



## *Suihkuvirtamallinnus*

### *Raportti*

*Rev. 1.3*

# FCG.

**Jani Sillanpää, Lauri Solin**

**Report History**

Date	Version	Author	Change	Note No./Notes
20.12.2018	1.0	JTAN	Initial draft	
2.1.2018	1.1	JTAN	Comments	J.Sillanpää
9.1.2018	1.2	JTAN	Comments	T.Huttula
10.1.2018	1.3	JTAN	Comments	T Huttula, E Punta

<i>Role</i>	<i>Name</i>	Company
Author, lead consulting engineer	Juha Tanttari	Elomatic
Simulations, simulation specialist	Teppo Aro	Process Flow Solution
Supervisor, senior advisor	Kenneth Eriksson	Process Flow Solution
Project management	Jani Sillanpää, Lauri Solin	FCG

## Sisällys

<b>1. JOHDANTO</b>	<b>3</b>
LASKENTA	5
MALLINNUSALUE	7
LASKENTAVERKKO	8
PADON MALLINNUS	9
PURKUPUTKEN MALLINNUS	12
<b>2. LASKENTATAPAUKSET</b>	<b>13</b>
<b>3. TULOKSET</b>	<b>16</b>
KESKIVIRTAAMA KESKIVEDELLÄ, TAPAUS 1	16
PURKUPAIKAN VAIKUTUS, TAPAUS 2 JA 3	20
VIRTAAMAN JA VEDENKORKEUDEN VAIKUTUS, TAPAUS 4 JA 5	22
VEDEN LÄMPÖTILAN VAIKUTUS, TAPAUS 6 JA 7	23
<b>4. YHTEENVETO</b>	<b>25</b>
<b>VIITTAUKSET:</b>	<b>27</b>
<b>LIITE</b>	<b>28</b>
KUVIEN SUURENNOKSET	28

## 1. Johdanto

Tässä työssä tutkitaan suihkuvirtauksia tietokoneilla tehtävän virtauslaskennan (CFD) avulla. Kohteena on selvittää suunnitteluvaiheessa olevan Kemijärven biojalostamon jätevesiputken aikaansaamat suihkut ja niiden virtaustekninen käyttäytyminen.

Tehty työ on jatkoa ja täydennystä aiemmalle ympäristövaikutusten arviointiselostukselle /1/ purkuputkien virtauslaskennan osalta. Aiemmassa selosteessa on esitetty laajemmin mallinnukseen liittyvät lähtökohdat, eri tarkastelutilanteet ja miksi juuri ne tilanteet on tärkeimmät selvittää. Lisäksi tuossa selosteessa on käyty läpi jäteveden ympäristövaikutukset eri fosforin, typen, COD, kiintoaineen, natriumin ja sulfaatin pitoisuuksilla. Tässä työssä on tutkittu aiempaa tarkemmin jäteveden purkamisen synnyttämiä suihkuja sekä jäteveden sekoittumista järviveteen. Laskenta perustuu samoihin hydrodynaamisiin liikeyhtälöihin ja niiden numeerisiin ratkaisuihin kuin YVA Oy:n aiemmissa laskelmissa, erona aiempaan on, että tässä on tehty tarkempi analyysi juuri suihkujen virtausilmiöiden selvittämiseksi. Tarkempi analyysi suihkujen tutkimiseksi edellyttää suurta laskentatehoa, jota Process Flow Solutionilla on käytettävissä. Erona aiempaan laskentaan on myös itse laskentaohjelma. Tässä työssä on käytetty kaupallista hyvin tunnettua CFD-ohjelmaa STAR-CCM+.

Tässä työssä on selvitetty purkuputken sijoitteluun liittyviä virtausteknisiä perusteita, vaihtoehtoina on Kemijärven pohjapadon länsi- tai idänpuoleinen osa ja näistä sijoittelu joko ala- tai ylävirtaan. Padon läheisyys on jäteveden kulkeutumisen kannalta paras alue, koska kiihtyvä päävirta kuljettaa jäteveden tiettyyn suuntaan, eikä jätevettä pääse kertymään epätoivotulla tavalla.

Purkuputken paikan varmistamisen lisäksi tässä on tutkittu eri hydrologisten ja sääolosuhteiden vaikutuksia suihkujen käyttäytymiseen. Tutkitut olosuhteet on kuvattu pääosin talveden lämpötilassa, koska tällöin jäteveden ja järveden välinen lämpötilaero on korkeimmillaan. Suuri lämpötilaero pyrkii nostamaan kevyemmän/lämpimämmän jäteveden nopeammin järven pintaan ja lisäksi lisäämään niiden välistä tiheys- ja viskositeettieroa. Näillä tekijöillä on vaikutusta itse jäteveden sekoittumiseen ja suihkujen käyttäytymiseen.

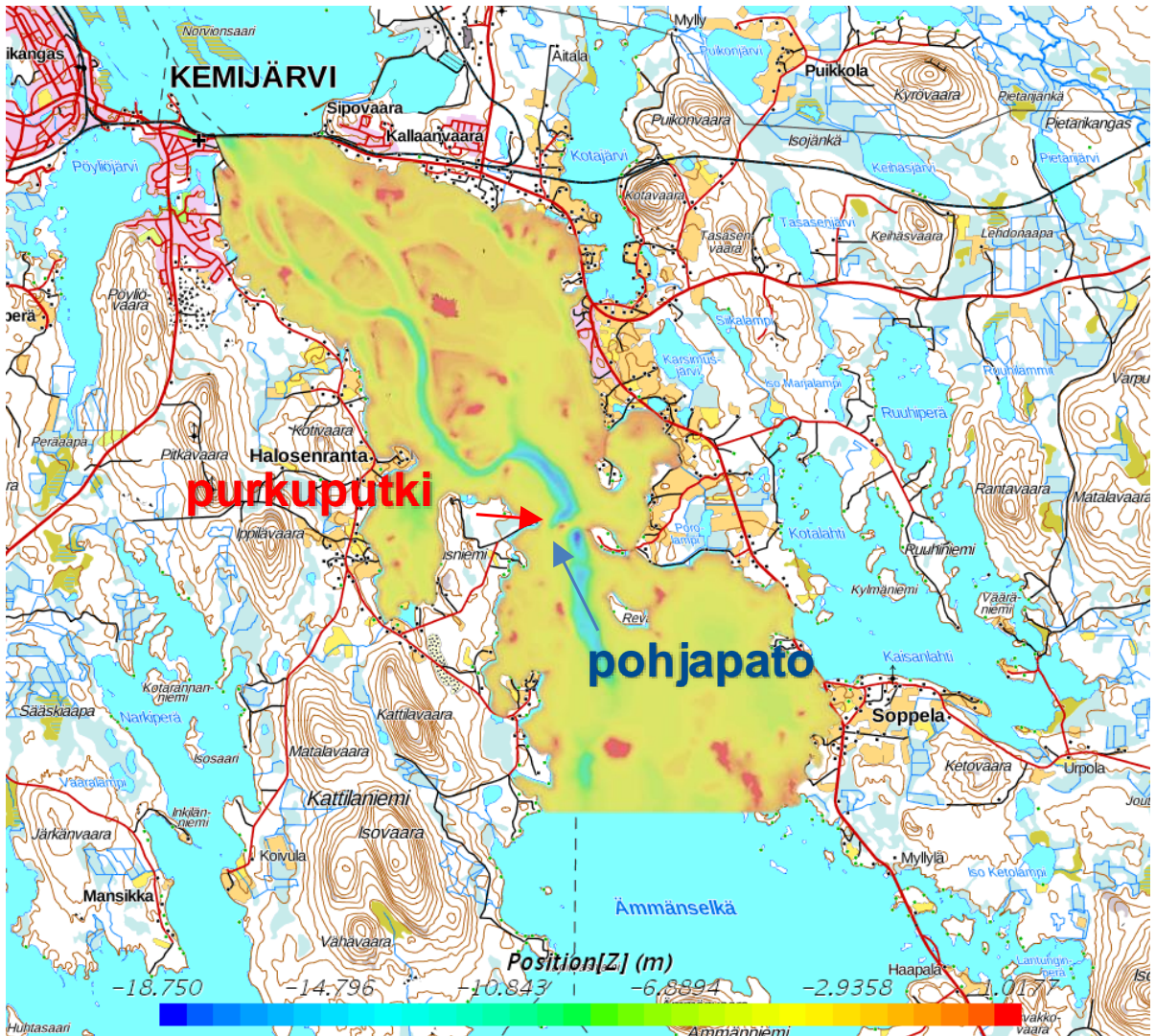
Erilaisia olosuhteita on selvitetty pääosin keskivesivirtaamalla ja keskivedellä, koska tämä on todennäköisin tilanne. Sekoittumista on tarkasteltu myös alivirtaamalla ja alivedellä.

Keskivirtaamalla on selvitetty myös tuuliolosuhteiden mahdollisia vaikutuksia purkuputkelta tuleviin jätevesisuihkuihin.

Tämän työn tuloksista nähdään, mihin purkuputki olisi hyvä sijoittaa, ja onko eri olosuhteilla vaikutusta suihkujen käyttäytymiseen. Työssä ei ole huomioitu itse putken sisäisiä virtauksia, eikä runko- tai syöttöputkia ole sisällytetty laskentamalliin. Putkien vaikutus järven virtauskenttään on oletettu pieneksi. Järven virtauksia tai suihkuja ei ole mallinnettu jääpeitteen alla, vaan kaikki tarkastelut on tehty avoimna olevalle järvelle käyttäen samoja oletuksia kuin edellisessä selvityksessä /1/. Padon päällä olevan louheen mallinnuksessa ei ole huomioitu lohkaraita yksittäisinä elementteinä, vaan ne on simuloitu homogeenisena louheena, jolle on patosuunnitelmien perusteella arvioitu virtausvastukset.



Tarkasteltava alue sijoittuu Kemijärveen kuvassa olevan kartan osoittamalle alueelle. Kuvassa 1 on väritetty mallinnuksessa huomioitu alue pohjan syvyyden mukaan. Väriyksessä sininen alue merkitsee järven syvimpiä alueita ja punainen vastaavasti lähempänä pintaa olevia alueita.



**Kuva 1.** Pohjapato sijaitsee Kemijärveissä Kankonniemi – Kalkonsaari – vastaranta (n. sähkölinjan kohdalla) purkupuutki asetetaan padon läheisyyteen.

Tarkasteltava alue on rajattu ylävirrassa rautatiesillan kohdalle ja alavirran puolella Noidan ja Ämmänselän väliin. Mallinnusalueesta on karsittu purkuvien sekoittumisen kannalta merkitykselliset sivuhaarat pois.

Purkupuutki on aiemman selvityksen /1/ mukaisesti järkevä sijoittaa padon läheisyyteen, joten tässä työssä putki on asetettu eri etäisyyksille patoon nähden ja selvitetty, mitä vaikutuksia tuolla etäisyydellä on sekoittumiselle.

### *Laskenta*

Järviveden virtaus ja purkuveden sekoittuminen tehtiin käyttäen kaupallista virtauslaskenta (CFD) ohjelmistoa STAR-CCM+, joka soveltuu monipuolisesti erilaisten virtausilmiöiden tarkasteluun

(<https://mdx.plm.automation.siemens.com/sites/all/themes/basic/assets/downloads/Siemens-PLM-star-ccm+-brochure-66560-A11.pdf>).

Laskennassa ratkaistaan virtaustapahtumat annettavien geometriatietojen ja tiedettyjen virtausmäärien ja lämpötilojen perusteella. Geometria saadaan tässä tapauksessa rakennettua maamittausdatan avulla. Kemijärven hydrologisten muuttujien (virtaamat ja vedenkorkeus) tilastolliset tunnusluvut arvioituna pohjapadon kohdalle on otettu Jaakkolan lahden kunnostussuunnitelmasta, joka on vuodelta 2017 /6/.

Laskentaan käytetään osaa Elomatic tietokoneklusterista, missä on eri osineen reilusti yli 1000 ydintä ja muistia yli 10 TB. Tässä käytetty malli rinnakkaistuu järkevästi vielä 400 ytimelle, minkä jälkeen useamman prosessorin käytöstä ei ole kovinkaan suurta lisähyötyä. Laskenta kesti tällä prosessorimäärällä vuorokauden kutakin laskettavaa tilannetta kohden. Laskentamallin muistintarve on käyttömuistille 100 GB. Käyttömuistin määrä muodostuu laskettavan alueen laskentatilavuuksien lukumäärästä ja laskettavista yhtälöistä. Tässä laskentakoppien lukumäärä on luokkaa 100 miljoonaa, perusvirtausyhtälöt vaativat muistia karkeasti arvioituna 1 GB/1 milj. elementtiä.

Tuulen vaikutus mallinnetaan liikuttamalla järven pinnaksi määritettyä tasoa halutulla tuulen nopeudella. Tuuli- ja pohjakitkalle käytetään tyypillisiä arvoja (0,0012 ja 0,0025), näillä saadaan aikaan oikea tuulen vaikutus järven pinnalla sekä pohjan virtausvastus. Arvot ovat samoja kuin on käytetty jo aiemmassa selvityksessä /1/.

Talvilaskenta tehdään tilanteessa, jossa laskenta-alue on ilman jääpeitettä kuten esimerkiksi marraskuussa. Järven vesi alustetaan kuitenkin 4 °C veden lämpötilaan laskennan alussa, jolloin saadaan helpommin muodostettua veden mahdollinen kerrostuminen. Kerrostuneisuus katoaa laskennassa, kun saavutetaan järvivedelle jatkuvuustila, missä syötetty järvivesi on mennyt läpi järven kaikissa osissa. Käytännössä kerrostumista ei esiinny järvessä, koska Kemijärven läpivirtaama tuottaa pohjapadon alueella suhteellisen voimakkaan virtauksen. Lisäksi ilman lämpötila oletetaan samaksi kuin ylävirrassa syötetyn veden lämpötila eikä auringon säteilylläkään ole vaikutusta veden lämpötilaan myöhäissyksyllä ja alkutalvesta.

