

# **Rannikon pengerteiden ympäristövaikutusten arviointi työpöytä tutkimuksen avulla**

Virtausaukkojen rakennustarve Saaristomeren pengerteillä

Vilhelmiina Virtanen

Maantiede  
Pro gradu -tutkielma  
Laajuus: 30 op

19.3.2026

Turku

Pro gradu -tutkielma

**Pääaine:** Maantiede

**Tekijä:** Vilhelmiina Virtanen

**Otsikko:** Rannikon pengerteiden ympäristövaikutusten arviointi työpöytä tutkimuksen avulla – Virtausaukkojen rakennustarve Saaristomeren pengerteillä

**Ohjaajat:** Risto Kalliola (Turun yliopisto) ja Jaakko Leppänen (Sweco Finland Oy)

**Sivumäärä:** 81 sivua + 7 sivua liitteitä

**Päivämäärä:** 19.3.2026

Varsinais-Suomen saaristoalueilla on yhteensä noin 30 000 vakituista asukasta ja 40 000 saarta. Saarten mosaiikissa liikkumisen helpottamiseksi on lossi- ja lauttayhteyksien lisäksi rakennettu erilaisia vesistönylityksiä silloista tiepenkereisiin. Niitä on yleensä paikoissa, joissa vesi on melko matalaa ja saarten rannat lähellä toisiaan – esimerkiksi kapeissa salmissa ja suojaisissa lahdissa. Virallisesti silloiksi kutsutaan rakenteita, joissa on halkaisijaltaan vähintään kahden metrin aukko. Tätä pienemmät virtausaukkorakenteet ovat rumpuja. Monia pengerteitä kuitenkin kutsutaan puhekielessä yhtä kaikki silloiksi.

Pengertien veden virtausta rajoittava tai sen kokonaan estävä vaikutus näkyy monin tavoin ympäröivässä luonnossa. Veden vähentynyt virtaama ja vaihtuvuus lisäävät hapettomien pohjien muodostumisen riskiä, huonontavat veden laatua, edesauttavat rehevöitymistä ja ruovikoitumista, nostavat veden lämpötilaa, lisäävät sedimentin määrää vedessä sekä muuttavat kasvillisuutta pinnan ala- ja yläpuolella. Täysin umpinainen pengeri estää kalojen ja muiden vesieläinten liikkumisen, mutta myös rumpujen läpi kulkeminen on niille haastavaa. Erityisen herkkiä virtausolosuhteiden muutoksille ovat Saaristomerelle ja Selkämeren eteläosille tyypilliset laguunit ja muut matalat, pehmeäpohjaiset alueet. Koko Saaristomeren ylipäätään on matala, topografialtaan rikkonainen ja altis ihmistoiminnasta aiheutuvalle kuormitukselle.

Ruotsin tieliikennevirasto on kehittänyt paikkatietoanalyysiin ja avointen aineistojen käyttöön perustuvan menetelmän rannikkoalueiden pengerteiden ympäristövaikutusten arvioimiseksi. Pengertiet jaetaan kolmeen prioriteetti luokkaan sen mukaan, millainen niiden hydraulinen parannuspotentiaali (HFP), pintaveden tila, ekologinen arvo ja etäisyys lähimmistä luonnonsuojelualueista on. Tässä tutkielmassa tarkastelen näitä neljää indikaattoria 20 Saaristomerellä sijaitsevan pengertiekohteen osalta. Luokittelen ja järjestän kohteet tärkeysjärjestykseen sen perusteella, millä niistä on korkeimmat kielteiset ympäristövaikutukset, joita olisi akuuteimmin syytä tutkia lisää ja mahdollisesti lieventää uusia virtausaukkoja rakentamalla tai muin kunnostustoimin. Samalla kokeilen menetelmää ensimmäisenä Suomessa.

Tämän nk. työpöytä tutkimuksen tuloksena valtaosa kohteista sijoittuu matalan prioriteetin luokkaan. Kohtalaisen prioriteetin saa neljä ja korkean viisi kohdetta. Korkean prioriteetin pengerteitä yhdistävät suojaisuus, matalat pohjat, enintään kohtalainen fyysinen paine, suuri uposkasvillisuuden esiintymistodennäköisyys sekä korkea HFP, joka kuvaa pengertien aiheuttamaa virtaaman ahtaumaa ja on lopullisen prioriteetti luokituksen keskeisin muuttuja. Kohteista 65 %:ssa HFP on yli 0,5 eli korkea. Niissä virtausaukon rakentaminen penkereeseen parantaisi todennäköisesti veden vaihtuvuutta ja vesi-alueen tilaa. Ekologinen arvo on korkea 60 %:ssa kohteista, mutta vain kaksi niistä sijaitsee merkitsevän etäisyyden päässä luonnonsuojelualueesta.

Tulokseni ovat pääosin yhteneviä tutkimuskirjallisuuden kanssa. Ne eivät kuitenkaan ole vertailukelpoisia suhteessa Ruotsin tieliikenneviraston tuloksiin, sillä menetelmä vaatii vielä kehittämistä soveltuakseen paremmin käytettäväksi Suomessa. Sillä on kuitenkin potentiaalia käytettäväksi pengerteiden ympäristövaikutusten arviointiprosessin alkuvaiheessa. Monipuolisiin tietolähteisiin perustuvalla päätöksenteolla voidaan ehkäistä ja lieventää väyläinfrastruktuurista luonnolle aiheutuvia haittoja sekä kehittää väylänpitoa pitkäjänteisesti kestävämpään suuntaan.

**Avainsanat:** pengertiet, väyläverkko, rumpurakenteet, virtausaukot, Saaristomeren, rannikot, meriympäristöt, laguunit, ympäristövaikutusten arviointi, työpöytä tutkimus, paikkatieto

Master's thesis

**Subject:** Geography

**Author:** Vilhelmiina Virtanen

**Title:** Assessing the environmental impact of coastal causeways using desktop analysis – The need for new culverts in the Archipelago Sea area

**Supervisors:** Risto Kalliola (University of Turku) and Jaakko Leppänen (Sweco Finland Oy)

**Number of pages:** 81 pages + 7 pages of appendices

**Date:** 19.3.2026

The archipelago of Southwest Finland is home to approximately 30,000 permanent residents and consists of around 40,000 islands. To facilitate road traffic within the mosaic of islands, various water crossings ranging from bridges to causeways have been constructed in addition to ferries and barges. These connecting structures are typically located in places where the water is relatively shallow and shores are close to each other, such as in narrow straits and sheltered bays. Officially, bridges have an opening with a diameter of  $\geq 2$  m whereas smaller flow-through structures are considered culverts. However, many causeways are colloquially referred to as bridges.

Causeways are built on top of embankments. Them restricting water flow or blocking it entirely has various negative effects on the environment. Reduced water flow and exchange increases the risk of anoxic zones forming, decreases water quality, promotes eutrophication and the growth of reeds, raises water temperature, increases suspended sediment levels and changes vegetation both underwater and above the surface. A completely blocked embankment prevents the migration of fish and other aquatic biota entirely, but even passage through culverts can be challenging for them. Lagoons and other shallow water bodies with soft, unconsolidated bottoms common in the Archipelago Sea and Southern Bothnian Sea area are particularly sensitive to changes in hydromorphological conditions. The whole Archipelago Sea is already generally shallow, with complex topography, high impact from human activity and limited water exchange between bodies.

The Swedish Transport Administration (Trafikverket) has developed a method to assess the environmental impacts of coastal causeways based on geospatial analyses and open data. Causeways are ranked into three priority classes based on their hydraulic improvement potential (HFP), surface water quality, ecological value and proximity to conservation areas. In this thesis, I examine 20 causeway sites in the Archipelago Sea area against these four indicators. I classify and rank the sites based on the severity of their assumed negative impacts, identifying those most urgently in need of further research and potential environmental mitigation through hydraulic engineering solutions or other restoration measures. I also test the method in Finland for the first time.

As a result of this so-called desktop analysis, majority of the causeways fall into the low-priority class, with four sites being moderate priority and five high priority. High-priority sites share characteristics such as sheltered conditions, shallow bottoms, moderate physical disturbance at most, a high likelihood of submerged vegetation and a high HFP value, which indicates constricted water flow by the embankment and is the most influential variable in the final priority classification. In 65 % of the sites HFP exceeds 0.5. Therefore, breaching the embankment would likely improve water exchange and quality in the area. Ecological value is high in 60 % of the sites, yet only two of them are located within a significant distance from a conservation area.

My findings are mostly consistent with existing scientific literature. They are not, however, directly comparable to Trafikverket's, as the method requires further development to be used effectively in Finland. Nevertheless, it has potential as an early-stage tool for assessing the environmental impacts of coastal causeways. Decision-making based on robust data can help prevent and mitigate the negative environmental effects of transport infrastructure and support a long-term transition towards more sustainable road management.

**Key words:** causeways, transport infrastructure, culverts, Archipelago Sea, coastal geography, marine environments, lagoons, environmental impact assessment, desktop analysis, GIS

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimuksen tausta ja teoreettinen viitekehys</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Saaristomeren ominaispiirteet</b>	<b>5</b>
2.1.1	Ympäristöolosuhteet	5
2.1.2	Hydrologiset pääpiirteet	8
2.1.3	Matalat pohjat	12
<b>2.2</b>	<b>Väyläinfrastruktuuri rannikolla</b>	<b>15</b>
2.2.1	Saaristomeri asuinympäristönä	15
2.2.2	Pengertiet ja taitorakenteet	17
<b>2.3</b>	<b>Pengerteiden ympäristövaikutusten arviointi</b>	<b>21</b>
2.3.1	Työpöytä tutkimus tutkimusmenetelmänä	21
2.3.2	Hydraulinen parannuspotentiaali (I)	23
2.3.3	Veden laatu ja fyysiset paineet (II)	25
2.3.4	Ekologinen arvo (III)	28
2.3.5	Etäisyys lähimmästä luonnonsuojelualueesta (IV)	30
<b>3</b>	<b>Aineistot ja menetelmät</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>Tutkimusalue ja -kohteet</b>	<b>31</b>
<b>3.2</b>	<b>Aineistot</b>	<b>33</b>
<b>3.3</b>	<b>Menetelmät</b>	<b>38</b>
3.3.1	Aineistojen esikäsittely ja tutkimuksen eteneminen	38
3.3.2	Indikaattorikohtaiset analyysit	39
3.3.3	Lopullinen prioriteettiluokittelu	44
<b>4</b>	<b>Tulokset</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Hydraulinen parannuspotentiaali (I)</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Veden laatu ja fyysiset paineet (II)</b>	<b>48</b>
<b>4.3</b>	<b>Ekologinen arvo (III)</b>	<b>51</b>
<b>4.4</b>	<b>Etäisyys lähimmästä luonnonsuojelualueesta (IV)</b>	<b>54</b>
<b>4.5</b>	<b>Kohteiden vertailu ja priorisointi</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>Keskustelu</b>	<b>62</b>
<b>5.1</b>	<b>Pengerteiden ympäristövaikutukset</b>	<b>62</b>
<b>5.2</b>	<b>Virtausaukkojen rakentamisen tarve</b>	<b>66</b>

<b>5.3 Tutkimusmenetelmän käytettävyys Suomessa</b>	<b>68</b>
<b>6 Johtopäätökset</b>	<b>73</b>
<b>7 Kiitokset</b>	<b>75</b>
<b>Lähteet</b>	<b>76</b>
<b>Liitteet</b>	<b>82</b>
<b>Liite 1. Luokittelu indikaattoreittain</b>	<b>82</b>
<b>Liite 2. Pengertiekohteet kartalla</b>	<b>83</b>
<b>Liite 3. Lopullinen pisteytys</b>	<b>84</b>
<b>Liite 4. Korkean prioriteetin pengertiekohteet ilmakuvissa</b>	<b>85</b>

# 1 Johdanto

Varsinais-Suomen ja Ahvenanmaan välissä Itämerellä sijaitsee Saaristomeri. Sen saaristo on noin 30–40 000 saarellaan maailman laajin saarten määrässä mitattuna (Rannanpää ym. 2023). Saaristomeri jaetaan eri saaristovyöhykkeisiin, jotka eroavat toisistaan paitsi maisemiltaan, myös kasvillisuudeltaan ja eläimistöltään (Nummela ym. 2019). Myös veden biologisissa ja fysikaalis-kemiallisissa ominaisuuksissa on alueellisia eroja ja vuodenaikaista vaihtelua. Saariston geomorfologia vaikuttaa veden virtausdynamiikkaan ja laatuun; lähellä rannikkoa meri on matala, vedenalaisia kynnyksiä on paljon ja saarten mosaiikki on kirjava (Mattila 2001; Suominen 2015). Tämä topografinen rikkonaisuus, veden hidas vaihtuvuus ja pienehkö määrä sekä ihmistoiminnasta aiheutuvat runsaat päästöt tekevät Saaristomerestä erityisen alttiin rehevöitymiselle (Suominen 2015; Nummela ym. 2019). Sen ekologinen tila ei pääosin tyydyttävänä täytä EU:n vesipuitedirektiivin (2000/60/EY) mukaisia hyvän tilan kriteerejä ja sitä pyritään siksi parantamaan (Kipinä-Salokannel & Mäkinen 2021). Heikoimmassa tilassa ovat rannikonläheiset vedet ja sisäsaaristo, joiden tila on paikoin välttävä.

Varsinais-Suomen maakunnan saaristoalueilla asuu vakituisesti yhteensä noin 30 000 henkilöä (Saaristomeri ja saaristo s.a.). Vapaa-ajan asuntoja on noin 32 000 (Rannanpää ym. 2023). Kesäisin monen saaristokunnan väkimäärä moninkertaistuu mökkeilijöiden ja muiden vapaa-ajan asujien myötä. Mantereelta saariin ja saaresta toiseen liikkumisen helpottamiseksi niitä yhdistämään on rakennettu erilaisia väylien eli teiden ja rautatieratojen ylityspaikkoja. Vesistösilloiksi kutsutaan tiesiltoja, jotka johtavat liikenteen vesistön yli (Lång & Nummelin 2017; Ekholm 2020). Rumpu puolestaan on vapaalta virtausaukoltaan alle kahden metrin levyinen putkirakenne, jonka avulla väylä ylittää vesiuoman. Jos aukon leveys on yli kaksi metriä, rakennetta kutsutaan putkisillaksi (Järvenpää & Savolainen 2016; Petäjä ym. 2023). Osa saaristoväylien vesistönylityksistä on lossi- tai lauttayhteyksiä tai tavanomaisia, pystypilareiden varaan rakennettuja tiesiltoja, joilla ei juuri ole vaikutusta veden virtaamiseen niiden ali (Ekholm 2020). Joissakin paikoissa sillan sijaan on kuitenkin rakennettu vedestä kohoava pengerrytetty tie. Pengertiehen on voitu puhkaista virtausaukko eli putkisilta tai rumpu, mutta osa niistä on täysin umpinaisia.

Veden virtauksen rajoittaminen tai estäminen kokonaan vaikuttaa paitsi sen laatuun ja vaihtuvuuteen vesimuodostumien välillä, myös ympäröivään luontoon (Koskinen ym. 2002; Gerwing ym. 2020; Frankiewicz ym. 2021; Trafikverket 2023). Kalojen ja muiden vesi-

eliöiden on vaikea kulkea rumpujen läpi. Vähentynyt virtaama ja veden vaihtuvuus voivat lisätä hapettomien pohjien muodostumisen riskiä, edesauttaa rehevöitymistä, nostaa veden lämpötilaa, lisätä kiintoaineksen määrää vedessä sekä muuttaa paikallista kasvillisuutta. Erityisen herkkiä virtausolosuhteiden muutoksille ovat laguunimaiset kluuvit ja fladat (Munsterhjelm 2001; Saarinen 2020). Ne ovat kapeista salmista tai leveistä, suojaisista lahdista kuroutuvia matalia vesialtaita, joissa veden vaihtuvuus on jo lähtökohtaisesti pientä ja jotka maankohoamisen myötä tulevat erkaantumaan ennen pitkää kokonaan omiksi vesi-alueikseen. Fladat ja kluuvit ovat vesilain (587/2011) suojaamia pienvesiä. Niitä ja niiden synnylle suotuisia ympäristöjä on Varsinais-Suomen rannikolla paljon.

Turun ja Raision rajalla sijaitsee Raisionlahti, jonka poikki rakennettiin jo 1950-luvulla pengertie ja siihen virtausaukkoja. Rakentamisen jälkeen lahti on virtausaukoista huolimatta madaltunut ja ruovikoitunut merkittävästi (Anttila 2024). Tämän myötä alue on alkanut houkutella puoleensa yhä enemmän lintuja ja onkin nykyään rauhoitettu valtakunnallisesti arvokkaana lintuvetenä. Se on alkanut ihmistoiminnan seurauksena muistuttaa keinotekoista laguunia. Uusien, suurempien virtausaukkojen rakentaminen tai vilkkaasti liikennöidyn pengertien purkaminen kokonaan palauttaisi alueen ympäristön todennäköisesti lähemmäs sen aiempaa tilaa, mutta lintujen suosimia lietepohjia ja ruovikoita katoaisi veden vaihtuvuuden lisääntyessä. Kunnostustoimet eivät tosin sanoen aina johda yksiselitteisen myönteiseen tulokseen (Trafikverket 2023). Monissa paikoissa pengerteiden ympäristövaikutuksia voitaisiin kuitenkin lieventää erilaisin vesirakenneratkaisuin (Gerwing ym. 2020; Jaeger 2020; Frankiewicz ym. 2021).

Ruotsin tieliikennevirasto Trafikverket on kehittänyt menetelmän pengerteiden ympäristövaikutusten ja niiden laajuuden arvioimiseksi. Se perustuu niin sanottuun työpöytä-tutkimukseen tai -analyysiin (ruots. *skrivbordsanalys*, Trafikverket 2023). Siinä tutkitaan ja yhdistellään jo olemassa olevia aineistoja uuden tiedon tuottamiseksi eikä esimerkiksi jalkauduta lainkaan maastoon keräämään dataa tutkimusta varten. Tarkastelemalla pengertiekohteiden hydraulista parannuspotentiaalia, ekologista arvoa ja etäisyyttä luonnonsuojelualueista sekä niitä ympäröivien vesien tilaa kohteet voidaan jakaa matalan (luokka 1), kohtalaisen (luokka 2) ja korkean (luokka 3) tärkeysasteen luokkiin. Neljänteen luokkaan kuuluvat kohteet, joissa penkereestä ei aiheudu merkittävää virtaaman ahtaumaa. Luokittelun avulla pengertiet voidaan asettaa järjestykseen sen perusteella, millä niistä on todennäköisesti suurimmat kielteiset ympäristövaikutukset. Näin tiedetään, minne ja millaisiin ympäristöihin pitäisi ensisijaisesti kohdistaa kunnostus- ja ennallistamistoimia. Penkereen purkaminen

kokonaan on yleensä tehokkain tapa poistaa vaelluseste, lisätä veden vaihtuvuutta ja palauttaa ympäristö lähemmäs luonnontilaista, mutta myös suurempien virtausaukkojen puhkomisesta tai pengertien korvaamisesta sillalla on ympäristölle hyötyä (ks. esim. Gerwing ym. 2020: McKay ym. 2020).

Vesilaki (587/2011) velvoittaa järjestämään vesiympäristön käytön niin, että se on yhteiskunnallisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä, ehkäisemään ja vähentämään siitä aiheutuvia haittoja ja parantamaan sekä vesivarojen että -ympäristön tilaa. Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä (503/2005) puolestaan velvoittaa huomioimaan ympäristön maanteiden rakentamisessa, liittämään tiehankkeen suunnitelmaan arvion tien ympäristövaikutuksista ja esittämään toimenpiteitä haitallisten vaikutusten minimoimiseksi. Lisäksi valtion väylien ylläpidosta vastaava Väylävirasto hyväksyi vuonna 2024 uudet ympäristöperiaatteet, jotka ohjaavat väylien kehittämistä ja kunnossapitoa (Ympäristöperiaatteet 2024). Yksi viraston keskeisimmistä periaatteista on tuntea toimintansa ympäristövaikutukset. Tietopohjaisella päätöksenteolla voidaan ehkäistä ja lieventää väylänpidosta ja liikenteestä ympäristölle ja luonnon monimuotoisuudelle aiheutuvia haittoja sekä kehittää väylänpitoa pitkäjänteisesti.

Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena on soveltaa Trafikverketin tutkimusmenetelmää Varsinais-Suomen rannikon olosuhteisiin. Järjestän sen pohjalta pilottikohteiksi valitut pengertiekohteet ympäristövaikutustensa perusteella tärkeysjärjestykseen. Saaristomeri on ekosysteemeiltään haavoittuvainen ja jo valmiiksi heikossa tilassa (Nummela ym. 2019), joten on tärkeää selvittää tällä tavoin, missä uusia virtausaukkoja tai muita kunnostustoimia akuuteimmin tarvitaan ympäristön tilan parantamiseksi. Näin saariston väylien suunnittelua ja vesialueita ylittävien rakenteiden rakennushankkeita voidaan myös jatkossa toteuttaa kestävämmän, Väyläviraston ympäristöperiaatteiden (2024) mukaisesti.

Pyrin vastaamaan tässä tutkielmassa seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitkä tutkimusalueen pengertiet ovat veden virtausta rajoittavia riskikohteita?
2. Millaisissa ympäristöissä pengertiet aiheuttavat todennäköisesti haittaa ympäristölle?
3. Missä suurempien virtausaukkojen rakentamisesta tai muista kunnostustoimista olisi todennäköisesti eniten hyötyä?

Lopuksi arvioin Trafikverketin tutkimusmenetelmän käytettävyyttä Suomessa. Tarkastelen sitä, kuinka kattavasti tutkimuksen voi toistaa Suomessa suomalaisin paikkatietoaineistoin ja saako rannikkoalueilta ylipäättään hyödyllistä tietoa sitä käyttäen. Tutkimuskirjallisuutta pengerteistä ja muista vaellusesteistä on julkaistu enemmän virtavesistä kuin rannikko-ympäristöistä, mutta aihetta on kyllä tutkittu jonkin verran kansainvälisesti (ks. esim. Reimer ym. 2015; Teutli-Hernández & Herrera-Silveira 2018; Gerwing ym. 2020; Möller & O’Leary 2025). Saaristomeren alueella pengerteiden ympäristövaikutuksia ja virtausaukkojen rakentamisen tarvetta on aiemmin tutkittu lähinnä maastotarkastuksin (ks. esim. Aulio 1991; Kalpa 1997; Kari ym. 2003).

