

**KOKEMÄENJOEN DELTAN MAAPERÄMUODOSTUMAT JA  
NIIDEN VAIKUTUS PORIN TULVASUOJELUUN**

Pro gradu –tutkielma

Janne Niinikoski

Turun Yliopisto

Maantieteen ja geologian laitos

Geologian osasto

20.06.2011

# SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
2	TUTKIMUSALUEEN KUVAUS.....	3
2.1	Tutkimusalueen sijainti.....	3
2.2	Tutkimusalueen historia.....	3
2.3	Kokemäenjoen vesistö.....	5
2.4	Tutkimusalueen kallioperä.....	9
2.5	Tutkimusalueen maaperä.....	11
3	TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT.....	14
3.1	Maanpinnan korkeusmalli.....	14
3.2	Painokairaukset ja raekoko määritykset.....	14
3.3	Pihlavanlahden ja Kokemäenjoen maaperänäytteet.....	15
3.4	Sisäputkinäytteenotto monitoimikairakoneella.....	16
3.5	Maaperän luonnollisen gammasäteilyn mittaus.....	16
3.6	Piileväanalyysi.....	18
3.7	Sedimenttinäytteiden raekokomääritys.....	18
3.8	Maalajitteiden nimeäminen.....	19
3.9	Virtausnopeusmittaukset.....	20
4	TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA.....	22
4.1	Kokemäenjoen suiston maaperämuodostumien syntyhistoria.....	23
4.2	Sedimenttistratigrafia ja painokairausvastusten yleiset piirteet.....	24
4.3	Kokemäenjoen yksiuomainen osa.....	30
4.4	Kapea ja syvä jokijakso 1.....	31
4.4.1	Sedimenttistratigrafia.....	32
4.4.2	Uoman morfologia.....	33
4.4.3	Virtausnopeudet.....	35
4.4.4	Matalan ja syvän jokijakson 1 tulosten tulkinta.....	37
4.5	Kapea ja matala jokijakso 2.....	41
4.5.1	Sedimenttistratigrafia.....	42
4.5.2	Uoman morfologia.....	48
4.5.3	Virtausnopeudet.....	50
4.5.4	Kapean ja matalan Jokijakson 2 tulosten tulkinta.....	53
4.6	Ruopattu jokijakso 3.....	56
4.6.1	Sedimenttistratigrafia.....	58

4.6.2	Uoman morfologia.....	62
4.6.3	Virtausnopeudet.....	65
4.6.4	Ruopatun jokijakson 3 tulosten tulkinta .....	69
4.7	Juopien alue.....	72
4.7.1	Sedimenttistratigrafia.....	74
4.7.2	Uomien morfologia.....	78
4.7.3	Virtausnopeudet.....	82
4.7.4	Juopien tulosten tulkinta .....	84
4.8	Pihlavanlahti.....	91
4.8.1	Sedimenttistratigrafia.....	92
4.8.2	Virtausnopeudet.....	94
4.8.3	Pihlavanlahden tulosten tulkinta .....	96
4.8.4	Kokemäenjoen suiston tuleva kehitys .....	98
5	MAAPERÄN VAIKUTUS PORIN TULVASUOJELUUN .....	105
5.1	Porin tulvasuojeluhankkeen toteuttamisvaihtoehdot.....	105
5.1.1	Toteuttamisvaihtoehtojen kuvaus.....	105
5.2	Yksiuomaisen osan tulvasuojeluvaihtoehdot .....	108
5.2.1	Lisäuoma.....	109
5.2.2	Yksiuomaisen osan ruoppaus .....	110
5.3	Juopien alueen tulvasuojeluvaihtoehdot .....	111
5.3.1	Lisäuoma.....	112
5.3.2	Lanajuovan ruoppaus ja lisäuoma .....	112
5.4	Pihlavanlahden ruoppausvaihtoehdot.....	114
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	116
7	KIITOKSET .....	121
8	LÄHDELUETTELO .....	122
9	LIITTEET .....	127

TURUN YLIOPISTO

Maantieteen ja geologian laitos. Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

NIINIKOSKI JANNE: Kokemäenjoen deltan maaperämuodostumat ja niiden vaikutus  
Porin tulvasuojeluun

Pro gradu –tutkielma, 126 s., liite–CD

Geologian osasto

Heinäkuu, 2011

---

Kokemäenjoen valuma-alue on yksi Suomen suurimmista (27 000 km<sup>2</sup>) ja sen suistoa pidetään yhtenä Pohjoismaiden suurimmista jokisuistoista. Kokemäenjoki on uurtanut tiensä merelle, joen omien, suiston suulle kuljettamien ja kasaamien sedimenttien läpi. Joki virtaa Porin kaupunkikeskustan kaakkoispuolella nykyisin yksiuomaisena ja jakautuen Porin keskustan kohdalla neljään eri haaraan, jotka jälleen yhtyvät kahdeksi uomaksi lähellä merta.

Kokemäenjoen suistoa on ruopattu usean vuosisadan ajan, kun joen kuljettamat hiekkasärkät ovat vaikeuttaneet laivojen liikennettä Porin keskustaan. Nykyisin hiekkasärkät ja joen pohjan sedimentaatio Linnasillan jälkeen uhkaa Porin kaupunkialuetta mataloittamalla uomaa, jolloin tulvariski kasvaa. Kokemäenjoki on tulvinut historiansa aikana useaan kertaan. Joen tulvariskiä vaikuttaa hiekkasärkkien lisäksi jää- ja hyydepadot, meriveden korkeus, maaston alavuus ja virtaaman suuruus.

Tutkimuksen keskeisimpinä tuloksina havaittiin eroosion kasvavan merkittävästi Kokemäenjoen uomaston poikkileikkauspinta-alan ollessa alle 450 m<sup>2</sup> ja silloin, kun virtaus on kuluttanut uoman pohjalta Hevosluoto–muodostuman koheesiomaat, paljastaen eroosiolle herkemmat Toukari–muodostuman kitkamaalajit. Mahdolliset ruoppaukset tulisi sijoittaa ja mitoittaa uomastoon niin, ettei eroosioriski kasva sekä toisaalta niin, ettei kunnossapitoruoppauksia jouduta toistamaan kohtuuttoman usein.

Kokemäenjoen läpi virran mukana kulkeutuvat sedimentit kasaantuvat suiston eli deltan suulla virtauksen hidastuessa. Tulevaisuudessa suisto muuttuu matalaksi ja moniuomaiseksi, jos suistossa ei tehdä kunnossapitoruoppauksia.

Asiasanat: Kokemäenjoki, Pori, maaperämuodostumat, eroosio, sedimentoituminen, tulvasuojelu



# 1 JOHDANTO

Kokemäenjoen vesistöalue on Suomen neljänneksi suurin vesistöalue ja suistoalue pohjoismaiden suurimpia kerrostavia jokisuistoja (Koskinen 2006, Cripps *et al.* 2011). Tämä tutkimus on osa Porin tulvasuojeluhanketta, joka on aloitettu vuonna 2003. Porin tulvasuojeluhankkeen päätarkoitus on Porin kaupunkiin kohdistuvan suurtulvariskin poistaminen. Tulvasuojeluhankkeen osapuolet ovat Porin kaupunki ja Varsinais-Suomen ELY-keskus. Tutkimus on toteutettu yhteistutkimuksena Porin kaupungin ja Turun yliopiston Geologian osaston kanssa. Tulvasuojeluhanke toimii tutkimuksen päärahoittajana.

Luonnollisessa tilassa oleva joki pyrkii tasapainotilaan muuttamalla leveyttään, syvyyttään, kaltevuuttaan ja virtausnopeutta. Tasapainotilan saavuttamiseksi jokiuomassa tapahtuu eroosiota ja sedimentaatiota, jotta joki pystyy kuljettamaan tietyn määrän vettä ja sedimenttejä. Jokiuoman mukautumiseen vaikuttaa useita tekijöitä pitkin jokea, kuten maaperämuodostumat missä uoma kulkee, rantojen kasvillisuus ja pohjan morfologia (Fola 2007).

Tutkimuksen päätarkoituksena on selvittää Kokemäenjoen suiston sedimenttistratigrafiaa eli maaperän kerrosjärjestystä ja mahdollisten tulvasuojeluvaihtoehtojen vaikutuksia Porin kaupungin alueella. Tutkimuksessa selvitetään virtausnopeusmittauksilla ja maaperätutkimuksilla uomaston herkimät eroosio- ja sedimentaatioalueet. Tutkimuksen toisena tavoitteena on selvittää Kokemäenjoen suiston kehitystä Pihlavanlahdella. Aikaisempien, Porin kaupungin alueella tehtyjen stabiliteettitutkimusten perusteella rantojen stabiliteetti on useissa kohdissa jokea heikentynyt eroosion ja liian jyrkkien rantojen johdosta (Ketonen 2009). Keväällä 2010 rantojen sortumia tapahtui Harjunpääjoen varrella sekä Luotsinmäenhaaran yläpäässä ja Kirjurinluodossa (kuva 1).



Kuva 1. Rannan sortuma Kirjurinluodon kohdalla Luotsinmäenhaarassa 21.5.2010.

## **2 TUTKIMUSALUEEN KUVAUS**

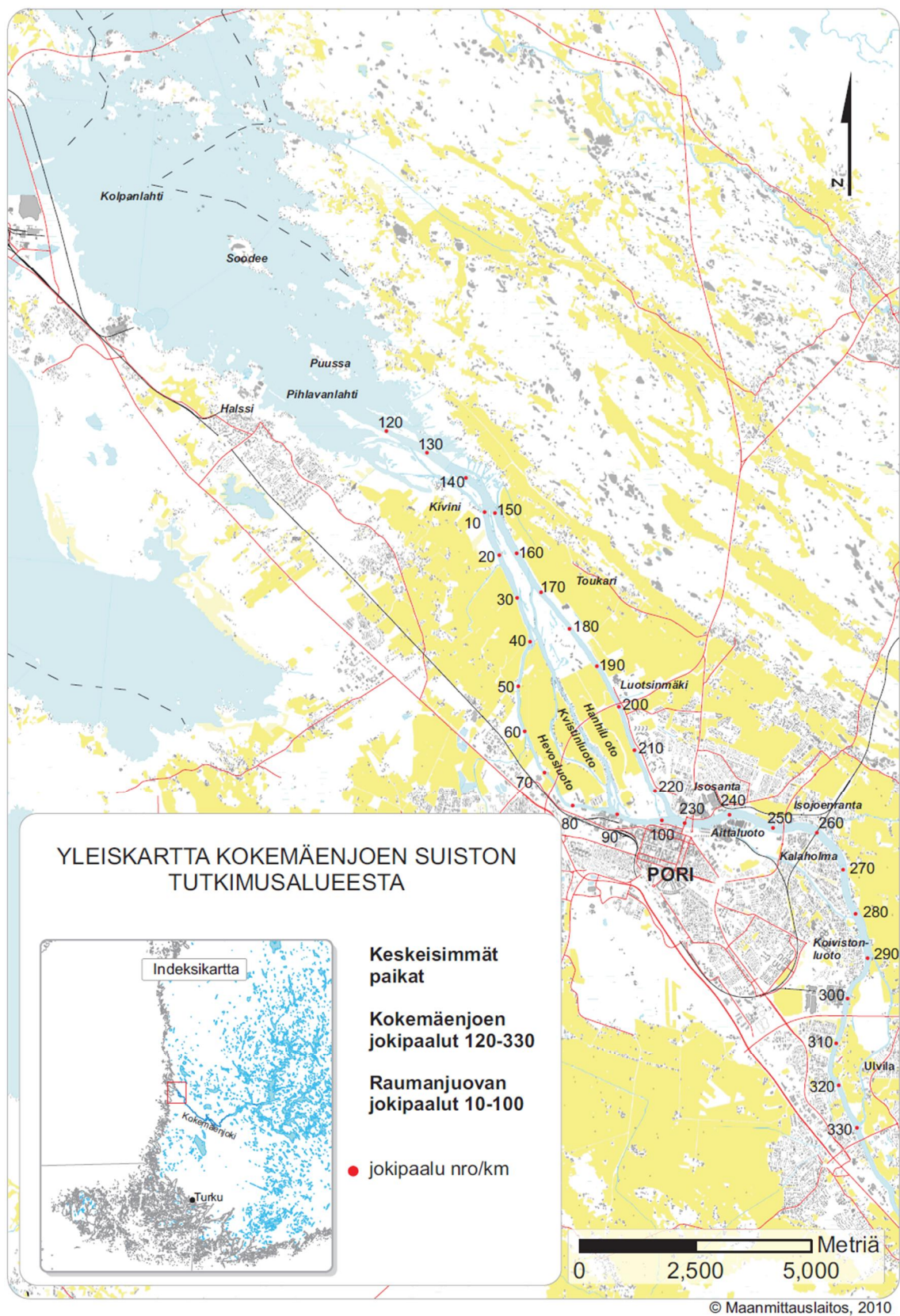
### **2.1 Tutkimusalueen sijainti**

Tutkimusalue sijaitsee Porin kaupungin alueella. Tutkimusalue rajautuu Porin kaupunkikeskustan läpi virtaavaan Kokemäenjoen yksiuomaiseen osaan, juopien alueeseen ja Pihlavanlahteen. Tutkimusalueen pituus on lähes 30 km (kuva 2).

### **2.2 Tutkimusalueen historia**

Pahoja tulvia Porin kaupungin alueella on tapahtunut mm. vuosina 1951, talvitulvan 1974–1975 aikana sekä uhkaavia tilanteita on ollut 1970-luvun lopulla ja 1980-luvun alussa. Viimeisin uhkaava tilanne syntyi 2004–2005 talvella hyydepatojen muodostuessa ns. Kivinin kapeikkoon joen suosaan (Koskinen 2006). Porin kaupungin arvio pahan tulvan aiheuttamasta taloudellisesta vahingonvaarasta on yhteensä 3 mrd. euroa. Tulvatilanne uhkasi myös yleistä turvallisuutta ja ympäristöä. Suurtulvatilanteessa Porin kaupungin alueelta pitäisi evakuoida noin 15 000 asukasta (Koskinen 2006).

Tulvariskitilanteita muodostuu tyypillisesti useiden tekijöiden yhteisvaikutuksista. Uhkaavimpia tilanteita syntyy meriveden ollessa korkealla ja joen virtamaan ollessa suuri sekä hyyde- tai jääpatojen muodostuessa alajuoksulle (Koskinen 2006). Hyyde- ja jääpatoja muodostuu tyypillisesti kohtiin, missä uoman pohjalle sedimentoitunut hiekka mataloittaa uomaa. Nämä kohdat voivat estää hyyde- ja jäälauttojen kulkeutumista alavirralle, jolloin muodostuu hyyde- ja jääpatoja. Hyyde- tai jääpadot voivat nostaa joen vedenpinnan huomattavasti normaalia korkeammalle, jolloin joki saattaa tulvia joenrannalla olevan tulvapadon eli tulvapenkereen yli.

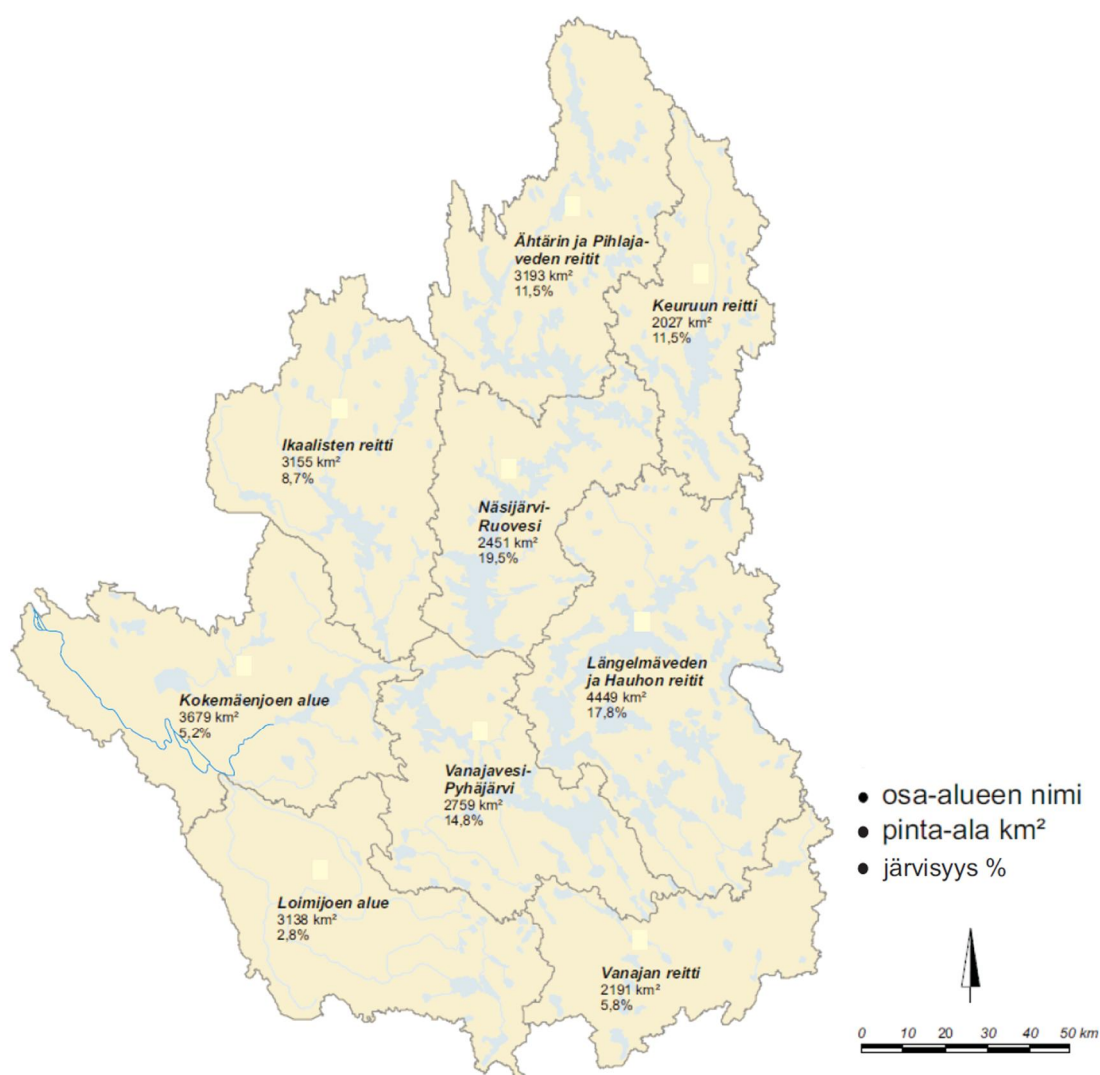


Kuva 2. Yleiskartta Kokemäenjoen suiston tutkimusalueesta ja keskeisimmät paikkannimet.



## 2.3 Kokemäenjoen vesistö

Kokemäenjoen valuma-alueen laajuus on 27 000 km<sup>2</sup> ja se on yksi Suomen suurimmista vesistöistä (kuva 3). Vesistöalueeseen kuuluu Pirkanmaan ja Hämeen runsasjärviset alueet sekä vähäjärviset Loimijoen ja Satakunnan valuma-alueet. Näiden kaikkien valuma-alueiden laskujokena toimii Kokemäenjoki, joka laskee vetensä Porin edustalla olevaan Pihlavanlahteen. Kokemäenjoen suisto on Pohjoismaiden suurimpia kerrostavia jokisuistoja (Koskinen 2006, Cripps *et al.* 2011).

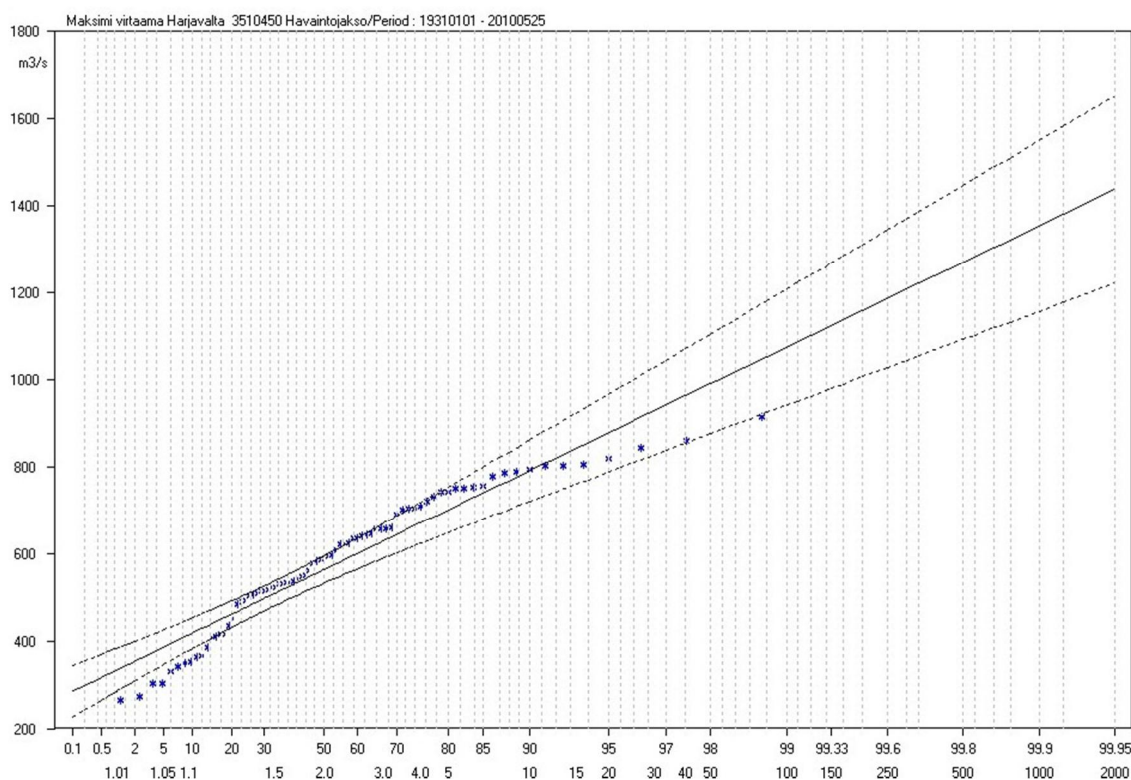


Kuva 3. Kokemäenjoen vesistö. Mukailtu Koskisen (2006) mukaan.

Kokemäenjoen tulvahuippuihin vaikuttaa Loimijoen vesistöalue, koska se on heikosti säädelty ja vesistöalue on lähes järvetön (Koskinen 2006). Loimijoki laskee Kokemäenjokeen Huittisissa.

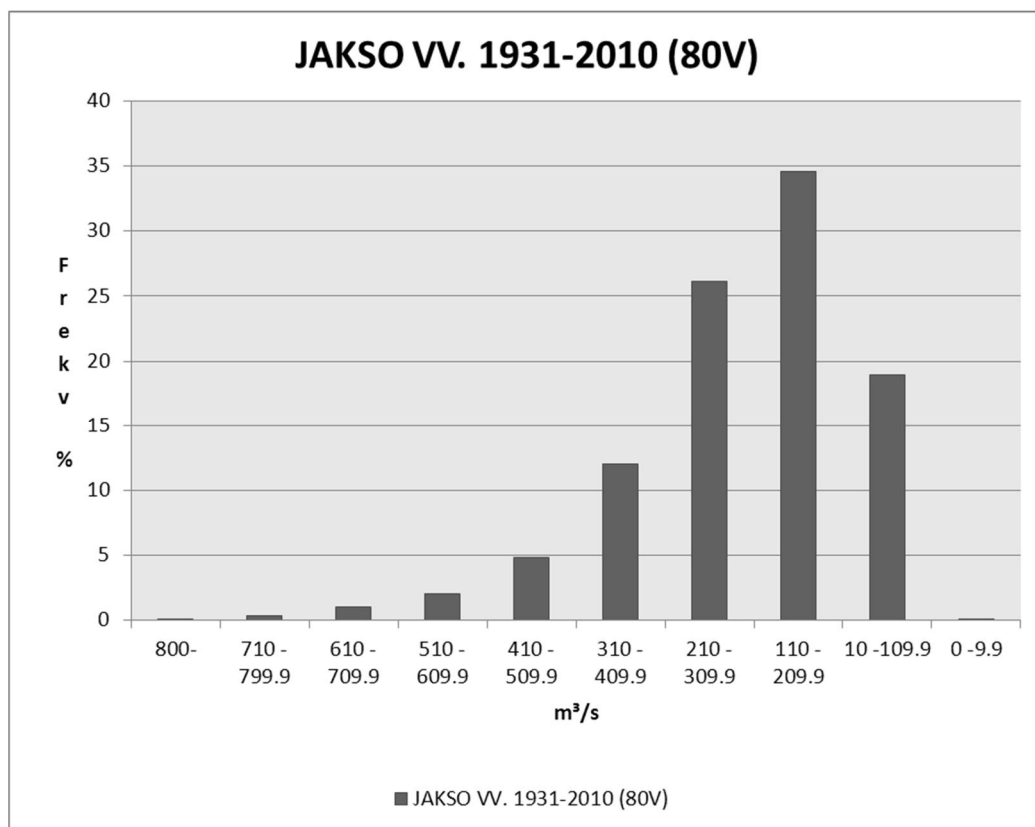
Kokemäenjoki on itsessään voimakkaasti säännöstelty. Jokijaksolla on useita voimalaitoksia, joista viimeisimpänä jokijaksolla toimii vuonna 1939 perustettu Harjavallan voimalaitos. Harjavallan voimalaitoksen juoksutus on vuorokausi- ja viikkosäännösteltyä, jolloin juoksutus on tyypillisesti pienintä öisin ja viikonloppuisin.

Virtaamien seuranta Harjavallassa on aloitettu vuonna 1931. Virtaamatietojen ja suurimpien toistuvuuksien sekä pysyvyyksien arvioinnin avulla voidaan kartoittaa virtaamien vaikutusta Kokemäenjoen uoman eroosioon ja sedimentaatioon (kuvat 4 ja 5). Vuosien 1931–2009 Kokemäenjoen keskivirtaama  $MQ = 220 \text{ m}^3/\text{s}$  ja havaintojakson vuosimaksimien keskiarvo  $MHQ = 590 \text{ m}^3/\text{s}$  (Länsi-Suomen voima Oy).



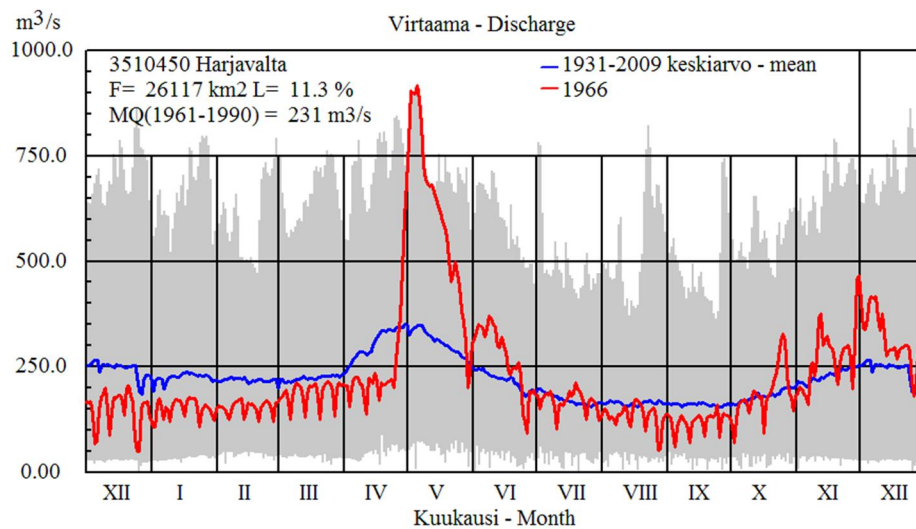
Kuva 4. Virtaaman toistuvuus Harjavallan voimalaitoksella. Yhtenäisenä viivana on piirretty virtaaman estimaatti eli laskettu arvo. Toistuvuusajaksi on esitetty vuosina alimmalla rivillä. Havaintojakso 1931–2010 toukokuu (Länsi-Suomen voima Oy).

Kokemäenjoen havaintojakson tyypillinen virtaama on 110–210 m<sup>3</sup>/s ja yli 600 m<sup>3</sup>/s virtaamat ovat harvinaisia (kuva 5).



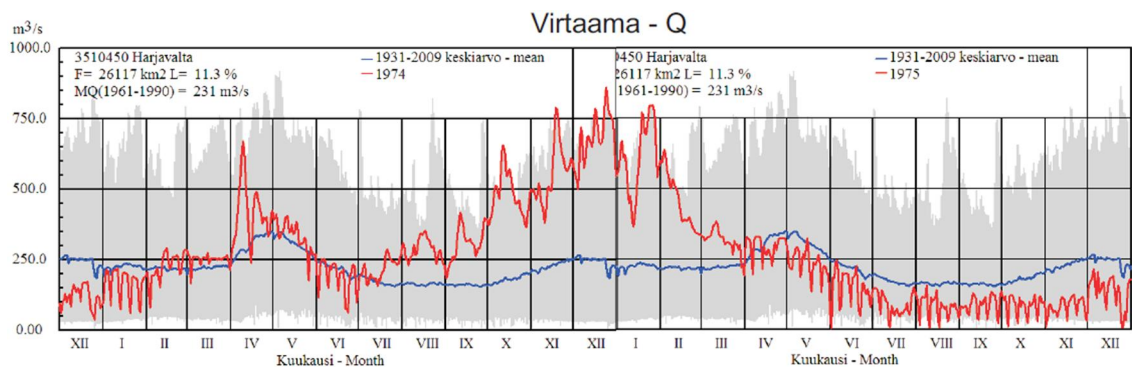
Kuva 5. Virtaaman pysyvyys. Havaintojakso 1931–2010 toukokuu (Länsi-Suomen voima Oy).

Kokemäenjoen mitatun seuranta-ajanjakson suurin virtaama 918 m<sup>3</sup>/s oli vuoden 1966 toukokuussa (kuva 6). Suuret virtaamat nostavat merkittävästi Kokemäenjoen virtausnopeuksia.



Kuva 6. Mitatun seuranta-ajanjakson 1931–2010 suurin virtaama oli vuoden 1966 toukokuussa  $Q = 918 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vuosien 1961–1990 Kokemäenjoen keskivirtaama  $MQ = 231 \text{ m}^3/\text{s}$ . Harmaa alue on virtaamien vaihtelu vuosina 1931–2009. (Länsi-Suomen voima Oy).

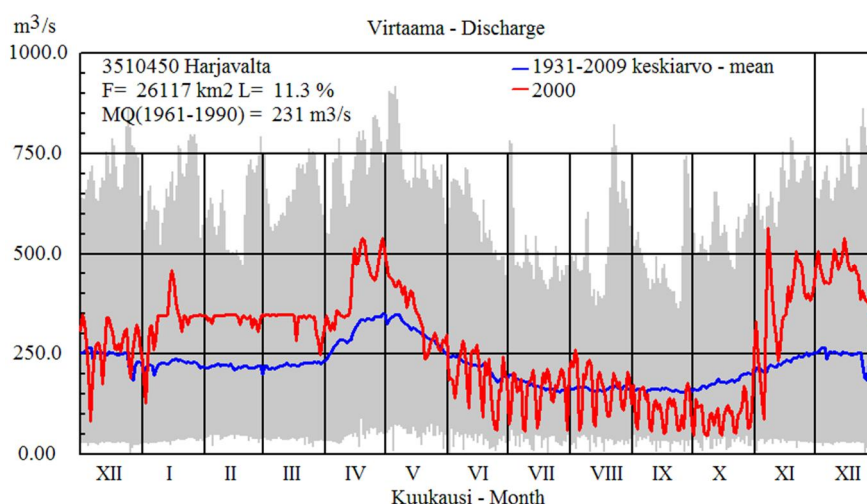
Talvitulva 1974–1975 johtui runsaasta sadannasta seuranneesta suuresta virtaamasta (kuva 7). Lisäksi merivesi oli korkealla ja jokeen muodostui hyyde- ja jääpatoja.



Kuva 7. Kokemäenjoen virtaama talvitulvan aikaan vuosien 1974–1975 vaihteessa ja pitkäaikaiset keskiarvot (Länsi-Suomen voima Oy).

Kokemäenjoen suurimmat virtaamat ajoittuvat tyypillisesti keväeseen lumien sulaessa huhtikuun ja toukokuun vaihteessa sekä joului- ja tammikuuhun syysateiden vesien kulkeutuessa vesistön alajuoksulle (kuva 8).





Kuva 8. Kokemäenjoen virtaaman tavanomainen vuosi (Länsi-Suomen voima Oy).

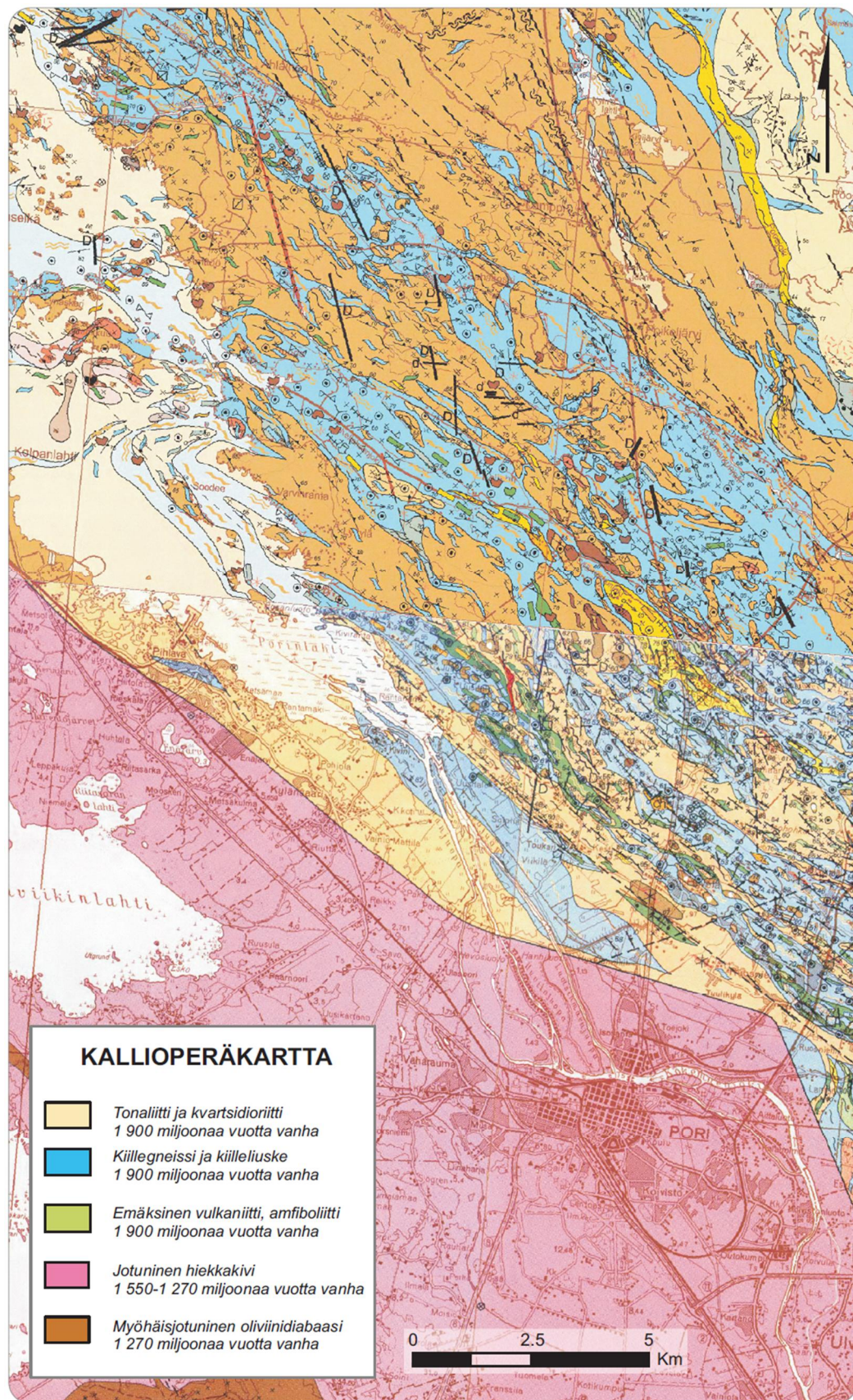
## 2.4 Tutkimusalueen kallioperä

Etelä-Suomen kallioperä muodostui noin 1 900–1 800 miljoonaa vuotta sitten svekofennisessä vuorijonopoimutuksessa saarikaarikompleksin törmätessä arkeeseen 2 500 miljoonaa vuotta vanhaan mantereeseen. Törmäyksessä svekofenniset savi- ja hiekkasedimentit kohosivat voimakkaan puristuksen johdosta poimuttuen korkeiksi vuoristoiksi.

Vuoriston yhä kohotessa eroosio alkoi kuluttaa ja tasoittaa vuoristoa. Satojen miljoonien vuosien kuluttua kallioperä ohentui eroosion seurauksena ja alkoi kohota, jolloin svekofennisen kallioperän pohjaosissa noin 50 km syvyydessä alkoi muodostua kivisulaa. Kivisula kohosi ympäristöönsä kevyempänä 3–4 km syvyyteen silloisesta maanpinnasta kiteytyen rapakiveksi (Korsman 2001). Painovoimamittausten perusteella svekofennisen kallioperän päällä olevat 1 570 miljoonaa vuotta sitten syntyneet rapakivigraniitit ulottuvat vähintään 8 km syvyyteen. Rapakivimuodostuma ulottuu Kokemäeltä aina Porin rannikolle asti (Korhonen 2010).

Rapakivien muodostuessa syntyi kallioperään syviä hautavajoamia (Lehtinen 1998). Hautavajoamiin kerrostui 1 550-1 270 miljoonaa vuotta sitten jotuninen hiekkakivi, joka muodostaa kallioperän Porin keskustan alueella (kuva 9). Hiekkakiven paksuus on Porin seudulla  $1300 \pm 300$  metriä ja ohenee kohti kaakkoa (Korhonen 2010).

Kallioperä koki vielä yhden mullistuksen, kun 1 270 miljoonaa vuotta sitten oliivindiabaasit tunkeutuivat rapa- ja hiekkakiviin (Korhonen 2010).



Kuva 9. Kokemäenjoen suiston kallioperäkartta.



## 2.5 Tutkimusalueen maaperä

Porin alueen maaperä on Suomen oloissa erityislaatuinen. Poikkeuksellisen paksun maaperäpeitteen syntyyn on vaikuttanut jotunisen hiekkakiven hauras rakenne. Hiekkakivi on rapautunut muinaisjokien ja mannerjäätiköiden virratessa sen yli kuluttaen 20–80 metriä syvän luode- kaakkosuuntaisen laaksomaisen uran (Kinnunen 2002).

Maaperän paksuutta ja kalliopintaa on tutkittu vuonna 1999 Geologian tutkimuskeskuksen tekemien viiden painovoimamittauksen avulla (Korhonen 2010). Painovoimamittausten perusteella maaperä on paksuimmillaan Isojenrannan ja Kalaholman alueella noin 80 metriä (Kinnunen ja Lindfors 2000).

Kukkosen *et al.* (1988) sekä Kinnusen ja Lindforsin (2000) mukaan maaperän synty alkoi, kun viimeisen Veiksel-jäätikön virratessa alueen yli kallioperän päälle kasaantui pohjamoorenia. Pohjamooreniin paksuudet vaihtelevat 1–7 metrin kerroksista syvimpien kalliopainanteiden kymmenien metrien paksuisiin kerroksiin.

Mannerjäätikö perääntyi tutkimusalueelta noin 10 800 vuotta sitten (Lundqvist *et al.* 2007). Jäätiköltä tulevat sulamisvedet muodostivat Satakunnan halkaisevan harjujakson. Pori - Yteri alueella harjun kerrostumien paksuus vaihtelee 10–70 metrin välillä. Harjusta ei ole näkyvissä kuitenkaan kuin sen laki, ylimmät 5–15 metriä, koska se on muodostunut Satakunnan hiekkakivessä olevaan painanteeseen (Kinnunen 2002).

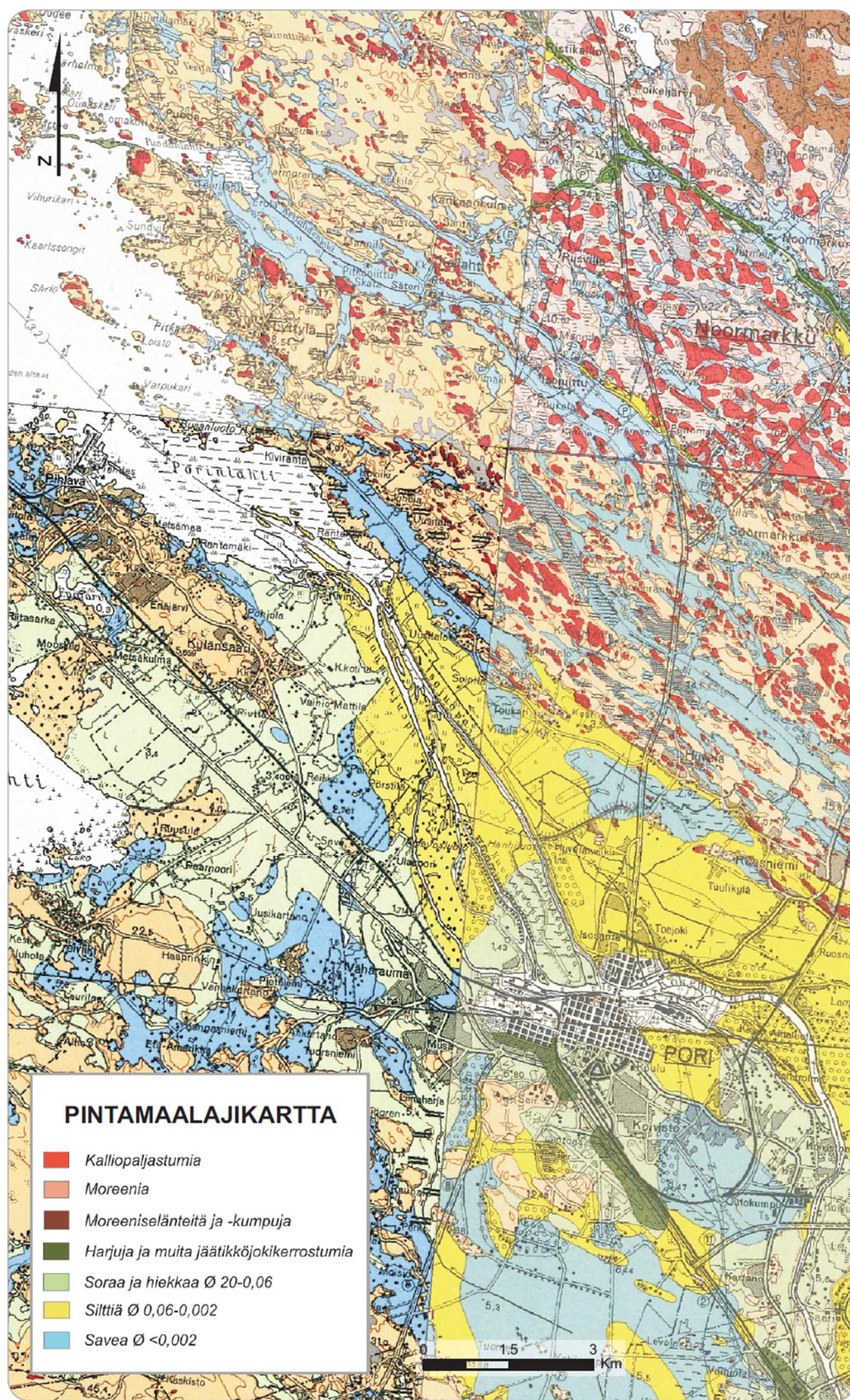
Jäätikön edelleen perääntyessä sen eteen kerrostui sulamisvesien tuomia lajittuneita maaperäkerrostumia. Maalajitteet kerrostuivat subakvaattisesti eli vedenpinnan alapuolelle Ancylos-järveen, jonka syvyys Porissa oli noin 150 – 200 metriä (Kinnunen 2002). Jäätikön sulamisvesien virtauksien ollessa voimakkaimpia kerrostui karkein aines, sora ja hiekka. Jäätikön edelleen perääntyessä ja sulamisvesien virtauksien heiketessä kerrostuivat kerralliset hienon hiekan, siltin ja saven kerrostumat. Lajittuneiden kerrosten paksuus pohjamooreenin päällä on noin 10 metriä (Kinnunen ja Lindfors 2000). Cripps *et al.* (2011) on nimennyt tämän maaperämuodostuman Toukari-muodostumaksi.

Satakunta alkoi kohota, kun 2-3 km paksuisen Veiksel-jäätikön painama maankuori alkoi palautua isostaattiseen tasapainoasemaansa. Maankohoaminen oli aluksi nopeaa, kunnes noin 4000 vuotta sitten maankohoaminen hidastui (Eronen *et al.* 2001) ja on

nykyisin noin 6 mm/vuodessa (Ekman ja Mäkinen 1996). Kokemäenjoen suu siirtyy tuhansien vuosien kuluessa pitkälle Itämereen, sillä arvion mukaan maannousua on jäljellä vielä noin 90 metriä (Ekman ja Mäkinen 1996).

Maan kohotessa kerrallisten sedimenttien päälle kerrostui syvimpiin painanteisiin paikoin 35 metriä paksut Ancyclus-järven, Litorina-meren ja Itämeren aikaiset savet (Kinnunen ja Lindfors 2000, Hutri ja Kotilainen 2007). Tämä maaperämuodostuma on nimetty tässä tutkimuksessa Ulasoori-muodostumaksi.

Päällimmäisenä Kokemäenjoen läheisyydessä on jokikerrostuma. Jokikerrostumat ovat syntyneet fluviaalisten prosessien eli veden virtauksen kuluttaessa maaperää ja kerrostaen virtauksen mukana kulkevat sedimentit suupuolelleen (kuva 10). Tämä prosessi jatkuu edelleen, kun Kokemäenjoki virtaa kasaamiensa sedimenttien halki, kuluttaen ja kuljettaen kerrostamiaan sedimenttejä. Lopulta virtauksien heiketessä sedimentit kerrostuvat uudelleen Pihlavanlahdella deltaksi. Cripps *et al.* (2011) on nimennyt tämän maaperämuodostuman Hevosluoto-muodostumaksi.



Kuva 10. Kokemäenjoen suiston pintamaalajikartta.



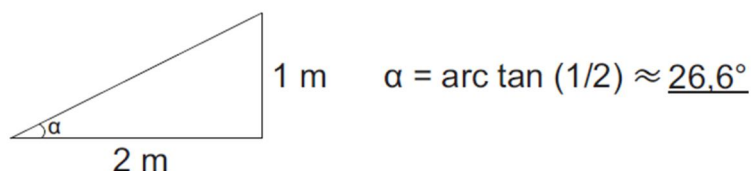
### 3 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT

#### 3.1 Maanpinnan korkeusmalli

Kemijoki Aquatic Technology Oy (KAT Oy) teki viistokaikuluotauksen Kokemäenjoella ja juopien alueella kesällä 2010. KAT Oy:n tuottama joenpohjan pisteaineisto yhdistettiin laserkeilausaineiston kanssa Tampereen teknillisen yliopiston Porin yksikössä Jokimalli 2010 TIN -maanpinnankorkeusmalliksi. TIN -malli (Triangulated Irregular Network) muodostuu kolmioista, jotka sisältävät korkeustiedon.

Kokemäenjoesta on myös vanhempi maanpinnankorkeusmalli Jokimalli 2004, jonka joenpohjan pisteaineiston tuotti Lounais-Suomen ympäristökeskus, ja se yhdistettiin laserkeilausaineistoon Tampereen teknillisen yliopiston Porin yksikössä.

Uoman poikkileikkauspinta-ala laskettiin ArcMap 10 -ohjelman avulla Jokimalli 2010 -maanpinnankorkeusmallista interpoloimalla uoman poikkileikkausprofiili. Interpoloidusta uoman poikkileikkausprofiilista laskettiin ArcMap 10 -ohjelmalla uoman syvyyden keskiarvo. Uoman poikkileikkauspinta-ala määritettiin, kun vesipinta eli  $W = +0,5$  N2000. Tämän lisäksi ArcMap 10 -ohjelmalla interpoloidusta uoman profiilista laskettiin uoman reunojen kaltevuudet seuraavasti.



#### 3.2 Painokairaukset ja raekoko määritykset

Tutkimuksessa käytettiin Porin kaupungin tekemiä painokairauksia ja laboratoriokokeiden tuloksia. Porin kaupungin tekemät painokairaukset on tehty koneellisesti. Tutkimuksessa käytetyt painokairausdiagrammit ja laboratoriokokeiden tulokset ovat CD-liitteessä.

Lisäksi tutkimuksessa käytettiin viittä Tie- ja vesirakennuslaitoksen (TVL) painokairausta, jotka on tehty valtatie kahdeksaa suunniteltaessa vuonna 1980 (Y1, Y2, Y4, Y7 ja Y8).

### 3.3 Pihlavanlahden ja Kokemäenjoen maaperänäytteet

Pihlavanlahdella tehtiin sedimenttitutkimuksia metallisella venäläisellä suokairalla 17.–18.3.2010. Näytteet otettiin jäältä ja näytepisteitä oli yhteensä 16 (kuva 11).

Kokemäenjoella sedimenttitutkimukset tehtiin Porin kaupungin työveneestä venäläisellä suokairalla 3.11.2010. Näytepisteitä oli kaikkiaan 10.

Näytteet siirrettiin kairasta halkaistuihin muoviputkiin, jotka kelmutettiin. Pihlavanlahden näytepisteet nimettiin juoksevin numeroin JN 1-16 ja Kokemäenjoen näytepisteet 0-9. Näytteet kuljetettiin Turun yliopiston maaperälaboratorioon, missä näytteistä tehtiin raekokomääritykset.



Kuva 11. Näytteenotto Pihlavanlahdella näytepisteellä JN 13.

### 3.4 Sisäputkinäytteenotto monitoimikairakoneella

Kokemaenjoen suistosta otettiin yksi pitkä näytesarja suiston kerrosjärjestyksen sekä sedimenttien rakenteen ja koostumuksen määrittämiseksi. Näytteenotto tapahtui Destian GeoMachine 200 GT raskaan porauskoneen avulla (kuva 12). Menetelmän avulla 15 metriä pitkä jatkuva näytesarja otettiin metrin mittaisiin 45 mm sisähalkaisijaltaan oleviin muoviputkiin. Putket kuljetettiin Turun yliopiston geologian osaston maaperälaboratorioon, missä putket halkaistiin ja näytteet kuvattiin sekä raekoot analysoitiin Coulter–hiukkasmittarilla.



Kuva 12. Destian GeoMachine 200 GT raskasporauskone

### 3.5 Maaperän luonnollisen gammasäteilyn mittaus

Gammasäteily on ionisoivaa lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä (Sandberg ja Paltemaa 2002). Luonnollisen gammasäteilyn mittaus perustuu maa- ja kallioperästä luonnollisesti radioisotooppien hajoamisen seurauksena emittoituvan gammasäteilyn voimakkuuden mittaukseen. Gammasäteilyn voimakkuus vaihtelee mineraalista riippuen sekä raekoon mukaan. Menetelmän avulla voidaan havaita hyvinkin pienet maa-aineksessa tapahtuvat muutokset. Gammasäteilyn mittaustuloksia tulkittaessa on hyvä käyttää jotakin vertailuaineistoa (Rautanen 2007).



Yleisin maaperässä esiintyvä luonnollisen gammasäteilyn lähde on  $^{40}\text{K}$  isotooppi ja kaksi muuta merkittävää säteilylähdetä ovat  $^{238}\text{U}$  ja  $^{232}\text{Th}$  isotooppien hajoamissarjan tuotteet. Isotooppien säteilemän gammaenergian muutoksia voidaan tutkia gammamittausmenetelmällä (Härkönen 2007).

Aikaisempien tutkimusten mukaan hienoaineskerrosten on huomattu aiheuttavan selkeästi positiivisen säteilyanomalian ja hyvin vettä johtavien kerrosten sekä paremmin lajittuneiden kerrostumien negatiivisen anomalian (Härkönen 2007).

Luonnollisen gammasäteilyn mittaus tehtiin GeoVista Platform Logger -laitteistolla näytepisteen 30\_920 sisäputkinäytteenottimella kairattuun 15 m syvään jatkuvan näytteen reikään, johon oli asennettu pohjavesiputki (kuva 13).



Kuva 13. Luonnollisen gammasäteilyn mittausta pohjavesiputkesta näytepisteellä 30\_920 (Kuva Yle).

Mittaus tehdään sondin avulla, joka mittaa säteilyä. Tiedot välittyvät kaapelin sisällä kulkevan johdon kautta kelaan ja edelleen digitaaliseen mittauslaatikkoon. Tiedot tallennettiin ja käsiteltiin kannettavan tietokoneen Windows -pohjaisen GeoVista PC Platform Logger -ohjelman avulla (GeoVista 2003).

### 3.6 Piileväanalyysi

Piileväanalyysiä varten näytepisteen 30\_920 jatkuvasta näytteestä otettiin 6 näytettä kerrostumisolosuhteiden selvittämistä varten. Näytekohdat valittiin edellä tehtyjen tutkimusten perusteella tasoväliltä -6,12 – -8,57 N2000.

#### Preparaattien valmistus

Preparaattien valmistus tehtiin Mäenpään (1999) monisteen mukaisesti.