Syötettävä jätevesi mallinnetaan omana aineena, jätevedelle annetaan sen virtausmäärä ja lämpötila, jotka ovat talvella 0,3 m<sup>3</sup>/s ja 33 °C. Vastaavat arvot kesällä ovat 0,3 m<sup>3</sup>/s ja 35 °C (Taulukko 2). Tässä laskennassa ei ole huomioitu jäteveden sisältämän suolan määrää. Tämä perustuu aikaisempiin Kemijärveä koskeviin tarkasteluihin /1/ ja /7/. YVA-selostus ja Lauri (2016)/. YVA- selostuksessa kuvatut laskennat tehtiin kuormituksilla natriumia 26 t/d ja sulfaattia 22 t/d, yhteensä 48 t/d. Tarkasteluissa todettiin, että tällöin suolapitoisuus purkuvedessä jäisi tasolle 0,26 % ja tuon määrän vaikutus Kemijärven suolaisuuteen on erittäin vähäinen /1/. Mallitarkastelussa jäteveden suolapitoisuuden vaikutusta vesimassan sekoittumiseen tarkasteltiin CORMIX-sekoittumismallilla purkupaikan lähialueella (15-50 m) käyttäen suolapitoisuutta 0 ja 0,26% /7/. Tulosten mukaan jäteveden suolapitoisuudella ei juurikaan ollut vaikutusta lähialueen vesimassojen käyttäytymiseen. Vanhan sellutehtaan toimiessa suolakuormitus jaksolla 2000-2006 oli keskimäärin natriumia (Na)12 t/d ja sulfaattia (SO<sub>4</sub>) 18 t/d eli yhteensä 30 t/d. Tuolloin natriumpitoisuus järvessä oli noin 3 mg/l. Se laski tuotannon päätyttyä tasolle 1,5 mg/l. Sulfaattipitoisuudesta ei ole järven kattavaa mittaustietoa vanhan sellutehtaan ajoilta, mutta sulfaatin arveltiin käyttäytyvän kuten natriuminkin ja olevan arvoiltaan noin kaksinkertaiset Na-arvoihin verrattuna.

Vanhan sellutehtaan toiminnan aikaiset järven natrium- ja sulfaattipitoisuudet

(3 mg/l ja 6 mg/l) tarkoittavat yhteensä 9 mg/l eli noin 0,0009 % osuutta veden tiheydestä. Nyt suunnitelmassa on nostaa natriumkuormitus tasolle 41 t/d ja sulfaattikuormitus tasolle 47 t/d. Näin ollen suolakuormitus on yhteensä 86 t/d eli noin kolminkertainen vanhan tehtaan suolakuormitukseen nähden. Tämä tarkoittaa järvessä suolojen kokonaispitoisuutta 27 mg/l. Silti edellisen perusteella on selvää, ettei suolojen osuus veden tiheydestä järvessä voi tällöinkään olla millään lailla merkittävä. Teoreettisesti laskien veden suolapitoisuuden tulisi olla tasolla useita satoja mg/l, jotta se voisi vaikuttaa esim. muuttamalla järiveden kerrostuneisuutta pysyvästi.

Järven läpivirtaus mallinnetaan antamalla virtausmäärä ja tulevan järiveden lämpötila rautatiesillan kohdalla, muita pienempiä sivuhaaroista tulevia virtauksia ei huomioida.

Virtaus pääsee poistumaan painereunaehdon mukaan mallin ulosmenoreunalla Noidan- ja Ämmänselän välissä.



*Mallinnusalue*

Järven mallinnus on rajoitettu ylävirran puolella rautatiesillan kohdalle ja alavirran puolella Ämmän- ja Noidanselän välille. Järveen saapuvia muita sivuvirtauksia tai poukamia ei ole huomioitu laskennassa, koska niillä ei katsota olevan vaikutuksia suihkujen käyttäytymiseen.

Järvestä tehtiin 3D-malli olemassa olevan maamittausdatan perusteella. Maamittausdatasta saadaan pistepilvi, mistä on muodostettu pinnat järven pohjan muodoille.

Tarkasteltavasta järven osasta tehtiin laskentatilavuus, joka verkotetaan virtauskentän ratkaisemiseksi numeerisesti asetettavien virtausmäärien ja lämpötilojen avulla.

Kuvassa on esitetty mallinnettava osa järvestä harmaalla värityksellä karttaan sijoitettuna.



**Kuva 2** Laskentamalli ja reunaehdot. Q osoittaa laskenta-alueen sisääntuloreunaa, pato – suurennos padosta kuvan alareunassa,  $p_{stat}$  osoittaa laskenta-alueen ulosmenoreunaa.

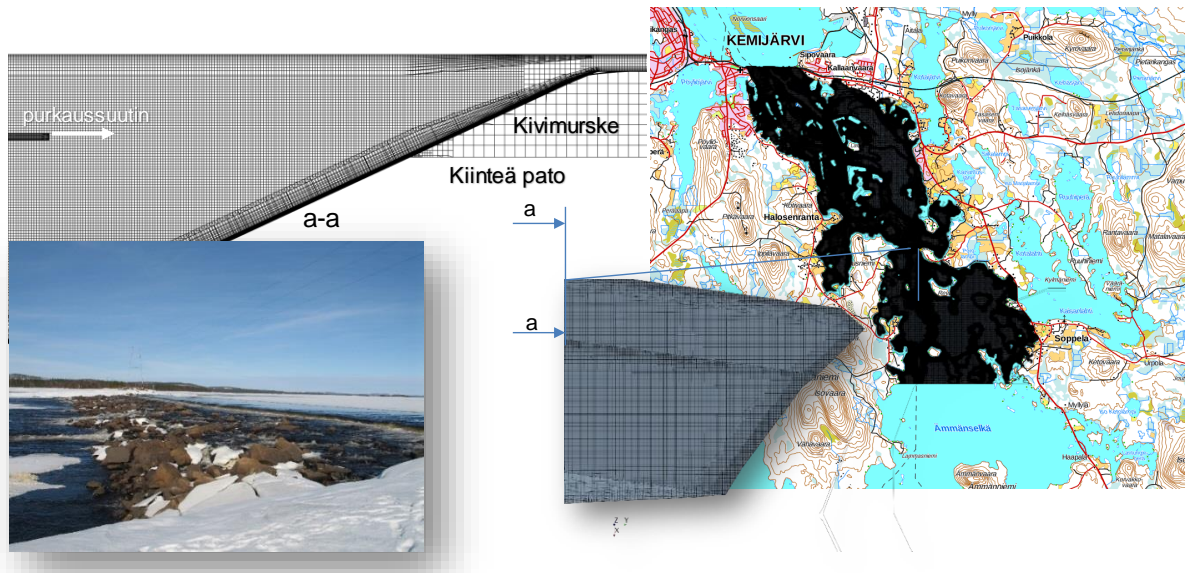
Mallinnusalueen keskeisenä osana on patorakenne, jonka mallinnuksesta on oma kappaleensa. Padon mitoille on käytetty Kemijoki Oy:stä saatua suunnittelun perustana olevaa tietoa.

### Laskentaverkko

Veden pinta on mallinnuksessa asetettu eri tapauksissa aina vakiokorkeudelle, jolloin kullakin pinnankorkeudella tehtävälle tarkastelulle valmisteltiin oma laskentamalli.

Laskenta-alueen verkotuksessa käytetään karteesista laskentahilaa, samantyyppistä kuin aiemmassa YVA Oy:n laskennassa on käytetty /1/. Erona aiempaan on, että laskentahila on kauttaaltaan vähän tiheämpi ja padon kohdalta huomattavasti tiheämpi. Laskentaverkko on tihennetty eniten purkaussuuttimien kohdalla, jolloin niistä muodostuva suihku pystyttiin laskemaan mahdollisimman tarkasti.

Kuvassa 3 on esitetty laskentaverkko kartalla mallinnetulta osalta, mukana on myös leikkaus padon pintaverkosta sekä poikkileikkaus suuttimen kohdalla.



**Kuva 3** Laskentamallin verkotus, suurennos liite 2.

Laskentahilan määrittelyssä suurimpana koppikokona on käytetty 10 m x 10 m x 10 m niillä alueilla missä virtauskentän nopeusmuutokset ovat pieniä ja vaikutus padon alueen virtauksiin on vähäistä. Lähellä patoa on koppien särmän pituutena käytetty 0,1 m koppikokoa, jota kasvatetaan vaiheittain kasvukertoimella 1,2 kohti suurinta koppikokoa. Pienin laskentakopin särmän pituus on 0,01m purkaussuuttimien kohdalla ja järven pinnan läheisyydessä.

Verkon tihentämisellä suuttimien ja padon välillä pyrittiin varmistamaan fysikaalisten ilmiöiden tarkempi mallinnus, jolloin saatiin itse suihkujen käytös mallinnettua riittävällä tarkkuudella oikeiden johtopäätösten tekemiseksi. Laskentaverkon hilakokoa on kasvatettu padon päällä olevien lohkareiden kohdalla särmän pituuteen 0,2 m, koska ne hidastavat paikallista virtausnopeutta huomattavasti.

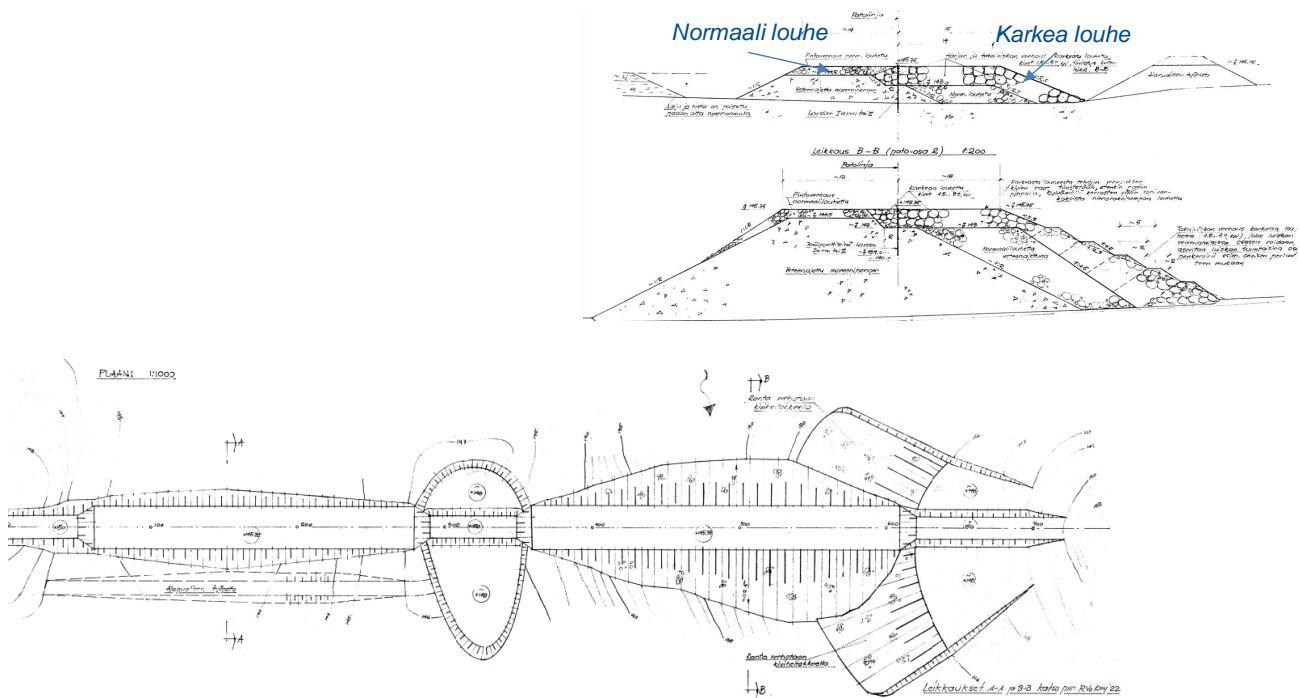


### *Padon mallinnus*

Pato on sijoitettu järveen kuvassa 5 näytettyyn paikkaan voimalinjan alle niin että keskellä patoa on pieni saareke, joka jakaa padon kahteen likimain yhtä pitkään osaan.

Padon poikkileikkaukselle on olemassa piirustuksia, joiden perusteella on lisätty järvimalliin padon 3D-malli /2, 3/.

Padon päällä olevat kiviainekset mallinnetaan omina huokoisina alueinaan käyttäen padon poikkileikkauksen suunnitelmia lähtökohtana mallinnukselle. Louheet on jaettu kahteen eri alueeseen, normaaliin ja karkeaan louheeseen, joilla on keskenään hieman eri virtausvastus.

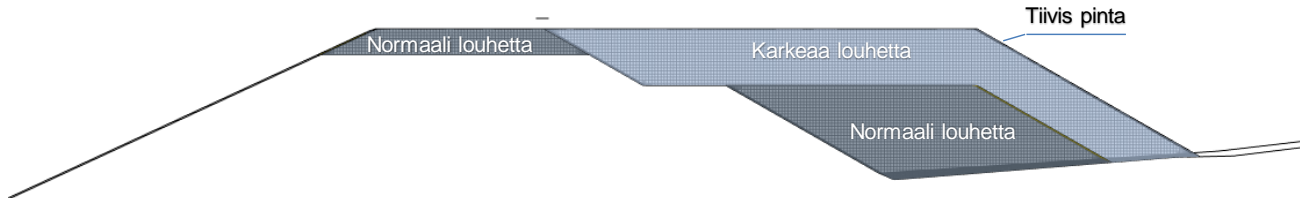


**Kuva 4** padon mitoitus ja käytetyt eri kiviainekset, suurennos liite 2.

Karkea- ja normaalilouheen mallinnuksessa käytettävällä huokoisella aineella muodostettiin virtausvastus, jolla pyrittiin saamaan mallin virtaukselle sama vaikutus aikaan kuin todellisilla lohkarille/kivimurskeella on.

