



Väyläviraston tutkimuksia  
12/2019

# PINTAVEDENOTON SUHTEEN KRIITTISIMMÄT VÄYLÄ- OSUUKSET LIIKENTEEEN JA VÄYLÄNPIDON KANNALTA





**Pintavedenoton suhteen kriittisimmät  
väyläosuudet liikenteen ja  
väylänpidon kannalta**

Väyläviraston tutkimuksia 12/2019

*Kannen kuva: Lentokuva Vallas Oy / Väylävirasto*

Verkojulkaisu pdf ([www.vayla.fi](http://www.vayla.fi))

ISSN 2490-0982

ISBN 978-952-317-694-2

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puh. 0295 34 3000

**Pintavedenoton suhteen kriittisimmät väyläosuudet liikenteen ja väylänpidon kannalta.** Väylävirasto. Helsinki 2019. Väyläviraston tutkimuksia 12/2019. 46 sivua ja 5 liitettä. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-694-2.

**Avainsanat:** pintavesi, vedenotto, vedenlaatu, väylät

## Tiivistelmä

Suomessa pintavettä hyödynnetään talousveden raakavetenä ja teollisuuslaitoksissa. Väyläviraston hallinnoimilla väylillä tapahtuva liikenne, kunnossapito ja onnettomuustilanteet voivat aiheuttaa ongelmia pintavesien laadulle ja sitä kautta riskin pintavedenottamoiden toiminnalle.

Tämän Väyläviraston T&K-hankkeen tarkoituksena oli tunnistaa niitä väyläosuuksia (maantiet, rautatiet ja Saimaan syväväylät), jotka voivat aiheuttaa riskin pintavedenottamoille. Hankkeen tavoitteena oli myös luokitella väyläosuudet suhteessa toisiinsa, jotta toimenpiteitä voidaan jatkossa kohdistaa kriittisimpiin kohteisiin.

Tavoitteiden toteuttamiseksi kerättiin tietoa muun muassa väylien liikennemääristä, kunnossapidon luokituksista ja vaarallisten aineiden kuljetuksista. Paikkatietoanalyysillä tunnistettiin riskialtteimmat väyläosuudet, jotka priorisoiitiin monikriteerianalyysin avulla käyttäen muun muassa edellä mainittuja aineistoja.

Paikkatietoanalyysin tuloksena pintavedenoton suhteen riskialtteimmiksi väyläosuusiksi tunnistettiin noin 6 % kaikista Suomen maantiekilometreistä. Vastaava prosenttiluku rautateiltä oli 13 %. Saimaan syväväylillä riskialtteimmiksi väyläosuusiksi määritettiin Älykö-hankkeessa tunnistetut vaativat väyläosuudet. Priorisoinnin jälkeen korkeimman riskin luokkaan sijoittui yhteensä 302 maantieosuutta, 50 rautatieosuutta ja viisi Saimaan syväväylien osuutta. Maantieosuuksien pituuden keskiarvo oli 1,5 km ja maksimipituus 23,3 km. Rautatieosuuden pituuden keskiarvo oli 2,0 km ja maksimipituus 13,2 km. Saimaan syväväylien osuuskien pituudet vaihtelivat 1,1 km ja 35,2 km välillä.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että monikriteeriarvioinnilla korkeimpaan riskiluokkaan seuloutui etenkin korkeiden liikennemäärien väyläosuuksia. Koska valittujen maanteiden ja rautateiden rajaukseen, lähtötietoihin ja varsinaiseen monikriteerianalyysiin sisältyy epävarmuustekijöitä, tulisi jatkossa etenkin korkeimpaan riskiluokkaan sijoittuvia väyliä tarkastella myös väyläkohtaisiin asiantuntija-arvioin. Tällä tavoin pystytään tunnistamaan ne väyläosuudet, joilla on suurin tarve riskiä vähentäville toimenpiteille.

**De med tanke på trafiken och trafikledshållningen mest kritiska trafikledsavsnitten för upptagning av ytvatten.** Trafikledsverket. Helsingfors 2019. Trafikledsverkets undersökningar 12/2019. 46 sidor och 5 bilagor. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-694-2.

## Sammanfattning

I Finland utnyttjas ytvatten som råvatten för hushållsvatten samt i industri- anläggningar. Trafiken på, underhållet av och olyckorna på de trafikleder som Trafikledsverket förvaltar kan orsaka problem för ytvattenkvaliteten och därigenom en risk för ytvattentagens verksamhet.

Syftet med detta FoU-projekt vid Trafikledsverket var att identifiera de trafikledsavsnitt (landsvägar och järnvägar samt djupfarlederna i Saimen) som kan medföra en risk för ytvattentag. Målet var också att klassificera trafikledsavsnitten i förhållande till varandra, så att åtgärderna framöver kan riktas till de mest kritiska ställena.

För att uppnå målen insamlades data om bland annat trafikvolymen på trafiklederna, klassificeringen av underhållet och transporten av farliga ämnen. En analys av geografisk information identifierade de mest riskfyllda trafikledsavsnitten, vilka prioriterades utifrån en multikriterieanalys som baserade sig på bland annat ovan nämnda material.

Resultatet gav vid handen att cirka 6 procent av alla landsvägskilometer i Finland hör till de mest riskfyllda trafikledsavsnitten för upptagning av ytvatten. För järnvägen var motsvarande siffra 13 procent. I Saimens djupfarleder fastställdes de krävande trafikledsavsnitten som hade identifierats i det s.k. Älykö-projektet ("Smarta metoder för att bekämpa miljöskador") till de mest riskfyllda trafikledsavsnitten. Efter prioriteringen ingick totalt 302 landsvägsavsnitt, 50 järnvägsavsnitt och fem avsnitt i Saimens djupfarleder i den högsta riskklassen. Landsvägsavsnittens genomsnittliga längd var 1,5 km och maximala längd 23,3 km. Järnvägsavsnittens genomsnittliga längd var 2,0 km och maximala längd 13,2 km. Längden på avsnitten i Saimens djupfarleder varierade mellan 1,1 km och 35,2 km.

Utifrån resultaten kan man konstatera att det särskilt är trafikledsavsnitt med stora trafikvolymen som enligt multikriteriebedömningen ingår i den högsta riskklassen. Eftersom det finns osäkerhetsfaktorer i avgränsningen av valda landsvägar och järnvägar samt i utgångsdata och den egentliga multikriterieanalysen, bör särskilt de trafikleder som ingår i den högsta riskklassen framöver även granskas genom trafikledsspecifika expertbedömningar. På så sätt kan man identifiera trafikledsavsnitten med de största behoven av riskreducerande åtgärder.

**The most critical route sections in terms of surface water intake relative to traffic and infrastructure management.** Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2019. Research reports of the Finnish Transport Infrastructure Agency 12/2019. 46 pages and 5 appendices. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-694-2.

## Abstract

In Finland, surface water is utilised as raw water for domestic water and industrial use. The traffic, maintenance and accidents taking place on routes managed by the Finnish Transport Infrastructure Agency can cause problems to the quality of surface waters and, thus, a risk to the operations of surface water intake plants.

This R&D project of the Finnish Transport Infrastructure Agency aimed at identifying those route sections (roads, railways and Saimaa deep channels) that can cause a risk to surface water intake plants. Another objective of the project was to categorise the route sections in relation to each other so that measures can be directed at the most critical sites in the future.

In order to achieve the objectives, data was collected on the amount of traffic on the routes, maintenance classifications and transport of dangerous goods. Geographic data analysis was used to identify the most high-risk route sections, which were prioritised by means of multi-criteria analysis using materials such as those mentioned above.

As a result of geographic data analysis, about 6% of all Finnish road kilometres were categorised as most high-risk route sections in terms of surface water intake. The corresponding percentage on the railways was 13%. In the Saimaa deep channels, the most high-risk route sections were the demanding route sections identified in the Älykö project. After prioritisation, the highest risk category included a total of 302 road sections, 50 railway sections, and five Saimaa deep channel sections. The average length of the road sections was 1.5 km and the maximum length was 23.3 km. The average length of the railway sections was 2.0 km and the maximum length was 13.2 km. The lengths of the Saimaa deep channels varied between 1.1 km and 35.2 km.

Based on the results, it can be concluded that the multi-criteria assessment particularly assigned road sections with high traffic volumes to the highest risk category. As there are uncertainties in the limitation, initial information and the actual multi-criteria analysis of the chosen roads and railways, the routes in the highest risk category should also be subjected to route-specific expert assessments in the future. This would enable the identification of those route sections that are most in need of risk-reducing measures.

---

## Esipuhe

Työssä kehitettiin menetelmä pintavedenotolle riskiä aiheuttavien väyläosuusien tunnistamiseen. Työ tehtiin väylien liikenteestä ja kunnossapidosta pintavedenotolle aiheutuvan riskin arvioinnin kehittämiseksi. Väyläviraston ympäristöohjelman 2017–2020 tavoitteena pintavesien osalta on selvittää riskialtteimmat raakavetenä käytettävät pintavesialueet ja määritellä niille tarvittavat riskien torjuntatoimet.

Työn on tilannut Väylävirasto ja sitä ovat ohjanneet Soile Knuuti, Tuula Säämänen, Olli Holm, Katri Kallio, Laura Pennanen ja Susanna Koivujärvi. Ramboll Finland Oy:stä työhön ovat osallistuneet Kim Brander, Oona Niiranen ja Eero Salminen sekä Suomen ympäristökeskuksesta (SYKE) Sanna Vienonen, Mika Marttunen, Markus Huttunen ja Sirkku Tuominen.

Helsingissä toukokuussa 2019

Väylävirasto  
Tekniikka- ja ympäristöosasto



# Sisältö

1	JOHDANTO .....	8
2	AINEISTOT .....	9
2.1	Tarkastelussa mukana olevat aineistot .....	9
2.2	Tarkastelusta pois jätetyt aineistot.....	10
3	MENETELMÄT .....	12
3.1	Riskialtimpien väyläosuusien rajausta maanteilla ja rautateilla.....	12
3.1.1	VEMALA-mallin viipymäaineisto .....	12
3.1.2	Kilometrimääräinen varoalue .....	14
3.1.3	Väylätarkastelu uomien ja järvien läheisyydessä .....	14
3.2	Väyläosuusien priorisointi monikriteeriarvioinnilla maanteilla ja rautateilla .....	16
3.2.1	Arvopuuanalyysi väylien pintavedenotolle aiheuttaman riskin arvioinnissa .....	16
3.2.2	Maantiet .....	19
3.2.3	Rautatiet.....	21
3.2.4	Mittareiden arvofunktiot .....	22
3.2.5	Painoarvojen määrittäminen kriteereille .....	23
3.2.6	Väylien kokonaisriskipisteiden laskenta ja riskiluokat .....	25
3.3	Saimaan syväväylät.....	27
4	TULOKSET.....	29
4.1	Väyläosuusien luokittelu rautateilla ja maanteilla.....	29
4.2	Rautateiden ja maanteiden tulosten tarkastelu .....	34
4.3	Saimaan syväväylät.....	37
4.4	Epävarmuudet tarkastelussa.....	39
4.4.1	Paikkatietoanalyysin epävarmuudet .....	39
4.4.2	Vedenottamoihin liittyvät epävarmuudet.....	39
4.4.3	Painoarvojen määrittäminen.....	40
4.4.4	Muut epävarmuudet.....	42
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	44
6	JATKOTOIMENPIDETARPEET .....	45
LIITTEET		
Liite 1	Painoarvojen määrittäminen, kyselylomake ja perustelut	
Liite 2A ja B	Tuloskartat, maantiet	
Liite 3A ja B	Tuloskartat, rautatiet	
Liite 4	Tuloskartta, Saimaan syväväylä	
Liite 5	Haitallisten aineiden luokittelumahdollisuuksia	

# 1 Johdanto

Pintavettä käytetään Suomessa sekä talousveden raakavetenä että teollisuuslaitosten prosessi- ja jäähdytysvetenä. Suomen ympäristökeskuksen ja Väyläviraston tekemän esiselvityksen mukaan merkittävimpiä pintaveden käyttäjiä talousveden raakavetenä ovat pääkaupunkiseutu, Turku, Tampere ja Oulu. Teollisuudessa määrällisesti merkittävimpiä käyttäjiä ovat metsäteollisuus ja energiayhtiöt, jotka käyttävät pintavesiä prosessivetenä tai jäähdytystarkoituksiin. Riskien kannalta voidaan pitää merkittävämpänä sellaista teollisuuden vedenottoa, jossa pintaveden laatu vaikuttaa suoraan prosessiin ja valmistettavien tuotteiden laatuun sekä kuluttajien terveyteen. Elintarviketeollisuus on pintavettä ottavista teollisuuslaitoksista raakaveden saastumisen kannalta riskialttein teollisuudenala, vaikka elintarviketeollisuuslaitokset käyttävätkin pääosin pohjavettä.

Väylillä tapahtuva liikenne, väylänpito ja onnettomuustilanteet voivat aiheuttaa merkittäviä haittoja pintavesien laadulle ja sitä kautta riskin pintavedenottamoiden vedenhankinnalle ja toiminnalle. Väylävirasto pyrkii monin tavoin kehittämään väylänpidon ympäristötoimintaa ja riskienhallintaa. Pintavedenottamoihin kohdistuvien riskien tunnistaminen on yksi osa tätä toimintaa.

Tämän Väyläviraston T&K-hankkeen tarkoituksena oli tunnistaa niitä väyläosuuksia (maantiet, rautatiet ja Saimaan syväväylät), joista voi aiheutua riskejä pintavedenottamoille. Ensisijaisesti tarkasteltiin mahdollisissa poikkeustilanteissa (kemikaalionnettomuudet ja vuodot) syntyviä riskejä ja haittoja. Hankkeen tavoitteena oli myös luokitella tunnistetut väyläosuudet suhteessa toisiinsa, jotta riskienhallintaan tähtääviä jatkotoimenpiteitä voidaan kohdistaa kriittisiin kohteisiin.

Tavoitteiden toteuttamiseksi kerättiin tietoa muun muassa väylien liikennemääristä, tapahtuneista onnettomuuksista, kunnossapidon luokituksista ja vaarallisten aineiden kuljetuksista. Paikkatietoanalyysillä tunnistettiin riskialtteimmat väyläosuudet, jotka priorisoitiin monikriteerianalyysin avulla käyttäen muun muassa edellä mainittuja aineistoja.

## 2 Aineistot

### 2.1 Tarkastelussa mukana olevat aineistot

Taulukossa 1 on esitelty ne aineistot, joita käytettiin projektin paikkatieto-analyysiin ja/tai väyläosuusien priorisointiin. Aineistot on kerätty henkilökohtaisilla kyselyillä, avoimista paikkatietoaineistoista ja hankkeen esiselvitysvaiheen materiaaleista. Koska osa aineistosta ei ole saatavilla julkiseen käyttöön, niitä ei ole esitetty tämän raportin kuvissa tai kartoissa.

Taulukko 1. Tarkastelussa mukana olevat aineistot.

Aineiston nimi	Muoto	Lähde	Huomiot
<b>Liikennemäärät maanteillä</b>	shp	Väylä	Avoimen datan latauspalvelu
<b>Liikennemäärät rautateillä</b>	shp	Väylä	Hlökohtainen tiedonanto
<b>Raskaan liikenteen liikennemäärät maanteillä</b>	shp	Väylä	Avoimen datan latauspalvelu
<b>Diesel-veturien kulkemat kilometrit rautateillä</b>	xls	Väylä	Hlökohtainen tiedonanto, digitoitu paikkatietoaineistoksi (shp)
<b>VAK-kuljetusten kokonaismäärä maanteillä ja rautateillä</b>	shp	Väylä	Hlökohtainen tiedonanto, ei julkinen aineisto
<b>Maanteiden talvihoitoluokat</b>	shp	Väylä	Avoimen datan latauspalvelu
<b>Rautateiden kunnossapitoluokat</b>	shp	Väylä	Avoimen datan latauspalvelu
<b>Tasoristeykset</b>	shp	Väylä	Avoimen datan latauspalvelu
<b>Väylillä olevat sillat ja rummut</b>	shp	Väylä	Avoimen datan latauspalvelu
<b>Pintavedenottamot (sijainti, tyyppi, vedenottomäärät (teollisuus), jakeluverkoston piirissä olevat henkilöt (yhdyskunta))</b>	shp	SYKE	Salainen aineisto, ei julkiseen jakeluun
<b>Saimaan syväväylien satamien aluskäynnit</b>	xls	Väylä	Hlökohtainen tiedonanto
<b>Saimaan syväväylien sijaintiaineisto</b>	shp	Väylä	Hlökohtainen tiedonanto
<b>Vaativat väyläosuudet Saimaan syväväylillä</b>	pdf	Älykö-hanke	Digitoitu paikkatietoaineistoksi (shp)
<b>Uoma- ja järviaineistot</b>	shp	SYKE	Avoimen datan latauspalvelu

## 2.2 Tarkastelusta pois jätetyt aineistot

Taulukossa 2 on kuvattu sellaisia aineistoja, jotka suunniteltiin otettavan mukaan tarkasteluun. Aineistoja ei kuitenkaan pystytty tiedon rajoitetun saataavuuden, puuttuvan yhtenäisyyden tai muun perustellun syyn takia ottamaan mukaan tarkasteluun.

Taulukko 2. Tarkastelun ulkopuolelle jääneet aineistot.

Aineiston nimi	Muoto	Lähde
<b>Pelastuslaitosten valmius reagoida</b>	pdf, shp	Pelastuslaitokset
<b>Varavedenottomahdollisuus, vedenottamoiden valmius reagoida onnettomuuksiin</b>		Vedenottamot
<b>Riskiä aiheuttavien kemikaalien ja muiden kuljetusten laatu- ja määräaineistot</b>		-
<b>Valuma-alue-rajaukset</b>	shp	SYKE
<b>Rautateillä tapahtuneet onnettomuudet</b>		Väylä
<b>Onnettomuudet maanteillä ja onnettomuusindeksi</b>	shp	Väylä
<b>Saimaan syväväyliltä raportoidut vaaratilanteet</b>		Trafi
<b>Saimaan syväväylillä tapahtuneet onnettomuudet vuonna 2018</b>	xls	Trafi

Pelastuslaitoksien valmiudesta reagoida ei ollut valtakunnallisesti kattavaa ja yhtenäistä tietoa saatavilla, joten aineistoa ei käytetty väylien priorisoinnissa. Tietoa voidaan kuitenkin hyödyntää, kun väyläkohdekohtaisia suunnitelmia laaditaan. Pelastuslaitosten välillä voi olla suuriakin eroja siinä, kuinka hyvin laitokset ovat varautuneet ja kuinka nopeasti ne pystyvät reagoimaan kemikaalionnettomuuksiin. Vaikutuksen viive ja pelastuslaitosten reagointikyky ovat olennaisia seikkoja myös silloin, kun suunnitellaan ja kohdistetaan ennakoivia toimenpiteitä ja torjuntatoimenpiteitä. Pelastuslaitosten alueet on pääosin jaettu seuraaviin vyöhykkeisiin: alle 6 min, alle 10 min, alle 20 min ja yli 20 min.

Vedenottamoilta kerättiin esiselvitysvaiheessa kyselyllä tietoja liittyen muun muassa varavedenottomahdollisuuksiin ja vedenottomäärään. Lisäksi selvitettiin jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden määrää ja vedenottamoiden sijainteja. Aineistot eivät kuitenkaan olleet täysin kattavia: vedenottomääriä ei saatu kaikille yhdyskuntien vedenottamoille, eikä varavedenottomahdollisuudesta saatu tietoa kuin osalta vedenottamoista. Vedenottamoiden valmiudesta reagoida onnettomuustilanteisiin ei ollut saatavilla aineistoa hankkeen tarkoituksiin.

Riskiä aiheuttavien kemikaalien ja muiden kuljetusten laatu- ja määräkriteeriä ei sisällytetty tarkasteluun, koska kattavaa tietoa eri väylillä kuljetettavien aineiden laadusta ja määrästä ei ole saatavilla. Vaikutusten vakavuuteen vaikuttaa ympäristön herkkyyden lisäksi olennaisesti se, millaista ainetta ympäristöön pääsee ja kuinka paljon. Tässä suhteessa eri kohteiden välillä voi olla huomattavia eroja, jos joillakin väylillä kuljetetaan muita väyliä selvästi vaarallisempia ja ympäristöominaisuuksiltaan kriittisempiä aineita. Haitta-aineiden ominaisuuksia ja niiden luokittelumahdollisuuksia on jatkoselvityksiä varten koottu liitteeseen 5.

Ensimmäiset versiot väylien rajauksista toteutettiin valuma-alueiden perusteella niin, että käytettiin hyväksi ns. lähivaluma-alueita. Projektin aikana todettiin uoma- ja järviverkoston soveltuvan paremmin väylien rajaukseen, joten valuma-alueaineistoa ei käytetty lopullisessa rajauksessa.

Onnettomuusaineistoja maanteiltä, rautateiltä ja Saimaan syväväyliltä oli tarkoitus hyödyntää väylien priorisoinnissa. Maanteiden onnettomuusaineistot ovat avoimesti saatavilla, mutta niiden osalta katsottiin, että aineisto olisi ollut päällekkäistä muiden maanteiden turvallisuutta kuvaavien kriteerien kanssa (liikennemäärät, talvihoitoluokat ja maanteilla olevat tasoristeykset). Onnettomuuksien sisällyttäminen neljänneksi turvallisuuskriteeriksi olisi myös johtanut epämielikkääseen arviointitilanteeseen, jossa olisi arvioitu onnettomuuksien tärkeyttä suhteessa kolmeen muuhun kriteeriin väylien turvallisuuden suhteen. Lisäksi se, että väylällä ei ole tapahtunut onnettomuuksia tarkastelujaksolla, ei tarkoita, etteikö niitä voisi tapahtua tulevaisuudessa.

Rautateiden osalta onnettomuusaineistoja ei saatu projektin käyttöön niiden ollessa vain viranomaiskäyttöön. Saimaan syväväyliltä vaaratilanneilmoituksia ei saatu projektin käyttöön niiden ollessa salaista tietoa. Onnettomuustiedot Saimaan osalta saatiin, mutta niitä ei käytetty väyläosuusien priorisointiin datan vähyyden takia.

## 3 Menetelmät

Projektin kaksi tärkeintä tavoitetta oli

1. rajata ne väyläosuudet, joilla liikenteen ja väyläpidon riskit raakaveden-  
otolle pintavesistä ovat kohonneet sekä
2. vertailla edellisessä vaiheessa rajattujen väyläosuuksien riskiä suhteessa toisiinsa.

Tässä luvussa on esitelty menetelmät tavoitteiden toteuttamiseksi. Väyläosuuksien rajaus toteutettiin paikkatietoanalyysin avulla. Väyläosuuksien priorisointiin käytettiin monikriteerianalyysiä.

Tarkasteltaviksi väyliksi määritettiin:

- Väyläviraston vastuulla olevat maantiet,
- rautatiet pois lukien yksityisraiteet sekä
- Saimaan syväväylät.

### 3.1 Riskialtteimpien väyläosuuksien rajaus maanteilla ja rautateilla

Väyläosuudet tunnistettiin paikkatietoanalyysin avulla. Lähtökohtana paikkatietoanalyysille oli pintavedenottamolta ylävirtaan lähtevä uoma- ja järviverkosto. Tarkastelu ulotettiin uoma- ja järviverkostossa ylävirtaan niin, että valittiin varovaisuusperiaatteen mukaisesti laajin rajausyhdistelmä, joka muodostui seuraavien periaatteiden mukaan:

1. Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämän VEMALA-mallin mukaisten uomien ja järvien viipymätietojen avulla uomaverkostosta rajattiin alle 20 vuorokauden viipymäajalla olevat alueet mukaan tarkasteluun.
2. Vedenottamoille luotiin kilometrimääräinen (10 km) varoalue, joka ulotettiin uomaverkostossa ylävirtaan ja järviolosuhteissa kaikkiin suuntiin. Tällä ehkäistiin tilanne, jossa VEMALA-mallin mukaiset viipymätiedot eivät karttatarkastelun perusteella ole järkeviä.
3. Uoma- ja järviverkoston ympärille tarkastelua ulotettiin 500 metrin etäisyydelle uoman keskilinjasta tai järvien rannoilta.

Jokainen väyläosuus sai paikkatietoanalyysin yhteydessä yksilöllisen tunnisteen (FID/nro). Tunnistenumero on juokseva numero karkeasti niin, että numero kasvaa etelästä pohjoiseen. Tunniste on yksilöllinen erikseen maanteille ja rautateille. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi väyläosuus nro 151 esiintyy sekä maanteilla että rautateilla, eikä kyseessä ole sama väyläosuus.