Trafikverketin menetelmää ei kuitenkaan ole käytetty aikaisemmin muualla kuin Ruotsissa. Se on myös kehitetty Ruotsissa saatavilla olevaan avoimeen dataan pohjautuen. Cederwallin (2001) mukaan Suomen ja Ruotsin rannikot, erityisesti Turun ja Tukholman edustoilla, ovat kuitenkin melko samanlaisia. Näin ollen on tarpeen ymmärtää, soveltaisiko maasto-työskentelyn sijaan paikkatietoanalyysiin nojaava menetelmä myös Varsinais-Suomen rannikko-ympäristöjen tarkasteluun ja miten sitä olisi mahdollisesti syytä kehittää.

## 2 Tutkimuksen tausta ja teoreettinen viitekehys

### 2.1 Saaristomeren ominaispiirteet

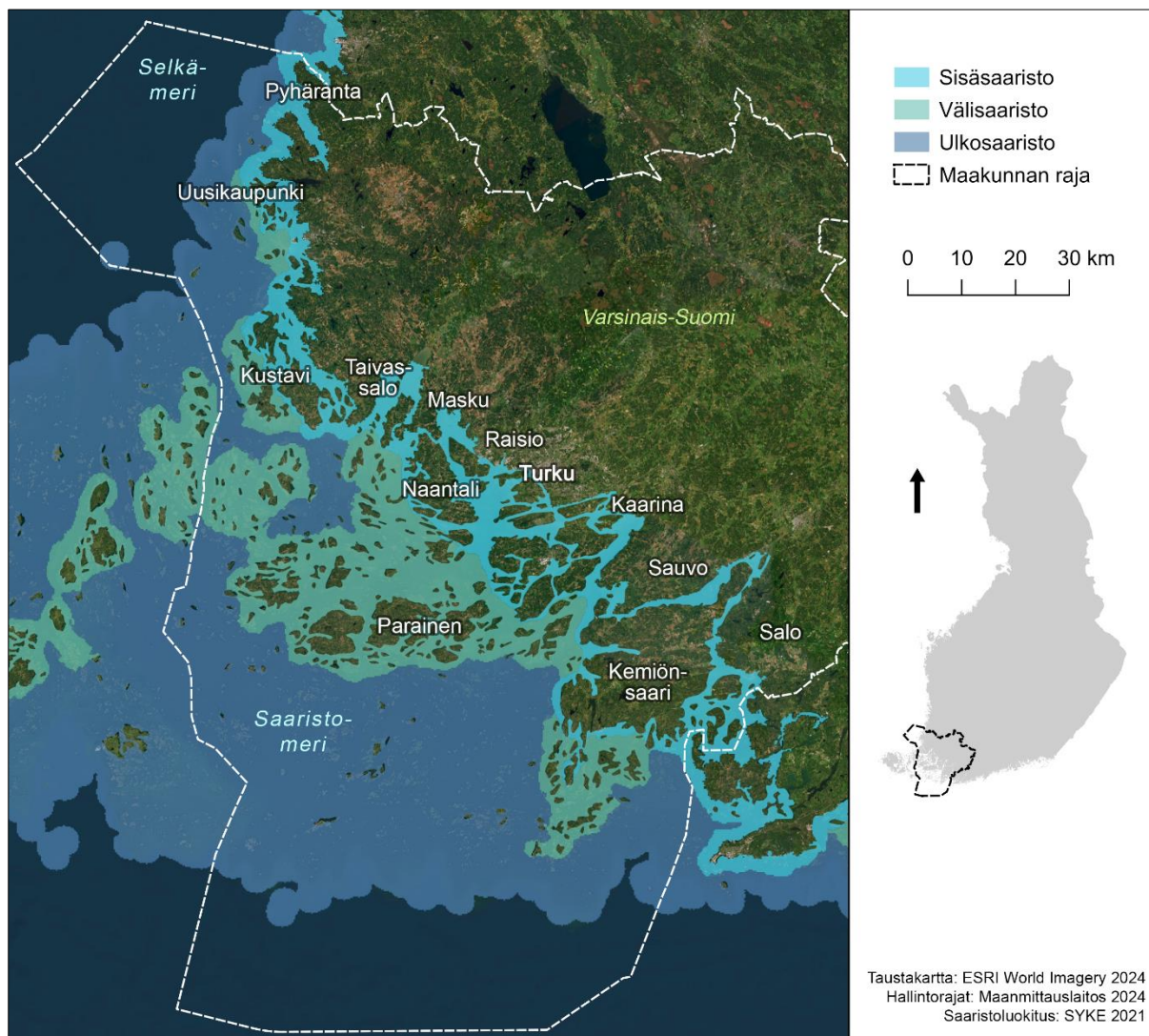
#### 2.1.1 Ympäristöolosuhteet

Itämeri on verrattain matala sisämeri, jonka vesi on vähäsuolaista murtovettä eli makean ja suolaisen veden sekoitusta (Vuorinen 1994: 8; Nummela ym. 2019). Sen kolme suurta allasta, Pohjanlahti pohjoisessa, Suomenlahti kaakossa ja Gotlannin allas lounaassa, yhdistyvät Saaristomerellä, joka on Varsinais-Suomen ja Ahvenanmaan maakuntien välissä sijaitseva merialue Lounais-Suomessa (Suominen 2015). Suurin osa siitä kuuluu Varsinais-Suomen maakuntaan. Saaristomeren kokonaispinta-ala on 8 300 km<sup>2</sup>, josta maata on vain noin 2 000 km<sup>2</sup> (Nummela ym. 2019). Se rajoittuu lännessä Hankoniemeen ja pohjoisessa Uudenkaupungin edustalle, jonka pohjoispuolella saarten määrä ja koko pienenee ja saaristo kapenee Selkämeren eteläiseksi rannikoksi. Saaristomeren saaristo on noin 30–40 000 saarellaan maailman laajin saarten määrässä mitattuna (Rannanpää ym. 2023).

Koko Itämeren keskisyvyys on noin 54 metriä (Suominen 2015; Nummela ym. 2019). Syvimmät kohdat ovat hieman yli sadan metrin syvyisiä, kun taas lähellä rannikkoa vettä on yleensä alle kymmenen metriä. Saaristomeren keskisyvyys on vain 23 metriä. Lukuisat saaret, mannerliikuntojen synnyttämät murros- ja siirtymälinjat sekä vajoamat, kapeat mantereeseen työntyvät lahdet ja erilaiset salmet ja selät tekevät siitä topografisesti erittäin rikkonaisen. Suurin osa Saaristomeren 12 000 kilometrin pituisesta rantaviivasta on kallioista, mutta välisaaristossa esiintyy jonkin verran moreenirantoja ja sisäsaaristossa savi- ja silttirantoja. Kallioperä itse on vanhaa peruskalliota, jossa on runsaasti tektonisia ruhjevyöhykkeitä (Korpinen ym. 2018: 28).

Muiden saaristoalueiden tapaan myös Saaristomeri jaetaan Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja maa- ja metsätalousministeriön laatiman luokituksen mukaan sisä-, väli- ja ulkosaaristoon sekä saaristomaisiin manneralueisiin (Rannanpää ym. 2023) (kuva 1). Saaristomaisia manneralueita on eniten Sisä-Suomen järvialueilla. Sisäsaaristolle ominaista on mantereen läheisyys, maan vettä suurempi osuus kokonaispinta-alasta sekä kiinteä tieyhteys mantereelle. Välisaaristosta kiinteä tieyhteys usein puuttuu, mutta lautat, lossit tai muut yhteysalukset liikennöivät saarten välillä. Saaria on paljon, niiden väliset etäisyydet ovat lyhyitä ja saarten ala on vähintään 20 % alueen kokonaispinta-alasta. Ulkosaaristo on nimensä mukaisesti vyöhykkeistä uloimpana. Sinne ei ole kiinteää tieyhteyttä, välimatkat ovat pitkiä ja

vesialueet laajoja. Vyöhykkeiden välillä on eroja maisemassa, kasvillisuudessa ja eläimistössä sekä vedenpinnan ylä- että alapuolella (Nummela ym. 2019). Myös meriveden ominaisuuksissa on vyöhykkeellisiä eroja.



Kuva 1. Varsinais-Suomen rannikko- ja saaristoalueet. Saaristomeri on Selkämeren eteläosia matalampaa ja saarten määrä on moninkertainen (Nummela ym. 2019).

Maisema Saaristomerellä vaihtelee karuista kallioluodoista reheviin rantalehtoihin ja -niittyihin ja aavoista ulapoista suojaisiin, ruovikoituihin poukamiin (Cederwall 2001; Nummela ym. 2019). Maatalouden ja saaristoelinkeinojen pitkästä historiasta kertovat erilaiset omaleimaiset perinneympäristöt. Nummelan ym. (2019) mukaan Saaristomeri on luonnoltaan Suomen monimuotoisimpia alueita; esimerkiksi pelkästään laajoja merialueita, pieniä luotoja, suuria saaria ja erilaisia perinnebiotooppeja kattavan Saaristomerän kansallispuiston (Saaristomerän kansallispuisto s.a.) alueelta on tavattu vähintään puolet useiden eliöryhmien, kuten lintujen, putkilokasvien, kääpien, perhosten ja monien muiden hyönteisten

koko Suomen lajimäärästä. Saaristomeren lajeista uhanalaisia tai silmälläpidettäviä on 467 kpl. Enemmistö maisemaltaan karummasta Selkämeren kansallispuistosta sijaitsee Satakunnan puolella, mutta pieniä paloja siitä on myös Uudenkaupungin ja Kustavin edustalla (Selkämeren kansallispuisto s.a.).

Myös vedenalainen eliöstö on Saaristomerellä runsasta. Pinnanalaisen maailman pirstaleisuus ja hyvin paikallisestikin vaihtuvat ympäristötekijät, esimerkiksi syvyys, pohja-aines, virtaukset, pohjien ja rantojen muodot sekä veden lämpötila, suola- ja ravinnepitoisuus luovat puitteita erilaisille elinympäristöille (Nummela ym. 2019; Kuismanen ym. 2022). Saaristomeren ja laajemmassa mittakaavassa koko Itämeri ovat haastavia monille lajeille, sillä useat niistä elävät edellä mainittujen ympäristötekijöiden, erityisesti suolapitoisuuden, suhteen elinalueensa äärirajoilla. Siksi verrattain vähäisetkin muutokset niissä voivat aiheuttaa merkittäviä muutoksia meriekosysteemeissä (Korpinen ym. 2018: 30).

Elinympäristöä, jossa vallitsevat yhdenmukaiset ympäristöolot ja jossa esiintyy juuri sille ominaista lajistoa, kutsutaan luontotyyppiä. Kuismanen ym. (2022) mukaan Suomen rannikolla on kuvattu yli 40 erilaista vedenalaista luontotyyppiä. Niistä seitsemän on Euroopan unionin luontodirektiivissä (92/43/ETY) määritelty ensisijaisesti suojeltaviksi luontotyypeiksi (Luontodirektiivin luontotyypit 2025). Ne ovat riutat, hiekkasärkät, laajat matalat lahdet, jokisuistot, laguunit, kapeat murtovesilahdet sekä harjusaarten vedenalaiset osat, joita esiintyy myös Saaristomerellä. Suomi ja muut EU:n jäsenmaat ovat sitoutuneet näiden luontotyyppien suojeluun ja säilyttämiseen. Luontotyypit on huomioitava myös merialuesuunnittelussa (Nummela ym. 2019).

Rannikkoalueiden käyttöpaine on jatkuvassa kasvussa sekä Itämerellä että globaalisti (Barbier ym. 2011; Korpinen ym. 2018: 68–70; Laurila & Kalliola 2019; Kuismanen ym. 2022). Meri tuottaa ekosysteemipalveluja eli hyödyttää ihmistä aineellisilla ja aineettomilla resursseillaan, mutta esimerkiksi laivaliikenne, energiantuotanto, kalastus, kalankasvatus, rantarakentaminen, virkistyskäyttö sekä pohjien ruoppaus ja läjitys kuormittavat meriympäristöä. Voimakkain Itämeren ja Saaristomeren rannikkovesien tilaa heikentävä paine on ravinnekuormitus (Korpinen ym. 14–21). Sen pääasiallinen lähde on maatalous, mutta ravinteita huuhtoutuu mereen myös asutusalueilta, metsätaloudesta ja pistemäisistä kuormituslähteistä, kuten teollisuuslaitoksista ja kalankasvattamoista. Varsinais-Suomen maanviljelys- ja teollisuusalueilta valuu lukuisten jokien mukana mereen fosforia ja typpeä (Mattila 2001; Suominen 2015). Ne vaikuttavat veden laatuun pitkään, sillä Saaristomerellä veden vaihtuvuus on monin

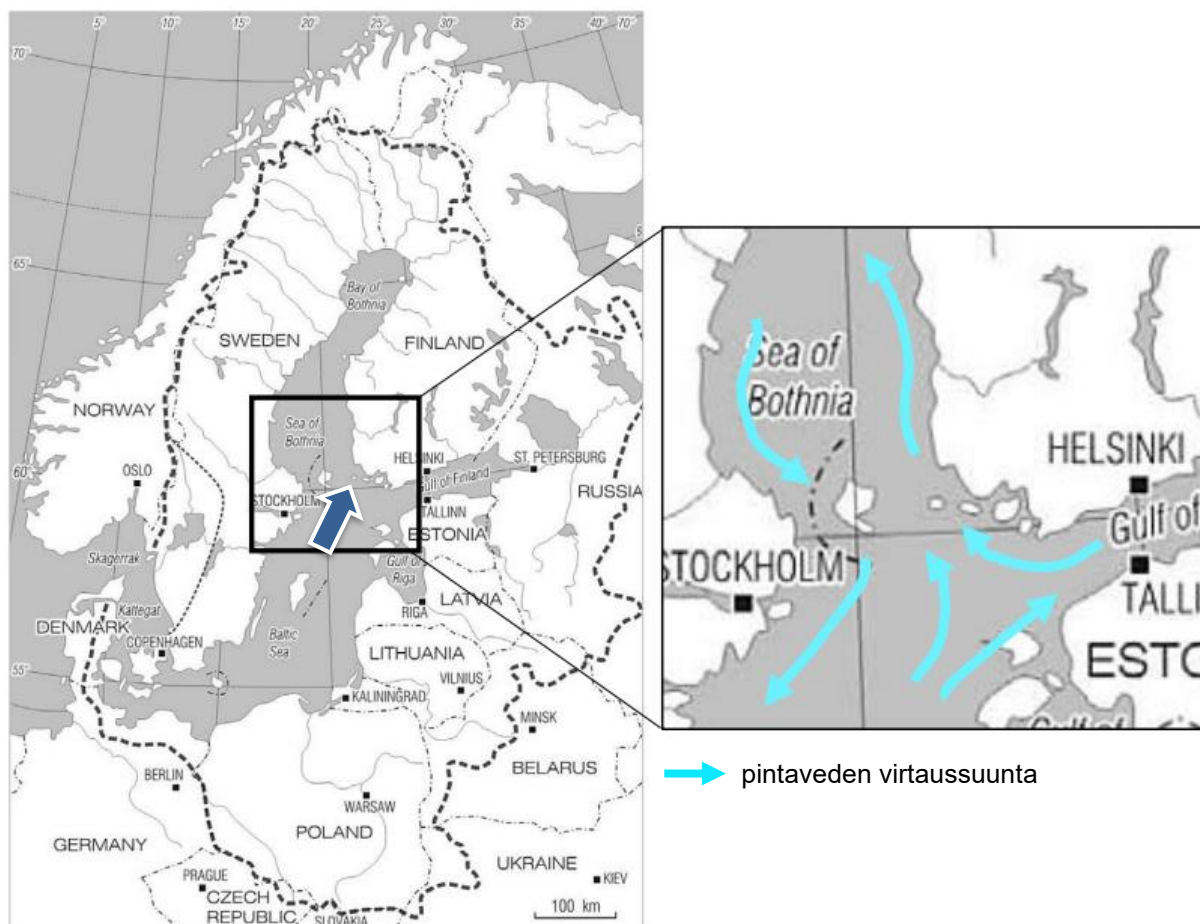
paikoin vähäistä. Saaristomeri olisi tosin luonnontilaisenaikin avomerialueita rehevämpi, sillä mantereelta ja saarista valumavesien mukana mereen huuhtoutuvat ravinteet pidättyvät joka tapauksessa sen ravintoketjuihin (Erkkilä & Kalliola 2003).

Ravinnekuormitus aiheuttaa rehevöitymistä. Se on saanut runsasravinteisuudesta hyötyvät kasvit ja levät, kuten rihmalevät ja kasviplanktoneihin kuuluvan sinilevän (*Cyanobacteria*), runsastumaan voimakkaasti (Trafikverket 2023). Runsaat kasvustot ja leväkukinnat samentavat vettä, mikä haittaa esimerkiksi kirkkaampiin vesiin sopeutuneita kalalajeja, kuten haukea, ahventa ja kampelaa. Lisääntynyt kasviplanktonin tuotanto lisää myös sitä pitkälti ravintonaan käyttävän eläinplanktonin eli esimerkiksi vesikirppujen, hankajalkaisten ja siimaeliöiden tuotantoa. Lisääntyneen orgaanisen aineksen hajoaminen kuluttaa vedestä happea, mikä on johtanut vähähappisten ja kokonaan hapettomien pohjien syntymiseen Itämerellä (Korpinen ym. 2018: 32–33; Trafikverket 2023). Happikatoa esiintyy erityisesti syvänteissä. Se vähentää pohjaeliöstön monimuotoisuutta tekemällä pohjista jopa elinkelvottomia ja vapauttaa pohjasedimentteihin kerääntyneitä ravinteita, erityisesti fosforia, takaisin veteen.

Saaristomeri toimii siis ikään kuin suodattimena eri merialueiden välillä (Nummela ym. 2019). Se on mataluutensa, topografisen rikkonaisuutensa ja heikon vedenvaihtonsa takia altis monille ympäristöongelmille, jotka johtuvat enemmän tai vähemmän välillisesti lisääntyneestä ihmistoiminnasta sen rannikolla. Sitä leimaavat vyöhykkeisyys, runsas ympäristöolojen vuodenaikainen ja alueellinen vaihtelu sekä maiseman pienipiirteisyys niin pinnan ylä- kuin alapuolellakin.

### 2.1.2 Hydrologiset pääpiirteet

Saaristomeren sekä laajemmin koko Itämeren hydrologisiin pääpiirteisiin vaikuttavat ennen kaikkea pohjan topografia ja ominaisuudet, lämpötilan merkittävä vuodenaikaisvaihtelu sekä eristäytyneisyys muista meristä (Korpinen ym. 2018: 28). Itämeren allas nimittäin yhdistyy Pohjanmeren altaaseen ja Atlantin valtameriin vain Tanskan kapeiden, matalien salmien kautta (kuva 2) (ks. esim. Leppäranta & Myrberg 2009: 1–2; Suominen 2015). Salmien syvimätkin kohdat ovat vain noin 18 metrin syvyisiä. Ne toimivat ikään kuin kynnyksenä, joka erottaa Itämeren Atlantista ja rajoittaa veden vaihtumista; koko Itämeren vesitilavuus vaihtuu noin 33 vuodessa (Korpinen ym. 2018: 28). Eri merialueiden välillä on kuitenkin merkittäviä eroja. Suomenlahdella tämä keskimääräinen laskennallinen viipymä on viisi vuotta, Pohjanlahdella seitsemän.



Kuva 2. Itämeren altaan (eng. *Baltic Sea*) valuma-alue rajattuna mustalla katkoviivalla. Saaristomeren sijainti on osoitettu sinisellä nuolella. Turkoosit nuolet kuvaavat virtauksia Saaristomeren ympärillä (Suominen 2015). Monet niistä kulkevat Saaristomeren läpi. Kuva: Leppäranta & Myrberg 2009: 2, mukailten.

Yksi Itämeren leimaavista piirteistä on sen murtovetisyys (Vuorinen 1994: 8). Murtovesi on sekoitus makeaa ja suolaista vettä, joka on esimerkiksi järvivettä suolaisempaa, mutta kuitenkin valtamerten vettä makeampaa. Murtovetisyyden taustalla vaikuttaa juurikin veden hidas vaihtuvuus (Leppäranta & Myrberg 2009: 1–2; Korpinen ym. 2018: 28–32). Tanskan salmien kautta Itämereen virtaa kyllä hiljalleen Pohjanmeren suolaista, raskasta vettä, mutta sitä makeamman ja siten kevyemmän Itämeren murtoveden ulosvirtaus on voimakkaampaa. Ulosvirtaus on lähinnä pinnanläheistä vettä, jota makea valunta ja sadanta – maan pinnalla ja maaperässä liikkuva vesi sekä sadevesi – laimentavat entisestään. Näin ollen lähempänä pintaa vesi on melko makeaa ja vaihtuu nopeammin, kun taas suolaisempi painuu pohjalle ja syvänteisiin ja pysyy siellä pitkiä aikoja.