Dekantterilasiin siirrettiin noin puoli teelusikallista sedimenttiä. Näytteisiin lisättiin 150 ml 10 % vetyperoksidia ( $H_2O_2$ ), jonka jälkeen näytteet siirrettiin lämpöhauteeseen orgaanisen aineksen poistamiseksi. Vetyperoksidia lisättiin tarvittaessa. Kuohumisen loputtua näytteiden annettiin jäähtyä ja laskeutua. Tämän jälkeen näytteet pestiin tislattulla vedellä useaan kertaan ylimääräisen aineksen poistamiseksi. Viimeisen pesun jälkeen näytteisiin lisättiin tislattua vettä sen verran, että konsentraatio näytti vaalean harmaalle. Homogenisoitua näytettä laitettiin tippa tasaisesti levitettynä peitelasille ja annettiin kuivua. Näytteen kuivuttua peitinlasi liimattiin objektilasiin kanadanbalsamilla ja preparaattia kuumennettiin lämpölevyllä, jotta kaasut poistuvat liima-aineesta.

#### Piilevien tunnistus

Piilevien tunnistuksessa käytettiin Zeiss Axioskop 2 mikroskooppia 100x ja 40x objektiiveilla.

### 3.7 Sedimenttinäytteiden raekokomääritys

Sedimenttinäytteiden raekokojen selvittämiseksi ne analysoitiin Coulter–merkkisellä laserdiffraktioon perustuvalla hiukkasmittarilla. Noin 1 cm<sup>3</sup> kokoiset näytteet esikäsiteltiin orgaanisen materiaalin poistamiseksi 10 % vetyperoksidilla ( $H_2O_2$ ). Prosessin nopeuttamiseksi näytteet laitettiin 60 °C lämpöhauteeseen. Vetyperoksidia lisättiin, kunnes orgaaninen materiaali ei enää reagoanut vetyperoksidiin. Seuraavaksi näytteisiin lisättiin tislattua vettä ja näytteet laitettiin ultraäänihajottajaan viideksi minuutiksi. Välittömästi tämän jälkeen näytteet analysoitiin hiukkasmittarilla raekoostumuksen selvittämiseksi (Coulter Corporation 1994).

### 3.8 Maalajitteiden nimeäminen

Maalajitteiden nimeämisessä on käytetty Korhonen *et al.* (1974) geoteknistä maalajiluokitusta (taulukko 1). Korhonen *et al.* (1974) mukaan geoteknisessä maalajiluokituksessa maalaji, savea lukuun ottamatta, nimetään sen pääajitteen nimen mukaan, jonka alueella maalajin rakeisuuskäyrän läpäisyprosenttia 50 vastaava raekoko sijaitsee ( $d_{50}$ -menetelmä).

Taulukko 1. Geotekninen maalajiluokitus. Kivennäismaalajien lajitteet. Mukailtu Korhosen *et al.* (1974) mukaan.

Pääajite		Alajite	Rakeiden läpimitta, mm/ $\mu$ m	
Nimi	Lyhennys			
Savi	Sa		< 0,002	< 2
Siltti	Si		> 0,002 - 0,06	> 2 - 60
	hSi	Hienosiltti	> 0,002 - 0,006	> 2 - 6
	keSi	Keskisiltti	> 0,006 - 0,02	> 6 - 20
	kaSi	Karkeasiltti	> 0,02 - 0,06	> 20 - 60
Hiekka	Hk		> 0,06 - 2,0	> 60 - 2000
	hHk	Hienohiekka	> 0,06 - 0,2	> 60 - 200
	keHk	Keskihiekkä	> 0,2 - 0,6	> 200 - 600
	kaHk	Karkeahiekka	> 0,6 - 2,0	> 600 - 2000

Korhonen *et al.* (1974) mukaan geoteknisessä maalajiluokituksessa maalaji saa kuvailevan lisänimen, jos savipitoisuus (< 0,002 mm) on yli 10 % (taulukko 2). Lisäksi maalajia sanotaan saveksi, jos se sisältää savilajitetta yli 30 %.

Taulukko 2. Hienorakeisten maalajien kuvaus savipitoisuuden perusteella. Mukailtu Korhosen *et al.* (1974) mukaan.

Savipitoisuus %	Nimitys	Lyhennys
< 10	ei vaikuta nimitykseen	
> 10 - 30	savinen siltti	saSi
> 30 - 50	laiha savi	laSa
> 50	lihava savi	liSa

### 3.9 Virtausnopeusmittaukset

Kokemäenjoella ja juopien alueella sekä Pihlavanlahdella tehtiin virtausnopeusmittauksia vuoden 2010 kevään ja kesän aikana kolmella erisuuruusella virtaamalla (noin 500 m<sup>3</sup>/s, 180 m<sup>3</sup>/s ja 100 m<sup>3</sup>/s).

Virtausnopeusmittaukset tehtiin Varsinais-Suomen ELY-keskuksen Teledyne RD Instruments Workhorse Monitor ADCP -laitteistolla (Acoustic Doppler Current Profiler) (kuva 14). Mittarilla voidaan mitata veden virtausnopeuksia ja virtauksien suuntaa eri syvyyksillä koko poikkileikkauksessa. Mittauslaitteistossa on neljä kaikukeilaa, jotka ovat 20° kulmassa toisiinsa nähden. ADCP -laitteisto lähettää veteen ääniaaltoja (1200 kHz), jotka heijastuvat takaisin veden mukana kulkevista pienistä hiukkasista (Teledyne RD Instruments 2007).

Mittauslinjojen sijainnit etsittiin Porin teknisen palvelukeskuksen veneeseen kiinnitetyn GPS laitteiston avulla. Samalla GPS -laitteistolla mitattiin vedenpinnan korkeudet. Vedenpinnan korkeus kalibroitiin GPS tietoihin useaan kertaan Kokemäenjoessa olevista vedenpinnan korkeuden tarkistuspisteistä. Vedenkorkeudessa oli esimerkiksi 13.4.2010 päivänä aikana huomattavia eroja, jotka mahdollisesti johtuivat jääpadon murtumisesta Pihlavanlahdella tai voimistuneen luoteistuulen vaikutuksesta.

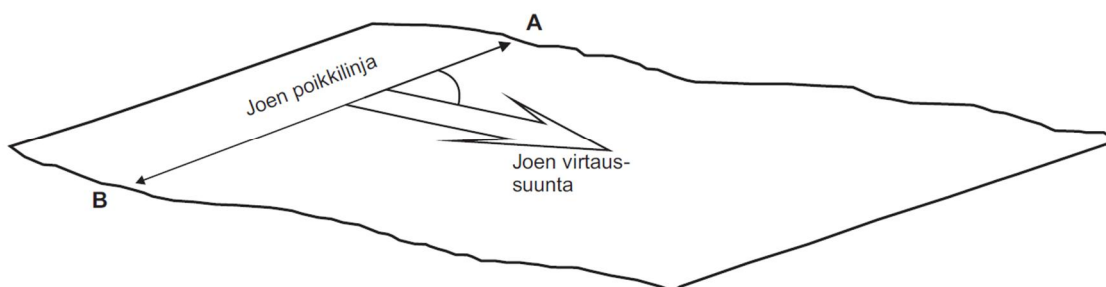


Kuva 14. Teledyne RD Instruments Workhorse Monitor ADCP -virtausnopeusmittauslaitteisto.

Virtausnopeusmittauslinjat valittiin Jokimalli 2004 -maanpinnankorkeusmallin perusteella alueilta, missä Kokemäenjoen pohjasta oli erotettavissa mahdollisia eroosio- ja sedimentaatiopaikkoja. Virtausnopeusmittauslinjat numeroitiin juoksevin numeroin 1-18.

Virtausnopeusmittauslinjojen sijainnit määritettiin Turun yliopiston geologian osastolla ja Porin kaupungin mittauspalvelu paikansi pisteiden sijainnit joen keskeltä. Tämän jälkeen joenreunoilta valittiin linjalle kiintopisteet, joita kohti jokea ylitettäessä veneellä ajettiin. Mittaus aloitettiin mahdollisimman läheltä rantaa. Ohjelmaan arvioitiin matka rantaan metreinä sekä nimettiin vasen (A) ja oikea (B) ranta alavirtaan katsottuna (kuva 15). WinRiver II -ohjelma ekstrapoloi viimeisten mitattujen arvojen perusteella virtaaman reunoilta, pohjasta ja pinnasta (Teledyne RD Instruments 2007).

Kokemäenjoella olevat linjat mitattiin 4 kertaa ja pitkät linjat Pihlavanlahdella 1-2 kertaa. Ohjelma varoittaa, mikäli joku virtaamasta ei ole 5 % virhemarginaalin sisällä. WinRiver II -ohjelma laski näistä neljän mittauksen arvoista kokonaisvirtaaman keskiarvon.

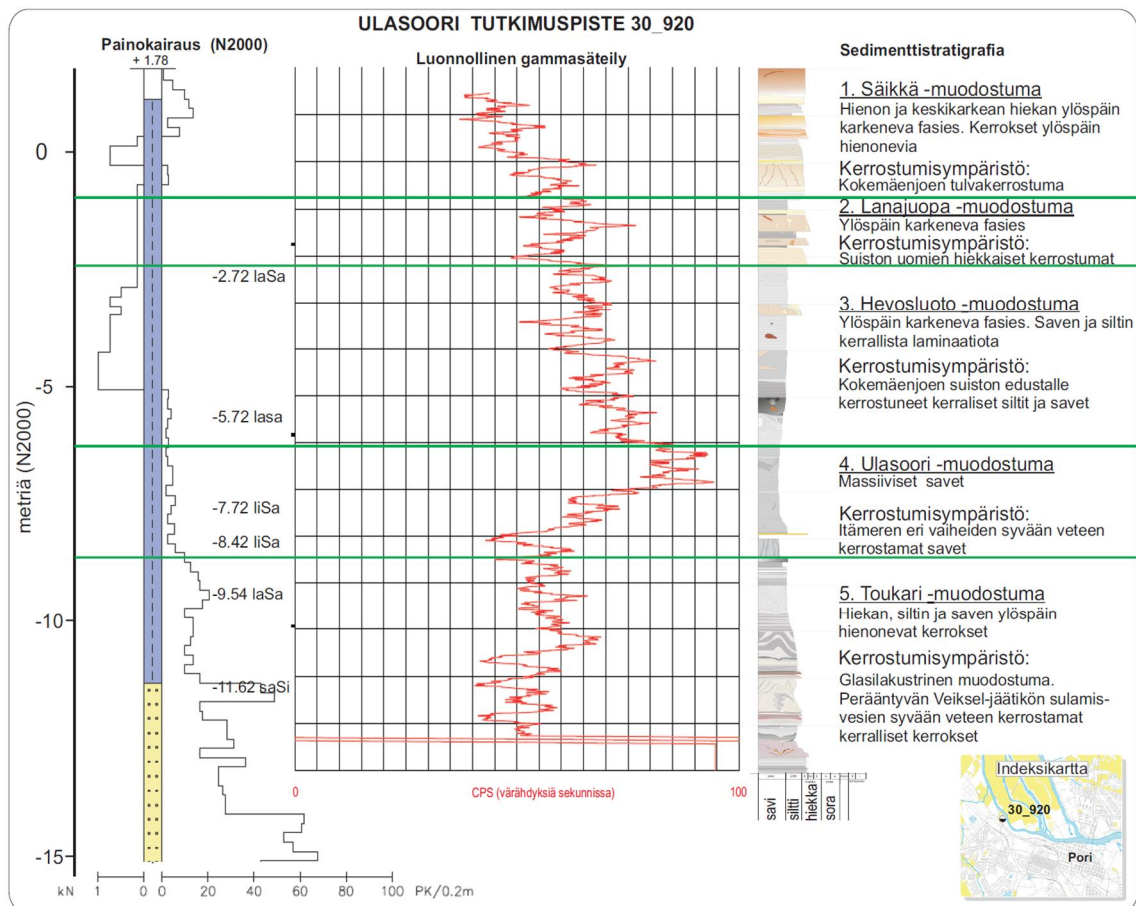


Kuva 15. Joen poikkilinja virtaussuuntaan nähden.

## 4 TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

Näytepisteeltä 30\_920 tehdyn monitoimikairakoneella otetun 15 metriä pitkän jatkuvan näytteen ja luonnollisen gammasäteilyn tutkimustulosten sekä aikaisemman tutkimuksen (Cripps *et al.* 2011) avulla Kokemäenjoen suistosta tulkittiin viisi litostratigrafista muodostumaa.

Näytepisteen 30\_920 painokairausta käytettiin muiden tutkimusalueella tehtyjen painokairausdiagrammien tulkinnoissa (kuva 16).



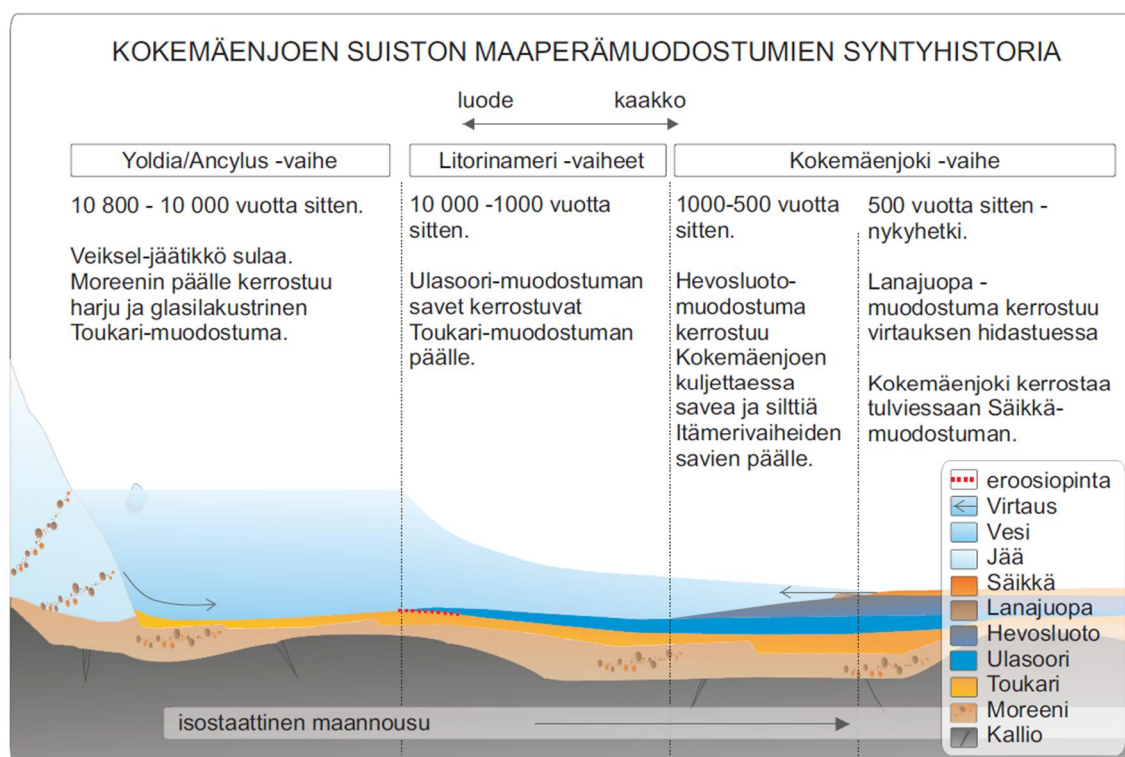
Kuva 16. Näytepisteen 30\_920 painokairausdiagrammi ja gammasäteilyn vaihtelu rinnastettuna sedimenttistratigrafiaan.



#### 4.1 Kokemäenjoen suiston maaperämuodostumien syntyhistoria

Tutkimusalueen maaperän muodostuminen alkoi, kun Veiksel-jäätikkö kulutti hiekkakiveä ja kerrosti edetessään sen päälle moreenipatjan. Viimeisen Veiksel-jäätikön perääntymisvaiheessa 10 800 vuotta sitten alkoi Toukari-muodostuman kerrostuminen (kuva 17). Poria peitti tuolloin yli 150 metriä syvä Ancyclus-järvi. Jäätiköltä tulevien sulamisvesien mukana kulkeutuva sedimenttiaines kerrostui jäätikön edustalle. Tämän jälkeen Toukari-muodostuman päälle alkoi kerrostua Ulasoori-muodostuman savia. Ulasoori-muodostuman paksuimmat kerrostumat kerrostuivat maaperän painanteisiin.

Hevosluoto-muodostumaa alkoi kerrostua, kun Kokemäenjoki eteni Porin alueelle. Kokemäenjoen virtausten ulottuttua alueelle joki alkoi kuljettaa suiston edustalle savea ja silttiä. Kokemäenjoen uomansuun edessä sen eteen alkoi kerrostua Lanajuopa-muodostuman hiekkvoja. Lopulta Kokemäenjoen voimakkaampien virtausten aikaan joki tulvi luonnon muodostamien tulvavallien yli kerrostaen Säikkä-muodostuman.

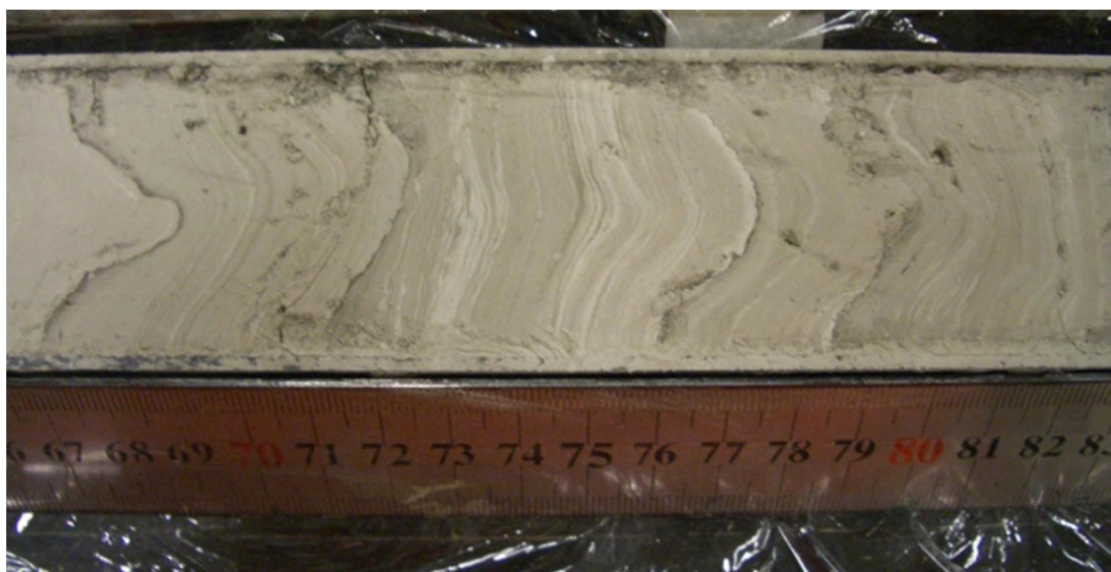


Kuva 17. Kokemäenjoen suiston maaperämuodostumien syntymisen periaatteellinen poikkileikkaus.

## 4.2 Sedimenttistratigrafia ja painokairausvastusten yleiset piirteet

### Toukari-muodostuma

Toukari-muodostuma koostuu soran, hiekan, siltin ja saven ylöspäin hienonevista kerroksista (kuva 16). Toukari-muodostuma on kerrostunut Veiksel-jäätikön sulamisvesien mukana kulkeutuneen sedimenttiaineksen kerrostuessa syvään veteen. Jäätikön läheisyyteen kerrostuivat karkeammat maalajitteet kuten sorat ja hiekat. Kauempana jäätiköstä virtausnopeus hidastui, ja sinne kerrostuivat raekooltaan hienommat maalajitteet kuten hienohiekka, siltti ja savi. Lisäksi kerrallisuutta aiheuttivat jäätikönsulamisvesien vuodenaikaisvaihtelut. Keväällä ja kesällä jäätikönsulamisvesien virtaus kasvoi, jolloin kerrostuivat karkeammat maalajitteet. Syksyllä ja talvella jäätiköltä tulevat virtaukset heikentyivät, jolloin kerrostuivat hienommat maalajitteet (kuva 18).



Kuva 18. Jäätikön sulamisvesien kerrostamaa saven, siltin ja hienon hiekan laminaatiota. Näytepisteellä 30\_920 -9,88 – -10,05 metrin (N2000) syvyydeltä otetussa näytteessä on 3–6 cm kerroksia, joissa laminaatiota. Kerrokset ovat ylöspäin hienonevia. Kerrosten alaspäin painuminen näytteen keskeltä on todennäköisesti kairaukseen liittyvä sekundäärinen rakenne. Pohja on kuvan oikeassa reunassa.

Toukari-muodostuma alkaa tyypillisesti painokairausvastuksen kasvaessa sekä vaihtelun lisääntyessä. Toukari-muodostumalle on tyypillistä painokairausvastuksen kasvaminen syvemmälle maaperään kairatessa.



### Ulasoori-muodostuma

Ulasoori-muodostuman kerrostuminen alkoi Veiksel-jäätiköltä tulevien sulamisvesien virtausten heikennyttyä. Tuhansien vuosien kuluessa silloiseen merenpohjaan sedimentoitui lihavaa savea (kuva 19). Ulasoori-muodostuman savet erottuvat maaperän luonnollisen gammasäteilyn mittauksessa voimakkaana kasvuna (kuva 16).

Tällä tutkimuspisteellä ei löytynyt viitteitä Ancyclusjärven savista. Todennäköisesti Ancyclusjärven savet ovat kuluneet pois aallokon johdosta, ja tämän jälkeen Toukari-muodostuman päälle ovat kerrostuneet Litorinameren savet.

Piilevälajistoltaan savet ovat pääosin murtoveden ja suolaisen veden lajistoa (taulukko 3) (Mölder ja Tynni 1967, 1968, 1969, 1970, 1973 ja 1980). Ainoa makeaan veteen osoittava piilevänäyte on ylin -6,12 metristä otettu näyte, mistä löytyi Aulacoseira ambigua (Newcastle University 2011).



Kuva 19. Näytepisteellä 30\_920 -8,66 metrin (N2000) syvyydellä on Ulasoori- ja Toukari-muodostuman eroosiorajapinta. Toukari-muodostuman yläosien laihan saven ja savisen siltin kerrosrakenteet ovat paremmin nähtävissä näytteen kuivuttua (alimmainen kuva).

Taulukko 3. Näytepisteen 30\_920 yleisimmät piilevät ja niiden esiintymisympäristöt.

Piilevät	Näyte 6 -6.12 m	Näyte 5 -6.42 m	Näyte 4 -7.02 m	Näyte 3 -7.92 m	Näyte 2 -8.42 m	Näyte 1 -8.57 m	Makea vesi	Murtovesi/ suolainenvesi
<i>Aulacoseira ambigua</i>	X						X	
<i>Thalassiosira baltica</i>		X	X					X
<i>Epithemia turgida</i>		X	X				X	X
<i>Hyalodiscus scoticus</i>		X	X					X
<i>Synedra tabulata</i>		X	X			X		X
<i>Rhoicosphenia curvata</i>				X	X	X		X
<i>Tabellaria fenestrata</i>				X	X	X	X	X
<i>Rhabdonema arcuatum</i>				X				X
<i>Cyclotella radiosa</i>						X	X	X
<i>Coscinodiscus commutatus</i>						X		X
<i>Rhopalodia</i> spp.					X		X	X

Ulasoori–muodostumalle on tyypillistä painokairan suhteellisen tasainen ja pieni kiertovastus.

#### Hevosluoto–muodostuma

Hevosluoto–muodostuma on syntynyt Kokemäenjoen suistoon tuoman saven ja siltin kerrostuessa matalaan veteen (2–60  $\mu\text{m}$ ). Kauimmaksi joensuulta kulkeutuu suspensiossa hienoaines, joka kerrostuu virtauksen hiljennettyä. Lähemmäksi jokisuuta tullessa sedimentoituva aines karkenee. Hevosluoto–muodostuman kerroksellisuus syntyy, kun Kokemäenjoen suurien virtaamien aikana kuljettama karkeampi raekoko kulkeutuu kauemmaksi jokisuulta ja sedimentoituu hiljaisen virtauksen kuljettaman hienonaineksen päälle.

Hevosluoto–muodostuman yläosalle on tyypillistä orgaanista ainesta sisältävä sulfidipitoinen kerroksellisuus (kuva 20). Tätä sulfidipitoista savista silttiä kerrostuu varsinkin rauhallisempiin lahdelmiin (Cripps *et al.* 2011).



Kuva 20. Näytepisteellä 30\_920 -3,91 – -4,08 metrin (N2000) syvyydeltä otetussa näytteessä näkyy Hevosluoto–muodostumalle tyypillistä tummaa sulfidipitoista laminaatiota.

Hevosluoto–muodostumalle on tyypillistä painokairausvastuksen tasainen kasvaminen painoilla kuormitettaessa. Hevosluoto–muodostuman alaosissa painokairausvastus on yleisesti joko 1 kN eli 1 kilonewton tai alle 10 pk/0,2 metriä eli 10 puolikierrosta/0,2 metriä.

#### Lanajuopa–muodostuma

Lanajuopa–muodostuman raekoostumus on karkeasta hienoon hiekkaan (60–2000  $\mu\text{m}$ ) (kuva 21). Lanajuopa–muodostumaa kerrostuu suiston uomiin jokiveden kuljettaessa sedimenttiainesta suspensiossa, kunnes virtaus hidastuu ja suurimmat rakeet siirtyvät pohjanläheiseen kuljetukseen. Pohjanläheisessä kuljetuksessa sedimenttiaines kulkeutuu saltaatioissa eli rakeiden hyppiessä ja traktiona eli rakeiden törmätessä toisiinsa kerrostuen lopulta aaltomaisina muotoina Hevosluoto–muodostuman savisten silttien päälle (Collinson *et al.* 2006).



Kuva 21. Näytepisteellä 30\_920 -2,54 – -1,68 metrin (N2000) syvyydeltä otetussa näytteessä näkyy Lanajuopa–muodostuman hienosta keskikarkeaan hiekkaan. Näyte on häiriintynyt näytteenotossa.

Lanajuopa–muodostumalle on tyypillistä painokairan tasainen ja hyvin pieni kairausvastus.

#### Säikkä–muodostuma

Säikkä–muodostuman raekoostumus on karkeasta siltistä keskikarkeaan hiekkaan (20–600  $\mu\text{m}$ ). Säikkä–muodostuman eli tulvakerrostuman hiekkakerrokset syntyvät Kokemäenjoen tulviessa voimakkaamman virtauksen aikaan luonnon muodostaman tulvavallin yli normaalisti kuivana oleville maa-alueille. Silttisimmät kerrokset ovat kerrostuneet virtauksen hiljennyttyä ja veden poistuessa tulvan peittämiltä alueilta. Näin muodostuu Säikkä–muodostumalle tyypillinen hiekkakerrosten ja ohuiden silttikerroksien vuoroittainen vaihtelu (kuva 22).

Näin tapahtuu nykyään Pihlavanlahdella, kun tulvavirtaamien aikaan suistoon uomansuun matalille vedenalaisille alueille kerrostuu Säikkä–muodostuman hiekkaisia kerroksia. Virtausten hiljennyttyä suistoon tulvakerrostumien hiekkojen päälle kerrostuvat silttisimmät kerrokset.





Kuva 22. Näytepisteellä 30\_920 +0,90 – +0,78 metrin (N2000) syvyydellä näkyy Säikkä-muodostumalle tyypillistä siltin ja hienon hiekan vuoroittaisia kerroksia.

Säikkä-muodostumalle on tyypillistä painokairausvastuksen vaihtelu kierron ja painoilla kuormituksen välillä. Painokairauksen alussa puolikierrosten määrä kasvaa yleisesti yli 10 pk/0,2 metriä. Säikkä-muodostuman alaosissa painokaira painuu yleensä joko pienillä painoilla tai vähillä puolikiirroksilla.

Painokairausdiagrammien tulkintojen luotettavuus maaperämuodostumista lisääntyy, jos rinnakkain voidaan käyttää laboratoriokokeiden raekokomäärityksiä.

### **4.3 Kokemäenjoen yksiuomainen osa**

Seuraavassa tarkastellaan eri maaperämuodostumien ja uoman morfologian yhteyksiä. Kokemäenjoen yksiuomainen 9 kilometriä pitkä yläjuoksun osa on jaettu morfologisten ja sedimentologisten ominaisuuksien perusteella kolmeen jokijaksoon.

Poikkileikkauskuvissa uoman mittasuhteita on muutettu, jotta uoman morfologia näkyy paremmin. Poikkileikkausten indeksikuvissa uoman mittasuhteet ovat oikeat. Poikkileikkauskuvissa katsotaan alavirtaan.

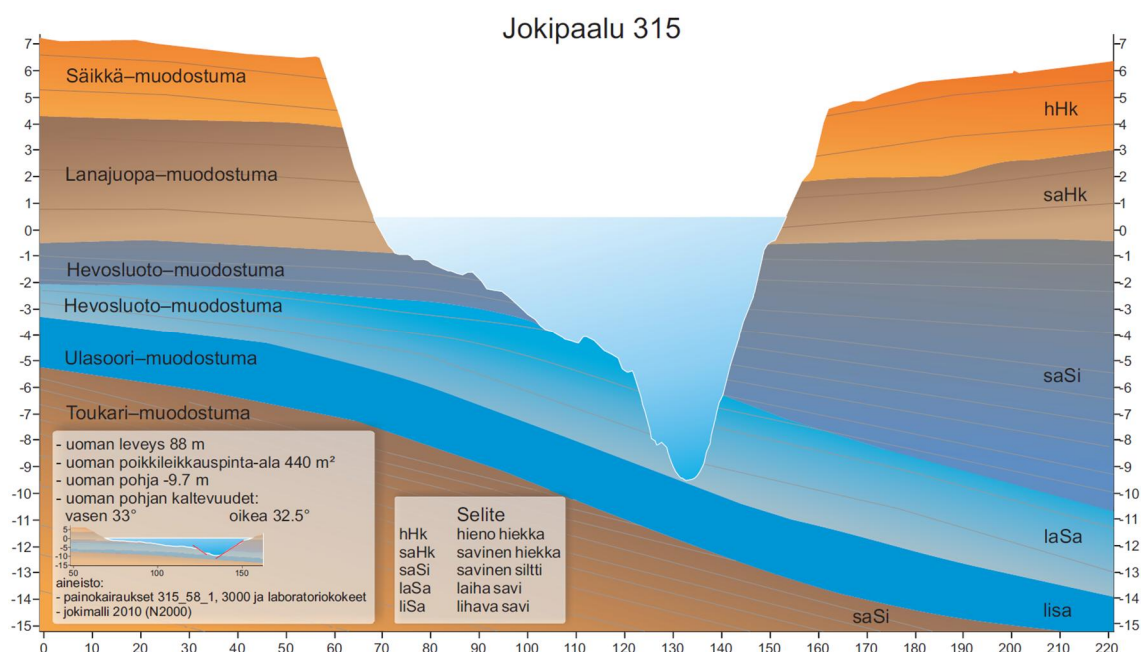




Jokijakso 1 sijaitsee yläjuoksulla Kokemäenjoen jokipaalualueen 316 ja 284 välillä (kuva 23). Saarenluodon alueella on ollut useita muitakin uomia, jotka ovat pääosin nykyisin kuivuneet ja näkyvät korkeusmallissa painanteina. Ennen Ulvilan keskustaa pääuomasta haarautuu Kirkkojuopa, joka yhtyy takaisin pääuomaan jokipaalualueen 289 kohdalla. Kuitenkin pääosa virtaamasta kulkee pääuoman kautta.

#### 4.4.1 Sedimenttistratigrafia

Jokijakson 1 alussa Toukari-muodostuma viettää kohti itää poikkileikkauksen 315 kohdalla (kuva 24.) Toukari-muodostuman yläraja on joen vasemmalla rannalla noin tasolla -5 ja länsirannalla tasolla -15 (N2000). Toukari-muodostuman päälle kerrostuneet Ulasoori-muodostuma ja Hevosluoto-muodostuma ovat kerrostuneet kaltevalle pinnalle ja Hevosluoto-muodostuma paksuuntuu itään päin mentäessä. Jokijaksoa alavirtaan kuljettaessa Toukari-muodostuman yläpinnan kaltevuus loivenee vähitellen, ja muodostumat ovat jokijakson lopussa lähes vaakasuorassa sekä nousevat lähemmäksi maanpintaa. Tämä johtunee siitä, että Porin halki kulkeva harju kulkee lähellä Kokemäenjoen länsipuolta jokipaalualueella 315 ja loittonee alavirralla päin mentäessä.



Kuva 24. Kokemäenjoen poikkileikkaus jokipaalualueen 315 kohdalla.

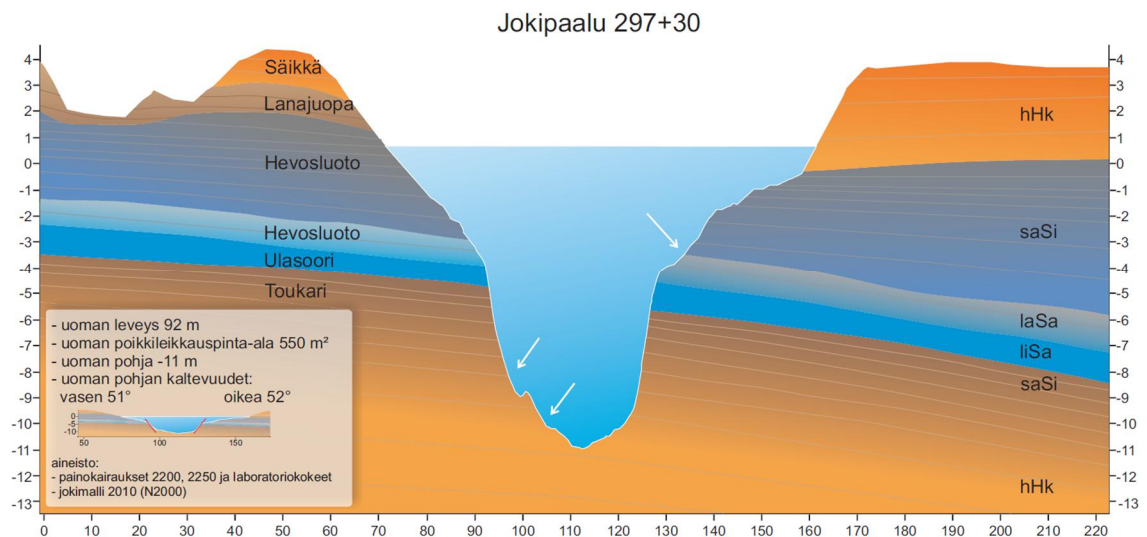


#### 4.4.2 Uoman morfologia

Uoman syväneura kulkee jokijakson 1 alussa uoman oikealla puolella ja jokipaalun 313 jälkeen jokipaalulle 299 uoman keskellä. Tämän jälkeen syväneura kulkee lähellä vasenta rantaa jokipaalulle 291 asti ja sen jälkeen lähellä keskikohtaa.

Jokijaksolla 1 syväneuran reunojen kaltevuudet ovat jyrkkiä. Kriittisin kohta on jokipaalun 297+30 kohdalla, missä vasemman reunan kaltevuus on  $51^\circ$  (1:0,8) (kuva 25). Jokipaalun 297+30 kohdalla lähimmän talon ja syvänteen reunan etäisyys on noin 45 metriä. Myös jokipaalujen 294 – 292+50 välissä uoman syväneura kulkee joen vasemman rannan lähellä ja etäisyys lähimpiin rakennuksiin on alle 20 metriä.

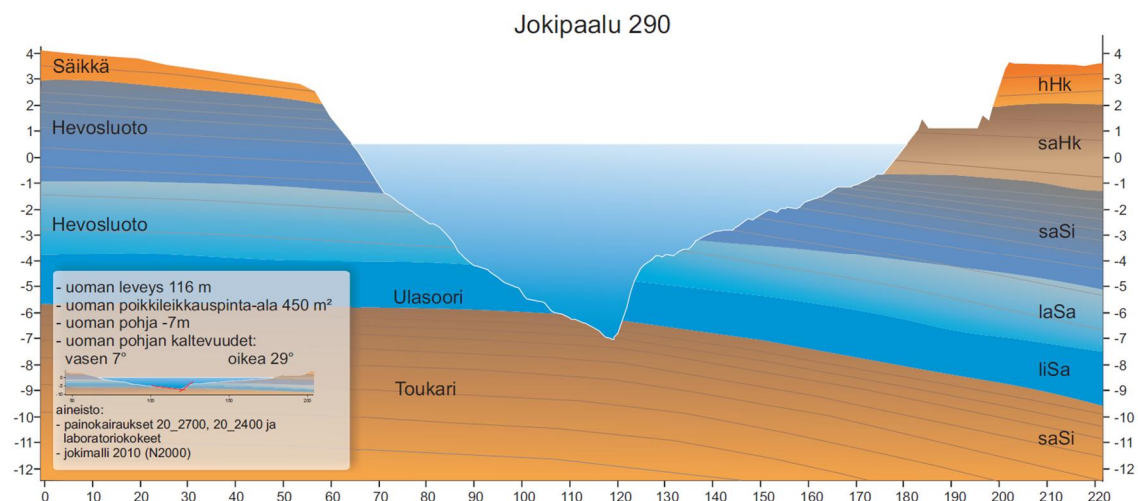
Jokijaksolla 1 syväneuran jyrkillä reunoilla on usein paikoin nähtävissä liukupintasortumia, jotka on voitu tarkemmin määrittää korkeusmallista (kuva 25).



Kuva 25. Kokemäenjoen poikkileikkaus jokipaalun 297+30 kohdalla. Uoman syväneura kulkee Toukari-muodostumassa. Liukupintasortumat on esitetty nuolilla.

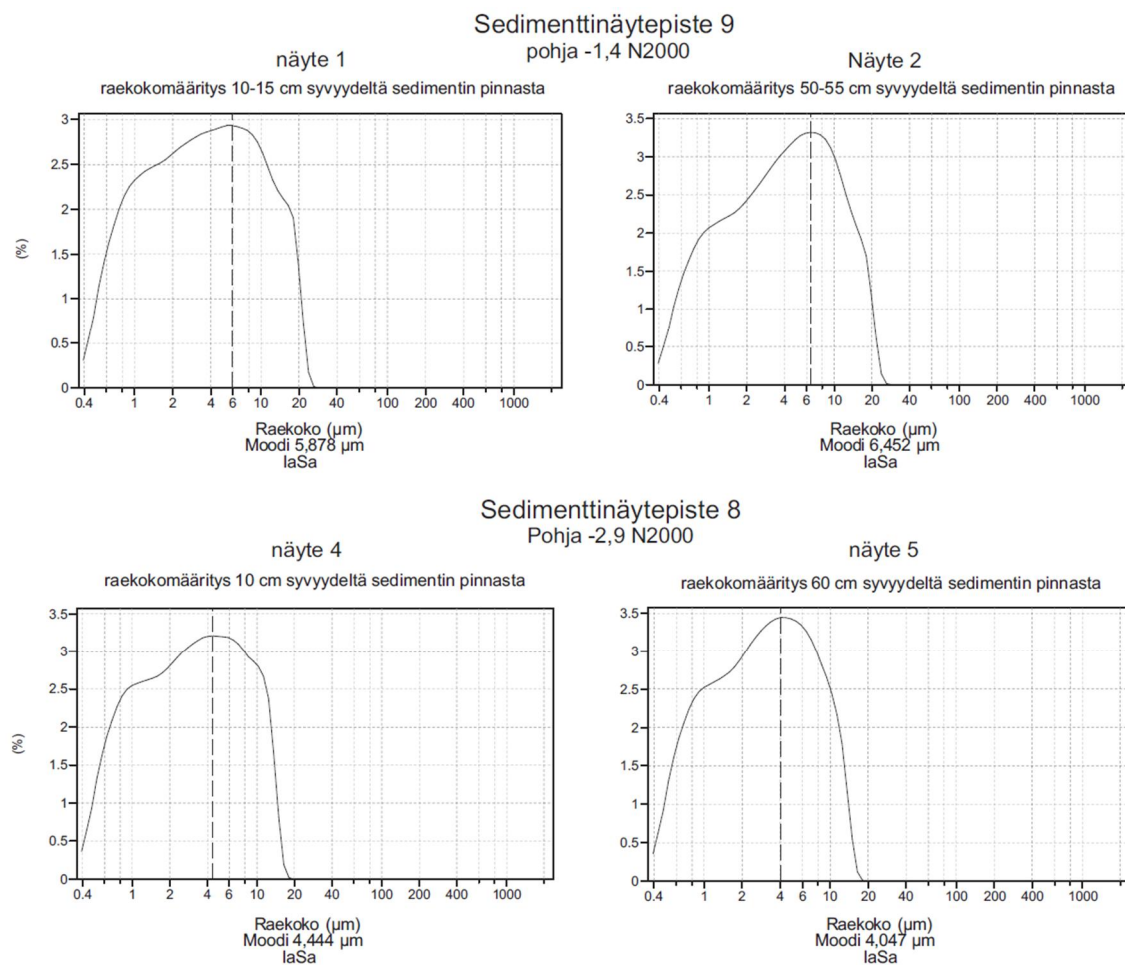
Jokipaalun 291+50 kohdalla uomassa on suvantopaikka, johon alivirtaamalla kerrostuu sedimenttejä eli Lanajuopa-muodostumaa. Jokipaalun 292 kohdalla uoman poikkileikkauspinta-ala on yli 500 m<sup>2</sup>.

Jokipaalun 290 kohdalta alavirtaan uoman leveys kasvaa ja Ulasoori-muodostuman savet sijaitsevat syvemmällä. Virtaus on kuluttanut koheesiomaat uoman keskeltä ja syväneura kulkee Toukari-muodostumassa (kuva 26).



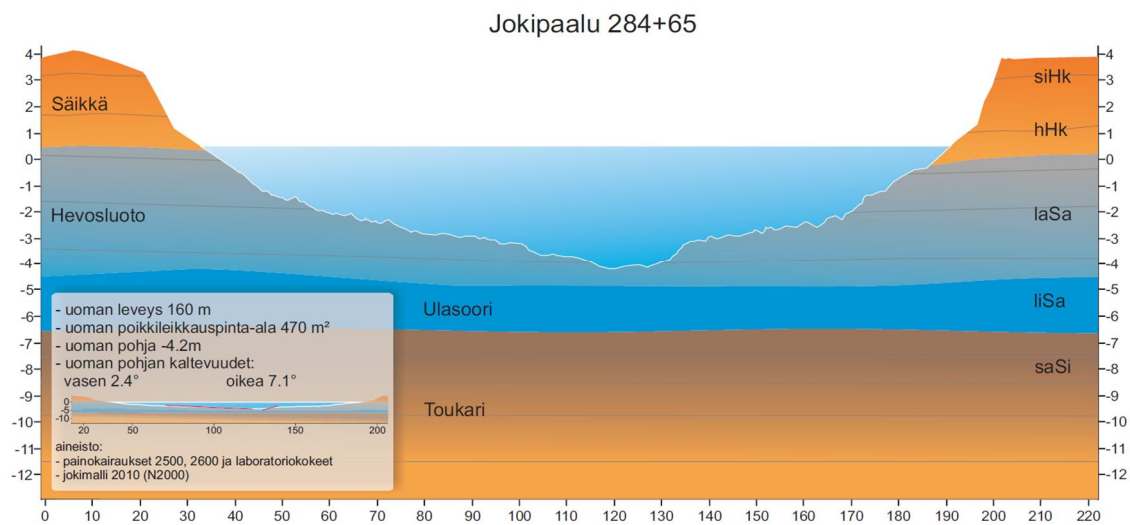
Kuva 26. Kokemäenjoen poikkileikkaus jokipaalun 290 kohdalla. Uoman syvänneura kulkee Toukari-muodostumassa.

Sedimenttinäytepisteiden 9 ja 8 näytteiden mukaan uoman pohja on Hevosluoto-muodostuman laihaa savea (kuva 27). Kummallakaan sedimenttinäytepisteellä ei ole pohjakasvillisuutta tai juuria eikä viitteitä sedimentaatiosta.



Kuva 27. Kokemäenjoen sedimenttinäytepisteiden 9 ja 8 raekokomääritysten tulokset.

Jokipaalun 284+65 kohdassa uoman pohja kulkee Hevosluoto–muodostumassa (kuva 28). Syvänneuran oikea reuna on kaltevuudeltaan 1: 7.

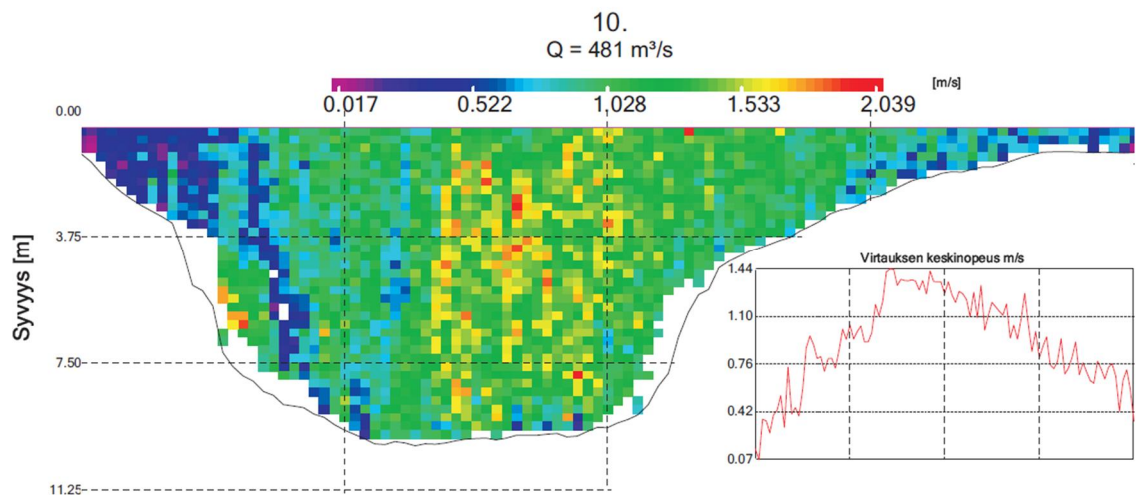


Kuva 28. Kokemäenjoenjoen poikkileikkaus jokipaalun 284+65 kohdalla. Uoman syvänneura kulkee Hevosluoto–muodostumassa.

#### 4.4.3 Virtausnopeudet

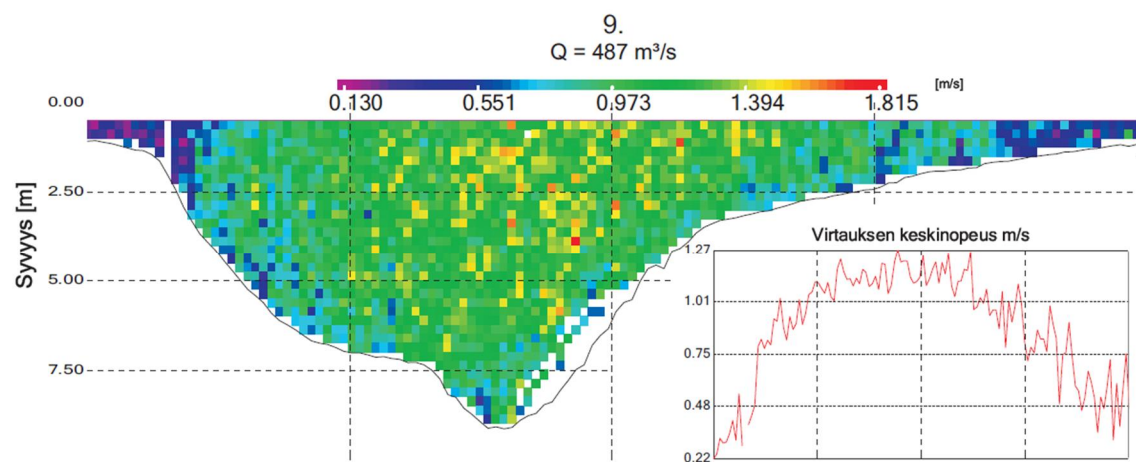
Virtausnopeudet virtaaman ollessa noin 500 m<sup>3</sup>/s. Harjavallan voimalaitoksen vuosien 1931–2009 vuosimaksimien keskiarvo MHQ = 590 m<sup>3</sup>/s

Virtausmittauslinjan 10 suurimmat nopeudet ovat keskellä uomaa koko syvyydellä. Linjalla 10 vedenvirtauksen suurin nopeus oli 2,0 m/s. Virtaama on sijoittunut enemmän oikealle puolelle uomaa. Sisäkaarre sijaitsee kuvan 29 oikeassa reunassa. Vasemmalla rannalla oli suurella virtaamalla voimakas akanvirta (kuva 33).



Kuva 29. Virtausnopeusmittauslinjan 10 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausmittauslinjan 9 suurimmat nopeudet vesipatsaassa ovat keskellä uomaa. Linjalla 9 vedenvirtauksen suurin nopeus oli 1,6 m/s. Virtaama on sijoittunut enemmän vasemmalle puolelle uomaa, joka on myös uoman sisäkaarre (kuva 30).

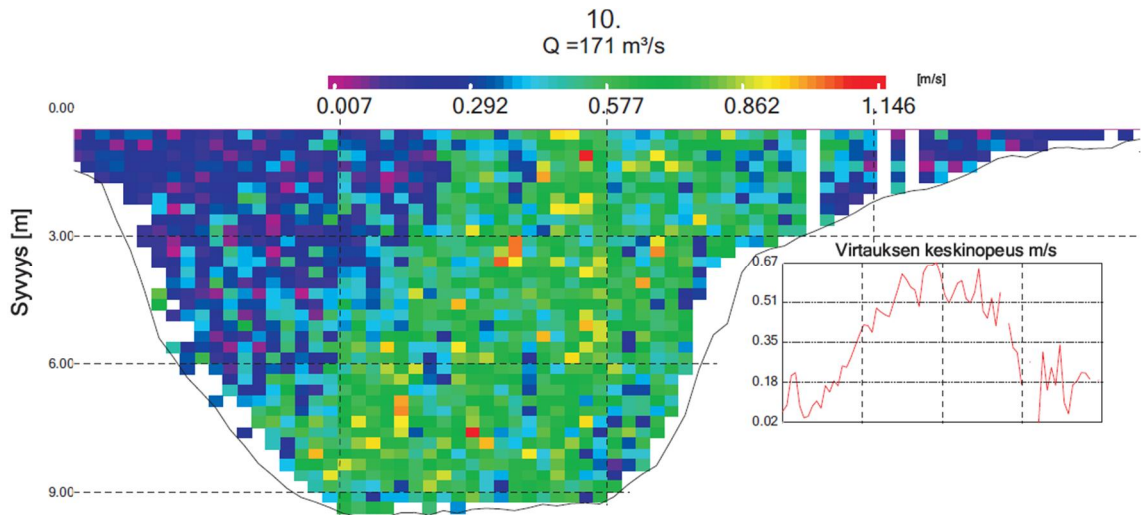


Kuva 30. Virtausnopeusmittauslinjan 9 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausnopeudet virtaaman ollessa alle 200 m<sup>3</sup>/s. Harjavallan voimalaitoksen vuosien 1931–2009 virtaamien keskiarvo MQ = 220 m<sup>3</sup>/s

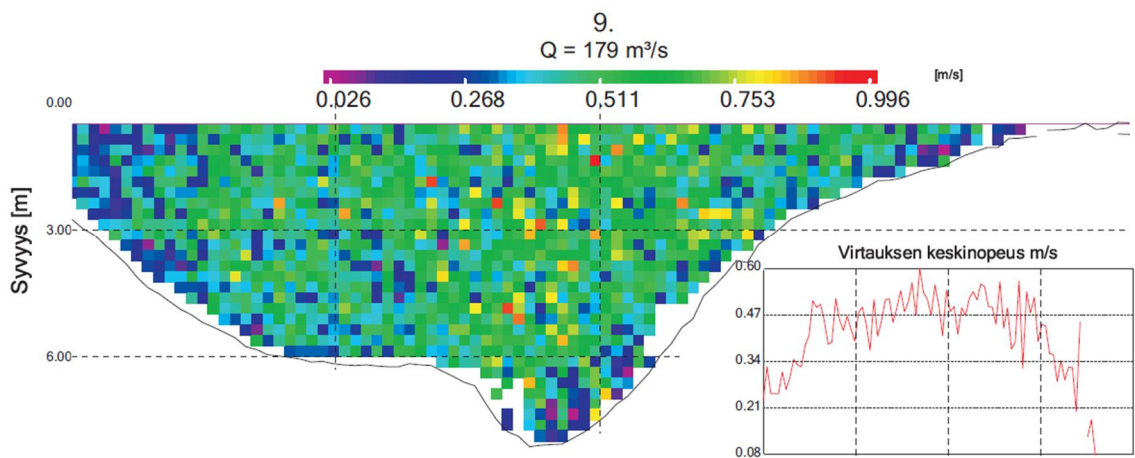
Virtausmittauslinjalla 10 virtaama on jakautunut keskelle uomaa suhteellisen tasaisesti koko poikkileikkauksessa (kuva 31). Linjalla 10 vedenvirtauksen suurin nopeus oli 1,2 m/s. Virtaama on sijoittunut lievästi enemmän oikealle puolelle uomaa.





Kuva 31. Virtausnopeusmittauslinjan 10 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausmittauslinjalla 9 virtaama on sijoittunut vesipatsaan keskiosaan (kuva 32). Uoman syvänneurassa on hitaamman virtauksen alue. Linjalla 9 vedenvirtauksen suurin nopeus oli 1,0 m/s.