#### 3.1.1 VEMALA-mallin viipymäaineisto

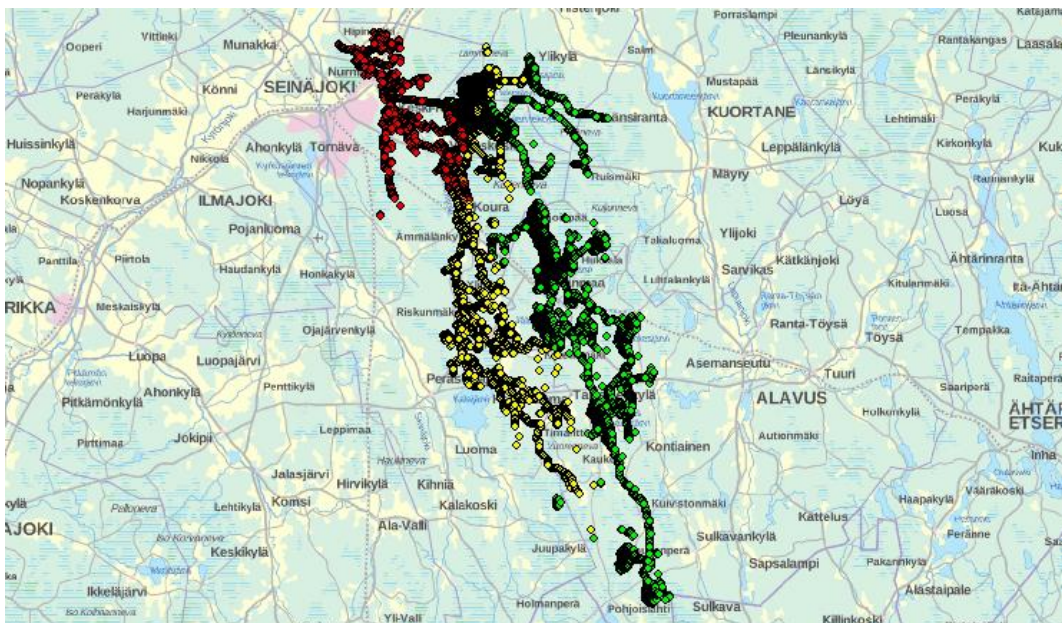
VEMALA-malli on Suomen ympäristökeskuksen kehittämä koko Suomen kattava vesistöjen laskentajärjestelmä, jossa kuvataan vuorokauden aika-askeleella vesimäärien liikkeitä vesistöissä ja ravinteiden ja eräiden haitallisten aineiden kulkeutuminen. VEMALA-mallissa Suomi on jaettu noin 180 000 uoman ja järven valuma-alueeseen. Uomien ja järvien dimensioiden lähtötietoina käytetään karttatietoja, uoma- ja järvi-eräkisterien tietoja ja eri lähteistä koottuja syvyys-tietoja.

Tässä hankkeessa VEMALA-mallilla laskettiin reagoimattoman aineen kulkeutumisesta keskimääräisessä virtaamatilanteessa valuma-alueen eri uoma- ja järvipisteistä vedenottamolle. VEMALA-laskennassa ei arvioitu aineen kulkeutumisesta väylältä vesimuodostumaan, vaan ainoastaan kulkeutumista vesistöissä. Laskennassa käytetty aine kulkeutuu vedessä täysin sekoittuneena, se ei sedimentoidu eikä haihdu. Kulkeutuminen järvissä määriteltiin siten, että aine kulkeutuu sekoittuneena 1 m pintakerrokseen. Kesätilanteessa, kun järvi on kerrostunut, päästö voi kulkeutua esimerkiksi näin. Luonnollisesti, jos päästö sekoittuu suurempaan osaan järven vesitilavuutta, kulkeutumisaika pitenee. Mallilla voidaan simuloida myös eri tavalla reagoivia aineita, mutta koska päästöt voivat sisältää hyvin erilaisia aineita, ne pitäisi luokitella ominaisuuksiensa mukaan. Tässä hankkeessa tarkasteltiin vain reagoimatonta ainetta.

VEMALA-mallin laskentatuloksista saadaan aika, miten nopeasti päästö etenee vedenottamolle siitä pisteestä, missä se tulee vesistöön. Lisäksi tuloksista saadaan aineen laimeneminen. Kulkeutumisaikana esitettiin aika, jolloin puolet päästöstä on kulkeutunut vedenottamolle saakka. Viipymäaineisto on pisteistä dataa (kuva 1), jossa jokaisella pisteellä on tietty kulkeutumisaika vedenottamolle. Kuvassa punaiset pisteet kuvaavat aluetta, jolta vesi kulkeutuu vedenottamolle alle neljässä vuorokaudessa. Vihreiden pisteiden alueelta veden kulkeutumiseen vedenottamolle kestää yli 40 vuorokautta.

Tässä projektissa uomaverkosta tarkasteltiin 20 vuorokauden etäisyydelle vedenottamosta.

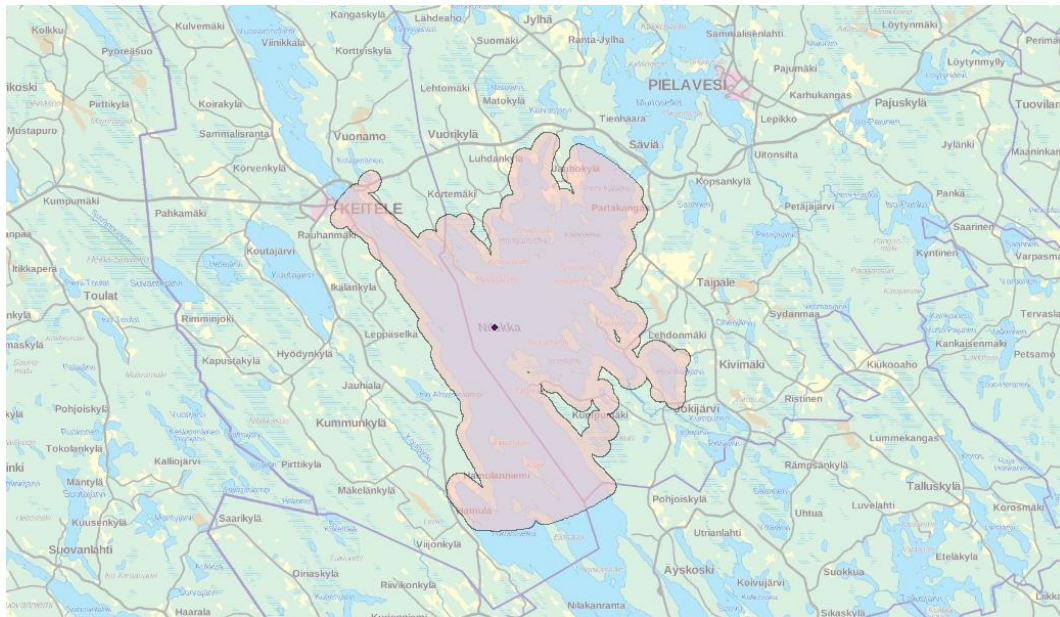
Kulkeutumisaika ja laimeneminen laskettiin keskimääräisessä virtaamatilanteessa. Voimakkaan virtaaman aikaan, kuten kevättulvassa, kulkeutuminen on nopeampaa ja laimeneminen voimakkaampaa. Pienen virtaaman aikaan kulkeutuminen on normaalisti hitaampaa, varsinkin jos reitillä on järviä.



Kuva 1. VEMALA-mallilla lasketut kulkeutumisaikat, jotka on havainnollistettu paikkatieto-ohjelmassa. Punaiset pisteet: kulkeutumisaika alle 4 vrk, keltaiset pisteet: kulkeutumisaika 4-40 vrk, vihreät pisteet: kulkeutumisaika yli 40 vrk.

### 3.1.2 Kilometrimääräinen varoalue

Koska VEMALA-malli toimii hyvin vain jokimaiselle uoma- ja järvi-verkostolle, tarkasteluun päätettiin ottaa mukaan mekaaninen varoalue. Tämä varoalue laskettiin pintavedenottamosta 10 kilometrin etäisyydelle uoma- ja järvi-verkostoa pitkin (kuva 2). Varoalueen muodostamisen tavoitteena oli saada myös isojen järvien rannoilla sijaitsevat väylät yhdenmukaisella tavalla mukaan rajaukseen.



Kuva 2. Pintavedenottamoille muodostettu 10 km varoalue (pintavedenottamon sijainti kuvitteellinen).

### 3.1.3 Väylätarkastelu uomien ja järvien läheisyydessä

Projektissa päädyttiin ulottamaan väyliä rajaus 500 m etäisyydelle

- järvien rantaviivasta,
- kapean uoman keskilinjasta molempiin suuntiin sekä
- leveän uoman rantaviivasta molempiin suuntiin.

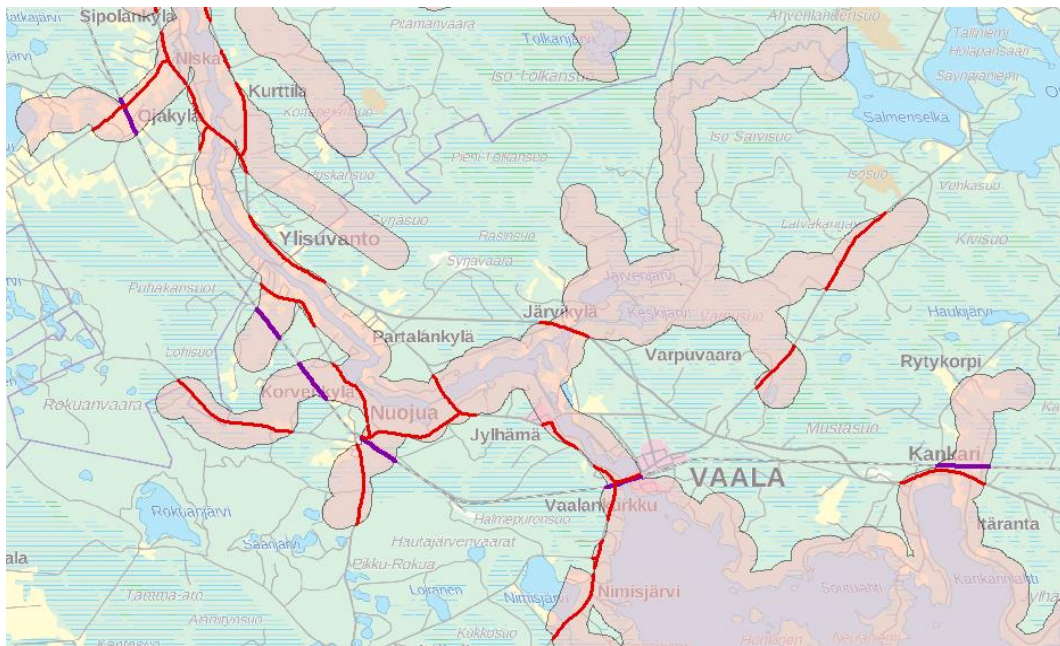
Uomaverkostossa mukana olivat kaikki yli 2 m leveät uomat.

Käytännössä tarkastelu tarkoittaa sitä, että yli 500 metrin päässä vesistöistä sijaitsevat väyläosuudet rajautuvat tarkastelun ulkopuolelle. 500 metrin etäisyyteen päädyttiin asiantuntija-arviolla ottaen huomioon mm. mahdollisten haitta-aineiden kulkeutumisen maaperässä ja todennäköisten pienten oien vaikutuksen tarkastelun epävarmuuteen. Tarkastelun laajuutta ja tarkastelun sisäpuolelle jääviä väyläosuuksia on havainnollistettu kuvissa 3 ja 4.

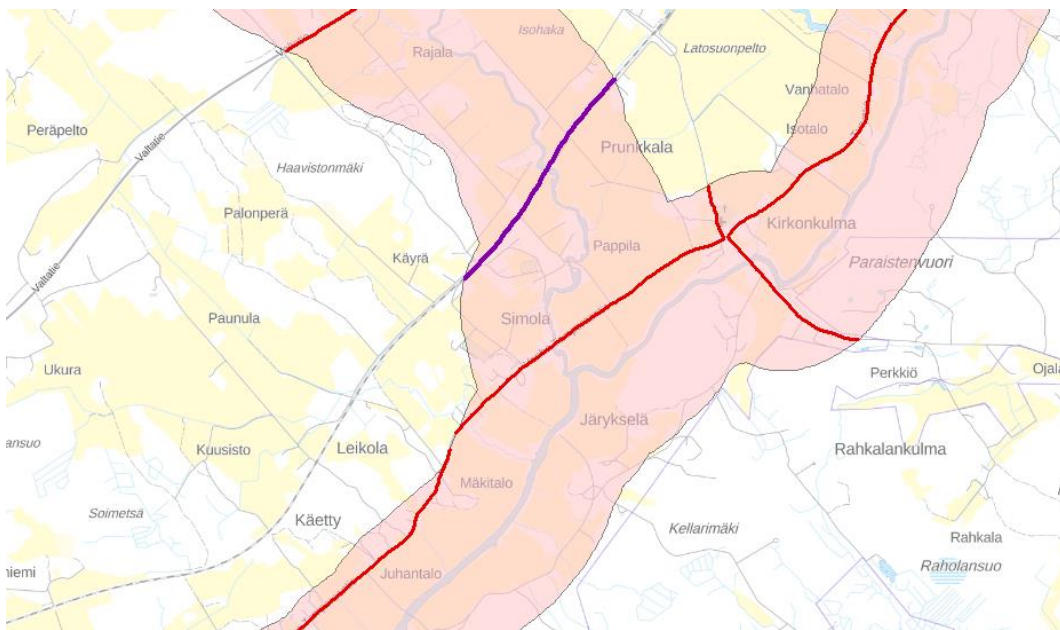
Tarkastelun tuloksena tunnistettiin 3 282 erillistä maantiesuutta. Maantiesuuk-  
sien yhteispituus on 4 900 km ja yksittäisten maantiesuuk-  
sien pituus vaihteli yhden metrin ja 23,3 km:n välillä.

Rautateillä tunnistettiin yhteensä 386 erillistä väyläosuuksia. Rautateillä osuuk-  
sien yhteenlaskettu pituus on 770 km ja yksittäisten osuuk-  
sien pituus vaihteli yhden metrin ja 13,2 km:n välillä.





Kuva 3. Tarkastelun laajuus, Oulujoki.



Kuva 4. Tarkastelun laajuus, Aurajoki.

## 3.2 Väyläosuuksien priorisointi monikriteeri-arvioinnilla maanteillä ja rautateillä

Kun riskialttiimmat väyläosuudet olivat kappaleessa 3.1. kuvatulla tavalla rajattu ja tunnistettu, tehtiin niiden priorisointi. Priorisointi tehtiin käyttäen monikriteeriarviointia. Monitavoitearviointi tai monikriteeriarviointi tarjoaa menetelmiä vaihtoehtojen kokonaisvaltaiseen ja järjestelmälliseen arviointiin ja vertailuun. Monitavoitearvioinnin piirissä sovelletaan useita erilaisia menetelmiä, jotka poikkeavat toisistaan esimerkiksi lähtötiedoiltaan ja laskenta-periaatteiltaan. Tässä hankkeessa on sovellettu arvopuuanalyysiä, koska se on laskennallisesti suhteellisen yksinkertainen ja helposti toteutettavissa Excel-  
taulukkolaskentaohjelmassa, ja koska se soveltuu hyvin tarkasteluihin, joissa suurta joukkoa vaihtoehtoja arvioidaan useiden kriteerien suhteen. Lisäksi SYKEssä on sen soveltamisesta ja tutkimuksesta yli 20 vuoden kokemus, minkä ansiosta menetelmän soveltamiseen liittyvät sudenkuopat uusissa soveltamistilanteissa pystytään tunnistamaan ja mahdolliset haasteet ratkaisemaan.

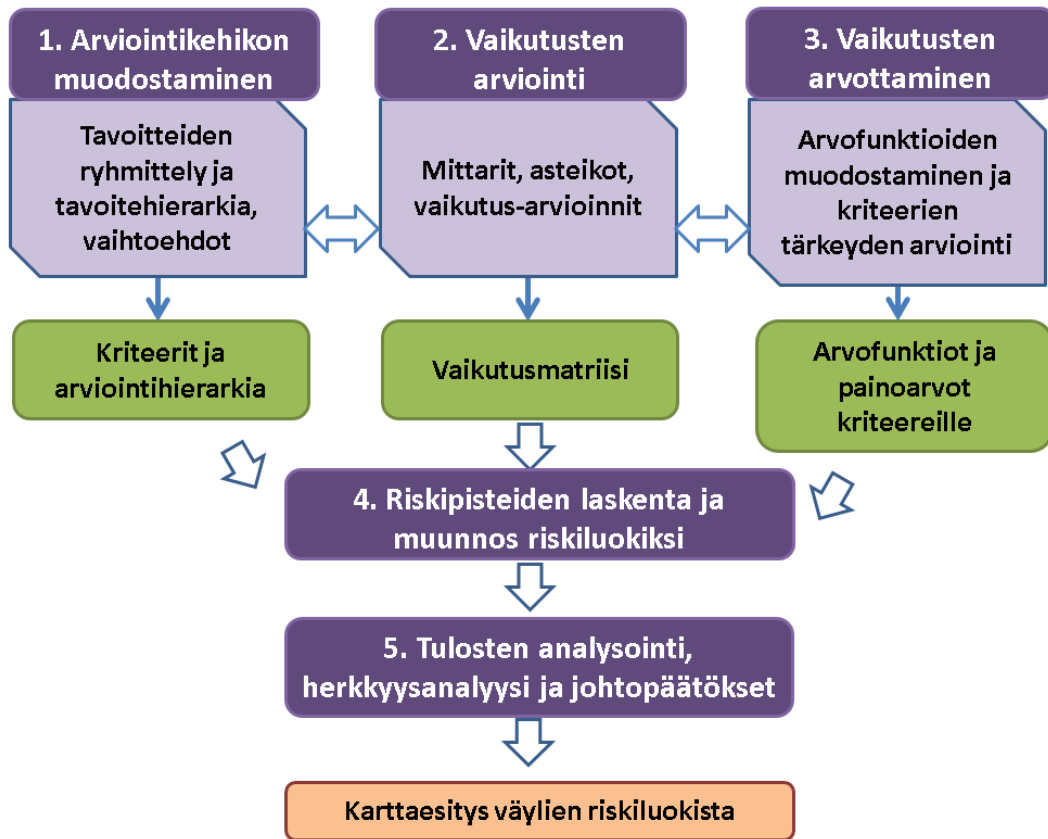
### 3.2.1 Arvopuuanalyysi väylien pintavedenotolle aiheuttaman riskin arvioinnissa

Arvopuuanalyysi voidaan jakaa viiteen päävaiheeseen (kuva 5):

1. arviointikriteerien ja -hierarkian muodostaminen,
2. väylien riskipisteiden määrittäminen kullekin kriteerille,
3. arvofunktioiden muotojen määrittäminen kriteereille ja painoarvojen määrittäminen kriteereille,
4. kunkin väylän kokonaisriskipisteiden laskenta sekä
5. tulosten analysointi, herkkyysanalyysi ja johtopäätökset.

Tyypillisesti useita vaiheita toteutetaan samanaikaisesti ja analyysin edetessä ja ymmärryksen lisääntyessä on usein tarvetta palata aikaisempiin vaiheisiin.

Kaksi seikkaa erottaa tämän tarkastelun tyypillisestä arvopuuanalyysistä. Tarkasteltavien väylien määrä on erittäin suuri (tyypillisesti arvopuuanalyysissä on 3-6 vaihtoehtoa). Toiseksi, kohteille ei tässä työssä laskettu ns. hyvyysarvoja vaan riskipisteitä, joiden perusteella arvioidaan pintavedenotolle aiheutuvaa suhteellista riskiä ja sen perusteella luokitellaan väylät riskiluokkiin.



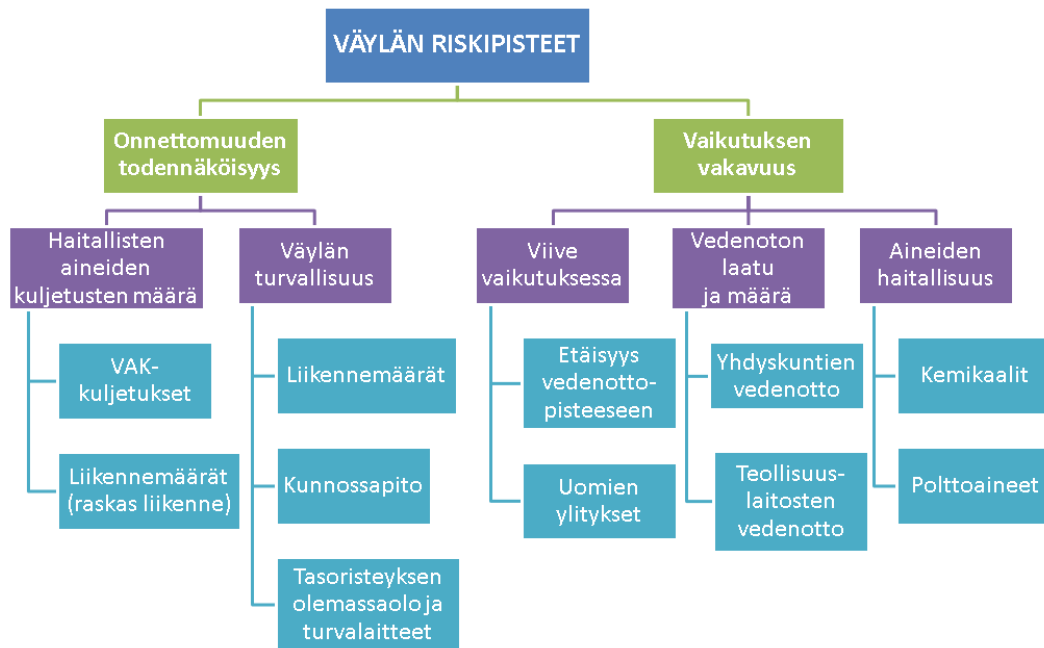
Kuva 5. Arvopuuanalyysin vaiheet hankkeessa.

Arvopuuanalyysissä erilaisten päätösvaihtoehtojen hyvyyttä arvioidaan hierarkkisessa jäsentelykehikossa. Ongelmasta muodostetaan hierarkkinen kaavio eli arvopuu, jossa ylimpänä on arvioinnin kokonaistavoite, joka koostuu arvopuun eri haaroissa olevista kriteereistä tai tavoitteista. Nämä voidaan edelleen jakaa yhä yksityiskohtaisempiin kriteereihin. Vaihtoehtojen, tässä tarkastelussa väyläosuuksien, keskinäistä paremmuutta arvioidaan hierarkian alimman tason kriteereillä.

Maanteille ja rautateille laadittiin erilliset tarkastelut, koska eri väylätyyppien riskejä ei ole mielekästä yrittää tehdä yhteismitallisiksi samassa arviointikehikossa. Tämä johtuu muun muassa eroista väylätyyppien onnettomuusalttiuteen vaikuttavissa tekijöissä. Saimaan syväväylien riskialtimpien osuuksien tunnistamisessa oli tarkoitus myös hyödyntää arvopuuanalyysiä, mutta siitä luovuttiin aineiston niukkuuden vuoksi. Saimaan syväväylien tarkastelua on kuvattu luvussa 3.3.

Arviointikehikon laatiminen oli monivaiheinen prosessi. Työn eri vaiheissa tunnistettiin useita sellaisia tekijöitä, jotka olisi voinut sisällyttää arviointikehikkoon, mutta koska niistä ei ollut kattavaa aineistoa saatavilla, niitä ei ollut mahdollista sisällyttää tarkasteluun. Luvussa 2.2 on esitetty ne kriteerit, joista keskusteltiin, mutta joita ei sisällytetty lopulliseen tarkasteluun sekä ratkaisujen perustelut. Lopullinen arviointikehikko on esitetty kuvassa 6.

Väylien kokonaisriskipisteet määräytyvät riskin määritelmän mukaisesti sekä onnettomuuden todennäköisyyttä että vaikutuksen vakavuutta kuvaavien tekijöiden perusteella (kuva 6 ja taulukko 3). Tarkastelussa on pyritty siihen, että maanteiden ja rautateiden kriteerit olisivat mahdollisimman yhteneväiset.



Kuva 6. Projektissa käytössä ollut arviointikriteeristö maanteillä ja rautateillä.

Taulukko 3. Kriteerit ja mittarit maantie- ja rautatieosuuksilla.

Arviointikriteerit eri väylillä	Maantiet	Rautatiet
<b>1. ONNETTOMUUDEN TODENNÄKÖISYYS</b>		
<b>1.1 Haitallisten aineiden kuljetusten määrä</b>		
• VAK-kuljetukset	Kokonaismäärä, t/a	
• Liikennemäärät	Raskas liikenne, KVLrask	Liikennemäärä dieselvetureilla, t/a
<b>1.2 Väylän turvallisuus</b>		
• Liikennemäärät	Keskim. vuorokausiliikenne, KVL	Kokonaismäärä, t/a
• Kunnossapito	Talvihoitoluokat, 1-7	Kunnossapitoluokat, 1-6
• Tasoristeykset	Tasoristeysten määrä väyläosuudella (kpl) ja varolaitteiden olemassaolo	
<b>2. VAIKUTUKSEN NOPEUS JA VAKAVUUS</b>		
<b>2.1 Viive vaikutuksessa</b>		
• Uomien ylitykset	Siltojen ja rumpujen määrä väyläosuudella, kpl	
• Etäisyys vedenottopisteeseen	Lyhin etäisyys lähimpään pintavedenottokohteeseen uomaverkostoa myöten, m	
<b>2.2 Vaikutuksen kohde</b>		
• Yhdyskuntien vedenotto	Vedenjakelun piirissä olevien henkilöiden määrä, kpl	
• Teollisuuslaitosten vedenotto		
○ Prosessivesi	Vedenoton määrä, m <sup>3</sup> /a	
○ Jäähdytysvesi	Vedenoton määrä, m <sup>3</sup> /a	
<b>2.3 Aineen haitallisuus</b>		
• VAK-kuljetukset	Kokonaismäärä, t/a	
• Liikennemäärät	Raskas liikenne: KVLrask	Liikennemäärä dieselvetureilla, t/a

### 3.2.2 Maantiet

Maanteillä käytössä oli yhteensä kahdeksan kriteeriä:

1. VAK-kuljetusten määrä
2. Raskaan liikenteen määrä
3. Keskimääräinen vuorokausiliikenne
4. Talvihoitoluokka
5. Tasoristeysten määrä ja laatu
6. Siltojen ja rumpujen määrä
7. Etäisyys lähimpään vedenottamoon
8. Lähimmän vedenottamon tyyppi ja vedenoton määrä tai jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden määrä

Onnettomuuden todennäköisyyden arvioitiin olevan sitä suurempi, mitä enemmän haitallisia aineita väylällä kuljetetaan ja mitä suurempi on alttius onnettomuuksille. Haitallisten aineiden kuljetuksista tarkasteluun sisällytettiin vaarallisten aineiden kuljetukset (VAK) ja raskas liikenne itsessään, koska rekan tankissa voi olla jopa 1 000 litraa polttoainetta. VAK-kuljetusten mittarina on

kuljetusten kokonaismäärä (t/a) ja raskaan liikenteen mittarina on keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVLrask). Lisäksi myös muiden säiliöautoilla kuljetettavien aineiden (esim. maito) onnettomuuksista voi aiheutua ongelmia pintavedenotolle. Näitä ei kuitenkaan pystytty lisäämään kriteeristöön aineiston puutteiden takia.