Itämeren vesi onkin tässä suhteessa pysyvästi kerrostunutta (Leppäranta & Myrberg 2009: 67; Suominen 2015; Nummela ym. 2019). Halokliini eli noin 10–20 metrin paksuinen harppauskerros, jossa veden suolapitoisuus ja tiheys muuttuvat jyrkästi, on keskimäärin 40–80 metrin

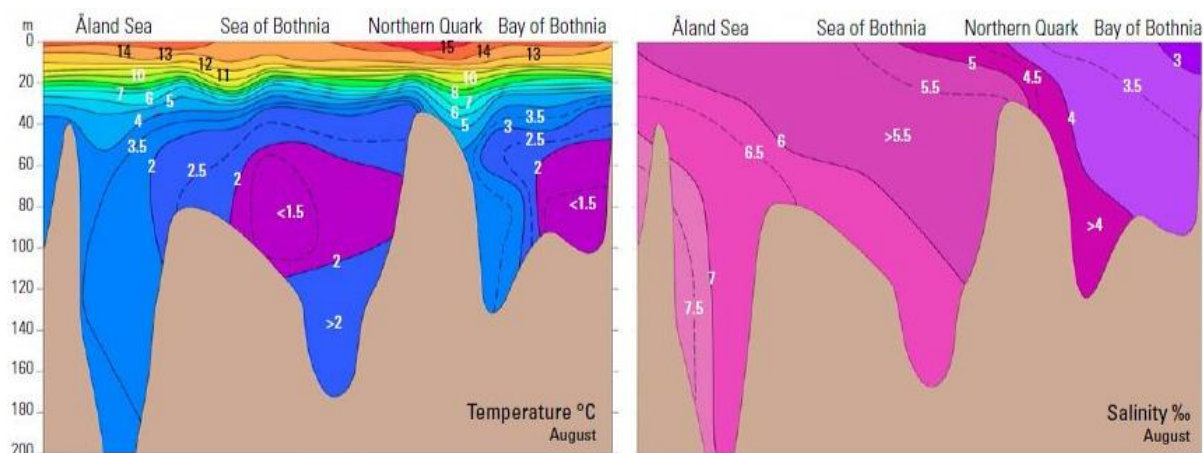
syvyydessä. Sen yläpuolella vesi sekoittuu syksyisin ja keväisin, mutta alapuolella ei. Syvävettä sekoittavat lähinnä pohjan muotojen ohjaamat vaakasuuntaiset virtaukset.

Otollisissa sääoloissa – jotka ovat melko harvinaisia – Pohjanmereltä saattaa kuitenkin virrata runsaasti suolaista, hapekasta ja ravinteikasta valtamerivettä, joka parantaa pohjien happitilannetta (Korpinen ym. 2018: 32). Tällaiset suolapulssit nostavat väliaikaisesti veden suolapitoisuutta ja runsastuttavat siten mereisten kalalajien kantoja (Nummela ym. 2019). Vastaavasti suolapitoisuuden pienentyessä monet makean veden kalakannat kasvavat ja laajentavat esiintymisalueitaan. Suolapulssin kaltainen voimakas sisäänvirtaus saattaa vahvistaa halokliinia sekä syrjäyttää pohjien vanhempia, vähähappisia vesiä, jotka virtaavat sen edeltä lähemmäs Suomenkin rannikkoa ja pohjan madaltuessa nousevat kohti pintakerrosta. Tätä kutsutaan kumpuamiseksi (Leppäranta & Myrberg 2009: 275). Myös rannikkotuuli voi työntää pintavettä kauemmas ulapalle, jolloin tilalle nousee vettä syvemmistä vesikerroksista (Korpinen ym. 2018: 32). Kumpuava vesi on kylmää ja usein hyvin ravinteikasta, mikä voi edesauttaa leväkukintojen syntymistä kesäisin. Suomen merialueilla kumpuaminen on tyypillisintä eteläisellä Saaristomerellä sekä Suomenlahden keski- ja länsiosissa.

Syvältä kumpuava vesi on kylmää, kesälläkin keskimäärin viisiasteista (Nummela ym. 2019). Aurinko puolestaan lämmittää pintavettä noin 10–15 metrin syvyyteen noin 15-asteiseksi. Matalissa, suojaisissa vesissä lämpötila voi olla jopa yli 20 °C (Korpinen ym. 2018: 30; Nummela ym. 2019). Kesäisin Itämeri kerrostuukin lämpötilan mukaan niin, että noin 10–20 metrin syvyyteen muodostuu lämpötilan harppauskerros eli termokliini. Ilmiö ei kuitenkaan ole pysyvä, vaan vesipatsaan eri kerrokset sekoittuvat toisiinsa keväisin ja syksyisin. Talvisin pintaveden lämpötila voi laskea hieman alle nollan ja meri jäätyy ainakin pohjoisilla ja itäisillä merialueilla, sääolosuhteista riippuen myös muualla. Jäätyminen alkaa aina rannikolta, mutta jääpeitteen kesto ja laajuus vaihtelevat vuosittain (Leppäranta & Myrberg 2009: 222–223). Sisä- ja välisaaristossa jää on lähinnä saariin, kareihin ja matalikkoihin kiinnittynyttä kiintojäätä, ulkosaaristossa ja avoimella ulapalla tuulten ja virtausten liikuttamaa ajojäätä.

Itämeressä on siis havaittavissa pystysuuntainen gradientti sekä suolapitoisuuden että lämpötilan suhteen. Niiden vaihtuminen on myös horisontaalista; yleisesti ottaen sekä suolapitoisuus että lämpötila laskevat liikuttaessa altaan länsiosista kohti Pohjanlahden ja Suomenlahden perukoita (kuva 3) (Nummela ym. 2019). Saaristomeren suolapitoisuus on

noin 5–6 ‰ (Suominen 2015; Nummela ym. 2019). Koska alue on matala ja sen topografia hyvin rikkonaista, suurimmassa osassa Saaristomerta ei kuitenkaan ole selkeää halokliinia. Voimakkaan vuodenaikaisvaihtelun aiheuttama kesäinen termokliini muodostuu kuitenkin Saaristomerelläkin.



Kuva 3. Itämeren elokuinen lämpötila- (vasemmalla) ja suolaisuusgradientti (oikealla). Poikkileikkauksen vasemmassa reunassa ovat Ahvenanmeri ja Selkämeri (eng. *Åland Sea* ja *Sea of Bothnia*), joiden väliin Saaristomeri jää. Se näkyy poikkileikkauksessa eräänlaisena kynnyksenä. Oikeassa reunassa ovat Merenkurkku ja Perämeri. Kuva: Suolaisuus ja lämpötila (s.a.).

Veden sekoittuminen johtuu pääasiassa virtauksista (Korpinen ym. 2018: 28). Maapallon pyörimisliike kääntää avomerellä virtauksia menosuuntaan oikealle. Tämä niin kutsuttu coriolis-ilmiö yhdistettynä Itämerellä vallitseviin lounaistuuliin saa aikaan pitkäaikaisena keskiarvona havaittavan veden kierron, joka tapahtuu vastapäivään (kuva 2) (Erkkilä & Kalliola 2003; Leppäranta & Myrberg 2009: 135). Itämerestä kuitenkin puuttuvat valtamerille tyypilliset pysyvät merivirrat: paikalliset sääolot sekä merenpohjan ja rannikon muodot vaikuttavat virtauksiin enemmän ja tekevät niistä vaihtelevia. Myöskään vuorovesi-ilmiötä Itämerellä ei esiinny.

Vettä liikuttavat pääasiassa tuuli sekä erot ilmanpainealueiden ja vesimassojen tiheyksien välillä (Trafikverket 2023). Resultanttivirtaus kulkee vastapäivään lähellä pintaa, kun taas syvemmällä pohjan muodot ja muut geomorfologiset ominaisuudet ohjaavat syvän veden virtauksia (Korpinen ym. 2018: 28). Rannikon muodot saarineen ohjaavat osaltaan myös pintavirtauksia. Pintakerroksen hetkelliset virtausnopeudet ovat noin 5–10 cm/s, kovassa myrskyssä jopa 50 cm/s (Leppäranta & Myrberg 2009: 142–148). Kapeissa salmissa, jollaisiin osa tämän tutkielman pengertiekohteista sijoittuu, virtausnopeus voi olla jopa yli metrin sekunnissa. Syvällä vesi virtaa hitaammin, yleensä noin muutaman senttimetrin sekuntivauhtia.

Saaristomerelle ja sen läpi virtaa vettä monesta eri suunnasta (kuva 2) (Nummela ym. 2019). Sitä halkoo syviä, hapekkaita ja virtausolosuhteiltaan otollisia kanjoneita eli kallioperän siirroksia ja syvänteitä. Syvimpiä niistä ovat Kihti ja Teili (Erkkilä & Kalliola 2003). Saaristomeren monimutkaiseen, dynaamiseen virtauskenttään vaikuttaa myös runsas valunta, jonka meriveteen sekoittumis- ja läpivirtausaluetta Saaristomeri on. Suurin osa virtauksista on useassa eri vesipatsaan kerroksessa tapahtuvaa hetkellistä, edestakaista heilahtelua tai veden pinnan pyrkimystä tasapainotilaan esimerkiksi tuulen aiheuttaman kallistuman jälkeen. Tällaista ominaisheilahtelua esiintyy myös paljon pienemmässä mittakaavassa melko pienilläkin vesialueilla, joilla heilahdukset kestävät korkeintaan muutamia tunteja. Eri saaristovyöhykkeille muodostuu kuitenkin myös alueita, joissa veden virtaus ja vaihtuminen on hidasta tai jopa lähes pysähtynyttä (Nummela ym. 2019). Tämä johtaa helposti rehevöitymisen kiihtymiseen ja vähähappisten, jopa hapettomien pohja-alueiden syntyyn.

Myös muu ihmistoiminta kuin suorien virtausesteiden, esimerkiksi tiepenkereiden, rakentaminen voi muuttaa meren hydrologisia olosuhteita sekä hyvin paikallisessa että laajemmassa mittakaavassa (ks. esim. Karlson ym. 2014; Korpinen ym. 2018: 28–30). Sahlan ja Kalliolan (2018) mukaan hydrologis-ekologiset prosessit voivat olla erityisen monimutkaisia matalissa rannikkovesissä. Virtausolosuhteiden muuttuminen ja erilaiset virtausesteet vaikuttavat monin tavoin luontoon sekä vedenpinnan ylä- että alapuolella, yleensä lähes yksinomaan haitallisesti (Trafikverket 2023). Lähtökohtaisesti voidaan todeta, että riittävä veden vaihtuvuus on elinehto monille Itämeren ja Saaristomeren rannikkovesien lajeille.

Yksi Trafikverketin (2023) tutkimusmenetelmän keskeisistä, pengerteiden ympäristövaikutuksia mittaavista indikaattoreista – hydraulinen parannuspotentiaali – liittyy juuri veden virtaukseen. Myös vedenvaihdoltaan rajoittuneita, suojaaisia meriympäristöjä esiintyy kuitenkin luontaisesti ja nekin ovat monin tavoin arvokkaita elinympäristöjä (Munsterhjelm 2001; Nummela ym. 2019; Kuismanen ym. 2022). Seuraavassa luvussa käsitelenkin mereisiä luontotyyppisiä, joiden esiintymiselle suojaisuus ja veden virtauksen esteellisyys ovat edellytys. Monet Saaristomeren pengertiet sijaitsevat tällaisissa ympäristöissä.

### 2.1.3 Matalat pohjat

Rannikko- ja saaristoalueiden matalat pohjat ovat pinta-alaltaan pieniä koko Itämeren mittakaavassa, mutta ekologisesti ne ovat hyvin arvokkaita (Munsterhjelm 2001; Saarinen 2020). Matalilla pohjilla tarkoitan tässä tutkielmassa meriympäristöjä, joissa veden läpi pääsee riittävästi auringonvaloa makrofyyttien eli paljain silmin nähtävän vesikasvillisuuden

esiintymiseksi. Monet makrofyytit kasvavat korkeintaan muutaman metrin syvyydessä, mutta joitakin voi esiintyä jopa 10 metrin syvyydessä. Suurin osa näistä matalista pohjista sijaitsee väli- ja sisäsaaristossa, mutta niitä on myös ulkosaariston ulapoilla ja saarten välittömässä läheisyydessä. Matalia, suojaisia merenlahtia, joiden enimmäissyvyys on korkeintaan viisi metriä ja vesi lämpenee nopeasti keväällä ja alkukesällä, esiintyy koko Suomen rannikolla, mutta Saaristomerellä niitä on eniten (Kuningas ym. 2019).

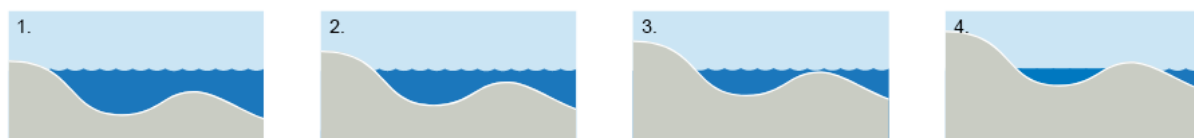
Koko rannikon matalien merenlahtien yhteenlaskettu pinta-ala on 1 590 km<sup>2</sup>, josta 523 km<sup>2</sup> eli noin kolmasosa on Saaristomeren alueella. Saaristomeren ja Selkämeren eteläosien merialuesuunnittelun kannalta oleellisimpiin mereisiin luontotyyppisiin kuuluu juurikin näitä matalia, pehmeäpohjaisia alueita; jokisuistoja, vedenalaisia hiekkasärkkiä, laguuneja, kapeita murtovesilaita ja laajoja suojaisia lahtia sekä niiden eri kuroutumisasteita (Nummela ym. 2019). Enemmistö tässä tutkielmassa tarkasteltavista pengertiekohteista sijaitsee tällaisten luontotyyppien alueella tai niiden välittömässä läheisyydessä.

Käsite kuroutumisaste liittyy maankohoamiseen. Viimeisimmän jääkauden aikainen jääpeite vetäytyi Saaristomeren alueelta noin 10 500 vuotta sitten, jolloin jäätikön massan alla painunut maankuori alkoi kohota hitaasti entiseen muotoonsa (Nummela ym. 2019). Turun seudulla maa kohoaa yhä keskimäärin 4,1 mm vuodessa. Se tekee rannikon ja saariston maisemasta alati muuttuvan: uutta maata nousee vähitellen merestä, rantaviivat siirtyvät, salmet ja jokisuistot madaltuvat, lahtia kuroutuu umpeen ja soistuu (Munsterhjelm 2001; Nummela ym. 2019).

Mikäli matalaa, laguunimaista merenlahtea erottaa muusta merestä vedenalainen kynnyks, se kehittyy todennäköisesti vähitellen fladan kautta kluuviksi ja lopulta kokonaan omaksi altaakseen maankohoamisen myötä (kuva 4). Flada on suojaisa, korkeintaan muutaman metrin syvyinen pehmeäpohjainen lahdelma, jonka yhteys mereen on rajoittunut kynnyksen takia. Fladoissa viihtyvät erilaiset vidat, näkinpartaislevät, ärviät, näkinruohot ja muut makrofyytit (Vuorinen 1994: 51; Munsterhjelm 2001). Runsaasta kasvillisuudesta ja ravinnerikkaudesta huolimatta niiden vesi on kirkasta, sillä vesikasvit pitävät vettä samentavan plankton-tuotannon matalana, hidastavat veden liikehdintää ja tasaannuttavat pohjan sedimentin liikkeitä. Ne lämpenevät mataluutensa ja rajoittuneen vedenvaihtuvuutensa takia keväisin ympäröivää merta nopeammin (Saarinen 2020). Nämä ominaisuudet tekevät fladoista keskeisiä kalojen kutu- ja poikasalueita Itämerellä (Munsterhjelm 2001; Kuningas ym. 2019; Nummela ym. 2019). Esimerkiksi ahvenet, kampelat, hauet ja särkikalat viihtyvät niissä.

Uposkasvillisuuden suojissa kasvavien kalanpoikasten ja selkärangattomien lisäksi fladat ovat tärkeitä linnuille, joille ne tarjoavat otolliset olosuhteet pesintään, ruokailuun ja lepäämiseen.

Sekä fladat että muut matalat pohjat ovat herkkiä muutoksille. Kuten luvussa 2.1.1 mainitsen, myös niihin kohdistuu yhä enemmän ihmistoiminnan suoraa ja epäsuoraa vaikutuksia, sillä käyttöpaine rannikkoalueilla on kasvussa (Laurila & Kalliola 2019; Saarinen 2020; Kuusmanen ym. 2022). Lisääntynyt rantarakentaminen, pohjien ruoppaus ja veneliikenne aiheuttavat haittaa meriympäristöille (Kuningas ym. 2019; Saarinen 2020). Matalia pohjia on ruopattu, kosteikkoja ojitettu, vesistöjä perattu ja kalojen vaellusreiteille rakennettu liikkumista rajoittavia patoja tai penkereitä.



Kuva 4. Matalan lahden kehittyminen fladasta kluuviksi. Aluksi veden vaihtuvuus ei ole vielä kovin rajoittunutta. Vaiheessa 2 on muodostunut flada, jossa hitaasti veden alla kohoava kynnys vähentää veden vaihtuvuutta sen ja ympäröivän merialueen välillä. Vaiheen 3 kluuvifladassa kynnys on noussut noin normaalivedenkorkeudelle ja veden vaihtuvuus on erittäin vähäistä. Vesi muistuttaa suolapitoisuudeltaan enemmän makeaa kuin murtovettä. Ylemmän kuvan laguunimainen poukama Maakrunnin saarella Perämerellä on todennäköisesti toisessa tai kolmannessa vaiheessa. Kynnys on osoitettu nuolella. Vaiheessa 4 jäljellä on täysin merestä irrallinen erkaantunut kluuvi, jonne merivesi yltää vain myrskysäällä tai vedenpinnan ollessa muuten korkea. Ajan myötä se todennäköisesti soistuu ja muuttuu lopulta maaksi. Kuvat: Jaakko Haapamäki 7.8.2019 (yllä) ja Saarinen 2020 (alla), mukailten.

Puutteellisesti pengertiehen asennettu rumpu vaikeuttaa kalojen ja muiden vesieläiden liikkumista, mutta täysin umpinainen pengeri estää sen kokonaan (Frankiewicz ym. 2021; Trafikverket 2023). Penkereen rakentaminen rajoittaa veden kiertoa ja vaihtuvuutta, mikä puolestaan voi edesauttaa ruovikoitumista (järviruoko *Phragmites australis*) ja rehevöitymistä

sekä lisätä vähähappisten tai kokonaan hapettomien pohja-alueiden muodostumisen riskiä. Pengertien, oli siinä virtausaukko tai ei, katkaisemassa matalassa merenlahdessa voidaan myös havaita ajan myötä vähittäistä fladamaista kehitystä. Näin on tapahtunut esimerkiksi johdannossa mainitsemallani Raisionlahdella, jossa lahden poikki 1950-luvulla rakennettu tie toimii eräänlaisena keinotekoisena kynnyksenä ja on siten muuttanut lahden morfologiaa, hydrologisia ja ekologisia olosuhteita merkittävästi (Anttila 2024). Lahdesta on tullut eräänlainen ihmistoiminnan seurauksena syntynyt fladamainen laguuni.

Vesilain (587/2011) 11 § mukaan luonnontilaisen, enintään 10 hehtaarin kokoisen fladan tai kluuvijärven luonnontilan vaarantaminen on kielletty. Fladat ja kluuvit kuuluvat myös EU:n luontodirektiivin ensisijaisesti suojeltaviin laguuneihin (Luontodirektiivin luontotyypit 2025) sekä Suomen kansainvälisiin vastuuluontotyyppisiin (Kuningas ym. 2019). Se tarkoittaa, että Suomella on niiden säilymisestä erityinen vastuu, sillä merkittävä osuus kyseisen luontotyypin esiintymistä Euroopassa sijaitsee Suomessa. Myös maankohoamisen vedestä nostattamat kallioluodot, metsittyvät rannat ja merenrantaniityt, rannikon jokisuistot ja meriajokaspohtat – joita esiintyy enintään parin metrin syvyydessä suojaisilla hiekka- ja hiesupohjilla – kuuluvat niihin (Suomen...vastuuluontotyypit 2022). Näin ollen matalien pohjien suojelu, ennallistaminen ja huomioiminen rannikkoalueiden väylärakentamisen suunnittelussa on tärkeää.

## **2.2 Väyläinfrastrukturi rannikolla**

### **2.2.1 Saaristomeri asuinympäristönä**

Varsinais-Suomen maakunnan saaristoalueilla on noin 30 000 vakituista asukasta (Saaristomeri ja saaristo s.a.). Rannikon lisäksi noin 230 saarta on pysyvästi asuttuja (Rannanpää ym. 2023). Vapaa-ajan asuminen eli mökit, siirtolapuutarhat ja muut loma-asunnot ovat tärkeä osa kulttuuria kaikkialla Suomessa (Häkkänen 2020), mutta juuri Varsinais-Suomessa vapaa-ajan asuntojen määrä saaristoalueilla on kaikista runsaslukuisin (Rannanpää ym. 2023). Koko maakunnassa on noin 50 000 vapaa-ajan asuntoa, joista 32 000 sijaitsee sisä-, väli- tai ulkosaaristossa. Erityisesti kesäisin monen saaristokunnan väkimäärä moninkertaistuu vapaa-ajan asujien myötä (Rannanpää ym. 2023). Verrattain tiheä yhteysalus- ja maantielauttaverkosto on alueella matkailullinen valtti, minkä lisäksi erityisesti Saariston rengasreitti houkuttelee matkailijoita ympäri Suomen.

Elämää saaristossa leimaa monipaikkaisuus eli se, että ihmisillä on käytössään useampi kuin yksi asuinpaikka esimerkiksi vapaa-aikaan, työhön, opiskeluun tai perheeseen liittyvistä syistä (Willberg ym. 2021). 2020-luvun alun koronapandemia lisäsi liikkumisvirtoja kesämökeille ja kasvatti etätöiden suosiota pysyvästi sekä niiltä että kotoa käsin (Willberg ym. 2021). Mökkien entistä parempi varustelutaso on lisännyt niiden ympärivuotista käyttöä sekä pendelöintiä vapaa-ajan asunnoilta työpaikoille (Häkkänen 2020; Saaristomeri ja saaristo s.a.). Nämä niin kutsutut ”kakkosasujat” ovat tärkeä voimavara saaristolle ja huomioitava aluekehityksessä vakituisten asukkaiden lisäksi. He ovat monelle saaristokunnalle merkittävä asiakasryhmä sekä talouden ja elinvoiman ajuri (Häkkänen 2020).