Louheiden virtausvastus on määritetty asettamalla kiville patosuunnitelman mukaiset halkaisijat olettaen samalla louheet pallon muotoisiksi. Pallon virtausvastus tunnetaan erittäin hyvin, joten niistä muodostetulle louheelle voidaan antaa helposti oma virtausvastus. Erimuotoiset lohkarit tuottavat tilastollisesti keskimäärin pallomaisen muodon, lopulta kun lohkariden määrä on hyvin suuri. Tässä karkean louheen osalla on paikallisia vaihteluja ja näin ollen mallinnus keskiarvoistaa padon geometriaa tuottamalla homogeenisen virtausvastuksen, jota kivikko ei välttämättä todellisuuksessa tee; kiviä ei ole asennettu padon päälle tasaisesti täysin homogeenista vastuskenttää muodostamaan.

Kuvassa on esitetty padon poikkileikkaus eri louhealueineen, karkean louheen pintakerros on suunnitelmien mukaan tiivistetty, joten padon läpi pääsevät virtaukset jäävät hyvin pieniksi.



**Kuva 5** padon laskentamallin poikkileikkaus.

Eri huokoisuuksille on määritetty seuraavat vastuskertoimet taulukon 1 mukaisesti.

**Taulukko 1.** Louheen vastuskertoimet.

Vastusarvot	Louhe		
	Normaali	Karkea	
inertia vastus	31481	187	kg/m <sup>4</sup>
viskoosi vastus	63.727	0.018	kg/m <sup>3</sup> -s
huokoisuus	0,3	0,6	

Vastuskertoimista nähdään, että normaalilouhen virtausvastus on huomattavasti suurempi kuin karkean louheen, toisaalta karkean louheen pinnalla on normaalilouhetta vastaava tiivistyskerros vähentämässä läpi pääsevää virtausta.

Huokoisen aineen liikemääräyhtälö on määritetty STAR-CCM+ ohjelmassa seuraavan mukaisesti /4/:

$$\frac{\partial(\chi\rho\mathbf{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (\chi\rho\mathbf{v}\mathbf{v}) = -\chi \nabla p + \nabla \cdot (\chi\mathbf{T}) - \chi\mathbf{P}_v\mathbf{v} - \chi\mathbf{P}_i|\mathbf{v}|\mathbf{v}$$

$\chi$  on huokoisuus, ja  $\mathbf{v}$  on nopeus.  $\mathbf{P}_i$  on liikemäärää kuvaava (*inertial resistance*) tensori ja vastaavasti  $\mathbf{P}_v$  on kitkan vaikutusta kuvaava (*viscous resistance*) tensori.

Taulukossa on esitetty louheiden vastusarvojen laskennassa käytetyt parametrit.

		normaali	karkea	
$\mu$	molekyylinen viskositeetti	8,89E-04	8,89E-04	Pa s
X	Tilavuuden huokoisuus	0,3	0,6	
$D_p$	Louheen keskimääräinen halkaisija	0,1	1,2	m
$v_s$	Vapaa virtausnopeus louheessa	0,263	0,263	m/s
$\rho$	Nesteen tiheys	1000	1000	kg/m <sup>3</sup>

Normaali louhe on tiiviimmin kasautuva, joten sen huokoisuus on pienempi kuin karkean louheen, louheiden keskihalkaisijat on määritetty patosuunnitelmien perusteella.

Nopeus  $v_s$  on huokoisessa aineessa sama molemmilla louheille, koska geometrisiä virtausesteitä ei ole mallinnettu. Nopeus voitaisiin skaalata aineen huokoisuuden mukaan, mutta toisaalta se tulee huomioiduksi itse vastuksen laskennassa, kun käytetään huokoisen aineen tasaista nopeutta.

Vastuskertoimet ja niiden laskenta:

		<i>normaali</i>	<i>karkea</i>
Louheen viskoosi vastus	$150\mu(1-X)^2v_s / (X^3 D_p^2)$	63,73	0,018
Louheen inertiaali vastus	$1,75\rho(1-X) v_s^2 / (X^3 D_p)$	31481,26	187,39

Kuten taulukosta voidaan nähdä, on karkealouheen virtausvastus huomattavasti pienempi kuin normaalilouheen, karkealouheen pinnalle on asetettu kerros normaalilouhetta tiivistämään pintaa, joten se kuitenkin vaikuttaa siihen, että suuri osa virtauksesta pyrkii kulkemaan padon ylitse.

*Purkuputken mallinnus*

Purkuputki mallinnetaan syöttämällä purkautuva jätevesi yhteensä 60 järveen sijoitettavasta syöttöputkesta Uponorin toimittamien suunnitelmien perusteella /5/. Itse runkoputkea tai nousuputkia ei ole geometrisesti mallissa mukana, ainoastaan niiden syöttöaukot, joista jätevesi pääsee suihkuamaan.

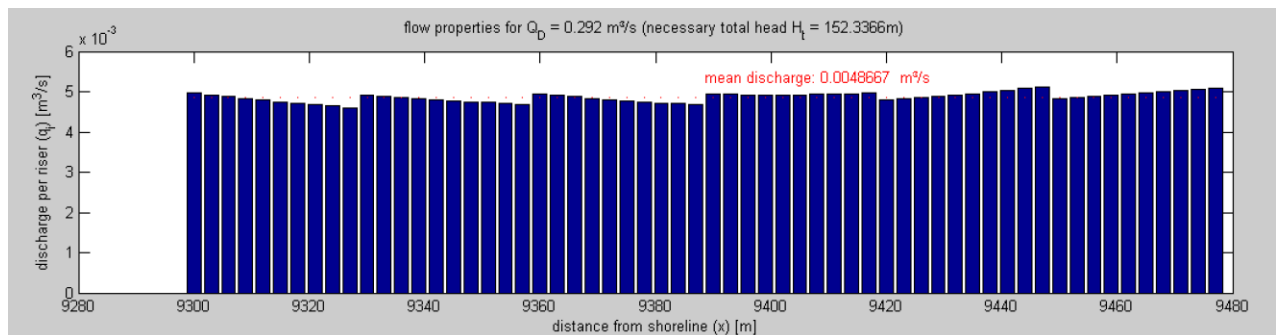
Runkoputken pituudeksi on valittu 105 m. Pituus määrittyy sijoituskohdan virtausolosuhteiden mukaan, kun halutaan, että purkautuva jätevesi osuu padon ylävirran puolella olevaan kiihtyvään virtaukseen.

Purkuputken sijainti on valittu läntisen padon yläpuolelle, koska täällä saadaan parhaat olosuhteet sekoittumisen kannalta.

Virtauslaskenta keskitettiin padon länsipuolelle, koska itäisessä osassa on veneväylä, uimaranta on lähellä ja jäteveden kulkeutumisriski Jaakkolan lahteen on suurempi kuin purettaessa jätevesi länsipuolelle.

Länsipuolella olevan padon alavirran puolen tapaus jätettiin pois, koska veden pinta voi laskea täällä niin alas, että putken pitäminen veden pinnan alapuolella voi olla vaikeaa, tämän lisäksi padon alapuolella on enemmän takaisinvirtausalueita, joihin syötettynä jätevesi voisi kertyä suurina pitoisuuksina.

Purkuputken ulostuloputkien välinen massavirtajakauma voidaan olettaa tasaiseksi /5/ hyvin optimoidulle runkoputkelle.



**Kuva 6** purkuputken jakauma ulostuloputkien kesken /5/.

Purkuputkesta tuleva vesimäärä ja veden lämpötila on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Purkuputkesta tulevan jäteveden kokonaismäärät (talvi/kesä).

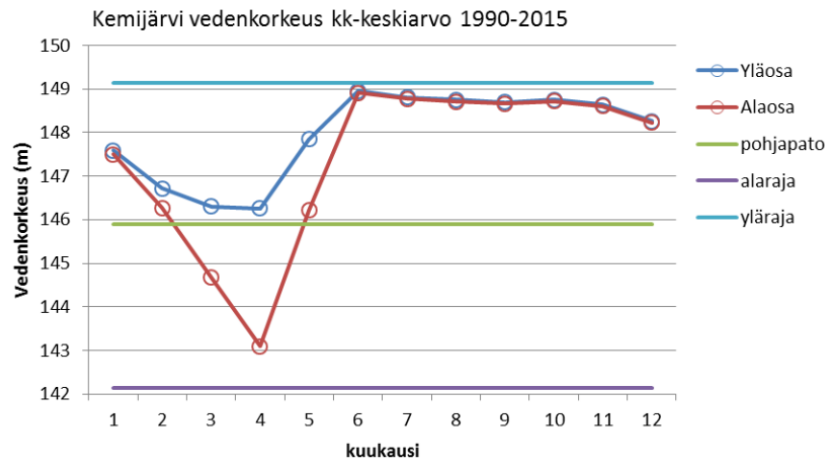
	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$t$ [°C]
Talvi	0,3	33
Kesä	0,3	35

Talvella tulevan jäteveden lämpötila on pari astetta alhaisempi kuin kesällä putken lämpöhäviöiden vuoksi.



## 2. Laskentatapaukset

Tutkittavat skenaariot on valittu Kemijärven tyypillisten hydrologisten olojen sekä muutaman erikoistilanteen pohjalta.



**Kuva 7** Kemijärven ylä- ja alaosan vedenkorkeuksien kk-keskiarvot jaksolla 1990-2015 YVA-selosteen mukaan /1/.

Nyt suoritetuissa simuloinneissa käytettiin Jaakkolanlahden kunnostussuunnitelmasta saatavaa uusinta hydrologista tietoa /6/. Siinä oli arvioitu Kemijärven virtaamat pohjapadon kohdalle.

Viittauksessa /6/ ja /7/ on selitetty eri virtaamille käytettäviä määritteitä, joita esiintyy laskentatapauksen kuvauksessa. Mallissa virtaama  $Q$  on rautatiesillan alta päästettävä järiveden tilavuusvirta,  $H_{up}$  on vedenpinnan korkeus padon ylävirrassa ja  $H_{down}$  vastaavasti alavirran puoleisen padon pinnan korkeus.

**Taulukko 3.** Laskentatapaukset

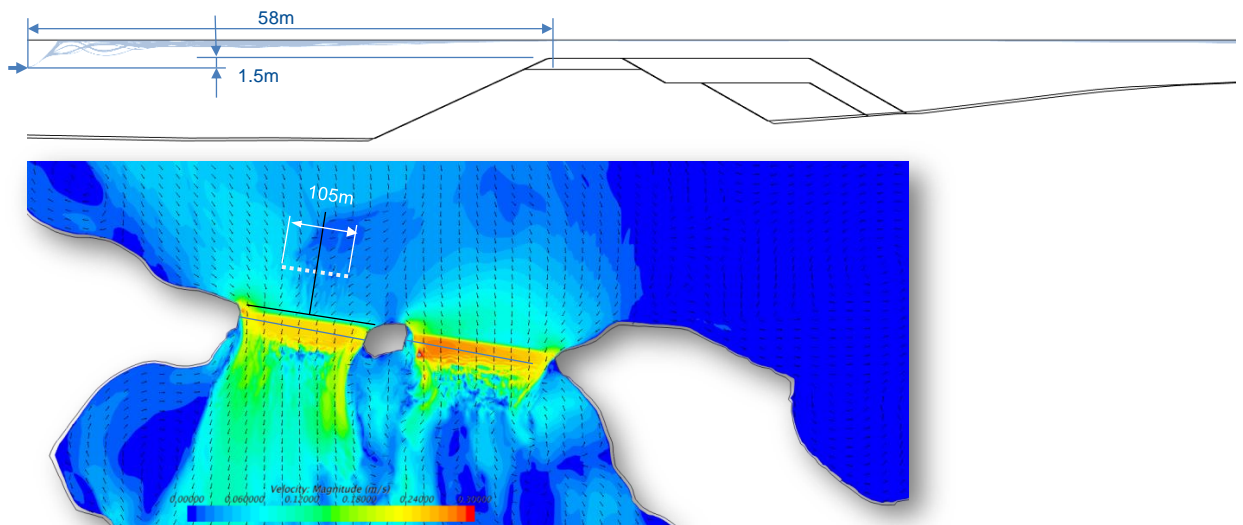
Tapaus #	Kuvaus	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$H_{up}$ [m]	$H_{down}$ [m]
1	keskivirtaama (MQ), keskivedellä (MW)	270	147,8	147,8
2	purku padon yläpuolelle	270	147,8	147,8
3	purku padon yläpuolelle lähelle patoa	270	147,8	147,8
4	keskialivirtaama (MNQ), keskialivedellä (MNW)	53	146	141,99
5	altaiden välinen vedenkorkeusero 4 m, $Q=200$ m <sup>3</sup> /s	200	147,66	143,66
6	talvivesi ( 0,2 °C)	270	147,8	147,8
7	kesävesi (15 °C)	270	147,8	147,8
8	tuuli SE, 5 m/s	270	147,8	147,8
9	tuuli SW, 5 m/s	270	147,8	147,8

Tapaus 1 kuvaa tyypillisintä järveden virtaustilannetta tyynellä säällä avovesikaudella. Järven ja ympäröivän ilman lämpötilat ovat samoja ja järvessä ei ole lämpötilakerrostumia. Tässä laskennassa ei ole mukana vielä jäteveden purkautumisesta muodostuvia virtaussuihkuja. Laskennalla saatavien tulosten avulla selvitetään länsipuolella olevan padon ylä- tai alapuolilta päästettävien virtaviivojen avulla miten mahdollinen sekoittuminen voisi näistä eri vaihtoehdoista toteutua.

