkeutta ja Froehlichin analyyssin tuloksista aukon pohjaleveyttä $B_f(m)$ ja murtuman kehitysnopeutta $T_f(h)$ virtausmallin murtumalähtötiedoksi. Froehlichin analyyssin tulosten yhteenveito on taulukossa 10, jossa virtausmallin syöttödata on ehosettuna.

Neljästä mallilaskennan tuloksesta poimittiin murtuma-aukossa olevat tiedot, kuten aika (sec) ja siihen liittyen virtaama (m^3/sec), aukosta purkautunut vesivolyyymi, altaassa oleva vesivolyyymi ja purkautuvan virtaaman nopeus. Neljän tapauksen tulokset on taulukkoarvoina ja graafisesti taustaraportin liitteineistossa 4.3.

3.3 Alustavan patomurtuma-analyysin tulosten tulkinta ja murtumatapausten valinta jatkolaskenta varten

Froehlichin analyysin tulokset perustuvat laajaan aineistoon patomurtumia. Kriittikkiä on, että suurin osa aineistosta koskee pieniä ja keskikokoisia patoja. Mainittiin, että patojen korkeudet olisivat olleet lähinnä 20 metriä. Tämä kriittikki osoittaa Silvolan padon osalta sen, että aineisto on varmasti kelyollinen kuvaamaan hyvin Silvolan mahdollisen patomurtuman suuruusluokkaa.

Lukuunottamatta murtumakohtaa 3, joka sijaitsee suhteellisen korkealla ja josta tutkittiin vain sieltä purkautuvan tulva-aallon vaikutuksia välittömästi sen alapuoliselle alueelle (aluesuunnittelua varten). Kolmessa muussa murtumakohdassa nähdään on sieltä purkautuva virtaama on huomattavasti pienempi suuruusluokaltaan, vain 250 – 400 m³/s.

Murtumakohdat 1 ja 2 ovat samantyyppisiä, mutta alapuolisten alueiden takia vaikutuksiltaan hyvin erilaisia. Tätä ei oteta huomioon murtumatapahtumaa analysoidessa, vaan alapuoliset vaikutukset käsitellään erikseen. Altaan lähtövedenpinnasta ja murtuma-aukon pohjankorkeudesta riippuen ovat Murtuma-aukon lopulliset leveydet Bf/aikaa Tf 43-45 m/0.72-0.77h, HW vedenpinnalla ja 40-43 m/ 0.69-0.73h alimmalla käyttövedenpinnalla. Idänpuolelle murtumakohdasta 4 purkautuvan aallon murtuma-aukon vastaavanlaiset arvot ovat Bf/Tf 42 (39)m ja 0.80 (0.75)h.

Murtuma on hyvin nopea, mutta myös muut tilastolliset menetelmät tai havainnot tukevat Froehlichin analyysin tuottamia raja-arvoja. Muiden tutkijoiden tulokset johtaa samoihin tai vielä nopeampiin murtuma-aikoihin ja suurempiin virtaamiin. (ks. Taus-araportti)

Murtuma-analyysin 2D mallilaskenta tehtiin mallilla, joka ulottuu Silvolan altaan Vantaanjoen ylävirtaan, Myllymäen Vantaankosken alapuolelle asti (Vanha Viilatahdas). Alavirran suuntaan on malli ulotettu Tuusulan tien silloille asti, mutta epäselvään purkautumiskäyrän takia käytetään tulokset Ruutinkosken ylävirtanpuolelle (PL 102+00) asti. Uomassa on lähtövedenkorkeutena käytetty korkeusmallin havaintohetken vedenpinta, joka on selvästi tulvavaaralaskennan HQ 20 vedenpintoja alempi ja oletettua vastaavan MQ-aikaista vedenpintaa, jonka tarkkoja korkeuksia ei ollut käytettävissä.