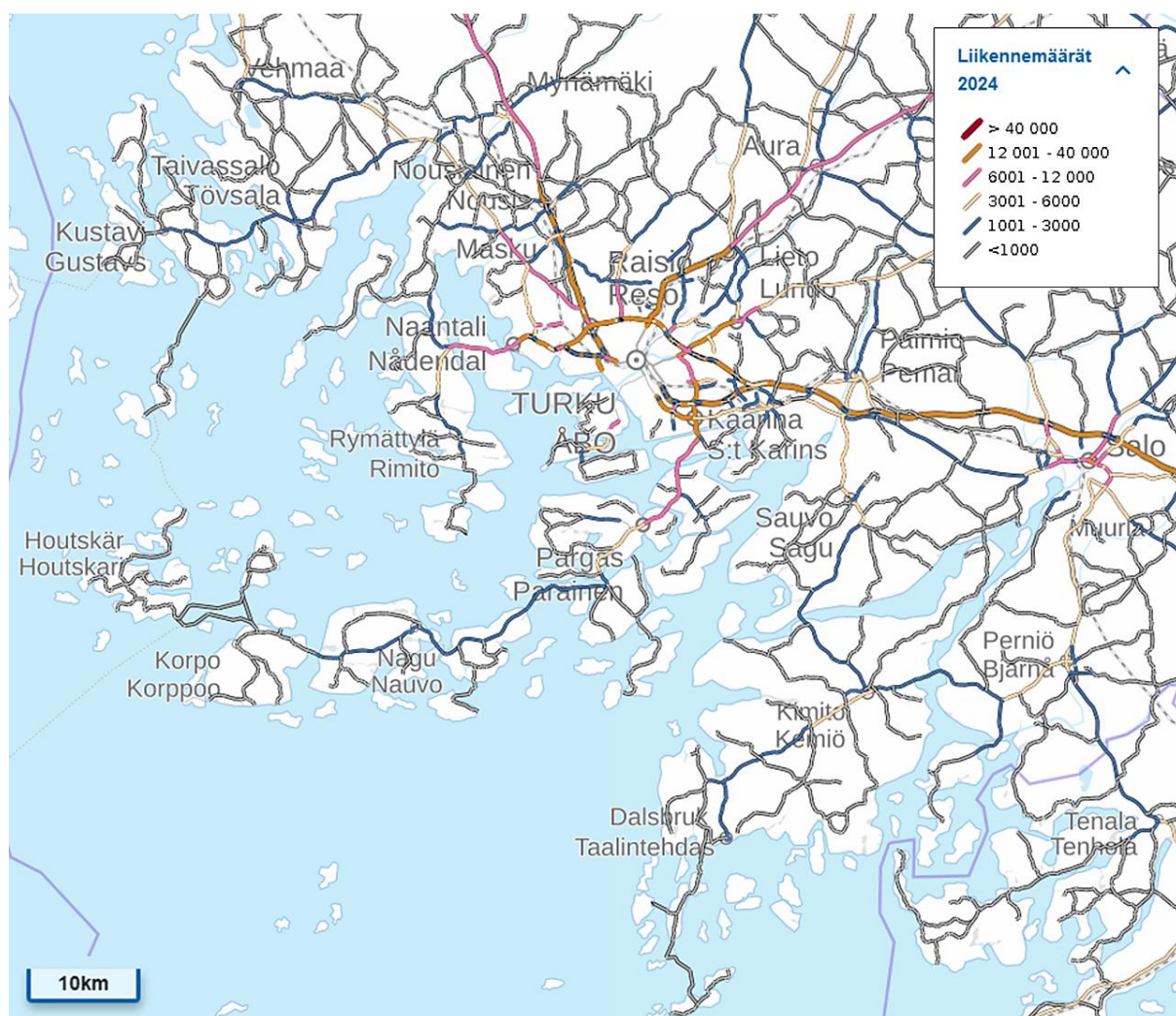
Valtio tukee saaristoalueiden elinvoimaisuutta ja kehitystä myöntämällä niille valtioneuvoston päätöksestä saaristokunnan tai saaristo-osakunnan aseman ja sitä kautta suuremmat valtionavut (Saaristolaki 494/1981). Ne ovat tarpeen, sillä monilla alueilla liikenneolot ovat ajoittain haastavat ja palveluiden saanti vaikeaa. Varsinais-Suomessa Parainen, Kemiönsaari ja Kustavi luetaan saaristokuntiin (Saaristomeri ja saaristo s.a.). Kaarina, Naantali, Salo, Taivassalo ja Uusikaupunki ovat saaristo-osakuntia.

Parlamentaarinen saaristoasiain neuvottelukunta vastaa muun muassa yhteistyöstä edellä mainittujen kuntien, valtion viranomaisten ja paikallisten järjestöjen kanssa, esitysten, päätösten ja lausuntojen käsittelystä sekä saaristolain (494/1981) toteutumisen seurannasta. Laki velvoittaa turvaamaan pysyvän asutuksen saaristoalueilla luomalla niiden väestölle riittävät mahdollisuudet toimeentuloon, liikkumiseen ja peruspalveluihin sekä välttämään ympäristöhaittoja ja maiseman tarveltymistä. Varsinais-Suomen rannikko- ja saaristoalueilla on myös raskasta teollisuutta, maa- ja metsätaloutta sekä Puolustusvoimien suoja-alueita ja muuta toimintaa. Näistä syistä laadukkaiden kulkuyhteyksien kehittäminen ja ylläpitäminen rannikkoalueilla mahdollisimman kestäväällä tavalla on tärkeää. Toimiva väyläverkosto on edellytys toimeentulolle, liikkumiselle ja palveluiden saavutettavuudelle (Karlson ym. 2014).

Varsinais-Suomen väyläverkosto on tiheä (kuva 5). Se jakautuu maa-alueilla maanteihin, katuihin ja yksityisteihin (Tieverkko 2025). Maanteitä hallinnoi, ylläpitää ja kehittää valtio, katuja kunnat ja yksityisteitä yksityishenkilöt tai muut tahot. Maantiet, joita on maakunnassa yhteensä noin 4 800 km, jakautuvat valta-, kanta-, seutu- ja yhdysteihin. Mitä kauemmas mantereesta saaristoon liikutaan, sitä vähemmän maanteillä keskimäärin on liikennettä. Maantielosseja ja -lautoja, yksityistielosseja ja -lautoja sekä yhteysalusreittejä on Varsinais-

Suomessa yhteensä 25 kpl eli enemmän kuin missään muussa maakunnassa (Rannanpää ym. 2023). Myös matkustajamäärät ovat siten siellä suurimpia.

Saaristoalueilla liikenneyhteyksiä ei ylläpidetä ainoastaan meriliikenteen keinoin, vaan saarten ja mantereen välillä on myös kiinteitä yhteyksiä: pengerteitä ja siltoja (Cederwall 2001). Pengerteiden määrästä Varsinais-Suomen rannikolla ei ole olemassa tarkkaa avoimen lähdekoodin paikkatietodataa. Ne on siksi kartoitettu manuaalisesti esimerkiksi tieverkko-aineistoihin ja ilmakuvien tarkasteluun perustuen Varsinais-Suomen ELY-keskuksen toimesta.



Kuva 5. Saaristomeren rannikon liikennemäärien päivittäinen keskiarvo (ajoneuvoa/vrk) maanteillä vuonna 2024. Kuvankaappaus Väyläviraston ylläpitämästä Suomen väylät -karttapalvelusta. Tiedot ovat Väyläviraston avoimesta *Tieliikenteen liikennemäärät (2012–2024)* -paikkatietoaineistosta.

## 2.2.2 Pengertiet ja taitorakenteet

Tässä tutkimuksessa tarkoitan pengertiellä (eng. *causeway*) tietä, joka kulkee ympäristöönsä korkeammalla penkereen (eng. *embankment*) päällä ja sisältää mahdollisesti erilaisia silta- tai

rumpurakenteita tai niiden yhdistelmiä. Sillat ovat taitorakenteita (Savolainen & Liukas 2014). Taitorakenteiksi kutsutaan rakennelmia, joiden rakentamiseen vaaditaan lujuuslaskelmiin perustuvia suunnitelmia ja joiden vaurioituminen suunnittelu- tai rakennusvirheen takia voi aiheuttaa merkittäviä korjauskustannuksia ja/tai vaaraa ihmisille tai liikenteelle. Suomen väylillä esiintyy toistakymmentä erilaista siltatyyppeä, jotka soveltuvat eri käyttötarkoituksiin ja olosuhteisiin (Ekholm 2020). Vesistö sillat ovat tiesilloja, jotka johtavat liikenteen vesistön yli (Lång & Nummelin 2017; Ekholm 2020). Muun muassa ylitettävän esteen – kuten vesistön – koko, maan muodot ja kantavuus sekä ympäröivä rakennettu ja luonnollinen ympäristö vaikuttavat siltatyypin valintaan.

Nämä tekijät vaikuttavat myös siihen, minkä kokoinen aukko siltaan suunnitellaan. Rumpu (myös rumpuputki, tierumpu tai vesistö rumpu) on halkaisijaltaan alle kahden metrin levyinen putkirakenne esimerkiksi tiepenkereessä. Jos sen virtausaukon leveys on yli kaksi metriä, rakennetta kutsutaan putkisillaksi (Järvenpää & Savolainen 2016; Petäjä ym. 2023). Sekä rumpuja että laajemmin pengerteitä kutsutaan kuitenkin usein puhekielessä silloiksi. Rumpujen rakentaminen on yleensä nopeampaa ja halvempaa kuin siltojen (Jaeger 2019). Niitä tehdään tavallisimmin ojiin, puroihin ja tiepenkereisiin (kuva 6).



Kuva 6. Aallotetusta teräsputkesta tehty putkisilta tiepenkereessä. Kuva: Ekholm 2020.

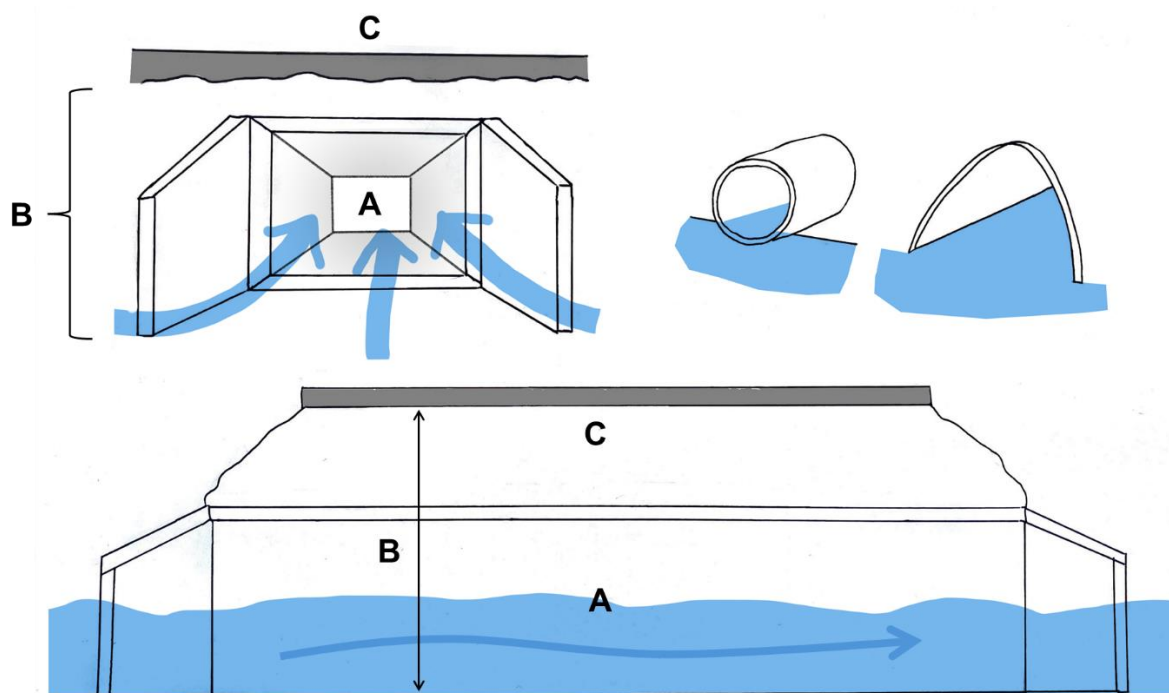
Vesialueille suunniteltavista rakenteista ja muihin vesiympäristöön vaikuttavista rakennushankkeista säädetään vesilaissa (587/2011). Väylien rakentamiseen ja ylläpitoon liittyvät hankkeet vaativat vesilain mukaisen luvan monissa tapauksissa. Lupa tarvitaan, jos hanke

aiheuttaa muutoksia vesistön syvyyteen, vedenkorkeuteen, virtaamaan, rantaan, veden tilaan, tai vedenalaiseen ympäristöön ja niiden myötä vahingoittaa luontoa tai sen toimintaa. Lupa tarvitaan esimerkiksi myös silloin, jos hankkeesta on haittaa vesistön virkistyskäytölle, maisemalle tai kalakannoille tai se aiheuttaa edunmenetystä jollekin taholle. Lupa-hakemuksessa on esitettävä tietoja, jotka ovat tarpeen arvioitaessa hankkeen oikeudellisia edellytyksiä, sen ympäristövaikutuksia sekä sen aiheuttamia vahinkoja ja haittoja (Savolainen & Liukas 2014). Jos vesistösillalla ei ennestään ole vesilain mukaista lupaa, sen uusimiseen tai muuttamiseen tarvitaan yleensä sellainen (Järvenpää & Savolainen 2016). Jos uusiminen tehdään entisiä lupamääräyksiä noudattaen, uutta lupaa ei yleensä tarvita. Mikäli esimerkiksi pengertie pienellä rummulla haluttaisiin purkaa ja korvata virtausaukoltaan riittävän suurella sillalla, hankkeen luvantarve määräytyisi purkamisesta aiheutuvien ympäristö- ja muiden vaikutusten perusteella.

Vesistösiltojen ja -rumpujen rakentamiseksi vaaditaan tietoa vähintään vesistön ominaisuuksista, sillan aukkomitoista ja suunniteltua rakennetta koskevista mahdollisista rajoituksista sekä siitä, ylittääkö silta yleisen vesiväylän vai muun vesiuoman (Järvenpää & Savolainen 2016). Aukon mitoituksessa on yleensä huomioitava muun muassa virtaaman suuruus, veden jäätyminen ja mahdollinen tulvariski. Mikäli silta ylittää vesiväylän, sen ali on pystyttävä kulkemaan veneellä. Pengerteihin tai salmiin rakennettavien siltojen tai rumpujen virtausaukkoja ei kuitenkaan juurikaan mitoiteta virtaaman perusteella, vaan lähinnä veden vaihtuvuutta ja vesistön käyttöä silmällä pitäen. Rumpu voi olla poikkileikkaukseltaan pyöreä, elliptinen tai alaosastaan yläosaa leveämpi, joskus myös neliskulmainen (Järvenpää & Savolainen 2016; Ekholm 2020) (kuva 7). Ne tehdään tavallisesti betonista, muovista tai teräksestä.

Sillan tai rummun virtausaukko ei saa pienentää ylitettävän uoman poikkileikkauksen virtausta niin, että siitä aiheutuu haittaa esimerkiksi eroosion tai eliöstön liikkumisen estymisen muodossa (Järvenpää & Savolainen 2016). Vaelluseste aiheutuu usein siitä, että rumpuputken toinen pää on liian korkealla suhteessa vedenpintaan, virtausnopeus rummun sisällä liian suuri, vettä on sen sisällä liian vähän tai sen edustalle kertyy valliiksi sedimenttiä, kiviä ja kariketta (Frankiewicz ym. 2021). Monet näistä ongelmista voidaan välttää rakentamalla siltarumpu mahdollisimman vaakatasoon, kattamalla rumpuputken pohja vesiympäristön luontaisella pohja-aineksella, upottamalla se riittävän syvälle suhteessa keskivedenkorkeuteen ja huolehtimalla virtausaukon riittävästä pinta-alasta (Jaeger 2019).

Rumpujen on todettu ylipäättään aiheuttavan oletettua enemmän haittaa ympäröivälle luonnolle (Cederwall 2001; Frankiewicz ym. 2021; Trafikverket 2023). Suomessa on karkeasti arvioiden noin 90 000 vesistörumppua, joista kolmasosa lasketaan kalojen ja muiden vesieliöiden kannalta vaellusesteiksi (Järvenpää & Savolainen 2016). Siitä ei kuitenkaan ole olemassa tietoa, kuinka moni näistä vaellusesteinä toimivista rummuista sijaitsee rannikolla tai saaristossa. Yhtä kaikki vesirakentamisessa ei saisi syntyä enää uusia vaellusesteitä niiden monien haittavaikutusten vuoksi, ja vanhojen taitorakenteiden uusimisen tai korjaamisen yhteydessä tulisi pyrkiä minimoimaan myös niiden aiemmat ympäristöhaitat. Ympäristön kannalta parhaita rakennusratkaisuja ovat sillat ja kaarevat rummut (kuva 7), jotka eivät merkittäväällä tavalla vaikuta ylitettävän vesistön pohjaan tai rajoita veden virtausta. Täysin umpinainen pengerr ilman virtausaukkoa (kuva 8) on ympäristön kannalta huonoin vaihtoehto.



Kuva 7. Rummun tai putkisillan yksinkertaistettu rakenne virtausaukon kohdalta (yllä vasemmalla) ja poikkileikkauksena (alla). A. Virtausaukko B. Vesialueen poikki rakennettu pengerr C. Penkereen päällä kulkeva tie. Virtausaukkoja on eri mallisia, esimerkiksi pyöreitä, elliptisiä, neliskulmaisia sekä alaspäin leveneviä kaarevia (yllä oikealla) (Järvenpää & Savolainen 2016; Ekholm 2020; Petäjä ym. 2023). Vesi virtaa rummun tai sillan läpi molempiin suuntiin, vaikka piirroksessa onkin nuoli vain yhteen suuntaan. Kuva: Virtanen 2026.



Kuva 8. Sommarösundin silta Paraisilla. Ajosuunnassa pohjoisesta etelään "sillan" ensimmäinen puolikas (kuvassa) on todellisuudessa täysin umpinainen pengeri. Sillan keskellä on pieni hiekkasärkkä tai saari, jonka ympäristö on ruovikoitunut. Heti saaren jälkeen pengertiessä on silta, jonka kannen pituus on 4,6 m ja virtausaukko halkaisijaltaan noin 4 m. Pengertien ensimmäinen puolisko estää siis veden virtauksen täysin, mutta sen toisella puoliskolla läpivirtaus on mahdollista. Siitä huolimatta pengertie rajoittaa kokonaisuudessaan veden vapaata liikettä merkittävästi, sillä ilman sitä salmen läpi virtaisi huomattavasti enemmän vettä. Kuva: Vilhelmiina Virtanen 9.7.2025.

## 2.3 Pengerteiden ympäristövaikutusten arviointi

### 2.3.1 Työpöytä tutkimus tutkimusmenetelmänä

Työpöytä tutkimus (ruots. *skrivbordsanalys*, eng. *desktop analysis* tai *desk research*) on empiirinen ja aineistolähtöinen tutkimusmenetelmä, joka perustuu jo olemassa olevan datan käsittelyyn ja analysointiin (Bassot 2022: 7). Tutkimusta varten ei kerätä uutta aineistoa, vaan eri lähteistä kerättyä dataa yhdistelemällä ja jatkojalostamalla tuotetaan epäsuorasti uutta tietoa ja tehdään johtopäätöksiä. Tutkimus tehdään siis ikään kuin oman työpöydän ääressä, ei *in situ*. Työpöytä tutkimuksen vahvuuksia ovat sen saavutettavuus, nopeus ja kustannustehokkuus. Se on helposti toistettavissa ja sovellettavissa (Trafikverket 2023). Menetelmän heikkouksina voidaan kuitenkin nähdä käytettävän datan vaihteleva laatu ja luotettavuus sekä se, millaisia aineistoja ylipäätään on saatavilla (McKay ym. 2020; Bassot 2022: 7).

Koska menetelmässä ei esimerkiksi tehdä lainkaan kenttätöitä saatujen tulosten varmentamiseksi ne ovat vain suuntaa-antavia. Trafikverket (2023) toteaaakin, että työpöytä tutkimuksella tuotettavan pengertiekohteiden priorisoinnin pohjalta ei tule suoraan ryhtyä suunnittelemaan toimenpiteitä, vaan sitä on tarpeen mukaan jatkettava lisäselvityksin ja

tuettava lisäksi kohdekohtaisin asiantuntija-arvioin. Toimenpiteet voivat olla esimerkiksi umpinaisten pengerteiden muuttamista silloiksi, suurempien virtausaukkojen rakentamista tai muita kunnostus- tai ennallistamistoimia.

Ennallistaminen tarkoittaa ympäristön palauttamista mahdollisimman lähelle luonnollista tilaansa (Saarinen 2020). Tehokkain ennallistamiskeino olisi purkaa olemassa oleva virtauseste – penger – kokonaan pois, mutta monesti se ei ole väylänpidon kannalta mahdollista. On myös huomioitava, että joskus ympäristöä ei voida palauttaa penkereen rakentamista edeltävään tilaan muista syistä muuttuneiden olosuhteiden, esimerkiksi maan- kohoamisen, vuoksi (Gerwing ym. 2020; Trafikverket 2023). Noin 60 vuodessa monilla rannikkoalueilla on tapahtunut huomattavia muutoksia myös ihmisen toimesta esimerkiksi rantarakentamisen myötä. Kyseessä voi myös olla kohde, jossa on alun perinkin sijainnut luonnollinen penger, jota on vain vahvistettu rakentamalla.