Kuva 32. Virtausnopeusmittauslinjan 9 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

#### 4.4.4 Matalan ja syvän jokijakson 1 tulosten tulkinta

Jokijaksolla 1 uoma on kapea, ja uoman syvin kohta eli ns. syvänneura kulkee syvällä (kuva 25). Tämä johtuu osiltaan siitä, että jokijakso 1 on tutkimusalueen vanhin osa ja maankohoamisen vaikutukset ovat ehtineet muuttaa uoman morfologiaa kauemmin kuin alavirralla. Lisäksi virtausnopeudet uoman syvänneurassa jokijaksolla 1 ovat noin 1,5–1,0 m/s noin  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  virtaamalla. Näiden vuoksi uoma on kuluttanut monin paikoin

Hevosluoto- ja Ulasoori-muodostumien koheesiomaalajit (siltti ja savi) ja paljastanut eroosiolle herkemvät Toukari-muodostuman kitkamaalajit (hiekkä ja sora).

Uoman pohjassa ei ole pohjakasvillisuutta tai juuria, jotka estäisivät eroosiota ja edistäisivät sedimentaatiota (mm. Fola 2007, Leopold ja Wolman 1957). Uoman reunoilla on kapea kaista, missä kasvaa ulpukkaa ja uposkasveja. Tämä noin metrin syvyydellä oleva kaista vähentää uoman reunojen eroosiota lähes koko tutkimusalueella.

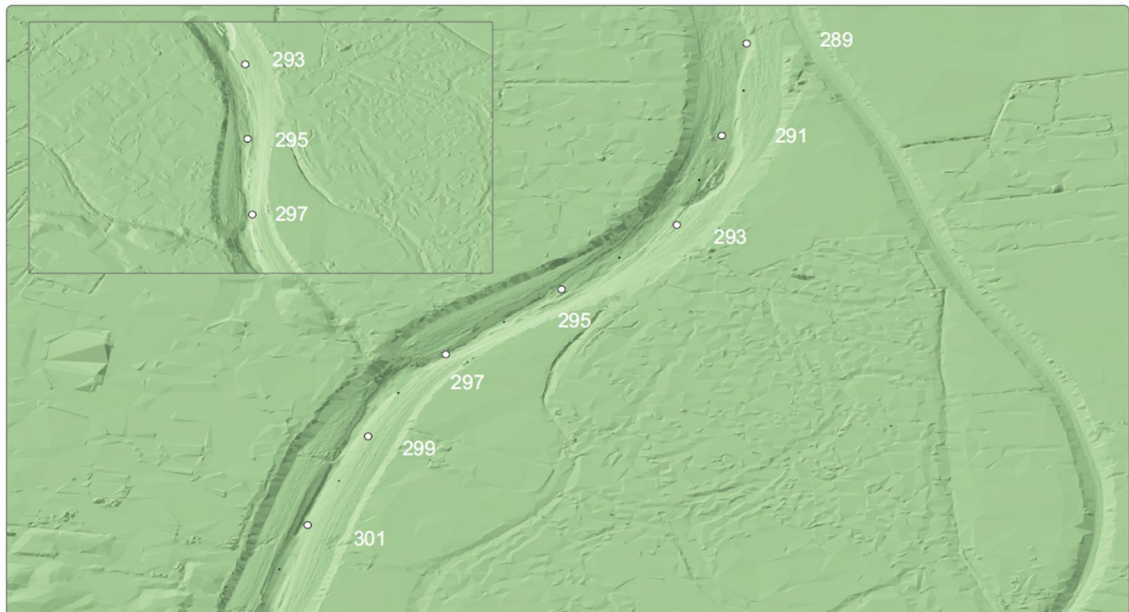


Kuva 33. Rantakasvillisuutta Kokemäenjoessa paaluvälillä 298–300. Kuva on otettu ylävirtaan. Kuvassa näkyy akanvirtaa.

Leopoldin ja Wolmanin (1957) mukaan tärkein yksittäinen uoman muotoon vaikuttava tekijä on virtaaman suuruus, ja yksi suuri tulva muokkaa uoman muotoa enemmän kuin pidempi jakso pienellä virtaamalla.

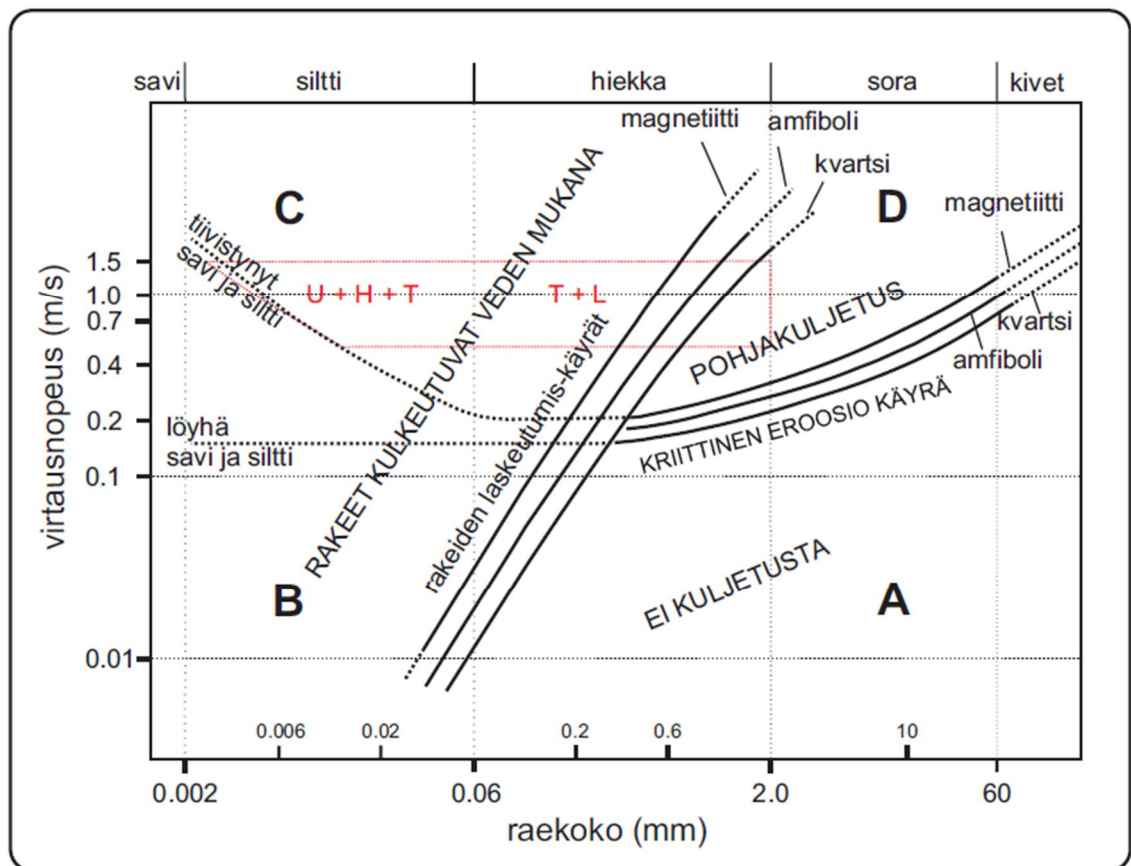
Bridgen (2003) mukaan virtausnopeuteen vaikuttaa pääasiassa virtaaman suuruus ja uoman poikkileikkauspinta-ala. Luonnollisessa joessa on tyypillisesti virta- ja suvantopaikkoja. Virtausnopeus kasvaa, kun vesi virtaa joessa kohtaan, missä on pienempi poikkileikkauspinta-ala. Tällaiset kohdat ovat tyypillisesti eroosiopaikkoja. Kohdassa missä joen poikkileikkauspinta-ala kasvaa, virtausnopeus hidastuu. Tällaiset hitaan virtauksen alueet toimivat mahdollisina sedimentaatiopaikkoina.

Jokijaksolla 1 virtausnopeudet ovat kohtuullisen suuria koko matkalla, ja uomassa on tapahtunut eroosiota ja sortumia useissa paikoissa. Kokemäenjoki ei ole sopeutunut muuttuneisiin olosuhteisiin ja pyrkii tasapainotilaan kasvattamalla uoman kokoa (kuva 34). Uoman poikkileikkauspinta-ala on pieni suhteessa virtaamaan ja virtausnopeus on kasvanut Kokemäenjoessa, kun sivuhaarojen virtaamat ovat pienentyneet tai uoma on suljettu. Uomasta on kehittynyt syvä paikoista, mistä Hevosluoto- ja Ulasoori-muodostuman koheesiomaat ovat kuluneet paljastaen eroosiolle herkemmän Toukari-muodostuman (kuva 35, D).



Kuva 34. Kokemäenjoen pohjaa paaluvälillä 300–289. Kuva alavirtaan. Uoman syvänneura kulkee monin paikoin Toukari-muodostumassa.

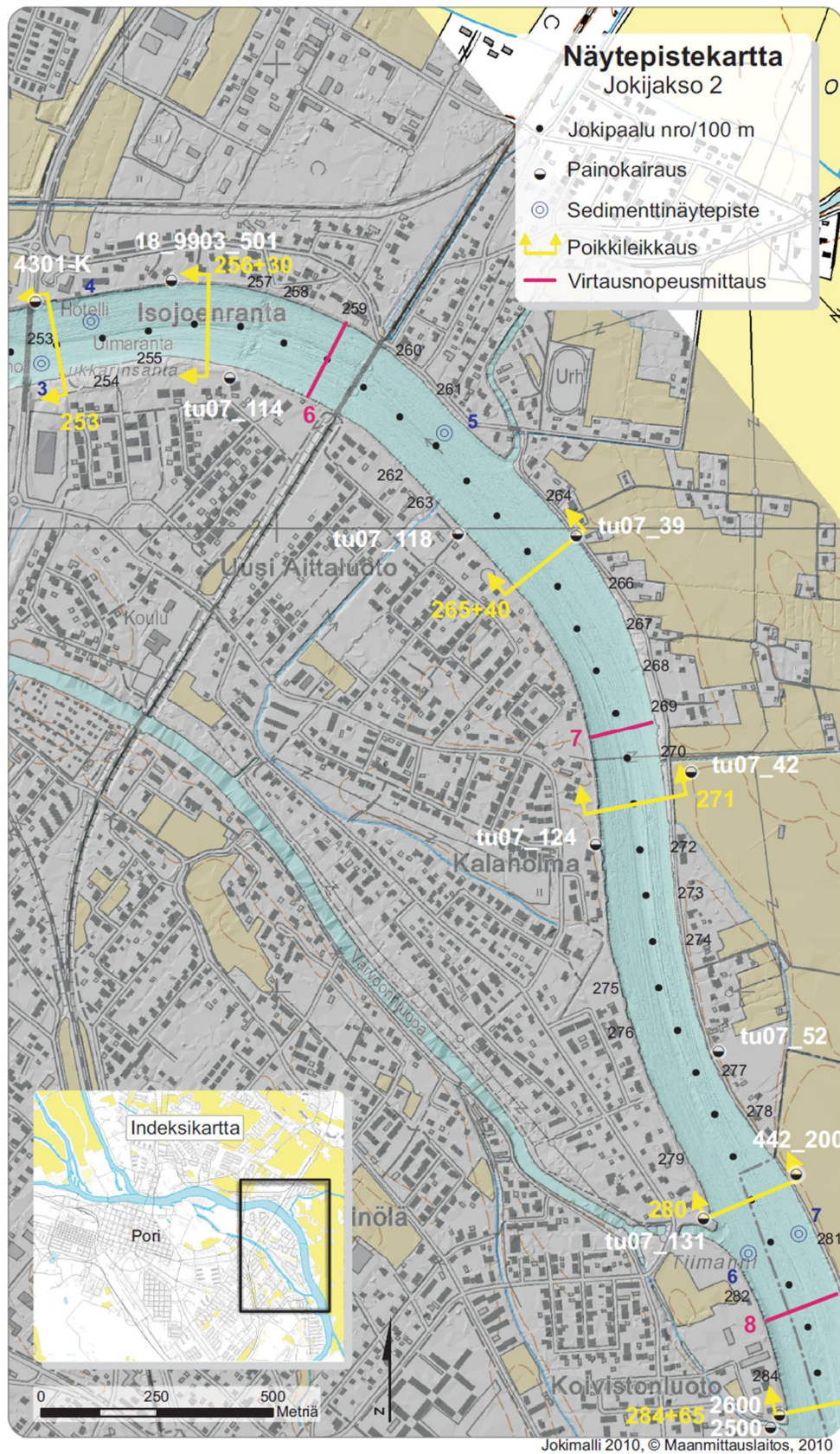
Paalulla 292 virtausnopeusmittauslinjalla 9 uoman poikkileikkauspinta-ala kasvaa ja virtausnopeudet laskevat hieman (kuva 30). Isolla virtaamalla  $Q \approx 500 \text{ m}^3/\text{s}$  virtausnopeusmittauksissa linjojen 10 ja 9 virtausnopeudet ylittävät kriittiset rajat lähes koko uoman leveydeltä, ja rakeet kulkeutuvat suurella virtaamalla virran mukana suspensiossa (kuva 35, C). Keskivirtaamalla  $MQ \approx 220 \text{ m}^3/\text{s}$  karkeaa silttiä suuremmat rakeet siirtyvät pohjakuljetukseen jokipaalun 292 jälkeen ja hienommat maalajitteet kulkeutuvat alavirralla suspensiossa (kuva 35, D ja C).



Kuva 35. Hjulströmin–Sundborgin diagrammi. Kriittiset virtausnopeudet sedimenttien raekoon mukaan. Punaisella alueella yksiuomaisen osan uoman pohjan virtausnopeudet virtaamalla noin  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  sekä raekokojakauma. U = Ulasoori–muodostuma, H = Hevosluoto–muodostuma, T = Toukari–muodostuma ja L = Lanajuopa–muodostuma. A: ei eroosiota. Tapahtuu sedimentaatiota. B: ei eroosiota/sedimentaatiota. C: tapahtuu eroosiota mutta ei sedimentaatiota. D: tapahtuu eroosiota ja pohjakuljetusta. Geotekninen maalajiluokitus Korhonen et al. (1974) mukaan. Kriittiset virtausnopeudet mukailtu Collinson et al. (2006) mukaan.



## 4.5 Kapea ja matala jokijakso 2



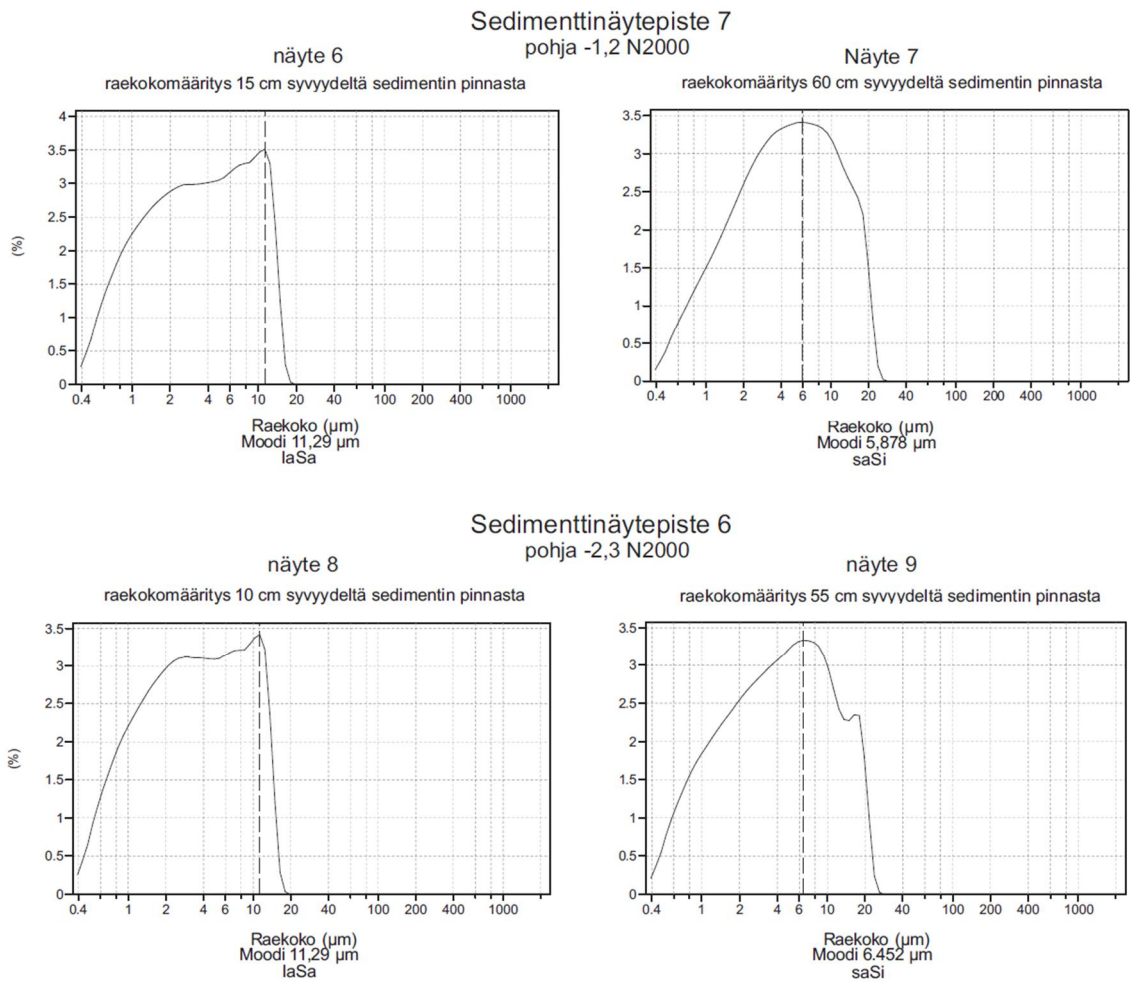
Kuva 36. Jokijakson 2 näytepistekartta.

Jokijakso 2 sijaitsee Kokemäenjoen jokipaalujen 284 ja 252 eli Koivistonluodon ja Lukkarinsillan välissä (kuva 36). Kokemäenjokeen laskee Harjunpäänjoki jokipaalun 263 kohdalla. Harjunpäänjoen keskivirtaama on 4,7 m<sup>3</sup>/s (Koskinen 2006). Jokijaksolla 2 on ollut useita sivu-uomia, jotka ovat haarautuneet pääuomasta Koivistonluodon ja Kalaholman välistä yhtyen taas pääuomaan Aittaluodon kohdalla. Osa vanhoista uomista on kuivunut luonnollisesti maan kohotessa ja osa ihmisen toimesta, kuten Varvourinjuopa, joka on suljettu ala- ja yläpäästään. Jotkin uomat on täytetty maankäytölle sekä osa on tukittu tulvasuojelullisista näkökulmista, ja virtaama on näin siirtynyt pääuomaan.

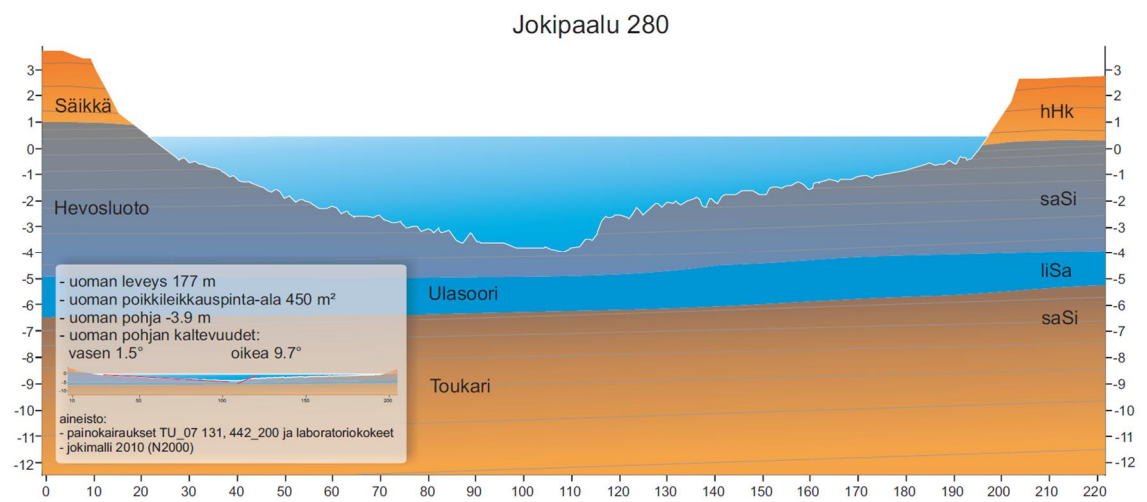
#### **4.5.1 Sedimenttistratigrafia**

Sedimenttinäytepisteellä 7 uoman pohja on tasossa -1,17 (N2000, Jokimalli 2010). 67 cm pitkä näyte on mustaa Hevosluoto–muodostuman sulfidipitoista keskisilttiä. Sedimenttinäytepisteellä 6 uoman pohja on tasossa -2,26 (N2000, Jokimalli 2010). 64 cm pitkä näyte on harmaan mustaa Hevosluoto–muodostuman sulfidipitoista keskisilttiä (kuva 37). Kummallakaan sedimenttinäytepisteellä 7 tai 6 ei näytteiden perusteella ollut viitteitä pohjakasvillisuudesta eikä sedimentaatiosta.

Jokijakson 2 alussa joen kerrostamat Hevosluoto-, Lanajuopa- ja Säikkä–muodostumat ovat ohuet ja Toukari–muodostuma sijaitsee noin tasolla -6 (N2000). Jokipaalun 280 kohdalla muodostumat viettävät hyvin loivasti länteen (kuva 38). Poikkileikkauksessa 280 Hevosluoto–muodostuma on paksumpi poikkileikkauksen vasemmalla puolella ja Säikkä–muodostuma ulottuu korkeammalle.



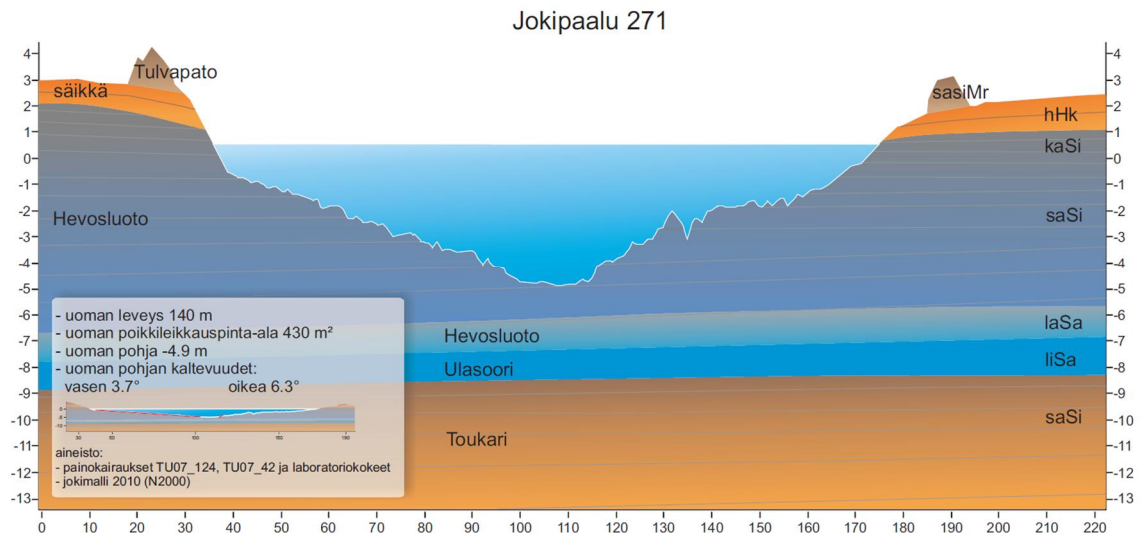
Kuva 37. Kokemäenjoen sedimenttinäytepisteiden 7 ja 6 raekokomääritysten tulokset.



Kuva 38. Kokemäenjoen poikkileikkaus jokipaalu 280 kohdalla.

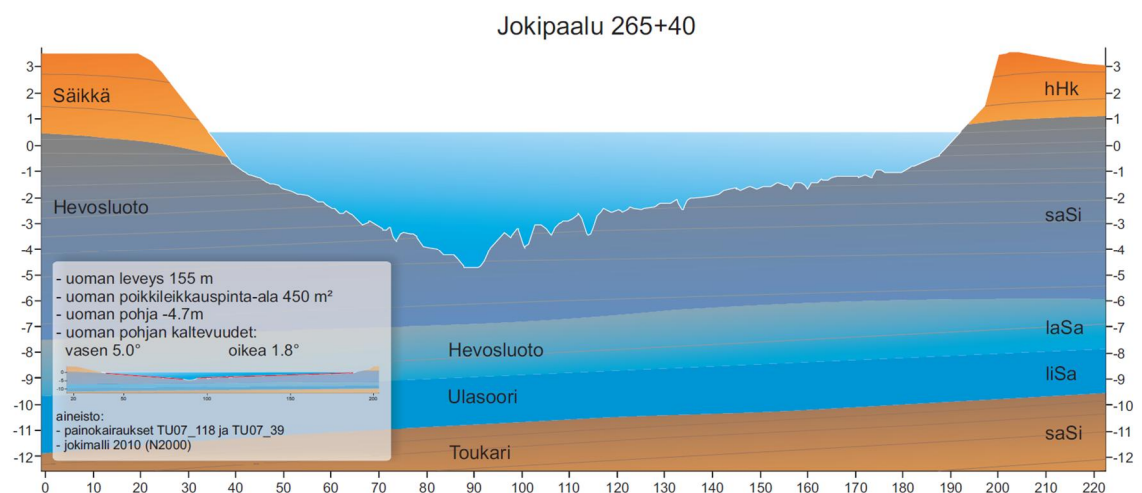


Poikkileikkauksessa 271 uoman vasemmalle reunalle on rakennettu tulvapato ja uoman oikealla reunalla on tiepenger (kuva 39.) Säikkä–muodostuma on noin metrin paksu. Muodostumat viettävät hyvin loivasti länteen ja Toukari–muodostuma alkaa noin tasolta -8,5 (N2000).



Kuva 39. Kokemäenjoen poikkileikkaus jokipaalun 271 kohdalla.

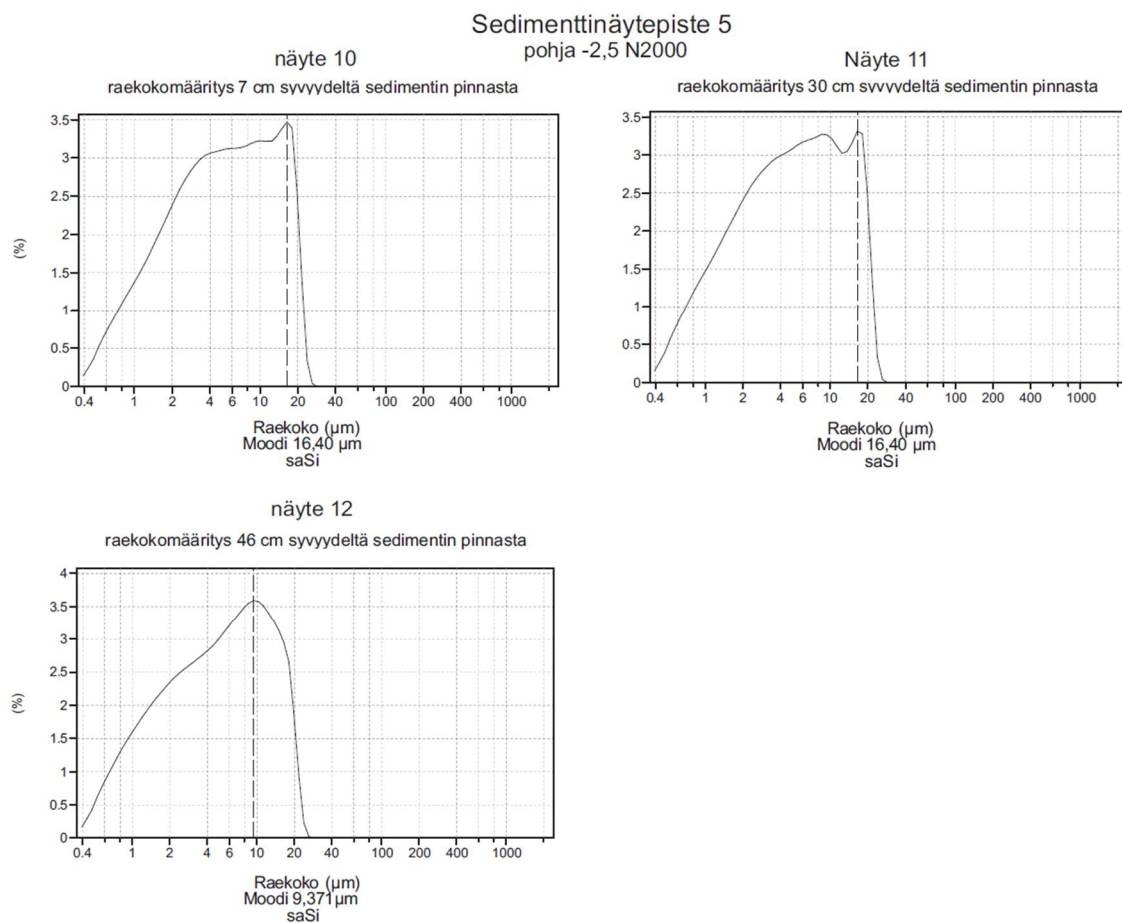
Poikkileikkauksen 265+40 kohdalla muodostumat viettävät voimakkaammin länteen kuin jokipaalun 271 kohdalla (kuva 40). Toukari–muodostuma on tason -9 N2000 alapuolella. Toukari–muodostuman päällä olevat Ulasoori– ja Hevosluoto–muodostuman laihan saven ja lihavan saven kerrokset ovat yhteensä noin 4 metriä.



Kuva 40. Kokemäenjoen poikkileikkaus jokipaalun 265+40 kohdalla.

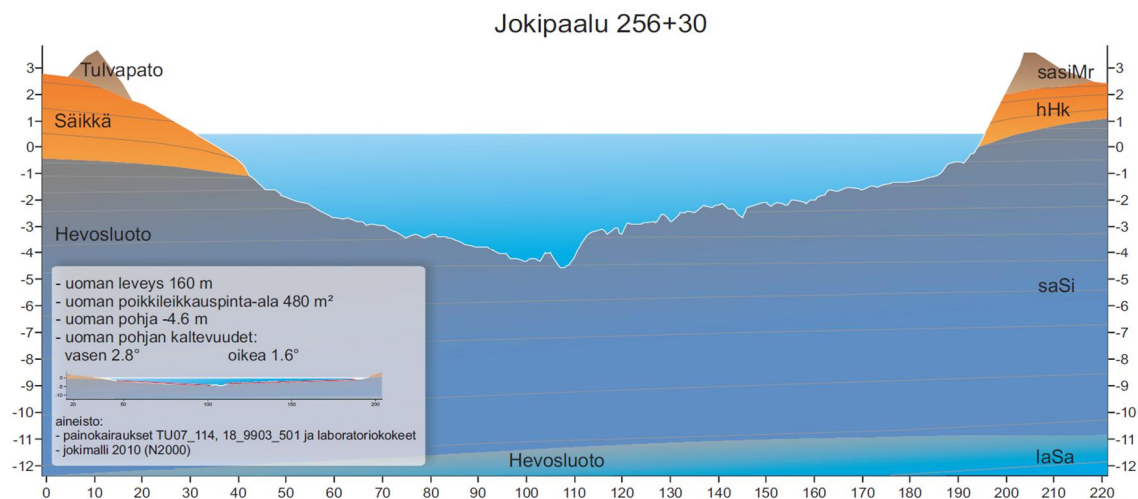


Sedimenttinäytepisteellä 5 uoman pohja on tasossa -2,5 metriä (N2000, Jokimalli 2010). 54 cm pitkä näyte on harmaan mustaa Hevosluoto–muodostuman sulfidipitoista keskisilttiä (kuva 41). Sedimenttinäytteellä 5 ei ollut viitteitä pohjakasvillisuudesta eikä sedimentaatiosta.



Kuva 41. Sedimenttinäytepisteen 5 raekokomääritysten tulokset.

Poikkileikkauksen 256+30 kohdalla Hevosluoto–muodostuman savinen silttikerrostuma on noin 10 metrin paksuinen ja viettää etelään päin (kuva 42). Joen kummallakin puolella on rakennetut tulvapatot. Säikkä–muodostuma on paksumpi joen eteläpuolella.

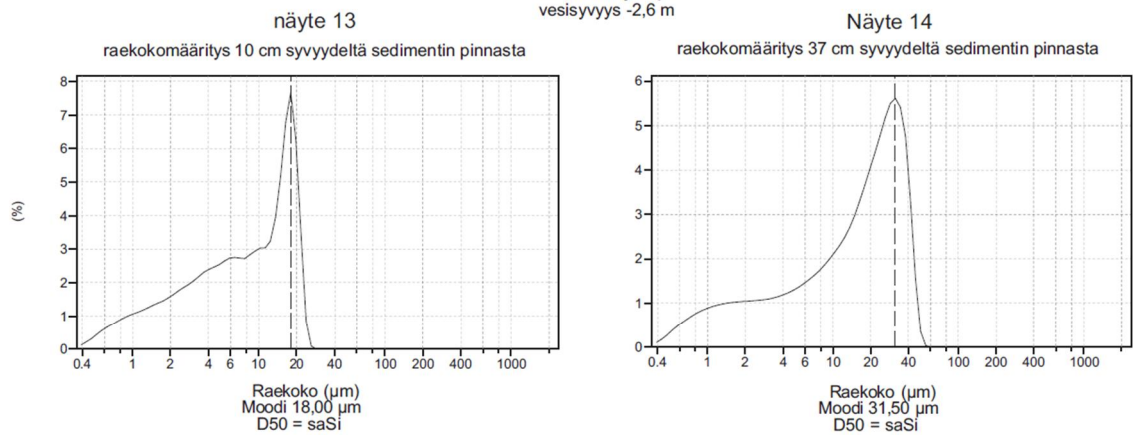


Kuva 42. Kokemäenjoen poikkileikkaus jokipaalun 256+30 kohdalla.

Sedimenttinäytepisteellä 4 uoman pohja on tasossa -2,62 (N2000, Jokimalli 2010). 42 cm pitkä näyte on mustaa Hevosluoto–muodostuman sulfidipitoista keski/karkeaa silttiä. Sedimenttinäytepisteellä 3 uoman pohja on tasossa -2,93 (N2000, Jokimalli 2010). 64 cm pitkä näyte on mustaa Hevosluoto–muodostuman sulfidipitoista keski/karkeaa silttiä (kuva 43). Näytteessä on 10 cm kohdalla kasvijäänteitä sisältävä kerros. Sedimenttinäytepisteillä 4 ja 3 ei ollut viitteitä pohjakasvillisuudesta eikä sedimentaatiosta.

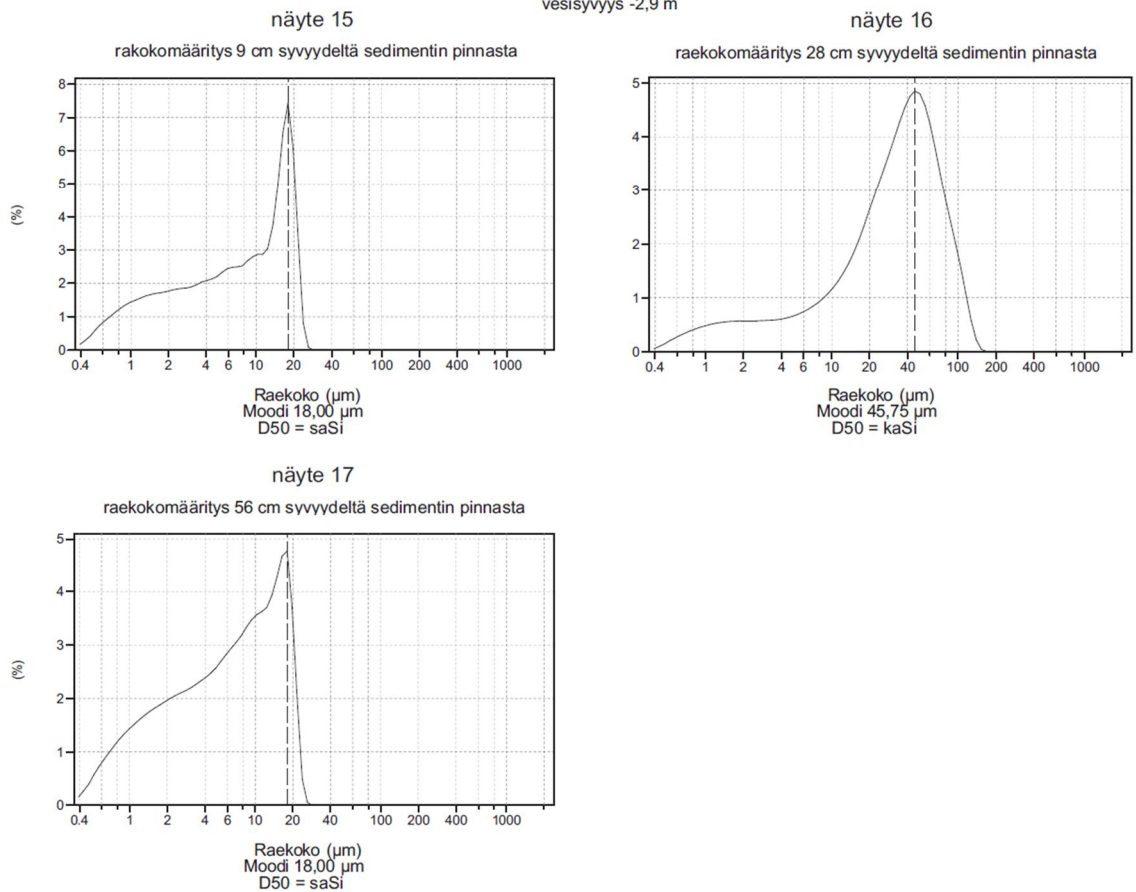
## Sedimentinäytepiste 4

vesisyvyys -2,6 m



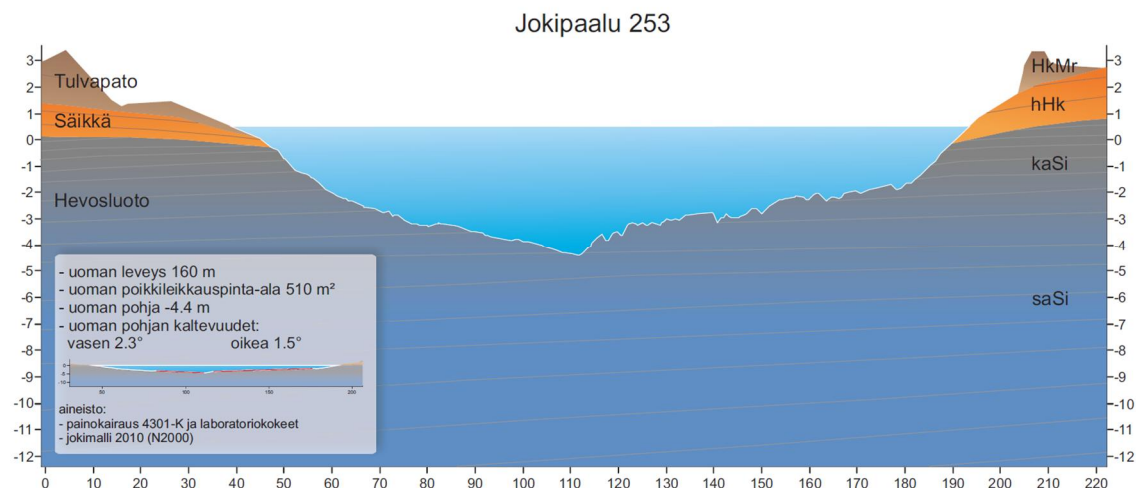
## Sedimentinäytepiste 3

vesisyvyys -2,9 m



Kuva 43. Kokemäenjoen sedimentinäytepisteiden 4 ja 3 raekokomääritysten tulokset.

Poikkileikkauksen 253 kohdalla Hevosluoto-muodostuma on alle tason -12 N2000 (kuva 44). Muodostumat ovat lähes vaakasuorassa poikkileikkauksessa 253 ja muuttuvat tämän jälkeen kalteviksi kohti pohjoista.



Kuva 44. Kokemäenjoen poikkileikkaus jokipaalun 253 kohdalla.

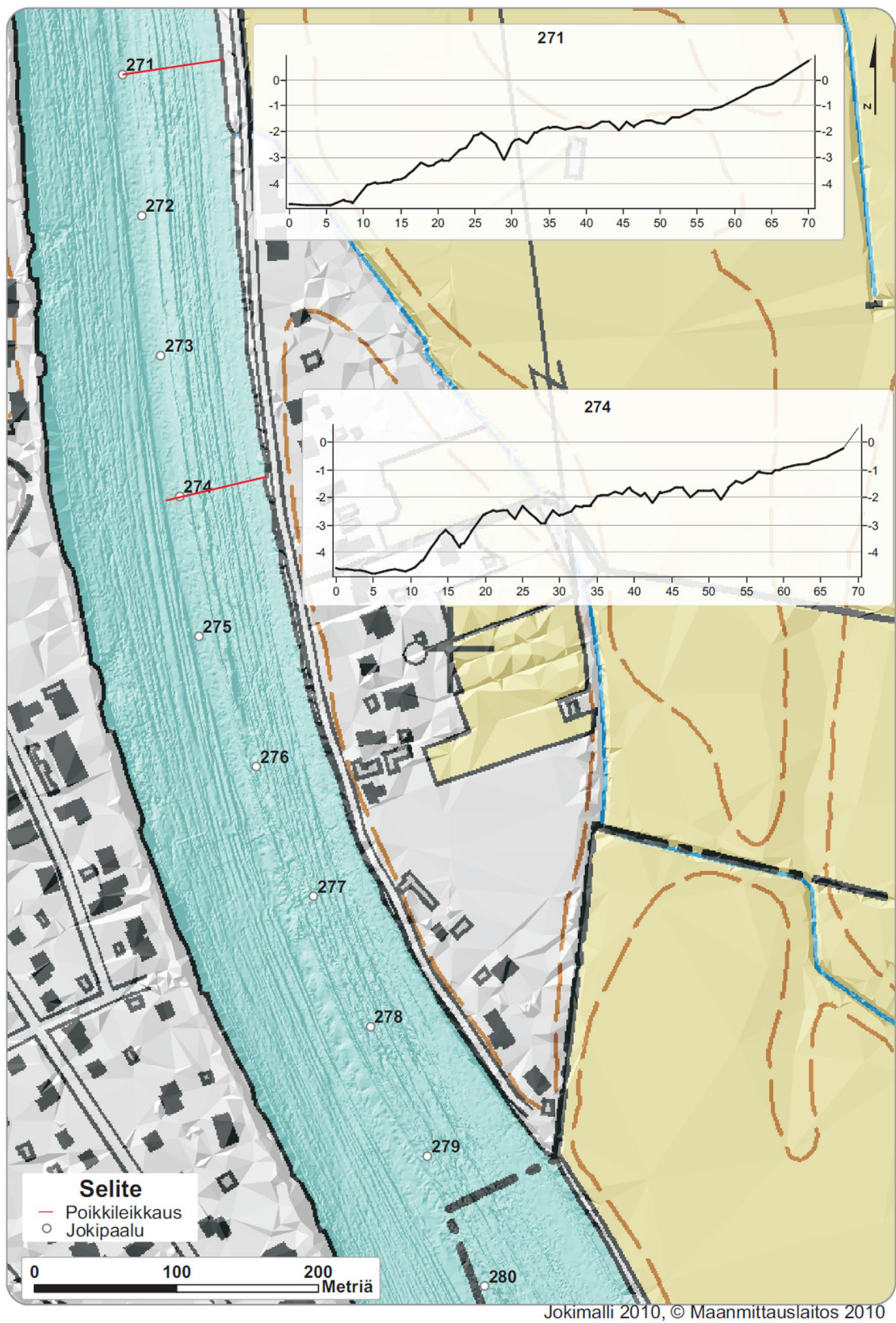
#### 4.5.2 Uoman morfologia

Jokijaksolla 2 uoma kulkee Hevosluoto–muodostuman savisessa silttikerroksessa ja syvänneura kulkee joen mutkissa sisäkaarteessa. Jokipaalun 280 kohdalla syvänneuran reunojen kaltevuudet ovat alle 10°. Jokipaalun 273 kohdalla syvänneuran vasemman reunan kaltevuus on noin 12° ja oikean reunan kaltevuus on noin 26°.

Uoma on jokijakson alussa matala ja leveä. Uoma muuttuu jokipaalun 279 jälkeen alavirralla päin kapeaksi sekä syvenee. Myös uoman poikkileikkauspinta-ala pienenee ja on jokijakson 2 kapeimmassa kohdassa jokipaalun 276+70 kohdalla noin 380 m<sup>2</sup> (Jokimalli 2010). Uoman poikkileikkauspinta-ala alkaa kasvaa jokipaalulta 270 alkaen ja on jokipaalulla 256+30 noin 480 m<sup>2</sup> ja jokipaalulla 253 noin 510 m<sup>2</sup> (Jokimalli 2010).

Lähes koko jokijakson 2 matkalla uoman pohjalla on vakoja (kuva 45). Melkein kaikki vaot (furnow) ovat joen suuntaisia. Vakojen syvyydet ovat muutamista sentteistä yli metriin ja pituudet muutamista metreistä lähes kilometriin. Vakojen leveydet vaihtelevat sentteistä useaan metriin. Vakojen reunojen kaltevuudet ovat jyrkimmillään 30° eli noin 1:1,7 ja yleisesti 16° eli noin 1:3,5. Osa vaoista haarautuu alavirtaan kuten jokipaalun 272 kohdalla. Jokipaalun 275+50 oikealla puolella pitkää vakoja leikkaa toinen lyhyempi vako. Leikkaavan vaon pohjan taso on -2,5 N2000 ja sen pohja on noin 10 cm syvemmällä kuin vaon, jota se leikkaa.



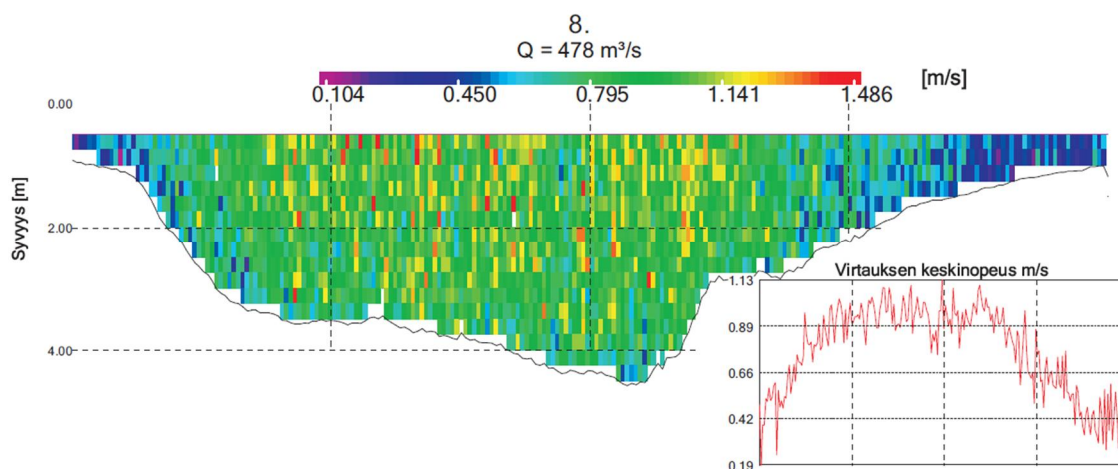


Kuva 45. Kokemäenjoen pohjaa jokipaaluvälillä 280 – 271. Pohjassa näkyvien vakojen pituudet ovat muutamista metreistä lähes kilometriin. Vakojen syvyydet ovat muutamista senteistä yli metriin.

### 4.5.3 Virtausnopeudet

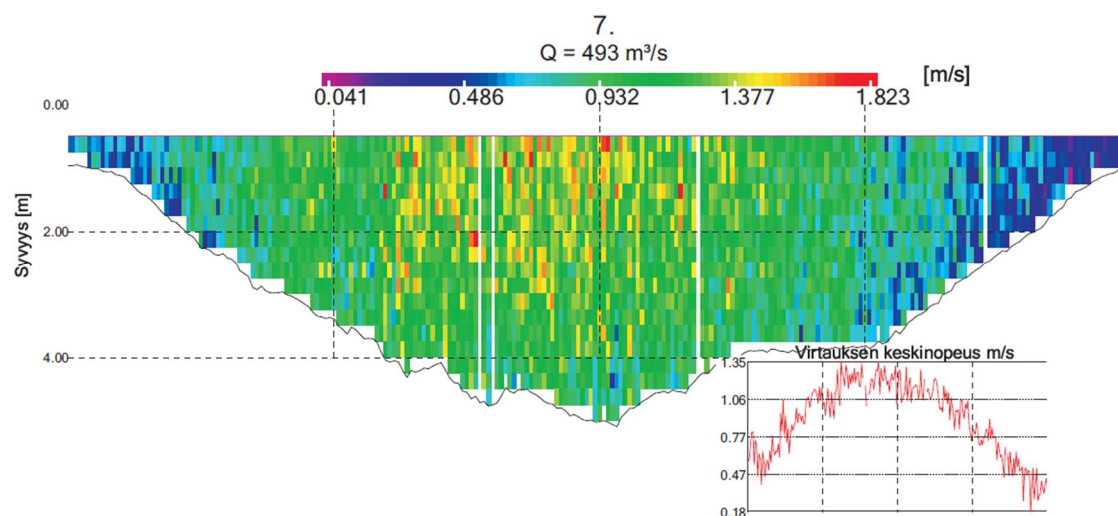
Virtausnopeudet virtaaman ollessa noin 500 m<sup>3</sup>/s. Harjavallan voimalaitoksen vuosien 1931–2009 vuosimaksimien keskiarvo MHQ = 590 m<sup>3</sup>/s

Virtausmittauslinjan 8 suurimmat nopeudet ovat lähellä vasenta rantaa ja lähellä pintaa (kuva 46). Linjalla 8 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,5 m/s. Virtaama on sijoittunut enemmän vasemmalle puolelle uomaa.



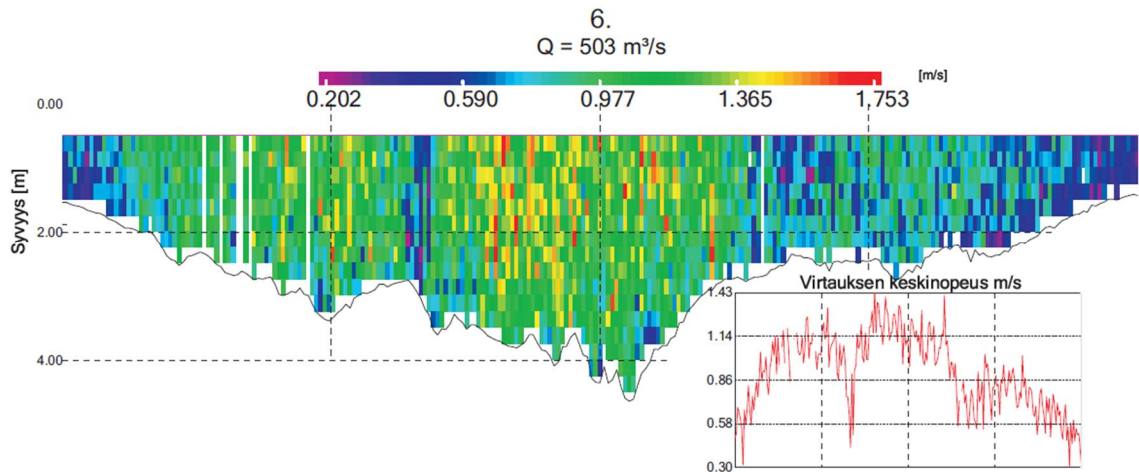
Kuva 46. Virtausnopeusmittauslinjan 8 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausmittauslinjan 7 suurimmat nopeudet ovat keskeltä vasempaan rantaan lähellä pintaa (kuva 47). Linjalla 7 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,8 m/s. Virtaama on sijoittunut enemmän uoman vasemmalle puolelle sisäkaarteeseen.



Kuva 47. Virtausnopeusmittauslinjan 7 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

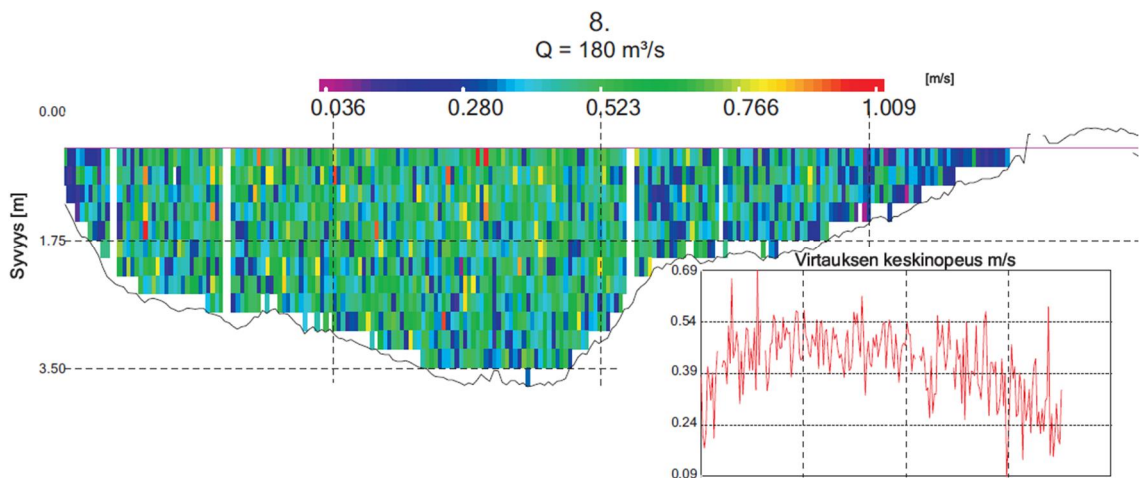
Virtausmittauslinjan 6 suurimmat nopeudet ovat keskellä uomaa lähes koko syvyydellä (kuva 48). Poikkileikkauksessa näkyy kaksi hitaan virtauksen aluetta, jotka johtuvat rautatiesillan virtapilareista. Linjalla 6 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,8 m/s. Virtaama on sijoittunut enemmän uoman vasemmalle puolelle sisäkaarteeseen.