Mallin käyttöön, myös murtuma-analyysin aikana laajemmalla alueella, päädettiin kahdesta syystä:

1. **Murtumavirtaaman purkautumiseen mahdollisia alaveden patoavia vaikutuksia pystytään ottamaan huomioon luotettavasti huomioon.**
2. **Purkauksessa syntyvät voimakkaat dynnaamiset virtausolannot vaikuttavat tulvan purkautumisessa lähialueen vaarakohtiin. Valitulla ratkaisulla virtauskentät kehittyvät ilman häiriötilanteita, joita olisi syntynyt kun murtuma-analyysissä todettu virtaama olisi sytetty jokimalliin.**

Valinta jatkolaskennassa käytetyistä murtumatapaustista lähialueen (ALUE 1) lopullisiin laskentatapauksiin ja myös ALUE 2:n laskentatapauksen valinta voidaan tehdä murtumakohtien 1, 2 ja 4 tässä esitettyjen ”MQ”-aikaisten laskentatapauksen pohjalta (tämän raportin kpl. 4). Murtumatapausten 3:n aineisto riittää sen vahingonvaarojen todentamiseen. Sen virtaamat ovat selvästi muita em. murtumakohia pienemmät ja vahingonvaaroja syntyy lähinnä altaalta Vantaanjokeen laskeutuvilla metsäisillä rinteillä.

Alustavassa patomurtuma-analyysissä käsiteltiin neljää Silvolan altaan vedenpintaa:

N₆₀₊ 43.06m, altaan tilavuus V=5,8 miljoonaa m³ vettä, Härä-HW, mikä todettiin teoreettiseksi korkeudeksi (tiivistesydamen harja), jonka korkeuden saavuttamisen mahdollisuus on estetty.

Laskentatulokset jäävät teoreettiseksi ääriarvoiksi

N₆₀₊ 42.86m, altaan tilavuus V=5,65 miljoonaa m³ vettä, Virallinen HW taso, mikä sisältää veden jakelukeskuksen vikatilanteen. Jostain syystä altaaseen purkautuu vettä Päijätneetumellista ei kontrolloidusti.

Jatkolaskentaa varten käytettäväksi valitaan tämän altaan ylävedenpinnaksi!

N₆₀₊ 42.21m, altaan tilavuus V=5,43 miljoonaa m³ vettä, Altaan tavanomaisen käytön yläraja. Tulosten osalta ei ole ratkaisevaa virtaamien pienenemistä havaittavissa. **Tuloksia ei esitetä jatkolaskentaan!**

N₆₀₊ 41.06m, altaan tilavuus V=4,88 miljoonaa m³ vettä Altaan alaraja, jossa Pitkäkosken vesilaitos toimii häiriöttä. Altaan vedenpinta voi laskea tähän tasoon kriisitilanteissa ja mm. suurtulvan uhatessa. Murtuman voidaan olettaa pienenyvän altaan alhaisen vedenpinnan, pienemmän vesitilavuuden ja korkeimmaksi jäävän murtumapohjan takia.

Taulukossa 14 esitetyjen laskentatapausten ja patojen murtumakohtien perustamiskorkeuksien, altaan ja kuivampuolisten luiskien juurten korkeuksien pohjalta, valitaan murtuma-aukkojen pohjakorkeudet jatkolaskentaa ja mahdollisia lisäselvityksiä varten.

3.4 Lopulliset patomurtuma-analyysin tulokset

Lopullisen patomurtuma-analyysin laskenta tehtiin 7. tapaukselle, kuten oli sovittu neuvonpidossa patoturvallisuusviranomaisien kanssa 8.3.2011. Taulukossa 3.6 esitetyistä tapauksista jää mallilaskennasta pois tapaus MURT 3NW. Lopullisen patomurtuma-analyysin tulostaulukko on Taulukossa 3.6 ja murtumahydrograafien graafinen vertailu on kuvassa 3.2.