Trafikverketin raportissa (2023) käsitellään pengertiekohteiden tunnistamista sekä työpöytä- tutkimuksen etenemistä alustaviin tuloksiin saakka, mutta ei paneuduta prosessin myöhempiin vaiheisiin. Pengertiekohteiden luokittelu ja asettaminen tärkeysjärjestykseen niiden ympäristövaikutusten perusteella perustuu neljään indikaattoriin:

- I. Hydraulinen parannuspotentiaali
- II. Veden laatu ja fyysiset paineet
- III. Ekologinen arvo
- IV. Etäisyys lähimmästä luonnonsuojelualueesta

Kullekin pengertiekohteelle tehdään jokaisen indikaattorin osalta muista riippumaton analyysi ja vaikutusarviointi. Niiden tulokset luokitellaan alustavasti kolmeportaisesti; yksittäisen indikaattorin perusteella pengertiekohte voi saada joko korkean, kohtalaisen tai matalan prioriteetin. Lopullinen prioriteettiluokitus syntyy, kun tuloksia painotetaan taulukossa 1 esitetyllä tavalla. Hydraulinen parannuspotentiaali on painotuksen tärkein tekijä. Mikäli pengertiekohteen hydraulista parannuspotentiaalia ei voida laskea, kohde ei saa luokitusta lainkaan. Esitän tarkemman kuvauksen lopulliseen luokitukseen vaikuttavista tekijöistä ja niiden kriteereistä liitteessä 1.

Taulukko 1. Pengertiekohteiden lopullinen, painotettu luokittelu. Korkean prioriteetin kohteissa syventävät lisätutkimukset ja niiden pohjalta tehtävät rakennus- ja kunnostustoimet ovat tarpeen. Kohtalaisen prioriteetin kohteissa niitä saatetaan tarvita, ja siksi jatkoselvityksiä suositellaan. Matalan prioriteetin kohteissa pengertiehen ei todennäköisesti tarvitse tehdä muutoksia, mutta kiireettömät jatkoselvitykset voivat erityistapauksissa olla perusteltuja. Alimmassa prioriteettiluokassa HFP on matala eikä niille siksi ole tarvetta. Lähde: Trafikverket 2023, mukaillen.

Prioriteettiluokka	Kriteerit luokitukselle
Korkea	HFP on kohtalainen tai korkea Vähintään yksi muista indikaattoreista on korkea
Kohtalainen	HFP on kohtalainen tai korkea Vähintään kaksi muista indikaattoreista on kohtalaisia
Matala	HFP on kohtalainen tai korkea Vähintään kaksi muista indikaattoreista on matalia
Ei merkittävä	HFP on matala Muilla indikaattoreilla ei merkitystä
Ei luokitusta	HFP:ta ei määritetty

### 2.3.2 Hydraulinen parannuspotentiaali (I)

Hydraulinen parannuspotentiaali (HFP, ruots. *hydraulisk förbättringspotential*) on Trafikverketin (2023) mukaan ensisijaisesti pengertien aiheuttaman virtaaman ahtauman indikaattori (kuva 9). Virtaama on vesimäärä, joka kulkee vesiuoman, esimerkiksi joen tai salmen poikkeileikkauksen, läpi tietyssä aikayksikössä. Se esitetään yleensä kuutioina sekunnissa ( $m^3/s$ ).

HFP lasketaan vertaamalla salmen tai lahden virtaamaa nykytilanteessa – penkereen rakentamisen jälkeen – siihen, mikä virtaama oletetusti olisi ilman pengertä, kun muut muuttujat pysyvät samoina.

Hydraulinen parannuspotentiaali voi saada arvoja välillä 0–1. Mitä suurempi arvo, sitä suuremman virtaaman ahtauman penger aiheuttaa kohteessa. Käytännössä siltojen HFP = 0 ja täysin umpinaisten penkereiden HFP = 1,0. Toisin sanoen korkea arvo indikoi myös korkeaa virtaaman kasvupotentiaalia, mikäli penkereeseen rakennettaisiin virtausaukko tai olemassa olevaa virtausaukkoa suurennettaisiin esimerkiksi rummusta sillaksi. HFP on korkea, kun se on yli 0,5 eli penger vähentää virtaamaa (salmessa) tai vedenvaihdon tilavuutta (lahdessa) yli 50 prosenttia verrattuna luonnontilaiseen vesiympäristöön. HFP on kohtalainen ollessaan 20–50 % ja matala ollessaan alle 20 %.

Hydrauliseen parannuspotentiaaliin vaikuttavat paitsi penkereessä olevan virtausaukon koko, myös vesialueen hydrologiset ja geomorfologiset ominaisuudet. Sitä laskettaessa oletetaan vallitsevan tyypilliset kesäolosuhteet: korkeapaineen myötä vedenpinta on keskiveden-

korkeuden alapuolella eli matalahko, tuuli heikko ja virtausaukot näin ollen noin puolillaan vettä. Salmessa veden liikedynamiikkaa ohjaavat salmen sisällä vallitsevat pinnankorkeuden vaihtelut, jotka johtuvat usein tuulista. Oletuksena on, että etenkin rumpurakenteet olisivat kohteissa näissä olosuhteissa vain osittain vedessä. Yksinkertainen HFP:n laskukaava pengerrytyn salmen osalta on

$$HFP = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{Q_1}{Q_0}$$

missä  $Q_0$  merkitsee virtaamaa ilman pengertä ja  $Q_1$  virtaamaa penkereen kanssa, kun vedenkorkeus on vakio ja penkereessä on vain yksi virtausaukko. Trafikverketin raportin liitteissä (2023: 88–97) kuvataan tarkemmin laskukaavat kitka- ja energiahäviöiden laskemiseksi sekä sellaisten salmiskenaarioiden osalta, joissa penkereessä on useampi kuin yksi virtausaukko.

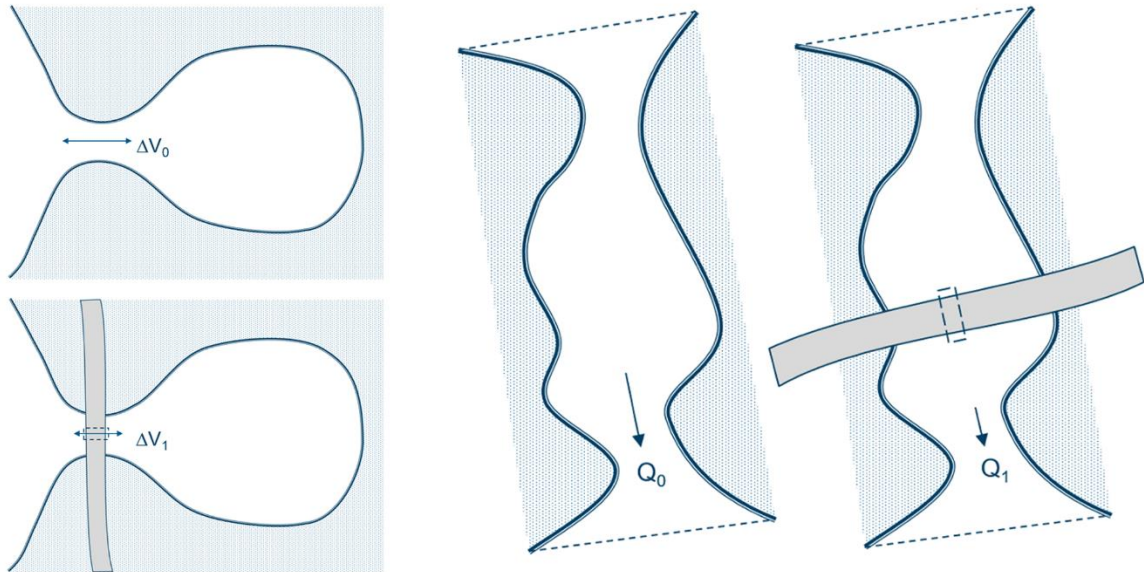
Salmia halkovissa pengerteissä on lisäksi huomioitava eräänlaisena lisäparametrina salmen topografinen eristyneisyys, eli se, missä määrin salmen muoto rajoittaa vedenvaihtoa ympärivöivän vesimassan kanssa, jos penkereen läpivirtaus jätetään pois laskuista. Pitkissä, kapeissa, matalissa salmissa sekä sellaisissa ympäristöissä, joissa penkereen toisella tai molemmin puolin oleva vesialue muistuttaa fysikaalis-morfologisilta ominaisuuksiltaan pitkänmallista lahtea, topografinen eristyneisyys on korkea. Jos pengeri kulkee laajan ja syvän salmen poikki, sen topografinen eristyneisyys on matala. Eristyneisyyden laskeminen kaavoineen kuvataan Trafikverketin raportissa (2023: 22–23).

Lahdessa veden vaihtuvuutta säätelee vedenkorkeuden ero sen sisä- ja ulkopuolella. Siinä esiintyy usein jaksottaista vaihtelua, mutta pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna suuret vedenkorkeuden vaihtelut johtuvat ilmanpaineesta ja tuulista. Lahteen ja lahdesta virtaavan veden kokonaistilavuus lasketaan integroimalla hetkellinen virtaama valitun tarkastelu-ajanjakson yli. Näin ollen pengerrytyn lahden HFP voidaan ilmaista penkereestä johtuvan vedenvaihdon tilavuuden suhteellisenä vähenemänä

$$HFP = \frac{\int_0^T Q_0 dt - \int_0^T Q_1 dt}{\int_0^T Q_0 dt} = \frac{\Delta V_0 - \Delta V_1}{\Delta V_0} = 1 - \frac{\Delta V_1}{\Delta V_0}$$

missä  $\Delta V_0$  merkitsee tarkastelujaksolla (T) sisään tai ulos virtaavan veden määrää ilman penkerettä ja  $\Delta V_1$  penkereen kanssa, kun vedenkorkeus lahden ulkopuolella on vakio.

Lahdissa hydraulinen parannuspotentiaali määräytyy yksinomaan penkereen aiheuttaman ahtauman perusteella, eikä topografista eristäytyneisyyttä huomioida.



Kuva 9. Lahti (vasemmalla) ja salmi (oikealla) pengertiellä ja ilman. Veden virtaussuunta on esitetty nuolella. Kuva: Trafikverket 2023, mukaillen.

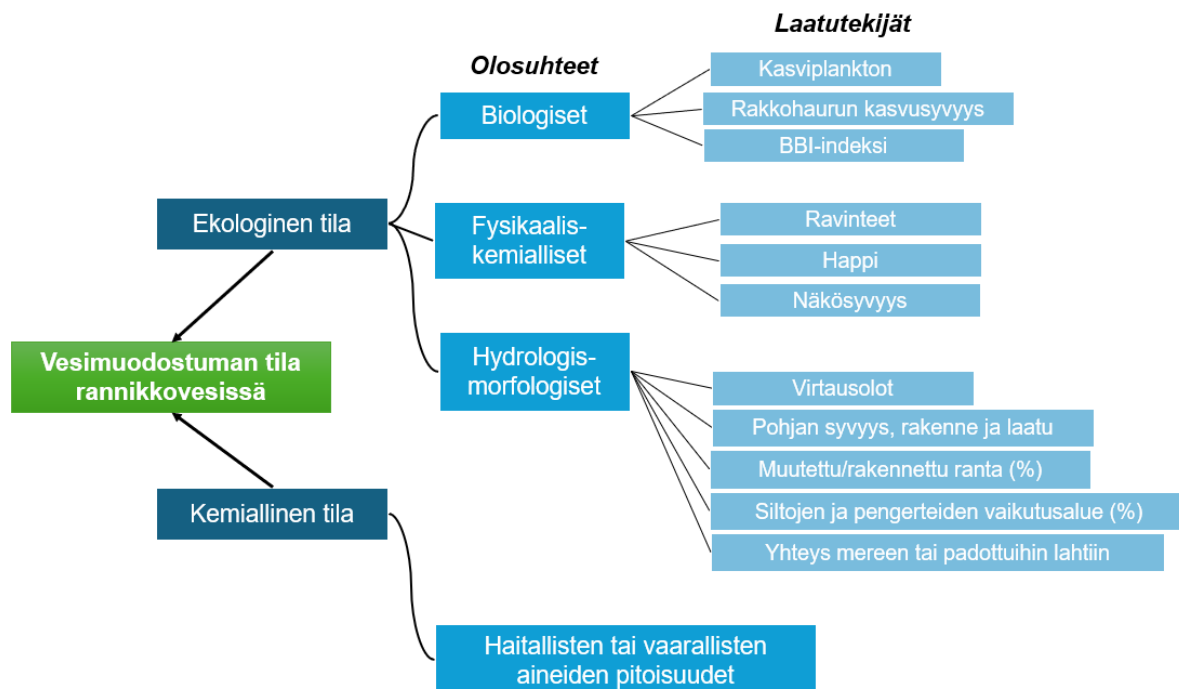
### 2.3.3 Veden laatu ja fyysiset paineet (II)

Ruotsissa vesimuodostumien vedenlaatua ja ekologis-kemiallista tilaa arvioidaan meri- ja vesiviranomaisten pintavesien luokitteluun ja ympäristölaatuunormeja koskeviin määräyksiin pohjautuen kuuden vuoden välein (Trafikverket 2023). Arvio perustuu biologisiin, fysikaalis-kemiallisiin ja hydrologis-morfologisiin laatutekijöihin. Tilaluokitus tallennetaan VISS-vesitietojärjestelmään, joka sisältää myös tietoja mahdollisista vesimuodostumakohtaisista toimenpiteistä niiden tilan parantamiseksi. Pengertiekohteet, joita ympäröi ekologiselta tilaltaan huono ja hydrologis-morfologiselta tilaltaan enintään tyydyttävä vesimuodostuma, saavat automaattisesti korkeimman prioriteettiluokituksen tämän indikaattorin osalta. Myös sellaiset kohteet, joita ympäröivän vesimuodostuman lisätietoissa on osoitettu tehtäväksi pengertietä koskevia, vesimuodostuman tilan parantamiseen pyrkiviä toimenpiteitä, nostavat prioriteettiluokituksen korkeaksi.

Suomessa lähin vastaava tietolähde on elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskusten (ELY) kuuden vuoden välein tekemä, SYKE:n Vesla-tietojärjestelmään tallennettu joki-, järvi- ja rannikkovesimuodostumien ekologisen ja kemiallisen tilan arviointi ja luokittelu (Aroviita ym. 2019) (kuva 10). Luokittelu tehdään osana vesienhoitolain (1299/2004) soveltamista ja EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin eli VPD:n (2000/60/EY) täytäntöönpanoa. Sen perusteella laaditaan alueellisia vesienhoitosuunnitelmia ja toimenpideohjelmia pintavesien hyvän tilan saavuttamiseksi tai sen ylläpitämiseksi (Aroviita ym. 2019). Suunnitelmat, toimenpideohjelmat ja itse tilaluokitus ovat avoimen lähdekoodin tietoa ja siten kaikkien saatavilla.

Veden ekologista tilaa arvioidaan ihmistoiminnan aiheuttaman muutoksen voimakkuuden perusteella viisiportaisella asteikolla erinomaisesta huonoon niin, että tilaa mitataan poikkeamana erinomaista ekologista tilaa edustavista vertailuarvoista. Vesienhoitoasetus (1040/2006) ja VPD kuvaavat vesimuodostuman erinomaisen ekologisten tilan sellaisena, jossa vesimuodostumassa on enintään hyvin vähän ihmistoiminnasta johtuvia muutoksia sen fysikaalis-kemiallisissa, hydrologis-morfologisissa ja biologisissa olosuhteissa verrattuna luonnontilaisiin oloihin.

Rannikkovesissä biologinen luokitus perustuu ensisijaisesti pohjaeläinindeksiin, rakkohaurun (*Fucus vesiculosus*) kasvuvyvyteen, kasviplanktonin a-klorofylliin ja veden laatutietoihin (Aroviita ym. 2019). Fysikaalis-kemiallinen muodostuu mittaamalla näkösyvyyttä, ravinteiden määrää ja pohjan happiolosuhteita. Hydrologis-morfologisia laatutekijöitä puolestaan ovat esimerkiksi virtausolot, pohjan ja rantavyöhykkeen muodot, rakenne ja laatu, rakennetun tai muutoin muutetun rantaviivan osuus rantaviivan kokonaispituudesta, muutettujen vesialueiden pinta-ala, siltojen ja penkereiden tapauskohtaisesti arvioitu vaikutus sekä luontainen yhteys mereen tai padottuihin merenlahtiin.



Kuva 10. Rannikon vesimuodostumien tilan luokittelu yksinkertaistettuna. BBI-indeksi (eng. *Brackish Water Benthic Index*) tarkoittaa Itämeren olosuhteisiin sovitettua pehmeiden pohjien pohjaeläimistön tilaa. Siltojen ja pengerteiden vaikutusalue ja -paine arvioidaan tapauskohtaisesti. Kuva: Aroviita ym. 2019, mukailleen.

Yleisen VPD:n EU-tulkinnan mukaan vesimuodostuman ekologisen tilaluokituksen tulee määräytyä heikoimmassa tilassa olevan tekijän mukaan (Aroviita ym. 2019). Tarkastelussa on kuitenkin huomioitava sekä luokittelussa käytettyjen laatutekijöiden, aineistojen edustavuuden ja yleistettävyyden sekä ihmistoiminnasta aiheutuvan paineen kokonaiskuva. Tämän vuoksi uusimmassa pintavesien tilaluokituksessa vesimuodostuman ekologiselle tilalle on sekä puhtaasti laskennallinen luokitus, arvioitu luokitus että lopullinen, yhdenmukainen ja asiantuntija-arvioin täydennetty luokitus.

Rannikkovesien kemiallinen tila voi olla joko hyvä tai hyvää huonompi (Aroviita ym. 2019). Se muodostuu tarkastelemalla vaarallisten tai haitallisten aineiden pitoisuuksia, joille on asetettu laatu- ja pitoisuusrajat ja jotka määritellään Suomessa vaarallisten aineiden asetuksessa. Laatu- ja pitoisuusrajat ovat samat koko EU:ssa. Jos yhdenkin aineen pitoisuus on yli asetetun raja-arvon, vesimuodostuman kemiallinen tila on hyvää huonompi. Useimmat niistä pysyvät laatu- ja pitoisuusrajain sisällä Suomessa, mutta koska joidenkin aineiden – esimerkiksi difenyylietterin  $C_{12}H_{10}O$  – raja-arvo ylittyy kaikkialla, kaikki Suomen pintavedet luokitellaan kemiallisen tilansa osalta hyvää huonommaksi (Aroviita ym. 2019; Kipinä-Salokannel & Mäkinen 2021).

Tilaluokituksen ja mahdollisten toimenpide-ehdotusten lisäksi Trafikverket (2023) käyttää yhtenä osatekijänä pengertiekohteiden priorisointiin ympäröivään vesialueeseen, erityisesti sen pohjaan ja pohjan elinympäristöihin, kohdistuvaa fyysistä painetta. Sitä kasvattavat esimerkiksi vesiliikenne, sen aiheuttama eroosio, venesatamat, laiturit sekä pohjien ruoppaus ja läjitys, joilla on kielteisiä vaikutuksia niin eliöstöön kuin hydrologis-morfologisiin olosuhteisiin. Lisäksi pengertiellä itsellään voi olla ympärillään fyysinen vaikutusvyöhyke. Tämän pohjalta penkereet jaetaan kolmeen ryhmään:

- Korkea prioriteetti: Kohteet, joita ympäröi fyysinen paineen vaikutusvyöhyke. Se voi olla kokonaan tai todennäköisesti ainakin osin yhteydessä pengertiehen.
- Kohtalainen prioriteetti: Kohteet, jotka sijaitsevat alueilla, joilla fyysinen paine on erittäin suuri. Vaikutusvyöhykettä ei kuitenkaan voida erottaa varsinaisen pengertiekohteen ympäriltä.
- Matala prioriteetti: Kohteet, joiden lähistöllä ei ole juuri lainkaan fyysistä painetta tai joista se puuttuu kokonaan.

Myös Korpisen ym. (2018: 16–17) mukaan juuri ruoppaus ja ruoppausmassojen läjitys, pengerrykset, vedenalaiset putket ja kaapelit sekä muu vesi- ja rantarakentaminen aiheuttavat voimakkaita häiriöitä merenpohjan tilassa paikallisesti. Merenpohjan muuttuessa pysyvästi tai pitkäkestoisesti se määritellään fyysisesti menetetyksi, muutoksen ollessa palautuva häiriintyneeksi. Tällaisia alueita on pääkaupunkiseudun, Kotkan edustan ja Selkämeren sisempien rannikkovesien lisäksi juuri Saaristomeren sisäsaaristossa eli tutkimusalueella.

### 2.3.4 Ekologinen arvo (III)

Pengertiekohteiden priorisointi niiden ekologisen arvon mukaan perustuu kolmeen tekijään: ympäröivän vesimuodostuman syvyyteen, vedenläpäisyyteen ja altistumiseen aalloille (Trafikverket 2023). Tärkein tekijä on vedenläpäisy, jolla tarkoitetaan tämän indikaattorin yhteydessä sitä, onko penkereessä virtausaukko vai ei. Aukoton penger muodostaa kaloille ja muille vesielioille vaellusesteen (ks. esim. Jaeger 2020; Frankiewicz ym. 2021) ja nostaa pengertien automaattisesti korkeimpaan ekologisen arvon prioriteettiluokkaan. Kaksi muuta tekijää kuvastavat sitä, kuinka todennäköisesti pengertiekohteen vaikutusalueella on Itämeren merieliöstölle tärkeitä elinympäristöjä.

Aaltoaltistumista mitataan seitsenportaisella asteikolla (Trafikverket 2023) (taulukko 2). Mitä avoimempi vesimuodostuma on, sitä kovempi aallokko siihen keskimäärin pitkällä aikavälillä kohdistuu. Altistumisaste riippuu tuulen pyyhkäisymatkasta ja keskittuulen suunnista (Cederwall 2001; Trafikverket 2023). Lähtökohtaisesti matalat, pehmeäpohjaiset vesimuodostumat, joilla aaltojen vaikutus on mahdollisimman vähäinen, ovat todennäköisesti monille haavoittuvaisille lajeille tärkeitä elinympäristöjä ja siksi niillä on korkea ekologinen arvo (taulukko 3). Ne ovat myös herkkiä muutoksille, sillä veden määrän ollessa vähäinen pienikin saastekuormitus tai muu muutos voi vaikuttaa paljon, kun veden laimeneminen on vähäistä. Vuorisen (1994: 61) mukaan pehmeiden pohjien eliöstöä ja sen lajien esiintyvyyttä tutkimalla voidaan tutkailla koko ekosysteemin tilaa.