Tapaus 2 jäteveden purku padon länsiosan ylävirran puolelle on laskentatapaus, missä on purkuputken syöttö mukana – itse putken geometriaa ei ole malleissa mukana, mutta syöttöpisteet mistä jätevesi syötetään, on mallinnettu.

Laskenta on suoritettu tyypillisissä talvivesiolosuhteissa (0,2 °C), jolloin purkuputkesta syötettävän jäteveden lämpötilaero on suurimmillaan ja olosuhteet sekoittumista ajatellen mahdollisimman haasteelliset.

Purkuputken suutinosan pituus on 105 m ja etäisyys padon yläreunasta 58 m, purkuputki on keskitetty padon suhteen niin että putken keskiosa on samalla kohdalla kuin lännen puoleisen padonosan keskikohta. Putken ulostuloaukot on sijoitettu 1,5 m padon yläreunaa syvemmälle järviveteen, putki kulkee samassa linjassa padon kanssa.

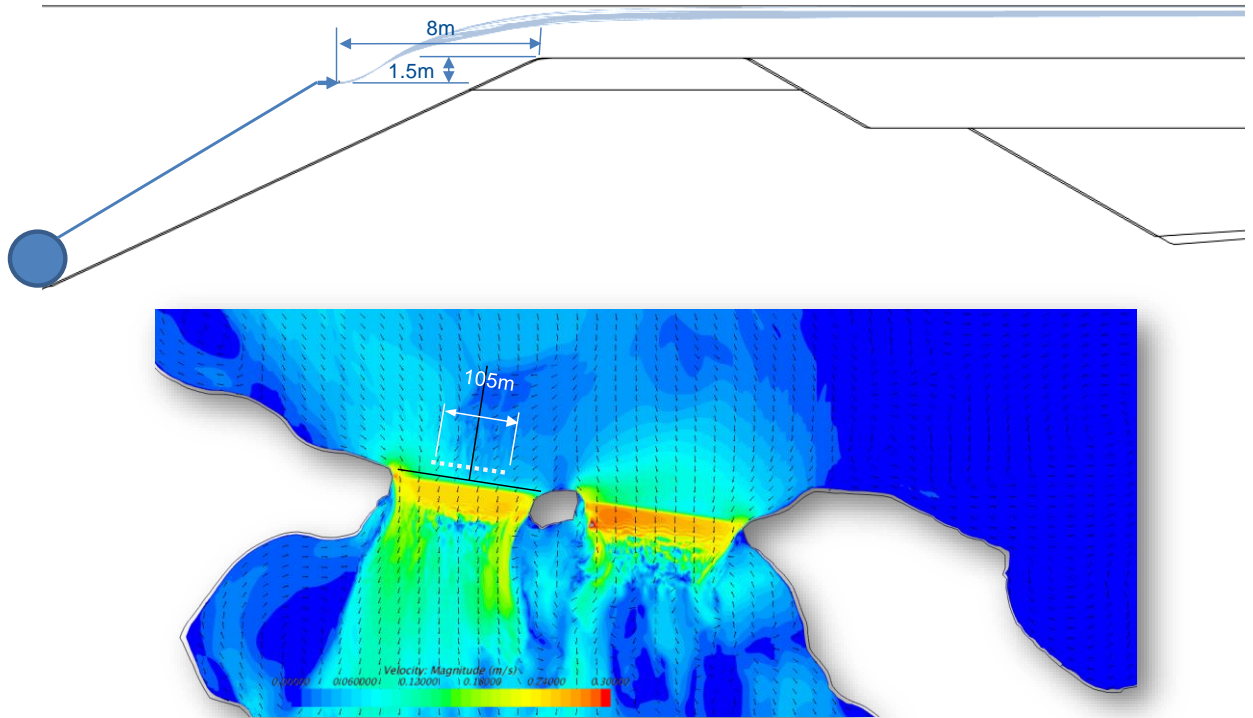


**Kuva 8** Tapaus 2, purkuputken sijoittelu, huom. kuvan putki ei ole mittakaavassa. Purkuputken etäisyys 58 m padon ylävirran puoleisesta harjasta ja putkien haarakkeiden yläpään syvyys 1,5 m padon harjasta.

Purkuputken etäisyys padosta on valittu Tapaus 1 tulosten perusteella alueelle, missä havaitaan päävirtauksen nopeuden kasvavan padon vaikutuksesta. Pato muodostaa karkeasti puolipallon muotoisen sektorin imupuolelle, missä nopeudet lähtevät kasvamaan tasaisesti etäisyyden pienentyessä – mitä lähemmäs patoa tullaan sitä suuremmaksi nopeus kasvaa.

Tapaus 3 on muokattu edellisestä tapauksesta siirtämällä putki lähemmäs patoa. Putken pituus on pidetty samana. Uusi putken etäisyys padosta on 8 m; keskipiste sijaitsee läntisen

puoleisen padon keskipisteen kanssa pituussuunnassa samalla kohtaa, putki on asetettu 1,5 m padon yläreunaa syvemmillä.



**Kuva 9** Tapaus 3, purkuputken sijoittelu, huom. kuvassa esitetty putki ei ole mittakaavassa. . Purkuputken etäisyys 8 m padon ylävirran puoleisesta harjasta ja putkien haarakkeiden yläpään syvyys 1,5 m padon harjasta

Syöttökohtien tuominen lähemmäs patoa varmistaa paremmin suihkun imeytymisen päävirran mukana padon yli.

Virtaaman vaikutusta suihkuun on selvitetty yhteensä kolmella eri järven läpi menevällä virtaamalla. Eri virtaamilla padon alavirran puoleinen vedenpinta muuttuu vastaavasti.

Tapaus 4 tilanteessa purkuputki on lähempänä patoa Tapaus 3 mukaisesti, järven läpi virtaava vesimäärä on 53 m<sup>3</sup>/s, järvivesi on asetettu talveden (0,2 °C) lämpötilaan, jolloin saatava tilanne on sekoittumisen kannalta mahdollisimman haasteellinen.

Tapaus 5 on laskettu 200 m<sup>3</sup>/s virtausmäärällä edelleen talveden (0,2 °C) lämpötilassa olevalla järvivedellä.

Järviveden lämpötilan vaikutusta on tutkittu kesäveden ja talveden lämpötiloilla. Näiden avulla nähdään miten suihkun ja järviveden välinen lämpötilaero vaikuttaa suihkun purkautumiseen ja sekoittumiseen.

Tapaus 6 on keskivesitilanteessa laskettu tapaus talveden (0,2 °C) lämpötilassa.

Tapaus 7 on kesävesi lämpötilassa laskettu keskivesitilanteeseen.

Tuuliolosuhteiden vaikutusta on tutkittu järven pohjoisosan pääakselin suuntaisilla tuuilla (SE) sekä Suomessa ja järvellä vallitsevalla yleisimmällä tuulensuunnalla (SW). Se on myös Jaakkolanlahteen tapahtuvan kulkeutumistarkastelun kannalta merkittävin suunta. Tuulen nopeudeksi on valittu hiukan keskimääräistä suurempi tuulennopeus eli 5 m/s, jota tyypillisesti käytetään mallitarkasteluissa.

Tapaus 8 on talviveden (0,2°C) lämpötilassa laskettu keskivesitilanne, missä tuuli on lounaasta 5 m/s.

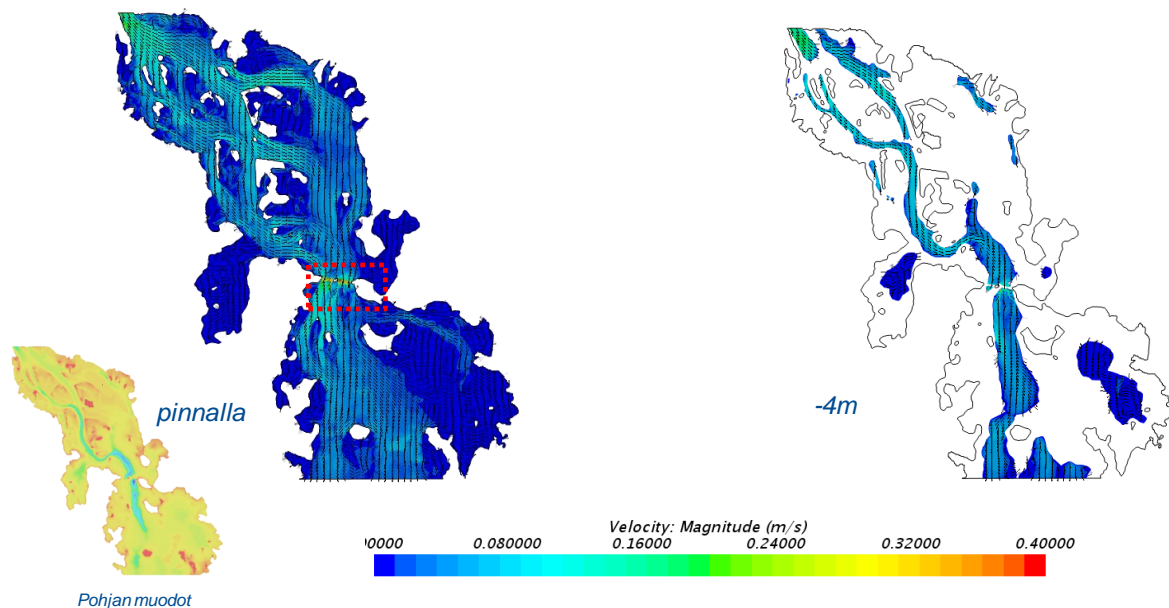
Tapaus 9 on talviveden (0,2 °C) lämpötilassa laskettu keskivesitilanne, missä tuuli on kaakosta 5 m/s.

### 3. Tulokset

Laskennan tuloksina tarkastellaan järviveden virtauksia yleisesti sekä tarkemmin purkuputkesta tulevia nopeuksia ja pitoisuuksia. Virtaviivojen avulla esitetään purkuveden kulkeutumista yleisesti kohdejärnessä. Tulokuvissa on väritetty tasa-arvopintojen avulla nopeus ja pitoisuusjakaumia, näiden lisäksi on osoitettu virtauksen suuntaa nuolilla, jotka on määritetty vakio pituisiksi – nuolen pituus on valittu helpottamaan suunnan visualisointia.

#### *Keskivirtaama keskivedellä, Tapaus 1*

Järven virtausnopeuksia on kuvattu kokonaisnopeuksien avulla 0,5 m ja 4 m syvyydellä keskiveden pinnasta.



**Kuva 10** Tapaus 1, nopeusjakauma 0,5 m ja 4 m syvyydellä järven pinnasta, kuvasta on suurennos liitteessä.

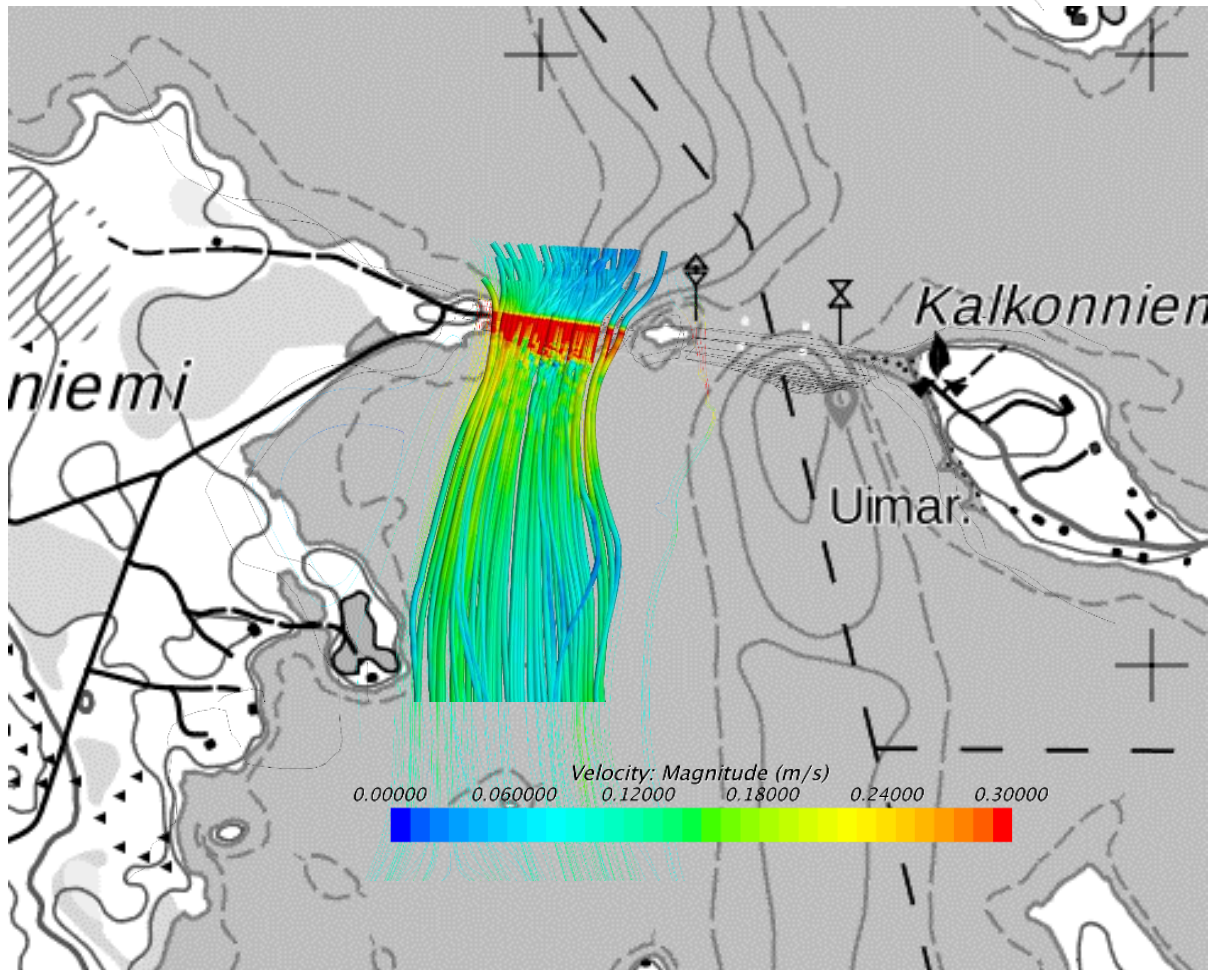
Järven nopeusjakauma mukaillee pääpiirteissään pohjan muotoja, poikkeuksen tekevät padon lähetyvillä esiintyvät virtaukset. Padon vaikutuksesta veden nopeusjakauma tasoittuu saaren molemmille puolille likimain saman suuruisiksi. Alkuperäinen uoma kulkee itäpuolisen padon kautta, jolloin suurimmat nopeudet ilman patoa voitaisiin havaita lähellä uimarantaa.