Kuva 48. Virtausnopeusmittauslinjan 6 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausnopeudet virtaaman ollessa alle  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Harjavallan voimalaitoksen vuosien 1931–2009 virtaamien keskiarvo  $MQ = 220 \text{ m}^3/\text{s}$ .

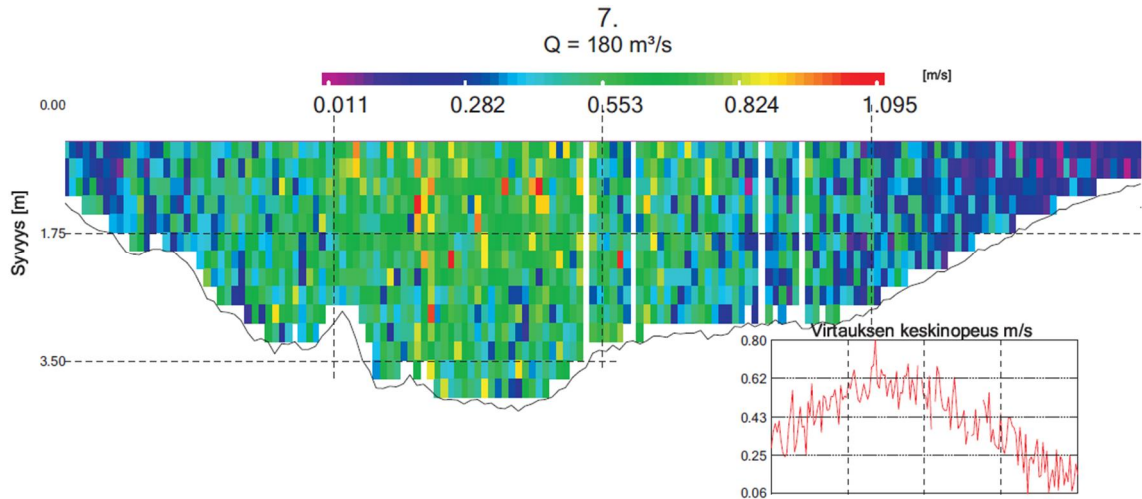
Virtausmittauslinjalla 8 virtaama on jakautunut suhteellisen tasaisesti koko poikkileikkaukseen (kuva 49). Linjalla 8 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,0 m/s. Virtaama on sijoittunut lievästi enemmän vasemmalle puolelle uomaa.



Kuva 49. Virtausnopeusmittauslinjan 8 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

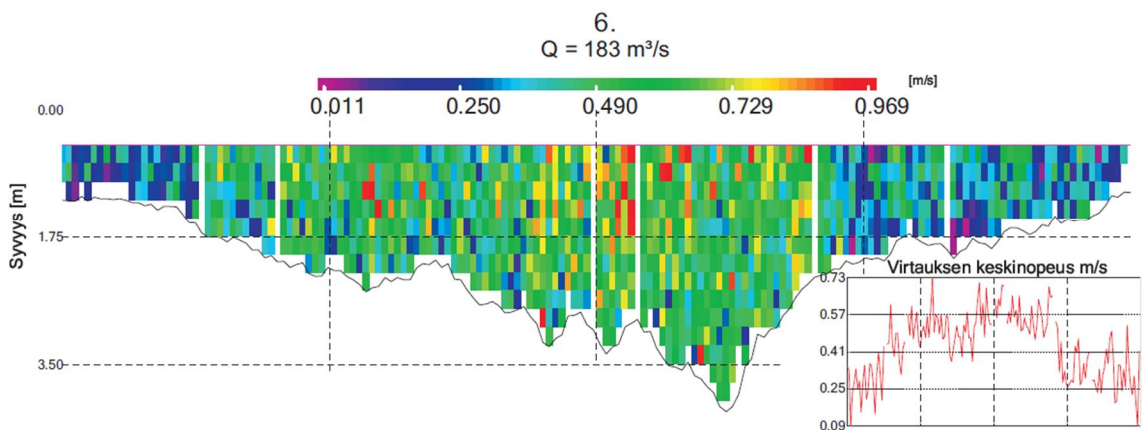


Virtausmittauslinjan 7 suurimmat nopeudet ovat uoman keskeltä vasempaan rantaan lähes koko syvyydellä (kuva 50). Linjalla 7 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,1 m/s. Virtaama on sijoittunut enemmän uoman vasemmalle puolelle sisäkaarteeseen.



Kuva 50. Virtausnopeusmittauslinjan 7 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausmittauslinjan 6 suurimmat nopeudet ovat lähellä pintaa uoman keskellä (kuva 51). Linjalla 6 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,0 m/s. Virtaama on sijoittunut lähelle uoman keskikohtaa.



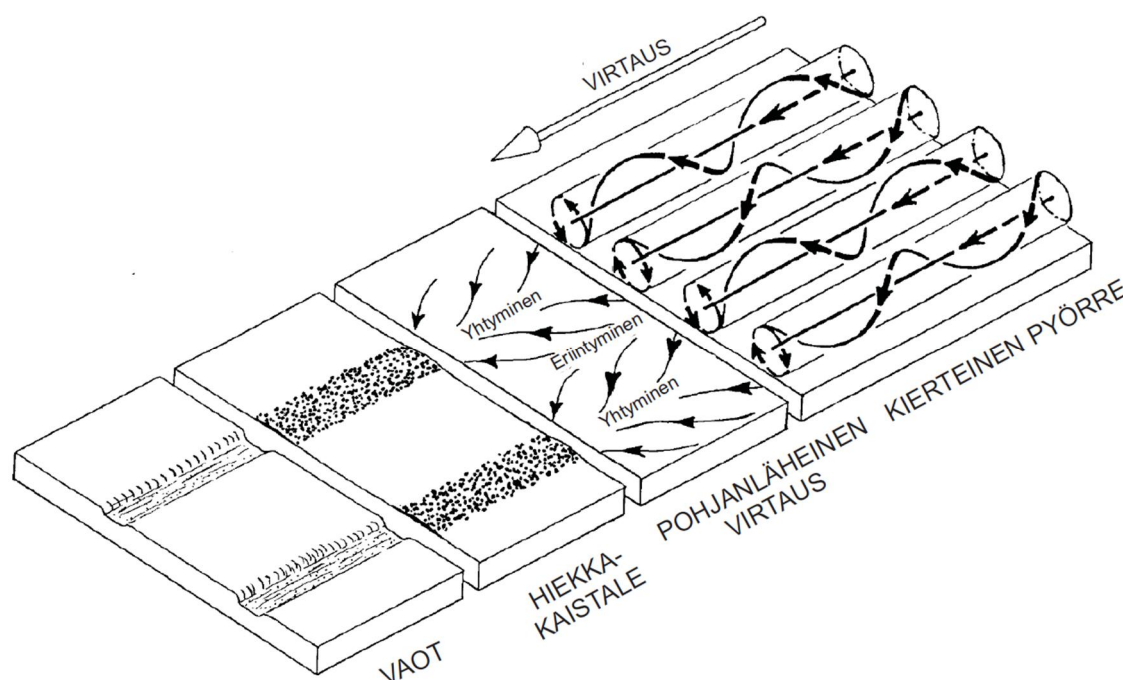
Kuva 51. Virtausnopeusmittauslinjan 6 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.



#### 4.5.4 Kapean ja matalan Jokijakson 2 tulosten tulkinta

Collinson *et al.* (2006) mukaan virtaus on lähes poikkeuksetta turbulenttista, jos virtaus on kyllin suuri liikuttamaan sedimenttejä. Turbulenssi on tärkeä mekanismi rakeiden liikkumiseen suspensiossa. Turbulenssi ei aina ole satunnaista, ja sedimenttirakenteiden syntymisen kannalta tärkeitä ovat pysyvät pyörteet esimerkiksi esteiden ympärille ja hitaamman virtauksen alueelle kuten suojasivulle.

Floodin (1981) mukaan virtauksen suuntaiset vaot syntyvät pohjan lähellä olevien virtauksen suuntaisten kierteisten pyörteiden kuluttaessa pohjaa (kuva 52). Vaot esiintyvät tyypillisesti hienorakeisissa koheesiosedimenteissä (mm. Flood 1981 ja Manley ja Singer 2008). Vakojen on ajateltu syntyvän suurten virtaamien aikaan, ja suurimpien vakojen on todettu säilyvän yli 12 vuotta (Flood 1981). Vakojen syntymistä edesauttaa, jos pohjalla kulkee virran mukana kevyttä materiaalia, kuten simpukankuoria tai hienoa hiekkaa, joka uurtaa pohjaa (Flood 1981). Vaot ovat Hevosluoto-muodostumassa, joka on kerrallista, ja todennäköisesti suuri virtausnopeus irrottaa myös pieniä raekonkreetioita kerroksista.

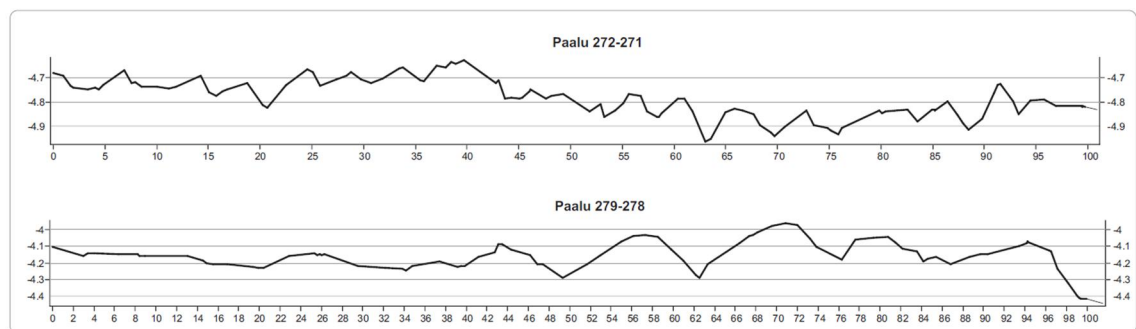


Kuva 52. Vakojen syntyminen pohjanläheisten pyörteiden myötä. Mukailtu Flood (1983) mukaan.

Jokijakson 2 virtausnopeusmittauksissa suurimmat nopeudet mitattiin linjalla 7 ison virtaaman aikaan ( $Q = 518 \text{ m}^3/\text{s}$ , suurin nopeus  $1,8 \text{ m/s}$ ). Virtausnopeusmittauksissa

kaikkien jokijakson 2 linjojen virtausnopeudet ylittävät kriittiset rajat lähes koko uoman leveydeltä, ja rakeet kulkeutuvat suurella virtaamalla virran mukana suspensiossa (kuva 35). Virtausnopeudet uoman syvänneurassa jokijaksolla 2 ovat noin 0,8–1,2 m/s. Jokijaksolla 2 virtausnopeudet ovat suuria, ja uomassa tapahtuu eroosiota koko jokijaksolla suuren virtaaman aikaan.

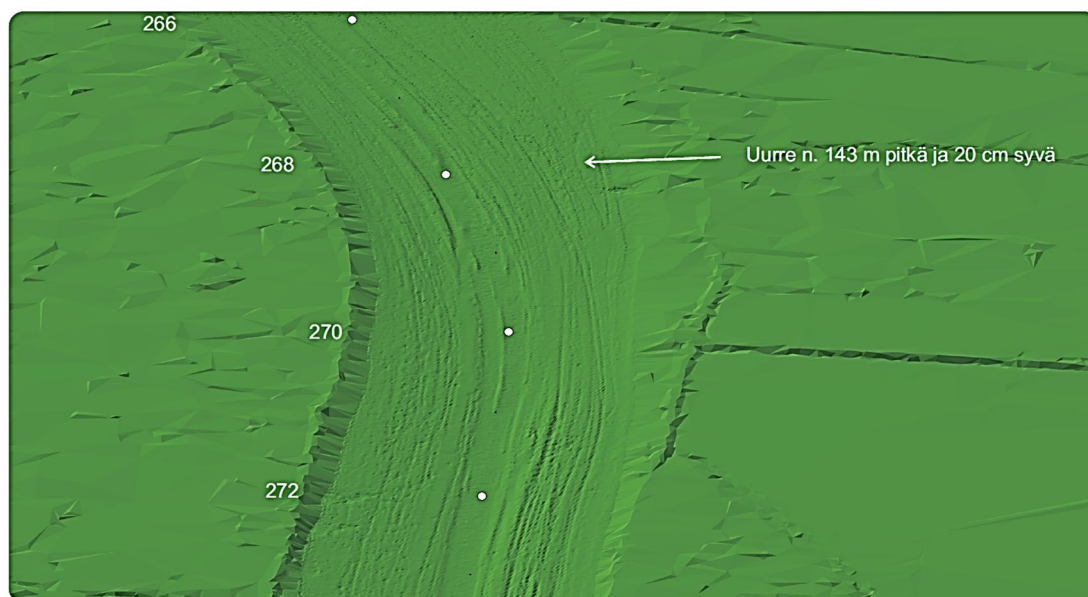
Keskivirtaamalla uoman syvänneuraan kerrostuu hiekka-aaltoja lähes koko jokijaksolla 2. Hiekka-aallot ovat 10–30 cm korkeita, 5–12 metriä pitkiä paaluvälillä 279–278. Paaluvälillä 272–271 hiekka-aallot ovat pienempiä, noin 5–10 cm korkeita ja 1–8 metriä pitkiä (kuva 53). Kummassakin poikkileikkauksessa paaluilla 271+50 ja 278+50 uoman poikkileikkauspinta-ala on noin 340 m<sup>2</sup>. Ten Brinke ja Wilbers (2003) ovat tutkimuksissaan havainneet, että isoja hiekka-aaltoja esiintyy matalammassa vedessä ja pienempiä hiekka-aaltoja esiintyy syvämmässä vedessä.



Kuva 53. Pituusleikkausprofiilit paaluväleillä 279–278 ja 272–271 joen suuntaisesti syvänneuran kohdalta. Hiekkadyynit ovat paaluvälillä 279–278 10 – 30 cm korkeita ja 5 – 12 metriä pitkiä. Paaluvälillä 272–271 hiekkadyynien koko on pienempi (Jokimalli 2010, N2000).

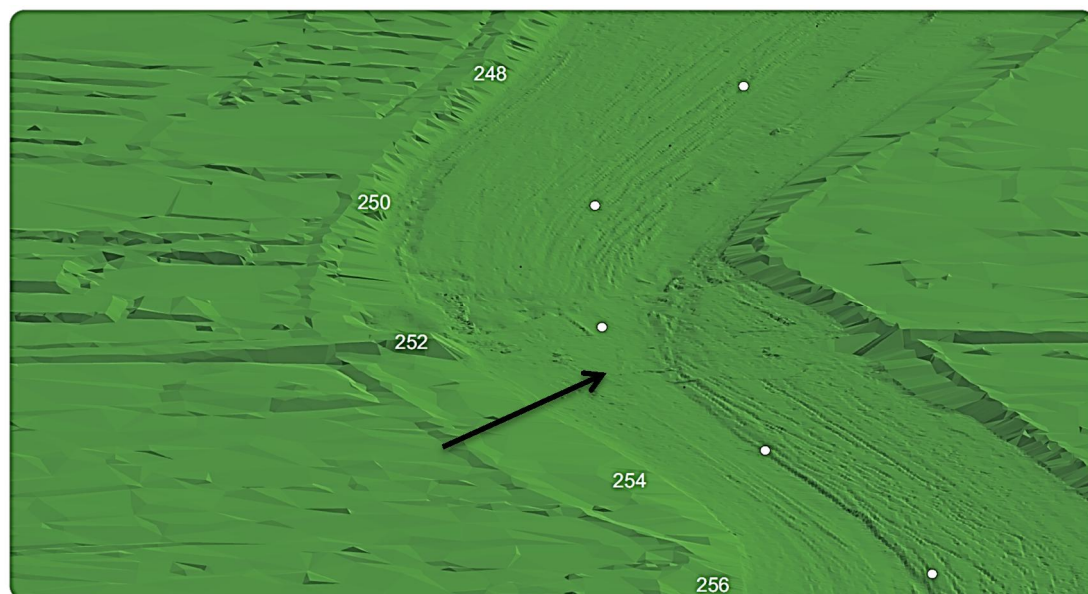
Uomassa on uurteita, jotka leikkaavat vakoja, kuten paalulla 275+50 ja 268 (kuva 54). Uurteet syntyvät todennäköisesti keväällä, kun jäät lähtevät ja kasaantuvat röykkiöiksi. Jääröykkiöiden liikkuaessa alavirtaan jäämassasta työntyvät jäät uurtavat uoman pohjaa (Dionne 1969). Jokijaksolla 2 uurteet esiintyvät alle 2,5 metrin syvyydellä.

Paalulla 270–267 uoman syvänneurassa pohjakuormana kulkevaa hiekkaa kerrostuu esteiden suojasivuille hitaamman virtauksen alueille (kuva 54).



Kuva 54. Joenpohjassa jokipaalujen 273–266 välillä näkyy vakoja ja uurteita. Sedimenttiesteiden suojasivulle on kerrostunut hiekkaa.

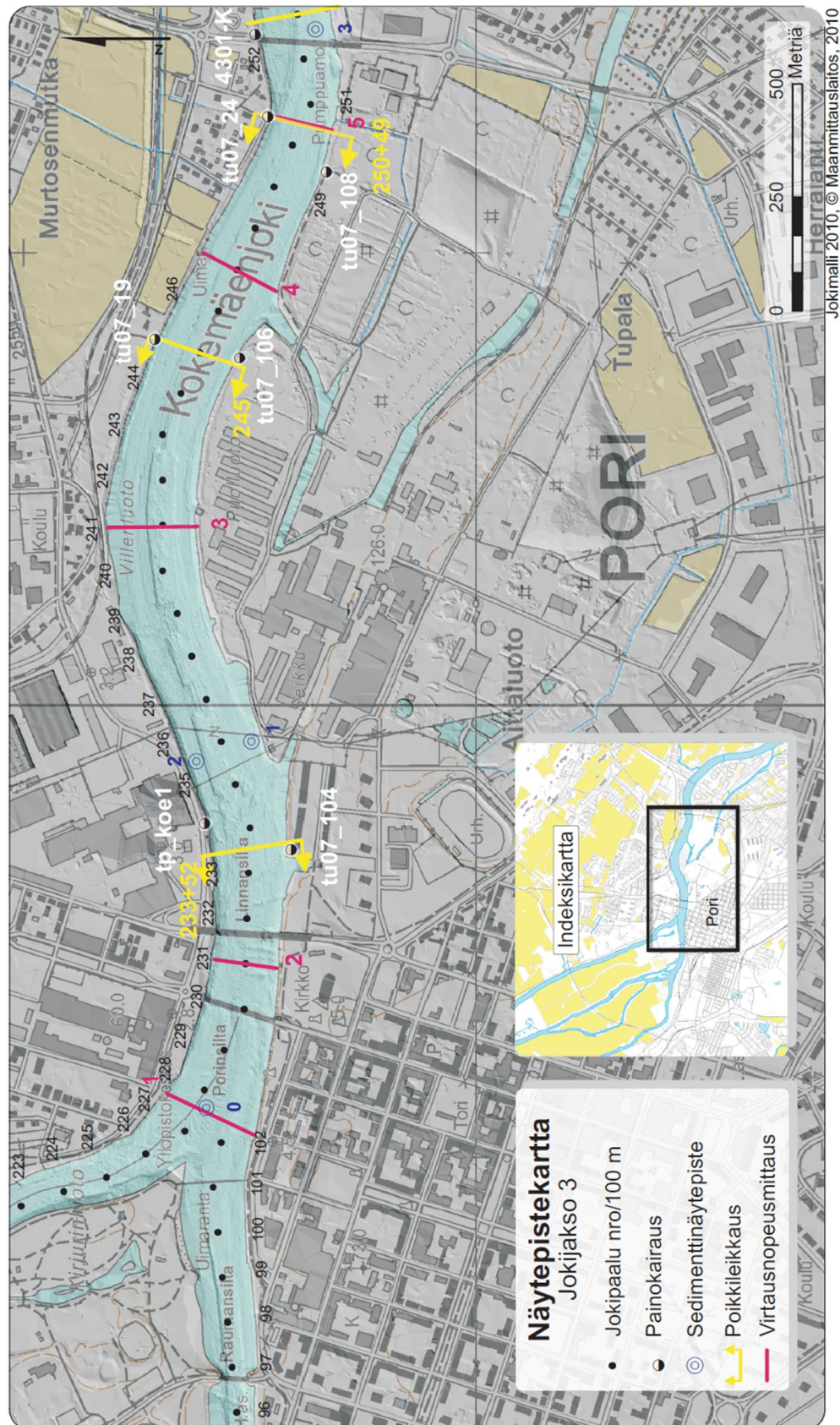
Jokijakson 2 lopussa Lukkarinsillan jälkeen paalulla 252+35 uoman pohja kallistuu kohti oikeaa rantaa, koska Hevosluoto–muodostuman hienommat ja eroosiota paremmin kestävät kerrokset ovat lähempänä pintaa uoman vasemmalla rannalla (kuva 55). Uoman poikkileikkauspinta-ala on aikaisempaa isompi eli noin 510 m<sup>2</sup> (Jokimalli 2010). Lukkarinsillan jälkeen syvänneuran hiekka-aaltojen esiintymisalue kasvaa leveämmäksi.



Kuva 55. Uoman poikkileikkauspinta-ala kasvaa jokipaalun 252+35 jälkeen ja uomanpohjassa hiekka-aaltojen esiintymisalue laajenee.



## 4.6 Ruopattu jokijakso 3



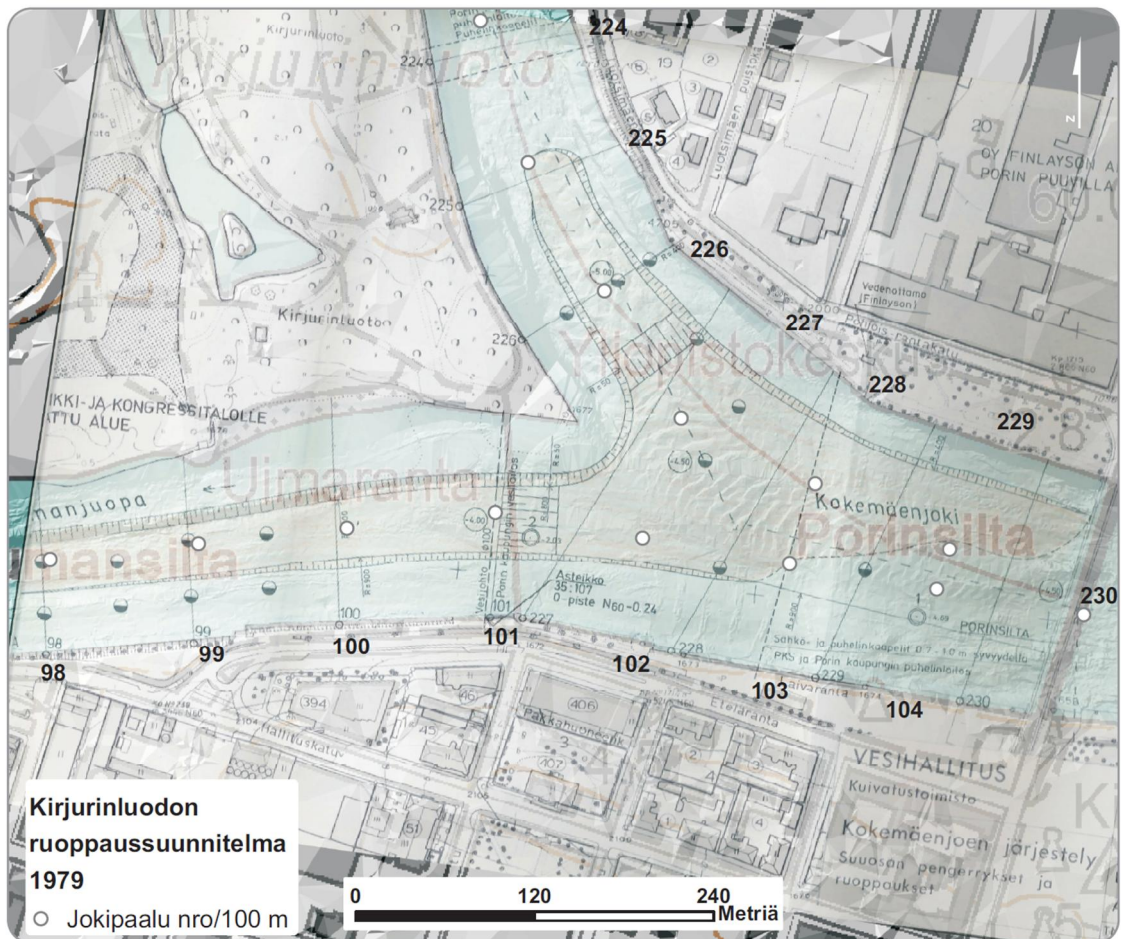
Kuva 56. Jokijakson 3 näytekortti.



Jokijakso 3 sijaitsee Kokemäenjoen jokipaalun 252 ja Kirjurinluodonkärjen välissä (kuva 56). Jokijaksolla 2 haarautuneet nyt toimimattomat sivu-uomat yhtyvät takaisin pääuomaan jokijakson 3 lopussa Aittaluodon alueella. Uomia on täytetty maankäytölle, sekä osa on tukittu tulvasuojelun vuoksi.

Jokijaksolla 3 on suoritettu ruoppauksia vuonna 1979 Kirjurinluodon kärjen alueella (kuva 57) sekä Seikun alueella paaluvälillä 235+00 – 242+60 vuoden 1992 kevään ja kesän aikana.

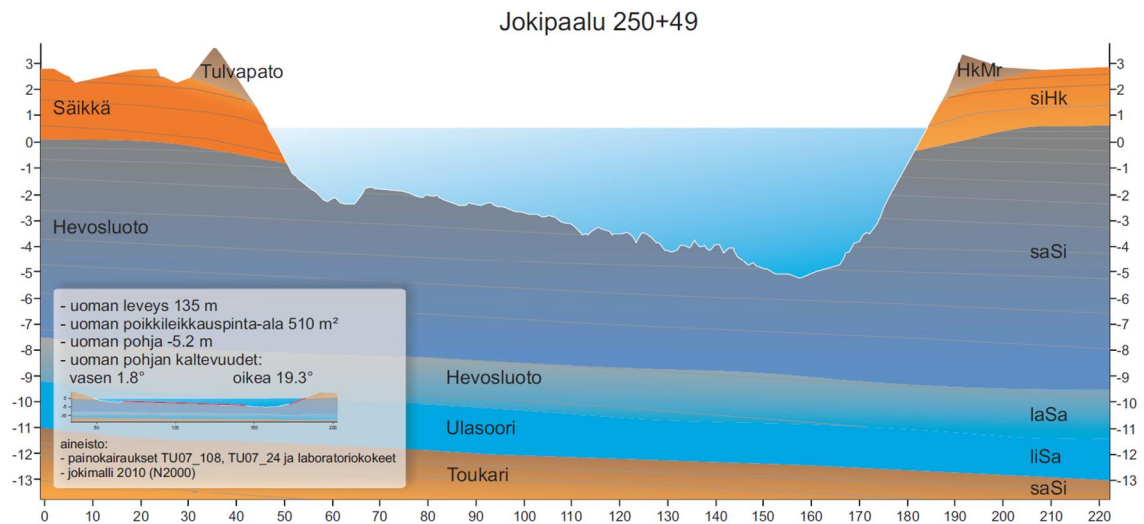
Kirjurinluodon edustan ruoppaus tehtiin pohjan tasolle -4,6 – -4,1 metriä ja Raumanjuovan ruoppaus pohjan tasolle -3,6 metriä (Vesihallitus 1979) (N2000). Ruoppausten tarkoitus oli ehkäistä jää- ja hyydepatojen muodostumista.



Kuva 57. Kirjurinluodon ruoppaussuunnitelma. Harmaalla ruopattavaksi suunniteltu alue.

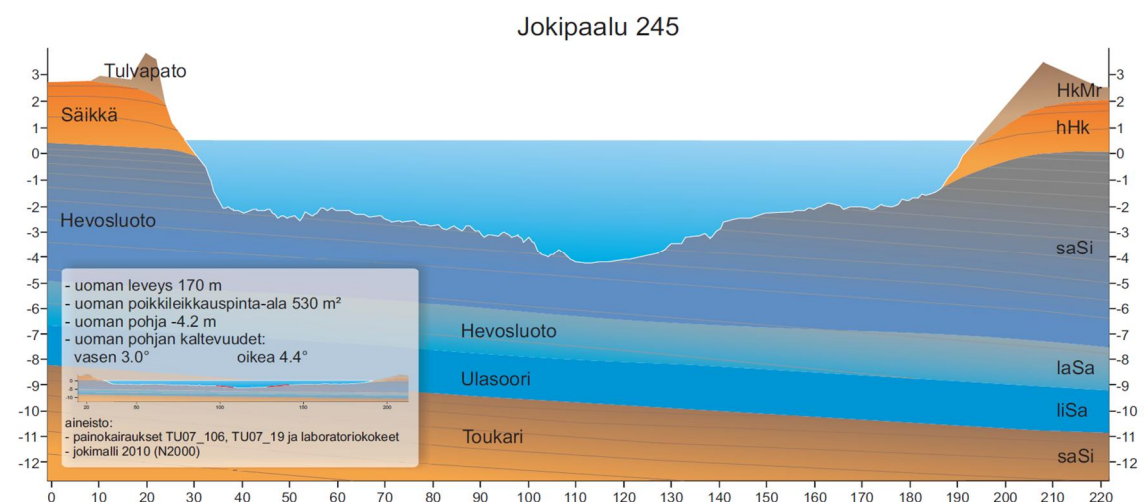
#### 4.6.1 Sedimenttistratigrafia

Jokijakson 3 alussa, jokipaalulla 250+49, joen kerrostama Hevosluoto–muodostuma alkaa noin tasolta -9 – -10 N2000 (kuva 58). Toukari–muodostuma alkaa noin tasolta -11 – -12 (N2000). Jokipaalun 250+49 kohdalla muodostumat viettävät loivasti pohjoiseen (kuva 58).



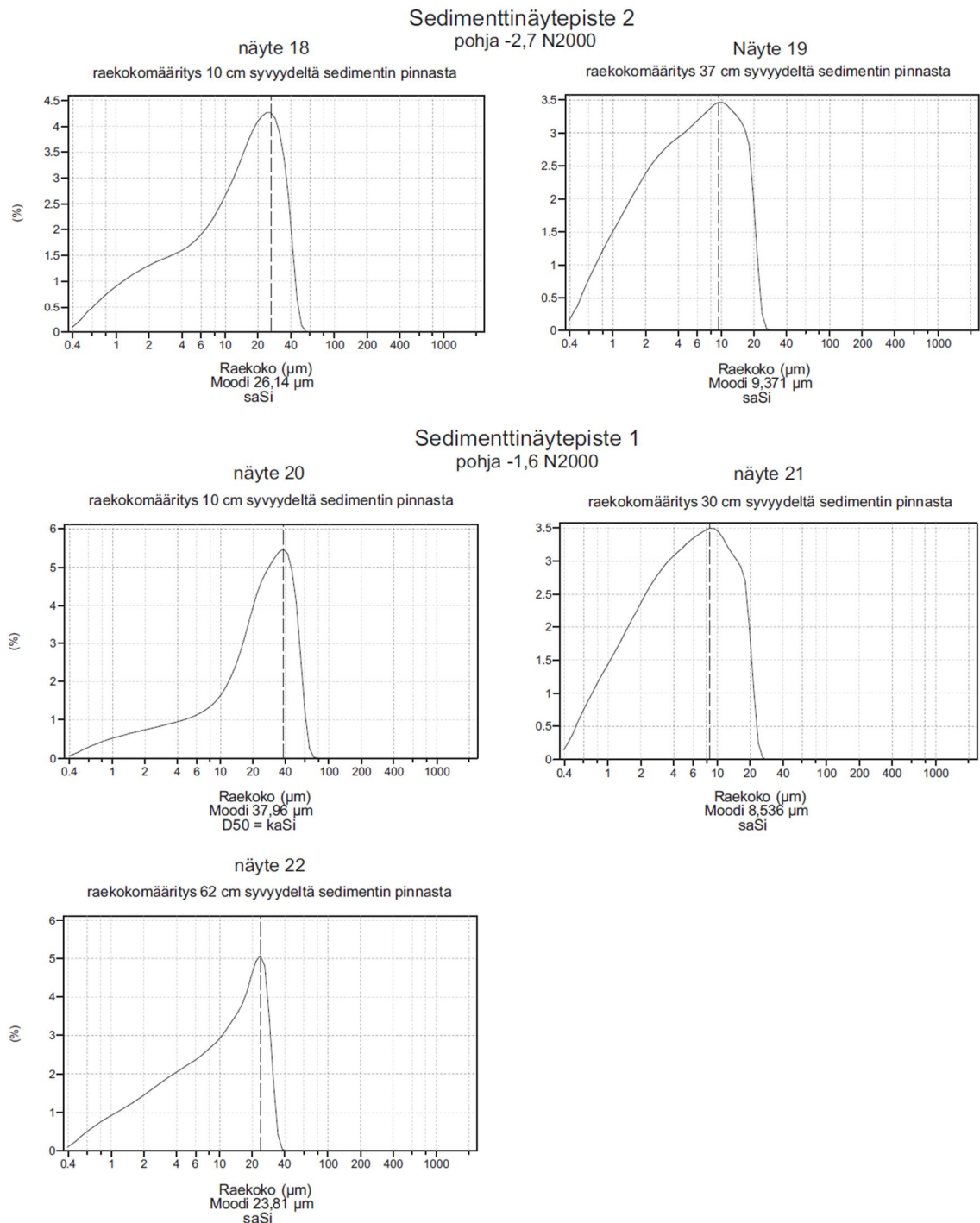
Kuva 58. Kokemäenjoen poikkileikkaus jokipaalun 250+49 kohdalla.

Jokipaalulla 245 Toukari–muodostuma nousee ylemmäs noin tasoon -9 – -10 N2000 (kuva 59). Hevosluoto–muodostuma alkaa noin tasolta -7 – -8 N2000. Muodostumat viettävät pohjoiseen, joka on poikkileikkauksen oikealla rannalla.



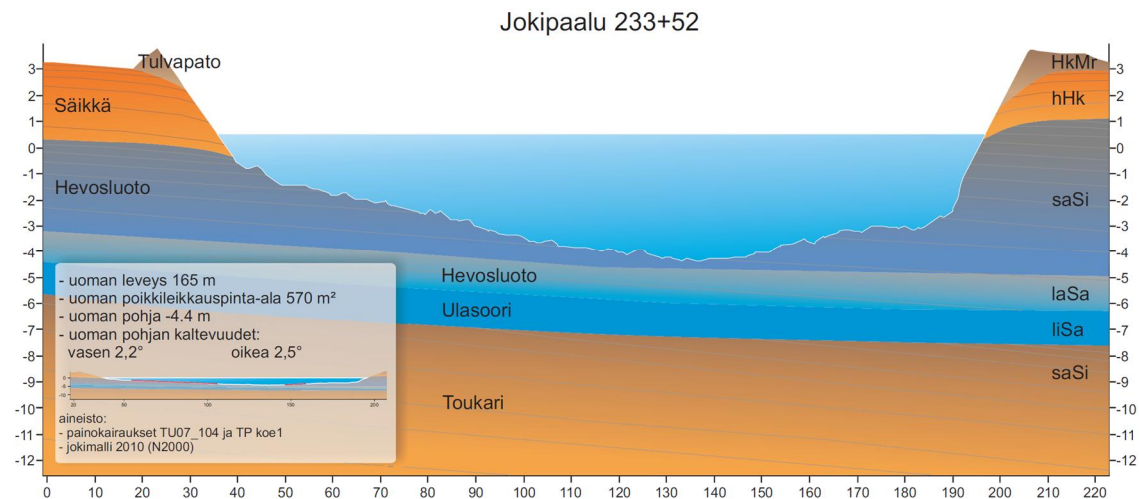
Kuva 59. Kokemäenjoen poikkileikkaus jokipaalun 245 kohdalla.

Sedimenttinäytepisteellä 2 uoman pohja on tasossa -2,7 (N2000, Jokimalli 2010). 63 cm pitkä näyte on mustaa Hevosluoto–muodostuman sulfidipitoista keski/karkeaa silttiä. Sedimenttinäytepisteellä 1 uoman pohja on tasossa -1,6 (N2000, Jokimalli 2010). 72 cm pitkä näyte on mustaa Hevosluoto–muodostuman sulfidipitoista keski/karkeaa silttiä (kuva 60). Sedimenttinäytepisteellä 1 näytteen pinnassa on hienonhiekan kerroksia 2,5 cm syvyydelle näytteen pinnasta.



Kuva 60. Kokemäenjoen sedimenttinäytepisteiden 2 ja 1 raekokomääritysten tulokset.

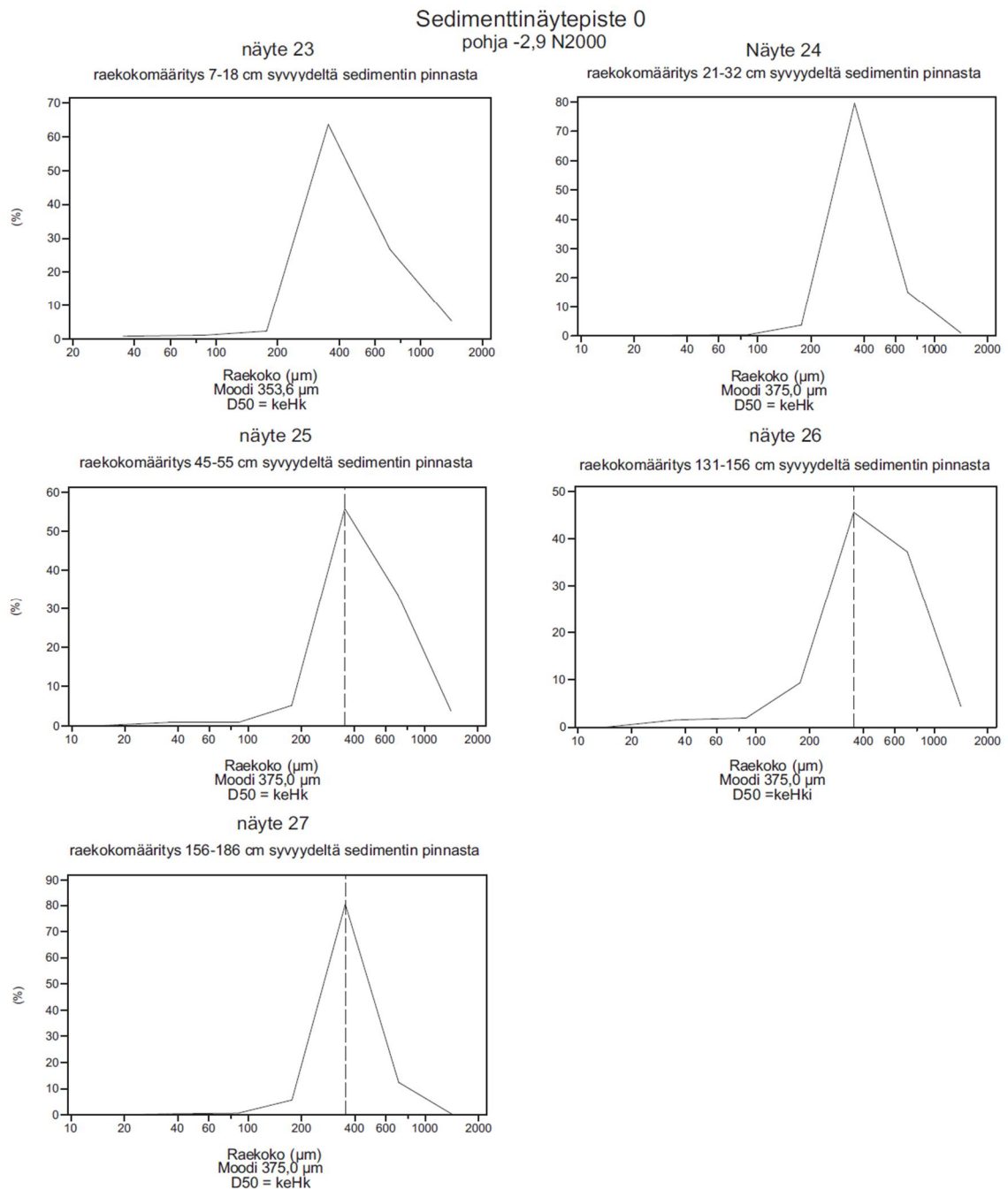
Poikkileikkauksessa 233+52 Hevosluoto–muodostuma on 5–7 metriä paksu (kuva 61). Ulasoori–muodostuma on reilun metrin paksuinen ja se alkaa 4,5–6,5 metrin syvyydeltä. Muodostumat viettävät kohti pohjoista.



Kuva 61. Joen poikkileikkaus jokipaalun 233+52 kohdalla.

Sedimenttinäytepisteellä 0 uoman pohja on tasossa -2,94 (N2000, Jokimalli 2010). 1,82 metriä pitkistä näytteestä otettujen viiden näytteen raekoko on Lanajuopa–muodostuman keskihiekkaa (kuva 62). Sedimenttinäytepisteellä 0 ei näytteiden perusteella ollut viitteitä pohjakaasvillisuudesta.

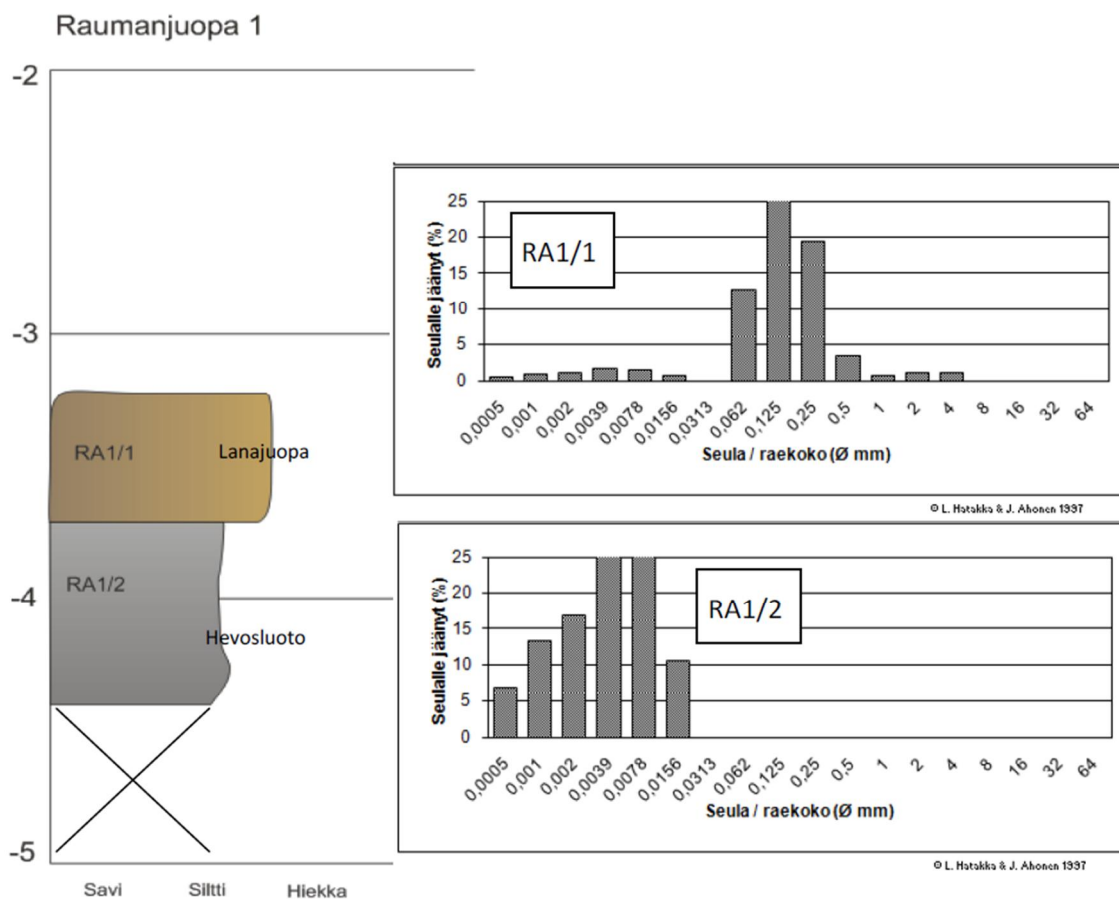




Kuva 62. Kokemäenjoen sedimentinäytepisteen 0 raekokomääritysten tulokset.

Lehdon (2010) tutkimusten mukaan Porin sillan jälkeen sedimentinäytepisteeltä LU6 otettujen näytteiden (-3,6 – -5,0) raekoot ovat Lanajuopa–muodostumaa vaihdellen keskihiekasta karkeaan hiekkaan (näytepisteiden sijainti kuvassa 78). Näytepisteen LU5 kolme ylintä näytettä (-3,1 – -4,6) olivat raekoostumukseltaan Lanajuopa–muodostuman keskihiekkaa. Alin tasolta -4,6 alkava näyte oli Hevosluoto–muodostuman savista silttiä. Näytepisteen LU4 kolme näytettä (-3,6 – -5,1) olivat raekooltaan Lanajuopa–muodostuman keskihiekkaa. Näytepisteen RA3 kolmen näytteen raekoko vastasi

Lanajuopa–muodostuman keskihiekkaa. Näytepisteen RA2 raekoot vaihtelivat alimman näytteen hienosta hiekasta kolmen päällimmäisen näytteen keskihiekkiaan (Lanajuopa–muodostuma). Näytepisteen RA1 päällimmäisen tasolla -3,3 – -3,7 olleen näytteen raekoko oli hienoa/keskihiekkaa (kuva 63). Alin tasolta -3,7 – -4,1 otettu näyte oli Hevosluoto–muodostuman savista silttiä.



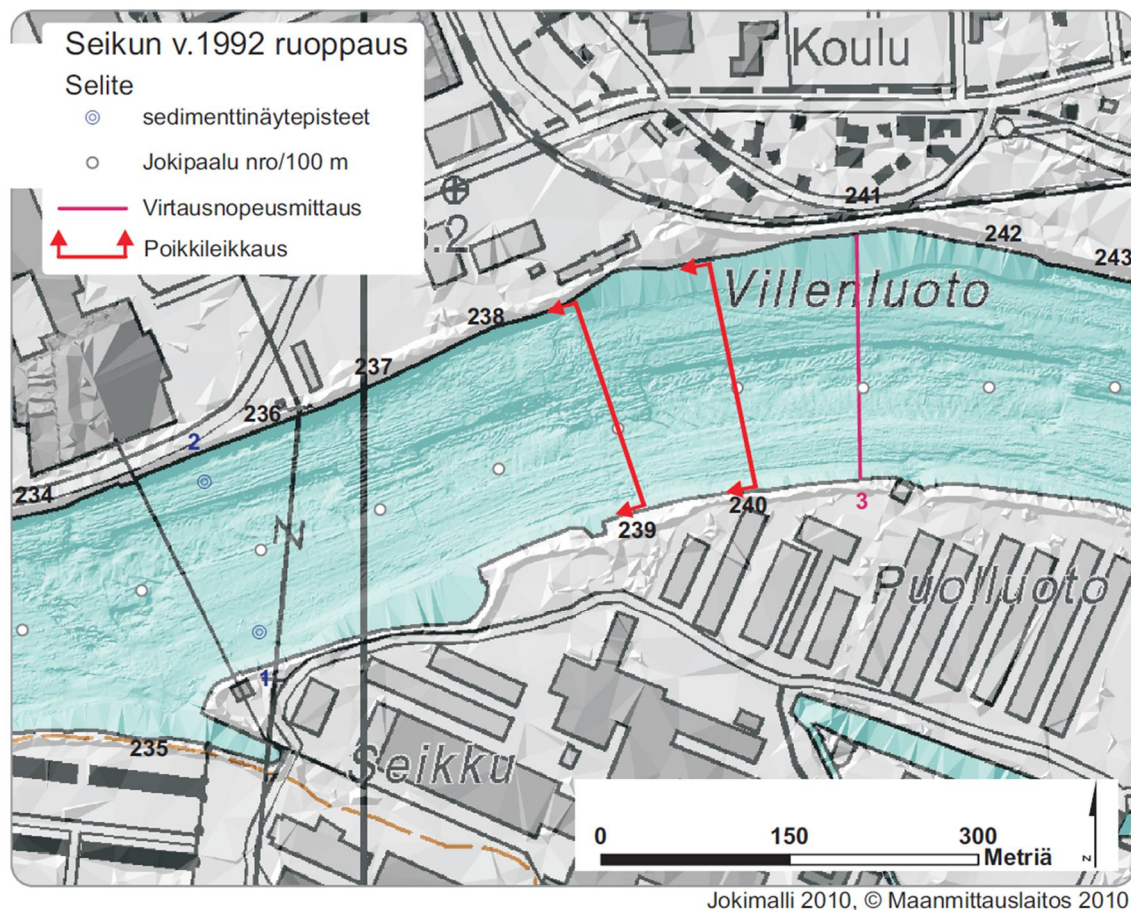
Kuva 63. Kokemäenjoen sedimentinäytepisteen RA1 raekokomääritysten tulokset. Lehto (2010).

#### 4.6.2 Uoman morfologia

Ruopatulla jokijaksolla 3 uoma kulkee Hevosluoto–muodostuman savisessa silttikerroksessa. Jokijaksolla 3 syvänneura kulkee joen mutkissa sisäkaarteissa. Uoman syvänneuran reunat ovat loivia lukuun ottamatta poikkileikkauksella 250+49, missä syvänneura on uoman oikeassa reunassa ja pohjan kaltevuus on yli 19°.

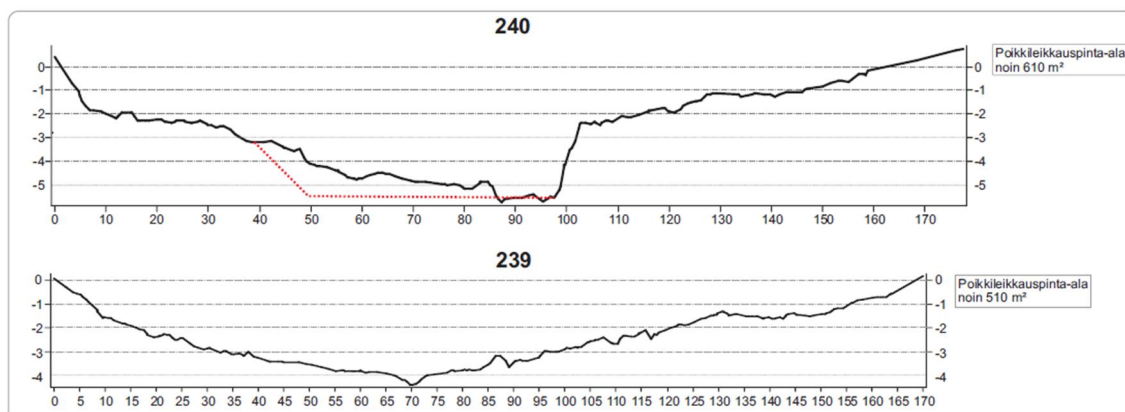
Uoma on jokijakson alussa jokipaalulla 250+49 135 metriä leveä, ja joen pohja on alimmillaan tasolla -5,2 N2000. Uoma muuttuu tämän jälkeen alavirralle päin leveämmäksi ja madaltuu noin tasolle -4,2 lukuun ottamatta Seikun alueella ruopattuja

kohtia, missä uoman pohjan taso on noin -5 N2000 (kuva 64). Uoman poikkileikkauspinta-ala kasvaa ruopatuissa kohdissa noin 600 m<sup>2</sup>:n (Jokimalli 2010). Kaksi kohtaa on jätetty ruoppaamatta uoman pohjalla menevien putkilinjojen vuoksi (kuva 64).



Kuva 64. Seikun v.1992 ruoppaus paaluvälillä 235+00–242+60. Jokipaaluväliä 238+60 – 239+27 ja 236+80 – 237+50 ei ole ruopattu. Poikkileikkaus jokipaalulla 239 kuvastaa suunnilleen tilannetta alueella ennen ruoppausta. Poikkileikkaukset on esitetty kuvassa 65.

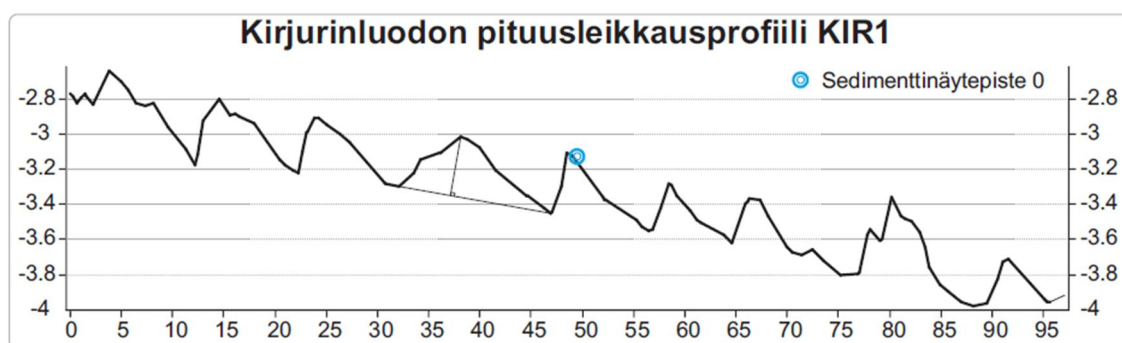
Ruopatun syvänneuran oikea reuna on monin paikoin jyrkkä. Jokipaalulla 240 syvänneuran oikea reuna on 35° (kuva 65). Poikkileikkaus 240 on ruopatun uoman profiili ja 239 on ruoppaamattoman uoman profiili.