Aallokon lisäksi veneiden potkurit aiheuttavat eroosiota. Sen myötä vesi samentuu siihen päätyvästä kiintoaineksesta, kalojen mäti turmeltuu ja uposkasvien ja makrolevien esiintyminen vähenee. Erityisesti vanhoista kaksitahtimoottoreista tihkuu öljyä ja palamatonta polttoainetta suoraan veteen (ks. esim. Norrby 2001; Korpinen ym. 2018: 16–17; Picciulin ym. 2022). Lisäksi vedenalainen melu häiritsee esimerkiksi kaloja, joiden poikasten otollisin kasvuaika on loppukeväästä alkusyksyyn – siis ne muutamit kuukaudet, joihin veneily Suomessa pitkälti keskittyy. Näin ollen runsas vesiliikenne vähentää alueen ekologista arvoa

yhdellä pykälällä (Trafikverket 2023). Pengertiekohteet, joiden lähistöllä on vene-, lossi- tai lauttareittejä, luokitellaan siksi yhtä porrasta alempaan prioriteettiiluokkaan.

Taulukko 2. Aaltoaltistumisen asteikko on yhteneväinen Ruotsissa ja Suomessa huomioiden Suomen rannikon matalat alueet (Pinnan aaltoekspositio 2015; Trafikverket 2023). Isaeus & Rygg (2005) ja Bekkby ym. (2005) käyttivät sen mallintamiseen yksinkertaista SWM-mallia. Lähde: Trafikverket 2023, mukaillen.

Aste (luokka)	Raja-arvot	Kuvaus
Hyvin avoin (7)	0–1 200	Ulkosaariston kallioluodot ja majakkasaaret sijaitsevat tällaisen aaltoaltistumisen alueilla. Erittäin harvinaista esimerkiksi Ruotsin rannikolla
Avoin (6)	1 201–4 000	Pohja on pääosin kovaa ja kiinteää, joskus hiekkaista. Vesi on matalaa eikä pohjalla ole kasvillisuutta tai muita aallokkoiseen ympäristöön sopeutuneita lajeja.
Melko avoin (5)	4 001–5 000	Pohja on pääosin vakaassa tilassa eli ei yleensä altistu aaltojen eroosiolle. Suurin osa Ruotsin ulkosaaristosta.
Suojainen (4)	5 001–10 000	Pohja on pääosin vakaassa tilassa. Paljon kiinteäkasvuisia makrofyyttejä. Suurin osa Ruotsin väli-saaristosta.
Hyvin suojainen (3)	10 001–30 000	Alle 5 m syvyydessä on pehmeän pohjan sijaan kiviä, soraa ja hiekkaa. Matalakasvuista rakkolevää kasvaa kiinnittyneenä kallioon tai kivenlohkareisiin. Pohja pehmenee noin 10 m syvyydessä tai syvemmillä.
Erittäin suojainen (2)	30 001–100 000	Pohja on pääosin pehmeää ja kasvaa vitakasveja noin 5 m syvyyteen saakka. Korkeakasvuisia, kallioihin kiinnittyneitä leviä.
Äärimmäisen suojainen (1)	100 001–2 000 000	Pohja on kauttaaltaan pehmeä ja siinä kasvaa paikalleen juurtunutta kasvillisuutta, kuten näkinpartaisleviä, merinäkinruohoa ja vitakasveja. Rakkolevää voi kasvaa joko irtonaisena tai kiinnittyneenä esimerkiksi pikkukiviin tai simpukankuoriin. Suojaisimmat, matalimmat lahdet.

Taulukko 3. Kriteerit pengertiekohteen ekologisen arvon määrittämiseksi. Kohde saa automaattisesti korkean ekologisen arvon luokituksen, vaikka se olisi erittäin suojaisella, hiekka- ja sorapohjaisella vesialueella, jos pengertie on umpinainen eli siinä ei ole rumpua, siltaa tai muuta virtausaukkoa. Lähde: Trafikverket 2023, mukaillen.

Kohteen kuvaus	Ekologinen arvo
Pengertiessä ei ole lainkaan virtausaukkoa eli se on vaelluseste.	Korkea
Pengertie leikkaa vesialuetta, joka yhdistää meren ja kosteikon, jokisuiston, kuroutuvan lahden tai muun vesistön.	Korkea
Pengertie leikkaa äärimmäisen tai erittäin suojaisaa matalikkoa lähellä rannikkoa. Veden syvyys < 5 m. Merenpohjassa esiintyy mm. uposkasveja ja selkärangattomia.	Korkea
Pengertie leikkaa erittäin suojaisaa matalikkoa lähellä rannikkoa. Pehmeä pohja alkaa vasta noin 6–15 m syvyydessä, jos sellaista ylipäättään on. Lähempänä pintaa pohja on hiekan tai soran peittämä ja mahdollisesti lohkarainen tai kallioinen. Merenpohjassa esiintyy mm. rakkolevää ja meriajokasta.	Kohtalainen
Muu	Matala

### 2.3.5 Etäisyys lähimmästä luonnonsuojelualueesta (IV)

Tämän indikaattorin tarkoituksena on määrittää, ulottuvatko kunkin pengertiekohteen ympäristövaikutukset mahdollisesti lähiseudun suojeltuun luontoon (Trafikverket 2023). Etäisyys lasketaan euklidisesti eli linnuntietä suorana viivana. Sen pituuden perusteella kohteet luokitellaan seuraavasti:

- 0–100 m: korkea mahdollinen vaikutus ja prioriteetti
- 101–500 m: kohtalainen mahdollinen vaikutus ja prioriteetti
- Yli 500 m: alhainen mahdollinen vaikutus ja prioriteetti

### 3 Aineistot ja menetelmät

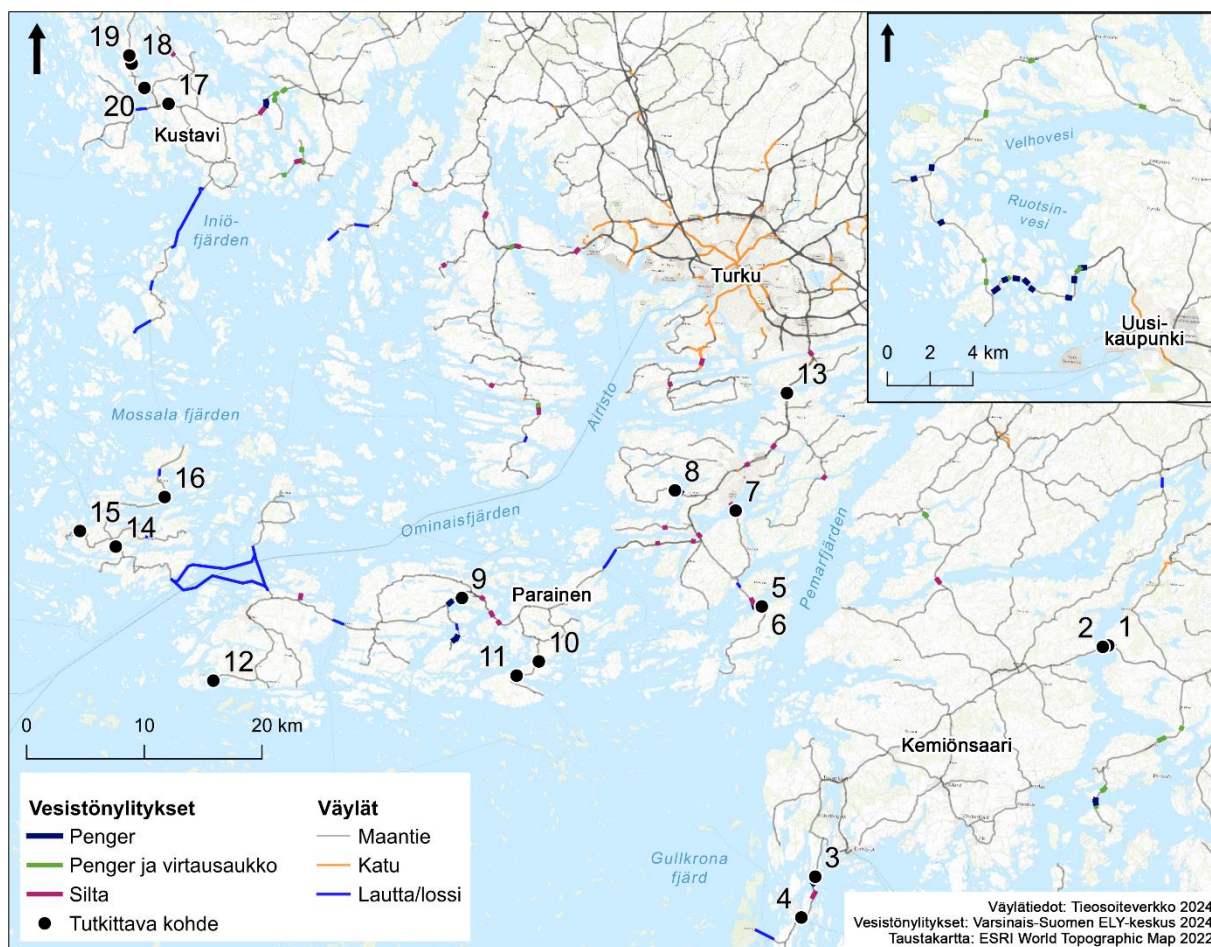
#### 3.1 Tutkimusalue ja -kohteet

Varsinais-Suomen maakunta sijaitsee Suomen lounaisrannikolla. Sitä rajaavat Ahvenanmaa, Kanta-Häme, Pirkanmaa, Satakunta ja Uusimaa. Varsinais-Suomeen kuuluvat merialueet kattavat Saaristomeren sekä Selkämeren eteläosat. Valikoin tähän tutkielmaan maakunnan kunnista ne, joilla on mereistä rantaviivaa noudattaen Laurilan & Kalliolan (2019) käyttämää jaottelua. Ne ovat Pyhäranta, Uusikaupunki, Vehmaa, Kustavi, Taivassalo, Naantali, Masku, Mynämäki, Raisio, Turku, Parainen, Kemiönsaari, Kaarina, Sauvo, Paimio ja Salo.

Lokakuussa 2024 Varsinais-Suomen maakunnassa oli noin 495 000 asukasta (Saaristomeri ja saaristo s.a.). Sekä väestö että väestönkasvu on keskittynyt voimakkaasti maakuntakeskus Turkuun ja sen lähiseuduille. Saaristoalueilla asuu vakituisesti noin 30 000 ihmistä, joista yhteensä 22 000 asuu Turunmaan saaristossa Paraisilla ja Kemiönsaarella. Niistä käsin organisoidaan Saaristomeren biosfäärialue -nimistä verkostoa, joka edistää kestävä matkailua ja luonnonympäristöjen hyvinvointia, mutta on erityisesti keskittynyt saariston autioitumisen torjumiseen työllisyyttä, ympärivuotista asumista ja yritystoimintaa kehittäville hankkeille. Parainen ja Kemiönsaari ovat saaristokunnista suurimmat, sillä muissa asukkaita on korkeintaan muutamia tuhansia per kunta.

Uudenkaupungin edustan makeanveden allas on eristetty merestä patoamalla vuonna 1965 ja toimii raakavesilähteenä noin 25 000 ihmiselle (Popova & Alho 2007). Altaan kiertää vahvasti pengerrytetty tie, joka erottaa sen muista Selkämeren eteläosista. Altaaseen laskee sivuojuineen Sirppujoki, jonka valuma-alueella on paljon viljelymaita sekä happamia sulfaattimaita. Niistä peräisin olevat valumat ovat ajoittain vaikuttaneet kielteisesti altaan tilaan esimerkiksi pohjien ja rantojen liettymisellä sekä veden happamoitumisella ja samentumisella.

Koska allas on pengerrytetty jo 60 vuotta sitten tekojärveksi ja on vahvasti keinotekoisesti säännelty, totesin sen olevan mielenkiintoinen, mutta ei mielekäs tutkimuskohde. Siksi sen alueella ei ole yhtäkään tarkasteltavaa pengertietä, vaan kaikki tutkimani kohteet sijaitsevat Saaristomerellä (kuva 11). Ne sijaitsevat Paraisilla (n = 12), Kemiönsaarella (n = 4) ja Kustavissa (n = 4) (taulukko 4). Käsittelen seuraavissa luvuissa tarkemmin kohteiden valintaa ja sen taustalla vaikuttaneita syitä.



Kuva 11. Tutkimusalueen rajaus perustuu Varsinais-Suomen hallinnollisiin maakuntarajoihin. Kaikki 20 tarkasteltavaa pengertiekohtetta sijaitsevat kuitenkin Saaristomeren alueella Paraisilla, Kemiönsaarella ja Kustavissa. Kustavin eteläpuolelta Iniöstä on myös lauttayhteys Mossalan selän (ruots. *Mossala fjärden*) poikki Houtskariin, mutta se on maksullinen, joten sitä ei ole merkitty karttaan. Oikeassa yläkulmassa on esitetty Uudenkaupungin makeanveden allas pengerryksineen.

Taulukko 4. Tutkittavat pengertiekohteet. Monien kohteiden nimet ovat puhekielistä tapaa noudattaen siltoja, vaikka oikeasti kyseessä onkin pitkälle pengerrytetty tie, johon on puhkaistu joko silta tai rumpu. Kohde 12 eli Gyltön silta sijaitsee Puolustusvoimien suoja-alueella. Gyltön saari on edelleen aktiivista sotilasaluetta, ja siksi paikkatietoaineistot sen maa- ja merialueilta ovat puutteellisia. Lähde: Varsinais-Suomen ELY-keskus 2024.

	X	Y	Kohde	Tyyppi	Kunta
1	271418,9	6679597	Strömman kiinteä silta	Jännitetty betoninen ulokepalkkisilta	Kemiönsaari
2	270951	6679485	Strömman läppäsilta	Teräksinen läppäpalkkisilta teräskannella	Kemiönsaari
3	246504	6659957	Hundhålen silta	Teräsbetoninen laattasilta	Kemiönsaari
4	245323,6	6656492	Hälsundin silta	Teräsbetoninen laattasilta	Kemiönsaari
5	241957,9	6682919	Atun virtausaukko 2	Teräksinen putkisilta	Parainen
6	241958,2	6682919	Atun virtausaukko 1	Teräksinen putkisilta	Parainen
7	239732,4	6691058	Lillholmenin virtausaukko	Teräksinen putkisilta	Parainen

8	234574,8	6692782	Marikarin silta	Teräsbetoninen jatkuva ulokelaattasilta	Parainen
9	216467,1	6683639	Mövikin silta	Teräsbetoninen laattasilta	Parainen
10	223005,7	6678247	Sommarösundin silta	Teräsbetoninen laattasilta	Parainen
11	221114,1	6677041	Kirjaisten silta	Teräsbetoninen laattasilta	Parainen
12	195330,8	6676614	Gyltön silta	Teräsbetoninen laattasilta	Parainen
13	244097,1	6701050	Kirjalansalmen silta	Teräksinen riippuköysi-silta	Parainen
14	187035,6	6688001	Träskin putkisilta	Teräksinen putkisilta	Parainen
15	183988,7	6689329	Hyppeisinsilta	Puinen, liimattu, jatkuva palkkisilta	Parainen
16	191191,7	6692215	Karesundin silta	Teräsbetoninen laattasilta	Parainen
17	191518,9	6725632	Juhannussilta	Teräsbetoninen laattasilta	Kustavi
18	188385,3	6729033	Lankholman putkisilta	Teräksinen putkisilta	Kustavi
19	188182	6729733	Högholminrauman silta	Teräsbetoninen laattasilta	Kustavi
20	189473,7	6726977	Siikarauman silta	Ei tietoa	Kustavi

### 3.2 Aineistot

Tutkimuksessa ensisijaisesti käytettävät aineistot on lueteltu taulukossa 5. Sain lokakuussa 2024 Varsinais-Suomen ELY-keskukselta käyttöni paikkatietoaineiston, johon oli digitoitu kaikki vesistönylitykset Suomen rannikolla kesän 2024 aikana. Vesistönylityksiin kuuluvat kohteet oli luokiteltu kolmeen tyyppiin: siltoihin, umpinaisiin penkereisiin ja penkereisiin virtausaukolla, ja niistä oli seulottu pois vesistösilat, joissa sillan kannen pituus on yli 20 metriä. Yhteensä kohteita oli lähes 200 kpl, joista 98 kpl sijaitsi Varsinais-Suomen maakunnassa.

Indikaattorin II tarkastelua varten Varsinais-Suomen ELY-keskuksesta välitettiin pyynnöstäni Varsinais-Suomen merialueille rajattu paikkatietoaineisto, joka sisälsi VPD:n mukaiset kolmannen eli uusimman suunnittelukauden rannikkovesimuodostumat sekä tietoja niiden ekologisesta ja kemiallisesta tilasta vuodelta 2022. Vesimuodostumat on rajattu rantaviivaa mittakaavassa 1:10 000 kuvaavan aineiston pohjalta ja tyypitelty niiden luontaisten ominaispiirteiden perusteella huomioiden ihmistoiminnan aiheuttamat muutokset. Toisen suunnittelukauden pinta- ja pohjavesimuodostumat luokitteluineen ovat avoimen lähdekoodin dataa SYKEN Avoin tieto-palvelussa, mutta kolmannesta tietoa on avoimesti saatavilla vain voimakkaasti muutetuista ja/tai keinotekoisista vesimuodostumista. Aineisto on SYKEN hallinnoima ja ylläpitämä, mutta tuotetaan ELY-keskuksissa.

Indikaattorin III eli pengertiekohteiden ekologisen arvon määrittämiseksi tarvitsin useampia aineistoja. Aaltoalistusta arvioin SYKE:n ylläpitämästä, aaltojen vaikutuksia kuvaavasta rasteriaineistosta, joka on tuotettu Vedenalaisen meriluonnon monimuotoisuuden inventointiohjelman (VELMU) tarpeisiin. *Pinnan aaltoekspositio* on resoluutioltaan 25 m. Se perustuu yksinkertaiseen SWM-aaltomalliin (Isaeus & Rygg 2005; Bekkby ym. 2008) ja EUNIS-luokitteluun, jota on hieman sovellettu rannikon matalat alueet huomioiden. Luokkien nimet ja raja-arvot ovat siinä samat kuin Trafikverketin (2023) käyttämät. Rasteriaineisto on katseltavissa sekä VELMU-karttapalvelussa että WMS-rajapinnan kautta. Tarvitsin kuitenkin siitä tutkimustani varten muokattavan version, jonka pyysin käyttööni SYKEltä Saaristomerelle rajattuna.

Meriveden syvyydestä ei ole Suomessa saatavilla kovin tarkkaa avointa dataa turvallisuussyistä. Aluevalvontalaki (755/2000) rajoittaa merenpohjan systemaattista mittausta ja tallennusta Suomen aluevesillä ja julkisuuslaki (621/1999) puolestaan velvoittaa pitämään jotkin merenmittausaineistot salassa. Avoimen lähdekoodin syvyysmittausaineistoja voi katsella ja ladata joko liikenne- ja viestintävirasto Traficom:n lataus- ja katselupalvelusta tai WFS/WMS-rajapinnan kautta ilman erillistä lupamenettelyä. Yksittäiset syvyyspisteet sisältävät tarkempia lukuja syvyydestä niiden kohdalla. Niiden perusteella yleistettyjen ja interpoloitujen, polygonimuotoisten syvyyskäyrien ja -alueiden spatiaalinen resoluutio on karkeampi; ne esittävät merenpohjan maksimisyvyyden olevan joko alle 10 m, 10–20 m tai yli 20 m.

Syvyysdatan epätarkkuuden takia valikoin sen oheen lisää VELMU-aineistoja, joiden avulla pyrin tunnistamaan matalat pohjat, jotka todennäköisesti ovat ekologisesti arvokkaita. *VELMU-ohjelman raportoidut meriluontotyypit* perustuu EU:n luontodirektiivin (92/43/ETY) kuuden vuoden välein velvoittamaan raportointiin. Valikoin WMS-rajapinnasta tasot, joihin on merkitty polygoneina rannikon laajat matalat lahdet sekä laguunit pinta-aloineen. Laguunien luontotyyppiin luetaan fladat, kluuvifladat ja kluuvit sekä muut merestä erottuneet laguunimaiset ympäristöt. Tällaiset elinympäristöt Trafikverket (2023) määrittelee arvokkaiksi.

Itämeren luontotyyppien esiintymistodennäköisyyttä on ennustettu Virtasen ym. (2018) kehittämän mallinnusmenetelmän mukaan. Rasteriaineisto kuvaa pohjakasvillisuuden, esimerkiksi vita-, hauru- ja meriajokaspohjien, mahdollista levinneisyyttä Suomen meri-alueilla ja se on päivitetty viimeksi vuonna 2024. Pikselit saavat arvoja välillä 0–100 % sen

mukaan, kuinka suurella todennäköisyydellä kukin luontotyyppi esiintyy kyseisessä sijainnissa. Ennuste eri kasvillisuuspuhjojen läsnäolosta perustuu VELMU-havaintoihin sekä Husön biologisen aseman ja Ahvenanmaan maakuntahallituksen aineistoihin, joita on verrattu lajien poissaolohavaintoihin sekä muihin VELMU-ohjelmassa kerättyihin ympäristömuuttujatietoihin. Jotta laji lasketaan läsnäolevaksi, sen pitää kattaa yli 50 % pohjakasvillisuudesta, jonka on puolestaan oltava peittävydeltään vähintään 10 %. Kyseessä eivät ole kenttähavainnoilla varmistetut esiintymisalueet, vaan mallinnukseen perustuva ennuste. VELMUlla on myös avoimen lähdekoodin dataa haurujen (*Fucus*), vitojen (*Potamogeton*) ja meri-ajokkaan (*Zostera marina*) todennetuista havainnoista, mutta ne ovat alueiden sijaan pistemuotoisia ja erittäin harvalukuisia. Niiden huonon spatiaalisen kattavuuden vuoksi päätin käyttää mieluummin luontotyyppien esiintymistodennäköisyysmallia analyysin pohjana. Sen pikselikoko on 20 m \* 20 m.