Taulukko 3.6 Murtumakohtien todennäköisiksi katsotut murtumaparametrit ja maksimivirtaamat altaan kahdella lähtövedenpinnalla

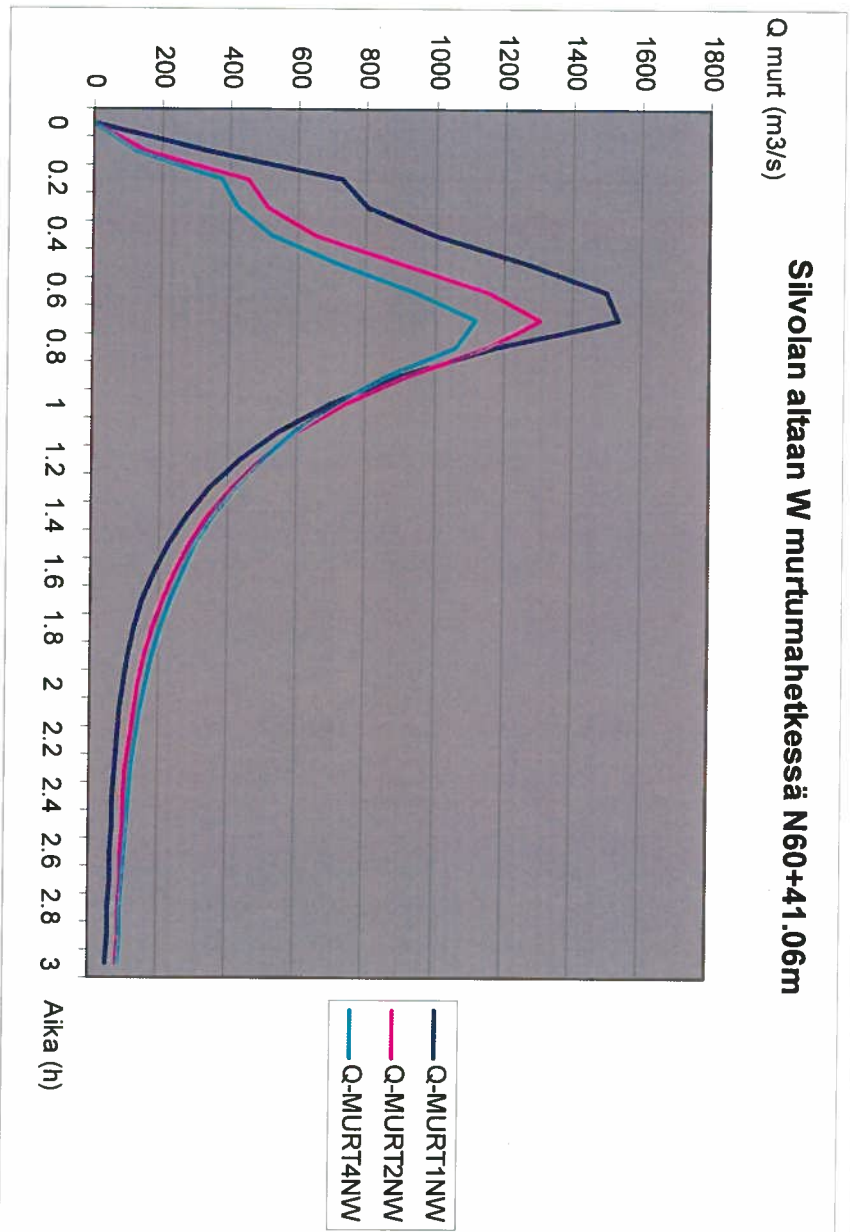
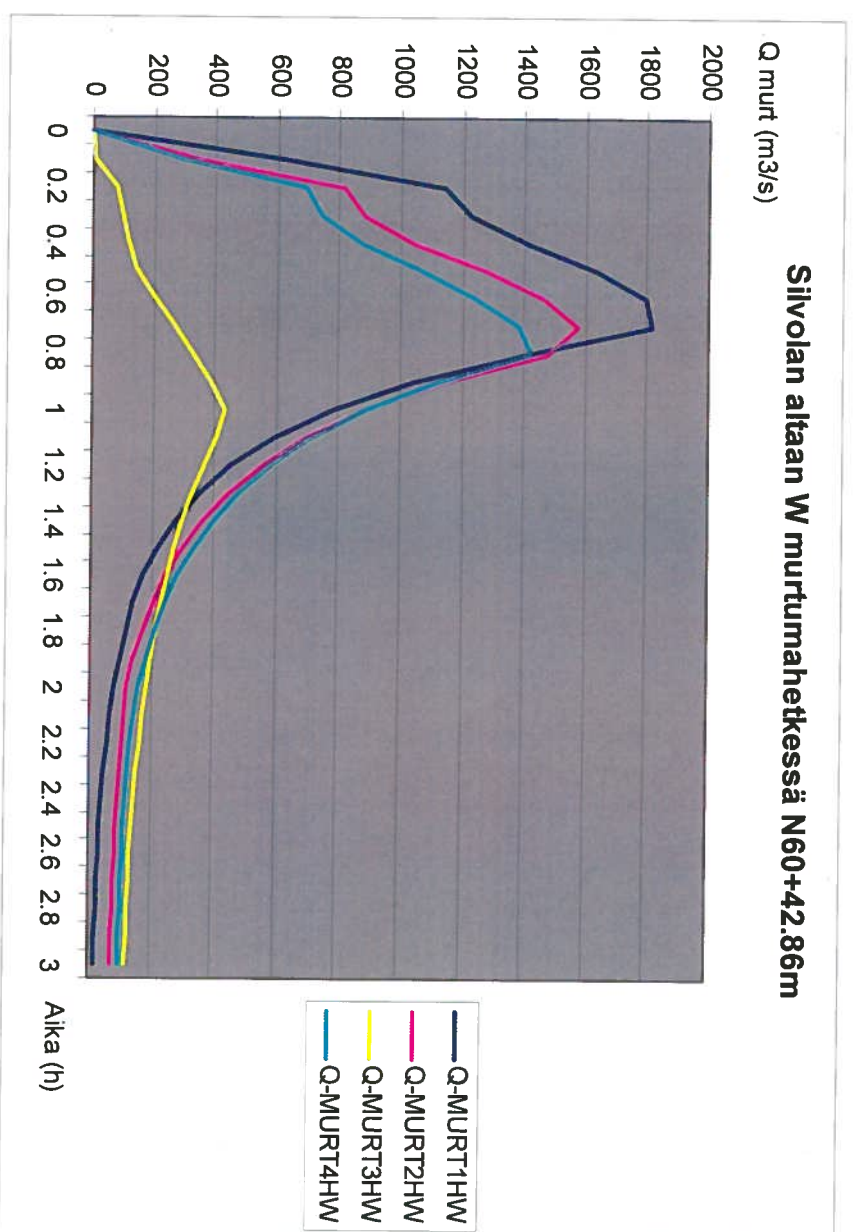
Silvolan altaan vedenpinnan korkeus ennen murtuman alkua HW = N₆₀₊ 42.86m *MU + 42.86m*