Väylän turvallisuutta arvioitiin kolmella kriteerillä. Liikennemäärien (keskimääräinen vuorokausiliikenne, KVL) kasvaessa mahdollisuus onnettomuuksiin kasvaa. Teiden kunnossapito vaikuttaa olennaisesti väylän turvallisuuteen ja mittarina käytettiin vuonna 2018 voimassa ollutta talvihoitoluokitusta (luokat 1-7). Luokat on kuvattu seuraavasti:

1. Liukkaudentorjunta ilman toimenpideaikaa
2. Normaalisti aina paljaana
3. Normaalisti paljaana
4. Pääosin suolattava, ajoittain hieman liukas
5. Pääosin hiekoitettava, ohut lumipolanne sallittu
6. Pääosin lumipintainen
7. Pääosin lumipintainen, pisin toimenpideaika

Tarkasteluun sisällytettiin myös tasoristeyksien määrä tarkasteltavalla väylällä ja varolaitteiden olemassaolo. Junan suuren massan vuoksi maantieliikenteen ja junan tasoristeysonnettomuudessa voi syntyä huomattavia materiaalivaurioita muihin ajoneuvoihin, mikä lisää riskiä siitä, että kemikaalipäästöjä tapahtuu onnettomuuden yhteydessä. Mittarina on käytetty tasoristeysten painotettua summaa, jossa ei-varolaitteelliset tasoristeykset on kerrottu kolmella (tarkastelussa on siis oletettu, että ei-varolaitteelliset tasoristeykset aiheuttavat kolminkertaisen riskin verrattuna varolaitteellisiin tasoristeyksiin).

Väylällä tapahtuvan onnettomuuden vaikutuksen vakavuus riippuu ajasta, jossa päästö kulkeutuu vedenottamolle, mihin tarkoitukseen vettä otetaan sekä aineiden haitallisuudesta. Mitä nopeammin päästö päättyy vedenottamolle, sitä vakavammat voivat olla seuraukset, koska reagointiaikaa ottamalla ja pelastuslaitoksella on vähemmän. Aineiston puutteiden vuoksi mittareiden valinnassa jouduttiin tekemään huomattavia yksinkertaistuksia. Tarkastelussa ei ollut mahdollisuutta laskea aineen kulkeutumisenopeuksia eikä jaotella väyliä yksityiskohtaisemmin sen perusteella, kuinka paljon ja kuinka haitallisia aineita niillä kuljetetaan.

Päästön kulkeutumisajan sijasta mittareina käytettiin väylän etäisyyttä (m) lähimmälle alavirran vedenottamolle ja väylän risteävien uomien määrää eli siltoja ja rumpuja (kpl/väyläosuus). Mittarina on käytetty siltojen ja rumpujen painotettua summaa, jossa sillat on kerrottu kolmella (tarkastelussa on siis oletettu, että sillat aiheuttavat kolminkertaisen riskin verrattuna rumpuihin). Päästö päättyy vesistöön sitä todennäköisemmin, mitä lähempänä se tapahtuu vesireittiä.

Vedenottamot jaoteltiin yhdyskuntien ja teollisuuslaitosten vedenottamoihin. Vaikutukset ovat todennäköisesti vakavimmat yhdyskuntien vedenottamoilla, koska juomaveden pilaantuminen voi aiheuttaa sairastumisia tai myrkytyksiä. Yhdyskuntien vedenoton luokittelussa otettiin huomioon vain vedenottamon jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden arvioitu määrä, koska vedenoton määrästä tai varavedenottamon olemassaolosta ei saatu aineistoa riittävän kattavasti jokaiselta ottamolta. Arviot vedenjakelun piirissä olevien henkilöiden määrästä perustuvat laitosten omiin arvioihin, jotka on kerätty tämän T&K-

hankkeen esiselvityshankkeessa vuonna 2017 sekä vesihuollon tietojärjestelmä VEETlin tehdyistä laitosten omista tallennuksista vuoden 2017 osalta.

Teollisuuslaitosten vedenotto luokiteltiin prosessivettä (elintarviketeollisuus, energiateollisuus, metsäteollisuus tms.) sekä jäähdytysvettä käyttäviin. Prosessiveden pilaantumisesta aiheutuvat kielteiset vaikutukset yritykselle ja kansalaisille voivat olla huomattavasti suuremmat (esim. mainehaitta, tuotteiden pilaantuminen ja siten terveystriskit elintarviketeollisuuden osalta sekä esteettiset ja taloudelliset riskit muun teollisuuden osalta) kuin jäähdytysveden pilaantumisesta aiheutuvat (esim. voimistunut korrosio). Teollisuuslaitosten vedenotossa mittarina toimi käytetyn veden määrä ( $m^3/a$ ).

Kolmantena pääkriteerinä onnettomuuden vakavuuden arvioinnissa otettiin huomioon aineiden haitallisuus. Aineiston rajoitteiden vuoksi oli mahdollista tehdä väylätason tarkasteluja vain VAK-kuljetusten ja haitallisten aineiden määrien suhteen – kemikaalien erilaisia ominaisuuksia ei tarkastelussa ollut mahdollista huomioida.

### 3.2.3 Rautatiet

Rautateillä käytössä oli yhteensä kahdeksan kriteeriä:

1. VAK-kuljetusten määrä
2. Diesel-veturiliikenteen määrä
3. Kokonaisliikennemäärä
4. Kunnossapitoluokka
5. Tasoristeysten määrä
6. Siltojen ja rumpujen määrä
7. Etäisyys lähimpään vedenottamoon
8. Lähimmän vedenottamon tyyppi ja vedenoton määrä tai jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden määrä

Koska rautateiden ja maanteiden osalta kriteerit ovat lähes samat, tässä luvussa on vain lyhyesti esitetty kriteerien mittarit. Tarkemmat perustelut yhteisten kriteerien osalta on esitetty luvussa 3.2.2.

Haitallisten aineiden kuljetuksiin liittyen tarkasteluun sisällytettiin vaarallisten aineiden kuljetukset (VAK) ja dieselvetureilla tapahtuva liikenne. VAK-kuljetusten ja dieselveturiliikenteen mittarina on kuljetusten kokonaismäärä (t/a). Tavaraliikenteen osalta sähkövedolla tapahtuva junaliikenne ei ole mukana haitallisten aineiden kuljetusten osa-alueessa. Tavaraliikenne kokonaisuudessaan on kuitenkin huomioitu kokonaisliikennemäärässä väylän turvallisuuden kriteerien joukossa. Diesel-vetureilla tapahtuva liikenne ei ole suoraan verrannollinen maanteillä kulkevaan raskaaseen liikenteeseen verrattuna, mutta työryhmässä todettiin sen vastaavan tarpeeksi hyvin tarkoitustaan.

Väylän turvallisuutta arvioidaan kolmella kriteerillä. Liikennemäärien (t/a) kasvaessa mahdollisuus onnettomuuksiin kasvaa. Rautatien kunnossapito vaikuttaa väylän turvallisuuteen, ja projektissa mittarina käytetään kunnossapitoluokitusta. Tarkasteluun sisällytettiin myös tasoristeyksien olemassaolo väyläosuudella (kpl/väyläosuus).

Vaikutuksen vakavuutta arvioidaan vaikutuksen viiveen ja vaikutuksen kohteen perusteella kolmen kriteerin avulla. Vaikutuksen viiveen tarkastelussa käytetään siltojen ja rumpujen määrää väyläosuuksilla (kpl/väyläosuus) ja väyläosuuden etäisyyttä lähimpään pintavedenottamoon (m).

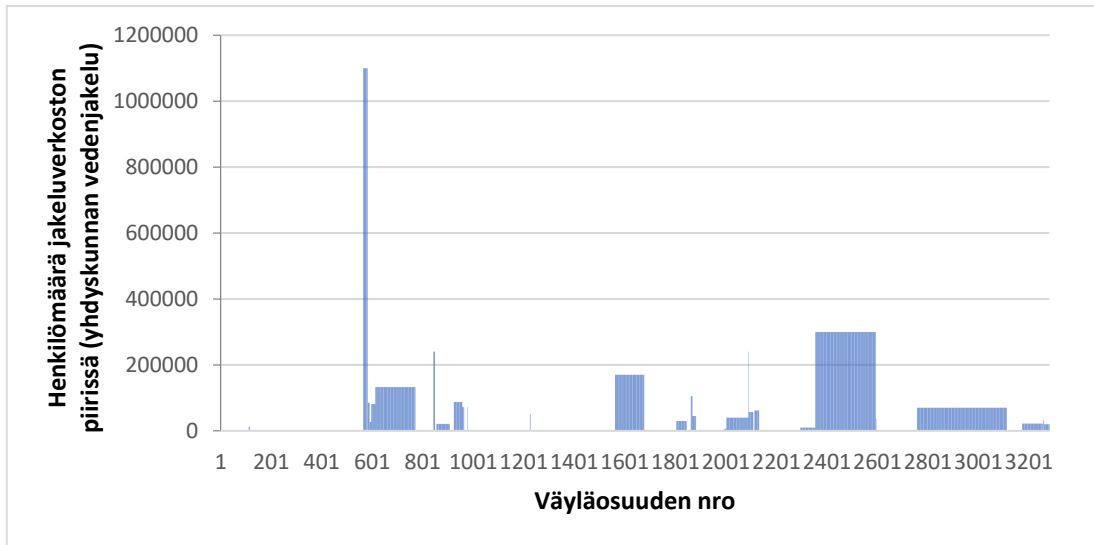
Yhdyskuntien vedenoton luokittelussa otettiin huomioon vedenottamon jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden arvioitu määrä. Teollisuuslaitosten vedenotto luokitellaan prosessivettä (elintarviketeollisuus, energiateollisuus, puuteollisuus tms.) sekä jäähdytysvettä käyttäviin ja mittarina toimii vedenoton määrä ( $m^3/a$ ).

### 3.2.4 Mittareiden arvofunktiot

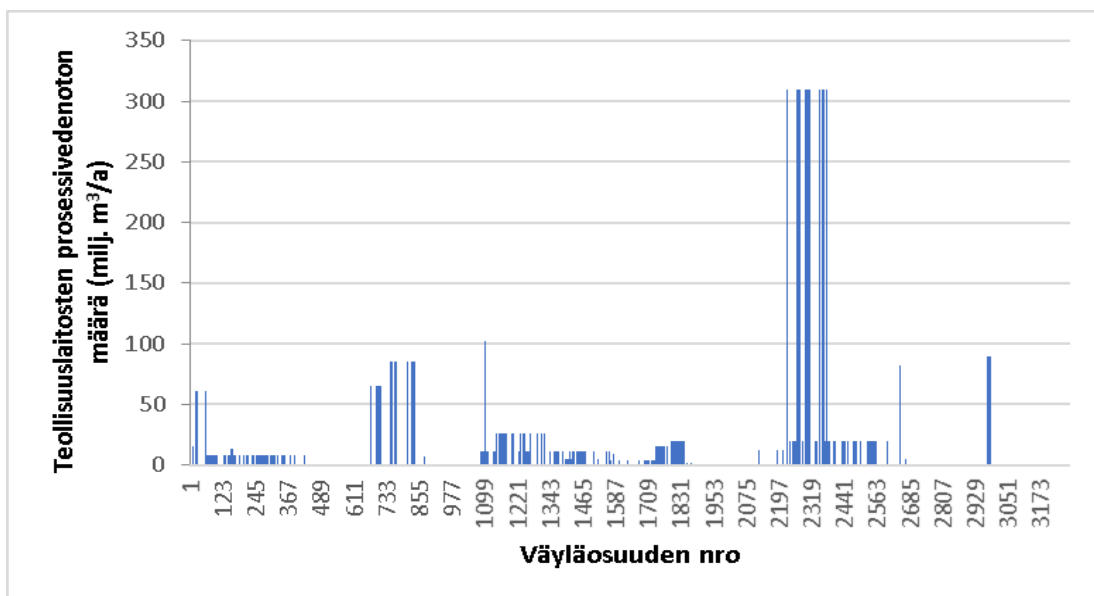
Kullekin kriteerille määritetään arvopuuanalyysissä ns. arvofunktio, joka kuvaa väylän kriteerin arvon (esim. VAK-kuljetusten määrä) ja riskipisteen välistä riippuvuutta. Arvofunktion avulla saadaan eri kriteerien arvot (jotka ovat hyvin erimitallisia) muunnettua pistearvoiksi 0-1 välille. Kunkin kriteerin suhteen pienimmän riskin väylä saa arvon 0 ja suurimman riskin väylä arvon 1. Arvofunktioiden muoto voi vaihdella yleisimmin käytetystä lineaarisesta portaitaiseen tai käyräviivaiseen. Arvofunktion muoto voi myös jonkin kynnyсарvon jälkeen muuttua. Yhtä kriteeriä (etäisyys vedenottopisteestä) lukuun ottamatta kaikki kriteerit ovat sellaisia, että suurempi arvo lisää riskipisteitä (esim. liikenteen määrä, vedenoton määrä). Sen sijaan väylän etäisyyden vedenottamosta kasvaessa riskipiste pienenee.

Useimmille mittareille määritettiin lineaariset arvofunktiot, missä pienimmän arvon saanut väylä sai riskipisteen 0 ja suurimman arvon väylä riskipisteen 1. Väylädatan tarkempi analysointi kuitenkin paljasti, että muutamien mittareiden kohdalla (yhdyskuntien vedenotto, teollisuuden prosessivesi) data oli vinoutunut siten, että muutama väylä sai huomattavasti muita korkeampia arvoja (kuvat 7 ja 8). Näiden mittareiden kohdalla päädyttiin siihen, että tietty datan perusteella määritetty kynnyсарvo, joka oli huomattavasti aineiston maksimi-arvoa pienempi, määritti pisteen, jossa väylä sai riskipisteen 1. Sitä suuremmilla arvoilla riskipiste oli myös 1. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska muuten valtaosa muista väylistä olisi saanut riskipisteitä hyvin pienellä välillä (esim. 0-0,3) ja arvopuuanalyysin kyky erotella väyliä olisi merkittävästi heikentynyt ko. kriteerin suhteen.





Kuva 7. Yhdyksunnan vedenottamoiden jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden määrän vaihtelu.



Kuva 8. Teollisuuslaitosten prosessivedenoton määrän vaihtelu.

### 3.2.5 Painoarvojen määrittäminen kriteereille

Keskeinen vaihe arvopuuanalyysissä on painoarvojen määrittäminen kriteereille. Kriteerien painoarvojen laskennassa ja painottamisessa noudatettiin seuraavia periaatteita:

- Kullakin hierarkian tasolla kriteerien painoarvojen summa on 1 jokaisessa hierarkiahaarassa. Näitä painoarvoja kutsutaan ns. lokaaleiksi (paikalliseksi) painoarvoiksi. Kriteerit, jotka kytkeytyvät samaan ylemmän tason kriteeriin muodostavat hierarkiahaaran.
- Ns. globaalit painoarvot tason 3 kriteereille saadaan, kun kerrotaan tason 3 kriteerin lokaali painoarvo samassa haarassa sen yläpuolella olevien tasojen 2 ja 1 kriteerien painoarvoilla. Esim. jos VAK-kuljetukset ovat saaneet painoarvon 0,5 ja haitallisten kuljetusten määrä 0,7 ja

onnettomuuden todennäköisyys 0,5, niin VAK-kuljetusten globaali painoarvo on  $0,5 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 0,175$  eli 17,5 % kriteereille jaettavasta kokonaispainosta. Näitä globaaleja painoarvoja käytetään väylien riskipisteiden laskennassa.

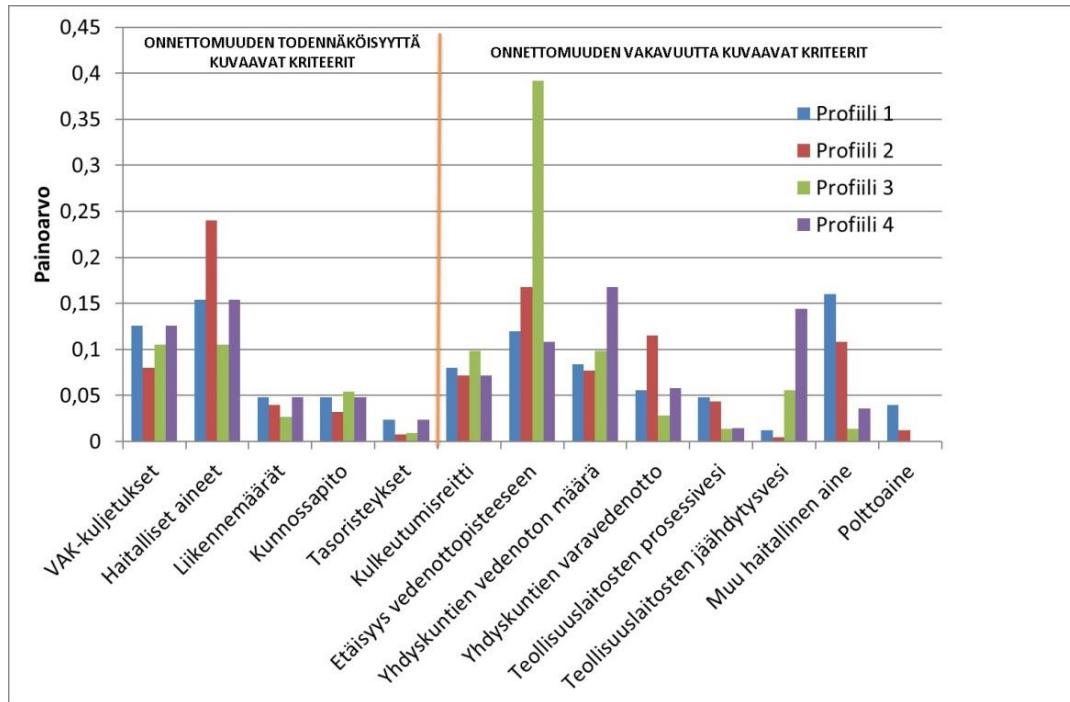
- Painottaminen toteutettiin hierarkiahaaroittain ja alhaalta ylöspäin (tason 3 tekijät ennen tason 2 tekijöitä ja tason 2 tekijät ennen tason 1 tekijöitä). Näin meneteltäessä ylemmän tason kriteerien painoarvoja määritettäessä niiden alapuolella olevien kriteerien sisältö ja merkittävyys oli arvioijilla mielessä.
- Painoarvoja määritettäessä oli tärkeää, että otettiin huomioon väylien vaikutuksissa olevat erot eri kriteerien suhteen. Jos tähän ei kiinnitetä riittävästi huomiota, niin on mahdollista, että painotetaan liiaksi kriteereitä, jotka sinänsä ovat tärkeitä, mutta joiden suhteen vaihtoehdot poikkeavat vain vähän. Tämän seurauksena lopputuloksessa saatetaan ylikorostaa vähäpätöisiä vaikutuksia ja vähätellä merkittäviä vaikutuksia.

Kriteerien painoarvojen määrittäminen lomakkeen testausvaiheessa havaittiin, että on erittäin vaikeaa antaa kriteereille yhtä täsmällistä painoarvoa. Helpompaa on todeta, että kriteeri x on selvästi merkittävämpi kuin kriteeri y ja sen jälkeen haarukoida painoarvoille vaihteluväli (minimi- ja maksimiarvo). Siksi lomaketta muutettiin aikaisemmasta versiosta niin, että yhden painoarvon sijasta annettiin kullekin kriteerille painoarvon vaihteluväli. Näistä vaihteluväleistä muodostettiin vaihtoehtoisia painotusprofieja riskipisteiden laskentaa varten (ks. kohta 4.4.3). Useiden vaihtoehtoisten painotusprofiilien avulla arvioitiin lopputuloksen herkkyyttä painoarvojen vaihtelulle.

Painoarvojen määrittämisessä edettiin siten, että Ramboll ja SYKE työstivät tahoillaan ensin omat näkemyksensä kriteerien painotuksista. Sen jälkeen keskusteltiin painotuksista ja perusteluista sekä muodostetaan asiantuntijoiden yhteinen näkemys tarkastelussa käytettävistä painoarvoista. Arviot olivat useiden kriteerien osalta hyvin lähellä toisiaan, joten yhteisen näkemyksen muodostaminen onnistui varsin helposti. Tämä ehdotus perusteluineen toimitettiin Väylävirastoon arvioitavaksi. Tämän jälkeen järjestettiin kokous, jossa keskusteltiin painotuksista ja niiden perusteluista. Keskustelujen perusteella painoarvoihin tehtiin pieniä muutoksia.

Väylien vertailuun muodostettiin neljä painoarvoprofiilia. Ensimmäinen painoarvoprofiili muodostettiin työryhmäyhteistyöllä keskustelujen ja lomakkeen avulla. Profiilit 2-4 taas muodostettiin tarkoituksenmukaisesti painottaen tiettyjä näkemyksiä. Profiilit muodostettiin, jotta pystyttiin tekemään herkkyyttä tarkastelua eri painoarvojen vaikutuksesta lopputulokseen.

Painoarvoprofiilit ja niiden välinen vaihtelu on esitetty kuvassa 9. Kuten kuvasta 9 havaitaan, profiilien painoarvojen jakaumissa oli hyvinkin suuria eroja; esimerkiksi profiilissa 1 korostettiin muuta haitallista ainetta kuin polttoainetta onnettomuuden vaikutuksen vakavuutta arvioitaessa. Profiilissa 3 puolestaan etäisyys vedenottopisteeseen sai muita profileja lähes kolmi- tai nelinkertaisen painoarvon. Kriteerien painoarvojen määrittämisessä käytetty lomake ja painoarvoihin liittyvät perustelut on esitetty liitteessä 1.



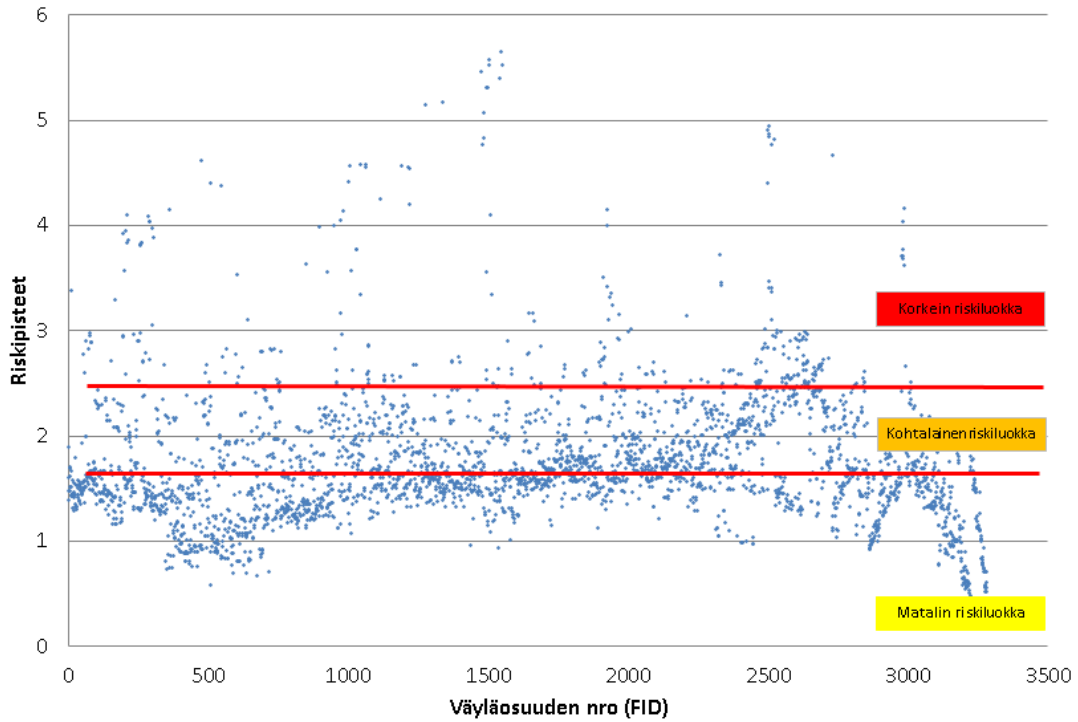
Kuva 9. Eri painoarvoprofiilit.