Monet esiintymistodennäköisyysmallin lajit viihtyvät parhaiten matalassa, suojaisessa vedessä. Näin ollen alue, joka on merkitty Traficomien syvyystiedoissa alle 10 metrin syvyyseksi ja jossa suurella todennäköisyydellä kasvaa esimerkiksi rakkohaurua, vitakasveja tai näkinpartaisleviä, on todennäköisesti suojainen, matala ja siksi Trafikverketin (2023) mukaan ekologisesti arvokas. Vidat ja näkinpartaiset kertovat myös pohjan pehmeestä. Esiintymistodennäköisyysmallit ovat tarkasteltavissa VELMUn verkkopalvelussa ja ladattavissa rajapinnan kautta, mutta rastereita niitä ei pysty muokata, vain katsella; tästä syystä ne annettiin SYKELtä käyttööni pyynnöstäni Saaristomeren alueelle rajattuna.

Pengertien ympäristön ekologista arvoa vähentävästä vesiliikenteestä keräsin tietoa Väyläviraston ylläpitämästä vesiväyläaineistosta. Väylävirasto tuottaa myös valtakunnallista tieosoiteverkkoa kuvaavaa vektoriaineistoa. Koska tutkimuksessa tarkasteltavat pengertiekohteet ovat kaikki maanteitä, valitsin tieosoiteverkosta ne ja seuloin kadut sekä yksityistiet pois. Molemmat aineistot ovat avoimesti saatavilla joko Suomen väylät-karttapalvelusta tai suorasaantina Väyläviraston WFS-rajapinnasta. Latasin rajapinnan kautta vesiväylien ja tieosoiteverkon lisäksi myös esimerkiksi läjitys- ja ruoppausalueita kuvaavat vektoriaineistot.

Trafikverket (2023) arvioi pengerteitä ympäröiviin vesialueisiin kohdistuvaa fyysistä painetta kansallisessa Fyysiset vaikutukset Ruotsin rannikkovesillä -hankkeessa tuotettujen paikka-tietoaineistojen perusteella. Ne kuvaavat pinta-aloittain alueita, joilla ihmistoiminta vaikuttaa haitallisesti merenpohjaan ja vedenalaiseen luontoon, sekä osittain myös kyseisen fyysisen paineen voimakkuutta. Suomessa vastaava aineisto on salattua dataa. Siksi latasin Itämeren

rannikkovaltioiden merensuojeluorganisaatio HELCOMin karttapalvelusta *Physical disturbance*-, *Physical loss*- ja *Disturbance of species due to human presence*-nimiset rasteritasot.

*Physical disturbance* kuvaa ihmistoiminnan haittavaikutuksia, esimerkiksi kalankasvatusta, ruoppaus- ja läjitysalueita, putkia, kaapeleita sekä laiva- ja veneliikennettä, tiettyjä muuttujia painottaen. Niiden vaikutukset on laskettu pikseleittäin yhteen yhdeksi tasoksi, eli mitä suuremman arvon pikseli saa, sitä enemmän antropogeenista häiriötä merenpohjaan kohdistuu. *Physical loss* on muodostettu pitkälti samojen muuttujien pohjalta samalla tavalla, mutta pikselin arvo kertoo menetetyn pohjan pinta-alan kunkin pikselin sisällä. *Disturbance of species due to human presence* kuvaa rantarakentamisen ja ei-kaupallisen veneliikenteen yhtä lailla kumulatiivisia vaikutuksia merieliöstöön. Niitä ovat esimerkiksi vedenalainen melu ja veden samentuminen. Kaikissa aineistoissa data on normalisoitua ja syvyys otettu huomioon. Niiden pikselikoko on 1 km \* 1 km, eli aineiston spatiaalinen resoluutio on melko pieni tutkimukseni tarkoitukseen nähden.

Indikaattoriin IV liittyvien luonnonsuojelualueiden sijainnin määrittämiseksi käytin SYKEN luonnonsuojelu- ja erämaa-alueita sekä Natura 2000 -alueita kuvaavia vektoriaineistoja. Suomen suojelualueet ovat joko valtio- tai yksityisomistuksessa, mutta monet niistä kuuluvat myös Natura 2000 -verkostoon. Merialueet poimin vektorimuotoisina Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta ja rajasin ne tutkimusalueelle.

Aineistot, joiden rooli oli satunnaisesti tukea tehtäviä analyysyjä ja tulosten tulkintaa, olivat avoimesti saatavilla eri lähteistä. Kunkin pengertien rakentamista edeltävä maisema ja ympäristön tila oli nähtävissä Maanmittauslaitoksen historiallisista ilmakuvista, joita voi vapaasti katsella verkossa kansallisessa Paikkatietoikkuna-paikkatietoportaalissa. Silta- ja rumpurakenteiden yksityiskohtaiset tekniset tiedot ovat salattua dataa Väyläviraston sisäisessä Tievelho-tietojärjestelmässä, jonne minulla ei ole pääsyoikeutta. Tarkastelin siis siltojen ja rumpujen sijoittumista ja tietoja esimerkiksi niiden tyypistä tai kannen pituudesta *Vesistösilat*- ja *Rumpuputket* -paikkatietoaineistoista, jotka sisältyvät Väyläviraston avoimeen Taitorakennerekisteriin.

Taulukko 5. Työpöytä tutkimuksen perustana käyttämäni ensisijaiset aineistot. Kaikki aineistot olivat ETRS-TM35FIN-tasokoordinaattijärjestelmässä, jonka EPSG-koodi on 3067. Avoimen lähdekoodin aineistoja koskee CC BY 4.0-lisenssi.

Aineisto (muoto)	Lähde	Avoin data	Käyttötarkoitus
Vesistönylitykset Suomen rannikolla (vektori)	Varsinais-Suomen ELY-keskus (2024)	Ei	Pengerteiden tunnistaminen
Tieosoiteverkko (vektori)	Väylävirasto (2024)	Kyllä	
Hydraulinen parannuspotentiaali pengertiekohteittain (tilasto)	Luode Consulting / Raudasoja & Kronholm (2024)	Ei	Hydraulisen parannuspotentiaalin laskenta
Vesipuitedirektiivin mukaiset vesimuodostumat 3. suunnittelu-kausi (vektori)	SYKE / Varsinais-Suomen ELY-keskus (2022)	Kyllä, osittain	Pintaveden tilan ja fyysisen paineen arviointi
Physical loss (rasteri) Physical disturbance (rasteri)	HELCOM (2023)	Kyllä	
Pinnan aaltoekspositio (rasteri)	Suomen ympäristökeskus (2015)	Kyllä, osittain	Vesialueiden ekologisen arvon arviointi
Syvyysmittausaineistot (vektori) <i>Ei navigointikäyttöön. Eivät täytä asianmukaisen merikartan vaatimuksia.</i>	Traficom (2025)	Kyllä	
VELMU-ohjelman raportoidut meriluontotyypit (vektori)	Suomen ympäristökeskus (2019)	Kyllä, osittain	
Itämeren luontotyyppien esiintymistodennäköisyysmallit (rasteri)	Suomen ympäristökeskus (2024)	Kyllä, osittain	
Luonnonsuojelu- ja erämaa-alueet (vektori)	Suomen ympäristökeskus (2024)	Kyllä	Luonnonsuojelualueiden tunnistaminen
Natura 2000 -alueet (vektori)	Suomen ympäristökeskus (2024)	Kyllä	
Läjitysalueet (vektori) Ruoppausalueet (vektori) Vesistösillat (vektori) Rumpuputket (vektori) Vesiväylät (vektori)	Väylävirasto (2024)	Kyllä	Ihmistoiminnasta aiheutuvien paineiden tunnistaminen
Disturbance of species due to human presence (rasteri)	HELCOM (2023)	Kyllä	
Maastotietokannan hydrografia	Maanmittauslaitos (2024)	Kyllä	Vesialueiden (meri, järvet, virtavedet) tunnistaminen

### 3.3 Menetelmät

#### 3.3.1 Aineistojen esikäsittely ja tutkimuksen eteneminen

Raudasoja & Kronholm (2024) valitsivat Varsinais-Suomen rannikon lähes sadan vesistönylityksen joukosta 20 pengertietä pilottikohteiksi (taulukko 4). Kohteiden valintaan vaikutti niiden sijainti, ympäristöolosuhteet ja niiden alueelta saatavien kaukokartoitus-, ortokuva- ja syvyyspisteaineistojen kattavuus. Kohteita pyrittiin valikoimaan erilaisista ympäristöistä (esimerkiksi kapea/leveä salmi, pieni/suuri lahti) ja eri puolilta maakunnan rannikko- ja saaristoalueita. Luvussa 3.1 esittämistäni syistä johtuen Uudenkaupungin rannikko Selkämeren eteläosissa jätettiin pois ja tarkemmaksi tutkimusalueeksi rajautui pelkkä Saaristomeri. Pilottikohteille laskettiin Luode Consultingin (Raudasoja & Kronholm 2024) toimesta hydraulinen parannuspotentiaali.

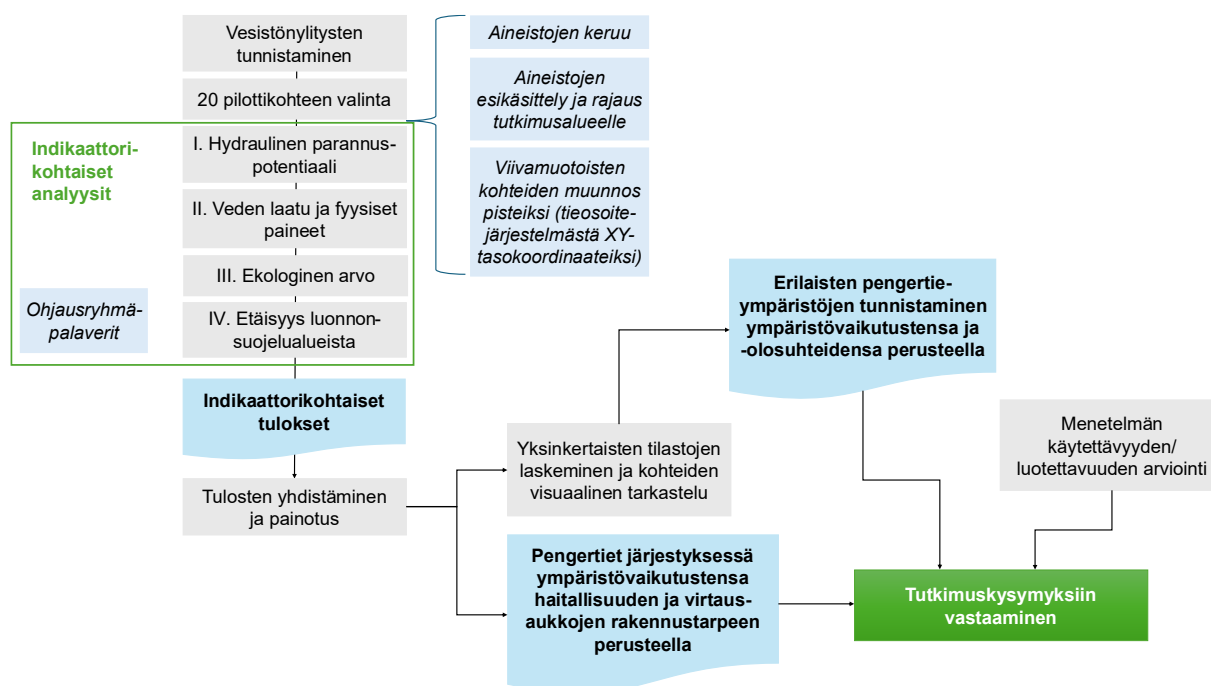
Koska hydraulinen parannuspotentiaali on tulosten painotuksen kannalta indikaattoreista tärkein eikä pengertielle voida määrittää prioriteettiluokitusta ilman HFP-arvoa, rajasin tässä tutkielmassa tarkasteltavat pengertiet näihin 20 pilottikohteeseen. Tein niille indikaattorien II–IV osalta riippumattomat analyysit Trafikverketin (2023) esimerkkiä soveltaen. Käytin tähän avoimen lähdekoodin QGIS-paikkatieto-ohjelmiston versiota 3.34.3. Lopuksi yhdistin jokaisen indikaattorin osalta saadut tulokset yhteen taulukkoon, määritin pengertiekohteille niiden lopullisen prioriteettiluokan ja järjestin ne tämän luokituksen perusteella tärkeysjärjestykseen. Työprosessi kokonaisuutena on esitetty kuvassa 12.

Aineiston esikäsittely alkoi luomalla kunkin viivamuotoisen pengertiekohteen keskikohtaan piste, jolle määritin X- ja Y-koordinaatit ETRS-TMS35FIN-tasokoordinaattijärjestelmässä. Muunsin kaikki käytettävät aineistot tarvittaessa samaan koordinaattijärjestelmään (EPSG-koodi 3067). Koska valtaosa kaikista tutkimuksessa käytettävistä aineistoista, olivat ne sitten vektori- tai rasterimuotoisia, oli tiedostokooltaan suuria ja vaati siksi paljon suoritustehoa, rajasin ne kaikki kattamaan tutkimusalueen eli Varsinais-Suomen maakunnan merialueet. Näin niiden prosessointi ja analysointi keveni ja nopeutui.

X- ja Y-koordinaatit helpottivat QGIS:n analyysityökalujen käyttöä, sillä alkuperäisessä vesistönylitysaineistossa kohteiden sijaintitiedot oli tallennettu vain Väyläviraston käyttämässä teosoitejärjestelmässä eli etäisyyksinä esimerkiksi jokaisen yksittäisen tien alku- ja loppupisteestä. Tarkistin kohteiden attribuuttitiedot manuaalisesti, korjasin kirjoitusvirheitä sekä täydensin puuttuvia tietoja esimerkiksi siltojen virallisten nimien ja rakenteiden osalta.

Loin lisäksi kunkin pengertiekohteen keskikohdan ympärille halkaisijaltaan  $d$  1000 metrin (säde  $r = 500$  m) pyöreän bufferin, jonka sisällä tutkin pengerteiden ympäristövaikutuksia, sillä ne voivat ylittää jopa satojen metrien päähän penkereestä (Koskinen 2002).

Trafikverket (2023) järjesti tutkimusmenetelmän kehittämisen aikana kaksi sidosryhmätapaamista, joihin osallistui edustajia kyseisestä virastosta, lääninhallituksista ja Göteborgin yliopistosta. Lisäksi niihin osallistui viranomaisia sekä Ruotsin geologisesta tutkimuskeskuksesta että meri- ja vesivirastosta. Tapaamisten tavoitteena oli kerätä asiantuntija-arvioita menetelmän toimivuudesta ja siitä, millaisia aineistoja ja metodologisia lähestymistapoja siinä kannattaisi käyttää ja mihin asioihin kiinnittää erityistä huomiota. Koska monitieteinen yhteistyö on menetelmien ja työkalujen luomiseen ja kehittämiseen hyvä lähestymistapa (McKay ym. 2020), osallistuin oman tutkimusprosessini aikana yhteensä neljään ohjausryhmäpalaveriin, joissa keskusteltiin samoista aiheista. Niissä oli osallisena itseni ja ohjaajieni lisäksi asiantuntijoita Varsinais-Suomen ELY-keskuksesta ja Väylävirastosta. Palaverit järjestettiin talven 2024 ja kevään 2025 aikana.



Kuva 12. Tutkimusprosessin eteneminen vaiheittain. Kuva: Virtanen 2026.

### 3.3.2 Indikaattorikohtaiset analyysit

#### Hydraulinen parannuspotentiaali (I)

Raudasojan & Kronholmin (2024) mukaan silta- ja rumpurakenteiden tekniset tiedot hydraulisen parannuspotentiaalin laskemista varten kerättiin Taitorakennerekisteristä. Heidän

laskennoissa käyttämänsä tiedot ympäristöoloista ilman rakennettuja penkereitä perustuivat Maanmittauslaitoksen historiallisiin ilmakuviin kohteista pääosin vuodelta 1943 eikä 1960-luvulta, kuten Trafikverket (2023) ohjeistaa. Tämä johtui siitä, että osa valituista pilotti-kohteista on rakennettu ennen 1960-lukua, eikä kaikista ollut ilmakuvia saatavilla siltä ajalta.

Ilmakuvista mitattiin vesialueiden/uomien pituus ja poikkileikkaus sekä määritettiin niin sanottu seisovan veden paikka, jossa virtaus oletettavasti päättyy (Raudasoja & Kronholm 2024). Nykytilanteen arvioimiseksi samojen muuttujien osalta käytettiin mm. merikarttoja, syvyysluotauspisteitä ja ilmakuvia. Koska aineistojen spatiaalinen ja ajallinen kattavuus oli monen kohteen osalta puutteellinen ja esimerkiksi avoin virtaamadata melko epätarkkaa, syvyystietojen ja uomien pinta-alojen suhteen oli tehtävä karkeita oletuksia. Laskennoissa käytettiin ensisijaisena syvyystietona lähimpiä merikarttojen syvyysluotausarvoja, toissijaisena syvyyskäyriä. Jos kumpaakaan ei ollut saatavilla, kohteiden keskisyvyyydet arvioitiin karkeasti ilmakuvista. Syntyviä energiahäviöitä arvioitaessa ei otettu huomioon vedenpinnan kaltevuutta salmissa tai lahdissa.

Salmia halkovien pengerteiden osalta topografinen eristyneisyys muuttujana jätettiin pois tästä tutkimuksesta, sillä sen laskeminen olisi ollut pro gradu -tutkielman laajuuteen nähden huomattavan työlästä. Laskennan tuloksena saadut HFP-arvot taulukoitiin pengertiekohtaisesti xlsx-tilaukseen ja lähetettiin minulle. Yhdistin arvot pengertiekohteiden attribuuttitauluun QGIS:ssä.

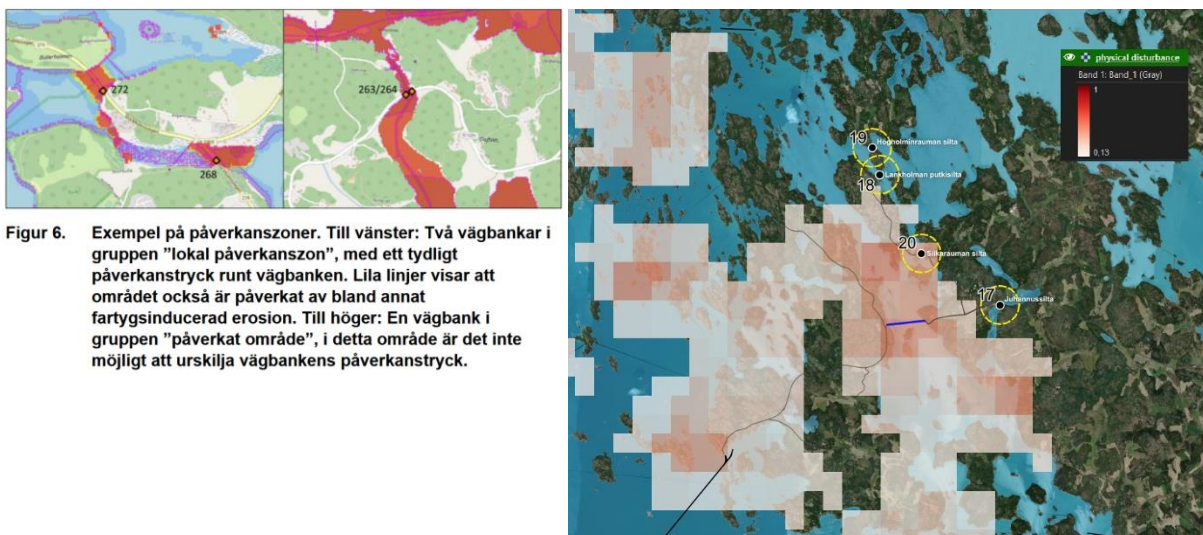
## **Veden laatu ja fyysiset paineet (II)**

Suurimmassa osassa pengertiekohteista pintaveden ekologinen tila penkereen molemmin puolin oli sama. Monissa näistä kohteista pengertie toimi silti kahden eri vesimuodostuma-polygonin rajana. Niissä kohteissa, joissa pengertie erotti toisistaan kaksi ekologiselta tilaltaan erilaista vesimuodostumaa, valitsin kohdekohtaiseksi veden ekologisiksi tilaksi niistä heikomman, kuten Aroviita ym. (2019) ohjeistavat pintavesien tilan luokittelussa ja arviointiperusteissa. Träskin kanava Paraisilla on rajattu pois vesimuodostuma-aineistosta – todennäköisesti siksi, että se on niin lyhyt ja kapea – mutta kanavan yhdistämissä vesimuodostumissa tila oli molemmissa tyydyttävä. Tämän perusteella myös kanavaa leikkaavan pengertiekohteen 14 eli Träskin putkisillan osalta tilaluokitukseksi tuli tyydyttävä.

Määritin korkean prioriteetin kohteille, joissa pintaveden ekologinen tila oli huono ja hydrologis-morfologinen tila korkeintaan tyydyttävä. Yhdenkään vesimuodostuman

attribuuttitiedoissa ei ollut mainintaa sen tilan parantamiseen pyrkivistä toimenpiteistä, jotka olisivat koskeneet tiepenkereitä tai siltoja. Kohdetta 13 eli Kirjalansalmen siltaa Paraisilla ollaan kuitenkin parhaillaan purkamassa uuden tieltä, ja samalla puretaan vanhaa siltaa osin kannatteleva pengerrytetty tekokannas (Mt 180...uusiminen 2025; Paju-Heikkilä 2025). Siksi kyseinen kohde sai korkean prioriteetti- ja luokituksen. Kohtalaisen prioriteetin saivat kohteet, joissa veden ekologinen tila oli luokiteltu välttäväksi eli toiseksi heikoimmaksi huonon jälkeen.