Kuva 65. Poikkileikkausten 240 ja 239 vertailu. Punaisella katkoviivalla on esitetty ruopatus uoman todennäköinen muoto. Jokimalli 2010, N2000.

Jokijaksolla 3 alusta jokipaalulle 232 uoman reunoilla on vakoja (kuva 64). Melkein kaikki vaot ovat joen suuntaisia. Vakojen syvyydet ovat jokijaksolla 3 matalampia kuin jokijaksolla 2. Vaot ovat muutamia kymmeniä senttejä lukuun ottamatta kahta ruoppaamatonta kohtaa, missä on 30–60 cm syviä vakoja. Vakojen pituudet ovat lyhyempiä kuin jokijaksolla 2. Vaot ovat kymmenistä metreistä muutama sataan metriin pitkiä, ja vakojen leveydet vaihtelevat senteistä useaan metriin.

Jokijakson 3 alusta jokipaalulle 229 uoman syvänneurassa liikkuu alle 20 cm korkeita ja noin 6 metriä pitkiä hiekka-aaltoja. Kirjurinluodon edustalla hiekka-aaltojen korkeus on yli 30 cm ja pituudet noin 10 metriä (kuva 66).



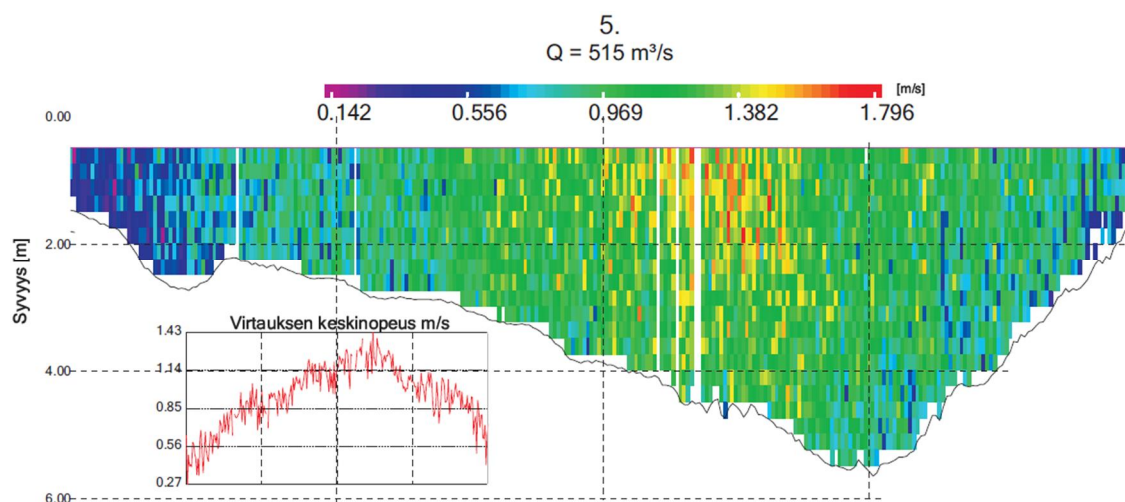
Kuva 66. Kirjurinluodon pituusleikkausprofiili KIR1. Sijainti esitetään kuvassa 78.



### 4.6.3 Virtausnopeudet

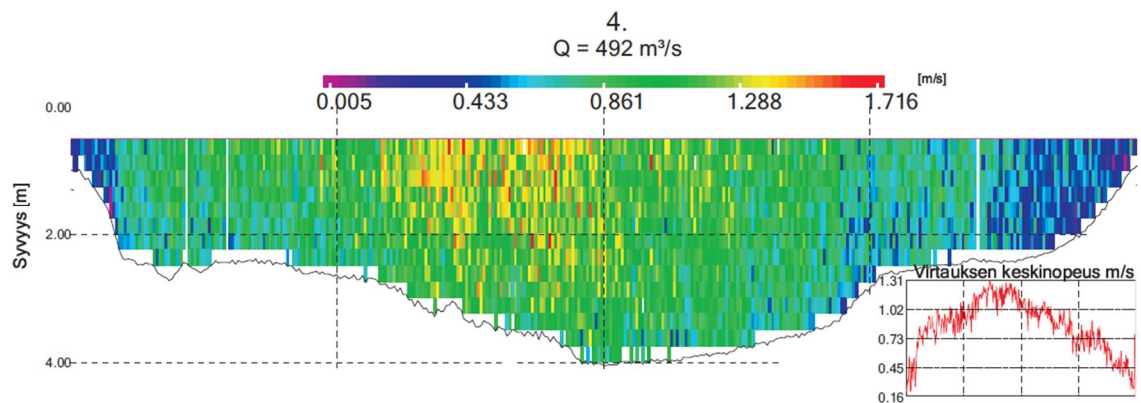
Virtausnopeudet virtaaman ollessa noin 500 m<sup>3</sup>/s. Harjavallan voimalaitoksen vuosien 1931–2009 vuosimaksimien keskiarvo MHQ = 590 m<sup>3</sup>/s

Virtausmittauslinjan 5 suurimmat nopeudet ovat keskeltä uomaa oikeaan rantaan ja lähellä pintaa (kuva 67). Linjalla 5 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,7 m/s. Virtaama on sijoittunut enemmän oikealle puolelle uomaa.



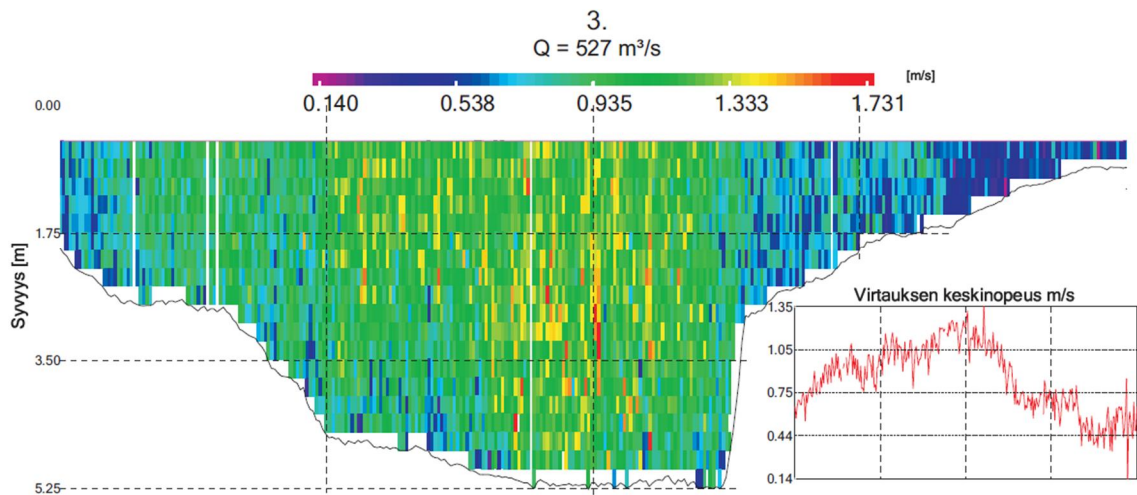
Kuva 67. Virtausnopeusmittauslinjan 5 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa

Virtausmittauslinjan 4 suurimmat nopeudet ovat uoman keskeltä vasempaan rantaan lähellä pintaa (kuva 68). Linjalla 4 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,7 m/s. Virtaama on sijoittunut enemmän vasemmalle puolelle uomaa.



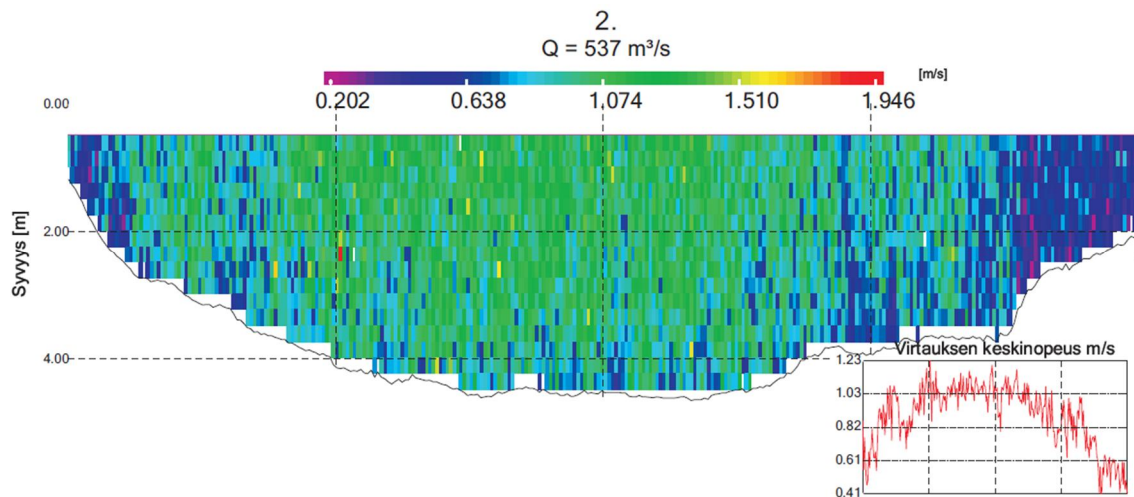
Kuva 68. Virtausnopeusmittauslinjan 4 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausmittauslinjan 3 suurimmat nopeudet ovat keskeltä uomaa koko vesipatsaan syvyydellä (kuva 69). Linjalla 3 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,7 m/s. Virtaama on sijoittunut keskelle uomaa.



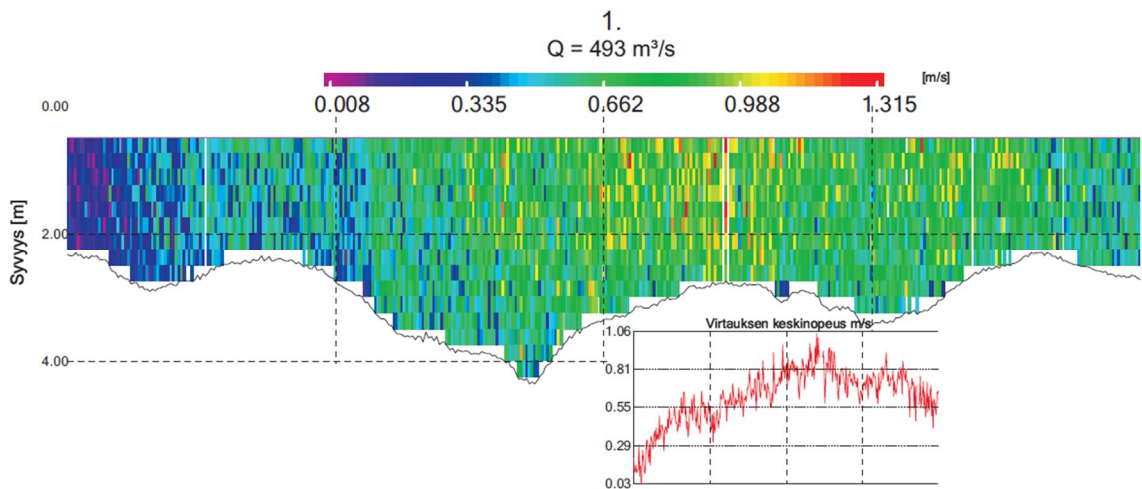
Kuva 69. Virtausnopeusmittauslinjan 3 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausmittauslinjan 2 virtausnopeudet ovat jakautuneet suhteellisen tasaisesti koko uomän leveydelle ja syvyydelle (kuva 2). Linjalla 2 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,6 m/s. Virtaama on uomän oikealla rannalla heikompi suhteessa vasempaan rantaan.



Kuva 70. Virtausnopeusmittauslinjan 2 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

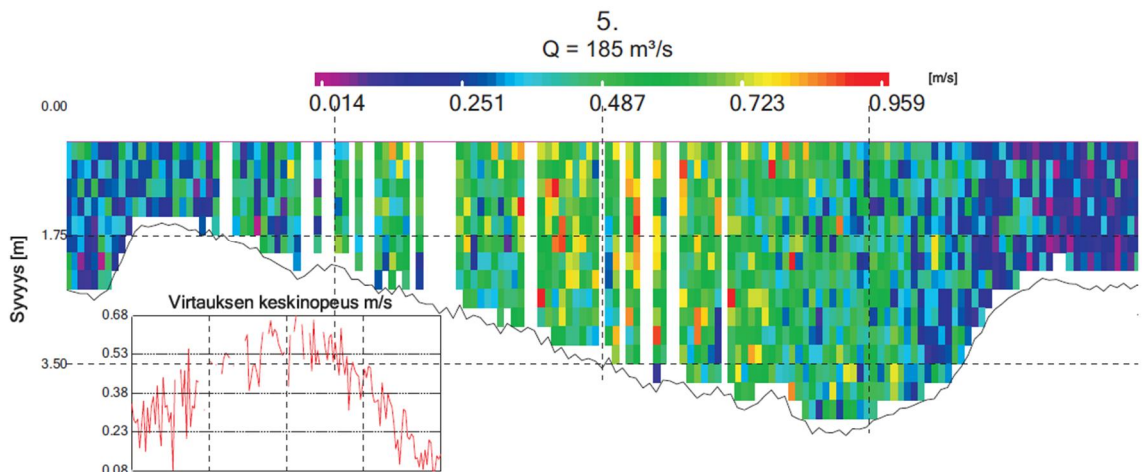
Virtausmittauslinjan 1 suurimmat nopeudet ovat keskellä uomaa koko vesipatsaan syvyydellä (kuva 71). Linjalla 1 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,3 m/s. Virtaama on sijoittunut enemmän oikealle puolelle uomaa.



Kuva 71. Virtausnopeusmittauslinjan 1 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

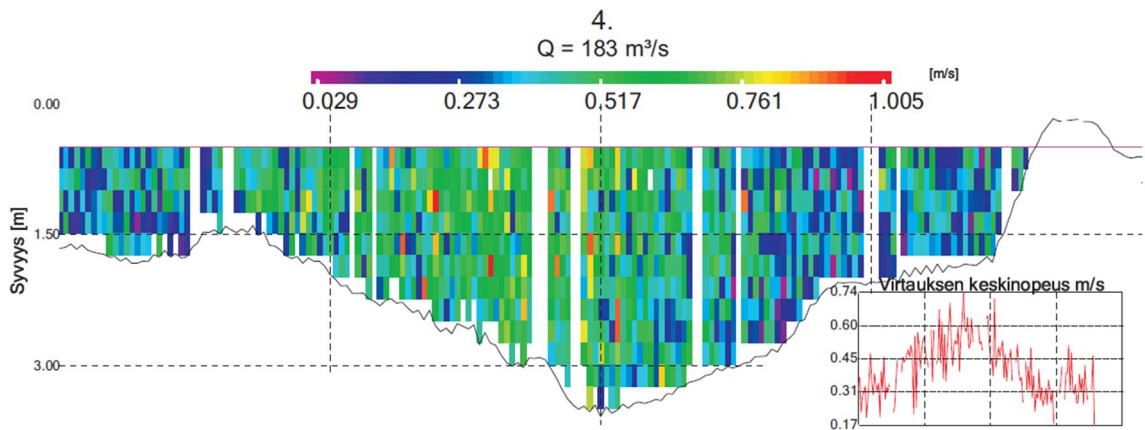
Virtausnopeudet virtaaman ollessa alle  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Harjavallan voimalaitoksen vuosien 1931–2009 virtaamien keskiarvo  $MQ = 220 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Virtausmittauslinjalla 5 suurimmat nopeudet ovat keskellä uomaa koko syvyydellä (kuva 72). Linjalla 5 veden virtauksen suurin nopeus oli  $1,0 \text{ m/s}$ . Virtaama on sijoittunut keskelle uomaa.



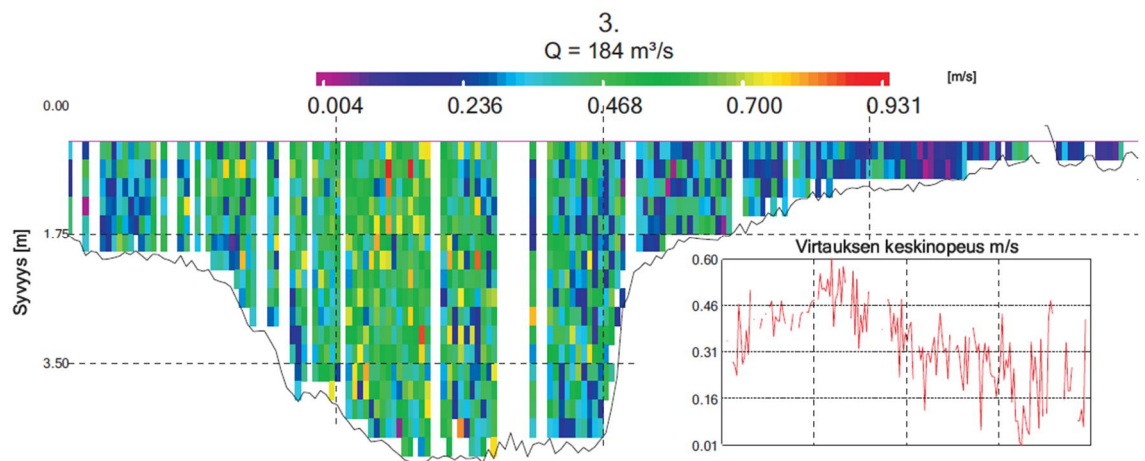
Kuva 72. Virtausnopeusmittauslinjan 5 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausmittauslinjalla 4 suurimmat nopeudet ovat keskellä uomaa koko syvyydellä (kuva 73). Linjalla 4 veden virtauksen suurin nopeus oli  $1,0 \text{ m/s}$ . Virtaama on sijoittunut keskelle uomaa.



Kuva 73. Virtausnopeusmittauslinjan 4 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

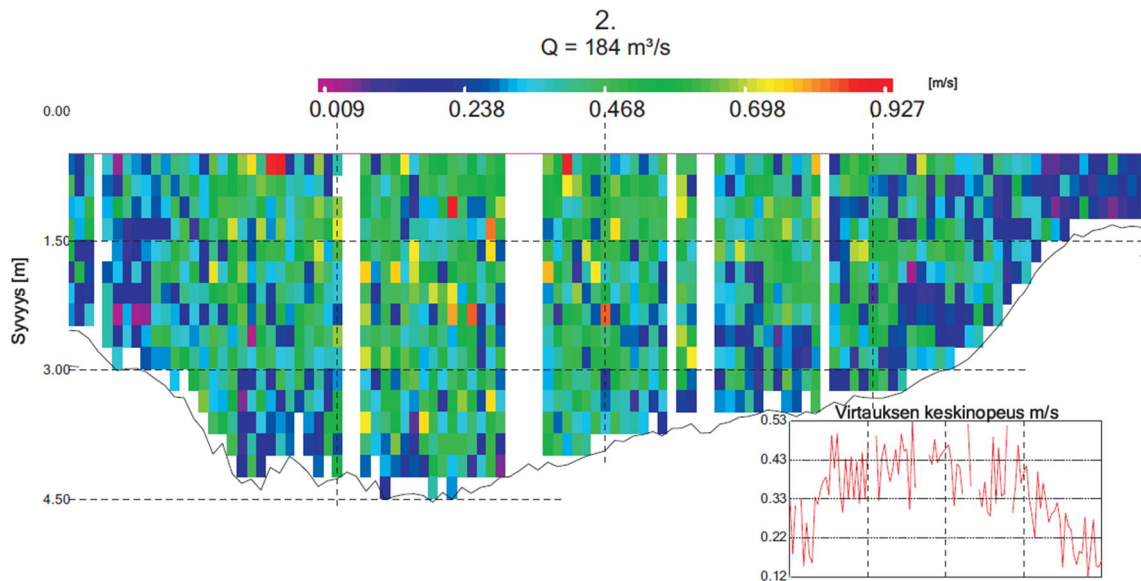
Virtausmittauslinjalla 3 suurimmat nopeudet ovat uoman vasemmalla puolella lähes koko syvyydellä (kuva 74). Linjalla 3 veden virtauksen suurin nopeus oli 0.9 m/s. Virtaama on sijoittunut vasemmalle puolelle uomaa.



Kuva 74. Virtausnopeusmittauslinjan 3 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

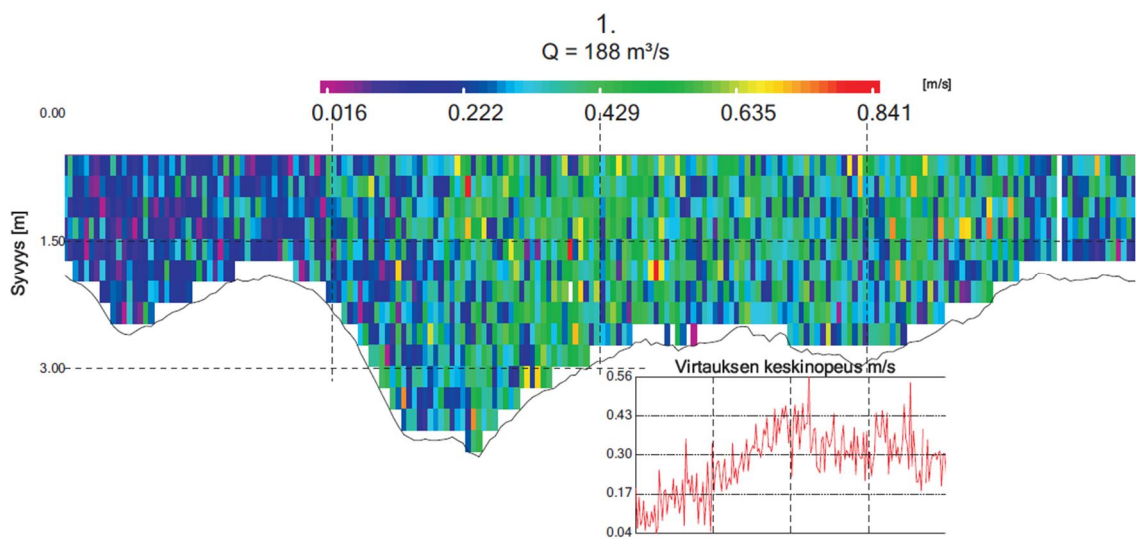
Virtausmittauslinjalla 2 suurimmat nopeudet ovat vasemmalla puolella uomaa lähellä pintaa (kuva 75). Linjalla 2 veden virtauksen suurin nopeus oli 0,9 m/s. Virtaama on sijoittunut vasemmalle puolelle uomaa.





Kuva 75. Virtausnopeusmittauslinjan 2 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausmittauslinjalla 1 suurimmat nopeudet ovat keskellä uomaa koko vesipatsaan syvyydellä (kuva 76). Linjalla 1 vedenvirtauksen suurin nopeus oli 1,0 m/s. Virtaama on sijoittunut keskeltä uomaa lähelle oikeaa rantaa.



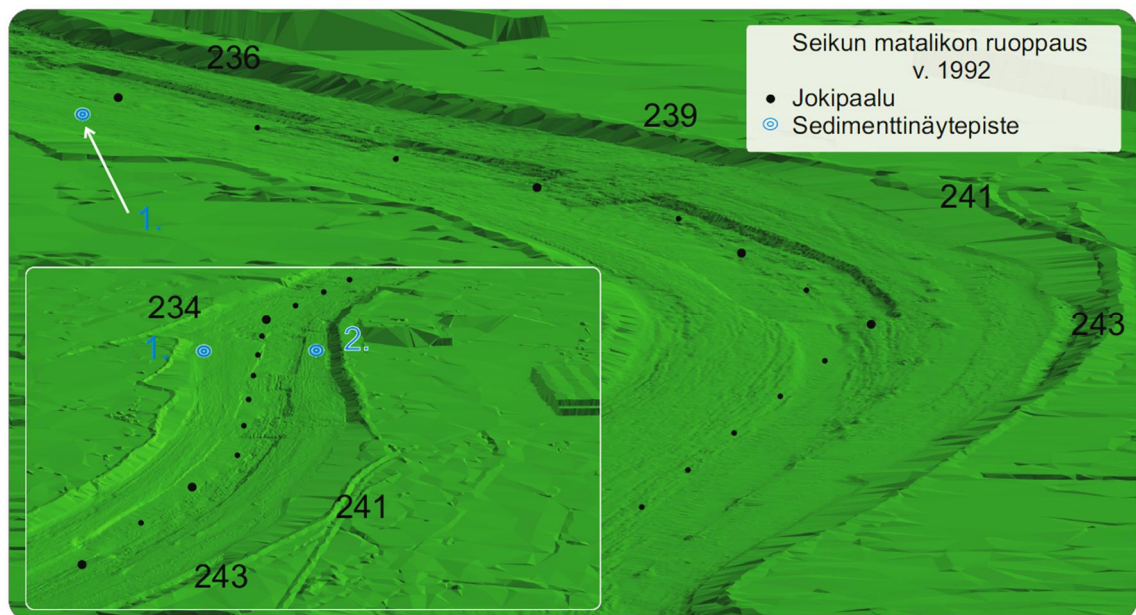
Kuva 76. Virtausnopeusmittauslinjan 1 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

#### 4.6.4 Ruopatun jokijakson 3 tulosten tulkinta

Jokijaksolla 3 joki pyrkii oikaisemaan mutkia. Uoman syvänneura kulkee uoman sisäkaarteissa. Suuren virtaaman aikaan suurimmat virtausnopeudet ovat sijoittuneet uoman sisäkaarteisiin. Tämä johtuu uoman pohjan raekoostumuksen vaihtelusta.

Lukkarinsillan alapuolella jokipaalun 250 jälkeen Hevosluoto-muodostuman hienomman raekoon kerrokset ovat uoman ulkokaarteissa lähempänä uoman pohjaa ja estävät eroosiota (kuva 58).

Poikkileikkauspinta-alan kasvaessa jokijaksolla 3 Lanajuopa-muodostuman hiekkaa sedimentoituu Seikun ruoppauksen vasempaan reunaan, kun virtaama on alle 200 m<sup>3</sup>/s (kuvat 64 ja 65). Poikkileikkauspinta-alan edelleen kasvaessa (550 m<sup>2</sup>) hiekkaa kulkeutuu uoman pohjassa sedimenttinäytepisteellä 1 uoman vasemmalla reunalla (kuva 77).

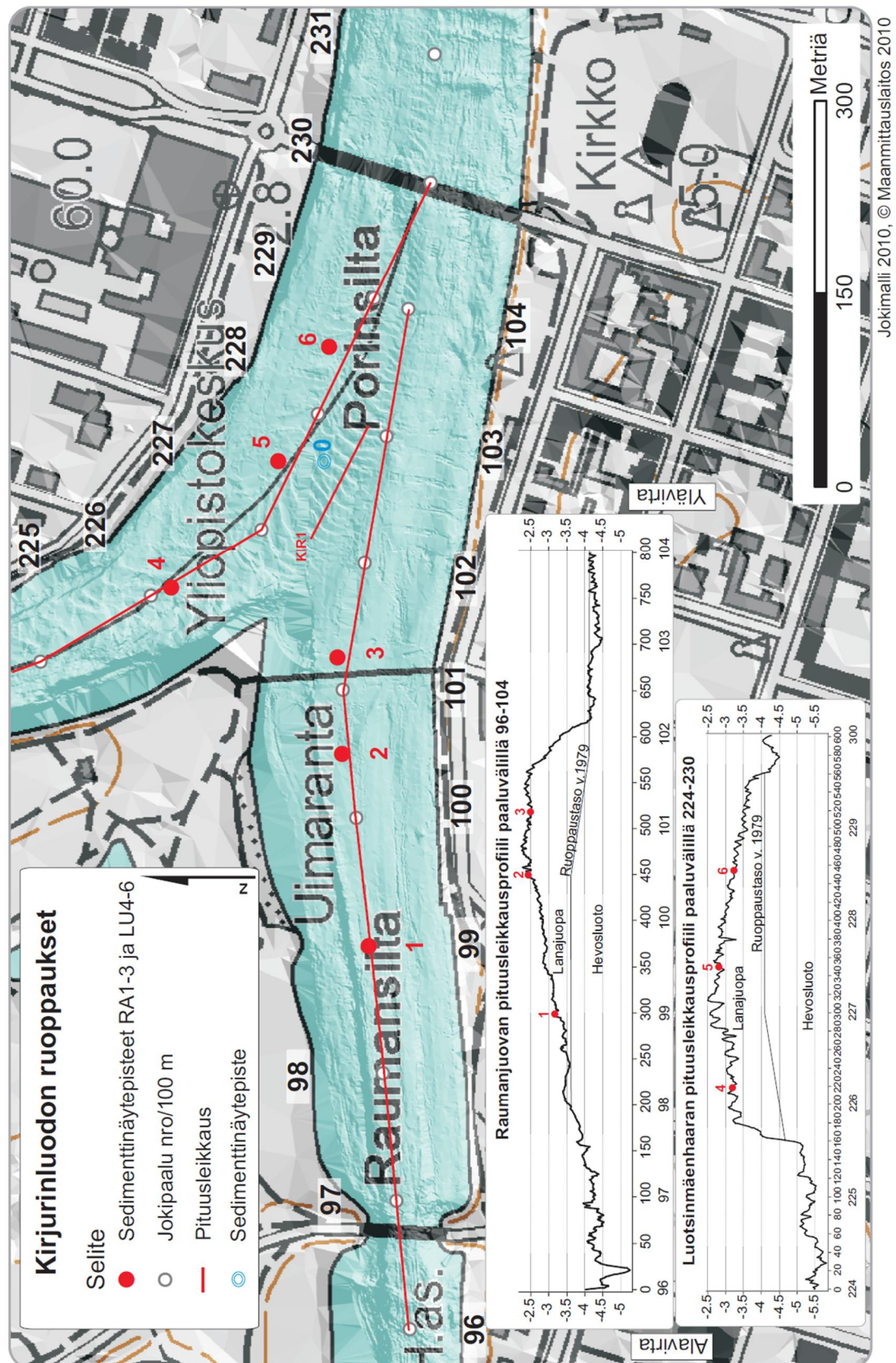


Kuva 77. Seikun matalikon ruoppaus vuonna 1992. Virtaaman ollessa alle 200 m<sup>3</sup>/s ruoppauksen vasempaan reunaan kerrostuu Lanajuopa-muodostumaa. Isomman kuvan katselusuunta on kaakosta ja pienemmän kuvan katselusuunta on idästä päin.

Suurella (yli 500 m<sup>3</sup>/s) virtaamalla keskihiekka (0,2–0,6 mm) ja sitä hienommat raekoot kulkeutuvat jokijakson 3 alusta suspensiossa alavirralle. Virtausnopeus hidastuu alle 1 m/s Porin sillan jälkeen poikkileikkauspinta-alan kasvaessa. Virtausnopeuden hidastuessa Lanajuopa-muodostuman karkeahiekka (0,6–2 mm) ja keskihiekka (0,2–0,6 mm) laskeutuu suspensioista pohjakuljetukseen. Lanajuopa-muodostuman hiekkaa kulkeutuu pohjakuljetuksessa alavirralle, kunnes virtausnopeus hidastuu alle 0,4 m/s ja se alkaa sedimentoitua Porin sillan jälkeen. Virtausnopeuden edelleen hidastuessa Luotsimäenhaaran ja Raumanjuovan alkuun sedimentoituu Lanajuopa-muodostuman hienoa/keskihiekkaa. Näissä kohdissa Hevosluoto-muodostuman päälle on kerrostunut

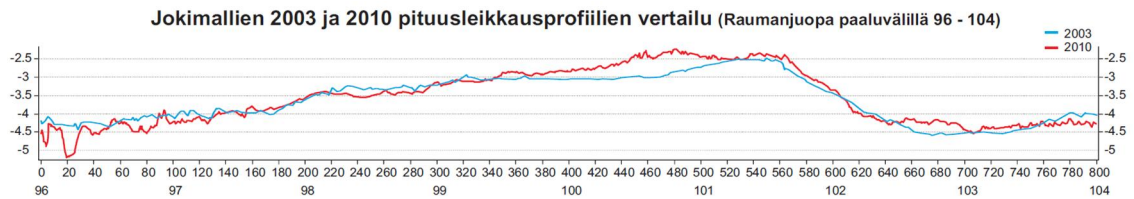


paikoin 1,0 – 1,5 metriä Lanajuopa-muodostuman hiekkoja noin 30 vuodessa (kuva 77).



Kuva 78. Kirjurinluodon pituusleikkaukset. Luotsinmäenhaaran ruoppaus valmistui marraskuussa 1979.

Raumanjuovan jokipaalujen 100 – 101 välissä uoman syvännuraan on sedimentoitunut vuosien 2003 – 2010 välillä paikoin 0,5 metriä Lanajuopa–muodostuman keskihiekkaa (kuva 79).



Kuva 79. Raumanjuovan pituusleikkausprofiili. Korkeus- ja pituusmittasuhteet eivät ole samassa mittakaavassa.

Porin sillan jälkeen uoman poikkileikkauspinta-ala on yli 600 m<sup>2</sup>, ja Kokemäenjoen virtaama ei kykene kuljettamaan Kirjurinluodon edustalle vuoden 1979 ruopatulle alueelle nykyisin kerrostuvia sedimenttejä. Kirjurinluodon edustalle on suunniteltu kunnossapitoruoppaus, jonka koko on noin 30 000 m<sup>3</sup> (P. Vuola suullinen tiedoksianto huhtikuu 2011).

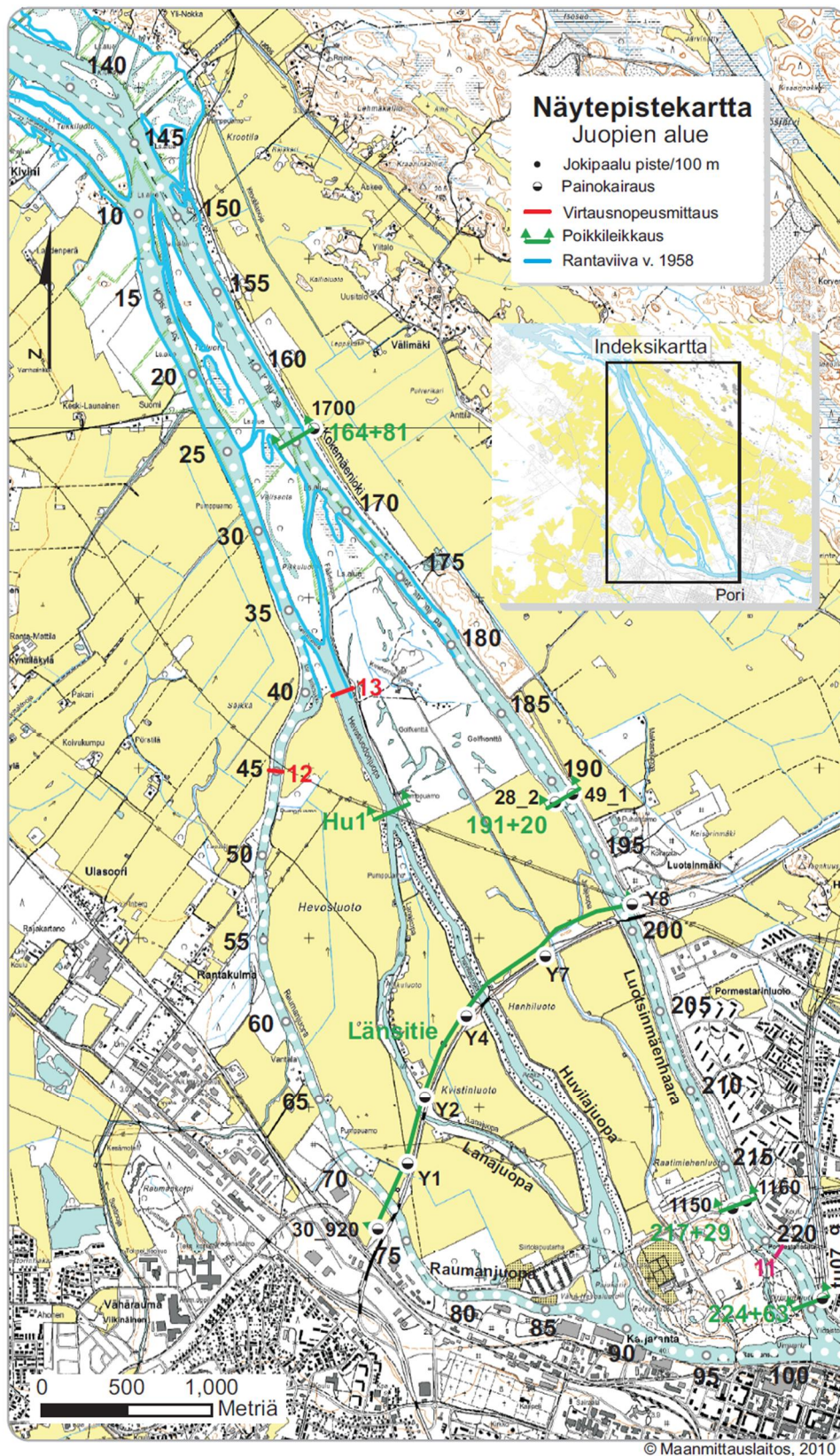
#### 4.7 Juopien alue

Rantaviiva on ollut Porin kaupungin kohdalla sen perustamisen aikoihin 1500-luvulla (Cripps *et al.* 2011). Nykyisin Kokemäenjoki jakautuu Raumanjuopaan ja Luotsinmäenhaaraan Porin keskustan kohdalla. Raumanjuovasta haarautuu edelleen Huvilajuopa ja Lanajuopa, jotka yhtyvät Kvistinluodon pohjoispäässä Hevosluodonjuovaksi (kuva 80). Lopulta Kokemäenjoki laskee Pihlavanlahteen noin 13 km Kirjurinluodolta. Nykyisten juopien lisäksi alueella on ollut useita sivu-uomia, jotka ovat umpeutuneet tai tukittu.

Jo vuonna 1642 eräässä kuningattarelle osoitetussa kirjeessä huomautetaan, miten lahteen nousseet hiekkasärkät vaikeuttivat kulkua kaupunkiin. Lisäksi hiekkasärkkien paikka vaihtui vuosittain kevättulvien aikaan, mikä vaikeutti liikennöintiä entisestään. Pääväylän madaltumista pyrittiin estämään vuonna 1648 velvoittamalla porvaristoa sulkemaan pikkuväylät (Ruuth 1899). Vuonna 1728 joen suun hiekkasärkät olivat siirtyneet Luotsinmäenhaaran alueella lähelle nykyistä Länsitietä (kuvat 80 ja 81). Pääuomat juopien alueella alkoivat madaltua 1770-luvulla siinä määrin, että suuremmilla lastiveneillä oli vaikeuksia kulkea kaupunkiin. Muutamia vuosia myöhemmin nykyisen Luotsinmäenhaaran alueen ruoppaukset aloitettiin ja edelleen



uomien madaltuessa päätettiin ruopata syvämpi ”Lanaportin-väylä”, ettei kaupunki eristyisi satamistaan. Ruoppaus määrättiin aloittaa viipymättä 15.9.1794 (Ruuth 1899).



Kuva 80. Juopien alueen näytepistekartta.

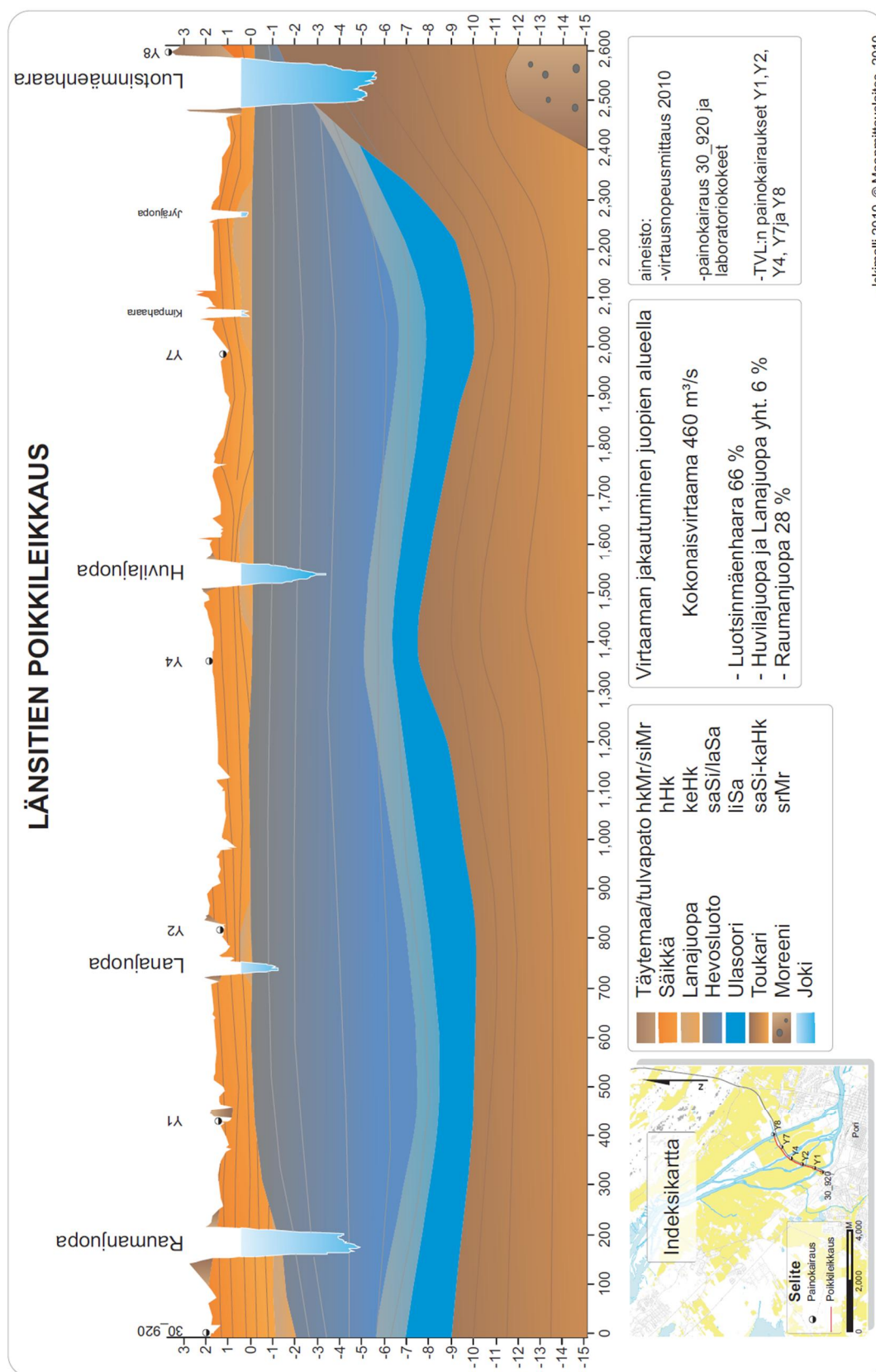


Kuva 81. Daniel Ekmanin georeferoitu kartta juopien alueesta vuodelta 1728.

#### 4.7.1 Sedimenttistratigrafia

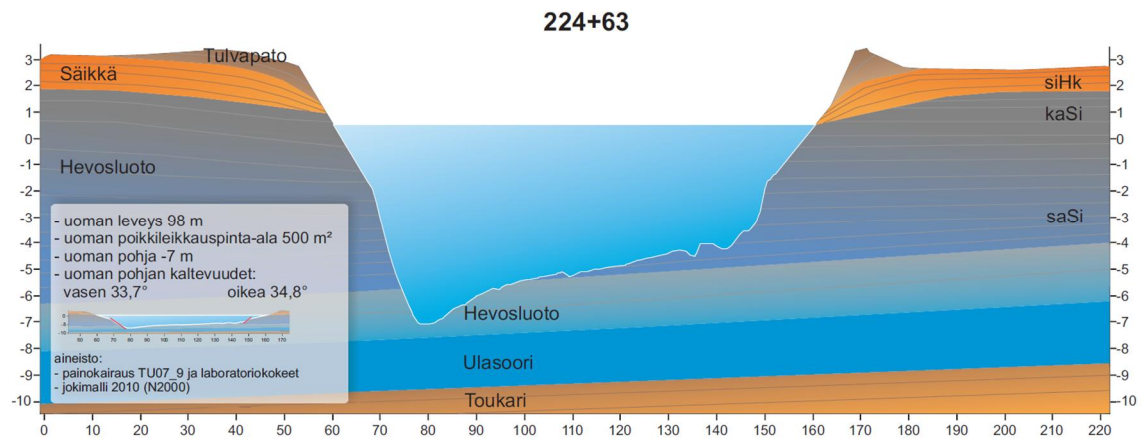
Länsitien poikkileikkauksessa Toukari-muodostuma muodostaa kaukalon mallisen painanteen (kuva 82). Toukari-muodostuma kohoaa lähelle maanpintaa juopien alueella idässä ja lännessä. Lisäksi kallioperä kohoaa lähelle maanpintaa Kivinin kapeikossa (Cripps *et al.* 2011). Toukari-muodostuman päälle kerrostunut Ulasoori-muodostuma on paksuimmillaan Toukari-muodostuman painanteissa. Hevosluoto-muodostuma on kerrostunut Ulasoori-muodostuman päälle, kun joen tuoma savi ja siltti ovat kerrostuneet suiston edetessä lähelle Porin keskustaa. Yleisesti Hevosluoto-muodostuma on juopien alueella noin 4-6 metrin paksuinen. Hevosluoto-muodostuman päälle on kerrostunut uomien edetessä Lanajuopa-muodostuman hiekkoja, joiden päälle on kerrostunut Säikkä-muodostuman tulvakerrostumat. Eri vaiheiden kerrostamat muodostumat ovat näin tasoittaneet kallioperän painanteita.





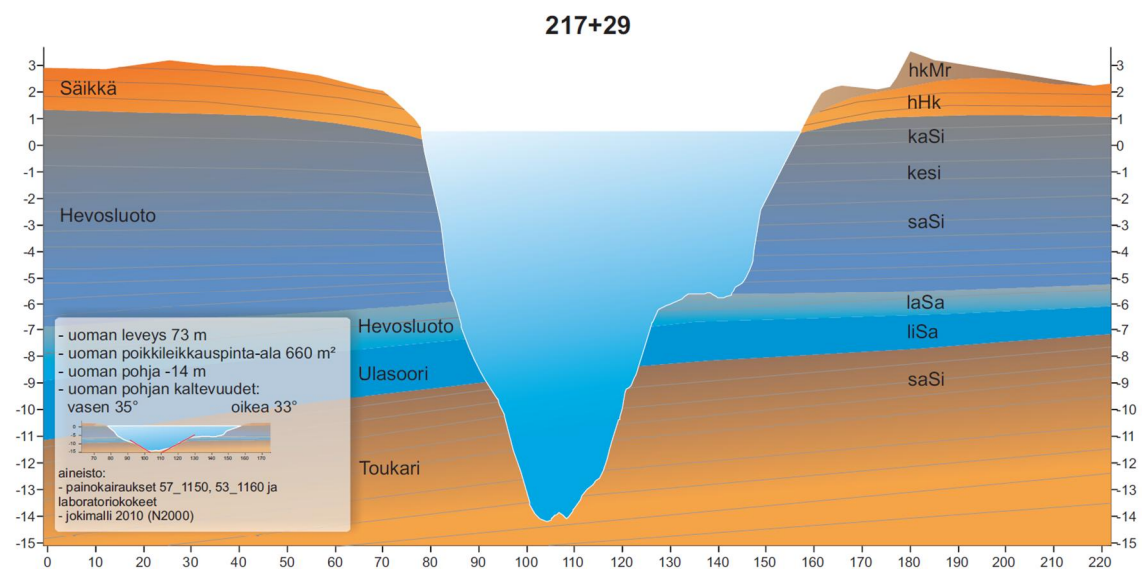
Kuva 82. Längsstenin poikkileikkauksessa Ulasoori-muodostuma ja Hevosluoto-muodostuma ovat paksuimmillaan Toukari-muodostuman painanteissa. Luotsinmäenhaaran pohja on Toukari-muodostumassa tai moreenissa.

Luotsinmäenhaaran alussa Toukari–muodostuma viettää kohti länttä. Poikkileikkauksen 224+63 kohdalla Toukari–muodostuman pinta on poikkileikkauksessa vasemmalla -10 ja oikealla -8,5 N2000 (kuva 83). Toukari–muodostuman päälle kerrostuneet Ulasoori–muodostuma ja Hevosluoto–muodostuma ovat kerrostuneet kaltevalle pinnalle, ja muodostumat paksuuntuvat länteen päin mentäessä.



Kuva 83. Luotsinmäenhaaran poikkileikkaus jokipaalun 224+63 kohdalla.

Jokipaalulla 217+29 muodostumat viettävät länteen (kuva 84). Toukari–muodostuman pinta on poikkileikkauksen vasemmalla puolella noin tasolla -11 ja oikealla puolella noin -7 N2000. Hevosluoto–muodostuma paksuuntuu länteen päin. Syväne on paikalliselta nimeltään Pirunkirnu.

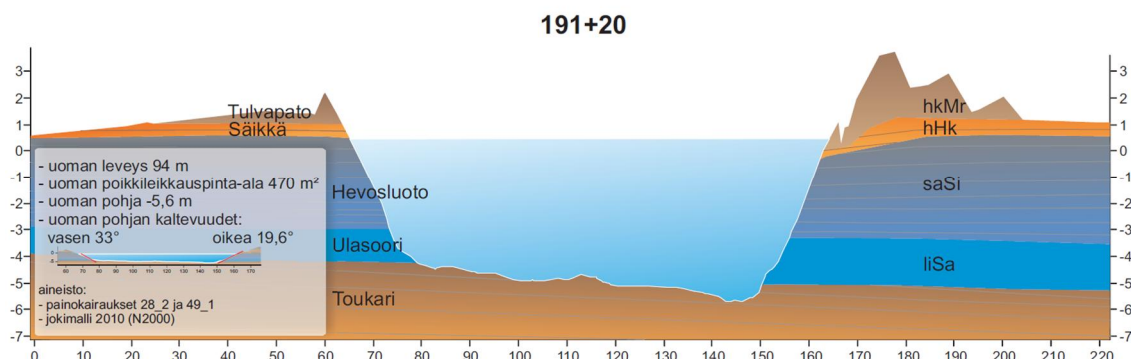


Kuva 84. Luotsinmäenhaaran poikkileikkaus jokipaalun 217+29 kohdalla.

Poikkileikkauksessa 191+20 moreenin pinta on noin -7,5 N2000. Toukari–muodostuma on ohut ja kohoaa lähelle maanpintaa noin tasolle -4 – -5 N2000 sekä yläpinnan

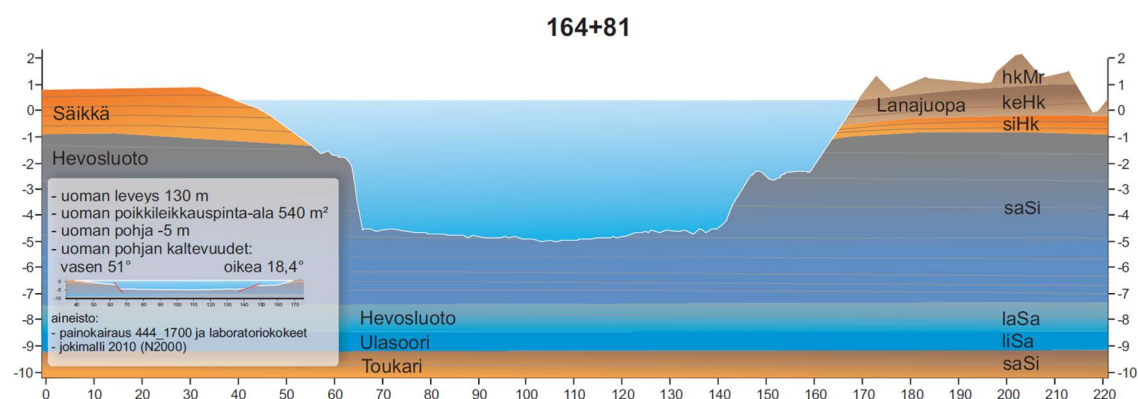


kaltevuus on loivasti kohti itää (kuva 85). Hevosluoto–muodostuman sedimenteille on ollut vähän tilaa kerrostua, ja sen paksuus on noin 3 – 4 metriä.



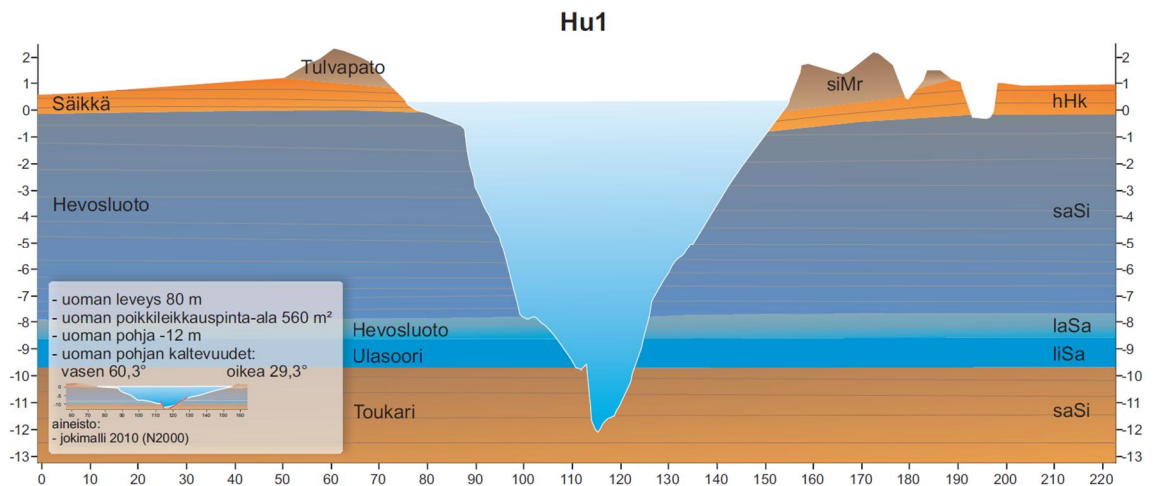
Kuva 85. Luosinmäenhaaran poikkileikkaus jokipaalun 191+20 kohdalla.