### 3.2.6 Väylien kokonaisriskipisteiden laskenta ja riskiluokat

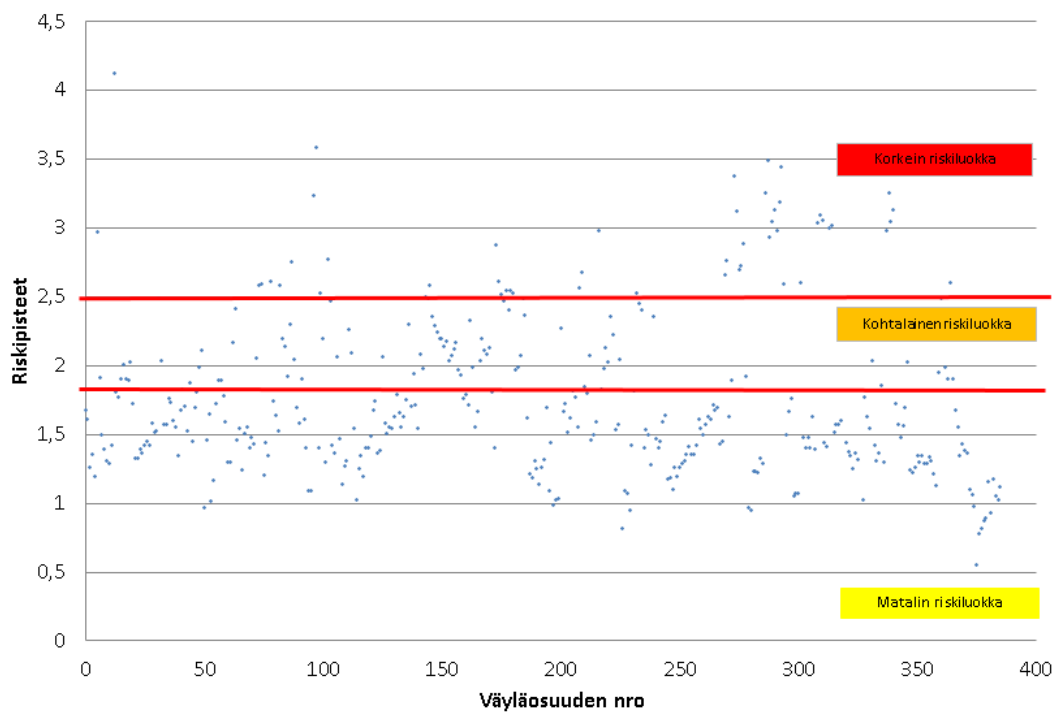
Kunkin tarkasteluun valitun väylän kokonaisriskipiste saatiin kertomalla väylän saamat kriteerikohtaiset riskipisteet kriteereille annetuilla painoarvoilla ja laskemalla tulot yhteen. Tulosten hahmottamisen helpottamiseksi tulos on kerrottu kymmenellä niin, että lopullinen riskipiste asettuu välille 0-10. Jos jokin väylistä olisi saanut 10 pistettä, olisi se ollut kaikkien tarkasteltujen kriteerien suhteen huonoin (korkein riskipiste jokaiselle kriteerille). Vastaavasti, jos jokin väylistä olisi saanut 0 pistettä, niin se olisi kaikkien kriteerien suhteen paras (matalin riskipiste jokaiselle kriteerille).

Riskipisteiden perusteella väylät jaettiin kolmeen riskiluokkaan: korkein (luokka 1), kohtalainen (luokka 2) ja matalin (luokka 3) riskiluokka. Koska kyse on väylien suhteellisesta vertailusta, ei eri luokkien välisten pisterajojen määrittämiseen ole yhtä ainoa oikeaa tapaa. Riskipisteiden mukaiseen väylien järjestykseen sisältyykin epävarmuuksia, koska (i) osa tunnistetuista ja väylien vertailussa hyväksi arvioituista kriteereistä jouduttiin jättämään pois aineiston vajavaisuuden vuoksi, (ii) paikkatietoaineistoon liittyy erilaisia virhelähteitä ja (iii) erilaiset kriteerien painoarvot tuottavat erilaisia lopputuloksia. Epävarmuuksia on käsitelty tarkemmin luvussa 4.4.

Rajat määritettiin niin, että korkeimpaan riskiluokkaan sijoittuvien väylien määrä olisi jatkotoimenpiteitä silmällä pitäen hallittavissa. Epävarmuuksien takia korkeimman riskiluokan kynnsarvo päätettiin kuitenkin asettaa sellaiselle tasolle, että siihen saatiin suurehko määrä väyliä. Tällä pyrittiin siihen, että riskialttiita väyliä, jotka jostakin virhelähteestä johtuen olisivat saaneet liian pienen riskiarvon, ei jäisi korkeimman riskiluokan ulkopuolelle. Riskiluokkien raja-arvot asetettiin siten, että matalimpaan riskiluokkaan sijoittui n. 60 % väyläosuuksista, keskimmäiseen riskiluokkaan noin 30 % väyläosuuksista ja korkeimpaan noin 10 % väyläosuuksista (kuvat 10 ja 11).



Kuva 10. Väyläosuuksien riskipisteet ja määritetyt riskiluokat maanteille.



Kuva 11. Väyläosuuksien riskipisteet ja määritetyt riskiluokat rautateille.

### 3.3 Saimaan syväväylät

Vesiväylien eli Saimaan syväväylien osalta tarkasteltava aineisto kattoi väylien sijainnin paikkatietona, vaativaksi luokiteltavat väyläosuudet, etäisyyden vedenottamoihin sekä vedenottamoiden tiedot. Koska Saimaan syväväylien osalta aineistoa oli selkeästi vähemmän kuin rautateiden ja maanteiden osalta, Saimaan syväväylät on raportoitu erillisesti luvussa 4.3 ja liitteessä 4.

Saimaan syväväylien luokittelulle kriteerit ja mittarit olivat seuraavat:

1. Väyläosuuden luokitus vaativaksi väyläosuudeksi
2. Etäisyys lähimpään vedenottamoon
3. Lähimmän vedenottamon tyyppi ja vedenoton määrä tai jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden määrä

Väylän turvallisuutta arvioidaan yhdellä kriteerillä. Osa Saimaan syväväylistä on Älykö-hankkeen yhteydessä luokiteltu vaativiksi, ja kyseistä luokitusta käytetään tässä arvioitaessa väyläosuuden turvallisuutta.

Vaikutuksen vakavuutta arvioidaan kahden kriteerin avulla. Tarkastelussa käytetään väyläosuuden etäisyyttä lähimpään pintavedenottamoon (km). Yhdyskuntien vedenoton luokittelussa otettiin huomioon vedenottamon jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden arvioitu määrä. Teollisuuslaitosten vedenotto luokitellaan prosessivettä (elintarviketeollisuus, energiateollisuus, puuteollisuus tms.) sekä jäähdytysvettä käyttäviin ja mittarina toimii vedenoton määrä (m<sup>3</sup>/a).

Vaativiksi luokitellut Saimaan syväväylien osuudet jaoteltiin etäisyyden ja vedenottamon suhteen kolmeen riskiluokkaan Taulukossa 4 on esitetty käytetyt mittarit ja painotukset. Mittareille määritettiin lineaariset arvofunktiot, missä pienimmän mittausarvon saanut väylä sai riskipisteen 0 ja suurimman mittausarvon väylä riskipisteen 1. Lopulliset riskipisteet saatiin laskemalla yhteen vakavuuden painotetut riskipisteet.

Riskipisteiden perusteella vaativat väyläosuudet jaettiin kolmeen riskiluokkaan: korkein (luokka 1), kohtalainen (luokka 2) ja matalin (luokka 3) riskiluokka. Riskiluokkien raja-arvot asetettiin siten, että matalimpaan riskiluokkaan sijoittui n. 65 % väyläosuuksista, keskimmäiseen riskiluokkaan noin 25 % väyläosuuksista ja korkeimpaan noin 10 % Saimaan syväväylien vaativista väyläosuuksista.

Taulukko 4. Saimaan syväväylien kriteerit ja mittarit.

Arviointikriteerit	Mittarit
<b>ONNETTOMUUDEN TODENNÄKÖISYYS</b>	
Vaativa väyläosuus	kyllä/ei
<b>ONNETTOMUUDEN VAKAVUUS</b>	
Etäisyys lähimpään vedenottamoon	km (< 5 km, 5-20 km, > 20 km)
Vedenoton tyyppi	yhdyskunta: riskip. x 5 teollisuuden prosessivesi: riskip. x 2 teollisuuden jäähdytysvesi: riskip. x 1
Teollisuus: Vedenoton määrä	m <sup>3</sup> /a
Jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden määrä	kpl

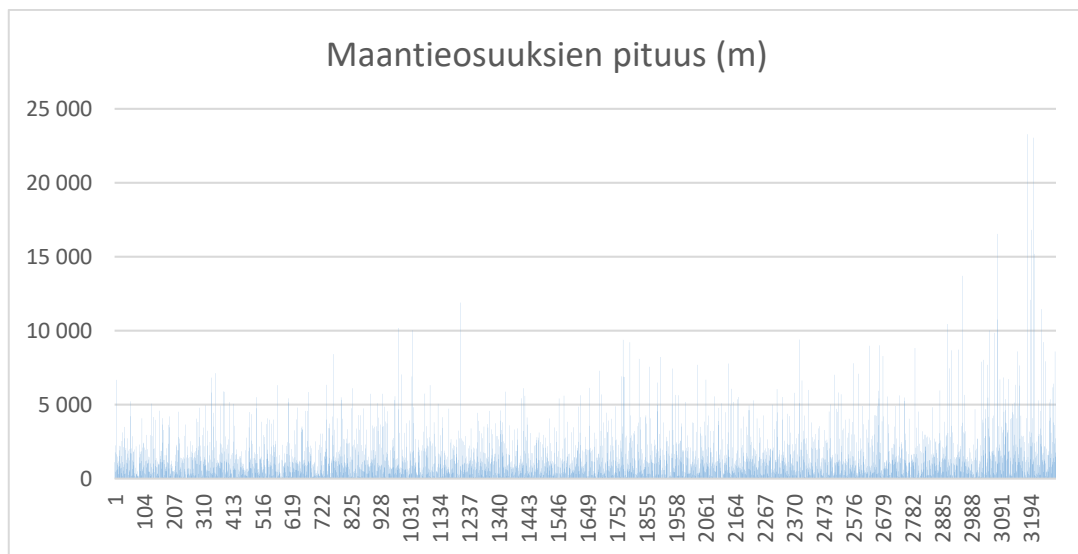
## 4 Tulokset

Tässä luvussa on esitelty väylärajausten ja -priorisoinnin tuloksia maanteiden, rautateiden ja Saimaan syväväylien osalta. Tuloksia on käyty yleisluontoisesti läpi painottaen korkeimpaan riskiluokkaan sijoittuneita väyläosuuksia ja niiden ominaisuuksia. Tuloksissa on esitetty vain painotusprofiilin 1 tulokset. Muut painotusprofiilit ja niiden vaikutus tuloksiin on huomioitu epävarmuustarkastelussa luvussa 4.4.

Väyläosuuksille arvioitu riski voi muodostua monella eri tavalla, useista tekijöistä tai yhdestä/muutamasta tekijästä. Monitavoitearvioinnin avulla laskettiin väylille riskipisteet ottaen huomioon kaikki olennaisina pidetyt kriteerit. Sen lisäksi tunnistettiin ne väylät, jotka saivat vakavuus-haaran kaikkien kriteerien suhteen korkeita riskipisteitä vaikka todennäköisyys-haarassa pisteet olivat pienet.

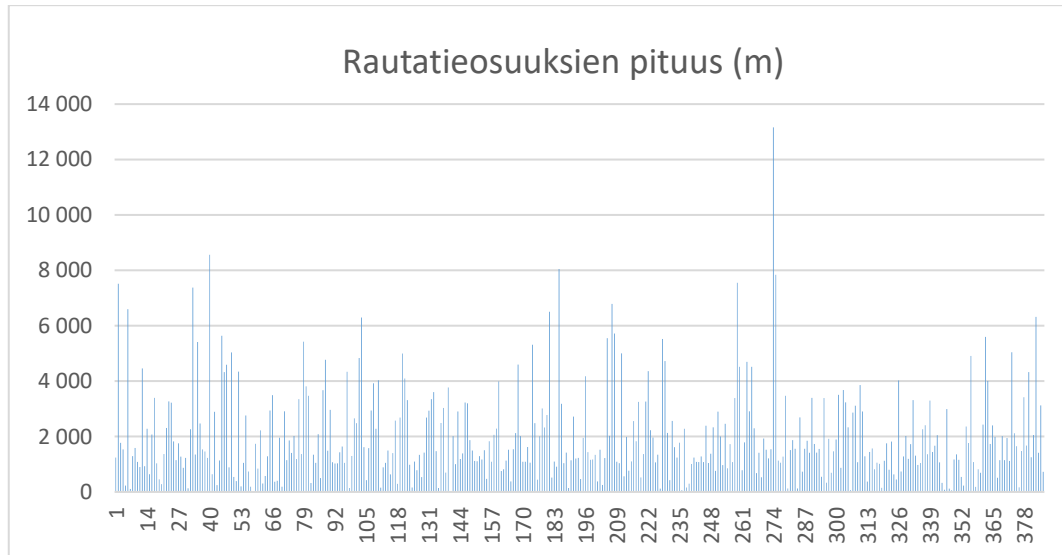
### 4.1 Väyläosuuksien luokittelu rautateillä ja maanteilla

Väylien rajausta maantiella tuotti yhteensä 3 282 erillistä maantiesuutta. Näiden maantiesuuksien yhteispituus on 4 900 km, joka vastaa 6,3 prosenttia Väyläviraston vastuulla olevista maantieväylistä. Maantiesuuksien pituuden keskiarvo oli 1,5 km ja maksimipituus 23,3 km (kuva 12). Suurin osa maantiesuuksista on pituudeltaan alle 10 km, ja vain muutama osuus on selkeästi pidempi. Pisimmät maantiesuudet sijoittuvat jokien varsille niin, että tie kulkee joen vartta usean kymmenen kilometrin matkan. Lyhyimmät tarkasteluun seuloutuneet maantiesuudet ovat vain yhden metrin pituisia, ja yhteensä 174 maantiesuutta on pituudeltaan alle 100 metriä.



Kuva 12. Maanteiltä rajattujen väyläosuuksien pituudet.

Rautateiden osalta väylien rajausta tuotti yhteensä 386 rautatieosuutta. Rautatieosuuden pituuden keskiarvo oli 2,0 km ja maksimipituus 13,2 km (kuva 13). Rautatieosuuksien yhteenlaskettu pituus on 770 km, joka vastaa 13 prosenttia Väyläviraston vastuulla olevasta rataverkosta. Suurin osa rautatieosuuksista on pituudeltaan alle 6 km.



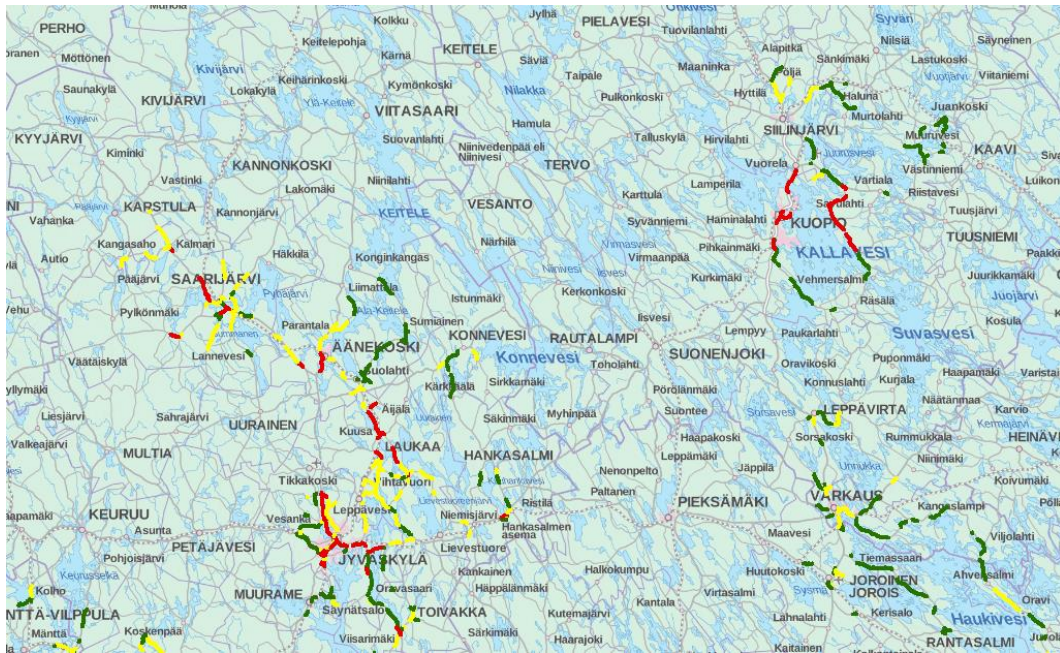
Kuva 13. Rautateiltä rajattujen väyläosuuksien pituudet.

Maanteiden osalta korkeimmassa riskiluokassa (luokka 1) on yhteensä 302 maantieosuutta, joka vastaa lukumäärällisesti noin 10 prosenttia kaikista tarkasteluun rajautuneista maantieosuuksista. Luokan 1 raja-arvo riskipisteinä oli 2,5. Kohtalaisessa riskiluokassa (luokka 2) on yhteensä 901 maantieosuutta, joka vastaa noin 30 prosenttia kaikista maantieosuuksista ja matalimmassa riskiluokassa (luokka 3) on yhteensä 2079 maantieosuutta, eli noin 60 prosenttia kaikista maantieosuuksista. Luokkaan 2 kuuluvat maantieosuudet saivat riskipisteekseen arvon 1,8-2,5 ja luokkaan 3 kuuluvat < 1,8.

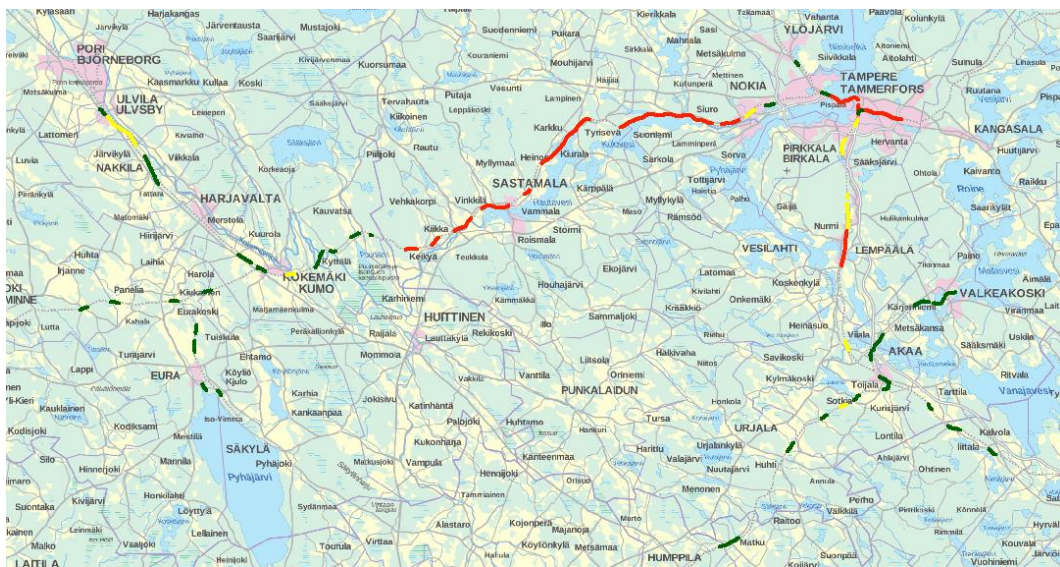
Rautateistä korkeimpaan riskiluokkaan asettui yhteensä 50 rautatieosuutta, keskimääräiseen riskiluokkaan asettui 93 rautatieosuutta ja matalimpaan 243 rautatieosuutta. Rautateillä luokkien rajat ja prosentuaaliset osuudet vastaavat maanteitä.

Kuvassa 14 on esitetty Jyväskylän ja Kuopion alueelta luokiteltuja maantieosuuksia havainnollistettuna niin, että vihreällä on luokan 3 maantieosuudet, keltaisella luokan 2 maantieosuudet ja punaisella luokan 1 maantieosuudet. Kuvassa 15 on esitetty rautateiden osalta vastaavaa aineistoa Tampereen länsi- ja eteläpuolelta. Koko Suomen kattavia karttoja väyläosuuksista on esitetty liitteissä 2 ja 3.





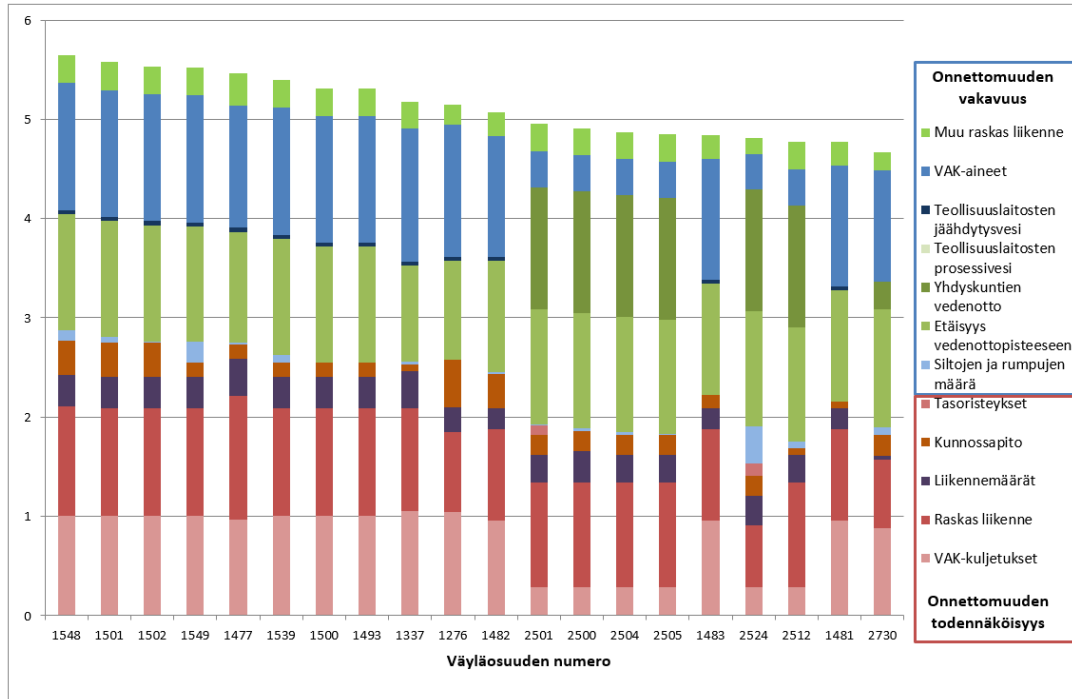
Kuva 14. Luokitellut maantiesuudet Jyväskylän ja Kuopion alueella.



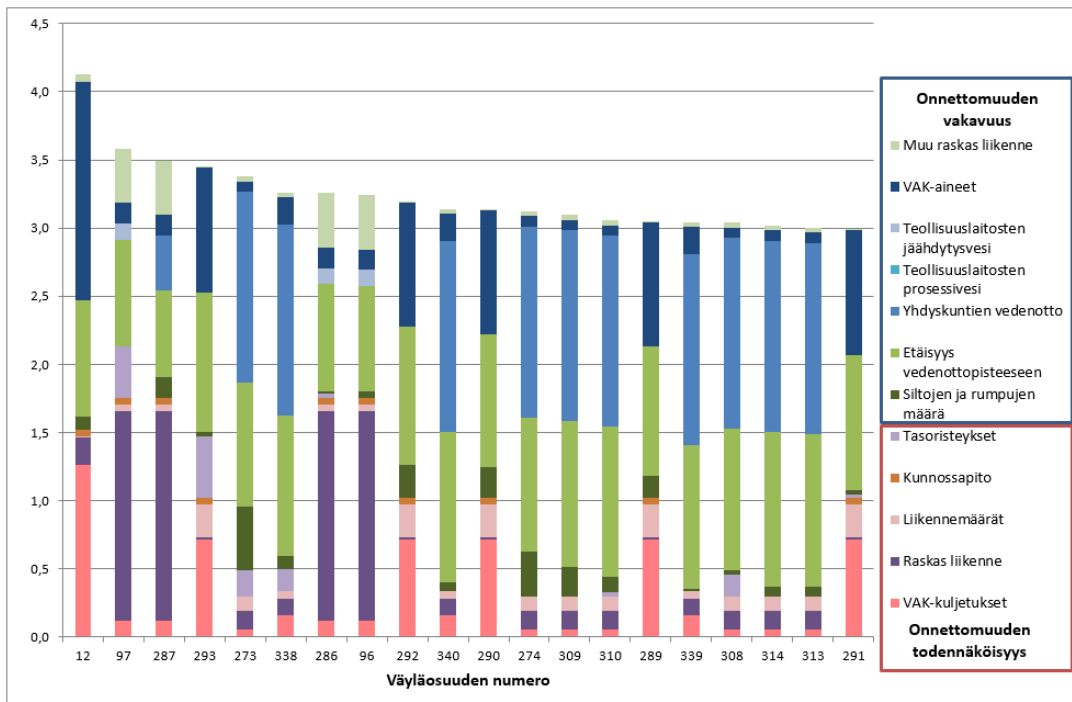
Kuva 15. Luokitellut rautatieosuudet Tampereen länsipuolella.