Laskentatuloksista on leikattu tasopinnat molemmille padon puoliskoille ja tarkasteltu niiden läpi kulkevaa vesimäärää. Vesimäärä on jakautunut melko tasaisesti molemmille osille,



laskentatuloksen mukaan 47 % läpi virtaavasta vedestä kulkee läntisen padonpuoliskon yläpuolelta (idänpuoleinen padon osa on vastaavasti vähän leveämpi).

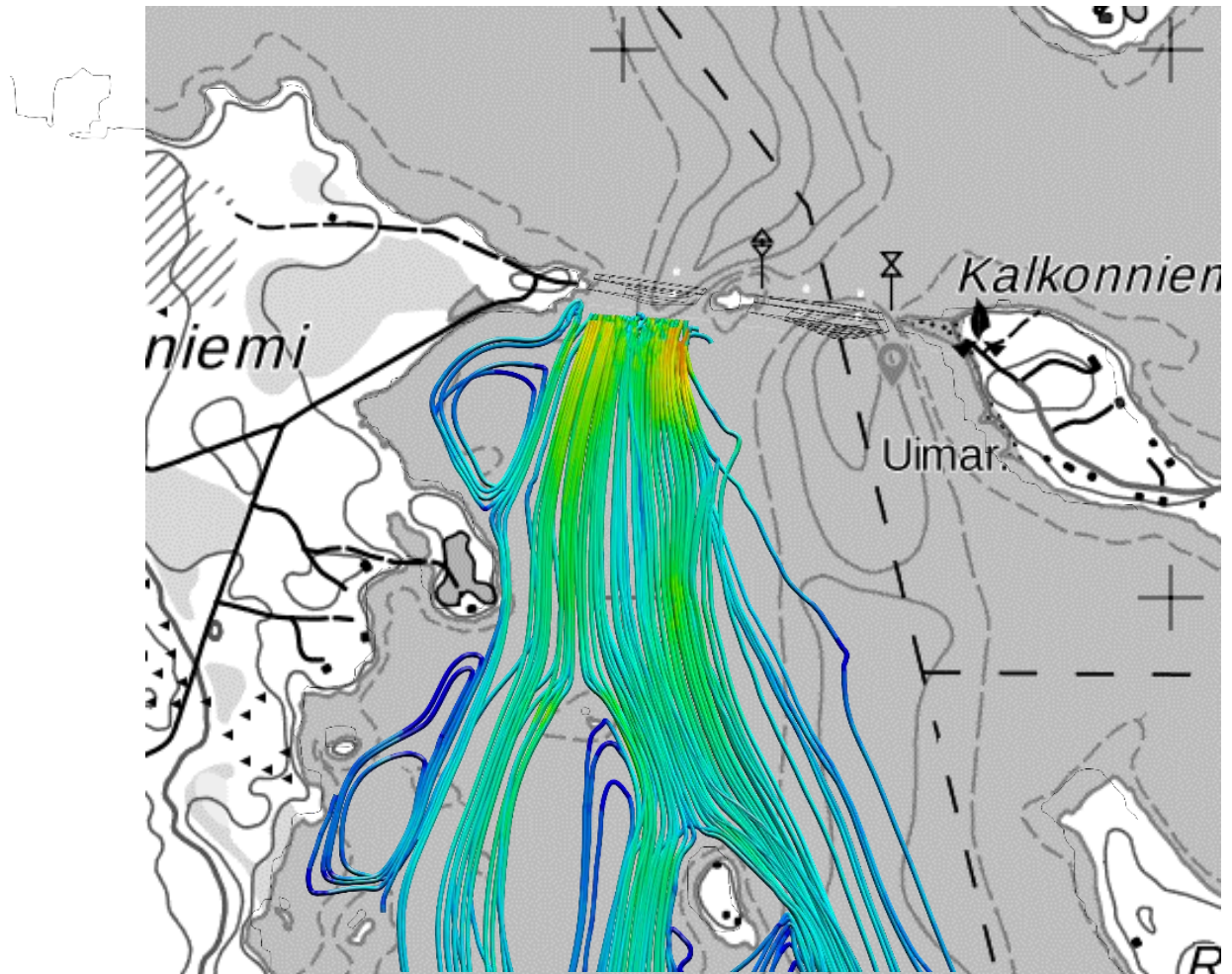
Veden kulkeutumista lännen puoleisen padon ylävirran puoleiselta alueelta on tutkittu virtaviivajäljitysten avulla (Kuva 11).



**Kuva 11** Tapaus 1, virtaviivat padon ylävirran puolelta.

Virtaviivajäljitysten perusteella padon ylävirran puolelta ei kulkeutuisi Tapaus 1 olosuhteissa virtauksia sivuttais- tai ylävirran suuntaan.

Kuvassa 12 on tarkasteltu veden kulkeutumista padon alapuolella alkunsa saaneilla virtaviivoilla.

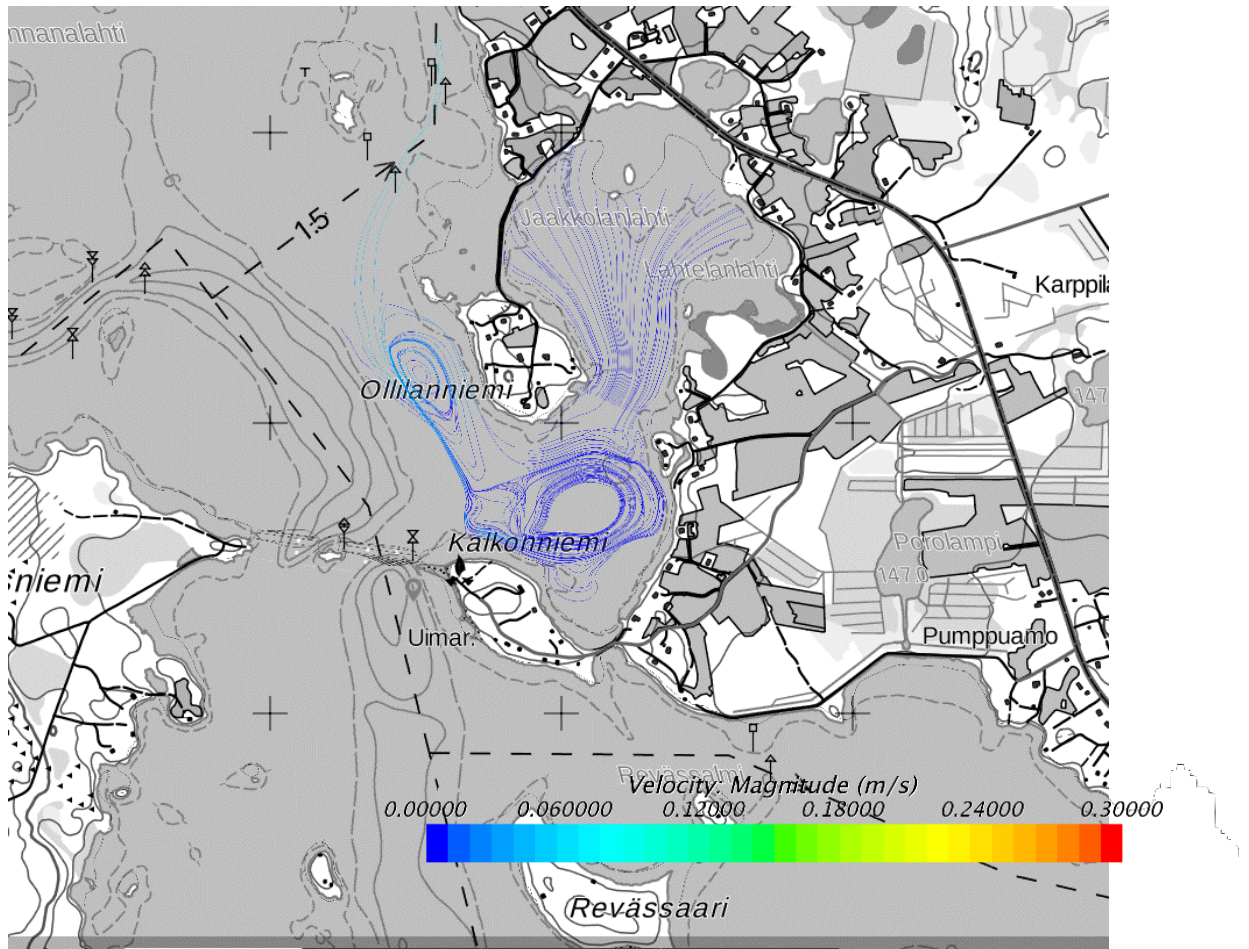


*Kuva 12 Tapaus 1, virtaviivat alkaen padon alavirran puolelta.*

Alavirran puolelta alkunsa saaneet virtaviivat osoittavat, että purkuveden päästäminen muualta kuin voimakkaimmasta päävirrasta saa aikaan akan- eli takaisinvirtauksia ja niistä johtuvia jätevesikertymiä.



Seuraavassa virtaviivajäljitys kuvassa (Kuva 13) on esitetty erillinen tarkastelu Jaakkolanlahden virtauksista. Kuvassa on havainnollistettu lahteen tulevia virtauksia, kuvasta nähdään mistä lahteen tulee vettä ja minne se kulkeutuu.



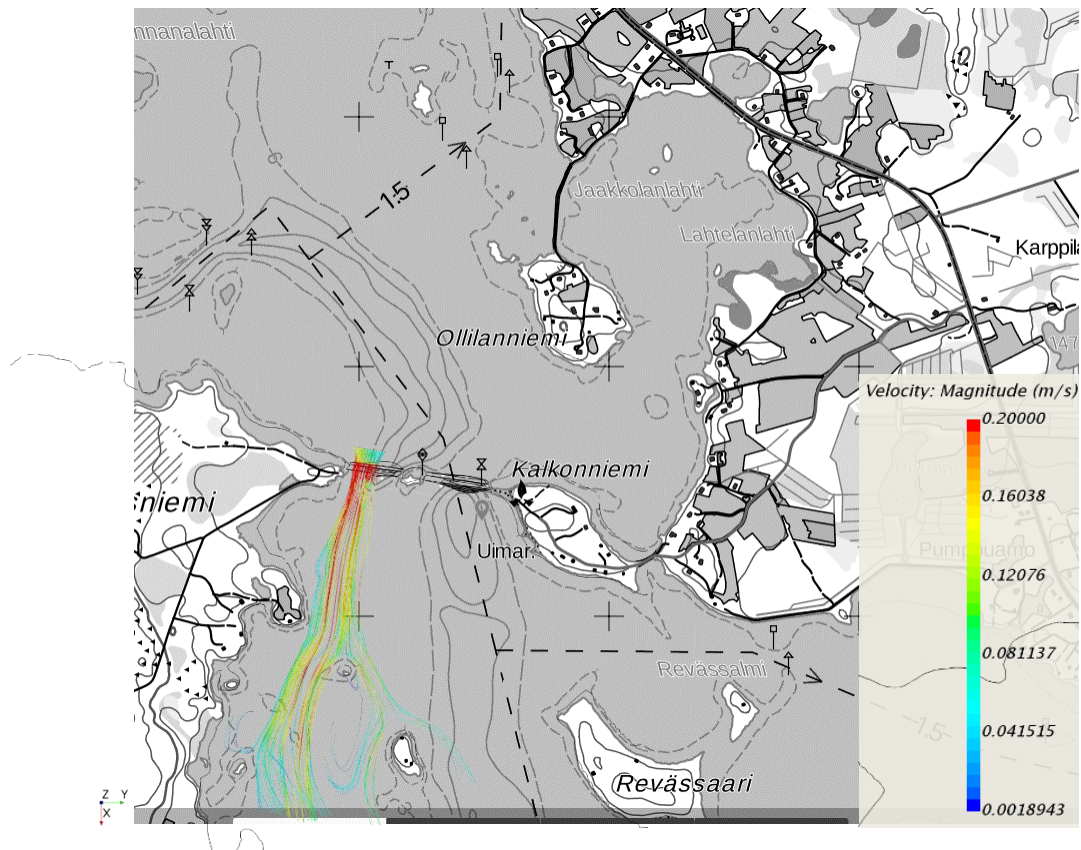
**Kuva 13** Tapaus 1, virtaviivat padon ylävirran puolelta. Virtaviivat on päästetty Jaakkolanlahden poukamasta päävirtauksen tulosuuntaan.