Poikkileikkauksessa 164+81 moreenin yläpinta on todennäköisesti noin -15 metrissä ja Toukari–muodostuman yläpinta on tasolla -9 N2000. Hevosluoto–muodostuman paksuus on noin 6 metriä. Poikkileikkauksen oikealla puolella on ollut pieni sivu-uoma, ja Sääkkä–muodostuman päälle on kerrostunut Lanajuopa–muodostumaa.



Kuva 86. Luosinmäenhaaran poikkileikkaus jokipaalun 164+81 kohdalla.

Poikkileikkaus Hu1 sijaitsee Lanajuovan ja Huvilanjuovan yhtymäkohdassa. Alueella ei ole tehty painokairauksia ja tulkinta on tehty maanpinnan ja uoman morfologian perusteella. Toukari–muodostuman yläraja on todennäköisesti noin -10 metrissä. Hevosluoto–muodostuman paksuus on noin 7 metriä.

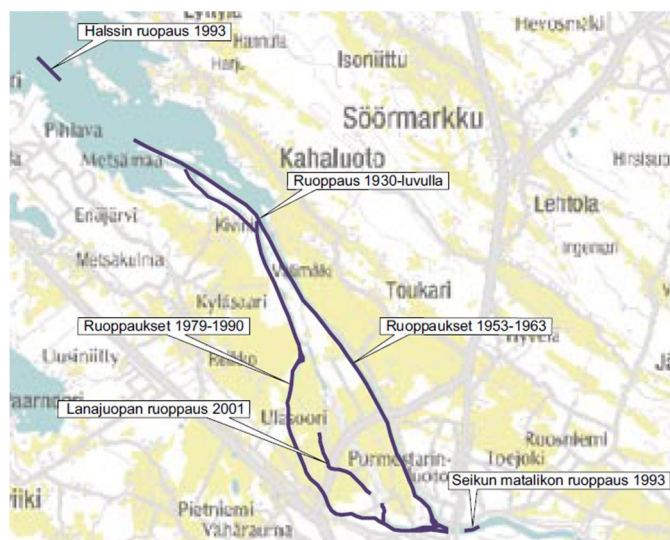


Kuva 87. Huvilanjuovan ja Lanajuovan yhtymäkohdan poikkileikkaus Hu1.

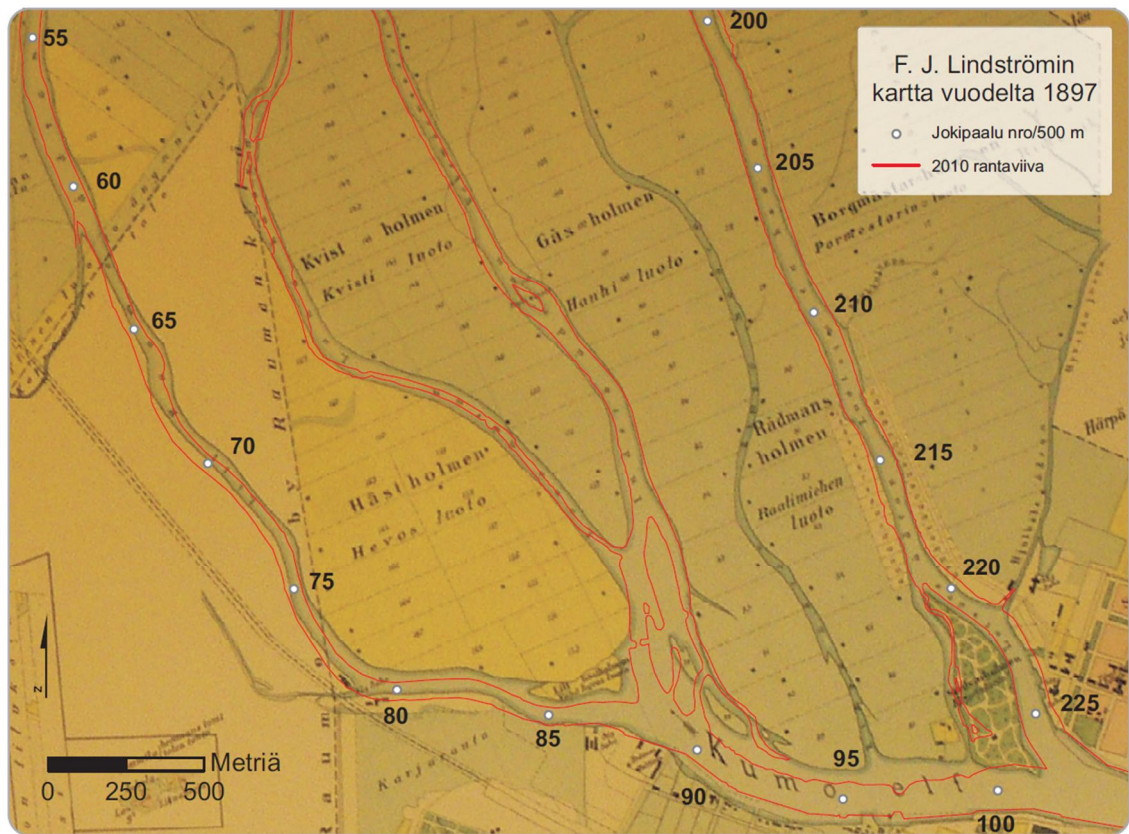
#### 4.7.2 Uomien morfologia

Uomat ovat kaventuneet juopien alueella, erityisesti yläjuoksulla, monin paikoin vuodesta 1897 (kuva 89). Jokipaalun 95 kohdalla Raumanjuopa on kaventunut 65 metriä ja jokipaalun 90 kohdalla yli 100 metriä. Lanajuovan ja Huvilajuovan alussa uoma on kaventunut 200 metristä noin 20 metriin ja Lanajuopa 70 metristä 20 metriin. Lisäksi Kirjurinjuopa sekä Raatimiehenluodon ja Hanhiluodon välissä sijaitseva vanha Kimpahaaran uoma ovat sedimentoituneet umpeen.

Uomat ovat Luotsinmäenhaaran alussa ja Raumanjuovassa jokipaalun 75 kohdalta alavirtaan leventyneet noin 10 metrillä. Lisäksi juopien alueella on tehty ruoppauksia 1900-luvun alkupuolelta lähtien (Koskinen 2006) (kuva 88). Luiskankaltevuudet ovat Luotsinmäenhaarassa ja Raumanjuovassa yleisesti 1:1,5 ja 1:2 eli noin 34° ja 27°.



Kuva 88. Porissa tehdyt ruoppaukset 1900-luvulla (Koskinen 2006).



Kuva 89. Rantaviivan siirtyminen juopien alueella. Aineistona on käytetty F.J. Lindströmin georeferoitua karttaa vuodelta 1897. Vuoden 2010 rantaviiva on digitoitu vuoden 2010 peruskartalta.

### ***Luotsinmäenhaara***

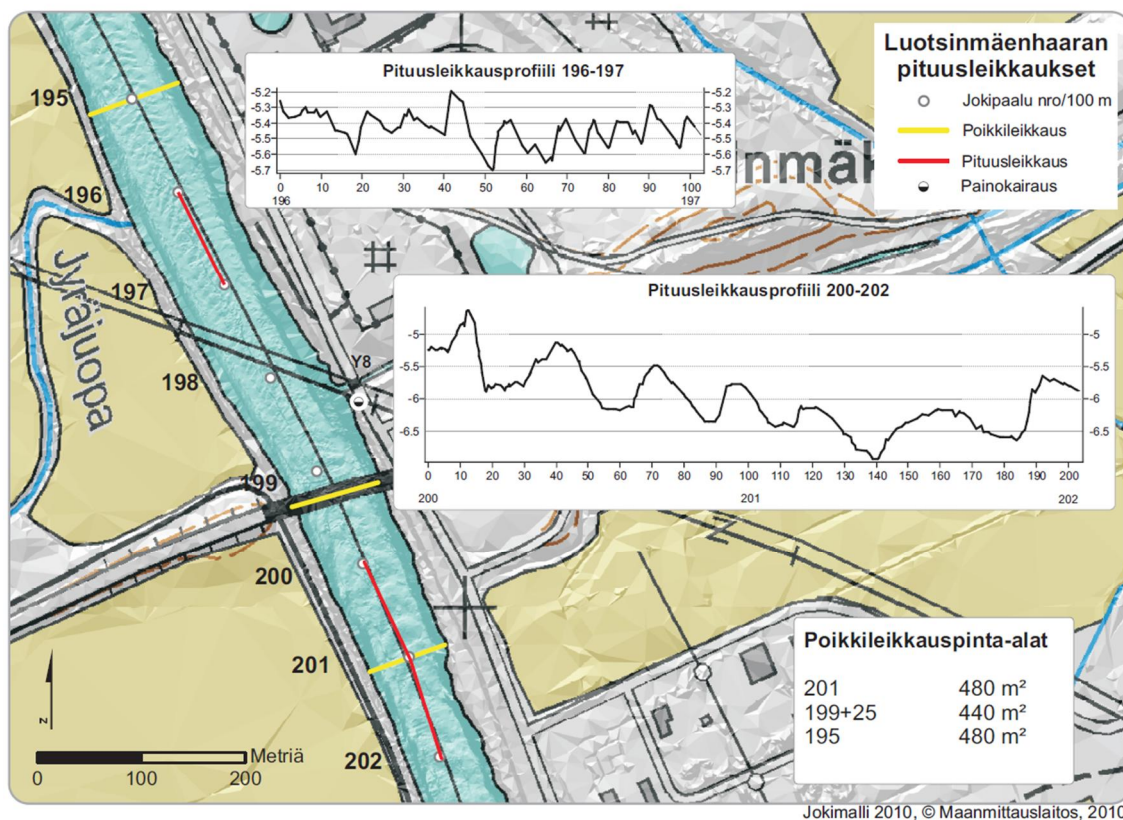
Luotsinmäenhaarassa uoma kulkee yläosaltaan pääosin Hevosluoto–muodostumassa. Uoma kulkee todennäköisesti Toukari–muodostumassa tai moreenissa jokipaaluilla 217+29 (Pirunkirnu), Länsitien ja 191+20 poikkileikkauksissa sekä jokipaalulla 203.

Poikkileikkauspinta-ala on Luotsinmäenhaaran alussa jokipaalulla 221 noin 500 m<sup>2</sup> ja pienenee jokipaalulle 216 noin 340 m<sup>2</sup>:iin. Poikkileikkauspinta-ala alkaa kasvaa tämän jälkeen, ja jokipaalulla 201 se on 480 m<sup>2</sup> (kuva 90). Jokipaalulta 195 alavirralla poikkileikkauspinta-ala vaihtelee välillä 450–580 m<sup>2</sup>.

Luotsinmäenhaaran pohjan taso on keskimäärin noin -5 metriä mutta jokipaalujen 170–175 ja 200–202 välissä uoman pohja on noin tasossa -6 N2000. Poikkeuksena ovat muutamat syvänteet. Esimerkiksi jokipaalulla 177+20 uoman pohjan oikea reuna on tasossa -10 N2000.



Luotsimäenhaarassa on hiekka-aaltoja jokipaalujen 227–223, 203–199, 197–179, 170–168, 161–155 ja 150–148 välissä. Hiekka-aaltojen koko vaihtelee jokipaalujen 203 ja 199 välissä olevista suurista noin 90 cm korkeista ja noin 10 metriä pitkistä muualla esiintyviin noin 20 cm korkeisiin hiekka-aaltoihin.



Kuva 90. Luotsimäenhaarassa on monin paikoin hiekkadyynejä. Oikeassa rannassa on tapahtunut monin paikoin rantojen sortumia.

Luotsimäenhaarassa on tapahtunut rantojen sortumia jokipaalulla 217 ja jokipaaluvälillä 203 – 175. Tämä näkyy rantaviivan voimakkaana mutkitteluna (kuva 90).

### Huvilajuopa ja Lanajuopa

Uoma kulkee Huvilajuovassa ja Lanajuovassa Hevosluoto-muodostumassa. Poikkileikkauksessa Hu1 Huvilajuovan ja Lanajuovan yhtymäkohdassa uoman pohja on kulunut Toukari-muodostumaan.

Huvilajuopa ja Lanajuopa ovat pääosin matalia ja kapeita. Huvilajuovan alussa ylävirralla poikkileikkauspinta-ala on noin 80 m<sup>2</sup> ja uoman pohjan taso on keskimäärin -1,2 N2000. Lanajuovan alussa poikkileikkauspinta-ala noin 20 m<sup>2</sup> ja pohjan taso on

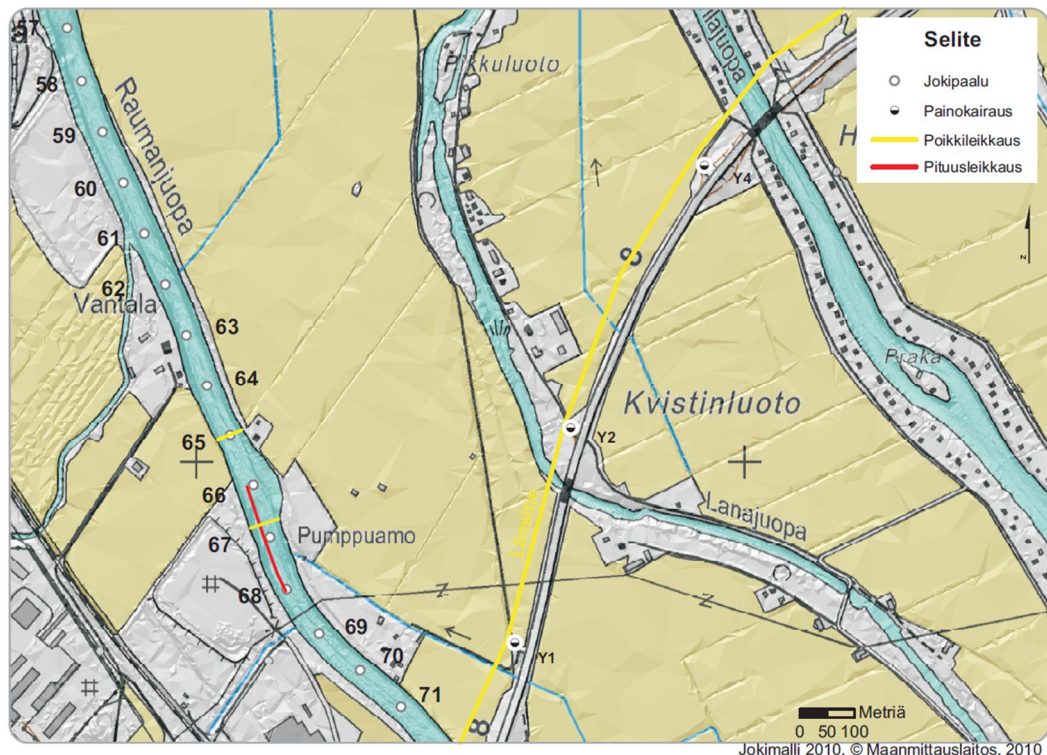


keskimäärin -0,95 N2000. Huvilajuopa kapenee noin 40 metriin ja pohjan taso kasvaa Länsitien kohdalla keskimäärin -3,2 N2000. Myös poikkileikkauspinta-ala kasvaa lähellä Länsitien eteläpuolta yli 100 m<sup>2</sup>:iin. Huvilajuovan lopussa alavirralla pohjan taso on keskimäärin -4,2 ja uoman reunojen kaltevuudet ovat 14° - 21° eli noin 1:1,4 ja 1:2,6. Lanajuovan lopussa Pikkuluodon jälkeen pohjan taso on keskimäärin -1,0 N2000. Huvilajuopaan ja Lanajuopaan on kerrostunut särkkäsaaria uoman keskelle ja uomien reunoille (kuva 91).

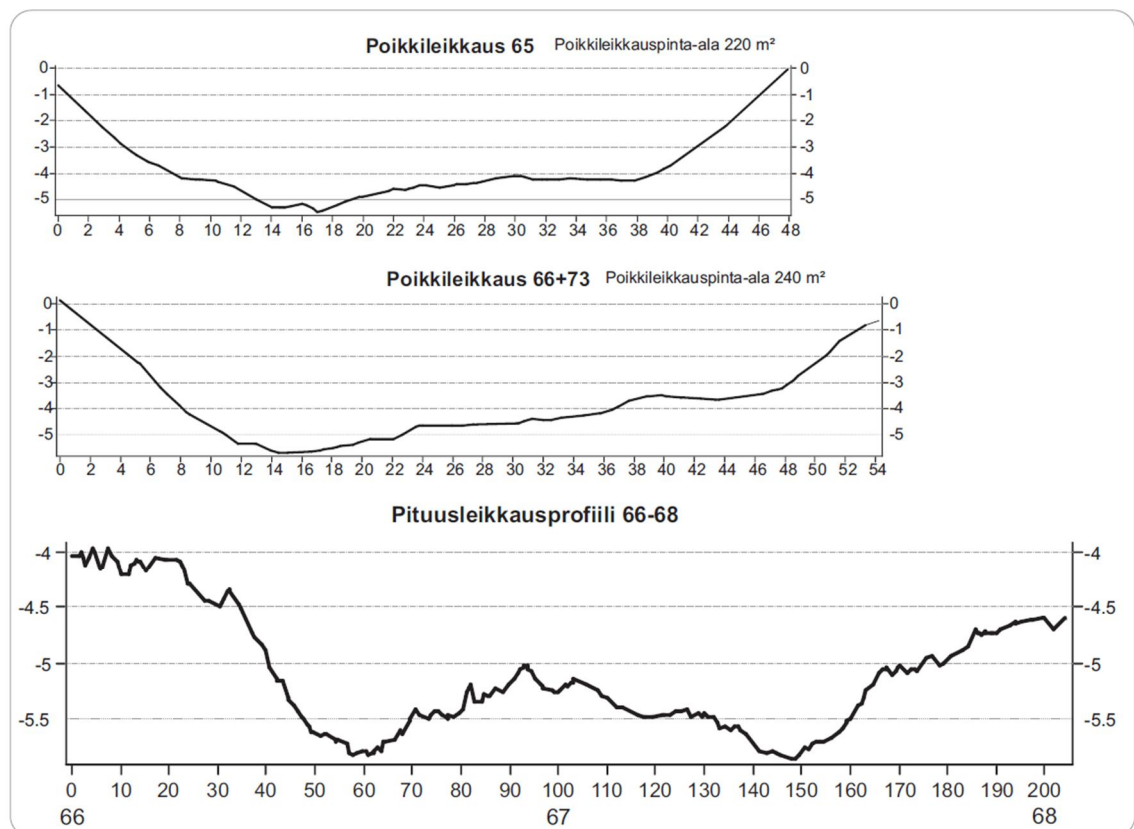
Huvilajuopa ja Lanajuopa yhdistyvät alavirralla Hevosluodonjuovaksi, jonka pohjan taso on keskimäärin -1,6 N2000 ja leveys noin 80 metriä.

### Raumanjuopa

Raumanjuopa kulkee pääosin Hevosluoto–muodostumassa, ja uoman pohjan taso on keskimäärin noin -4,5 N2000. Uomassa on syvänteitä jokipaaluvälillä 66–68 (kuvat 91 ja 92). Samankaltaisia syvänteitä on jokipaaluilla 83–85 (syvänneura tasolla -6,2 – -5,2 N2000), 63–65 (-5,7), 55 (-6,9) ja 51 (-7,2). Samoissa kohdissa on tapahtunut rannan sortumia, ja uoman vedenalaisten reunojen kaltevuudet ovat paikoin yli 33° eli noin 1:1,5.



Kuva 91. Raumanjuovassa on monin paikoin samankaltaisia syvänteitä kuin jokipaaluvälillä 66 – 68.



Kuva 92. Raumanjuovan poikkileikkaukset ja pituusleikkausprofiili.

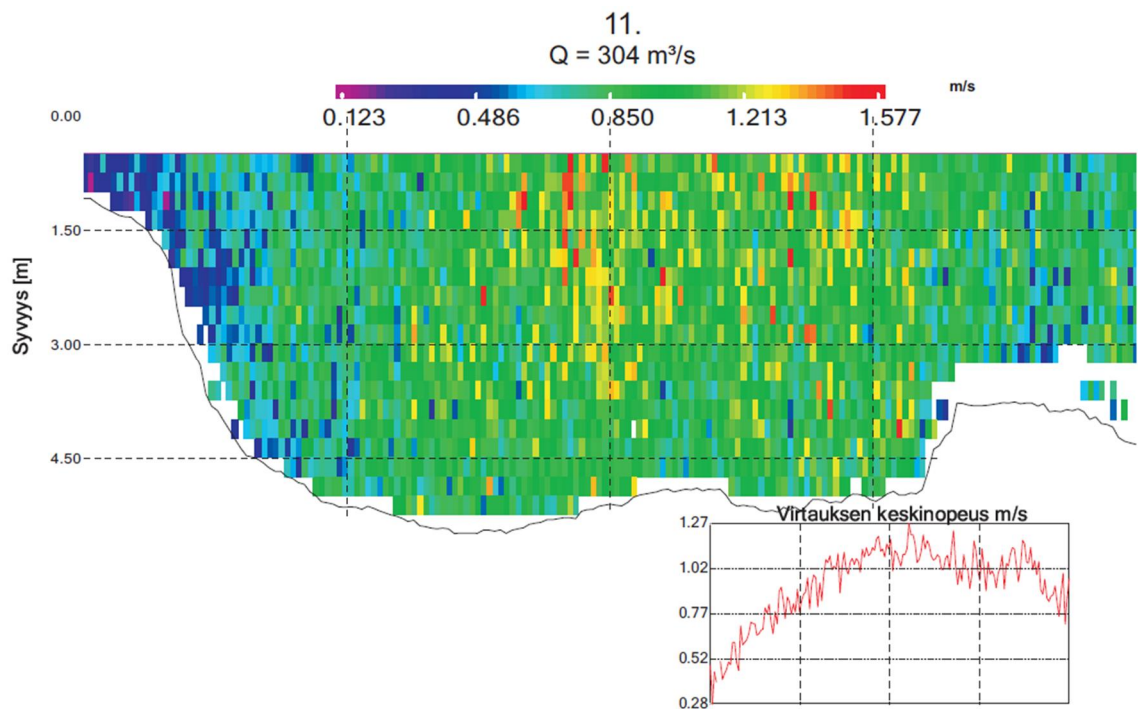
### 4.7.3 Virtausnopeudet

Virtausnopeusmittauksien 11 (Luotsinmäenhaara), 12 (Raumanjuopa) ja 13 (Hevosluodonjuopa) avulla selvitetiin virtaamien jakautumista juopien alueella.

Linjojen 11, 12 ja 13 yhteenlaskettu virtaama 460,5 m<sup>3</sup>/s

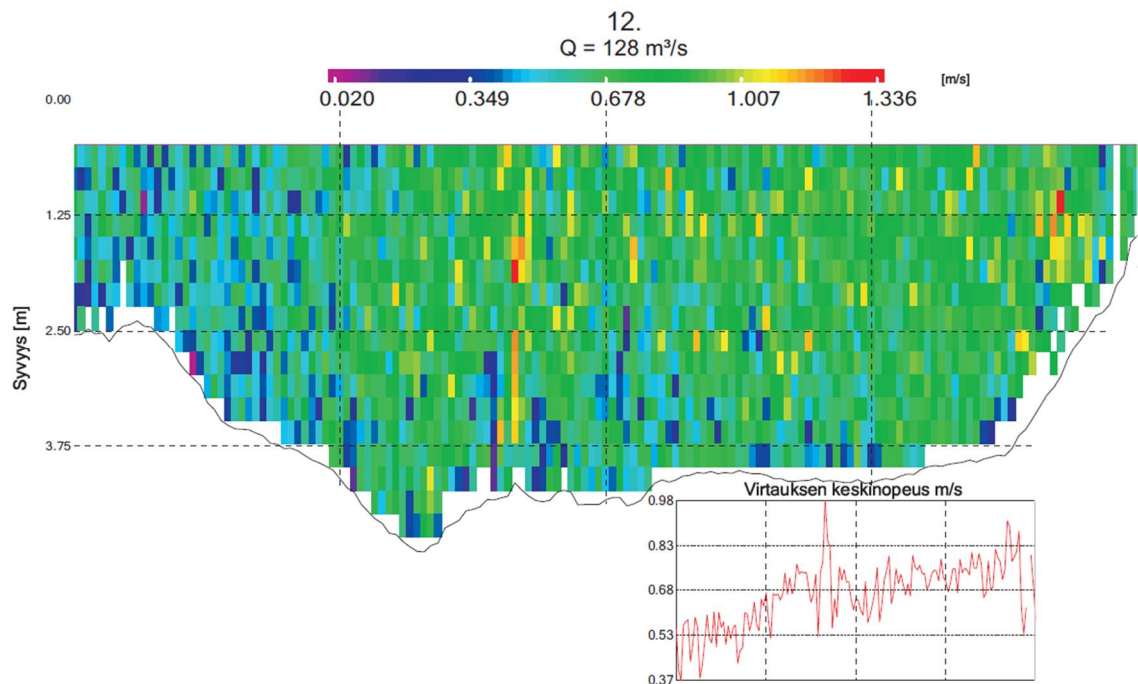
Virtaamien jakautuminen eri juovissa on esitetty kuvassa 82.

Virtausmittauslinjan 11 suurimmat nopeudet ovat keskellä uomaa ja lähellä pintaa (kuva 93). Linjalla 11 veden virtauksen suurin nopeus oli 1,7 m/s. Virtaama on sijoittunut oikealle puolelle uomaa.



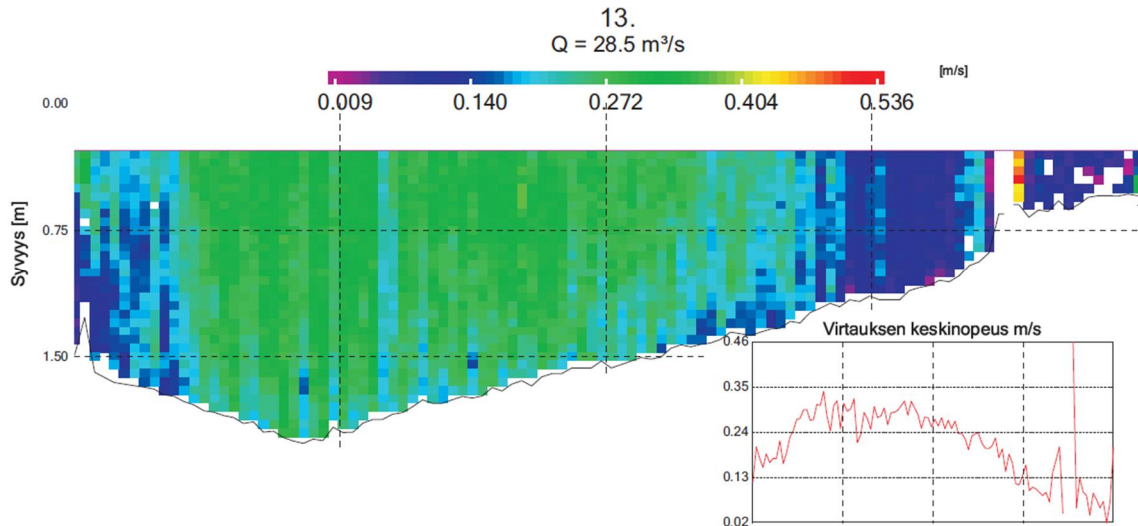
Kuva 93. Luotsinmäenhaaran virtausnopeusmittauslinjan 11 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausmittauslinjan 12 suurimmat nopeudet ovat keskellä ja oikealla puolella uomaa sekä lähellä pintaa (kuva 94). Linjalla 12 virtauksen suurin nopeus oli 1,3 m/s. Virtaama on sijoittunut oikealle puolelle uomaa.



Kuva 94. Raumanjuovan virtausnopeusmittauslinjan 12 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

Virtausmittauslinjan 13 suurimmat nopeudet ovat vasemmalla puolella uomaa ja lähes koko syvyydellä (kuva 95). Linjalla 13 veden virtauksen suurin nopeus oli 0,5 m/s. Virtaama on sijoittunut vasemmalle puolelle uomaa.



Kuva 95. Hevosluodonjuovan virtausnopeusmittauslinjan 13 virtausnopeus ja virtauksen keskinopeus vesipatsaassa.

#### 4.7.4 Juopien tulosten tulkinta

Uomien syväneura kulkee juopien alueella pääosin Hevosluoto-muodostumassa. Luotsinmäenhaarassa Toukari-muodostuma kohoaa lähelle maanpintaa jokipaalulla 203, Länsitien kohdalla ja jokipaalulla 191+20. Hiekka-aaltoja ja rannan sortumia esiintyy jokipaaluvälillä 203 – 179. Hiekka-aaltojen esiintyminen pitkällä matkalla Luotsinmäenhaarassa johtuu todennäköisesti siitä, että uoman pohja on kulunut monin paikoin Toukari-muodostumaan sekä moreeniin, ja hiekka-aalloiksi kerrostuva aines on todennäköisesti pääosin peräisin niistä.

Poikkileikkauspinta-ala kasvaa Luotsinmäenhaarassa alavirralla jokipaalulla 169 570 m<sup>2</sup>:iin, jokipaalulla 159 580 m<sup>2</sup>:iin ja jokipaalulla 150 620 m<sup>2</sup>:iin. Jokipaaluväleillä 170 – 168, 161 – 155 ja 150 – 148 esiintyvät hiekkadyynit ovat todennäköisesti kerrostuneet poikkileikkauspinta-alan kasvaessa virtauksen epäjatkuvuuskohtiin sekä uoman pohjan kulkiessa Toukari-muodostumassa tai moreenissa.



### Uomien yhtymäkohtien syvänteet

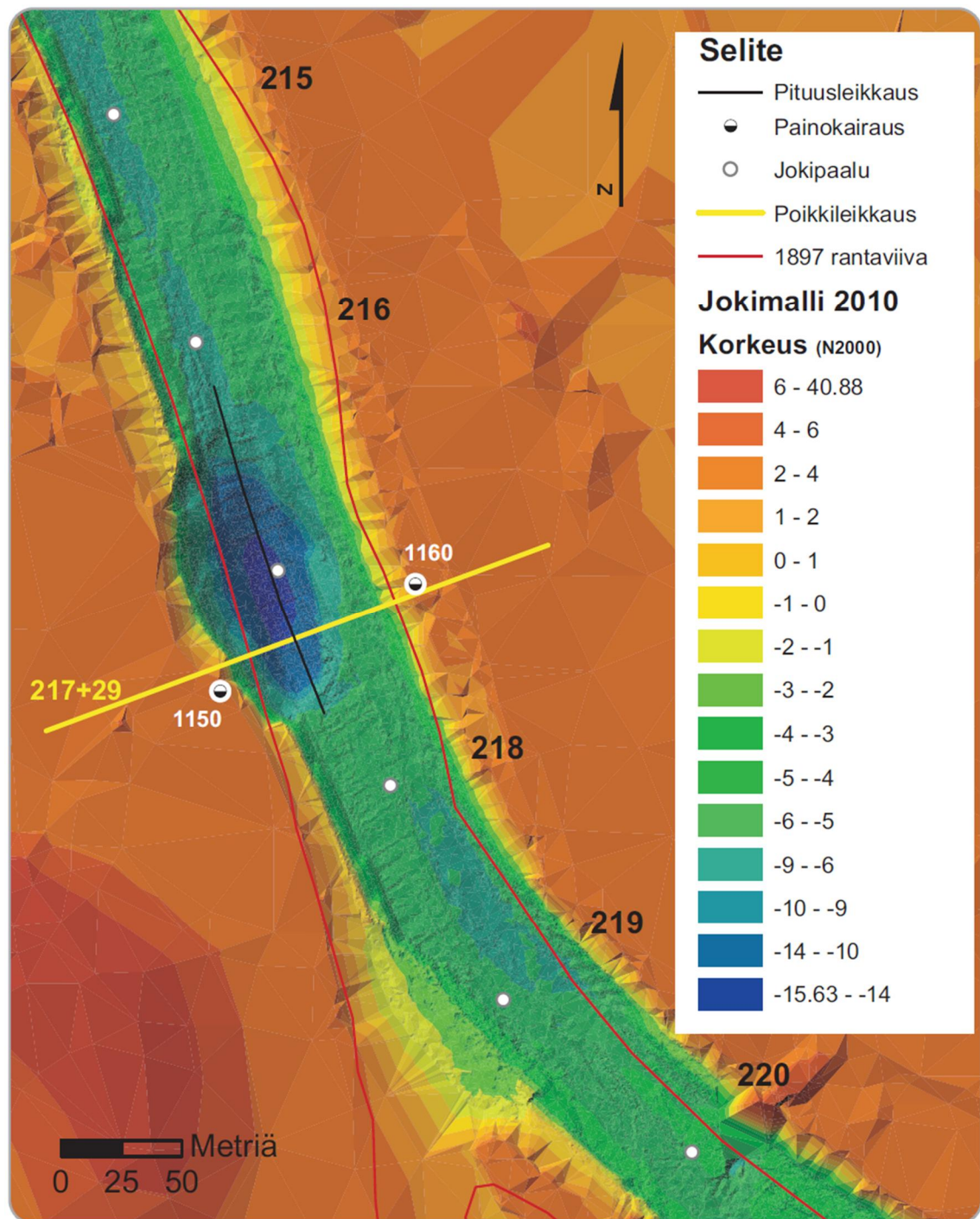
Juopien alueella olevat syvänteet sijaitsevat kahden uoman yhtymäkohdissa. Uomien yhtymäkohta voidaan jakaa virtauksen luonteen mukaan eri alueisiin: 1) yhtymäkohtaan, 2) kohtaan, missä yhtyvien uomien erisuuntaiset virtaukset sekoittuvat virtausten eri nopeuksien johdosta ja 3) kohtaan, missä virtaus erkaantuu kahdeksi pyörteeksi. Virtauksen ominaisuudet vaihtelevat mm. sen mukaan, missä kulmassa uomat yhtyvät, virtaamien eroista uomissa ja uomien pohjien tasoeroista. (Bridge 2003 ja Serres *et al.* 1999).

Uomien yhtymäkohdan alussa virtaus on reunoilta kohti uoman keskustaa ja virtausnopeus saattaa keskellä paikallisesti hidastua. Tähän liittyy myös mahdollisesti uomien suuosan kärkeen kerrostuva särkkä. Virtausten sekoituessa muodostuu pyörteitä, ja virtausnopeus kasvaa uoman keskellä, mikäli uoman poikkileikkaus-ala on pienempi uomien yhtymisen jälkeen. Tämän jälkeen virran erkaantuessa virtaus kääntyy kohti uoman reunoja alhaalta ylöspäin (Bridge 2003), ja uoman reunojen yläosissa virtaus voi kääntyä vastavirtaan synnyttäen ns. akanvirran (Rhoads ja Kenworthy 1995).

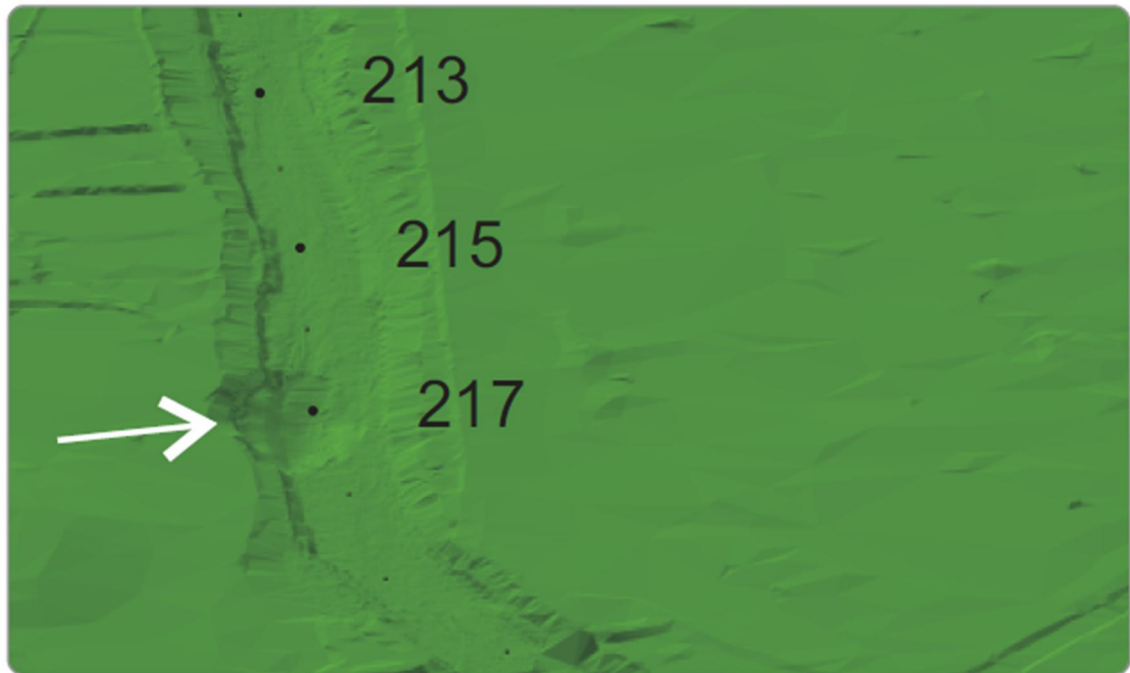
Ns. Pirunkirnun syvänteeseen jokipaalun 217 kohdalla Luotsinmäenhaarassa syntyi todennäköisesti Kirjurinluodonjuovan vielä virratessa. Silloin uomien yhtymäkohtaan muodostui pyörre, joka kulutti kapenevan uoman pohjaa. Ajan kuluessa virtaus kulutti syvänteen pohjasta Hevosluoto-muodostuman ja Ulasoori-muodostuman. Eroosio kasvoi, kun virtaukselle herkempi Toukari-muodostuma paljastui (kuva 84).

Nykyisin syvänteessä on edelleen voimakasta pyörteilyä ja kumpuilua. Akanvirtaa kehittyi syvänteen kohdalla, kun nykyisin Kirjurinluodonjuopa on yläpäästään suljettu (kuva 96). Isolla virtaamalla pääuoman virtaus häiriintyy ja virtaus kääntyy vastavirtaan Kirjurinluodonjuopaan (Bridge 2003). Rantojen sortumat Kirjurinluodon rannalla johtuvat todennäköisesti syvänteessä tapahtuvasta eroosiosta (kuva 97).

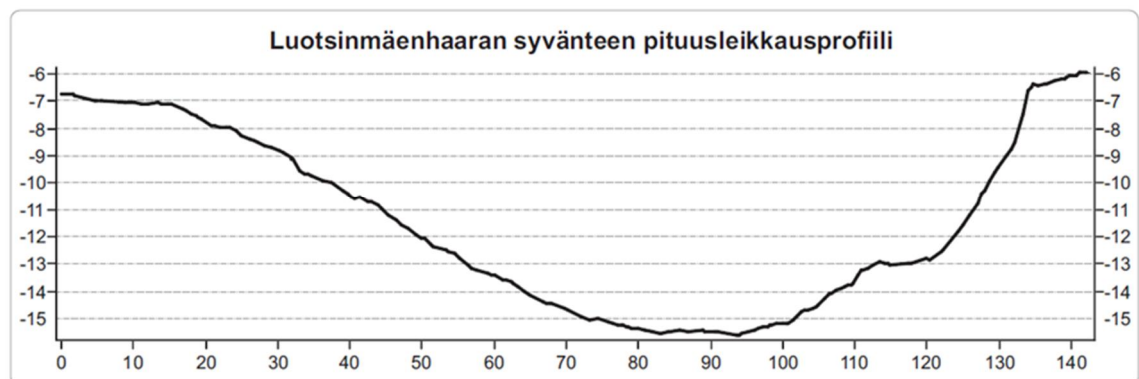
Pirunkirnun syvänteen pituus on noin 120 metriä ja leveys noin 60 metriä (kuva 98). Syvänteeseen on vasemmalla puolella uomaa ja sen pohjan taso on -15,6 N2000.



Kuva 96. Luotsinmäenhaaraan on liittynyt Kirjurinluodonjuopa vielä 1900-luvun alussa. Kahden uoman yhtymäkohtaan on muodostunut voimakasta pyörteilyä, joka on kuluttanut uoman pohjaa ja muodostanut syvänteen eli ns. Pirunkirnun.



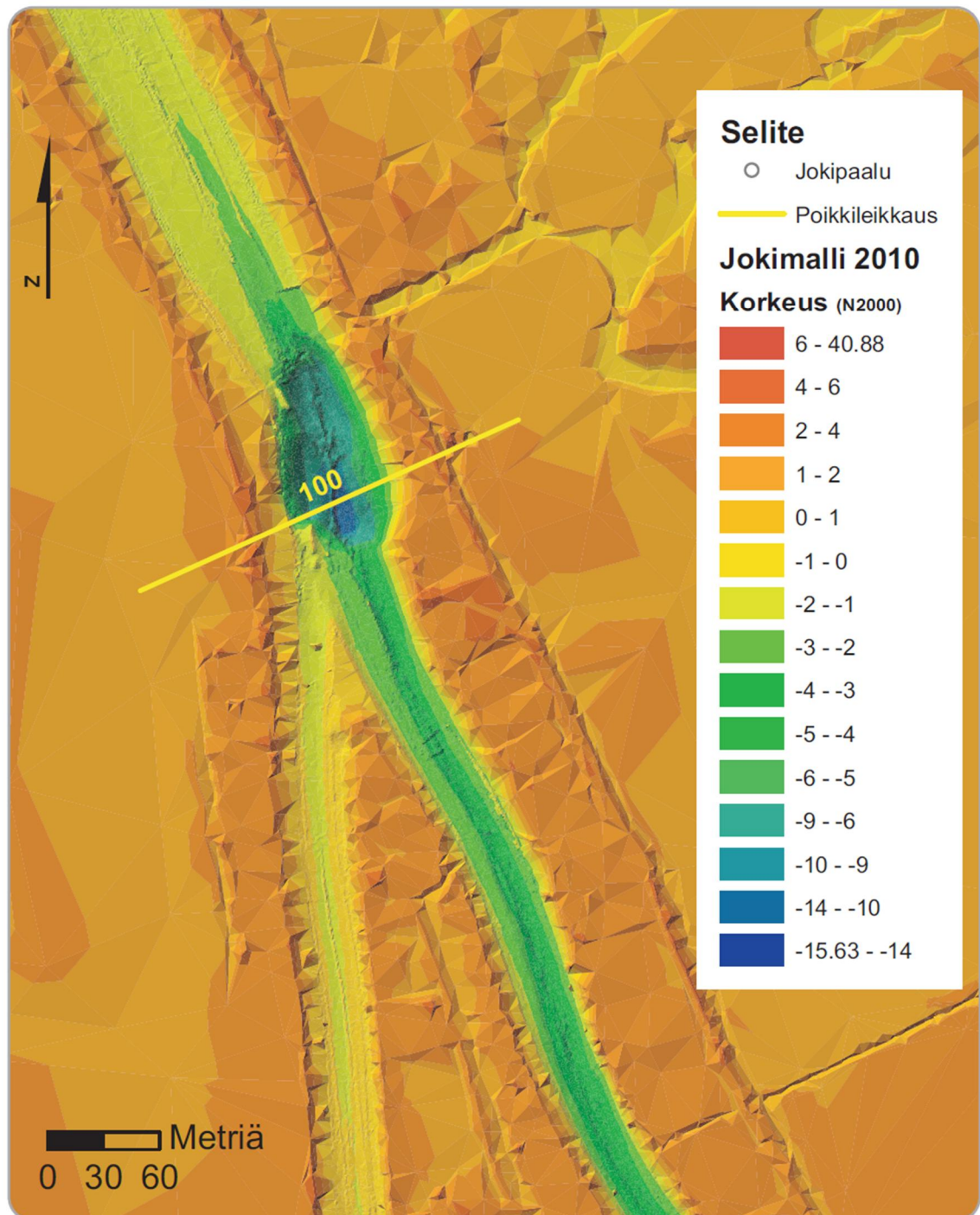
Kuva 97. Syväne on Kirjurinluodon puolella. Rantaa on sortunut laajalti jokipaalun 217 kohdalta.



Kuva 98. Pirunkirnun pituusleikkaus. Toukari-muodostuman pinta alkaa noin tasolta -7 – -8 N2000. Syvänteen ylävirran puoleinen reuna on jyrkkä. Pituusleikkauksen sijainti on esitetty kuvassa 96.

Pienempi syväne sijaitsee Huvilajuovan ja Lanajuovan yhtymäkohdassa (kuva 99). Syväne on mitoiltaan noin 120 metriä pitkä, 50 metriä leveä ja pohja on syvimmillään tasolla -12,3 N2000. Syväne on saanut alkunsa todennäköisesti silloin, kun virtaus näissä kahdessa uomassa oli suurempi. Virtauksen pyörteily on kuluttanut Hevosluoto-muodostuman ja Ulasoori-muodostuman koheesiomaalajit ja paljastanut eroosiolle herkemmän Toukari-muodostuman kitkamaalajit. Nykyisin uomien vedenjohtokyky on heikentynyt sedimentoitumisen ja uomien yläpäihin rakennettujen pienten silta-aukkojen vuoksi. Todennäköisesti tästä johtuen uomien yhtymäkohtaan on kerrostunut

uoman suun kärkisärkkää (Lanajuopa–muodostumaa). Syvänteeseen ei ole kerrostunut merkittävästi sedimenttejä, vaikka virtaus on pienentynyt Huvilanjuovassa ja Lanajuovassa. Nykyisin Hevosluodonjuovan poikkileikkauspinta-ala on pienempi kuin Huvilajuovan ja Lanajuovan yhteenlaskettu poikkileikkauspinta-ala.



Kuva 99. Huvilanjuovan ja Lanajuovan yhtymäkohdan syvänte.

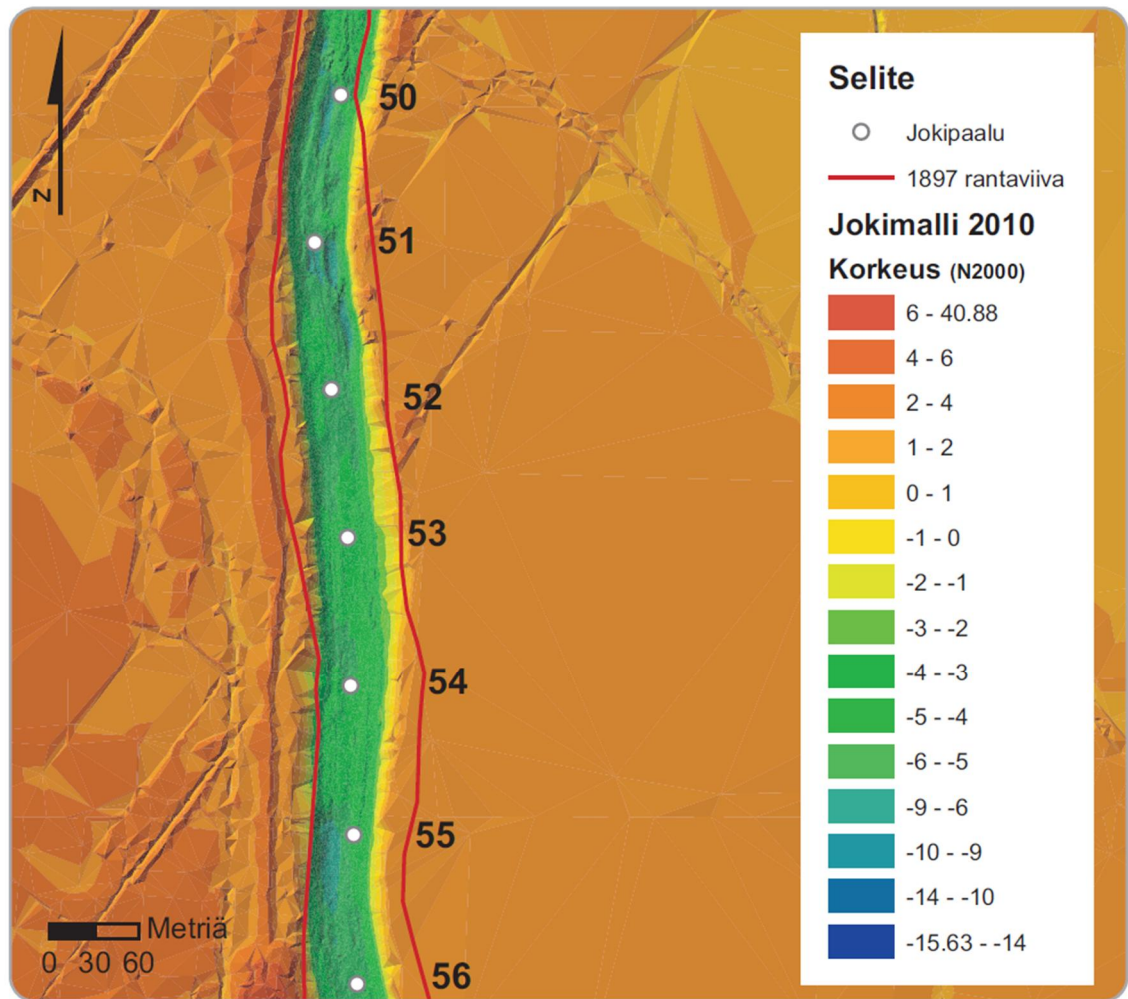


### Muut syvänteet juopien alueella

Luotsinmäenhaaran alussa jokipaaluvälillä 224+00 – 226+50 uoman vasemmalla puolella ulkokaarteessa olevat syvänteet ovat syntyneet todennäköisesti uomien erkaantumisesta johtuvasta virtauksen pyörteilystä. Syvimmillään uoman pohja on tasossa -8,0 N2000. Uoman sisäkaarteeseen, jonka pohjan taso on keskimäärin noin -2,5 N2000, on sedimentoitunut Lanajuopa–muodostumaa virtauksen hidastuessa. Tällaiset matalat uomankohdat keräävät todennäköisesti jää- ja hyydepatoja (Ettema ja Zabilansky 2004). Oikean rannan eli sisäkaarten virtauksen pienentyessä virtausnopeus ja pyörteisyys lisääntyvät vasemmalla rannalla, mikä lisää eroosiota. Eroosio saattaa kasvaa voimakkaasti syvänteiden kohdalla, mikäli Toukari–muodostuma paljastuu virtaukselle.

Raumanjuovassa ja muualla suistossa olevien kapeikkojen kohdalla olevat syvänteet ovat syntyneet virtapaikkoihin. Syvänteet ovat paikallisia ja esiintyvät paikassa, missä on ollut kapeikko tai paikassa missä uoma nykyisin kapenee (kuva 100). Syvänteisiin liittyy epätasainen rantaviiva, mikä viittaa rantojen sortumiin.

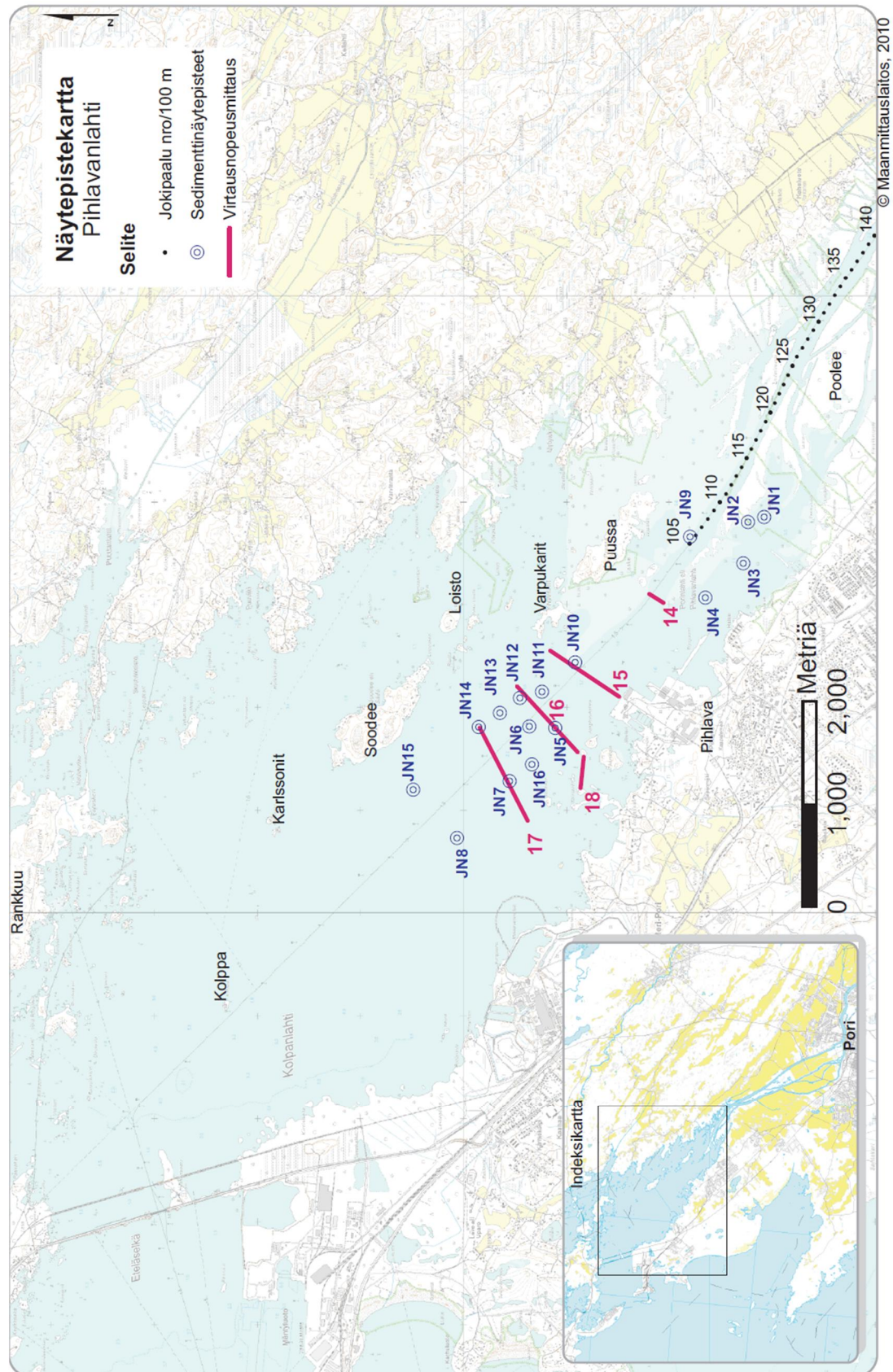
Mahdollinen syy syvänteiden sijaitsemiseen kapeikoissa on niihin muodostuneet jääpadot. Jääpadot syntyvät paikkaan, missä joki ei pysty kuljettamaan virran mukanaan kuljettamaa jäätä. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi kohdat, missä on vielä ehjä jääkansi tai uoma kapenee (Department of the army 2002). Jääpatojen alla virtausnopeus ja turbulenssi saattavat paikallisesti nousta merkittävästi, mikä lisää eroosiota (Ettema 2008). Raumanjuovan maaperästä on vain vähän tietoa, joten Toukari–muodostuman tarkkaan sijaintia ei tunneta.