Korkeimman riskipisteen maanteillä saanut väyläosuus sai riskipisteeksi arvon 5,65. Rautateiden osalta korkeimman riskipisteen saanut väyläosuus taas sai arvon 4,13. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty 20 korkeinta riskipistettä saanutta maantie- ja rautatieväyläosuutta ja riskipisteiden jakautuminen eri mittareiden välillä maanteillä ja rautateillä. Riskipisteiden jakautuminen kertoo sen, mistä tekijöistä kokonaisriskipiste on syntynyt.

Tulosten tarkastelussa on hyvä huomioida, että riskipisteet maantiesuoksien ja rautatieosuuksien välillä eivät ole vertailukelpoisia. Pisteitä tulee siis tarkastella vain suhteessa samaan väylätyyppiin.

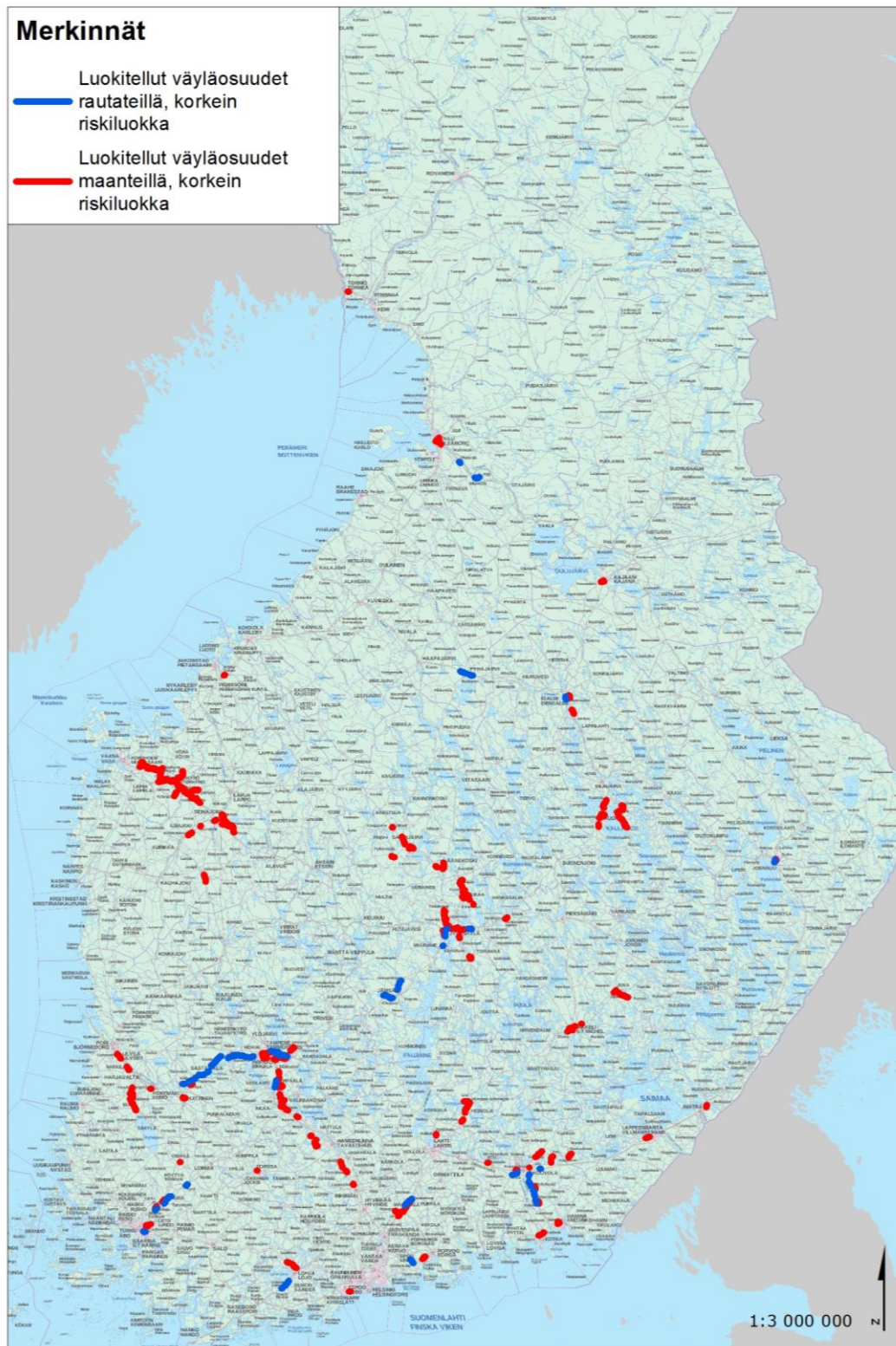


Kuva 16. 20 korkeinta riskipistettä saanutta maantiesuutta.



Kuva 17. 20 korkeinta riskipistettä saanutta rautatieosuutta.

Kuvassa 18 on havainnollistettu koko Suomen alueelta maanteiltä ja rautateiltä kaikki ne väyläosuudet, jotka kuuluvat priorisoinnin perusteella korkeimpaan riskiluokkaan.



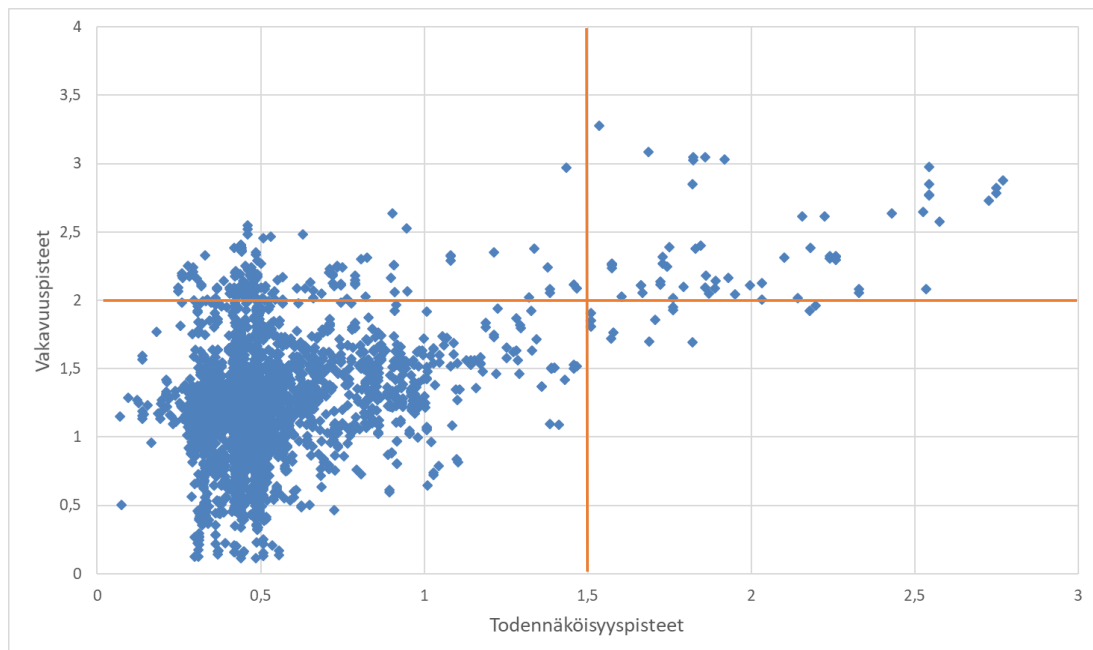
Kuva 18. Väyläosuudet maanteillä ja rautateillä, jotka kuuluvat korkeimpaan riskiluokkaan.

## 4.2 Rautateiden ja maanteiden tulosten tarkastelu

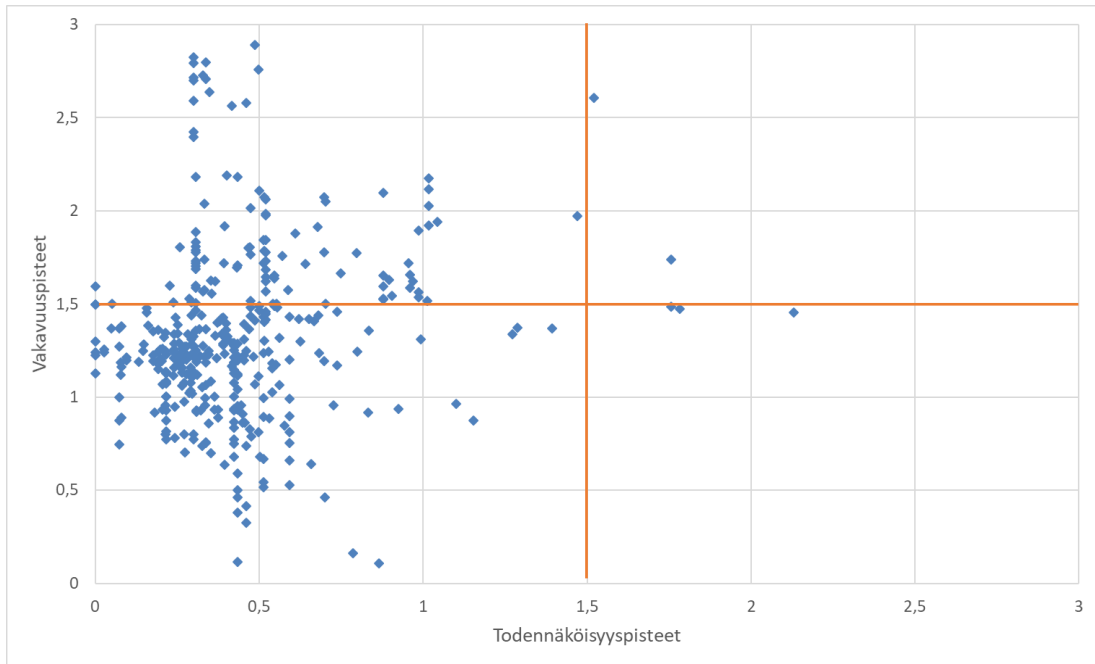
Maanteiden ja rautateiden luokiteltuja väyläosuuksia on havainnollistettu kuvissa 19 ja 20 vakavuuden ja todennäköisyyden suhteen ns. nelikentässä.

Nelikentässä tehtävä tarkastelu havainnollistaa mm. sitä, että merkittävä osa rajauksen kautta tarkasteluun päätyneistä väyläosuuksista sijoittuu neljännekseen, jossa onnettomuuden todennäköisyys ja vakavuus ovat aineistoon suhteutettuna pienimmät. Ja toisaalta vain pieni osa väyläkohteista sijoittuu neljännekseen, jossa sekä todennäköisyys että vakavuus arvioidaan aineistoon suhteutettuna korkeiksi. Esim. rautatieaineistossa tällaisia väyläosuuksia on vain muutamia ja maantieaineistossakin vain joitakin kymmeniä.

Maanteilla vain kolme väyläosuutta asettuu neljännekseen, jossa todennäköisyyspisteet ovat korkealla, mutta vakavuus saa pienet pisteet. Rautateilla todennäköisyyden suhteen korkeita väyliä on enemmän, jotka toisaalta saavat vakavuuden suhteen pienet pisteet. Nelikentät eivät kuitenkaan ole suoraan verrannollisia, sillä niiden asteikot eivät ole samat.

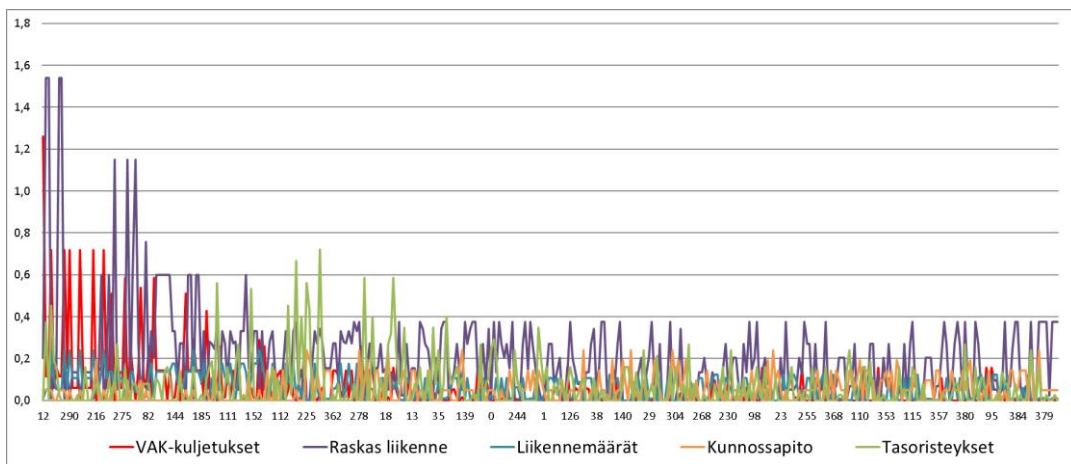


Kuva 19. *Todennäköisyys- ja vakavuuspisteiden jakauma maantieaineistolla.*

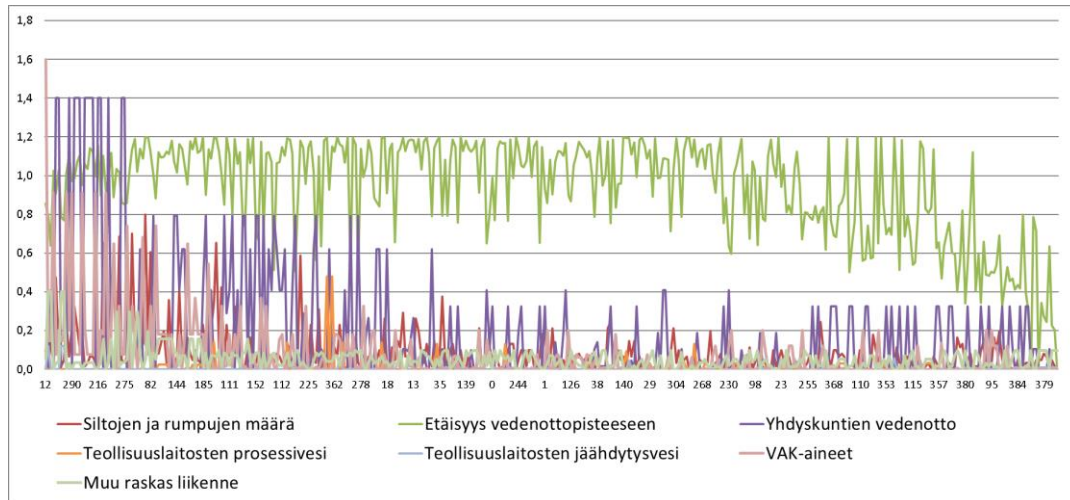


Kuva 20. Todennäköisyys- ja vakavuuspisteiden jakauma rautatieaineistolla.

Kuvissa 21 ja 22 on esitetty rautatieaineiston väyläosuudet suurimmasta kokonaisriskipisteestä pienimpään (vasemmalta oikealle) ja kyseisen osuuden kriteereille lasketut riskipisteet erikseen. Kokonaisriskipisteiltään suurimpien väyläosuuksien määräävä tekijänä todennäköisyyden suhteen on etenkin raskaan liikenteen ja VAK-kuljetusten korkeimmat painoarvot. Onnettomuuden vakavuuden suhteen selkeä määräävä tekijä on etäisyys vedenottopisteeseen. Ainoastaan korkeimmat kokonaisriskipisteet saaneilla väyläosuuksilla korkeimmaksi nousee yhdyskuntien vedenotto tai VAK-kuljetusten määrä.



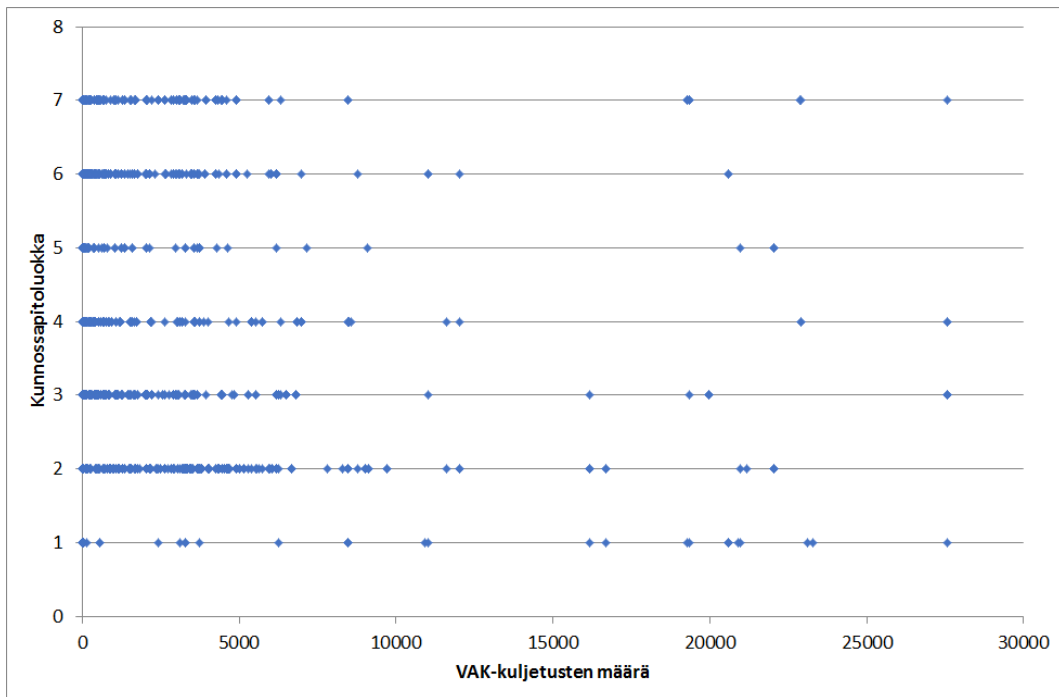
Kuva 21. Riskipisteiden muodostuminen rautatieaineistolla onnettomuuden todennäköisyyden kriteereillä.



Kuva 22. Riskipisteiden muodostuminen rautatieaineistolla onnettomuuden vakavuuden kriteereillä.

Kuvassa 23 on verrattu VAK-kuljetusten määrää ja väylän kunnossapitoluokkaa maantieaineistolla. Tarkastelun perusteella VAK-kuljetuksia on tasaisesti kaikissa kunnossapitoluokissa. Lisäksi suuria kuljetusmääriä on muutamilla matalimpiin kunnossapitoluokkiin kuuluvilla väylillä.

On hyvä huomioida, että suuri VAK-kuljetusten määrä ja alempi kunnossapitoluokka voi nostaa onnettomuuden todennäköisyyttä. Lisätarkastelun avulla voidaan tunnistaa mahdollisia erityisen riskialttiita väyliä (suuri VAK-kuljetusten määrä ja matalat kunnossapitoluokat), ja tehdä vertailua arvopuuanalyysin avulla tunnistettuihin riskiluokan 1 väylien kanssa. Tällainen tarkastelu voi auttaa tunnistamaan sellaisia mahdollisia riskialttiita väyliä, jotka eivät arvopuuanalyysin kautta ole päätyneet korkeimpaan riskiluokkaan, mutta voisivat sinne todellisuudessa kuulua.



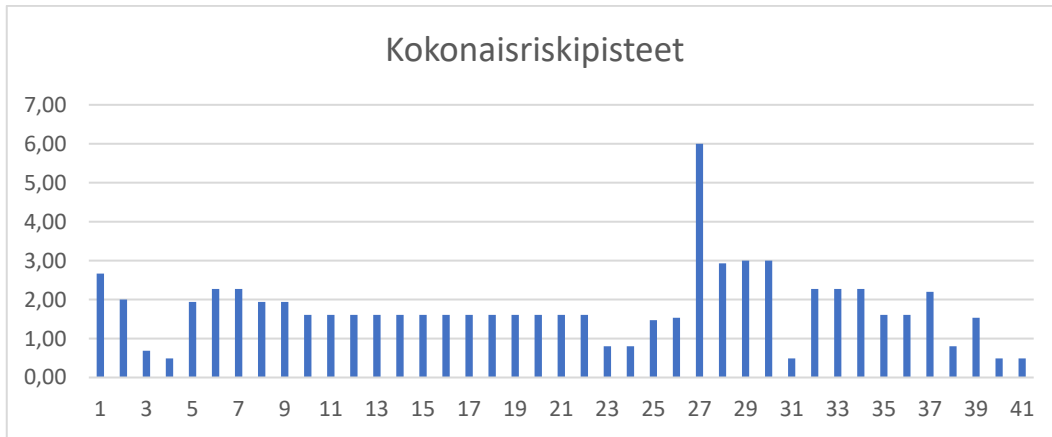
Kuva 23. VAK-kuljetusten suhde väylän kunnossapitoluokkaan (talvihoitoluokka) maanteillä.

### 4.3 Saimaan syväväylät

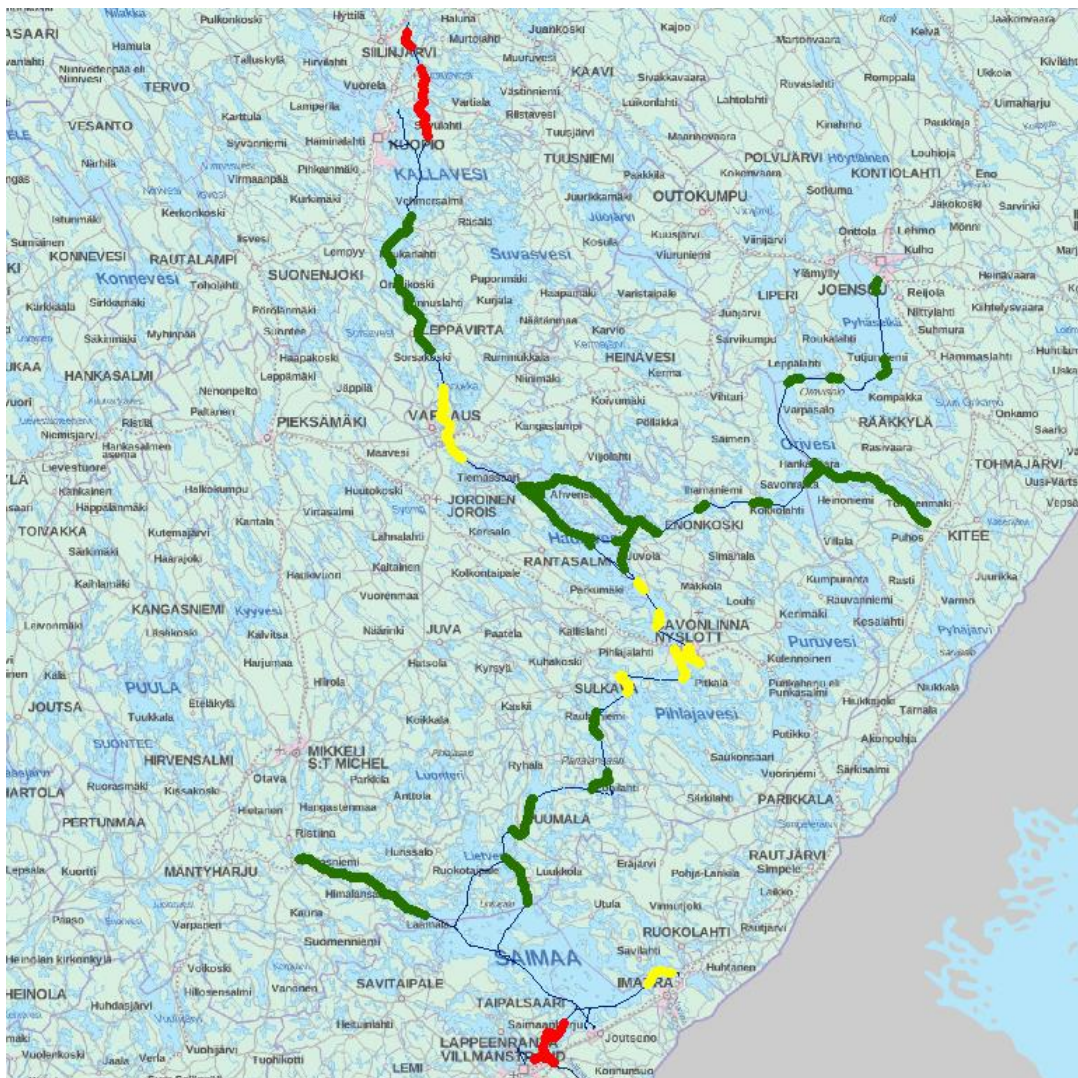
Saimaan syväväyliltä tunnistettiin Älykö-hankkeen perusteella 41 vaativaa väyläosuutta. Nämä väyläosuudet luokiteltiin kolmeen riskiluokkaan osuuskien saamien riskipisteiden mukaisesti.

Korkeimmassa riskiluokassa (luokka 1) on yhteensä 5 väyläosuutta, joka vastaa noin 10 prosenttia kaikista tarkasteluun rajautuneista väyläosuuksista. Luokan 1 raja-arvo riskipisteinä oli 2,5. Kohtalaisessa riskiluokassa (luokka 2) on yhteensä 10 väyläosuutta, joka vastaa noin 25 prosenttia kaikista väyläosuuksista ja matalimmassa riskiluokassa (luokka 3) on yhteensä 26 väyläosuutta, eli noin 65 prosenttia kaikista väyläosuuksista. Luokkaan 2 kuuluvat väyläosuudet saivat riskipisteekseen arvon 1,8-2,5 ja luokkaan 3 kuuluvat < 1,8.

Saimaan syväväylien osalta tuloksia on havainnollistettu kuvissa 24 ja 25.