Jaakkolanlahden virtaviivajäljityksistä nähdään, että sinne saapuva vesi kulkeutuu Ollilanniemen ja Kalkonniemen kautta. Lahteen suuntautuvat virtaukset ovat melko hitaita, suurimmat nopeudet nähdään lähellä järven päävirtaa Ollilanniemen kohdalla.

Purkuputken sijoittaminen padon itäpuolelle ylävirtaan voisi tämän perusteella lisätä jäteveden kulkeutumisriskiä Jaakkolanlahteen.

*Purkupaikan vaikutus, Tapaus 2 ja 3*

Tapaus 2 laskennassa jätevesi päästetään purkautumaan 58 m etäisyydeltä padon yläreunasta, järvi on talveden (0,2 °C) lämpötilassa.



**Kuva 14** Tapaus 2, virtaviivat padon ylävirran puolelta.

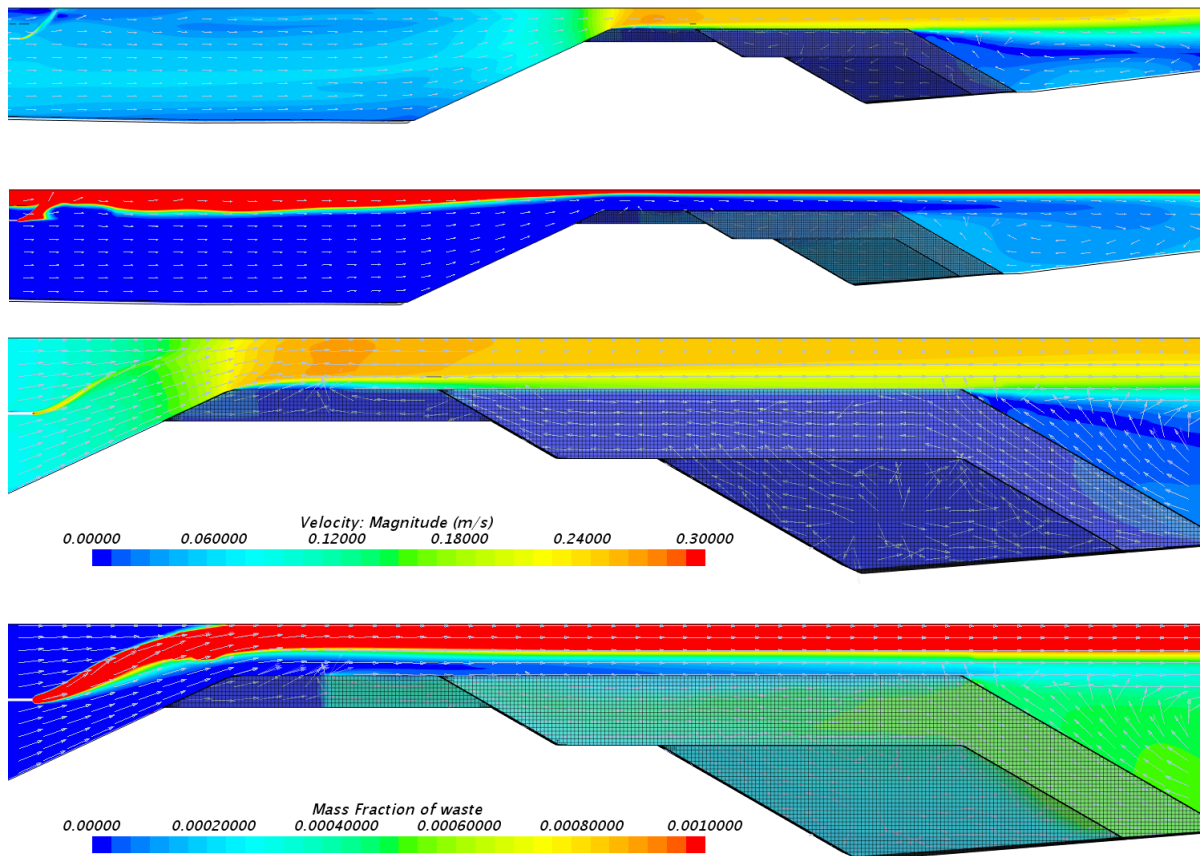
Padon ylävirran puolelta alkaneet virtaviivat seurailevat odotetusti järven päävirtauksia tässä tilanteessa.



Seuraavassa on tutkittu nopeus- ja pitoisuusjakaumia yksittäisen suuttimen kohdalla, putken ja padon välissä – sillä alueella missä on havaittu alhaisimmat nopeudet ennen patoa.

Tapaus 3 tapauksessa on purkuputki tuotu lähemmäs patoa, 8 m etäisyydelle padon harjasta.

Nopeus on skaalattu padon kohdalla havaitun suurimman nopeuden mukaan välille 0-0,3 m/s. Pitoisuus on skaalattu välille 0 – 0,001, jolloin suurin arvo vastaa teoriassa täysin sekoittuneen jäteveden pitoisuutta syöttöpisteen jälkeen.



**Kuva 15:** Tapaus 2 yllä ja Tapaus 3 alla, nopeus- ja pitoisuusjakauma purkuputken jälkeen padon kohdalla.

Kuvista nähdään, miten purkautuva jätevesi nousee hyvin nopeasti kohti järven pintaa veden tiheyseron vaikutuksesta.

Suuremmalla etäisyydellä (58 m) padosta on järven virtausnopeus vielä melko hidas syöttöpisteen kohdalla, jolloin jätevettä pääsee kertymään syöttöalueelle suurempia pitoisuuksia. Tämä hitaasti liikkuva pintavesi voi levitä laajalle alueelle ja periaatteessa kulkeutua tuulen mukana myös vastavirtaan ja sivusuuntaan eli siis myös Jaakkolanlahden suuntaan.

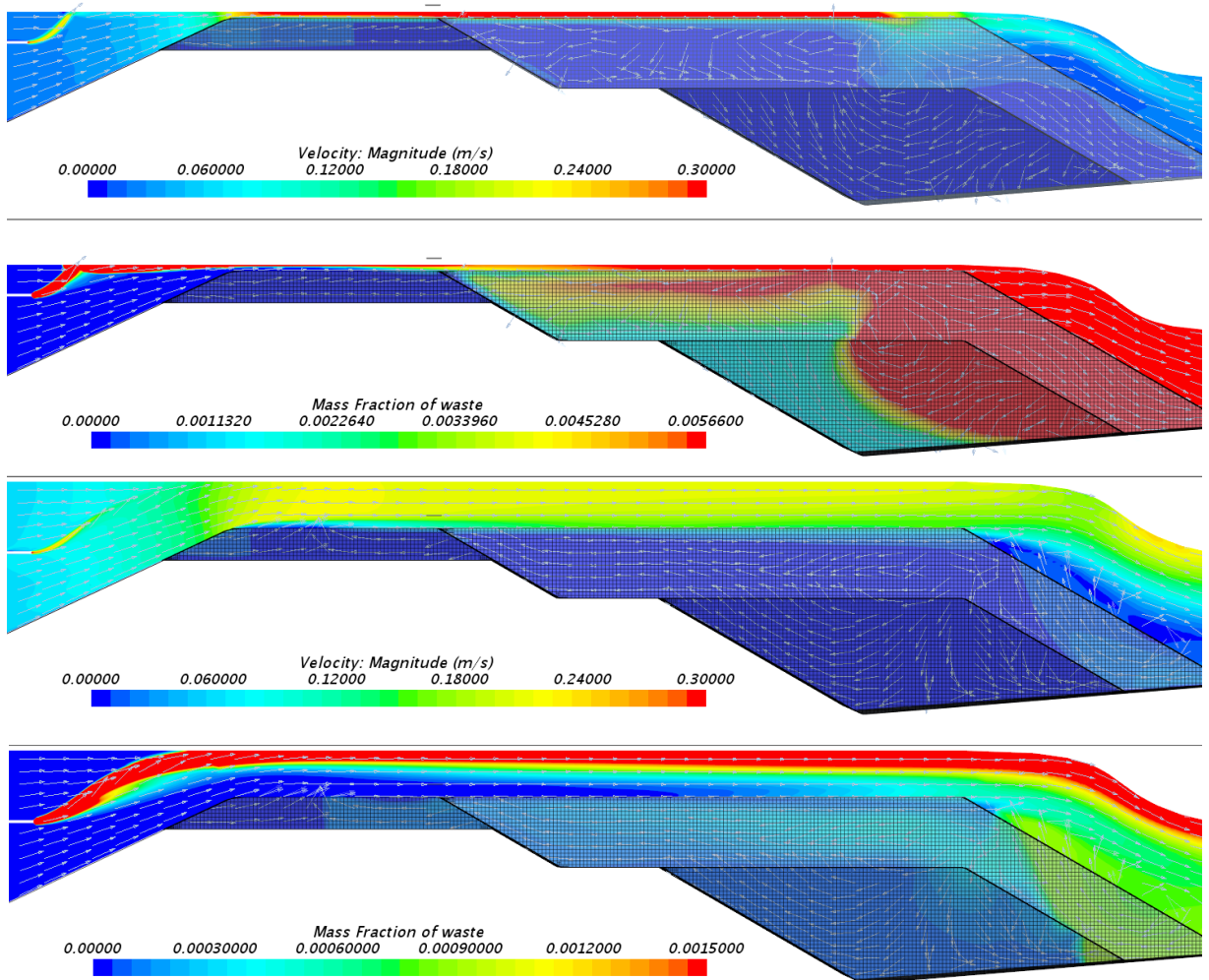
Padon lähellä järveden kiihtyvä virtausnopeus imaisee jätevesisuihkun paremmin mukaansa alavirtaan, jolloin jätevettä ei jää ylävirran puolelle. Jäteveden sekoittuminen on padon kohdalla myös tehokkaampaa kuin edellisessä tapauksessa, louheen alueella muodostuvien voimakkaampien nopeusgradienttien vaikutuksesta.

*Virtaaman ja vedenkorkeuden vaikutus, Tapaus 4 ja 5*

Tapaus 4 tapauksessa on laskettu alivirtaamatilanne järven ollessa talviveden (0,2 °C) lämpötilassa. Teoreettinen sekoituspitoisuus on tässä tilanteessa huomattavasti korkeampi kuin keskivirtaamalla, koska jätevettä tulee suhteessa läpivirtaamaan suurempi määrä. Padon ylä- ja alavirran välinen korkeusero on 4 m.

Tapaus 5 on laskettu talviveden lämpötilassa 200 m<sup>3</sup>/s virtausmäärällä patojen yli. Korkeusero padon ylä- ja alapuolten välillä on sama 4 m kuin alivirtaamalla.

Pitoisuuskuva on skaalattu niin että suurin arvo vastaa teoreettisesti täysin sekoittuneen jäteveden pitoisuutta kummassakin tilanteessa.



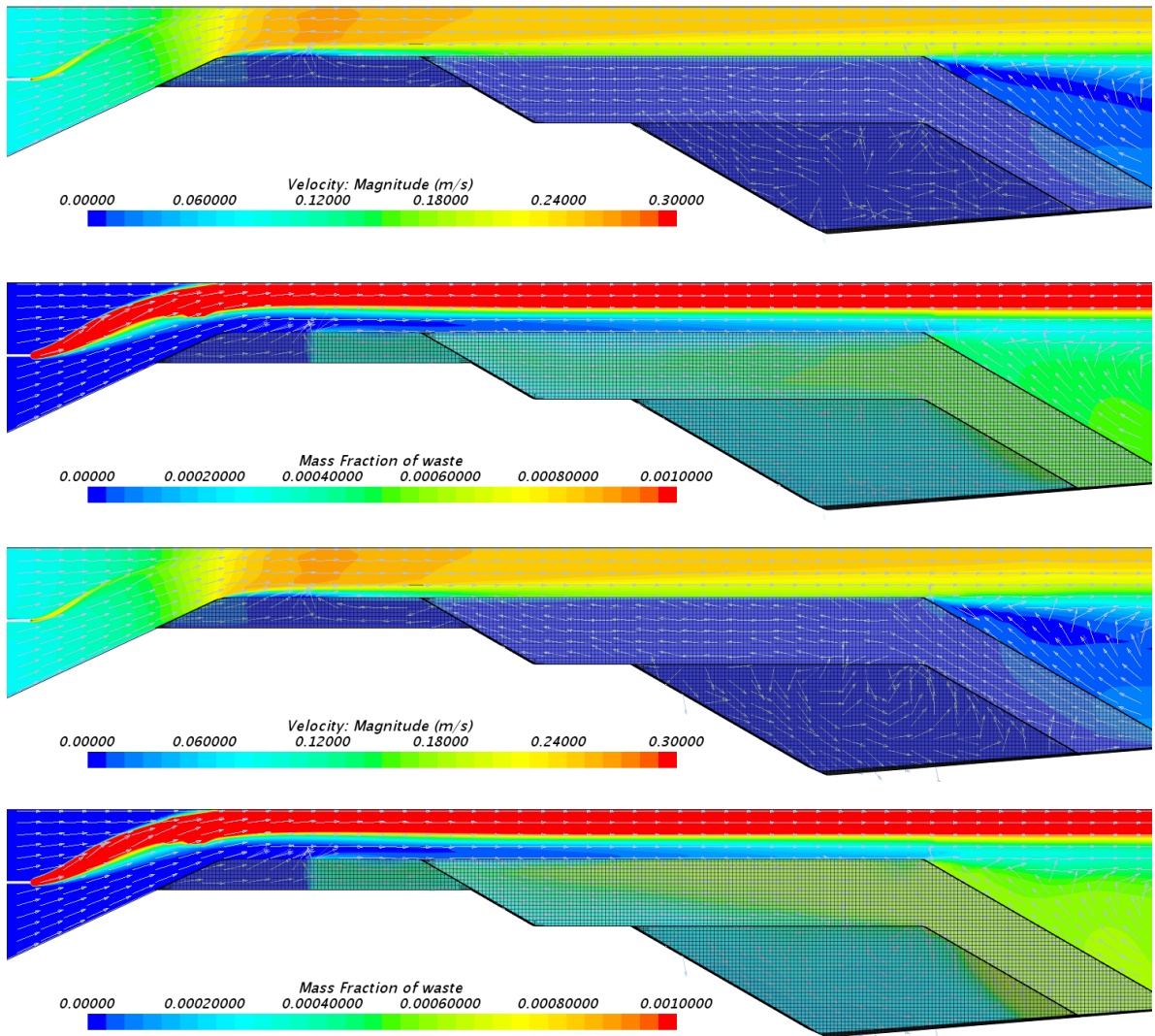
**Kuva 16:** Tapaus 4 yllä Tapaus 5 alla, nopeus- ja pitoisuusjakauma purkuputken jälkeen padon kohdalla.