Murtuma-kohta	Murtumapohjan korkeus		H _w (m) vedensyvyys	B _r (m) Aukon levis	T _r (h) Murtuma-aika	Q _{max} (m ³ /s)
	korkein	matalin				
MURT 1HW	30.06	26.06	15.8	45	0.72	1816
MURT 2HW	31.06	28.06	13.8	43	0.77	1498
MURT 3HW	38.06	36.06	5.8	29	1.02	417
MURT 4HW	32.06	28.06	12.8	42	0.80	1347

Silvolan altaan vedenpinnan korkeus ennen murtuman alkua Wkäyttö = N₆₀₊ 41.06m

Murtuma-kohta	Murtumapohjan korkeus		H _w (m) vedensyvyys	B _r (m) Aukon levis	T _r (h) Murtuma-aika	Q _{max} (m ³ /s)
	korkein	matalin				
MURT 1NW	30.06	26.06	13.0	43	0.69	1356
MURT 2NW	31.06	28.06	11.0	40	0.73	1061
MURT 3NW	38.06	36.06	4.0	27	0.84	236
MURT 4NW	32.06	28.06	10.0	39	0.75	927

Jan pois



Kuva 3.2 Silvolan lopullinen patomurtuma-analyysi, eri laskentatapausten virtaamahydrograafit