Kuva 24. Riskipisteet Saimaan syväväylien luokitelluille väyläosuuksille.



Kuva 25. Saimaan syväväylien luokitellut väyläosuudet.

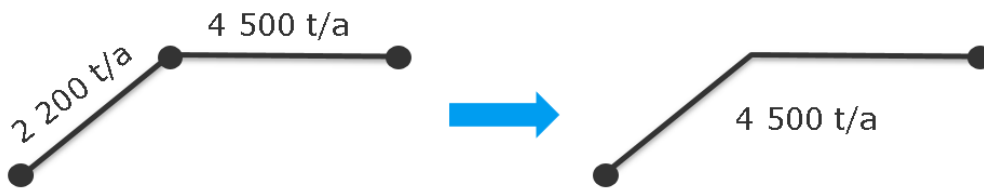


## 4.4 Epävarmuudet tarkastelussa

Väyläosuusien rajaukseen ja niiden priorisointiin liittyy useita tekijöitä, jotka aiheuttavat epävarmuuksia tuloksiin. Epävarmuustekijöiden seurauksena väyläosuus voi virheellisesti olla mukana tarkastelussa, tai väyläosuus on voinut jäädä pois tarkastelusta. Priorisoinnin kautta annetut riskipisteet voivat myös olla joko yli- tai aliarvioituja. Projektissa on käytetty ns. varovaisuusperiaatetta, jolloin aineisto on pyritty valitsemaan ja käsittelemään niin, ettei riskitaso tule aliarvioiduksi.

### 4.4.1 Paikkatietoanalyysin epävarmuudet

Lähtötietoina saadut paikkatietoaineistot olivat erillisiä, ja väylien priorisointia varten aineistot piti yhteensovittaa ja rajata väylärajausten mukaisesti. Rajausta ja yhteensovitus toteutettiin paikkatietoanalyysin avulla. Automaattisesti, kerralla tiettyyn aineistoon tehdyssä yhteensovituksessa väyläosuudet käsiteltiin varovaisuusperiaatteen mukaan niin, että lähtöaineistosta pyrittiin valitsemaan analyysiin aina suuremman todennäköisyyden tai vakavuuden aiheuttava arvo (kuva 26).



Kuva 26. Esimerkki liikennemäärien yhteensovittamisesta paikkatietoanalyysillä.

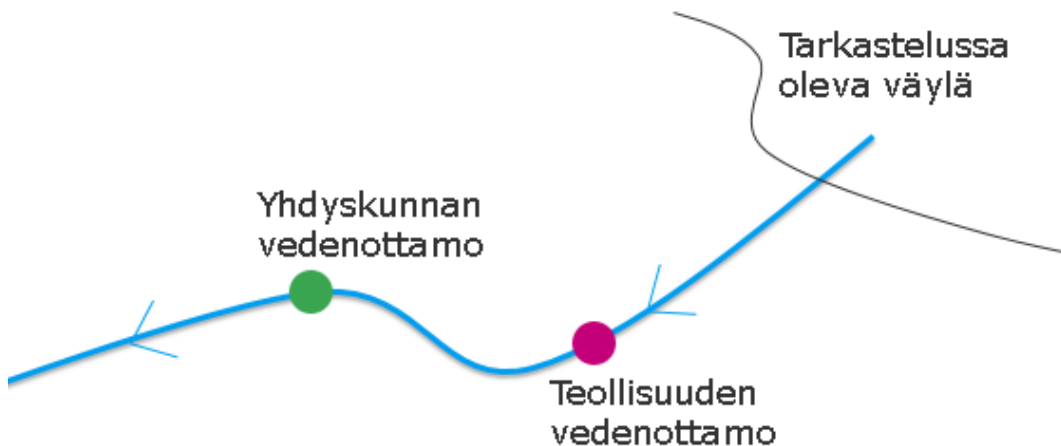
Väylien sijainnin perusteella tehty yhteensovitus voi kuitenkin aiheuttaa tilanteen, jossa tietty arvo siirtyy risteävästä, eikä halutusti samansuuntaisesta väylästä tulevalle väyläosuudelle. Automaation aiheuttama epävarmuutta poistettiin pistekokeilla ja yhteensovittamisella usealla eri menetelmällä. Epävarmuuden ei arvioida vaikuttavan lopputulokseen merkittävästi, sillä aineistojen yhteensovitus onnistui pääosin hyvin ja yksittäisten virheiden suhde laskennan lopputulokseen on pieni.

### 4.4.2 Vedenottamoihin liittyvät epävarmuudet

Priorisoinnissa käytettiin esiselvitysvaiheessa hankittuja tietoja vedenottamoiden sijainnista ja vedenottomääristä sekä jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden lukumääristä. Vedenottamoilta saadut tiedot olivat kuitenkin osittain epätarkkoja ja osittain puutteellisia. Tästä syystä priorisoinnissa käytettiin vedenottomäärän sijasta vedenottamon jakeluverkoston piirissä olevien henkilöiden määrää. Vaikka henkilömäärä on hyvin epätarkka, sen arvioidaan kuvaavan suhteellisen hyvin vedenottamoiden välisiä suhteita.

Vedenottamoiden ottopisteen sijainti ei kaikkien ottamoiden suhteen ollut selkeä, vaan esiselvitysvaiheessa tiettyjen vedenottamoiden sijainti jouduttiin määrittämään likimääräisesti. Lisäksi kaikkia pintavettä käyttäviä teollisuuslaitoksia ei saatu mukaan tarkasteluun. Hankkeen esiselvitysvaiheessa 25 % pintavettä käyttävistä teollisuuslaitoksista ei ilmoittanut vedenottamoidensa sijaintia tai vedenottomääriä. Tämä on huomioitava etenkin teollisuuslaitosten kohdekohtaisissa riskinarvioinneissa ja tulosten hyödyntämisessä viranomais-ten häiriötilannesuunnittelussa.

Paikkatietoanalyysillä määritettiin jokaiselle väyläosuudelle lähin vedenottamo, jonka perusteella väyläosuudelle määritettiin kyseisen vedenottamon mukaiset tiedot (vedenottomäärä, henkilömäärä jakeluverkoston piirissä). Useassa kohteessa vedenottamoita on kuitenkin lähekkäin, jolloin väyläosuus ns. kiinnittyy virtaussuunnassa ensimmäiseksi vastaan tulevaan ottamoon. Epävarmuutta tuloksiin voikin aiheuttaa tilanne, jossa ensimmäisen vedenottamon jälkeen alavirrassa on toinen ottamo, jossa vedenottomäärä voi olla isompi tai sen laatu on erilaista. Tilanne voi aiheuttaa riskipisteen aliarvioitumista etenkin tilanteessa, jossa etäisyys on laskettu teollisuuden vedenottamolta, vaikka lähistöllä alavirrassa olisi yhdyskunnan vedenottamo (kuva 27).



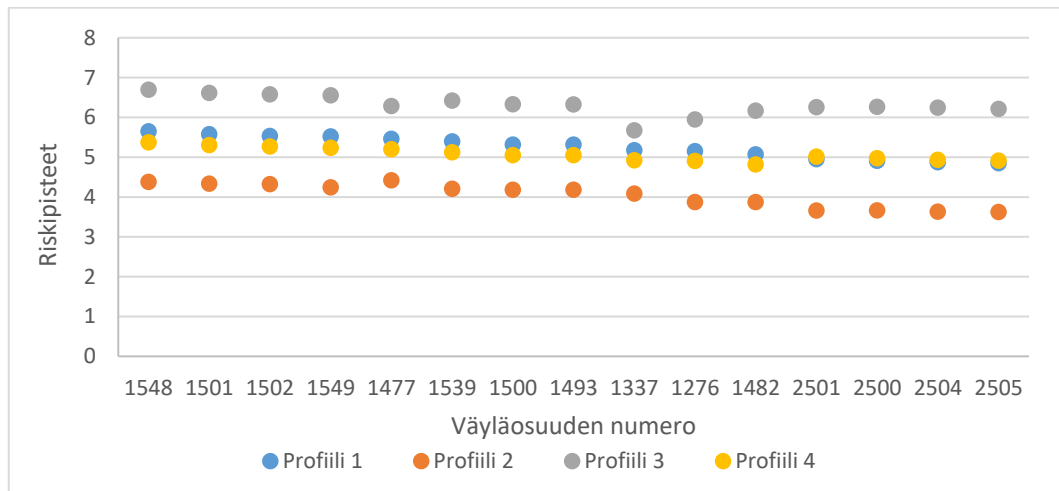
Kuva 27. Lähekkäin sijaitsevien vedenottamoiden ongelma havainnollistettuna.

#### 4.4.3 Painoarvojen määrittäminen

Kriteerien painoarvojen määrittäminen toteutettiin asiantuntija-arviona. Projektin yhteydessä todettiin, että painoarvojen määrittäminen yksityiskohtaisesti on hyvin vaikeaa. Painoarvoilla voi myös olla suuri vaikutus väylien priorisoinnin tuloksiin. Tästä syystä väyläosuuksien arviointia ja priorisointia tulee aina tehdä myös asiantuntija-arvioiden kautta.

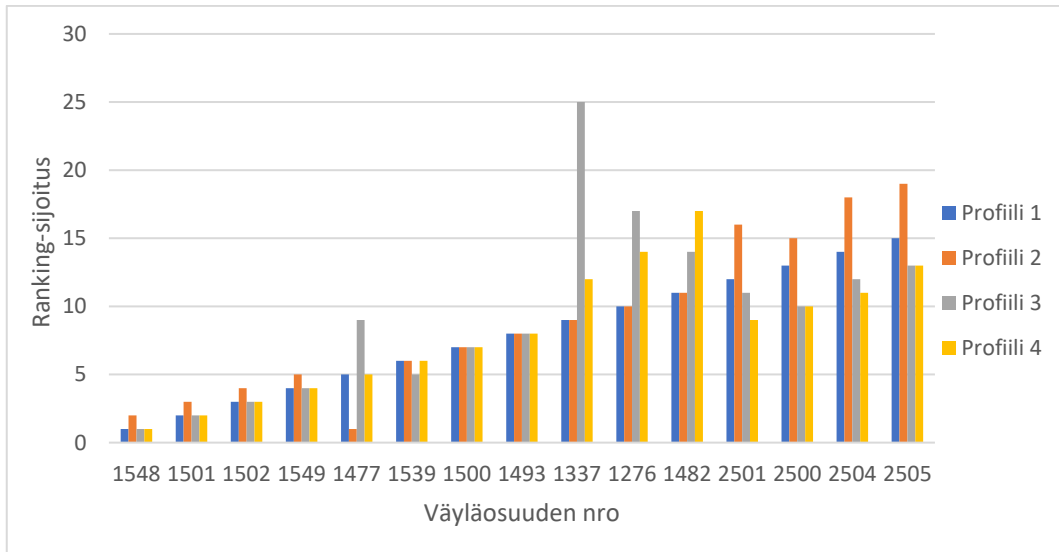
Epävarmuuden hallitsemiseksi projektissa toteutettiin neljä rinnakkaista painotusprofiilia, joilla testattiin priorisointimallin herkkyyttä. Vertailun tuloksena voidaan todeta, että painotuksilla oli merkitystä väylien riskipisteisiin ja niiden suhteeseen. Erot eivät kuitenkaan olleet suuria, ja korkeimmassa luokassa olevat väylät olivat pääosin korkeimmassa riskiluokassa kaikilla painoarvoprofiileilla.

Tuloksia tarkastellessa on kuitenkin tärkeää tiedostaa, että tuloksissa on esitetty vain yksi neljästä painoarvoprofiilista tulosten havainnollistamisen helpottamiseksi. Kuvassa 28 on havainnollistettu maanteiden osalta ne viisitoista väylää, jotka saivat korkeimmat riskipisteet profiililla 1, sekä väylien riskipisteet muissa profiileissa. Väylien järjestys pysyy profiileissa pääosin samana, joten painotuksella vaikuttaa olevan merkitystä enemmän riskipisteeseen, kuin väyläosuusjärjestykseen. Painoarvoprofiilien vaikutus voi olla kuitenkin suurempi, kun tarkastellaan väyliä, jotka eivät ole ihan kärkipäässä. Onkin mahdollista, että esimerkiksi painoarvoprofiililla 3 (etäisyydellä erittäin korkea painoarvo) osa muissa painoarvoprofiileissa riskiluokassa 2 olevia väyliä voi olla riskiluokassa 1. Tätä asiaa tulisi analysoida tarkemmin jatkotyössä.



Kuva 28. Eri painotusprofiilien vertailu maanteiden väyläosuuksilla, jotka saivat profiililla 1 korkeimmat riskipisteet.

Tulosten tarkastelun yhteydessä arvioitiin myös väylän sijoituksen muuttumista eri profiileissa. Kuvassa 29 on esitetty 15 korkeinta riskipistettä profiililla 1 saaneet väylät, sekä väylän sijoitus muilla profiileilla. Kuten kuvasta voi todeta, väylien sijoitus ei suuresti muutu profiilin muuttuessa.



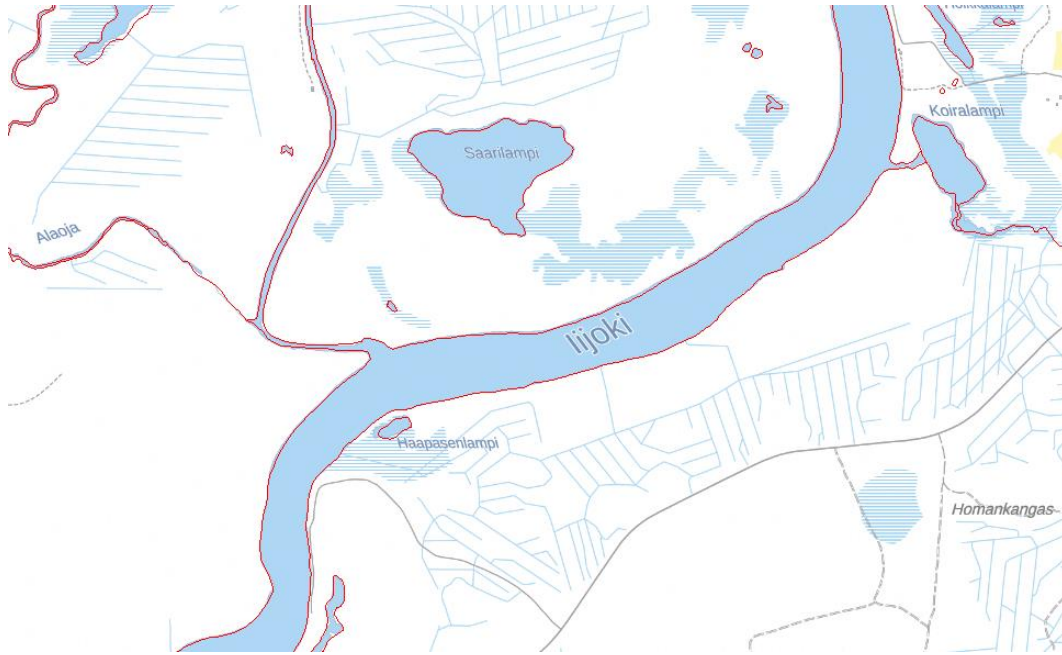
Kuva 29. Maanteiden väyläosuuksien ranking-sijoituksen vaihtelu eri profiileilla.

#### 4.4.4 Muut epävarmuudet

Väylillä kuljetettavien kemikaalien ja polttoaineiden ominaisuudet vaikuttavat aineen kulkeutumisenopeuteen väylältä vesistöön. Kemikaalit voivat esimerkiksi sitoutua herkästi maaperään, haihtua tai kulkeutua veden pinnalla. Kemikaalien myrkyllisyys ja haitallisuus vaihtelee, mutta jotkut vähemmän haitalliset aineet voivat heikentää vedenpuhdistusprosessia suurina määrinä. Liitteessä 5 on kerrottu, miten haitallisten aineiden kulkeutumiseen vaikuttavia ominaisuuksia voidaan tulevaisuudessa tarkastella, jos tieto väylillä kuljetettavista haitallisista aineista olisi valtakunnallisesti koottuna.

Uomarajauksessa käytettiin keskivirtaamaa, joten vuodenaikaisvaihtelua ei voitu huomioida. Ääritilanteessa esimerkiksi kevättulvan aikaan haitta-aineet voivat todellisuudessa kulkeutua vedenottamolle kauempaa ja nopeammin, jolloin esimerkiksi jotkin keskimääräisen riskiluokan väylät voivat kohota korkeimpaan luokkaan. Toisaalta samalla laimeneminen kiihtyy vesimäärien noustessa.

Projektissa käytetty Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämä uomaverkosto kattaa käytännössä kaikki yli 2 metrin levyiset uomat ja uomat, joilla on vähintään yli 10 km<sup>2</sup> valuma-alue. Kuvassa 30 on esitetty lijojen ympäristössä uomaverkoston laajuutta (punaisella rajatut uomat kuuluvat tarkastelun piiriin). Kuten kuvasta huomataan, moni joen eteläpuolella kulkeva metsäoja ei näy uomaverkostossa. Nämä ojat saattavat kuitenkin toimia väylien kuivatuksen tukena, jolloin niiden vaikutus haitta-aineiden kulkeutumiseen väylältä uomaan voi olla suuri.



Kuva 30. Uomaverkoston raja.

Epävarmuutta analyysiin tuo myös eri kriteerien ja mittareiden väliset korrelaatiot ja kausaliteetit. Esimerkiksi maanteiden talvihoitoluokka määräytyy pääosin liikennemäärän mukaan. Samoin onnettomuuksien osalta kausaliteettia voi esiintyä liikennemäärien ja hoitoluokkien suhteen. Tästä syystä joku tietty kriteeri voi painottua enemmän kuin analyysissä oli alun perin tarkoitus.

## 5 Johtopäätökset

Hankkeen tavoitteena oli luoda järjestelmällinen ja läpinäkyvä tapa tunnistaa sellaisia väyläosuuksia (maantiet, rautatiet ja Saimaan syväväylät), joista voi aiheutua riskejä pintavedenottamoille. Ensisijaisesti tarkasteltiin mahdollisissa poikkeustilanteissa (kemikaalionnettomuudet ja vuodot) syntyviä riskejä ja haittoja. Mahdollisten jatkotoimenpiteiden suunnittelua ja kohdistamista varten luotiin kriteeristö, jonka perusteella tunnistetut väyläosuudet voitiin luokitella riskin suuruuden perusteella suhteessa toisiinsa.

Tarkastelun tuloksena tunnistettiin maanteillä 3 282 erillistä väyläosuutta. Maantieosuuksien yhteispituus on 4 900 km. Korkeimman riskin luokkaan sijoittui 302 maantieosuutta. Rautateillä tunnistettiin yhteensä 386 väyläosuutta. Rautatieosuuksien yhteenlaskettu pituus on 770 km. Korkeimman riskin luokkaan sijoittui 50 rautatieosuutta. Saimaan syväväylillä tunnistettiin yhteensä 41 väyläosuutta, joista 5 sijoittui korkeimpaan riskiluokkaan.

Yleisesti tulosten perusteella voidaan todeta, että monikriteeriarvioinnilla korkeimpaan riskiluokkaan seuloutui etenkin väyläosuuksia, joissa on korkeat liikennemäärät (onnettomuuden todennäköisyys kasvaa) ja korkeat VAK-kuljetusten ja raskaan liikenteen liikennemäärät (kuljetettavan aineen haitallisuus kasvaa). Sen sijaan tietyt väyläosuudet, jotka esimerkiksi karttatarkastelun perusteella näyttävät olevan olennaisella riskialueella, eivät ole mukana korkeimmassa riskiluokassa, usein pienten liikennemäärien takia. Näitä väyläosuuksia on etenkin järvien tai jokien rannoilla tai siltojen kohdalla.

Tarkasteluissa on useita epävarmuuslähteitä, joista osaa on mahdollista pienentää lisäselvityksillä (esim. rajaukseen liittyvät haasteet ja eräät lähtötiedot). Jos koko aineiston tarkastelua halutaan jatkossa tarkentaa, on tärkeää miettiä mitä tarkastelulla halutaan saavuttaa. Resurssien käytön tehokkuuden kannalta voi olla järkevää jättää jatkotarkastelusta pois esimerkiksi alimpaan riskiluokkaan kuuluneet maantieväylät.

Väyläosuuksia tulisi tarkastella myös väyläkohtaisina asiantuntija-arvioina. Työtä tulisikin jatkaa aineistojen täydentämisellä sekä ympäristö-, liikenneturvallisuus-, kunnossapito- ja väyläomaisuuden hallinnan asiantuntijoiden arvioiden pohjalta pyrkiä todentamaan nyt toteutetulla systemaattisella tarkastelulla saatuja tuloksia. Sen jälkeen tulisi keskittyä keinoihin, joilla riskejä voidaan väyläkohtaisesti vähentää.

Keinoja, joilla riskejä voidaan väylillä vähentää, voivat olla muun muassa nopeusrajoitusten tarkistukset, kunnossapitotoimet tai kunnossapitoluokkien muutokset, väylien turvallisuuteen liittyvät korjaustoimet (esim. kaiteet, tasoristeykset) sekä etenkin väyliltä hulevesien poisjohtamiseen liittyvät ratkaisut ja käsittelymenetelmät vesistöjen lähellä.

Tämän tarkastelun tulokset tulisi saattaa yhdyskuntien ja teollisuuslaitosten vedenottamoiden tietoon sekä kuntien terveydensuojeluviranomaisille hyödynnettäväksi kunnan häiriötilannesuunnitelmassa talousveden laadun turvaamiseksi ja kunnan valmiussuunnitelmassa. Suunnitelmat tehdään yhteistyössä kunnan pelastusviranomaisen ja alueen ELY-keskuksen kanssa. Vedenottamoiden sijaintitietoja sisältäviä tuloksia ei kuitenkaan saa julkaista yleisellä jakelulla, vaan niiden käsittelytapa on sovittava laitoskohtaisesti.

## 6 Jatkotoimenpidetarpeet

Korkeimpaan riskiluokkaan sijoituville väyläosuuksille tulisi tehdä tarkempaa analyysiä niiden kokonaisriskipisteiden muodostumisesta ja tällä tavalla erotella ne väyläosuudet, jotka tarvitsevat kriittisimmin toimenpiteitä. Samoin tulisi tarkastella lähemmin niitä kriteerejä, jotka ovat merkitseviä nostamaan tietyn väyläosuuden luokkaan 1 tai laskemaan sen luokkaan 2.

Jatkotarkastelun avulla tulisi pyrkiä myös tunnistamaan sellaisia mahdollisia riskialttiita väyliä, jotka syntyvät kriittisistä yhdistelmistä. Esimerkiksi suuri VAK-kuljetusten määrä ja matalat kunnossapitoluokat tai yhdyskunnan vedenottamo ja alhaisen kunnossapitoluokan silta. Kaikki em. väylät eivät välttämättä sisälly arvopuuanalyysin avulla tunnistettuihin riskiluokan 1 väyliin joukkoon, jos muut kriteerit tuottavat pieniä riskipisteitä. Myös väylien risteämisen vaikutusta tulisi pohtia jatkotarkasteluissa. Esimerkiksi kahden luokkaan 2 sijoittuneen väylien risteysalue voi todellisuudessa olla suurempi riski kuin yksittäinen luokkaan 1 sijoittunut.

Jatkossa kriteerien painoarvoja tulisi tarkentaa ja niiden välisiä korrelaatioita tarkastella. Kriteerien suhteen tulisi arvioida esimerkiksi sitä, kuinka suuri merkitys kunnossapitoluokalla on onnettomuuksien syntyyn. Nykyisessä tarkastelussa on esimerkiksi oletettu, että onnettomuudet vähenevät portaittain kunnossapitoluokan suhteen (maanteillä 7 luokkaa, luokka 1=0 ja luokka 7=1). Jatkossa lisäaineiston perusteella tulisi arvioida myös esimerkiksi varolaitteellisten ja ei-varolaitteellisten tasoristeysten onnettomuusriskeissä olevaa eroa.

Onnettomuusaineistojen tuontia kriteeristöön tulisi harkita myös jatkossa. Tämä vaatisi etenkin tarkempaa tarkastelua eri kriteerien välisistä suhteista sekä laajempaa onnettomuuksiin liittyvää aineistoa Saimaan syväväyliltä ja rautateiltä. Onnettomuuksien todennäköisyys on olennaista etenkin, kun pohditaan eri väylätyyppien välisiä eroja. Rautatieverkosto esimerkiksi on suljettu, ja sillä liikkuu ainoastaan ammattikuljettajia, kun taas maanteillä ja Saimaan syväväylillä onnettomuuksia tapahtuu suuremmalla todennäköisyydellä yksityisliikenteen johdosta.

Tiedot väylillä kuljetettavien haitallisten aineiden laadusta, ominaisuuksista ja määristä lisäisivät tarkastelun tarkkuutta. Tarkempi laatutieto tekisi väyläkohtaisista riskinhallintasuunnitelmista konkreettisempia. Toisaalta sellaisia tietoja ei välttämättä ole saatavilla tai niiden hankkiminen on hyvin haastavaa.

Jatkotoimenpiteitä tai tehdyn monikriteerianalyysin päivitystä varten maanteistä on tietoja esimerkiksi kaiteiden olemassaolosta (puutteelliseksi tunnistettu kaide lisää suistumisonnettomuuden vakavuutta). Onnettomuuden vakavuutta lisää myös ajoneuvojen suuri nopeus, jolloin nopeusrajoitustietoa voisi käyttää analyysin tukena. Myös väyliä geometriatiedon (esim. näkemäpuutteet, kaartet ja mäet) sekä teiden ajoradan ja pientareen leveyden sekä valaistustiedon hyödyntämistä tulisi tarkastella jatkotyössä. Vastaavien tietojen olemassaolo tulisi selvittää myös rautateiltä.