Kuva 100. Raumanjuovassa syvänteet sijaitsevat monin paikoin uoman kapeimmissa kohdissa.

Nykytilanteessa virtaama on jakautunut eri juopien välillä epätasaisesti. Ihmistoiminta on osaltaan muuttanut virtaaman jakautumista epätasaisesti juopien alueella. Vielä 1800-luvun lopulla Huvilajuopa ja Lanajuopa ovat todennäköisesti olleet pääuomia. Virtaamaa on muutettu mm. ruoppauksin ja kapein silta-aukoin niin, että Huvilajuovan ja Lanajuovan kautta virtaa nykyisin noin 6 % koko virtaamasta. Tästä johtuen Huvilajuopaan, Lanajuopaan ja Hevosluodonjuopaan sedimentoituu suurin osa näiden kautta veden mukana kulkevista karkeammista sedimenteistä.

## 4.8 Pihlavanlahti



Kuva 101. Pihlavanlahden näytepistekartta.

Kokemäenjoen suisto on historiansa aikana edennyt vaihdellen kohti luodetta, välillä nopeasti ja välillä hitaammin. 1300–1400-luvuilla Kokemäenjoen suu oli Ulvilassa ja 1500–1600-luvuilla Porin keskustassa. Kokemäenjoen suiston etenemisnopeuteen vaikuttaa erityisesti kuinka paljon sedimenteillä on kerrostumistilaa suistossa. Nykyinen Luotsinmäenhaara on edennyt aikavälillä 1558–1728 keskimäärin n. 14 m/vuodessa (Cripps *et al.* 2011). Suiston eteneminen on ollut nopeinta eli noin 80 m/vuodessa Kivinin kapeikossa vuosien 1905–1947 välillä (Säntti 1954). Nykyisin suiston pääuoman etenemisnopeus on hidastunut sedimentaatiotilan kasvun myötä ja on peruskartoilta laskettuna vuosien 1982–2010 välillä ollut noin 44 metriä vuodessa.

Tulvapatojen rakentamisella Porin keskustasta Kivinille 1950-luvulla on estetty joen tulviminen suurien virtaamien aikaan luotojen alueelle, joka on normaalin virtaaman aikaan kuivaa maata. Näin suuret määrät sedimenttejä eli Säikkä-muodostumaa on kulkeutunut suiston edustalle ja siten nopeuttanut suiston etenemistä Pihlavanlahdelle.

Nykyisen suiston pääuomaan on tehty ruoppauksia viimeksi vuonna 1993 ns. Halssin matalikon poistamiseksi pääuoman suulta (kuva 86). Ruopattu alue oli 700 metriä pitkä ja 40 metriä leveä. Ruoppausmassoja kertyi noin 40 000 m<sup>3</sup> (Kirkkala 1996).

Muita pienimuotoisia veneväylien ruoppauksia suistossa on tehty Puussaan saaren ja mantereen välissä oleville matalille alueille sekä Pooleen saaren lounaispuolella oleville matalille alueille. Ruovikoitumisen ja tulvavallien vuoksi näille alueille virtaa keskivirtaamalla pääuomasta nykyisin vettä vain ruopattujen veneväylien kautta.

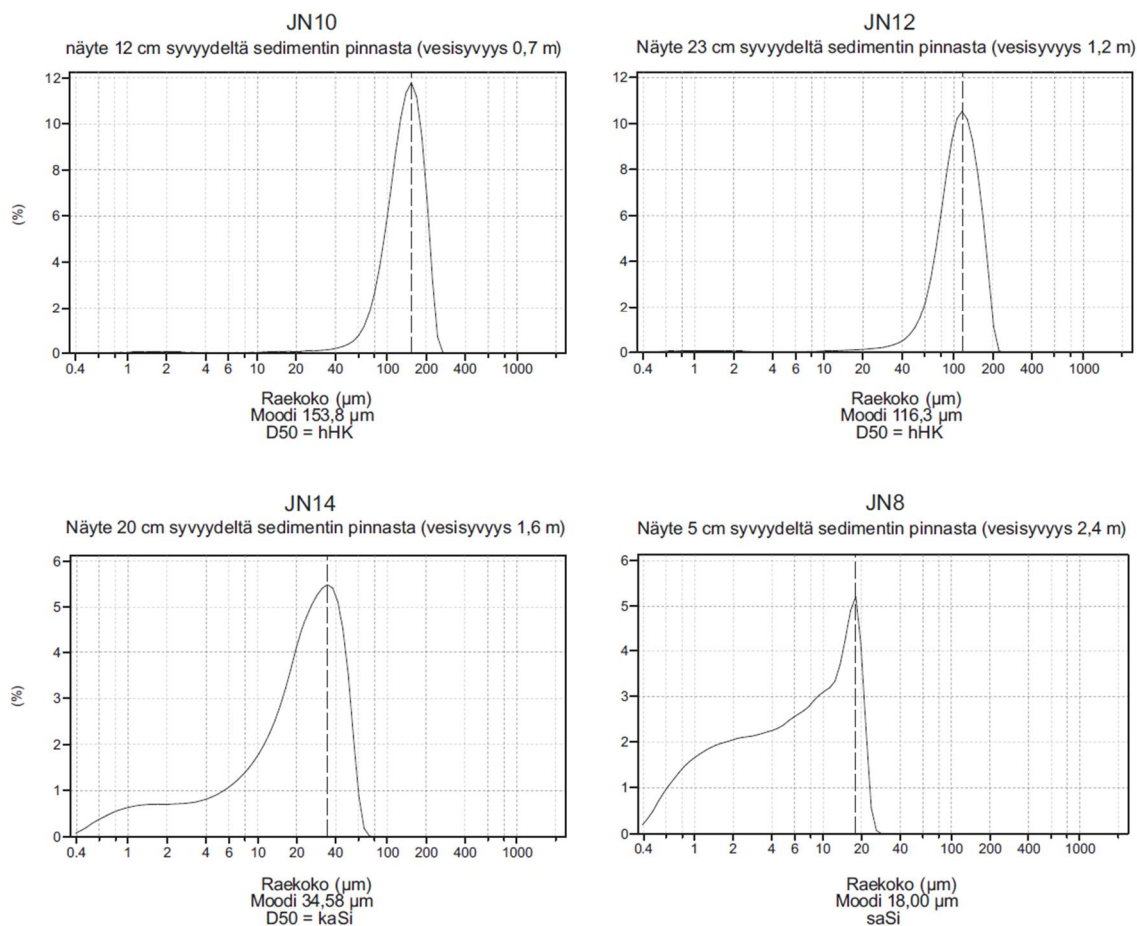
Suiston syvimät kohdat ovat jokipaalulla 119,9 metriä (Jokimalli 2010) sekä Kolpan syvänteissä noin 4,6 metriä (N2000) (Kolpanlahden malli 2010).

#### **4.8.1 Sedimenttistratigrafia**

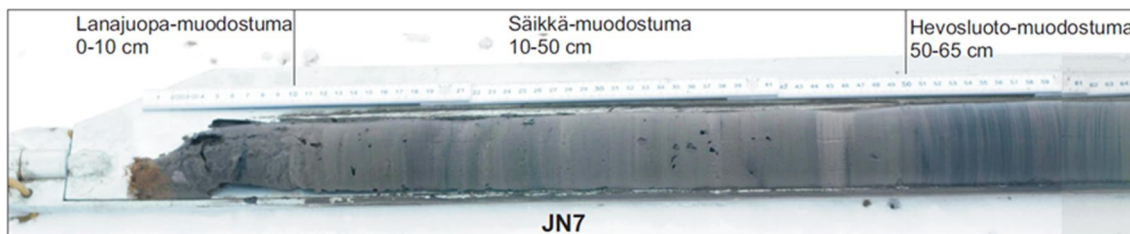
Näytteiden JN1, JN2 ja JN3 pinnat olivat Säikkä-muodostuman kerroksellista hienoa hiekkaa ja silttiä. Näytteen JN3 26 cm jälkeen näyte oli mustaa Hevosluoto-muodostuman sulfidipitoista savista silttiä. Näytteet JN4 ja JN9 olivat tummaa Hevosluoto-muodostuman sulfidipitoista savista silttiä, jonka tyyppiraekoko oli 18,00 µm.



Suiston edustan raekoot hienonivat kauemmaksi lahdelle uoman suulta kuljettaessa ja samoin pääuomasta sivulle päin mentäessä (kuva 102). Sedimenttien raekoot hienonivat myös pinnasta pohjaan päin (kuva 103).



Kuva 102. Pihlavanlahden näytepisteiden raekokojakauma.

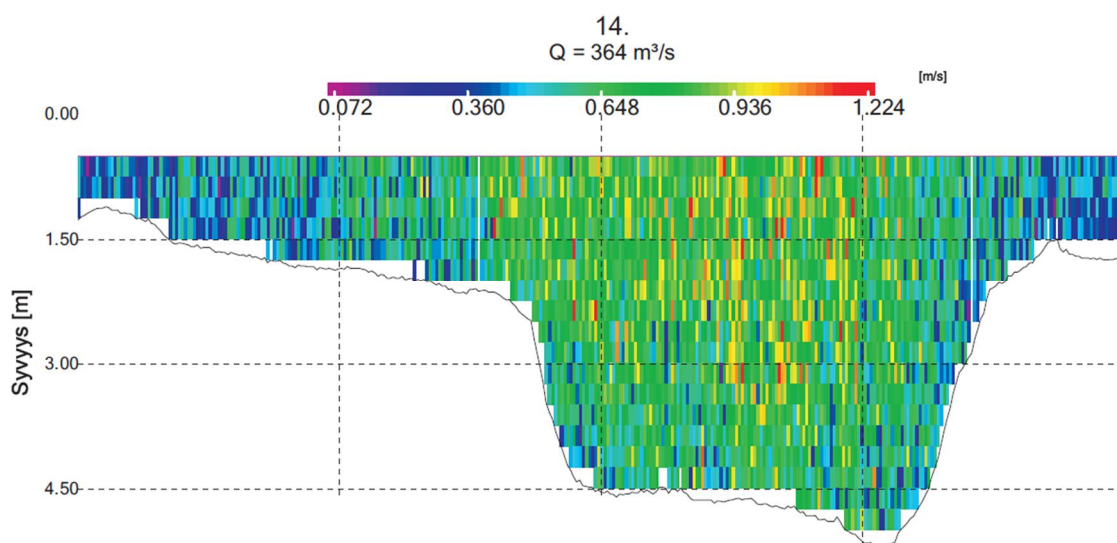


Kuva 103. Näyte JN7. Näytteen pinta on kuvan vasemmalla puolella. Näytteen raekoot hienonevat alaspäin. 10 cm näytteen pinnasta on massiivista hienoa hiekkaa ja sen alapuolella kerroksellista hienoa hiekkaa ja silttiä. Pohjalla on tummaraitaista sulfidipitoista savista silttiä.

## 4.8.2 Virtausnopeudet

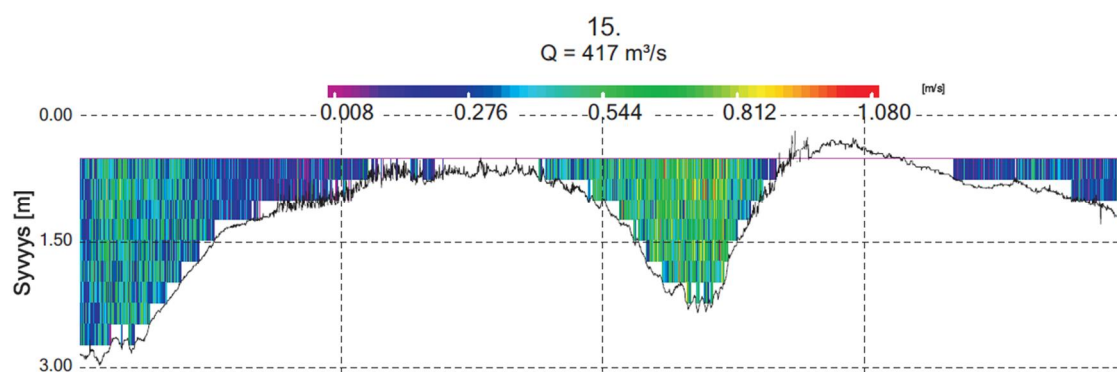
Virtaama vaihteli Harjavallan voimalaitoksella aamun klo 09-10 virtaamasta 362 m<sup>3</sup>/s iltapäivän virtaamaan 402 m<sup>3</sup>/s.

Virtausmittauslinjan 14 suurimmat nopeudet ovat keskellä uomaa ja lähellä pintaa (kuva 104). Vedenvirtauksen suurin nopeus oli 1,3 m/s. Kokonaisvirtaamasta lähes kaikki kulkee pääuomassa eli linjan 14 kautta.



Kuva 104. Virtausnopeusmittauslinjan 14 virtausnopeudet. Linjan pituus on noin 163 metriä.

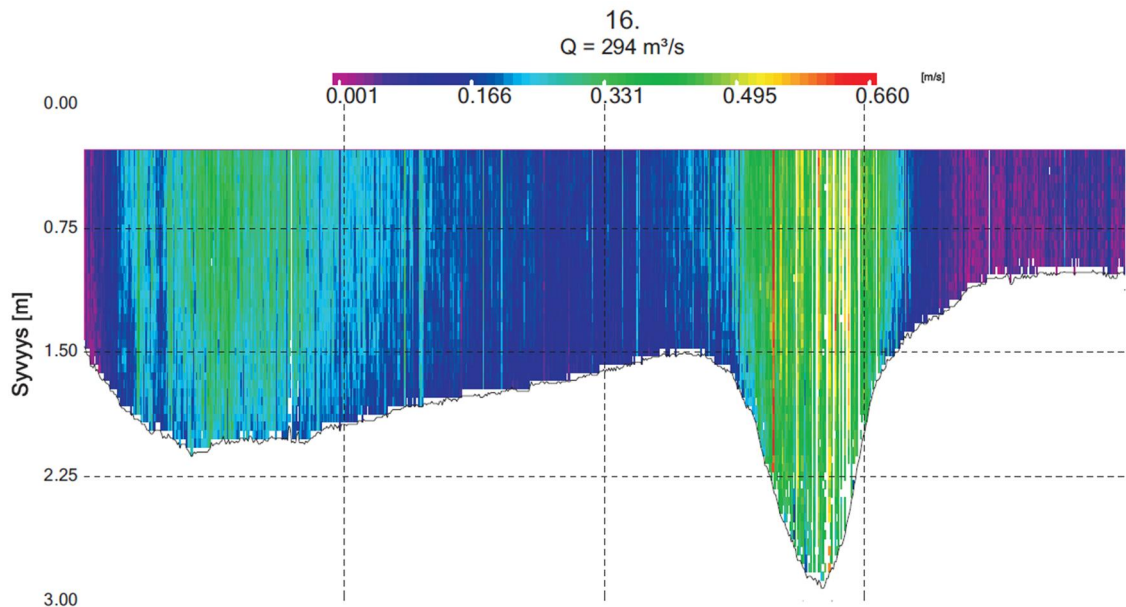
Vedenalaiset tulvavallit jakavat virtausmittauslinjan 15 virtaaman kahdeksi eri haaraksi (kuva 105). Vedenvirtauksen suurin nopeus oli 1,0 m/s. Kokonaisvirtaamasta lähes kaikki kulkee linjan 15 kautta.



Kuva 105. Virtausnopeusmittauslinjan 15 virtausnopeudet. Linjan pituus on noin 805 metriä.

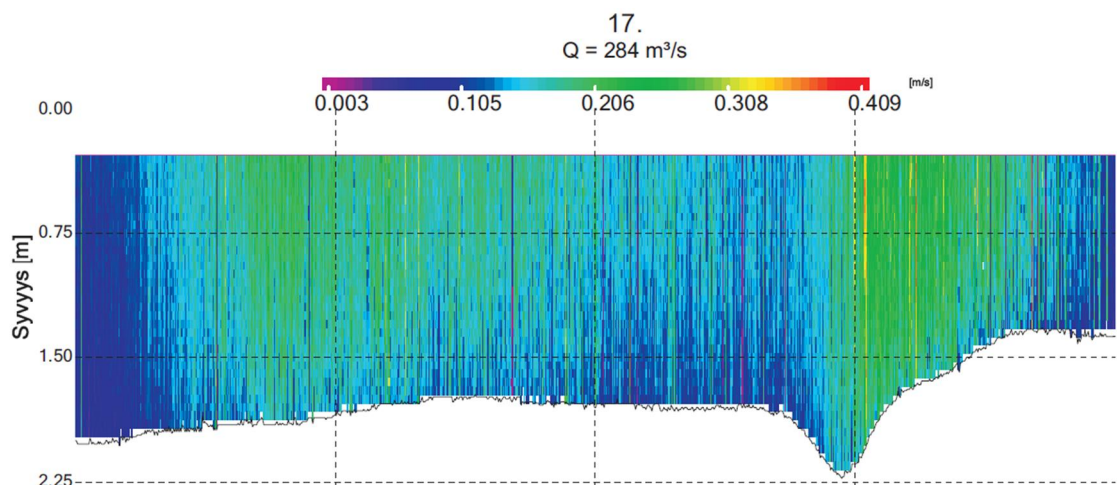
Vedenalaiset tulvavallit ovat kasvamassa virtausmittauslinjalla 16 ja jakamassa virtaamaa kahdeksi eri haaraksi (kuva 106). Linjan 16 oikealla reunalla virtaama on

lähes pysähtynyt. Linjalla 16 virtauksen suurin nopeus oli 0,7 m/s. Kokonaisvirtaamasta noin  $\frac{3}{4}$  kulkee linjan 16 kautta.



Kuva 106. Virtausnopeusmittauslinjan 16 virtausnopeudet. Linjan pituus on noin 875 metriä.

Virtausmittauslinjan 17 kohdalla näkyy vielä virtaaman jakautumista kahdeksi eri haaraksi (kuva 107). Linjalla 17 virtauksen suurin nopeus oli 0,4 m/s. Kokonaisvirtaamasta noin  $\frac{3}{4}$  kulkee linjan 17 kautta



Kuva 107. Virtausnopeusmittauslinjan 17 virtausnopeudet. Linjan pituus on noin 1015 metriä.

Virtausnopeusmittauslinjan 18 kautta kulkee noin 10 m<sup>3</sup>/s ja virtaaman keskinopeus oli 0,1 m/s.

### 4.8.3 Pihlavanlahden tulosten tulkinta

Suuren virtaaman aikaan Pihlavanlahdella Hevosluoto–muodostuma eli raekoot  $<0,002\text{--}60\ \mu\text{m}$  kerrostuvat luoteeseen kauaksi uoman suulta näytepisteiden JN8 ja JN15 kohdalta avautuvalle vesialueelle eli Kolpanlahdelle. Tämän lisäksi hienoimpia raekokoja kerrostuu pääuoman laiteille ja lahdelmiin sekä Puussin ja Soodeen saarien ympäristöön (kuva 108).

Nykytilanteessa Säikkä–muodostumaa raekooltaan  $20\text{--}200\ \mu\text{m}$  kerrostuu Puussin ja Soodeen saarten ja Pihlavan väliselle alueelle. Lisäksi Säikkä–muodostumaa kerrostuu kapealle alueelle pääuoman tulvavalleille Pihlavanlahdelle. Suurella virtaamalla Säikkä–muodostumaa kerrostuu kauemmaksi suiston suulta sekä näytepisteille JN1, JN2 ja JN3.

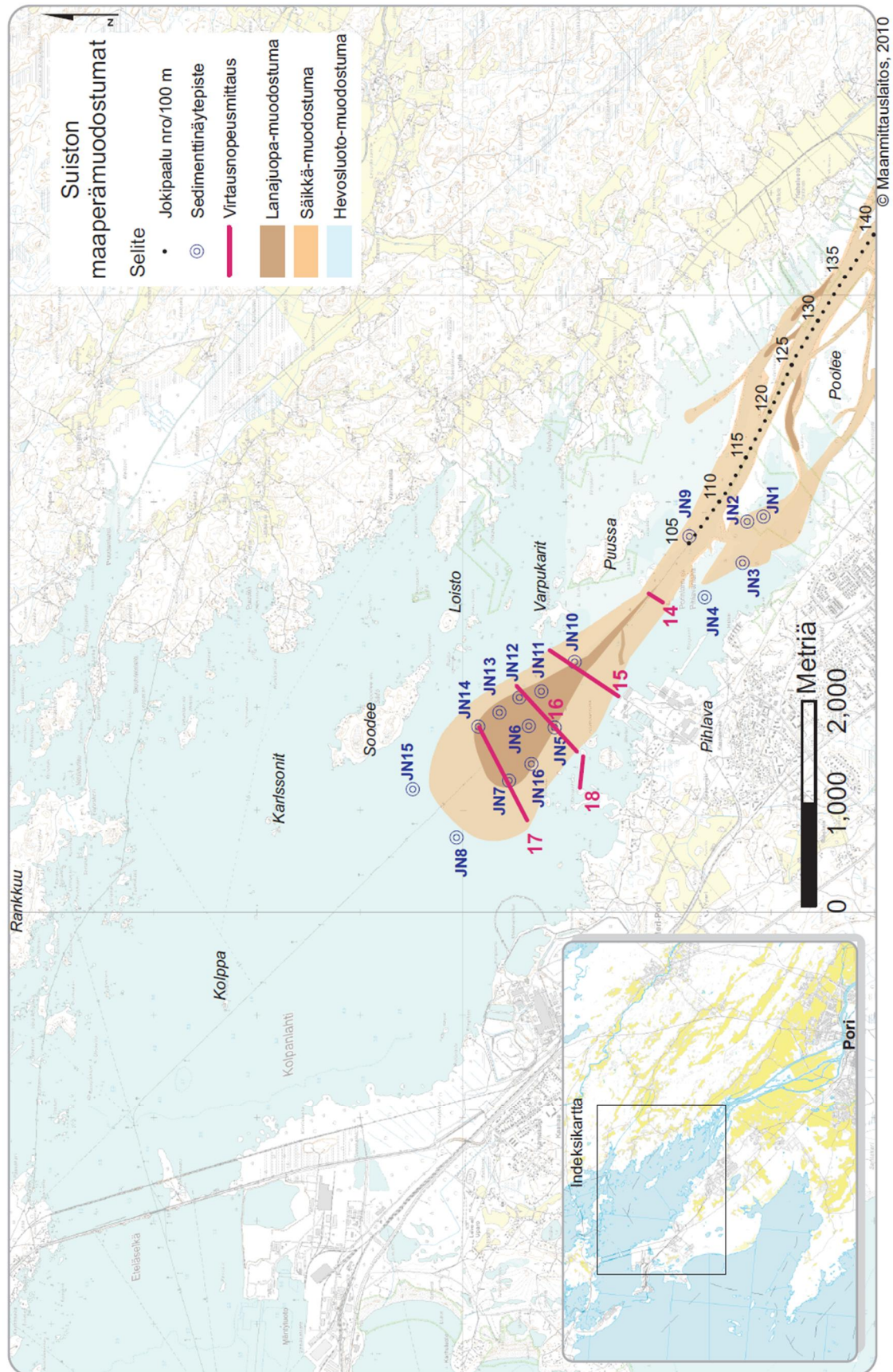
Lanajuopa–muodostumaa raekooltaan  $60\text{--}2000\ \mu\text{m}$  kerrostuu Pihlavanlahdella todennäköisesti kapealle alueelle pääuoman läheisyyteen. Näytepisteillä JN7 ja JN14 noin 10 cm näytteen pinnasta oli hienoa hiekkaa, joten Lanajuopa–muodostuman kerrostuminen on alkanut vasta muutamia vuosia sitten.

Eri muodostumien kerrostuminen Pihlavanlahden eri osissa heijastaa virtaaman ja siten virtausnopeuksien muutosta vuosittain sekä vuoden sisällä. Suurella virtaamalla karkeampaa ainesta kulkeutuu kauemmaksi uomansuulta. Uomansuun tulvavallien edetessä vuosittain edemmäs luoteeseen muodostuu uutta uomaa (Wright 1977), eikä virtaus pääse leviämään Pihlavanlahden pysähtyneeseen veteen vaan jatkaa kapeana virtana kauemmaksi lahdella kuljettaen ainesta suspensiossa yhä kauemmas.

Virtauksessa kulkevien sedimenttien kulkeutumiseen vaikuttaa Pihlavanlahden ja jokiveden tiheyserot. Jos virtaama on pieni, makean jokiveden ja suspensiossa kulkeutuvan aineksen tiheys on pienempi kuin Pihlavanlahden murtoveden, jolloin syntyy ns. hypopykninen virtaus. Tällöin kevyempi jokivesi virtaa raskaamman murtoveden päälle kuljettaen savisen lietteen kauemmas lahdelle (Bhattacharya 2006).

Suurella virtaamalla Pihlavanlahden suolapitoisuus laskee ja suspensiossa kulkevan sedimenttiaineksen määrä kasvaa. Tällaisessa tilanteessa tiheyserot vesien välillä pienenevät ja tilanne muistuttaa joen virtaamista makeaan veteen. Tällaisessa ns. homopyknisessä virtauksessa vedet sekoittuvat enemmän saaden virtauksen hidastumaan ja suspensiossa olevan aineksen laskeutumaan nopeammin (Wright 1977).





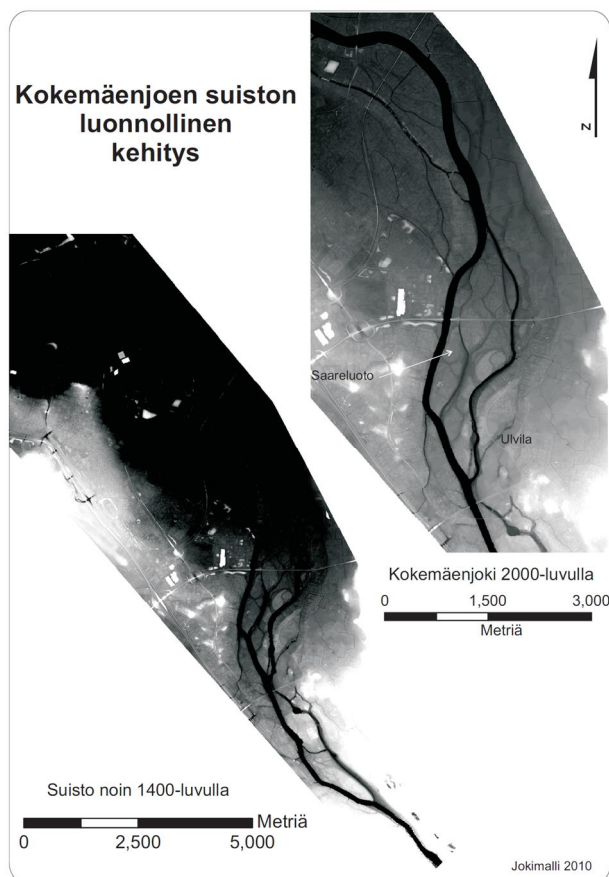
Kuva 108. Sedimenttien tämänhetkinen kerrostuminen Kokemäenjoen suistossa.

#### 4.8.4 Kokemäenjoen suiston tuleva kehitys

Pihlavanlahden kehitys riippuu osaltaan siitä, kuinka luonnollisesti sen annetaan kehittyä. Suiston täysin luonnollinen kehitys muistuttaisi tilannetta, mikä on ollut 1300-luvulta 1600-luvulle Ulvilan ja Porin keskustan välillä. Suisto eteni tuolloin noin 33 metriä vuodessa. Nykytilanteessa kehitys ei voi olla täysin luonnollinen, koska vesistöä säännöstellään. Lisäksi jo tehdyt tulvapatot estävät joen tulvimisen tulvatasangoille, mikä lisää Pihlavanlahdelle kulkeutuvien sedimenttien määrää.

##### Suiston luonnollinen kehitys

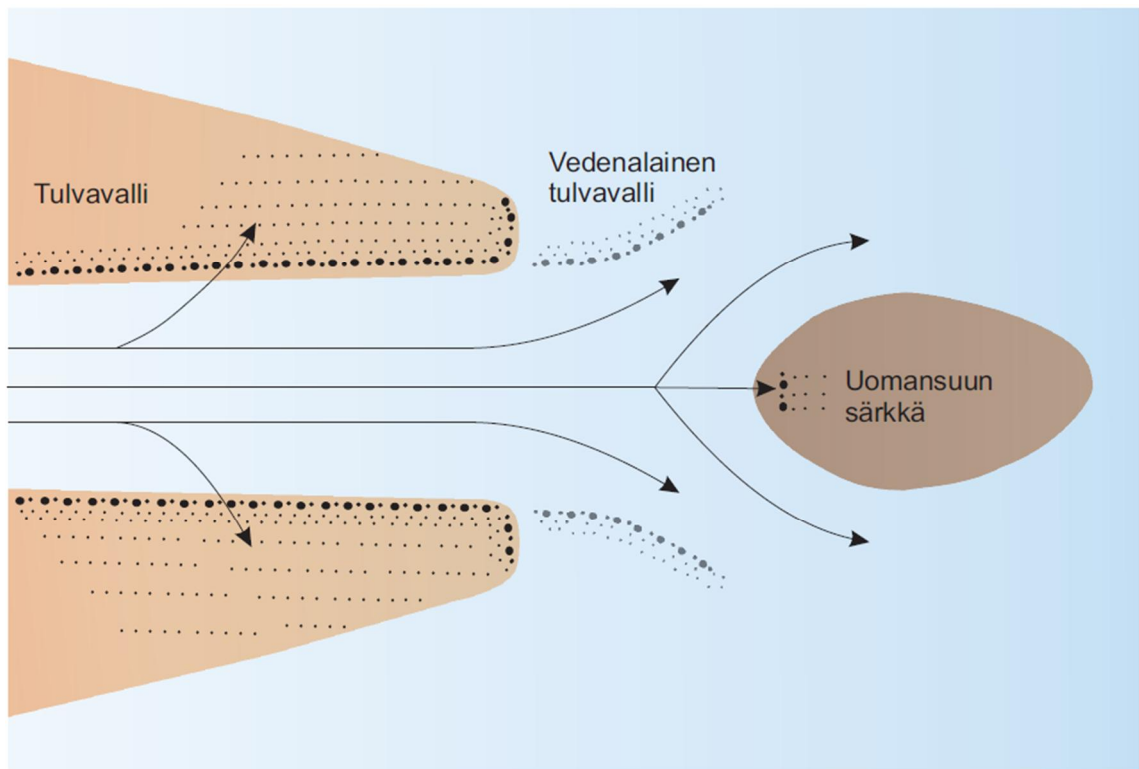
Jos nykyisen suiston annettaisiin kehittyä mahdollisimman luonnollisesti, siitä tulisi moniuomainen. Kokemäenjoen suiston luonnollisella kehityksellä tarkoitetaan, ettei Pihlavanlahdella tehtäisi minkäänlaisia ruoppauksia tai tulvapatvoja. Tilanne olisi samankaltainen kuin 1400-luvulla Saarenluodon alueella Ulvilan keskustan pohjoispuolella suiston haaroittuessa moniksi eri uomiksi, jotka yhtyivät alavirralla (kuva 109).



Kuva 109. Kokemäenjoen suiston kehitys noin 1400- luvulta 2000-luvulle.

### Uoman haarautuminen luonnollisesti kehittyvän suiston edustalla

Suiston edustalla uoman virtaus hidastuu seisovan veden vaikutuksesta (kuva 110). Virtauksen hidastuessa uoman pohjalla kulkeva karkein sedimenttiaines laskeutuu uomansuulle muodostaen uomansuun särkän (Lanajuopa–muodostuma). Hienommat sedimentit kulkeutuvat kauemmaksi uomansuulta kerrostuen syvemmille alueille (Hevosluoto–muodostuma). Uomansuun kärkisärkkä kasvaa ja etenee, kunnes virtaus ja vesisyvyys särkän yläpuolella pienenevät. Kun särkkä kasvaa tarpeeksi isoksi jakamaan virtauksen, virtaus siirtyy särkän reunoille. Lopulta vedenalaiset tulvavallit (Säikkä–muodostuma) etenevät särkän reunoille ja uoma haaroittuu. Uoman jakauduttua virtaama puoliintuu ja siten seuraava uusi haarautuminen tapahtuu lyhyemmän matkan päässä (Edmonds ja Slingerland 2007).



Kuva 110. Uomansuun särkän muodostuminen ja joen haarautuminen.

Tulvavalleihin syntyy sivuhaaroja tulvan aikaan, kun tulvaveden virtaus kuluttaa luonnollista tulvavallia uurtaen uuden uoman (Andrén 1994). Sivuhaaroja syntyy myös, kun mataloituvaan suistoon muodostuu jää- tai hyydepatoja, jolloin vedenpinta nousee padon ylävirran puolella. Näin joki pääsee tulvimaan luonnollisen tulvavallin yli tulvaniitylle.



### Pihlavanlahden vuotuinen sedimentaationopeus

Vuotuisen sedimentaationopeuden laskemisessa käytettiin Sängin (1954) vuosien 1931 ja 1953 Pihlavanlahden syvyyskarttoja ja Kolpanlahden 2010 korkeusmallia (kuva 111). Laskutoimituksiin ei valittu pisteitä suiston reunoilta, koska Kolpanlahden 2010 korkeusmallissa on virheitä näillä alueilla. Laskuissa huomioitiin 0,6 cm vuotuinen maankohoaminen.

Tulokset laskettiin seuraavasti esimerkkipisteessä suistonsuulta

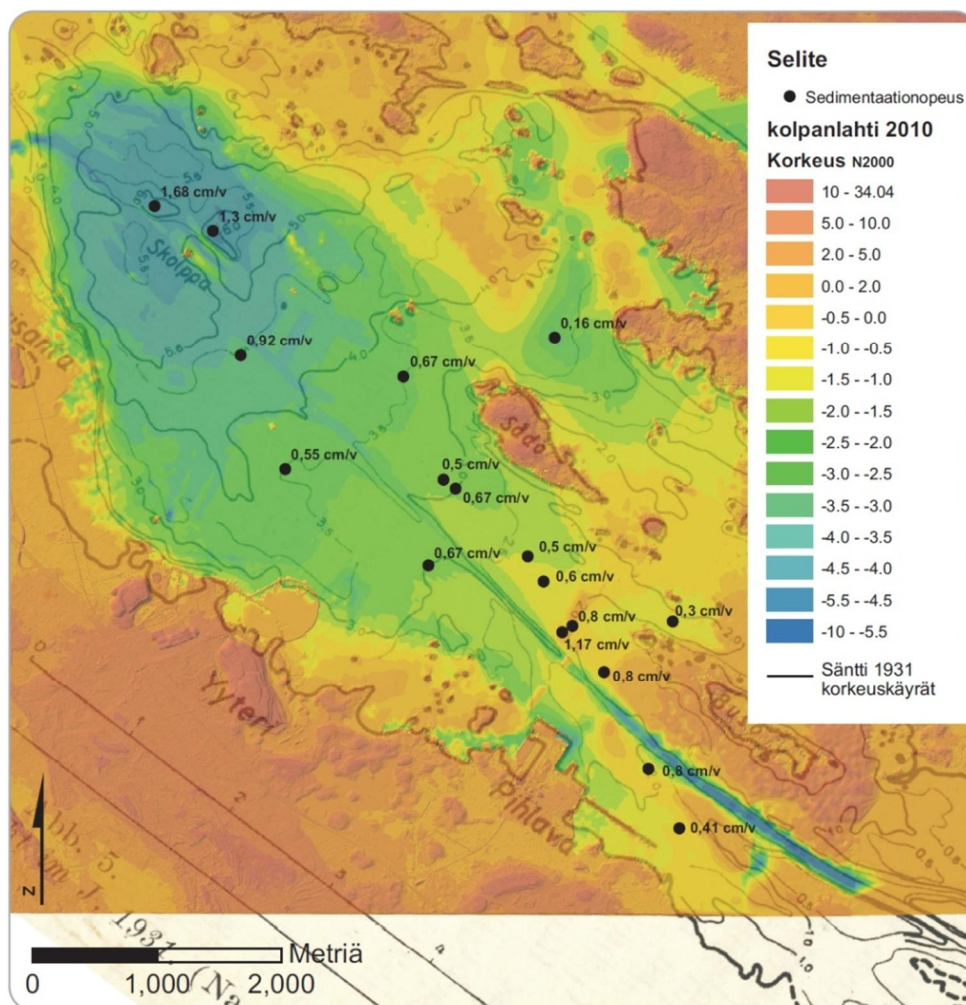
Syvyys vuonna 1931 on -170 cm

Syvyys vuonna 2010 on -90 cm

Maankohoaminen 1931 – 2010 on  $0,6 \text{ cm/v} \times 79 \text{ v} = 47,4 \text{ cm}$

Sedimentaationopeus on  $(170 - 90) - 47,4 \text{ cm} = 32,6 \text{ cm}$

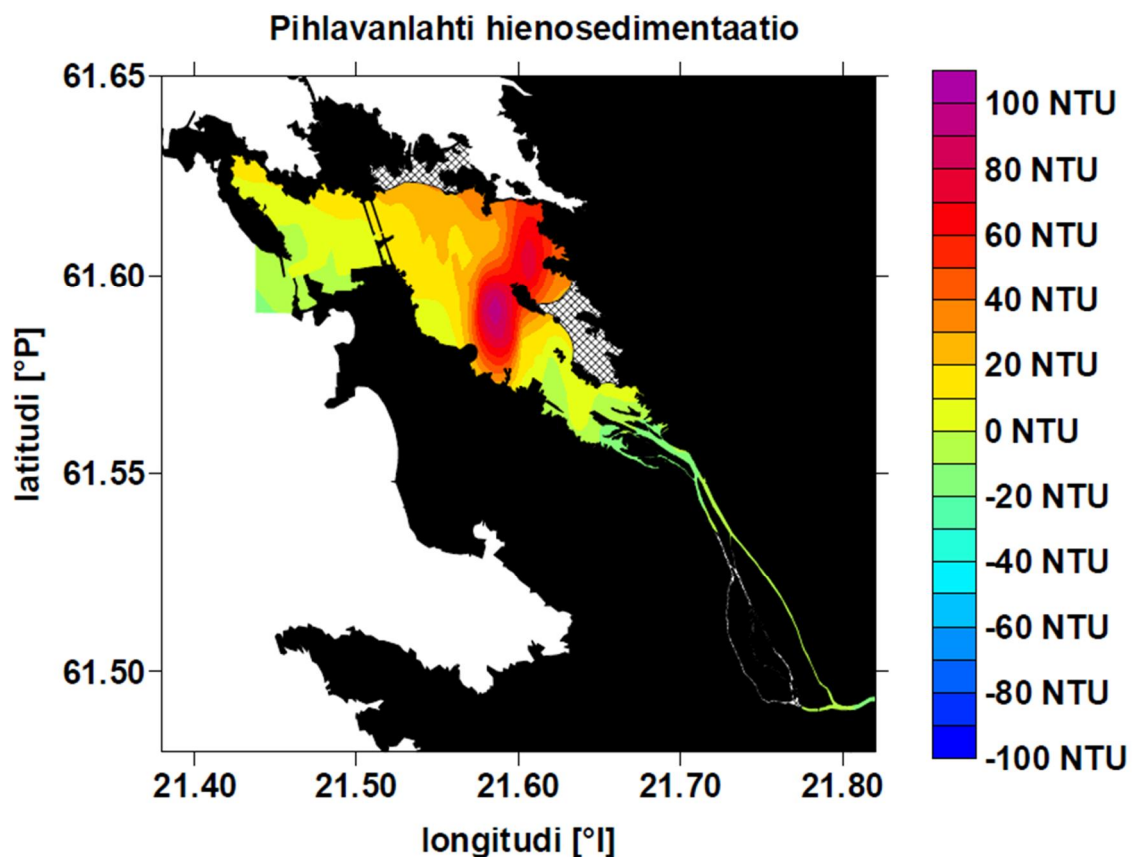
Sedimentaationopeus vuodessa on  $32,6 \text{ cm} / 79 \text{ v} = 0,412 \text{ cm/v}$



Kuva 111. Pihlavanlahden vuotuinen sedimentaationopeus vuosien 1931–2010 välillä.



Suurimmat sedimentaationopeudet sijaitsevat Pihlavanlahden syvimmällä alueella eli Kolpan alueella sekä nykyisen suiston suulla (kuva 111). Soodeen saaren lounaanpuoleisen alueen pienet vuotuiset sedimentaatiomäärät johtuvat todennäköisesti resuspensiosta (kuva 112), jolla tarkoitetaan kerrostuneen sedimenttiaineksen joutumista uudelleen vesimassaan esimerkiksi aallokon vaikutuksesta (Kiirikki *et al.* 2004).



Kuva 112. Pihlavanlahden laskennallinen sedimentaation (negatiiviset arvot) ja resuspension (positiiviset arvot) jakautuminen. Kokemäenjoen virtaama oli 135 m<sup>3</sup>/s. Mittauspäivänä puhalsi myrskyinen länsituuli. Kiirikki *et al.* 2004.

#### Pihlavanlahden ennusteen 2110 vuosittainen sedimentaatiomäärä

Alueen vuosittaisen sedimentaation arvioimiseksi Kolpanlahden mallista laskettiin 10 linjan syvyyden keskiarvo ArcMap 10 -ohjelmalla. Linjat valittiin Puussin ja Soodeen saarten länsipuolelta. Arviossa on huomioitu 100 vuoden maankohoaminen ja oletettujen uomien tilavuus. Laskenta tehtiin yhtenä askeleena, ja maanpinnan keskikorkeudeksi arvioitiin +0,3 metriä.

Pihlavanlahden tämänhetkinen avovesialue on noin 20 km<sup>2</sup> ja keskimääräinen sedimentaationopeus vuosien 1931–2010 välillä on ollut 0,73 cm/v eli noin 150 000 m<sup>3</sup>/v.

Laskelmien mukaan Pihlavanlahden vuoden 2110 ennusteen alueelle kerrostuu sedimenttejä noin 65 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Tämä on noin 45 % koko Pihlavanlahdelle vuosittain kerrostuvasta kuutiomäärästä. Tämä selittyy sillä, että alue on matalaa (ka. -1,5 metriä) sekä virtausolosuhteet ovat tarpeeksi suuria kuljettamaan suuren osan virran mukana suspensiossa olevasta sedimenttikuormasta kauemmaksi uoman suulta.

#### Kokemäenjoen suiston luonnollisen etenemisen ennuste vuodelle 2110

Suiston tulevassa kehityksessä on otettu huomioon nykyinen sedimentaationopeus sekä maankohoaminen. Merenpinnan nousun on oletettu olevan puolet maankohoamisesta.

Pihlavanlahdella rantaviiva on edennyt Soodeen luoteispuolelle 3000–3500 metriä nykyisestä noin 100 vuodessa (kuva 113). Kokemäenjoen noin 40 metrin vuotuinen eteneminen hidastuu tulevaisuudessa lahden leventyessä. Suisto mataloituu ja haaroittuu moniuomaiseksi edetessään Pihlavanlahdelle. Hiekkasärkät liikkuvat mataloituneissa uomissa ja keräävät jää- ja hyydepatoja, minkä vuoksi suistoon muodostuu sivu-uomia ja joki tulvii tulvaniityille. Tulvien aikaan joen mukana suspensiossa kuljettama hienohiekka kerrostuu tulvavallien laiteille ja uoman suunsärkkiin. Suurimpien tulvien aikaan Säikkä-muodostumaa kerrostuu laajoille alueille tulvatasangolle.

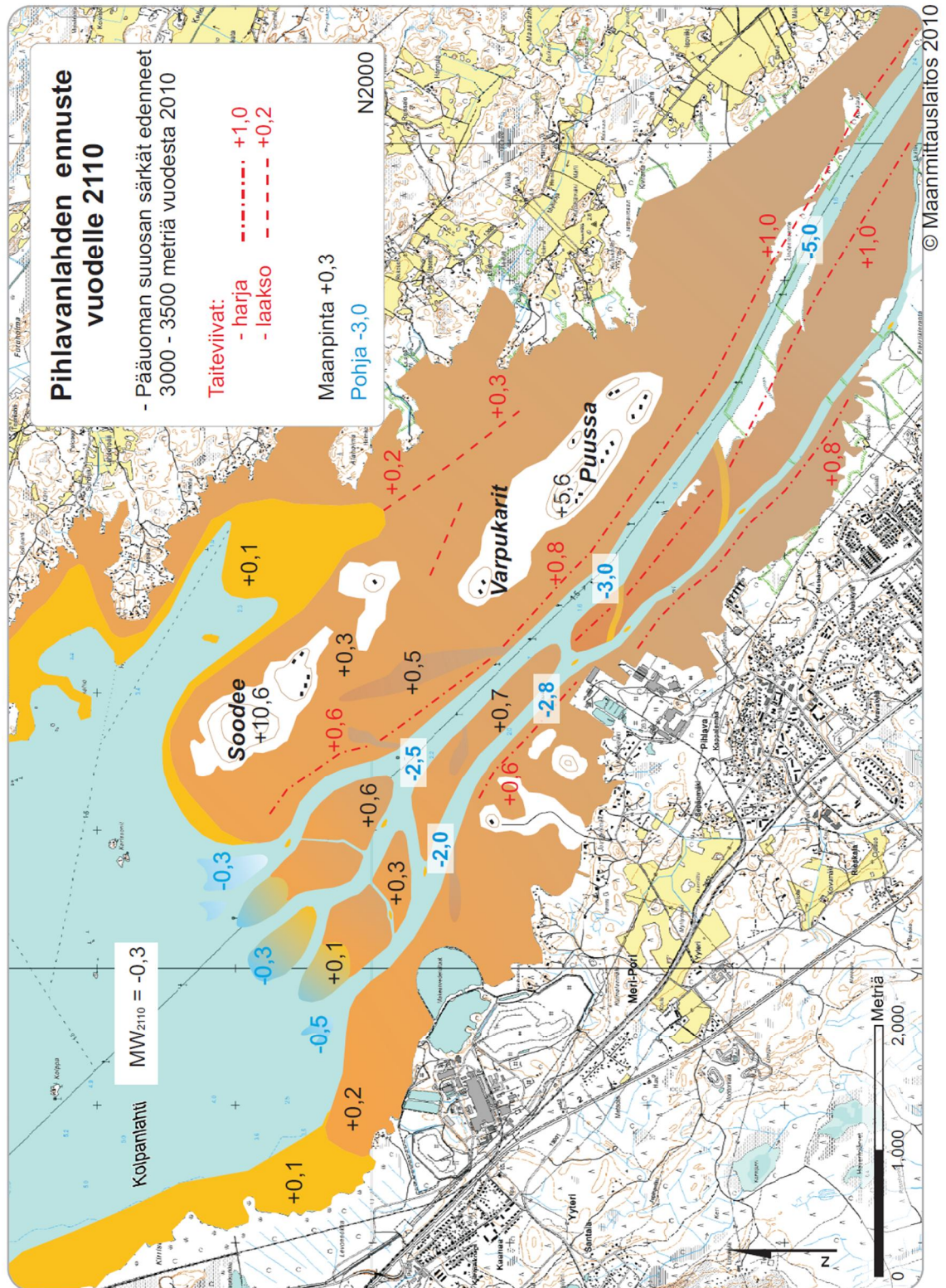
Pääuoma säilyy todennäköisesti syvänä haaroittumiseen asti, koska sitä on ruopattu aikaisemmin ja virtausnopeudet pysyvät riittävinä kuljettamaan sedimentit kauemmaksi lahdeksi. Läntinen sivu-uoman alku pysynee auki lähivuosisikymmenien aikana jää- tai hyydepatojen tukkiessa pääuoman. Virtaama siirtyy näin ollen pääuomasta läntiseen sivu-uomaan ja nopea virtaus kuluttaa sekä kuljettaa sinne kerrostuneita sedimenttejä kauemmaksi lahdeksi. Läntisen sivu-uoman alku todennäköisesti umpeutuu ennusteen lopussa maan kohotessa ja virtauksen hidastuessa sekä Lanajuopa-muodostuman hiljalleen tukkiessa uoman alun. Läntinen sivu-uoma pysyy todennäköisesti auki Pihlavasta alavirralla Pihlavan edustalla aikaisemmin tehtyjen ruoppausten vuoksi.

Joen kuljettamia sedimenttejä kulkeutuu pääosin Puussin ja Soodeen saarten idänpuoleisille alueille vain resuspension ja aallokon vaikutuksesta. Alue pysyneekin

matalana lahtena, ja vesikasvillisuuden maatuminen sekä maankohoaminen vaikuttavat eniten rannansiirtymiseen.

Suiston edetessä Hevosluoto–muodostumaa kerrostuu yhä kauemmaksi uomansuulta ja virtausnopeuden hiljentyessä suiston laiteille. Ennusteen lopussa alueelle kerrostuu vain Lanajuopa–muodostumaa sekä Säikkä–muodostumaa.

Kokemäenjoen suisto eteneminen on nopeaa verrattuna esimerkiksi Ruotsin nopeimmin etenevään Laitauren suistoon, joka etenee noin 4,6 metriä vuodessa ja vuosittainen sedimentaatio on 39 000 m<sup>3</sup> (Andrén, H. 1994).



Kuva 113. Pihlavanlahden luonnollisen etenemisen ennuste vuodelle 2110.



## **5 MAAPERÄN VAIKUTUS PORIN TULVASUOJELUUN**

### **5.1 Porin tulvasuojeluhankkeen toteuttamisvaihtoehdot**

Tarkastelun tarkoituksena on Porin tulvasuojeluhankkeeseen määritettyjen alustavien ratkaisuvaihtoehtojen toteuttamiskelpoisuuden arviointi alueen maaperän kannalta. Tavoitteena on tarkastella maaperän eroosio- ja sedimentaatioherkkyyttä eri ratkaisuvaihtoehdoissa, jotta tämän jälkeen voidaan arvioida niiden vaikutusta.

#### **5.1.1 Toteuttamisvaihtoehtojen kuvaus**

Vaihtoehtojen arvioinnissa on vertailukohtana ns. nollavaihtoehto. Tällä tarkoitetaan sitä, ettei Kokemäenjoella tai Pihlavanlahdella ruopattaisi eikä tulvapadoille tehtäisi muuta kuin pienimuotoisia kunnossapitotöitä.

Tulvasuojelua parantavia vaihtoehtoja on runsaasti. Tässä tutkimuksessa niistä tarkastellaan vain oleellisimmat ja erilaisimmat vaihtoehdot.

##### **5.1.1.1 Kaupunkikeskusta ja juopien alue**

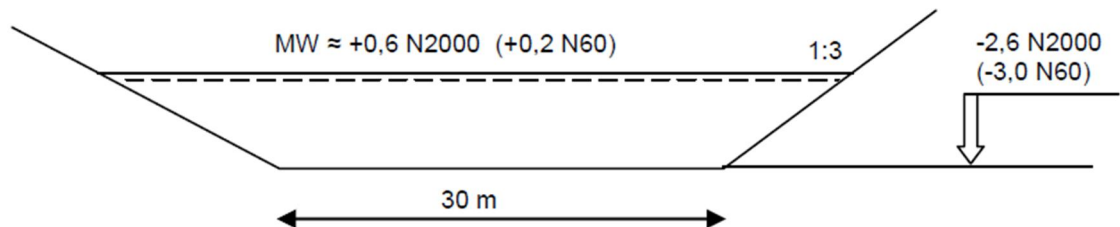
###### Patojen korotus

Nykyiset padot korotetaan ja uusia patoja tehdään ylävirrälle. Oletuksena on, ettei uoman poikkileikkauspinta-ala eikä virtaama muutu. Tilanne pysyy näin ollen samana kuin ns. nollavaihtoehdossa.