Sekoittuminen järviveteen toimii myös pienellä virtaamalla; jätevesi nousee muita tapauksia nopeammin järven pintaan, mutta jatkaa suoraan kohti padon ylijooksua eikä kertymiä ylävirran puolella ole havaittavissa. Padon vaikutuksesta kiihtyvä järviveden virtaus riittää pienimmälläkin vesimäärällä imaisemaan jätevesisuihkun mukaansa padon yli.

Sekoittuminen padon kohdalla on hyvin voimakasta ja pitoisuudet jo välittömästi padon jälkeen osoittavat, että jätevesi on täysin sekoittunut järviveteen alivirtaamalla, suuremmalla virtaamalla sekoittuminen on vähän hitaampaa padon jälkeen.

*Veden lämpötilan vaikutus, Tapaus 6 ja 7*

Veden lämpötilan vaikutusta jäteveden sekoittumiseen on tarkasteltu talvedellä 0,2 °C ja kesävedellä 15 °C. Vesien tiheys ja viskositeetti ovat molemmat lämpötilasta riippuvia, joten pieniä eroja voidaan havaita suihkun nousunopeudessa ja sekoittumisessa.



*Kuva 17: Tapaus 6 yllä Tapaus 7 alla, nopeus- ja pitoisuusjakauma purkutupken jälkeen padon kohdalla.*

Talviesitilanteessa suihku nousee keskivedellä 28° kulmassa ylöspäin suhteessa vaakasuoraan, tämä on 9° jyrkemmässä kulmassa kuin kesävedellä. Molemmat jätevesisuihkut kulkeutuvat suihkun nousunopeuden eroista huolimatta purkukohtasta hyvin nopeasti padon ylitse menevän järviveden mukaan ja sekoittuvat lähes yhtä tehokkaasti.

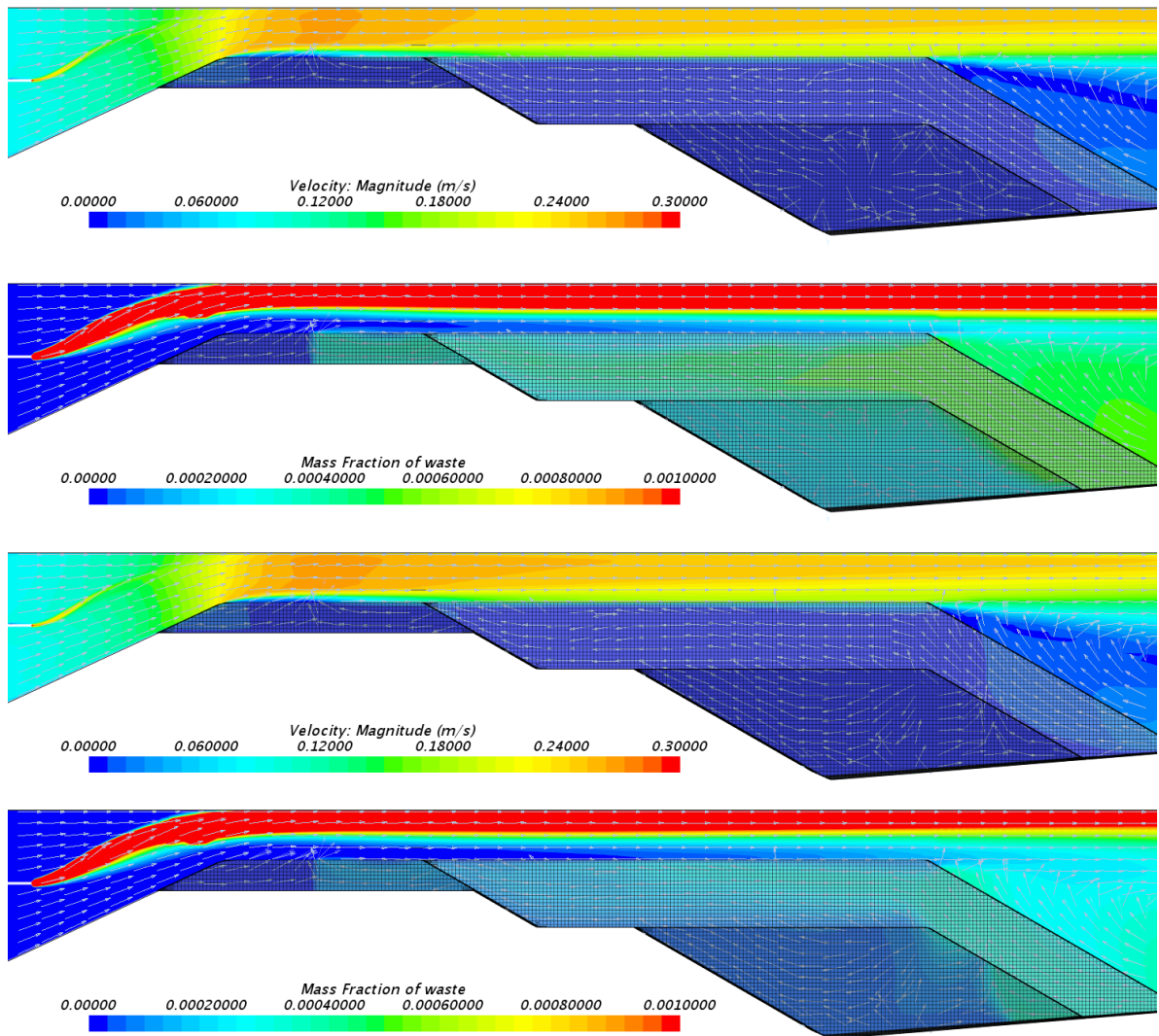
Talvedellä on sekoittuminen jonkin verran heikompaa verrattuna kesävesitilanteeseen johtuen suuremmasta viskositeettierosta purkuveden ja järviveden välillä.



Tuulen vaikutus, Tapaus 8 ja 9

Tuulen vaikutusta sekoittumiseen tai jäteveden kulkeutumiseen on tarkasteltu SE ja SW suunnista tulevalla tuulella, jonka nopeus on 5 m/s.

Tuulen vaikutusta on verrattu tyynellä laskettuun vastaavaan tapaukseen keskivedellä ja taliveden lämpötilassa. Taliveden lämpötilassa noste on voimakkain ja tuulen vaikutus pitäisi olla merkittävin.



Kuva 18: Tapaus 6 yllä Tapaus 8/9 alla, nopeus- ja pitoisuusjakauma purkputken jälkeen padon kohdalla.

Tuulen vaikutukset lounais/kaakkois (SW/SE) -suunnilla on padon kohdalla täysin samanlaiset. Tuulen vaikutuksesta sekoittuminen padon jälkeen on hieman heikompi kuin ilman tuulta. Nopeus- tai pitoisuuskentässä ei ole kovinkaan merkittäviä eroja havaittavissa. Lähellä järvenpintaa voidaan havaita, että tuulen vaikutuksesta pinnan liike on hitaampaa kuin tyynellä – tästä syystä suihku tunkeutuu hieman voimakkaampana padon läpi, mikä vaikuttaa jonkin verran jäteveden sekoittumiseen.



Tuulen suunnalla tai voimakkuudella ei havaita oleellista vaikutusta jäteveden purkautumiseen tai sekoittumiseen. Tuulen voimakkuutta kokeiltiin laskennassa lisätä aina 20 m/s tuulen nopeuteen saakka, ja havaittu ilmiö pysyi samanlaisena kuin 5 m/s tuulella, ainoastaan pintakerros kulkee hitaammin virran mukana ja muodostuva jätevesisuihku saavuttaa hieman suuremman nopeuden.

#### 4. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa on selvitetty Kemijärveen syötettävän jäteveden muodostamia suihkuvirtauksia. Laskennalla on selvitetty mahdollisimman hyvä purkupaikka Kemijärven pohjapadon lähellä sekä eri olosuhteiden vaikutuksia jätevesisuihkun käyttäytymiseen.

Vaihtoehtoisina purkupaikkoina on ajateltu olevan padon länsi- ja itäpuolet näiden ylä- tai alavirrassa.

Purkupaikan sijoittaminen länsipuolen padon ylävirtaan oli selvitysten mukaan paras vaihtoehto. Itäpuolen padon läheisyyteen asetettavalle purkuputkelle on olemassa muutamia käyttöön liittyviä riskitekijöitä: padon yläpuolelle syötetty jätevesi voisi jossain olosuhteissa päätyä Jaakkolanlahteen, tosin syöttöpisteen valinta aivan lähelle patoa (vastaavasti kuin Tapaus 3) pitäisi tosin poistaa tämän riskin. Toisaalta haluttiin välttää myös jäteveden pitoisuuden kohoamista idänpuoleisen padon alavirrassa olevalla uimarannalla. Näiden lisäksi idänpuoleisen padon yli kulkee veneväylä, joka osaltaan lisäisi syöttöputkien vaurioitumisriskiä.

Länsipuoleisen padon yli ei kulje veneväylää, joten siellä ei ole niistä aiheutuvaa vaurioitumisriskiä. Länsipuolella päädyttiin padon yläpuoliseen sijoittamiseen jäteveden kulkeutumista kuvaavien virtaviivajäljitysten perusteella, nähtiin että alavirtaan sijoitettuna purkuputkesta päästettyä jätevettä lähtee helposti kulkeutumaan akanvirtojen mukana ja kertymään erilaisten saarekkeiden ja niemien muodostamille katvealueille. Syöttö alapuolelle edellyttäisi, että suihkut osuvat aina voimakkaan virtauksen alueelle. Lisäksi alapuolella veden korkeus vaihtelee runsaasti, jolloin myös syöttöputkesta tulevan jäteveden sekoittuminen ja syöttö vaihtelisi vastaavasti.

Syöttöputken sijoittaminen läntisen padon ylävirran puolelle oli selvitysten mukaan paras vaihtoehto, ja tarkemman analyysin mukaan sielläkin syöttöpisteen etäisyydellä padosta on huomattava merkitys suihkuvirtauksen käyttäytymiselle. Syöttöpisteen sijoittaminen tutkitulle 58 m etäisyydelle padon yläreunasta mahdollisti jäteveden kertymisen järven pintaan, jolloin hitaan virtauksen vallitessa ja voimakkaalla etelän puolelta puhaltavalla tuulella riski pintaveden kulkeutumiselle vastavirtaan kasvaa. Sen sijaan tarkastellulla etäisyydellä 8 m ei tällaista riskiä voida enää havaita. Lähelle padon harjaa asetettu suihkuvirtaus kulkeutuu kaikissa olosuhteissa padon yli kiihtyvän järiveden mukaan sekoittuen tehokkaasti tänne muodostuvan voimakkaamman turbulenssin vaikutuksesta.

Purkautuva suihkuvirtaus sekoittui laskennan mukaan tehokkaimmin alivirtaaman olosuhteissa, tällöin padon harjan päällä olevat nopeuserot muodostavat sekoittumista tehostavaa turbulenssia vielä enemmän, ja tuloksena on täysin sekoittunut pitoisuus padon jälkeen. Vesimäärän lisääntyessä suihkuvirtauksen kulkeutuminen on edelleen yksiselitteisesti padon harjan yli, mutta sekoittuminen hieman rauhoittuu vähenevän turbulenssin vaikutuksesta.

Suihkuvirtaus nousee kaikissa tutkituissa olosuhteissa aina ylöspäin melko voimakkaasti, koska tulosuihku on huomattavasti ympäröivää järvivettä lämpimämpää ja kevyempää. Kesä- ja talveden ero oli kuitenkin selvä, kesäolosuhteissa suihkun lähtökulma on hieman vajaa 10° enemmän vaakasuorassa kuin talviolosuhteissa. Suihkun lähtökulma on

keskivedellä talviolosuhteissa 28° vaakasuorasta linjasta ylöspäin. Talviolosuhteissa suihkun ja järviveden välinen tiheys- ja viskositeettiero ovat myös suurempia, jolloin suihku sekoittuu hieman hitaammin järviveteen. Suihkun lähtökulmalla ei ole oleellista vaikutusta sen kulkeutumiseen padon yli, kaikissa tutkituissa olosuhteissa suihku lähti kulkemaan yksiselitteisesti padon yli menevän kiihtyvän virtauksen mukana ja sekoittuminen padon kohdalla muodostuvan turbulenssin vaikutuksesta oli eri lämpötiloissa mahdollisimman tehokasta.