Koska toimintaympäristö muuttuu koko ajan (esim. kunnossapitoluokat, kuljetusten määrät, vesilaitosten varavedenottomahdollisuus), tarkastelu olisi myös hyvä päivittää aika ajoin.

---

Tieto laitosten varavedenottomahdollisuudesta ja pelastusviranomaisten valmiustasosta sekä tiedonvaihdosta näiden toimijoiden kesken ja organisaatioiden sisällä ovat tärkeitä tietoja, jos tämän tarkastelun tulosten pohjalta kehitetään väyläkohtaista varautumista. Varautumista poikkeustilanteisiin tulee myös harjoitella, ja jokaisella organisaation vastuuhenkilöllä on oltava tieto siitä, miten toimia ja ketä informoida poikkeustilanteessa.



**Kysymys 1.** Kumpi vaikuttaa enemmän **pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden todennäköisyyteen vaarallisten aineiden kuljetusten määrä** vai **raskaan liikenteen määrä** ja kuinka suuri on ero kriteerien välillä?

Huom. kriteerien painoarvojen summa on 1 eli jos annat toiselle kriteerille painoarvon 0,7 (=70%), niin silloin toinen saa 0,3 (=30%).

Anna kriteerien painoarvoille minimi- ja maksimiarvot.

Kriteerit ovat samanarvoisia	<input type="checkbox"/>	Molemmat saavat painoarvon 0,5
<i>Vaarallisten aineiden kuljetusten määrä</i> lisää pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden todennäköisyyttä enemmän kuin <i>raskaan liikenteen määrä</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min__0,25__ max__0,45__
<i>Raskaan liikenteen määrä</i> lisää pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden todennäköisyyttä enemmän kuin <i>vaarallisten aineiden kuljetusten määrä</i>	<input type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min__0,55__ max__0,75__
Perustelut:		
<p><b>Onnettomuuden todennäköisyys tulisi tässä mieltää vuodon aiheutaman onnettomuustapahtuman todennäköisyytenä eikä mieltää mieltää sen seurausvaikutuksia. Muutoin tulee helposti otettua kahteen kertaan huomioon onnettomuuden vakavuuteen liittyviä piirteitä, joita tarkastellaan vakavuus -haarassa. Raskaan liikenteen määrässä on huomattavasti suurempia eroja väylien välillä kuin VAK-kuljetusten määrässä, joten sen vuoksi sille annetaan korkeampi painoarvo. Lisäksi VAK-kuljetuksissa käytetyt säiliöt ovat paremmin suojattuja, joten vuototapauksia ei tule kaikissa onnettomuuksissa.</b></p>		

**Kysymys 2.** Millä seuraavista turvallisuuteen liittyvistä kriteereistä on mielestäsi **merkittävin vaikutus väylän turvallisuuteen**? Aseta kriteerit **tärkeysjärjestykseen** (tärkein 1 ja vähiten tärkein 4) ja **jaa sen jälkeen painoarvo 1** niille siten, että anna merkittävimmälle kriteerille suurin painoarvo ja suhteuta muiden painoarvot siihen. Esim. jos annat merkittävimmälle kriteerille painoarvon 0,6 (kriteeri x) ja toiseksi merkittävimmälle 0,3 (kriteeri y), niin silloin kriteerillä x on kaksi kertaa suurempi vaikutus väylän turvallisuudelle kuin kriteerillä y.

Vaihtoehtoinen tapa kysyä sama asia: Minkä kriteerin arvon muutos huonoimmalta tasolta parhaimmalle tasolle vähentäisi eniten raskaan liikenteen onnettomuuden todennäköisyyttä kuvitteellisella väylällä, liikennemäärän, kunnossapidon vai tasoristeyksen? Ts. muutos liikennemäärässä 50 000:sta ajoneuvosta vuorokaudessa 500 ajoneuvon vuorokaudessa (arvot keksittyjä, saadaan aineistosta myöhemmin) väylän kunnossapitoluokan muutos huonoimmasta parhaimpaan vai ilman turvalaitteita olevan tasoristeyksen poistaminen?

Kriteeri	Tärkeysjärjestys	Painoarvojen vaihteluväli
<i>Liikennemäärät (muu kuin raskas liikenne)</i>	1	min__0,4__ max__0,5__
<i>Kunnossapito talvella ja kesällä</i>	2	min__0,3__ max__0,4__
<i>Tasoristeysten olemassaolo ja turvallisuus</i>	3	min__0,1__ max__0,2__

Perustelut:

**Liikennemäärän kasvu ei välttämättä vaikuta ulosajojen todennäköisyyteen, mutta se vaikuttaa kohtaavien onnettomuuksien todennäköisyyteen. Kunnossapito voi vaikuttaa paljonkin, mutta se konkretisoituu, kun liikennemäärä kasvaa. Tästä syystä liikennemäärä meillä tärkeysjärjestyksessä ylhäällä. Kunnossapito vaikuttaa suurempaan osaan väylistä kuin tasoristeykset. Raskaan liikenteen (VAK-kuljetukset) onnettomuudet tasoristeyksissä lienevät harvinaisia.**

**Kysymys 3:** Kumpi vaikuttaa enemmän pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden todennäköisyyteen ja kuinka suuri on ero kriteerien välillä

- *haitallisten aineiden kuljetusten määrä* (sis. VAK-kuljetukset ja raskaan liikenteen määrät) vai
- *väylän turvallisuus* (sis. liikennemäärät, kunnossapito sekä tasoristeysten olemassaolo ja turvallisuus)?

Kriteerit ovat samanarvoisia	<input type="checkbox"/>	Molemmat saavat painoarvon 0,5
<i>Haitallisten aineiden kuljetusten määrään</i> sisältyvät tekijät lisäävät pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden todennäköisyyttä enemmän kuin <i>väylän turvallisuuteen</i> sisältyvät tekijät	<input checked="" type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min __0,7__ max__0,8__
<i>Väylän turvallisuuteen</i> sisältyvät tekijät lisäävät pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden todennäköisyyttä enemmän kuin <i>haitallisten aineiden kuljetusten määrään</i> sisältyvät tekijät	<input type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min __0,2__ max__0,3__
<p>Perustelut:</p> <p><b>Haitallisten aineiden kuljetusten määrä on keskeinen tekijä tässä tarkastelussa, ja siksi korkea painoarvo. Liikennemäärien rajoittaminen (esim. VAK-kuljetusten poistaminen) toimenpiteenä on tehokkaampi tapa onnettomuuksien vähentämiseksi kuin turvallisuuden parantaminen.</b></p>		

**Kysymys 4.** Kumpi vaikuttaa enemmän yhdyskuntien pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden vakavuuteen

*etäisyys vedenottopisteeseen* vai väylän *uomien ylitykset* ja kuinka suuri on ero kriteerien välillä?  
Anna kriteerien painoarvoille minimi- ja maksimiarvot.

Kriteerit ovat samanarvoisia	<input type="checkbox"/>	Molemmat saavat painoarvon 0,5
<i>Etäisyys vedenottopisteeseen</i> lisää pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden vakavuutta enemmän kuin <i>uomien ylitykset</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min__0,6__ max__0,7__
<i>Uomien ylitykset</i> lisäävät pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden vakavuutta enemmän kuin <i>etäisyys vedenottopisteeseen</i>	<input type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min__0,3__ max__0,4__
<p>Perustelut:</p> <p><b>Tämä oli vaikea vertailu. Jos ajatellaan tarkastelun tavoitetta, niin pidettiin tärkeänä, että tunnistetaan erityisesti sellaisia väyliä, jotka ovat lähellä pintavedenottamoita. Jos korostetaan uomien ylityksiä, niin silloin kauempanakin oleva väylä, jossa olisi useita uomaylityksiä olisi riskialttiimpi kuin lähellä pintavedenottoa oleva väylä. Oletimme, että tarkasteltava väyläpätkä ei ole aivan lyhyt, jolloin todennäköisyys sille, että onnettomuus tapahtuisi juuri uoman kohdalla tai sen läheisyydessä ko. väyläpätkällä on pienehkö. Emme halunneet kuitenkaan vähätellä uoman ylityksen vaikutusta ja siksi se sai kohtalaisen suuren painoarvon. Mikan kommentti: sen jälkeen kun on parempi käsitys yksittäisten tarkasteluun valittavien väylien pituudesta, voidaan arvioida tarvetta muuttaa painoarvoja.</b></p>		

**Kysymys 5.** Kumpi vaikuttaa enemmän yhdyskuntien pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden vakavuuteen

vedenoton määrä vai varavedenottomahdollisuuden puuttuminen ja kuinka suuri on ero kriteerien välillä skenaario A:ssa ja B:ssä? Anna kriteerien painoarvoille minimi- ja maksimiarvot.

Kriteerit ovat samanarvoisia		Molemmat saavat painoarvon 0,5
Vedenoton määrä lisää uhkaa enemmän kuin varavedenottomahdollisuuden puuttuminen	X	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min 0,4 max 0,6
Varavedenottomahdollisuuden puuttuminen lisää uhkaa enemmän kuin vedenoton määrä	X	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min 0,4 max 0,6
Perustelut:		

Tämä vertailu oli erityisen vaikea ja siksi seuraavassa on avattu muita kysymyksiä enemmän vastaamisen logiikkaa.

Tässä siis vertaillaan parhaimman väylän (pienin vakavuus) ja huonoimman väylän (suurin vakavuus) välillä olevia eroja. Jos oletamme yksinkertaisuuden vuoksi, että molemmissa kriteereissä parhaassa tilanteessa vakavuus on suht. pieni, niin silloin voidaan keskittyä huonoimpien tilanteiden vertailuun. Pintavedenotto on suurinta Helsingissä ja Tampereella. Päijänne-tunnelin ja Silvolan tekoaltaan vuoksi Helsingin tilanne saattaa olla parempi kuin Tampereen. Varavedenoton suhteen tilanne on huonoin Oulussa.

Jos tietoa onnettomuudesta ei saada ajoissa, niin haitallista ainetta ehtii päästä vesijohtoverkkoon ja silloin varavedenottomahdollisuutta ei pystytä hyödyntämään eikä mahdollisen terveyshaitan syntymistä pystytä ehkäisemään. Varavedenottomahdollisuus voi kuitenkin lyhentää häiriön kestoa.

Jos tieto kulkee nopeasti, niin on mahdollista ottaa käyttöön varavedenotto ennen kuin haitallinen aine on kulkeutunut vedenotolle ja verkosto saastuu. Tällöin onnettomuuden vakavuus pienenee selveästi. Jos tieto kulkee nopeasti, mutta varavedenottamoita ei ole – voidaan vain jakaa tietoa siitä, että vettä ei saa käyttää, mutta mistä saadaan puhdas vesi asukkaille? Esimerkiksi Oulun kokoisessa kaupungissa tämä olisi suuri ongelma.

Kysymys voisi siis pelkistyä niin, että arvioidaan, kumpi aiheuttaa vakavamman uhkan pintavedenotolle onnettomuus Oulujoen lähellä kulkevalla väylällä vai onnettomuus Roineen (Tampere ottaa 2/3 talousvedestään Roineesta) lähellä kulkevalla väylällä?

Kumpikin tilanne kuulostaa erittäin vakavalta, joten kriteerien painoarvot lienevät lähellä toisiaan. Tässä voisi kokeilla esim. 0,4-0,6 vaihteluväliä niin, että painoarvoprofiilissa 1 Vedenoton määrä saa suuremman painoarvon (0,6) ja profiilissa 2 puolestaan Varavedenottomahdollisuuden puuttuminen saa painoarvon 0,6.

**Kysymys 6.** Kumpi vaikuttaa enemmän **teollisuuden pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden vakavuuteen**

*prosessivedenotto* vai *jäähdytysvedenotto* ja kuinka suuri on ero kriteerien välillä? Anna kriteerien painoarvoille minimi- ja maksimiarvot.

Kriteerit ovat samanarvoisia	<input type="checkbox"/>	Molemmat saavat painoarvon 0,5
<i>Prosessivedenotto</i> lisää uhkaa enemmän kuin <i>jäähdytysvedenotto</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min__0,8_ max__0,9__
<i>Jäähdytysvedenotto</i> lisää uhkaa enemmän kuin <i>prosessivedenotto</i>	<input type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min__0,1__ max__0,2__
Perustelut:  <b>Jäähdytysvesi on oletettavasti systeemin ulkopuolella, jolloin prosessivesi on selvästi tärkeämpi. Prosessiveden oletetaan tässä olevan tärkeä osa lopputuotteen laatua (eli lopputuotteen laatu on riippuvainen prosessiveden laadusta). Rahallisen menetyksen ja maineriskin lisäksi voi olla myös mahdollisia kielteisiä terveysvaikutuksia. Vertailua konkretisointiin ajattelemalla elintarvikkeita valmistavaa laitosta ja lämpövoimalan jäähdytysvedenottoa. Huom. Kaasuuntuvan aineen joutuminen lämmönvaihtimeen voi olla ongelma jäähdytysvedenottotilanteessa.</b>		

**Kysymys 7.** Kumpi vaikuttaa enemmän **pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden vakavuuteen**

- yhdyskuntien vedenotto (sis. vedenoton määrä ja varavedenottomahdollisuuden puuttuminen)
- vai teollisuuslaitosten vedenotto (sis. prosessi- ja jäähdytysvedenotot)

ja kuinka suuri on ero kriteerien välillä? Anna kriteerien painoarvoille minimi- ja maksimiarvot.

Kriteerit ovat samanarvoisia	<input type="checkbox"/>	Molemmat saavat painoarvon 0,5
Yhdyskuntien vedenottoon kohdistuva uhka on teollisuuslaitosten vedenottoon kohdistuvaa uhkaa vakavampi	<input checked="" type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min__0,7__ max__0,8__
Teollisuuslaitosten vedenottoon kohdistuva uhka on yhdyskuntien vedenottoon kohdistuvaa uhkaa vakavampi	<input type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min__0,2__ max__0,3__
Perustelut:  <b>Yhdyskuntien vedenotto on tärkeämpää, koska raakaveden pilaantumisella voi olla vaikutusta pahimmillaan kymmeniin tuhansiin ihmisiin. Häiriötilanteessa vedenjakelun järjestäminen voi olla valtava haaste. Teollisuuslaitoksilla haitan kärsijänä on luultavasti vain yksi laitos ja vakavuus mitataan ehkä vain rahallisesti.</b>		

**Kysymys 8.** Kumpi vaikuttaa enemmän pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden vakavuuteen kemikaalit säiliöissä vai raskaan liikenteen polttoaine ja kuinka suuri on ero kriteerien välillä?

Kriteerit ovat samanarvoisia	<input type="checkbox"/>	Molemmat saavat painoarvon 0,5
<i>Kemikaalien kuljetuksesta aiheutuva uhka on raskaan liikenteen polttoaineista aiheutuvaa uhkaa vakavampi</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min__0,8__ max__0,9__
<i>Raskaan liikenteen polttoaineista aiheutuva uhka on kemikaalien kuljetuksesta aiheutuvaa uhkaa vakavampi</i>	<input type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min__0,1__ max__0,2__
Perustelut:  <b>Kemikaalikuljetukseen liittyvässä vahingossa maastoon pääsevät määrät ovat todennäköisesti isompia (säiliöauto max n. 25 000 litraa ja rekan polttoainesäiliö max n. 1000 litraa) ja aineet mahdollisesti haitallisempia. Siksi väylät, joilla on kemikaalikuljetuksia ovat selvästi suurempi uhka kuin väylät, joilla vain raskasta liikennettä.</b>		



**Kysymys 9:** Mikä seuraavista kriteereistä vaikuttaa eniten pintavedenottoa uhkaavan onnettomuuden

- Aineiden kulkeutumisaika vedenottamolle (etäisyys vedenottopisteestä ja uoman ylitykset)
- Vedenoton laatu ja määrä (yhdyskunnat ja teollisuus)
- Aineiden haitallisuus (kemikaalit ja polttoaineet)

Tämä kysymys osoittautui niin hankalaksi, että muodostettiin kaksi erilaista painotusvaihtoehtoa

**Vaihtoehto 1:**

Kriteeri	Tärkeysjärjestys	Painoarvot
Aineiden kulkeutumisaika vedenottamolle	1	0,4
Vedenoton laatu ja määrä	1	0,4
Aineiden haitallisuus	3	0,2

Perustelut:

Kulkeutumisajalla ja vedenoton määrällä/laadulla on eniten vaikutusta (jos on aikaa, haitallisuus tai vedenoton laatu/määrä ei välttämättä ole merkittävä tekijä). Vedenoton määrä/laatu asetettiin haitallisuuden edelle, koska jos esim. suuren kaupungin vesi saastuu, ei ehkä ole väliä kuinka haitallista aine on (vakavuus on silti suuri).

Koska projektissa etsitään nimenomaan riskiväyliä, kulkeutumisaika vedenottamolle on erityisen tärkeä asia.

**HUOM!** Painoarvot riippuvat myös siitä, miten rajaamme tarkasteltavat kohteet. Jos tarkasteluun sisällytetään myös kauempana olevia kohteita (esim. viipymä =10 vrk), niin silloin kulkeutumisajan painoarvo on pienempi kuin, jos tarkastellaan vedenotosta vain muutaman päivän kulkeutumisetäisyyden päässä sijaitsevia kohteita.

**Vaihtoehto 2:**

Kriteeri	Tärkeysjärjestys	Painoarvot
Aineiden kulkeutumisaika vedenottamolle	1	0,33
Vedenoton laatu ja määrä	1	0,33
Aineiden haitallisuus	1	0,33

Perustelut:

Tasapainotusta puoltaa se, että onnettomuuden vakavuutta arvioitaessa kaikki kriteerit ovat tärkeitä ja niiden välille on vaikea tehdä eroa.

**Kysymys 10. Kuinka suuri painoarvo väylien riskipisteiden laskennassa tulisi antaa *onnettomuuden todennäköisyydelle* ja *vaikutuksen vakavuudelle* ?**

**YHDISTELMÄ**

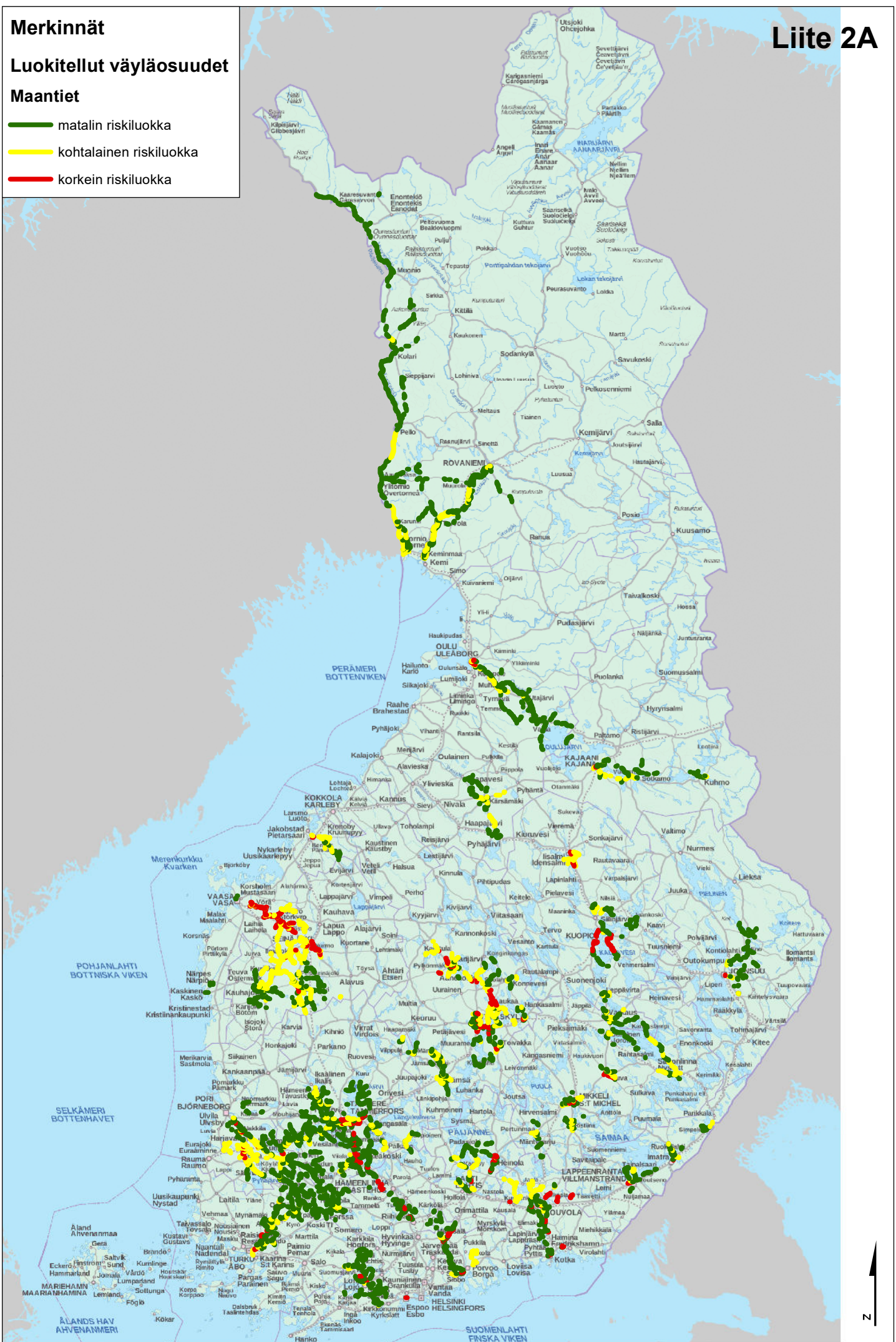
Pääkriteerit ovat samanarvoisia	<input type="checkbox"/>	Molemmat saavat painoarvon 0,5
<i>Onnettomuuden todennäköisyyttä</i> tulisi painottaa arvioinnissa enemmän kuin vaikutuksen vakavuutta	<input type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min_0,4__ max__0,4__
<i>Vaikutuksen vakavuutta</i> tulisi painottaa arvioinnissa enemmän kuin onnettomuuden todennäköisyyttä	<input checked="" type="checkbox"/>	Painoarvon minimi- ja maksimiarvot min_0,6__ max__0,6__
Perustelut:  <b>Nelikentässä arvioituna (1 suuri todnäk, suuri vakavuus, 2 suuri vakavuus, pieni todnäk, 3 suuri todnäk, pieni vakavuus, 4 pieni todnäk, pieni vakavuus) harvoin tapahtuvat suuret onnettomuudet menevät usein tapahtuvien pienten lorahduksien edelle.</b>  <b>Ei pidetty vaihteluväliä tarpeellisena, koska ei nähty tekijöitä samanarvoisina (0,5 vs 0,5) ja toisaalta 0,3 vs. 0,7 olisi tuntunut liian suurelta erolta.</b>		