###### Lisäuoma

Tässä vaihtoehdossa Porin pohjoispuolelle rakennettaisiin lisäuoma (kuva 116). Lisäuoma haarautuisi nykyajatusten mukaan Kokemäenjoesta Saarenluodon jälkeen, mutta se voitaisiin tehdä myös Kirkkojuovan jatkeeksi. Lisäuoma laskisi suistoon Kahaluodossa. Lisäuoman poikkileikkauspinta-ala olisi noin 125 m<sup>2</sup>. Muut mitat on esitetty kuvassa 114. Lisäuoma vähentäisi tulvavaaraa sekä eroosiota Kokemäenjoessa ja juopien alueella. Lisäuomaan on harkittu sellaista ratkaisua, että sen yläpään

asennettaisiin pohjapato, jonka harja olisi +0,5 m (N2000). Näin Kokemäenjoen vettä alkaisi virrata runsaasti lisäuomaan Kokemäenjoen virtaamalla noin 150 m<sup>3</sup>/s. Tällä ratkaisulla pienellä virtaamalla sedimentaation määrää pääuomassa ei lisättäisi. Lisäuoma itsessään on tarkoitus suojata eroosiolta, eikä sitä näin ollen ole käsitelty eroosion kannalta.



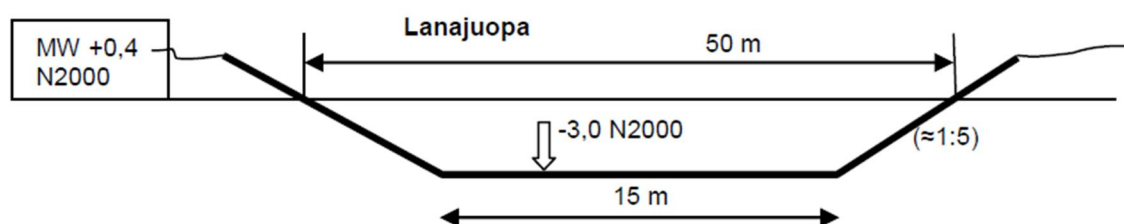
Kuva 114. Lisäuoman poikkileikkaus. Kuva P. Vuola.

#### Yksiuomaisen osan ruoppaus

Tässä vaihtoehdossa Kokemäenjoen yksiuomaisen matala osa ruopattaisiin syvemmäksi jokipaaluvälillä 227 – 285 (kuva 116). Ruoppaus on suunniteltu tehtäväksi Kokemäenjoen yksiuomaisella osalla 60 metrin leveydelle. Ruoppauksen jälkeen pohjan taso olisi jokipaaluvälillä 285 – 246 -5,1 ja jokipaaluvälillä 246 – 227 -5,6 N2000 (Ketonen 2009).

#### Juopien alueen vaihtoehdot

Tässä vaihtoehdossa Liljaluodon silta-aukot Lanajuovan ja Huvilanjuovan alussa puretaan. Ruoppaus tehtäisiin joko molempiin tai toiseen uomaan. Tässä asia käsitellään Lanajuovan ruoppauksena. Lanajuopa ruopattaisiin tässä vaihtoehdossa poikkileikkauspinta-alaltaan noin 100 m<sup>2</sup>:iin kuvan 115 mukaisesti. Arviointi tehdään kahdelle tapaukselle: a) lisäuomaa ei tehdä ja b) lisäuoma tehdään.



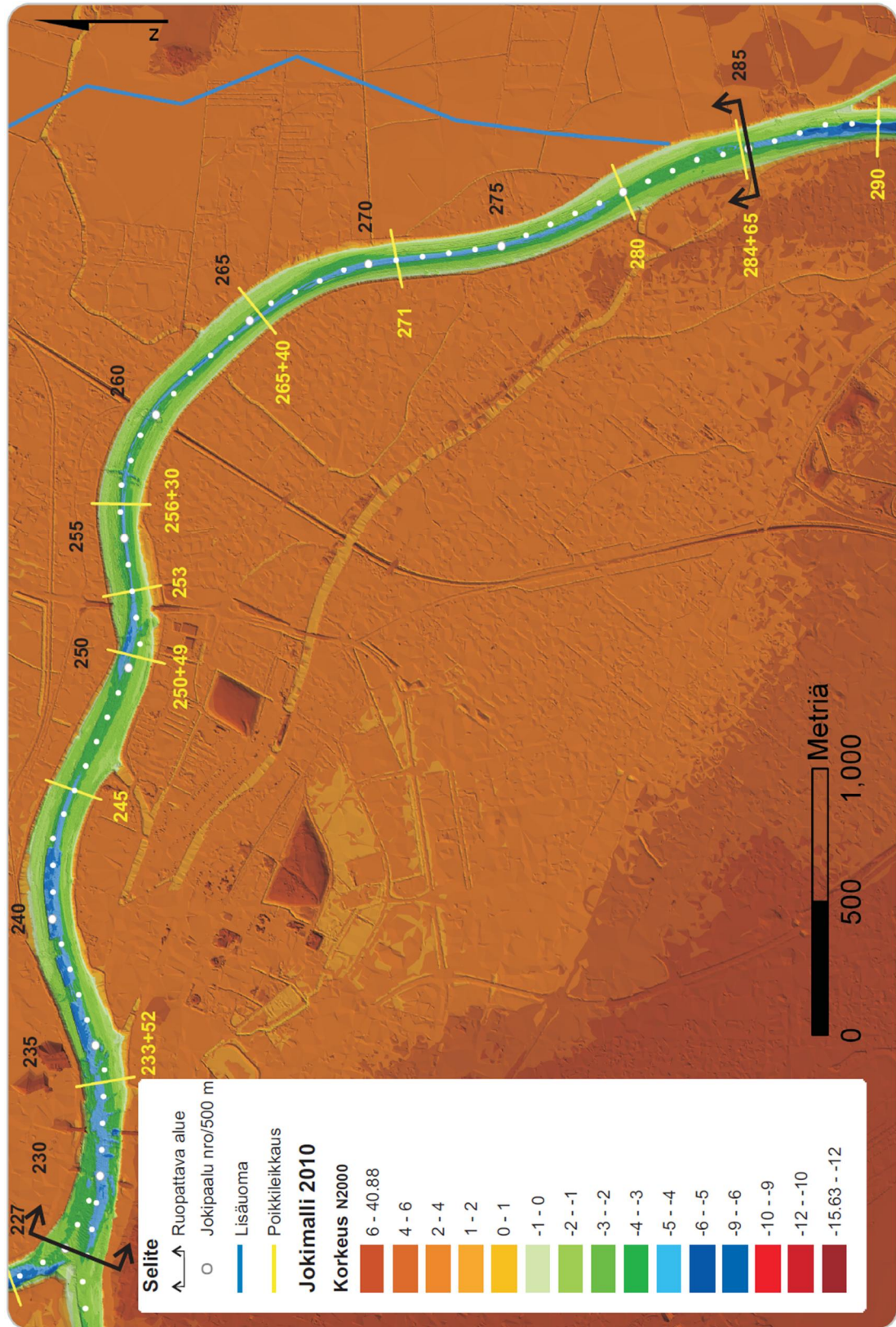
Kuva 115. Lanajuovan poikkileikkaus. Kuva P. Vuola.

### **5.1.1.2 Pihlavanlahti**

Pihlavanlahden nollavaihtoehtoa kuvaavat toisaalta nykytilanne ja toisaalta vuodelle 2110 laadittu ennuste. Nämä on esitetty aikaisemmissa kappaleissa.

Tässä vaihtoehdossa uomia ruopataan tulvasuojelun ja vesistön moninaiskäytön vuoksi. Ruoppausvaihtoehtoina tulevat kyseeseen yksiuomainen ja kolmiuomainen sekä näiden välimuotoina kaksi erilaista kaksiuomaista ratkaisua. Tässä tarkastellaan kuitenkin vain kolmiuomainen ratkaisu, koska siinä on virtausta ja sedimentoitumista hallitseva pääuoma. Mahdollista eroosiota uomissa ei käsitellä tässä yhteydessä, koska oletuksena on, että alue säilytetään mahdollisimman luonnontilassa, koska se on Natura-alueita.

## 5.2 Yksiuomaisen osan tulvasuojeluvaihtoehdot



Kuva 116. Tulvasuojeluhankkeen yksiuomaiselle osalle määritetyt ratkaisuvaihtoehdot ovat Porin pohjoispuolitse rakennettava lisäuoma tai joen matalan osan ruoppaus jokipaaluvälillä 227 – 285.



### 5.2.1 Lisäuoma

Tämänhetkinen eroosion ja sedimentoitumisen kannalta neutraali poikkileikkauspinta-ala Hevosluoto–muodostumassa on noin 550 m<sup>2</sup>. Tämä tarkoittaa sitä, että keskiylivirtaamalla MHQ uomassa tapahtuu vähän eroosiota ja toisaalta keskivirtaamalla MQ tapahtuu vähän sedimentoitumista. Kuitenkin kummankin ääri-ilmiöt vältetään. Edellä kuvattu tilanne ei koske joen kohtia, missä uoman pohja kulkee Toukari–muodostumassa. Näissä kohdin tapahtuu eroosiota todennäköisesti, vaikka uoman poikkileikkauspinta-ala olisi reilusti yli 700 m<sup>2</sup>:n.

Lisäuoman suunniteltu likimääräinen sijainti on esitetty kuvissa 116 ja 117. Lisäuomaratkaisulla ei välttyä eroosiolta joen yksiuomaisen osan yläjuoksulla, missä uoman pohja jokipaalulta 290 ylöspäin todennäköisesti kulkee monin paikoin Toukari–muodostumassa. Tilanne jokipaalulta 290 ylävirtaan paranisi, mikäli Kirkkojuopa avattaisiin ja jatkettaisiin lisäuomaan. Tilanne muuttuu poikkileikkauksesta 284+65 eli Tiimanista alavirralla päin, missä uoman pohja kulkee Hevosluoto–muodostumassa ja poikkileikkauspinta-ala nousisi yli 550 m<sup>2</sup>:iin lisäuoman avulla (taulukko 4). Yksiuomaisella osalla eroosioriski vähentyisi, mutta poikkileikkauksen 250+49 eli Lukkarinsillan jälkeen sedimentaation määrä kasvaisi, mikä lisäisi kunnossapitoruoppausten tarvetta nykyisestä.

Taulukko 4. Nykyiset poikkileikkauspinta-alat ja lisäuoman vaikutus. Vihreällä merkityt poikkileikkauspinta-alat tarkoittavat eroosioriskin merkittävää vähentymistä ja punaisella tarkoitetaan eroosioriskin säilymistä.

Lisäuoma, joen yksiuomainen osa		
Poikkileikkaus	Poikkileikkauspinta-ala	+ lisäuoma 125 m <sup>2</sup>
290	450	450
284+65	470	470
280	450	575
271	430	555
265+40	450	575
256+30	480	605
253	510	635
250+49	510	635
245	530	655
233+52	570	695

## 5.2.2 Yksiuomaisen osan ruoppaus

Joen matala osa on tarkoitus ruopata jokipaaluvälillä 227 – 285. Poikkileikkauksissa 284+65 ja 280+00 poikkileikkauspinta-ala on nykyisin noin 450 m<sup>2</sup>. Poikkileikkauksissa 284+65 ja 280+00 Toukari-muodostuma on noin 2 metrin syvyydessä nykyisestä uoman pohjasta. Jos uomaa ruopattaisiin syvemmäksi uoman keskeltä, virtaama keskittyisi todennäköisesti enemmän uoman keskelle. Virtausnopeudet uoman reunoilla todennäköisesti hidastuisivat, ja reunoilla tapahtuisi sedimentoitumista. Tämä saatettaisi nopeuttaa eroosiota uoman keskellä, ja uoman käyttäytymistä olisi vaikea arvioida, jos uoma alkaisi kuluttaa Toukari-muodostumaa.

Poikkileikkauksessa 271 poikkileikkauspinta-ala on 430 m<sup>2</sup> ja Toukari-muodostuma on noin 3 metrin syvyydellä uoman pohjasta. Mahdollinen ruoppaus poikkileikkauksessa 271 kannattaisi sijoittaa koko uoman leveydelle kuitenkin niin, että syvimältä kohdalta ruopattaisiin maltillisesti.

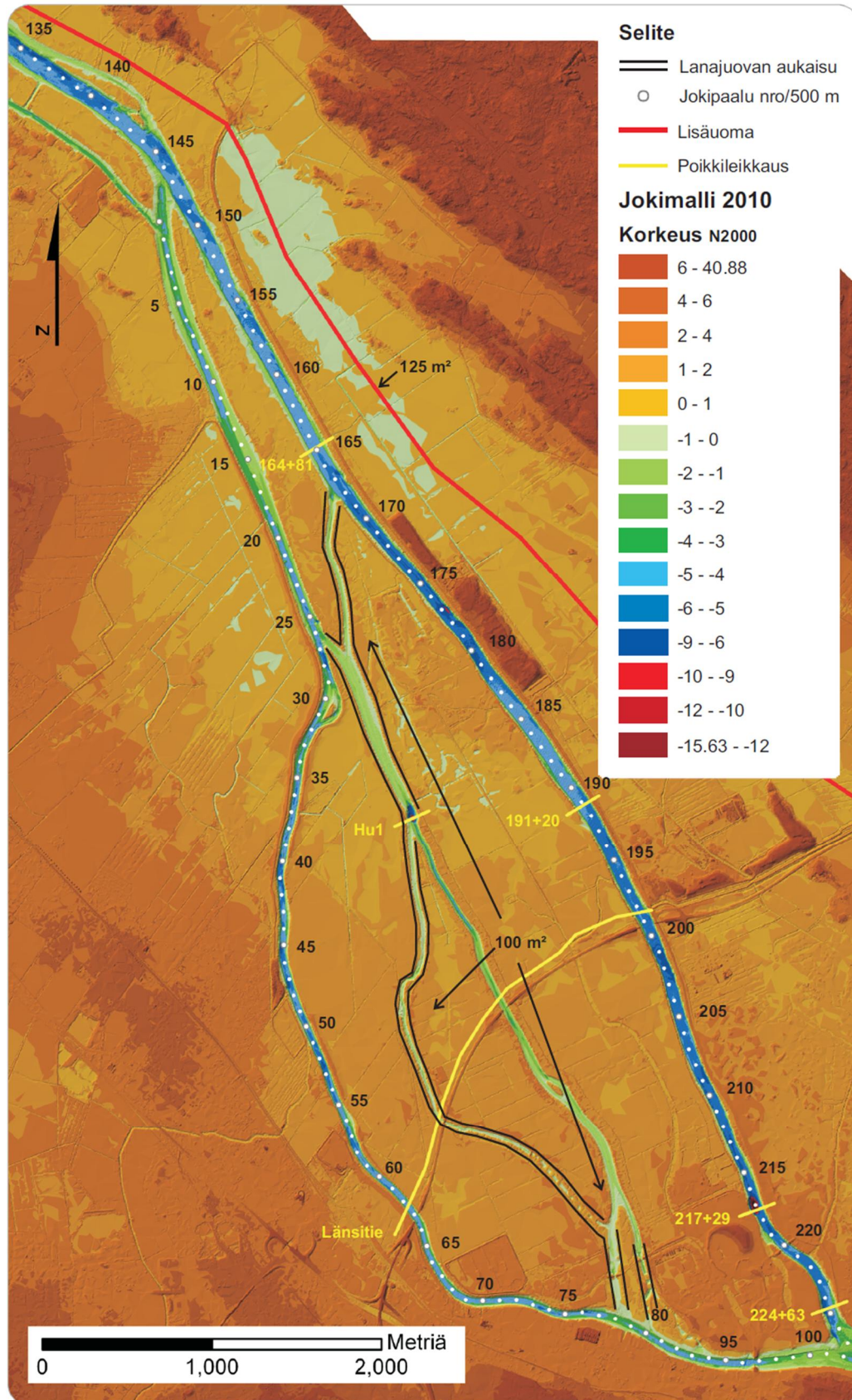
Poikkileikkauksissa 265+40, 256+30 ja 253+00 Toukari-muodostuma on yli 5 metrin syvyydellä uoman pohjasta. Jokipaalun 267 jälkeen mahdollisen ruoppauksen tarvittava koko on pienempi eli alle 80 m<sup>2</sup>. Toukari-muodostuman pinnan taso laskee myös syvemmälle, ja siten ruoppaus on toteutettavissa turvallisemmin.

Poikkileikkauksessa 250+49 Toukari-muodostuma sijaitsee noin 6 metrin syvyydellä uoman pohjasta. Virtaus on kuluttanut uoman oikean reunan jyrkäksi, joten mahdollinen ruoppaus tulisi sijoittaa lähemmäs uoman keskustaa ja vasenta reunaa, jolloin virtausta saataisiin todennäköisesti vähennettyä uoman oikeasta reunasta ja virtausnopeuksien erot tasoittuisivat.

Poikkileikkauksessa 245 uoman poikkileikkauspinta-ala on tällä hetkellä noin 530 m<sup>2</sup>. Uoman poikkileikkauspinta-ala kasvaa jokipaalun 247 jälkeen alavirralla, joten suurta eroosioriskiä ei tällä alueella ole.

Ruoppauksen toteutus koko matkalta on haasteellinen, koska Toukari-muodostuma on yläjuoksulla lähellä uoman pohjaa. Ruoppauksen ulottaminen jokipaalulta 280 ylävirtaan todennäköisesti lisää eroosiota merkittävästi. Jokipaaluvälillä 278–268 uoma on kapea ja Toukari-muodostuma sijaitsee todennäköisesti 2-5 metrin syvyydellä uoman pohjasta. Tällä välillä on syytä tehdä lisää pohjantutkimuksia maaperän kerrosrajojen varmistamiseksi, jos uomaa aiotaan ruopata syvemmäksi.

### 5.3 Juopien alueen tulvasuojeluvaihtoehdot



Kuva 117. Lanajuovan ruoppaus luotojen alueella ja pohjoinen lisäuoma.

### 5.3.1 Lisäuoma

Lisäuoman suunniteltu likimääräinen sijainti on esitetty kuvissa 116 ja 117. Tällä ratkaisulla eroosioriski juopien alueella yleisesti laskee huomattavasti. Poikkeuksena ovat uomien syvänteet. Esimerkiksi Luotsinmäenhaarassa jokipaalulla 177+20 lisäuoman mukaisella ratkaisulla poikkileikkauspinta-ala on 650 m<sup>2</sup>. Eroosiota tapahtuu todennäköisesti lisäuomasta huolimatta ylivirtaamalla HQ, jos oletetaan syvänteen pohjan olevan Toukari-muodostumassa. Uoman pohjan taso on jokipaalulla 177+20 -10 N2000. Luotsinmäenhaarassa paikoissa, joissa uoman pohja on Hevosluoto-muodostumassa, eroosioriski vähenee (taulukko 5).

Lana- ja Huvilajuovassa virtausnopeudet hidastuvat ja sedimentaation määrä kasvaa lisäuoman mukaisella ratkaisulla. On todennäköistä, että kummatkin uomat sedimentoituisivat umpeen ilman määrärajojen toistuvaa kunnossapitoruoppausta.

Raumanjuovassa virtausnopeudet laskisivat ja eroosioriski todennäköisesti vähentyisi merkittävästi lisäuoman mukaisella ratkaisulla, vaikka uoman pohja olisi Toukari-muodostumassa.

Taulukko 5. Nykyiset poikkileikkauspinta-alat ja lisäuoman vaikutus. Vihreällä merkityt poikkileikkauspinta-alat tarkoittavat eroosioriskin vähentymistä ja punaisella tarkoitetaan eroosioriskin säilymistä. Epävarma tilanne ns. Pirunkirnun kohdalla on merkitty keltaisella.

Lisäuoma, juopien alue		
Poikkileikkaus	Poikkileikkauspinta-ala	+ lisäuoma 125 m <sup>2</sup>
224+63	500	625
217+29	660	785
191+20	470	595
164+81	540	665
100	560	685
65	220	345

### 5.3.2 Lanajuovan ruoppaus ja lisäuoma

Lanajuovan aukaisun suunniteltu likimääräinen sijainti on esitetty kuvassa 117. Oletuksena on, että Raumanjuovan keskimääräinen poikkileikkauspinta-ala on noin 200 m<sup>2</sup> ja Luotsinmäenhaaran poikkileikkauspinta-ala on noin 470 m<sup>2</sup>. Lanajuovan



aukaisun jälkeen Lana- ja Huvilajuovan yhteenlaskettu poikkileikkauspinta-ala on noin 200 m<sup>2</sup>.

a) Lanajuovan aukaisu, ei lisäuomaa

Tällä ratkaisulla tilanne olisi samankaltainen Raumanjuovassa ja Luotsinmäenhaarassa kuin lisäuomavaihtoehdossa (taulukko 6). Lana- ja Huvilajuovan silta-aukkojen aukaisulla sekä Lanajuovan ruoppauksella virtaama lisääntyisi todennäköisesti riittävästi Lanajuovassa, eikä Lanajuopaan sedimentoituisi nykyisen tilanteen mukaisesti sedimenttejä. Lanajuovan kohdalla Toukari-muodostuma sijaitsee todennäköisesti syvällä. Maaperä on syytä kuitenkin tutkia tarkemmin, mikäli päädyttäisiin tähän ratkaisuun. Lana- ja Huvilajuovan yhtymäkohdan syvänteen pohja on todennäköisesti Toukari-muodostumassa. Yhtymäkohta todennäköisesti syvenee ja laajenee virtaaman kasvaessa uomissa.

b) Lanajuovan aukaisu ja lisäuoma

Tällä erilliskäytöksellä virtaamat laskevat Raumanjuovassa ja Luotsinmäenhaarassa nykytilanteeseen verrattuna huomattavasti (taulukko 6). Jos virtaamien oletetaan jakautuvan tasan Lana- ja Huvilajuopaan, virtausnopeudet ovat kokonaisvirtaamalla 460 m<sup>3</sup>/s kummassakin uomassa noin 0,5 m/s. Tilanne on suunnilleen samankaltainen kaikissa muissakin uomissa ja uomat pysyvät todennäköisesti auki tai ainakin ruoppaustarve on kohtuullisen pieni. Erilliskäyttö b) parantaa oleellisesti syvänteen tilannetta Luotsinmäenhaarassa, niin etteivät syvänteet todennäköisesti suurene. Lana- ja Huvilajuovan yhtymäkohdan syvänteen tilanne pysyy suunnilleen samana kuin erilliskäyttö a):ssa.

Taulukko 6. Virtaamat eri tapauksissa juopien alueella. Ruoppausvaihtoehto a) Lanajuopa on ruopattu mutta ei lisäuomaa. Vaihtoehdossa b) Lanajuopa on ruopattu ja lisäuoma tehty.

Virtaamat eri vaihtoehdoissa				
	Raumanjuopa	Lana- ja Huvilajuopa	Luotsinmäenhaara	Lisäuoma
Nykytilanne	28%	6%	66%	
Pelkkä lisäuoma	24%	5%	56%	15%
Ruoppausvaihtoehto a)	23%	23%	54%	
Ruoppausvaihtoehto b)	20%	20%	47%	13%

## 5.4 Pihlavanlahden ruoppausvaihtoehto

Pihlavanlahden kehitys ruoppausvaihtoehdossa määräytyy paljon siitä, kuinka usein ja kuinka paljon uomia ruopataan. Mikäli uomia ruopataan usein syviksi, virtaus pysyy uomassa ja pääosa Kokemäenjoen kuljettamista sedimenteistä kerrostuu kauemmaksi uoman suulta. Näin uoman tulvavallit etenevät nopeasti kohti luodetta ja uomien laiteille jäisi suuret matalat vesialueet. Näin tapahtuisi myös, jos ruopatut massat läjitetään uomien reunoille tulvapadoiksi. Tämä estäisi sedimenttien kerrostumisen uomien laiteille, ja Kokemäenjoen suiston etenemisvauhti nopeutuisi. Maltillisella ruoppauksella Kokemäenjoen kuljettamat sedimentit levittäytyisivät laajemmalle keilamaiselle alueelle suistoon ja etenemisvauhti hidastuisi.

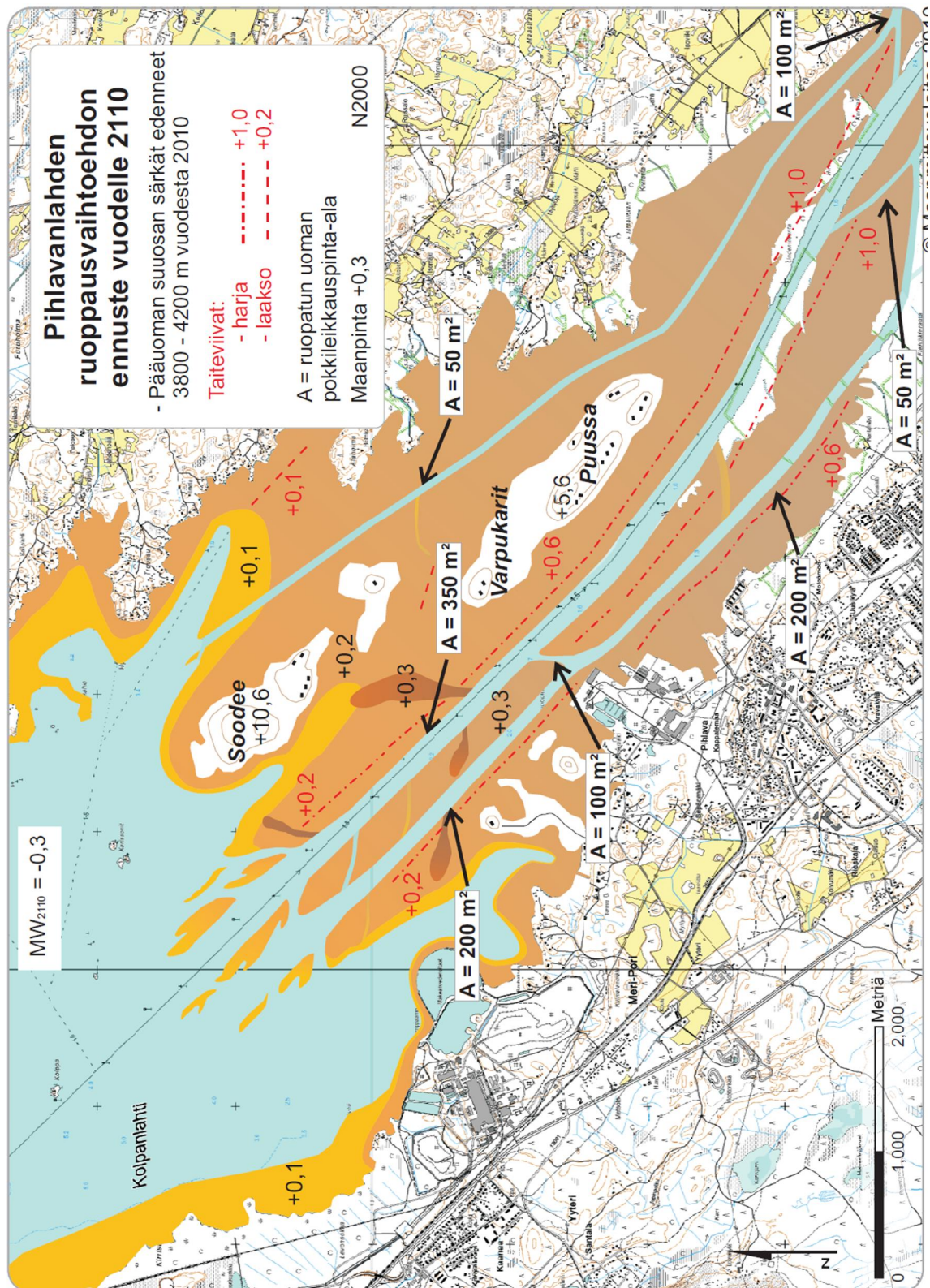
Ruopatut uomat on ajateltu olevan nykyisenkaltaisia suoria uomia. Tämä on tulvasuojelun kannalta turvallisempi vaihtoehto, koska hyyde- ja jääpadot eivät muodostu niin helposti suoriin uomiin. Ruoppausmassojen läjitys on ajateltu tehtävän kuivalle maalle tai ainakin sivuun uomista.

Ruoppauksia eri uomissa joudutaan tekemään noin 20–30 vuoden välein uomansuun särkeä kasvaessa ja uoman madaltuessa. Todennäköisesti ruoppauksia joudutaan tekemään myös yhdysuomien aukipitämiseksi, koska virtaus hidastuu yhdysuomissa ja niihin kerrostuu Lanajuopa-muodostumaa. Yhdysuomilla mahdollistetaan veden virtaus toiseen uomaan hyyde- ja jääpatotilanteissa.

Kokemäenjoen suisto etenee 100 vuodessa noin 3800–4200 metriä. Kolmen eri uoman ja yhdysuomien poikkileikkauspinta-alat on esitetty kuvassa 118. Uoman suulla sivuhaaroja syntyy samassa mitassa kuin tälläkin hetkellä. Sivuhaarat jakavat virtausta pois uomasta, mikä hidastaa suiston etenemisnopeutta. Lopulta vanhat sivuhaarat sedimentoituvat umpeen suiston edetessä ja maan kohotessa.

Tulvien aikaan Säikkä-muodostuman hiekkoja kerrostuu laajoille alueille uomien laiteille, jos tulvapatvoja ei rakenneta uomien reunoille. Tämä vähentää ruoppaustarvetta.

Ennusteen loppupuolella suiston eteneminen hidastuu, kun kerrostumistilaa tulee lisää Pihlavanlahden leventyessä.



Kuva 118. Pihlavanlahden ruoppausvaihtoehdon ennuste vuodelle 2110.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa Kokemäenjoen deltasta tulkittiin viisi litostratigrafista muodostumaa. Alimpana on Toukari-muodostumaksi nimetty viimeisen Veiksel-jäätikön perääntymisvaiheessa kerrostunut glasilakustrinen muodostuma. Tämän hyvin lajittuneen soran, hiekan, siltin ja saven kerrallisten ylöspäin hienonevien kerrosten yläpuolella on Ulasoori-muodostumaksi nimetty, syvään veteen kerrostunut, massiivisten savien muodostuma. Postglasiaalisen Ulasoori-muodostuman päälle on kerrostunut Hevosluoto-muodostumaksi nimetty muodostuma, joka koostuu Kokemäenjoen kerrostamista saven ja siltin ylöspäin karkenevista kerrallisista laminaatioista. Hevosluoto-muodostuman päälle, uomien pohjalle, on paikoin kerrostunut Lanajuopa-muodostumaksi nimetty muodostuma, jonka raekoko vaihtelee keskihiekasta karkeaan hiekkaan. Päällimmäisenä on Säikkä-muodostumaksi nimetty muodostuma, joka on muodostunut Kokemäenjoen tulviessa uomien laiteille, kerrostaen hienoa hiekkaa ja silttiä.

Nykyisin Kokemäenjoki virtaa näiden kaikkien muodostumien läpi erodoiden niitä ja uudelleen kerrostaen kuljettamiaan sedimenttejä Pihlavanlahdelle. Tutkimuksessa havaittiin, että Hevosluoto-muodostuman laihan saven kerrokset ja Ulasoori-muodostuman lihava savi vastustavat virtauksen eroosiota muita muodostumia paremmin. Lisäksi havaittiin, että eroosio kasvaa huomattavasti uomien niissä kohdissa, joissa Hevosluoto-muodostuma sekä Ulasoori-muodostuma ovat erodoituneet pois ja Toukari-muodostuma on paljastunut virtaukselle. Tällaisia kohtia on Koivistonluodosta ylävirtaan sekä syvänteet juopien alueella. Eroosio on hallitsevaa myös Hevosluoto-muodostumassa Kokemäenjoessa Tiimannista Lukkarinsillalle, missä uoman poikkileikkauspinta-ala on paikoin alle 450 m<sup>2</sup>. Näissä kohdissa virtausnopeudet ylittävät kriittiset eroosiorajat ja virtaus erodoi uoman pohjaa. Virtausnopeudet ylittävät kriittiset eroosiorajat myös osalla Luotsinmäenhaaraa sekä Raumanjuopaa virtaaman ollessa noin 500 m<sup>3</sup>/s.

Kirjurinluodon kärjen ja Seikun alue sekä Huvilajuopa, Lanajuopa ja Hevosluodonjuopa ovat joella paikkoja, joissa sedimentaatio on hallitsevaa. Suurin osa Kokemäenjoen



kuljettamista sedimenteistä kerrostuu Pihlavanlahdelle. Vuotuinen Pihlavanlahdelle kerrostuvan sedimenttiaineksen määrä on suuruusluokkaa 150 000 m<sup>3</sup>. Kokemäenjoen deltan pääuoman tulvavallien särkät etenevät noin 30–40 metriä vuodessa riippuen siitä, kuinka luonnollisesti Kokemäenjoen suiston annetaan kehittyä. Rantaviiva etenee joka tapauksessa seuraavan sadan vuoden aikana Soodeen – Kaanaan linjalle riippumatta siitä, ruopataanko suistossa vai ei.

Kokemäenjoen uomaston eroosio- ja sedimentaatiokartta esitetään kuvassa 119, ja luonnollisen suiston rannan oletettu sijainti vuonna 2110 esitetään kuvassa 120.

### Maaperän vaikutus tulvasuojeluvaihtoihin

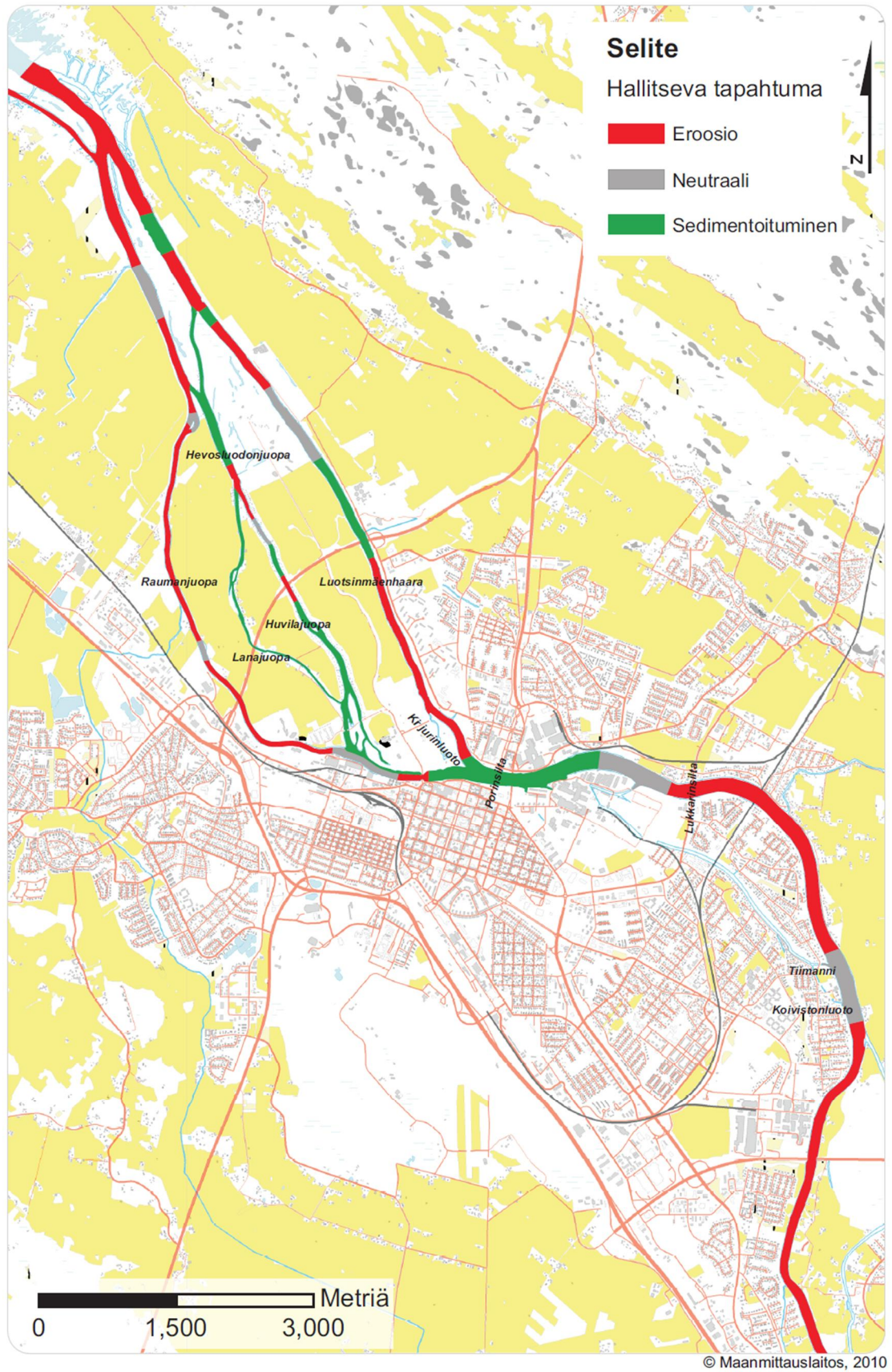
Eroosio ja sedimentaatio säilyvät nykyisen kaltaisena, jos tulvasuojelua kehitetään patoja korottamalla.

Lisäumaratkaisulla Kokemäenjoen yksiuomaisen osan eroosioriski Koivistonluodolta alavirtaan vähentyisi poikkileikkauspinta-alan kasvaessa yli 550 m<sup>2</sup>:iin, mutta sedimentoituminen lisääntyisi Lukkarinsillan ja Kirjurinluodon välisellä alueella. Kirkkojuovan ruoppauksella ja käännöllä lisäuomaan pääuoman virtausnopeudet pienenisivät ja eroosioriski todennäköisesti vähentyisi myös Koivistonluodolta ylävirtaan. Lisäumaratkaisulla eroosioriski vähentyisi juopien alueella lukuun ottamatta syvänteitä, joissa uoman pohja on kulunut Toukari–muodostumaan. Juopien alueella sedimentoituminen lisääntyisi lisäumaratkaisulla Lanajuovassa, Huvilajuovassa sekä Hevosluodonjuovassa.

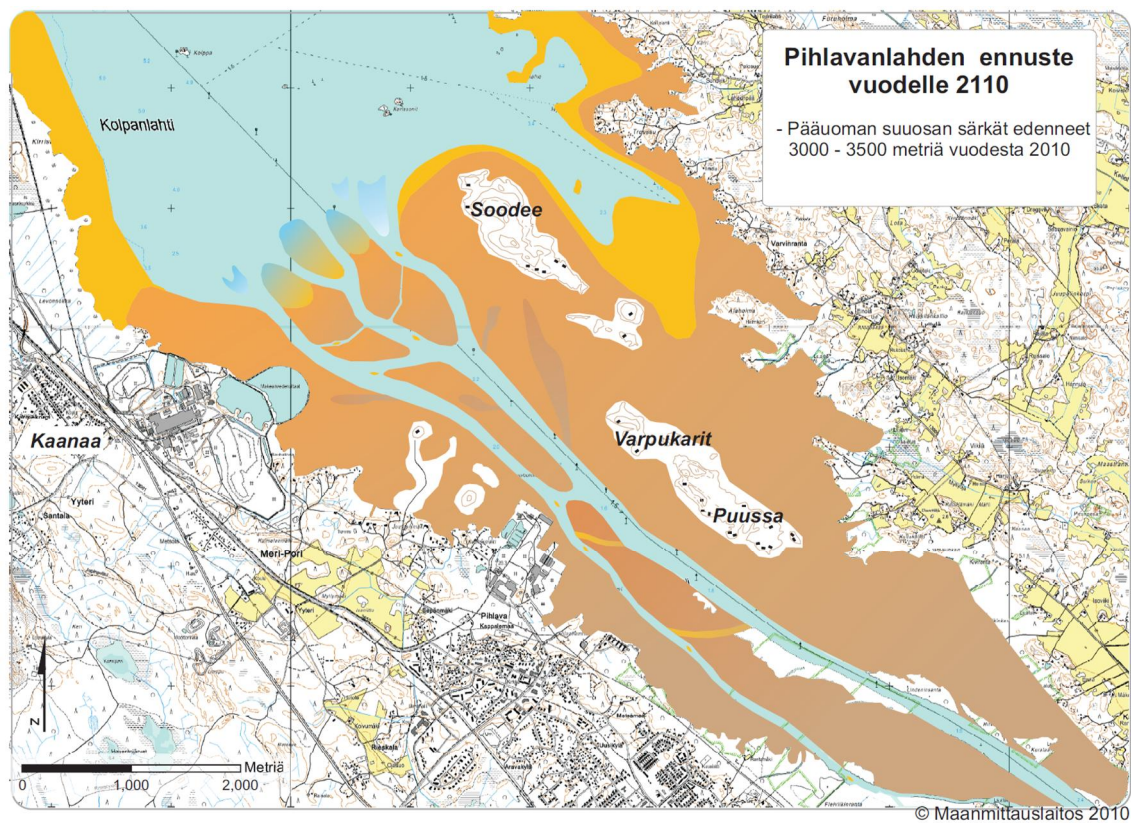
Yksiuomaisen osan ruoppauksella Porinsillalta Koivistonluotoon eroosioriski vähentyisi niillä alueilla, missä Toukari–muodostuma on syvällä. Kalaholmasta ylävirtaan ruoppaus nykyisen suunnitelman mukaisesti lisäisi todennäköisesti eroosiota uoman keskellä. Tällä alueella Toukari–muodostuma on lähellä uoman pohjaa ja mikäli ruoppausvaihtoehtoa halutaan harkita, alueella on syytä tehdä lisää pohjatutkimuksia muodostumien tarkempien tasojen selvittämiseksi.

Huvila- ja Lanajuovan aukaisulla ja silta-aukkoja suurentamalla sedimentoituminen vähentyisi näiden juopien alueella. Jos lisäksi tehtäisiin lisäuoma, eroosioriski vähentyisi kaikkien juopien alueella merkittävästi. Poikkeuksena on kuitenkin Lana- ja Huvilajuovan yhtymäkohdan syväne, jossa eroosioriski todennäköisesti kasvaisi. Pohjatutkimuksia on syytä tehdä lisää juopien alueella eri muodostumien tarkempien tasojen selvittämiseksi.

Kokemäenjoen eroosio kasvaa suurten virtaamien aikaan merkittävästi. Eroosio vähentyisi, jos virtaamahuiput pystyttäisiin tasoittamaan nykyistä pidemmälle ajalle vesistönsäännöstelyllä.



Kuva 119. Kokemäenjoen uomaston eroosio- sedimentaatiokartta.



Kuva 120. Kokemäenjoen suiston luonnollisen kehityksen ennuste vuodelle 2110.



## **7 KIITOKSET**

Suuret kiitokset Porin tulvasuojeluhankkeelle, joka rahoitti tämän mielenkiintoisen ja opettavaisen pro gradu -tutkielman. Suuret kiitokset Porin teknisen palvelukeskuksen työntekijöille, jotka olivat mukana tutkimuksen tekemisessä. Haluan kiittää erityisesti Porin tulvasuojeluhankkeen projektipäällikköä TkL Pekka Vuolaa saamistani hyvistä neuvoista ja ohjauksesta.

Työn ohjauksesta ja neuvoista haluan lausua suuret kiitokset professori Matti Räsäselle. Lisäksi haluan kiittää laboratoriomestari Hannu Wenhon kenttätöiden avustamisesta. Kiitän myös Janne Huittia ArcMap -ohjelmiston neuvoista. Kiitos kuuluu myös koko geologian osaston henkilökunnalle mukavasta työilmapiiristä.

Haluan kiittää läheisiäni tuesta. Noralle haluan lausua erityiskiitokset tuesta ja kannustuksesta sekä ymmärryksestä yhteisen vapaa-ajan vähentymiseen.

## 8 LÄHDELUETTELO

Andrén, H. 1994: Development of the Laitaure delta, Swedish Lapland: A study of growth, distributary forms, and processes. Institute of Earth Sciences, Physical Geography, Uppsala University. Uppsala, Sweden. 188 s.

Bhattacharya, J, P. 2006: Deltas. Teoksessa: Posamentier, H.W ja Walker, R, G., (toim): Facies models revisited. Society for Sedimentary Geology. SEPM Special Publication 84: 237-292.

Bridge, J.S. 2003: Rivers and floodplains: Forms, Processes, and Sedimentary Record. Blackwell Science. 491 s.

Collinson, J., Mountney, N ja Thompson, D. 2006: Sedimentary Structures. 3 Rev Ed. Terra Publishing. United Kingdom. 304 s.

Cripps, C., Peltonen, J., Räsänen, M., Huhta, P ja Niinikoski, J. 2011: Kokemäenjoen suiston kehitys, maaperämuodostumat ja niiden kemialliset piirteet. GTK. 58 s.

Coulter Corporation. 1994: Coulter® LS Series Product Manual. Miami, Florida, Usa.

Department of the army. 2002: Engineering and Design -Ice engineering. Manual No. 1110-2-1612. U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC.

Dionne, J-C. 1969: Tidal flat erosion by ice at La Pocatiere, ST.Lawrence estuary. Journal of Sedimentary Petrology 39 (3): 1174–1181.

Edmonds, D. A. ja Slingerland, R. L. 2007: Mechanics of river mouth bar formation: Implications for the morphodynamics of delta distributary networks. Journal of geophysical research 112.

Eronen, M., Glu"ckert, G., Hatakka, L., van de Plassche, O., van der Plicht, J. ja Rantala, P. 2001: Rates of Holocene isostatic uplift and relative sea-level lowering of the Baltic in SW Finland based on studies of isolation contacts. Boreas 30: 7–30.

Ekman, M ja Mäkinen, J. 1996: Recent postglacial rebound, gravity change and mantle flow in Fennoscandia. Geophysical Journal International. 126: 229-234.

Ettema, R ja Zabilansky, L. 2004: Ice Influences on Channel Stability: Insights from Missouri's Fort Peck Reach. *Journal of hydraulic engineering* 130 (4): 279-292.

Ettema, R. 2008: Ice effects on sediment transport in river. Teoksessa: García, H., (toim.): *Sedimentation Engineering: Processes, Management, Modeling, and Practice*. American Society of Civil Engineers: 613-645.

Flood, R.D. 1981: Distribution, morphology, and origin of sedimentary furrows in cohesive sediments, Southampton Water. *Sedimentology* 28: 511-529.

Flood, R.D. 1983: Classification of sedimentary furrows and a model for furrow initiation and evolution. *Geological Society of America Bulletin* 94: 630-639.

Fola, M.E. 2007: Downstream Hydraulic Geometry of Clay-Dominated Cohesive Bed stream Channels. Thesis of Postdoctoral Studies. University of Ottawa. Department of Civil Engineering. 120 s., 43 liitesivua.

GeoVista. 2003: Platform loggaaja. Ohjelmiston suomennetut käyttöohjeet.

Hutri, K-L ja Kotilainen, A. 2007: An acoustic view into Holocene palaeoseismicity offshore southwestern Finland, Baltic Sea. *Marine Geology*, 238, 45–59.

Härkönen, E. 2007: Virttaankankaan stratigrafian tulkintaa luonnollisen gammasäteilyn kairanreikämittauksia hyödyntäen. Pro gradu-tutkielma, Turun yliopisto, Geologian laitos. 138 s., 13 liitesivua.

Ketonen, R. 2009: Porin tulvasuojeluhankkeen vakavuustarkastelu. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 195 s., liite-CD.

Kiirikki, M., Lindfors, A ja Huttunen, O. 2004: Pihlavanlahden ja Kokemäenjoen vedenlaatu- ja hienosedimentaatiokartoitus marras-joulukuussa 2003. Luode Consulting Oy 1636922 – 4. Helsinki. 17 s.

Kinnunen, J.-P. ja Lindfors, I., 2000: Karjarannan pohjavesialueen riskikartoituksen loppuraportti. Osa 1. Porin Vesi. 57 s.

Kinnunen, J-P. 2002: Porin kaupunkialueen pohjavesiesiintymän mallinnus. Vesitalous.

Kirkkala, T. 1996: Seikun matalikon ruoppaus ja Halssin matalikon liettymien poisto: Vaikutusten seuranta. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja. Nro 6/96. 19 s., 6 liitesivua.

Korhonen, K-H., Gardemaister, R. ja Tammirinne, M. 1974: Geotekninen maaluokitus Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Geotekniikan laboratorio, Tiedonanto 14, toukokuu 1974. Otaniemi. 20 s.

Korhonen, R. (toim.) 2010: Geotietoa Satakunnasta GeoPori-, GeoSatakunta- ja InnoGeo-projektien loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 183. 194 s.

Korsman, K., Huhta, P., Korhonen, R., Vuorela I. ja Gustavsson, N. 2001: GeoPori-hanke, Esiselvitysvaihe GeoSatakunta – hanketta varten. Porin kaupungin tutkimuksia 123/2001. 40 s. + 6 liiteartikkelia.

Koskinen, M. 2006: Porin Tulvat – Hallituja riskejä? Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku 2006. 82 s.

Lehtinen, M., Nurmi, P. ja Rämö, T (toim.) 1998: Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry., 375 s.

Lehto, K. 2011: Kokemäenjoen suunniteltujen ruoppausten sedimenttitutkimus: Raumanjuopa ja Luotsinmäenhaara. Maaperägeologian osasto. Maantieteen ja geologian laitos. Turun Yliopisto. 18 s.

Leopold, L.B. ja Wolman, M.G. 1957: River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight, U.S. Geological Survey Professional Paper 282-B, 51 s.

Lundqvist, J., Ehlers, J. ja Gibbard, P.L. 2007: Glaciations. Late Glacial Events in Northwest Europe Encyclopedia of Quaternary Science. 1116-1122.

Manley, P. L. Singer, J. K. 2008: Assessment of sedimentation processes determined from side-scan sonar surveys in the Buffalo River, New York, USA. Environment Geology, 55: 1587–1599.

Mäenpää, M. 1999: Kultalevä- ja Piileväpreparaattien valmistaminen valomikroskoopille. Opintomoniste. Turun yliopisto.



Mölder, K. ja Tynni, R. 1967: Über Finnlands rezente und subfossile diatomeen I. Comptes Rendus de la Société géologique de Finlande N:o XXXIX. Geologische Forschungsantalt in Finnland. Otaniemi: 199 – 217.

Mölder, K. ja Tynni, R. 1968: Über Finnlands rezente und subfossile diatomeen II. Bulletin of the Geological Society of Finland 40. Geologische Forschungsantalt in Finnland. Otaniemi: 151 – 170.

Mölder, K. ja Tynni, R. 1969: Über Finnlands rezente und subfossile diatomeen III. Bulletin of the Geological Society of Finland 41. Geologische Forschungsantalt in Finnland. Otaniemi: 235 – 251.

Mölder, K. ja Tynni, R. 1970: Über Finnlands rezente und subfossile diatomeen IV. Bulletin of the Geological Society of Finland 42. Geologische Forschungsantalt in Finnland. Otaniemi: 129 – 144.

Mölder, K. ja Tynni, R. 1973: Über Finnlands rezente und subfossile diatomeen VII. Bulletin of the Geological Society of Finland 45. Geologische Forschungsantalt in Finnland. Otaniemi: 159 – 179.

Mölder, K. ja Tynni, R. 1980: Über Finnlands rezente und subfossile diatomeen XI. Bulletin 312. Geologinen tutkimuslaitos. Espoo. 53 s.

Länsi-Suomen voima Oy, Harjavallan voimalaitos. Kirjallinen tiedonanto 2010.

Rautanen, H. 2007: Akviferin 3D hydrogeologiseen mallintamiseen tarvittava tieto ja sen tuottaminen, esimerkkinä Kauriansalmen akviferi Kaakkois-Suomessa. Pro gradu - tutkielma, Turun yliopisto, Geologian laitos. 90 s.

Rhoads, B.L ja Kenworthy, S.T. 1995: Flow structure at an asymmetrical stream confluence. Geomorphology, 11: 273–293

Ruuth, J. W. 1899: Porin kaupungin historia. 1558–1809. Uusi suomenkielinen laitos: Jokipii, M. 1958: Porin kaupungin historia II. Porin kaupunki. Pori. 684 s.

Sandberg, J. ja Paltemaa, R. 2002: Ydin- ja säteilyfysiikan perusteet. Kirjassa: Ikäheimonen, T. K. (toim.). Säteily ja sen havaitseminen. Säteily- ja ydinturvallisuus 1. Säteilyturvakeskus. Karisto Oy, Hämeenlinna. 11–63.

Serres, B.D., Roy, A., Biron, P.M ja Best, J.L. 1999: Three-dimensional structure of flow at a confluence of river channels with discordant beds. *Geomorphology*, 26: 313–335.

Säntti, A.A. 1954: Die rezente Entwicklund des Kokemäenjoki-Deltas. Turun yliopiston maantieteellisen laitoksen julkaisuja no. 29, 61 s.

Ten Brinke, W.B.M. ja Wilbers, A.W.E. 2003: The response of subaqueous dunes to floods in sand and gravel bed reaches of the Dutch Rhine. *Sedimentology*, 50: 1013–1034

Teledyne RD Instruments. 2007: WorkHorse Mariner ADCP User's Guide. P/N 957-6169-00.

Vesihallitus. 1979: Kokemäenjoen järjestely, suosan pengerrys ja ruoppaus: toimitusnumero 405 Tuv 1 on aikanaan siirretty toimitusnumerolle 2183 Tuv 5.

Wright, L, D. 1977: Sediment transport and deposition at river mouths: A synthesis. *Geological Society of America. Bulletin* 88 (6): 857–868.

Teledyne RD Instruments. 2007: WinRiver II User's Guide. P/N 957-6231-00

#### Internet lähteet:

Yle areena. Lounais-Suomen uutiset 7.9.2010.

Newcastle University. Tiedot haettu helmikuussa 2011.  
<http://craticula.ncl.ac.uk/EADiatomKey/html/taxon8.html>

## **9 LIITTEET**

Liite 1: CD:llä tutkimuksessa käytetyt Porin kaupungin tekemät painokairaukset ja laboratoriokokeiden tulokset.