Myös tuulella on vaikutusta suihkun kulkeutumiseen, kuten tuloksista voitiin havaita. Tutkituilla vastavirtaan puhaltavilla tuulilla saatiin aikaan pintaveden hidastumista, jolloin suihku kapeni pintakerrokseen muodostuneen rajakerroksen vaikutuksesta ja eteni hieman suuremmalla nopeudella padon ylitse – tästä syystä heti padon jälkeen havaitut pitoisuudet poikkeavat hieman tuulettomissa ja tuulisissa olosuhteissa toisistaan. Merkittäviä eroja pitoisuuksissa ei havaita, myös suihkun kulkeutuminen padon ylitse on tutkituissa tuuliolosuhteissa yksiselitteistä. Tuulen nopeutta lisättiin testilaskennoissa aina 20 m/s nopeuteen saakka, ja nähtiin ettei tuulen nopeudella ollut suurta vaikutusta suihkun käyttäytymiseen. Muodostuva nopeusrajaerros pintaveden ja suihkun välillä on hyvin ohut. Ilmiö johtuu veden huomattavasti korkeammasta liikemäärästä, tästä syystä ilman liikkeellä on heikko vaikutus vesimassan liikkumiseen. Mikäli vesi on paikallaan ilman liike saa aikaan aaltoja, jotka voivat lisätä sekoittumista. Tässä laskennassa ei ole huomioitu aaltojen liikettä, koska ilman liikkeestä ei pääse muodostumaan aaltoja padon kohdalla, vesimassan virtauksesta johtuen. Myöskään järven ominaisheilahtelujen (seiches) tai lyhytaikaisäänöstelyn vaikutuksia ei tässä laskennassa ole huomioitu. Niiden merkitys on itseasiassa paikallista sekoittumista lisäävä ja näin ne osaltaan parantavat sekoittumista purkualueella.

Laskennassa ei ole tutkittu suihkuvirtausten toimintaa talvella, kun järvi on saanut jääpeitteen. Lämmin suihku nousee tuolloinkin kohti pintaa ja heikentää jääpeitettä mahdollisesti pitkältikin alueelta, toisaalta padon kiihdyttämä järviveden virtausnopeus pyrkii jo pitämään veden sulana padon kohdalla, jolloin suihkuvirtauksilla ei ole tässä kohtaa oleellista vaikutusta jääpeitteeseen.

Laskennassa ei ole itse syöttöputken geometriaa sisällytetty malliin, jolloin sen paikallinen vaikutus virtauksiin jää huomiotta. Purkuputken geometrian huomioimisella ei ole vaikutusta tässä työssä tutkittuihin ilmiöihin sekoittumisen tai virtausten suhteen.

Kevätjäiden lähtö liikkeelle ja mahdollinen kasautuminen padon ylävirtaan tuo mahdollisesti syöttöputkelle kuormituksen, jota se ei välttämättä kestä. Ehdotus jatkoselvitysten tekemiseksi olisi tutkia ja suunnitella putken sijoittaminen niin, että se olisi osa patorakennetta. Putki tulisi sijoittaa tällöin lähelle nykyistä padon yläreunaa ja peittää esimerkiksi louheella niin, ettei jäät pääse vaurioittamaan putkea. Syöttöputkien suihkut tulisi ohjata tällöin sellaiseen kohtaan, missä järviveden nopeus on jo kiihtynyt korkeammaksi, tällä varmistetaan purkuveden kulkeutuminen nopeasti virtaavan järviveden mukana sekä tehokkaampi sekoittuminen padon ylityksen kohdalla.

**Viittaukset:**

- /1/ Boreal Bioref Oy, (2017) *Kemijärven Biojalostamon Ympäristövaikutusten arviointiselostus* [katsottu lokakuussa 2018], Saatavilla [www -sivulta: http://www.borealbioref.fi/fi/uutiset/yva-selostus.pdf](http://www.borealbioref.fi/fi/uutiset/yva-selostus.pdf)
- /2, 3/ Kemijoki Oy, R45KMJ 39521 M1, *Kemijärven Pohjapato*, R44KMJ 39522 M1, *Kemijärven Pohjapato poikkileikkaukset A-A ja B-B*.
- /4/ StarCCM+ porous media theory, Huang, H., and Ayoub, J., (March 2008). "Applicability of the Forchheimer Equation for Non-Darcy Flow in Porous Media". SPE Journal, pp. 112-122.
- /5/ Uponor, (28.8.2018) *Preliminary Technical calculation report Revision 0*, Boreal Bioref – Hydraulic analysis and design of the effluent line diffuser, Figure 5
- /6/ FCG, (2017), *P34083/2017 Virtaama- ja vedenkorkeustiedot Kemijärveltä* (Kemijärven Jaakkolanlahden kunnostus).

**Taulukko 4.** Kemijärven arvioidut merkittävät virtaamat Jaakkolanlahden länsipuolella sijaitsevan Termusniemen pohjapadon kohdalla sekä virtaamia vastaavat merkittävät vedenkorkeudet Kemijärven havaintoasemalla 27.10.1992-16.10.2017 tehtyjen havaintojen perusteella (SYKE, Hertta-palvelu, 20.11.2017).

Merkittävät virtaamat	[m <sup>3</sup> /s]	Merkittävät vedenkorkeudet	N <sub>43</sub> + [m]	N <sub>2000</sub> + [m]
HQ, ylivirtaama	1730	HW, ylivesi	149,05	149,51
MHQ, keskiylivirtaama	980	MHW, keskiylivesi	148,98	149,44
MQ, keskivirtaama	270	MW, keskivesi	147,80	148,26
MNQ, keskialivirtaama	53	MNW, keskialivesi	146,00	146,46
NQ, alivirtaama	35	NW, alivesi	145,82	146,28

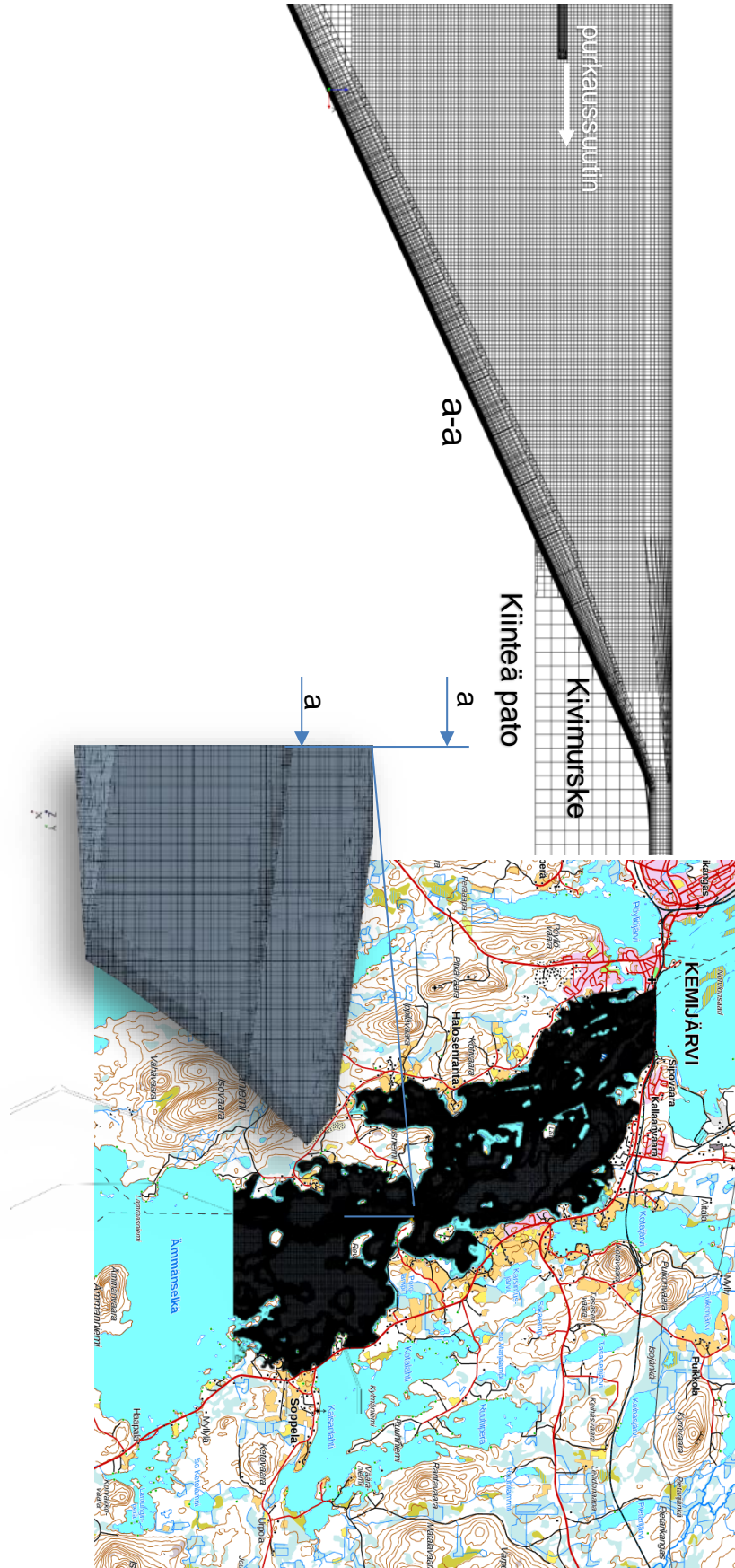
Virtaaman keskimääräinen vuorokausittainen vaihtelu on arviolta noin 41 m<sup>3</sup>/s Jaakkolanlahden länsipuolella.

**Liite**

*kuvien suurennokset*

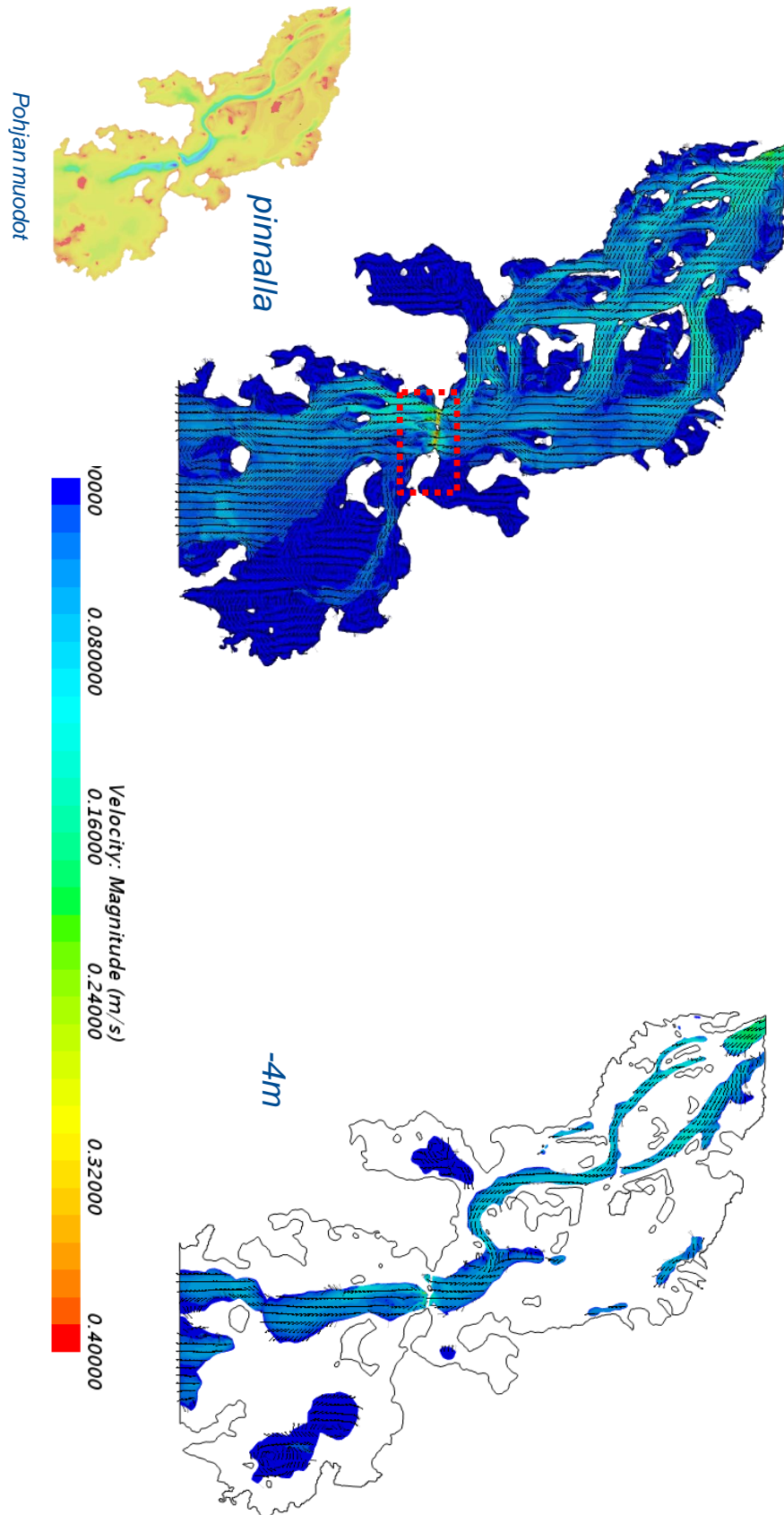
- Kuva 4
- Kuva 5
- Kuva 10













Osasuurennos kuvasta 10, padon kohdalta