**Merkinnit**

**Luokitellut väyläosuudet**

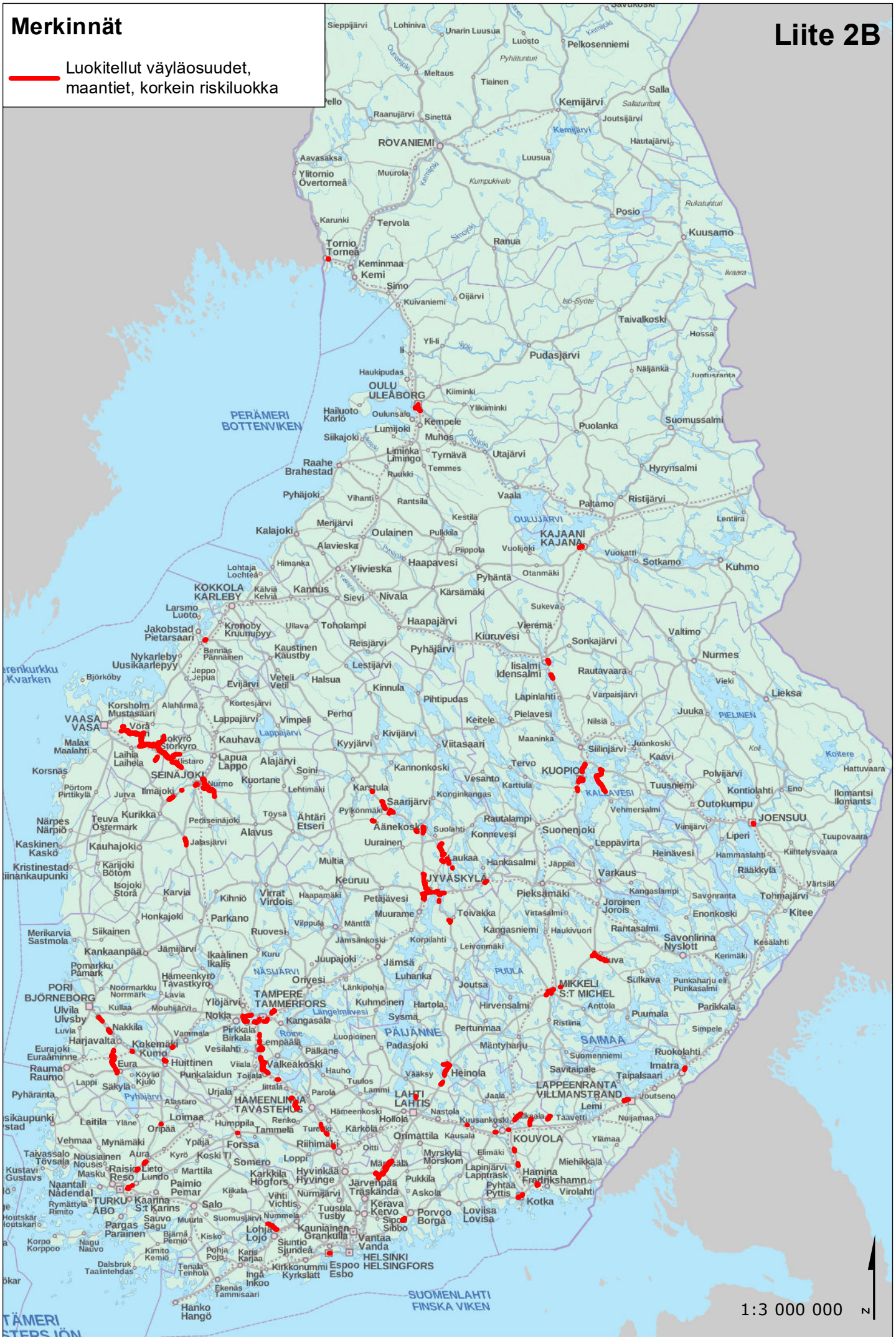
**Maantiet**

- matalin riskiluokka
- kohtalainen riskiluokka
- korkein riskiluokka



# Merkinnot

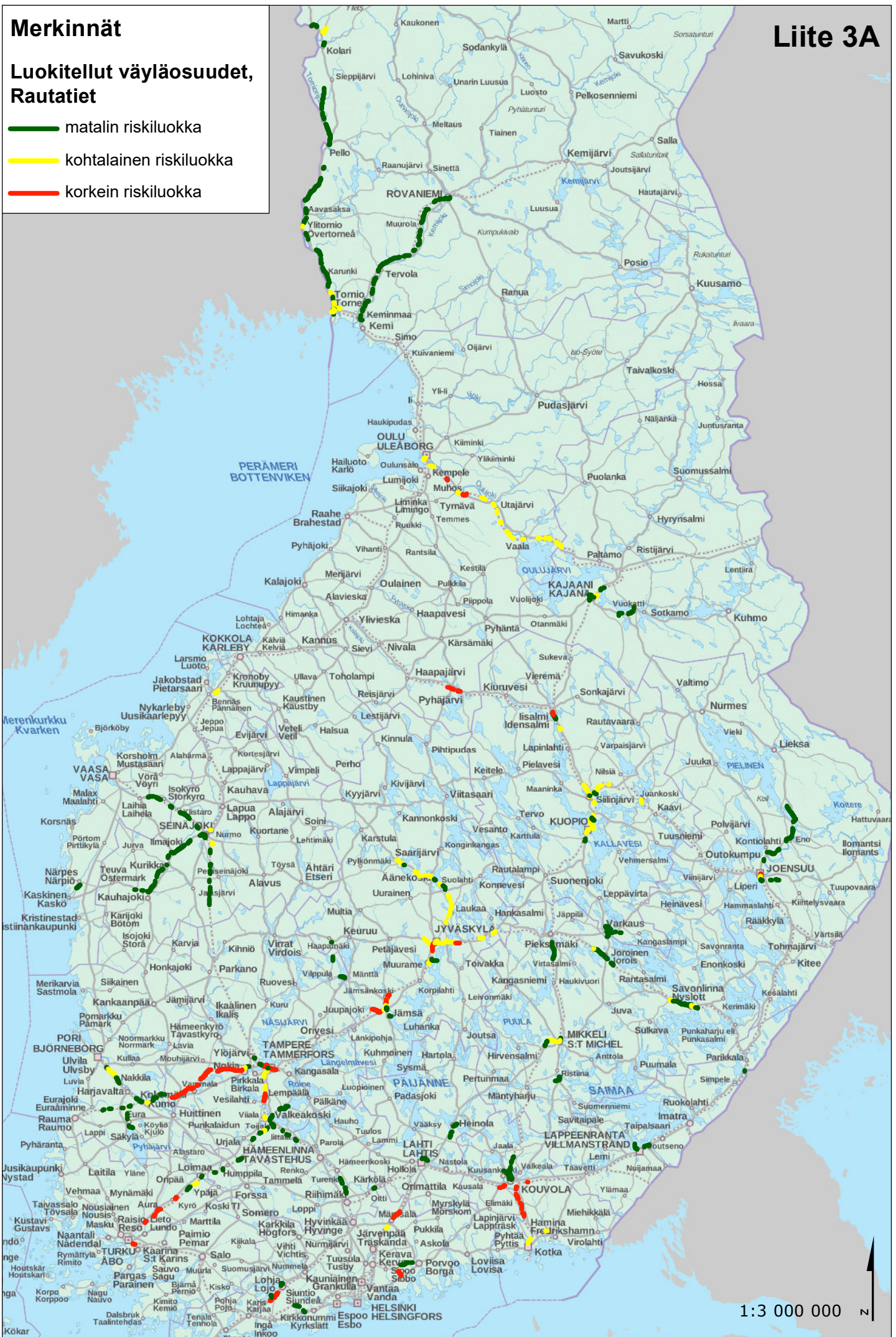
Luokitellut vlylousuudet,  
maantiet, korkein riskiluokka



# Merkinnot

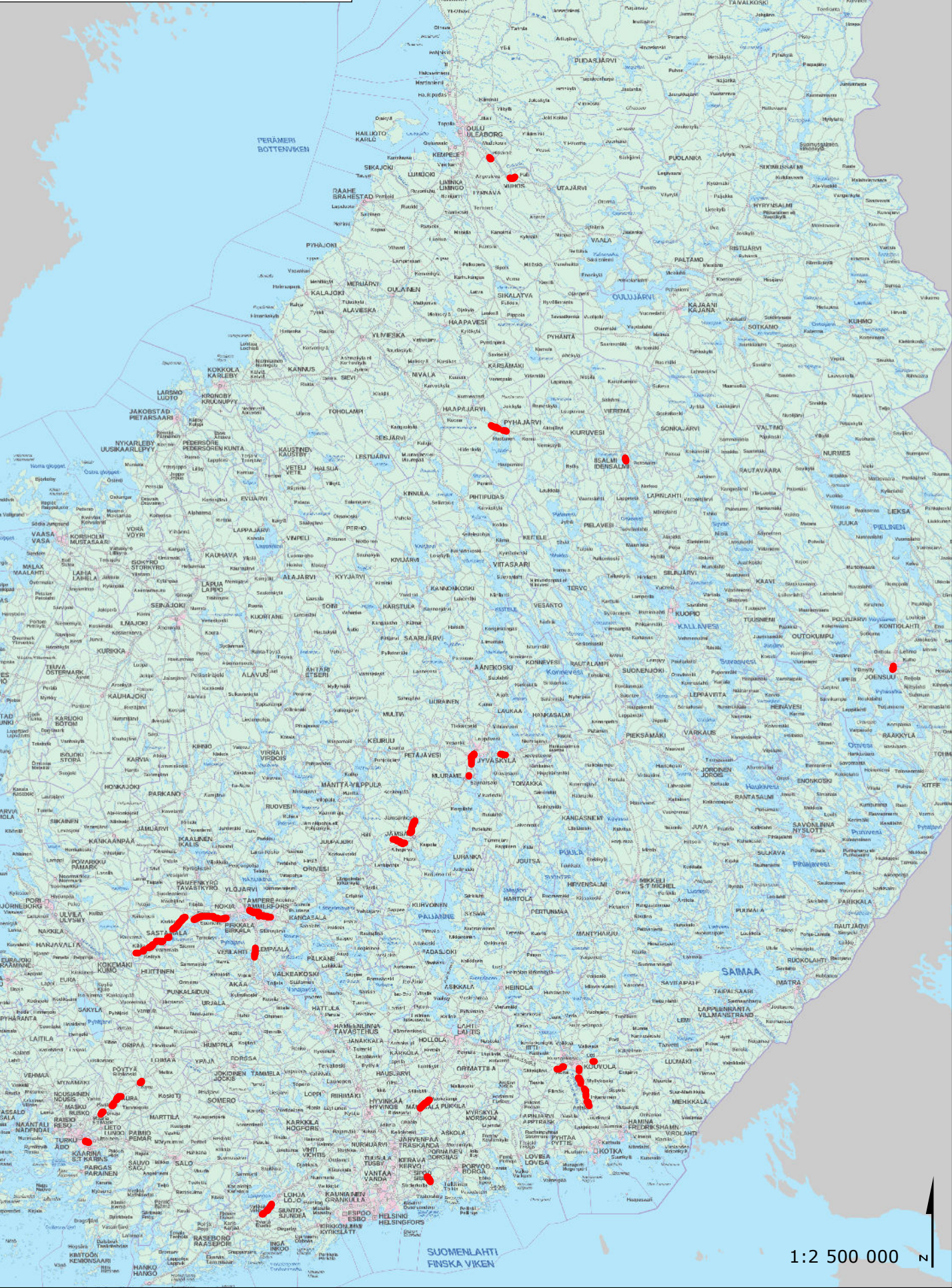
## Luokitellut väyläosuudet, Rautatiet

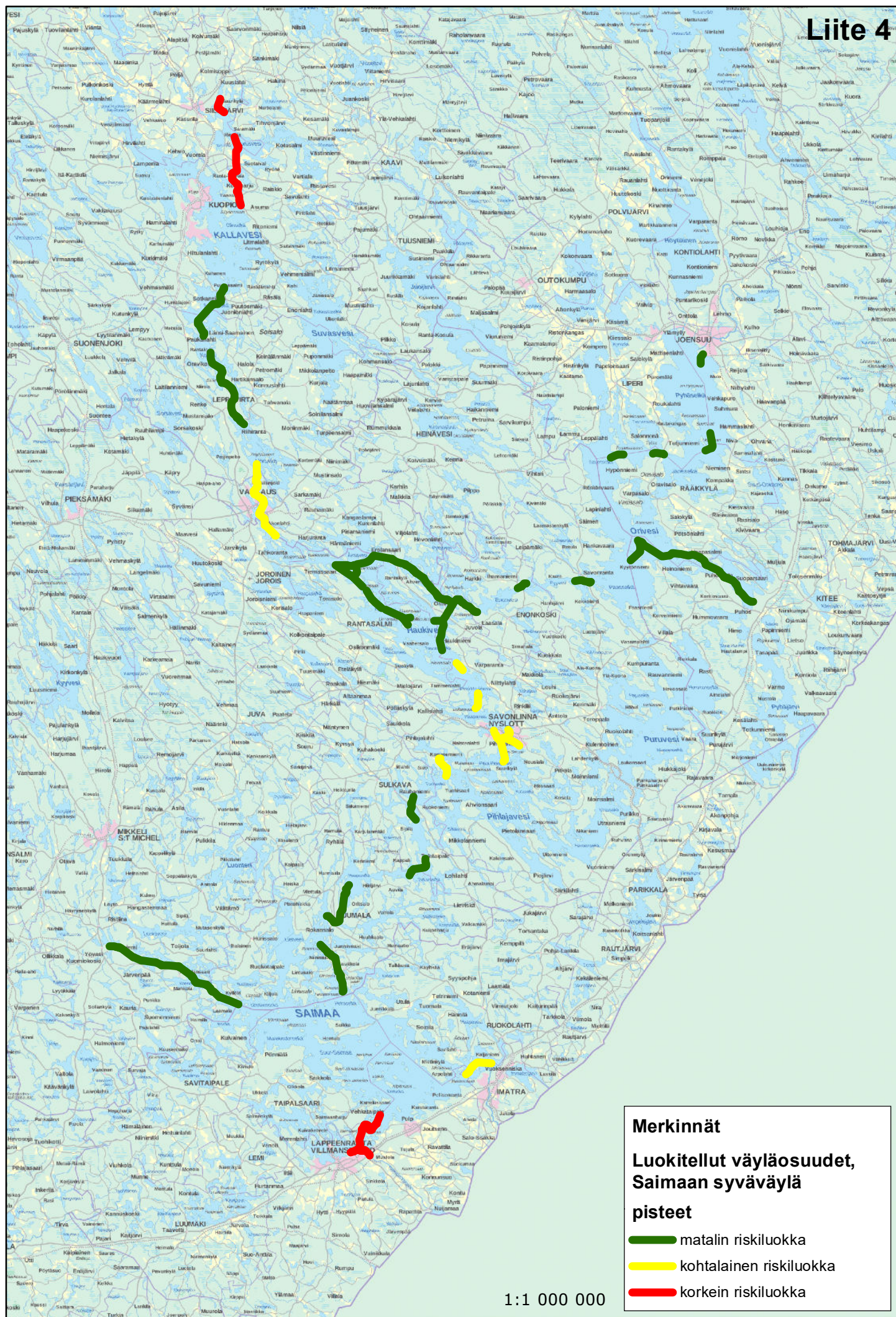
- matalin riskiluokka
- kohtalainen riskiluokka
- korkein riskiluokka



# Merkinnät

Luokitellut väyläosuudet  
rautateillä, korkein  
riskiluokka





1:1 000 000

## Haitallisten aineiden luokittelusta

Aineen kulkeutumista kuvaavia suureita ovat:

- Vesiliukoisuus mg/l
- Tiheyden ja viskositeetin suhde
- Höyrinpaine, Pa tai mmHg
- Henryn lain vakio, KH
- Kiehumispiste °C
- jakautumiskertoimet
  - o Oktanoli-vesi-jakautumiskerroin, logKow
  - o Kd = jakaantumiskerroin veden ja kiinteän aineksen välillä
  - Koc = jakaantumiskerroin veden ja orgaanisen hiilen välillä

### Vesiliukoisuus

Vesiliukoisuus lisää kemikaalin kulkeutumista pintavaluntana ja huokos- tai pohjaveden mukana. Vesiliukoisuus myös lisää kemikaalien biosaatavuutta, sillä eliöt voivat altistua niille helpommin kuin tiukasti maapartikkeleihin sitoutuneille aineille. Toisaalta hyvin vesiliukoiset yhdisteet ovat usein helpoimmin biohajoavia aineita eivätkä ne yleensä ker- ry eliöihin tai ravintoverkkoihin (Häkkinen ym. 2010).

Taulukko 1. Haitta-aineiden luokittelu vesiliukoisuuden perusteella (Nikunen & Leinonen 2002).

Vesiliukoisuus (S) [mg l <sup>-1</sup> ]	Luokittelu (liukoisuus veteen)
>1000	Hyvin liukeneva
10–1000	Liukeneva
0,1–10	Niukkaliukoinen
<0,1	Hyvin niukkaliukoinen

### Tiheyden ja viskositeetin suhde

Kuljetusonnettomuuden tapauksessa kemikaalien kulkeutumisella omassa faasissaan on tärkeä merkitys. Suuren nopeasti tapahtuvan vuodon seurauksena maaperä kyllästyy kemikaalilla. Myös täysin vesiliukoiset aineet voivat onnettomuustilanteessa esiintyä heti vuodon jälkeen omassa faasissaan, koska kemikaalineste täyttää pintamaan huoko- set ja huokosveden kyllästysaste ylittyy (Häkkinen ym. 2010).

Myös vesiliuoksessa olevien kemikaalien advektiiviseen kulkeutumiseen vaikuttavat vir- tausten ohella kuljetettavan aineen viskositeetti ja ominaispaino sekä kuljettavan nes- teen viskositeetti (Heikkinen 2000).

### Höyrinpaine

Höyrinpaine kuvaa aineen taipumusta haihtua kaasumaiseen muotoon. Kuljetusonnet- tomuustapauksessa kemikaalin maa- tai vesiympäristölle aiheuttama riski kasvaa sen mukaan, mitä vähemmän ainetta haihtuu ja mitä enemmän ainetta imeytyy maahan tai päätyy veteen. Kemikaali voi kuitenkin päätyä ilmasta takaisin maahan tai veteen sateen mukana. Pitoisuudet ilmassa kuitenkin laimenevat nopeasti, sillä monet kemikaalit ha- joavat ilmassa nopeammin kuin maassa tai vedessä (Häkkinen ym. 2010).



Taulukko 2. Haitta-aineiden haihtuvuuden luokittelu höyrynpaineen perusteella (Nikunen &amp; Leinonen 2002).

Höyrynpaine ( $V_p$ ) [Pa] (20-25 °C)	Luokittelu (haihtuvuus)
>100	Erittäin haihtuva
1-100	Haihtuva
$10^{-2}$ -1	Kohtalaisen haihtuva
$10^{-4}$ - $10^{-2}$	Heikosti haihtuva
< $10^{-4}$	Hyvin heikosti haihtuva

**Henryn lain vakio**

Kuvaa aineen taipumusta siirtyä vesiliuoksesta haihtumalla kaasufaasiin.

Taulukko 3. Haitta-aineiden haihtuvuus vesiliuoksesta (Nikunen &amp; Leinonen 2002).

Henryn lain vakio ( $K_H$ ) [atm×m <sup>3</sup> /mol]	Luokittelu (haihtuvuus vesiliuoksesta)
> $10^{-3}$	Haihtuu erittäin helposti vedestä
$10^{-5}$ - $10^{-3}$	Haihtuu helposti vedestä
$10^{-7}$ - $10^{-5}$	Haihtuu heikosti vedestä
< $10^{-7}$	Haihtuu hyvin heikosti vedestä

**Kiehumispiste °C**

Haihtuvilla yhdisteillä kiehumispiste on alle 260 °C, puolihaihtuvilla 240-400 °C (Häkkinen ym. 2010).

**Jakautumiskerroin**

- Maa-vesi -jakautumiskerroin ( $K_p$ ) kuvaa aineen kiinnittymis- ja toisaalta kulkeutumispotentiaalia maaperässä. Suuri  $K_p$ -arvo tarkoittaa, että aine sitoutuu maainekseen eikä siten voi helposti kulkeutua.
- Orgaanisten aineiden jakautumiskertoimenä käytetään tavallisesti  $K_{oc}$ -arvoa, joka ilmoittaa aineen sitoutumispotentiaalın suhteessa maaperän orgaanisen hiilen pitoisuuteen ( $f_{oc}$ ).
- Aineen kulkeutumisen arvioinnissa otetaan huomioon sekä  $K_{oc}$ -arvo että maaineksen sisältämän orgaanisen hiilen määrä
- ( $K_p = K_{oc} \times f_{oc}$ ).

Taulukko 4. Haitta-aineiden luokittelu kulkeutuvuuden perusteella. Jakaantumiskerroin veden ja orgaanisen hiilen välillä  $K_{oc}$  ja adsorptiokerroin  $K_p$ .  $K_p$ -arvo on esimerkki maalle, joka sisältää 1,5 % orgaanista hiiltä (Nikunen & Leinonen 2002).

Jakautumiskerroin ( $K_{oc}$ ) orgaaninen hiili – vesi [-]	Jakautumiskerroin ( $K_p$ ) maa – vesi [-]	Luokittelu (kulkeutuvuus)
< 50	< 0,75	Erittäin kulkeutuva
50-150	0,75 - 2,25	Helposti kulkeutuva
150-500	2,25 - 7,5	Kohtalaisen kulkeutuva
500-2000	7,5 - 30	Hieman kulkeutuva
2000-5000	30 - 75	Heikosti kulkeutuva
> 5000	> 75	Kulkeutumaton

**Aineen haitallisuutta kuvaavia suureita**

Aineen haitallisuutta kuvaavia suureita ovat:

- Myrkyllisyys
- Kertyvyys
- Biosaatavuus
- Puoliintumisaika

**Myrkyllisyys**

Kemikaalien myrkyllisyyttä selvitetään ekotoksikologisilla kokeilla. Suurin osa saatavilla olevasta ekotoksisuutta koskevasta tiedosta ja viitearvoista perustuu yksittäisille haitta-aineille tehtyjen standardoitujen myrkyllisyystestien tuloksiin. Näissä testissä tarkastellaan tyypillisesti vain yhtä kohdeorganismia ja yhtä tai useampaa vaikutustyyppiä eli vastetta joko lyhytaikaisessa tai pitkäaikaisessa altistuksessa (Ympäristöministeriö 2014).

Akuutit tutkimukset toteutetaan korkeilla, lähes onnettomuustilannetta vastaavilla pitoisuustasoilla. Pitkäaikaisessa altistuksessa haittavaikutukset esiintyvät pienemmillä kemikaalipitoisuuksilla, joten kroonisten testien tulokset antavat erittäin tärkeää tietoa kemikaalien ympäristövaikutuksista olosuhteissa, jotka kuvaavat onnettomuutta seuraavien kuukausien aikana kehittyvää tilannetta. Eri lajien ja eliöryhmien välillä voi myös olla merkittäviä herkkyseroja (Häkkinen ym. 2010).

Haitta-aineita voidaan luokitella myrkyllisyyden mukaan seuraavasti (Nikunen & Leinonen 2002):

- Haitta-aineen akuutti myrkyllisyys nisäkkäille nieltynä ja ihon kautta sekä hengitettynä
- Haitta-aineen akuutti ja pitkäaikainen myrkyllisyys vesieliöille (leville, kaloille ja vesikirpuille)
- Haitta-aineen myrkyllisyys lieroille, linnuille ja mehiläisille

**Kertyvyys**

Kertyvyys lisää kemikaalin taipumusta varastoitua eliön kudoksiin suurempana pitoisuutena kuin mitä

sitä esiintyy ympäröivässä vedessä tai maaperässä (Häkkinen ym. 2010). Etenkin rasvaliukoiset aineet kertyvät eliöihin. Orgaanisten aineiden taipumusta biokertyvyyteen eli bioakkumulaatioon voidaan arvioida oktanoli/vesi-jakautumiskertoimen avulla, joka ilmaistaan yleensä log K<sub>ow</sub> -arvona (Kemikaalineuvonta).

Taulukko 5. Haitta-aineiden kertyvyyden luokittelu n-oktanoli-vesi -jakautumiskertoimen (K<sub>ow</sub>) ja biokonsentraatiokertoimen (BCF) perusteella (Nikunen & Leinonen 2002).

Jakautumiskerroin (K <sub>ow</sub> ) n-oktanoli – vesi [-]	log K <sub>ow</sub>	BCF	Luokittelu (kertyvyys)
> 1000	> 3	> 100	hieman kertyvää
> 10 000	> 4	> 2000	kohtalaisen kertyvää
> 100 000	> 5	> 5000	erittäin kertyvää

**Biosaatavuus**

Biosaatavuus tarkoittaa eliöiden saatavilla olevaa osuutta haitta-aineen pitoisuudesta tai kokonaismäärästä väliaineessa. Biosaatavuus vaihtelee aineen, väliaineen ja altistumisreitien perusteella. Esimerkiksi maa-ainekseen voimakkaasti sitoutuneiden aineiden imeytyminen ruoansulatuskanavassa voi olla vähäistä, kun taas kaasumaisten yhdisteiden imeytyminen hengityselimissä on tyypillisesti suurta. Yksittäisten yhdisteiden biosaatavuudessa eliöille on suuria eroja. Biosaatavuutta arvioidaan biotesteillä ja erilaisilla heikkouuttomenetelmillä (Ympäristöministeriö 2014).

**Puoliintumisaika**

Haitta-aineiden pitoisuudet voivat vähetä (bio)hajoamisen seurauksena. Haitta-aineiden hajoamisen yhteydessä voi syntyä myös lähtöaineitään haitallisempia yhdisteitä.

Taulukko 6. Haitta-aineiden hajoavuuden luokittelu puoliintumisajan (T<sub>50</sub>) perusteella (Nikunen & Leinonen 2002).

nopeasti hajoava	T <sub>50</sub> < 1 viikko
kohtalaisen nopeasti hajoava	T <sub>50</sub> 1 viikko – 1 kuukausi
kohtalaisen hitaasti hajoava	T <sub>50</sub> 1 – 3 kuukautta
hitaasti hajoava	T <sub>50</sub> 3 – 8 kuukautta
erittäin hitaasti hajoava	T <sub>50</sub> > 8 kuukautta

**Lähteet:**

Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä – Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 150. Espoo. 79 s.  
[http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr\\_150.pdf](http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_150.pdf)

Häkkinen, J., Kiiski, A., Malk, V. Myyrä, M. & Penttinen O.-P. 2010. Kemikaalikuljetusonnettomuuteen varautuminen Kymenlaaksossa – Ympäristöriskien arviointi ja puhdistusmenetelmien valinta. ChemRisk – Kymenlaaksossa tärkeimpien kemikaalien maantie- ja rautatiekuljetusten ympäristöriskit ja niiden torjunta. Hankkeen loppuraportti. Helsingin yliopisto. 140 s. <https://docplayer.fi/27830055-Kemikaalikuljetusonnettomuuteen-varautuminen-kymenlaaksossa-ymparistoriskien-arviointi-ja-puhdistusmenetelmien-vertailu.html>

Kemikaalineuvonta – Aineiden luokitus.

<http://www.kemikaalineuvonta.fi/fi/Saadosalue/CLP/Luokitus/Vaarallisuus-vesiymparistolle/Aineiden-luokitus/>. Sivustolla vierailtu 5.12.2018.

Nikunen, E. & Leinonen, R. 2002. Ympäristölle vaaralliset kemikaalit – Riskinarviointi ja luokitus. Kemianteollisuus Ry. 139 s.

Ympäristöministeriö, 2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014. 235 s.  
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/136564>



ISSN 2490-0982  
ISBN 978-952-317-694-2  
[www.vayla.fi](http://www.vayla.fi)