Pengerteitä ympäröiviin vesialueisiin kohdistuvaa fyysistä painetta oli haastavaa tarkastella luotettavasti. Lataamani HELCOMin aineistot kuvasivat ihmistoiminnasta aiheutuvaa häiriötä merenpohjan elinympäristöissä sekä pohjien muuttuneisuutta/tuhoutumista 1 km resoluutiolla eli hyvin yleisellä tasolla. Trafikverketin (2023) käyttämä rasteridata sen sijaan on hyvin yksityiskohtaista ja pienipiirteistä (kuva 13). Toisin kuin siitä, HELCOMin rasteriaineistoista oli mahdotonta erottaa fyysisen paineen vaikutusvyöhykettä yhdenkään pengertiekohteen ympäriltä. Siksi yksikään kohde ei saanut korkeaa prioriteetti- ja luokitusta tämän osatekijän perusteella. Kohtalaisen prioriteetin saivat kuitenkin ne, joissa päällekkäisanalyyssissä 500 m bufferin sisäpuolelle osui edellä mainittujen rasteritasojen pikseleitä tai läjitys- tai ruoppaus-alueita silloinkin, jos veden ekologinen tila oli tyydyttävä tai parempi. Laskin myös pikselien arvojen keskiarvon. Matalan prioriteetti- ja luokituksen saivat kohteet, joissa fyysistä painetta ei rastereiden mukaan ollut lainkaan.



Kuva 13. Trafikverketin (2023) käyttämä, rannikon fyysisiä paineita kuvaava data (punaisella, kuvankaappaus raportista vasemmalla) on huomattavasti tarkempaa kuin HELCOMin data (kuvankaappaus QGIS:n työtilasta oikealla). Esimerkiksi *Physical disturbance* -rasterin pikselikoko on 1 km \* 1 km. Se on visualisoitu punaisella, jonka sävy syvenee vaikutuspaineen kasvaessa. Sekä sen että *Physical loss* -rasterin arvojen vaihteluväli oli 0,13–1,0.

### Ekologinen arvo (III)

Pengerteitä ympäröivien vesiympäristöjen ekologista arvoa arvioitaessa ensisijainen tekijä on vedenläpäisy eli se, onko penkereessä virtausaukko vai ei. Yksikään 20 kohteesta ei ollut täysin umpinainen, eli yksin sen perusteella ainuttakaan kohdetta ei luokiteltu automaattisesti korkeimpaan ekologisen arvon prioriteettiluokkaan.

Aalloille altistumista tutkin päällekkäisanalyysin avulla. Rajasin merenpinnan aaltoekspositiota eli aallokelle altistumista kuvaavan rasterin kutakin pengertiekohtetta ympäröivän 500 m bufferin sisäpuolelle ja laskin siitä bufferialueen sisäpuolelle jäävien aaltoaltistuspikselien arvojen keskiarvon. Pikselit saivat arvoja välillä 1–4 (kuva 14) eli luokista äärimmäisen suojaisesta suojaiseen. Valitsin kunkin kohteen aaltoaltistumisen asteeksi laskemani keskiarvon pyöristettynä ylöspäin lähimpään kokonaislukuun.

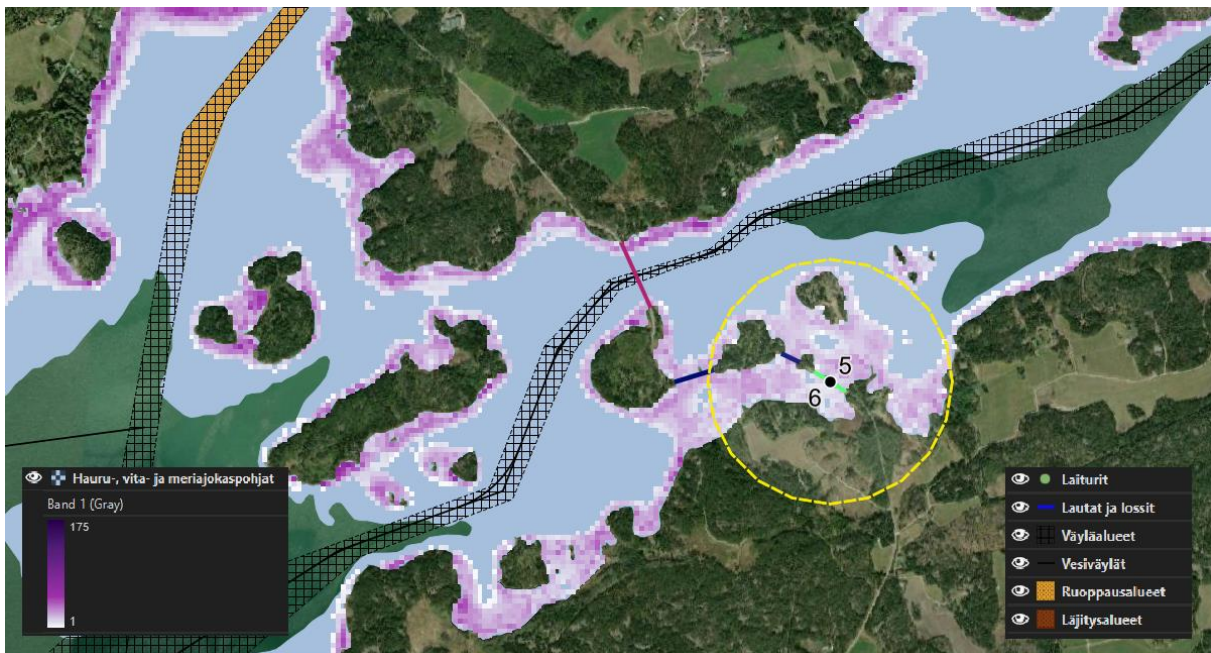


Kuva 14. Kuvankaappaus QGIS:n työtilasta. Mitä pienemmän pinnan aaltoaltistusta kuvaavan arvon pikseli saa välillä 1–7, sitä vaaleampana se näkyy kartalla ja sitä suojaisempi se on. Tummansinisiä, hyvin avoimeksi luokiteltuja ja siten tuulen ja aaltojen vaikutukselle erittäin alttiita alueita on lähinnä ulkosaaristossa ja avomerellä. 500 m bufferit on merkitty keltaisella katkoviivalla.

Vedenalaisen kasvillisuuden tutkimiseksi muunsin hauru-, vita- ja meriajokaspohjia kuvaavat rasteriaineistot ensin samaan 10 m resoluutioon. Niissä kunkin pikselin arvo kuvaa luontotyyppien esiintymisen ennustettua todennäköisyyttä kyseisessä sijainnissa niin, että kasvillisuus peittää vähintään 10 % pohjasta ja yli puolet siitä on kunkin luontotyyppin määrittäviä lajeja: hauruja, vitoja tai meriajokasta. Yhdistin nämä kolme rasteria yhdeksi tasoksi, jossa kukin pikseli sai arvokseen alkuperäisten tasojen pikselien yhteenlasketun summan. Mitä suurempi

arvo, sitä todennäköisemmin alueella esiintyi runsaasti matalavetisessä ympäristössä viihtyvää, mahdollisesti monimuotoista makrofytytilajistoa (kuva 15). Laskin mahdollisten kasvillisuuspohjien pinta-alan suhteessa koko 500 m bufferin sisään jäävän vesialueen pinta-alaan kunkin jokaisessa kohteessa.

Irrotin syvyysmittausaineistosta polygonit, jotka sijaitsivat tutkimusalueella ja joissa veden syvyys oli alle 10 metriä ja laskin myös niiden pinta-alan suhteessa koko bufferialueen sisäpuolelle jäävän vesialueen pinta-alaan. Seuloin VELMUn meriluontotyyppejä kuvaavasta aineistosta sellaiset laguunit ja laajat matalat murtovesilahdet, joiden alueelle kutakin pengertietä ympäröivä 500 m bufferi osui joko kokonaan tai osittain. Tavoitteena oli tunnistaa matalat alueet sekä ne alueet, jotka on luokiteltu jo lähtökohtaisesti mataliksi, suojausiksi ja lajistoltaan monipuolisiksi luontotyypeiksi.



Kuva 15. Kuvankaappaus QGIS:n työtilasta. Kohteet 5 ja 6, kaksi virtausaukkoa, sijaitsevat Paraisten Atunttiellä samassa penkereessä (vihreä viiva) ja niitä on siksi tarkasteltu yhtenä kohteena mm. hydraulisen parannuspotentiaalin laskennassa. Siksi niiden ympärillä on kahden sijaan yksi 500 m bufferi (keltainen katkoviiva). Pengertien pohjoispuolella on salmen ylittävä silta (pinkki viiva), joka kulkee vesiväylän yli. Sinisellä alle 10 metriä syvät vesialueet, violetilla mahdolliset hauru-, vita- tai meriajokasohjat. Mitä tummempi violetti, sitä todennäköisemmin yhtä tai useampaa lajia esiintyy.

Rajasin lautat, lossit sekä viralliset vesiväylät ja väyläalueet (2024) niihin, jotka osuvat ainakin osittain 500 m bufferien sisälle tai leikkaavat niitä. Ihmistoiminnan merieliöstöön kohdistuvia haittavaikutuksia kuvaavan *Disturbance of species due to human presence*-rasterin arvojen vaihteluväli oli 0,12–0,97, ja koska nimenomaan runsas vesiliikenne laskee pengertiekohteen ekologista arvoa yhtä alempaan prioriteettiluokkaan, irrotin siitä pikselit,

joiden arvo oli  $\leq 0,5$ . Mikäli 500 metrin säteelle pengertiestä osui joko tämän kynnyksarvon keskiarvoltaan ylittäviä pikseleitä, lautta- tai lossiyhteyksiä tai vesiväyliä, kohteen ekologinen arvo laski yhdellä asteella.

Tällaisia pengertiekohteita, joissa prioriteettiluokitus oli lähtökohtaisesti muutenkin matala eli alin, oli neljä. Tarkistin ensin niiden osalta, oliko alue luokiteltu laguuniksi ja siten luonnoltaan arvokkaaksi – ei ollut. Sen jälkeen tarkastelin ahvenen poikastuotantoalueiden sekä hauenpoikasten esiintymisalueiden (2024) sijoittumista; VELMUn rasteriaineistot kuvaavat rannikkovesiä 50 m resoluutiolla ahvenen- ja hauenpoikasille joko epäsuotuisiksi, suotuisiksi tai erittäin suotuisiksi. Jos 500 metrin säteellä oli suotuisiksi tai erittäin suotuisiksi luokiteltuja pikseleitä, kohteen ekologinen arvo säilyi matalana. Tämä toteutui kaikissa kohteissa.

### **Etäisyys lähimmästä luonnonsuojelualueesta (IV)**

Yhdistin ensin SYKEN luonnonsuojelu- ja erämaa-alueita sekä Natura 2000 -alueita kuvaavat vektoriaineistot yhdeksi tasoksi ja seuloin siitä päällekkäisanalyysillä pois ne polygonit, jotka sijaitsevat täysin kuivalla maalla, ei merialueilla. Jäljelle jäivät siis suojelualueet, joihin kuuluu joko maata ja merta tai pelkästään merta. Huomasin, että koska monet suojelualueet koostuvat erillisistä osista, jotka olivat kuitenkin geometrialtaan osa samaa polygonia, jäljelle jäi silti paljon alueita, joilla ei ollut lainkaan yhteyttä mereen. Jaoin kaikki tällaiset *multipart*-polygonit omiksi irrallisiksi *single part*-polygoneikseen ja tein seulonnan uudestaan; tällä kertaa niin, että uuteen tasoon valikoituivat vain ne suojelualuepolygonit, jotka todella sijaitsevat osittain tai kokonaan vedessä.

Trafikverketin (2023) mukaan etäisyys kustakin pengertiekohteesta tulee laskea euklidisesti eli linnuntietä lähimpään luonnonsuojelualueeseen. Käytin tähän *Shortest line between features* -vektorointityökalua. Suoran etäisyysviivan alkupiste oli kunkin pengertien keski-kohtaan luodussa pisteessä ja kulki lähimmän polygonimuotoisen suojelualueen reunaan.

### **3.3.3 Lopullinen prioriteettiluokittelu**

Indikaattorikohtaiset analyysit koostuivat siis niihin vaikuttavien osatekijöiden analyyseistä, joiden perusteella oli muodostettava kokonaiskuva kunkin indikaattorin merkittävydestä kussakin pengertiekohteessa. Tallensin kaikkien analyysien tulokset attribuuteiksi tasoon, jossa 20 tutkittavaa pengertiekohdetta olivat pisteinä XY-koordinaatteineen. Tämän jälkeen latsasin tason itselleni xlsx-tiedostona, jonka avasin taulukkona Microsoft Excelissä.

Määritin jokaiselle indikaattorille muista riippumattoman prioriteettiasteikon (matala/kohtalainen/korkea) jokaisessa pengertiekohteessa liitteen 1 mukaisesti. Niissä tilanteissa, joissa Trafikverket (2023) ei ollut ennalta määrittänyt menettelytapaa – mikä esimerkiksi on luokitus indikaattorin II osalta, jos pintaveden ekologinen tila on välttävä, mutta hydrologis-morfologinen erinomainen, kuten kohteessa 7? – käytin tapauskohtaista harkintaa muihin aineistoihin sekä laajemman kokonaiskuvan tarkasteluun pohjautuen, kuten luvussa 3.32 esitän. Poikkesin Trafikverketin (2023) ohjeistuksesta myös siinä, että muunsin sanallisen prioriteettiasteikon pisteetykseksi Saarisen (2019) esimerkkiä löyhästi seuraten: matala = 1, kohtalainen = 2 ja korkea = 3. Laskemalla indikaattorikohtaiset pisteet yhteen kunkin pengertiekohteen osalta pystyin vertailemaan kohteita numeerisesti keskenään lopullisten prioriteettiasteikoiden sisällä. Kohteiden pisteytys ja priorisointi on virtaus- ja vaellusesteiden poiston ja kunnostuksen suunnitteluun toimivaksi todettu lähestymistapa (McKay ym. 2020). Se tarjosi mielestäni tarkemman kuvan pengerteiden ympäristövaikutuksista suhteessa toisiinsa kuin alkuperäinen kolmiportainen luokittelu.

Lopuksi vertasin indikaattorikohtaisia pisteytyksiä lopulliseen luokitteluun (taulukko 1) ja määritin jokaiselle pengertiekohteelle prioriteetin. Kohteet, joissa HFP oli alle 0,2 eli pengertie aiheuttaa alle 20 %:n virtaaman ahtauman verrattuna luonnontilaisiin olosuhteisiin, jäivät Trafikverketin (2023) mallia seuraten automaattisesti luokittelun ulkopuolelle. Niissä muilla indikaattoreilla ei siis ollut merkitystä. Laskin lisäksi yksinkertaisia tilastollisia tunnuslukuja saamilleni tuloksille IBM SPSS-tilasto-ohjelmiston versiolla 30.0. Niiden, analyysien tulosten ja eri aikojen ilmakuvien vertailun pohjalta pyrin muodostamaan suuntaantavan kuvan siitä, mikä tietyn tyyppisiä pengertiekohteita yhdistää ja mitä kohteita olisi syytä tutkia lisää uusien virtausaukkojen rakennustarvetta ajatellen.

## 4 Tulokset

### 4.1 Hydraulinen parannuspotentiaali (I)

Vain yhdessä pengertiekohteessa hydraulinen parannuspotentiaali on 0,0 (taulukko 6). Strömman kiinteä silta – eli pengertie ja siinä oleva virtausaukko, silta – Kemiönsaarella ei rajoita veden virtausta tai vedenvaihdon tilavuutta lainkaan. Sen lisäksi yhdellä kohteella, Paraisten Kirjalansalmen sillalla, HFP on alle 0,20 eli matala. Viidessä kohteessa pengertie virtausaukkoineen aiheuttaa virtaamaan kohtalaisen eli 20–50 prosentin ahtauman verrattuna luonnontilaiseen ympäristöön samoissa olosuhteissa. Nämä ovat Strömman läppäsilta kiinteän sillan vieressä, Hundhålen silta Kemiönsaarella, Träskin putkisilta ja Hyppeisinsilta Paraisilla sekä Juhannussilta Kustavissa. Muissa HFP on yli 0,50 eli korkea.

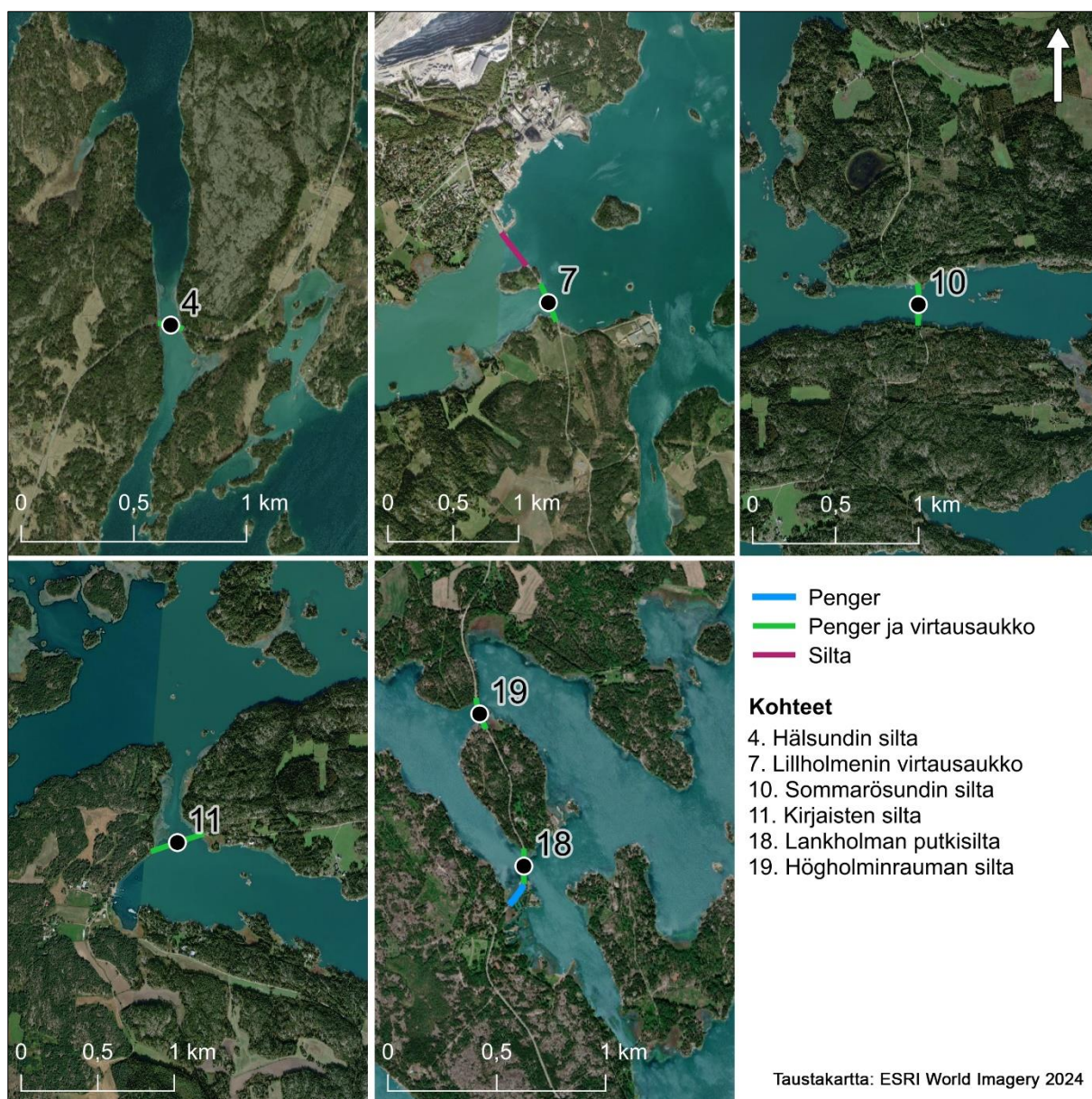
Taulukko 6. Pengertiekohteiden hydraulinen parannuspotentiaali ja pisteytys sen perusteella.

	Kohde	HFP	Pisteet		Kohde	HFP	Pisteet
1	Strömman kiinteä silta	0,0	1	11	Kirjaisten silta	0,90	3
2	Strömman läppäsilta	0,20	2	12	Gyltön silta	0,80	3
3	Hundhålen silta	0,28	2	13	Kirjalansalmen silta	0,14	1
4	Hälsundin silta	0,90	3	14	Träskin putkisilta	0,31	2
5	Atun virtausaukko 2	0,54	3	15	Hyppeisinsilta	0,47	2
6	Atun virtausaukko 1	0,54	3	16	Karesundin silta	0,65	3
7	Lillholmenin virtausaukko	0,91	3	17	Juhannussilta	0,23	2
8	Marikarin silta	0,51	3	18	Lankholman putkisilta	0,98	3
9	Mövikin silta	0,86	3	19	Högholminrauman silta	0,78	3
10	Sommarösundin silta	0,92	3	20	Siikarauman silta	0,87	3

Korkean hydraulisen parannuspotentiaalin ja siten korkean prioriteetin pengertiekohteita on 13 kpl eli 65 % kaikista. Paraisten Atuntielle vierekkäin sijaitsevat Atun virtausaukot 1 ja 2 saivat saman HFP:n 0,54, sillä niitä käsiteltiin laskennassa yhtenä kohteena. Marikarin sillalle Paraisilla laskettiin HFP:ksi 0,51. Silta on lyhyehkö, jatkuva teräsbetoninen laattasilta kahden tiepenkereen välissä. Siinä on kaksi virtausaukkoa. Toinen virtausaukoista on venesulkuportti ja toinen luukku säännöstelypadossa, joka rajaa sillan pohjoispuolelle Skärmolan makeanveden altaan. Allas padottiin erilleen merestä vuonna 1968 kuntalaisten raakavedenlähteeksi (Turun Sanomat 2012). Kun ottaa huomioon, että virtausaukoista kulkee vettä läpi vain silloin, kun ne satunnaisesti avataan veneilijöitä tai altaan vedenpinnan korkeuden säätelyä varten ja silloinkin kyseinen vesimäärä on melko pieni, noin 50 %:n vedenvaihdon tilavuuden

vähemmän suhteessa luonnontilaiseen tilanteeseen kuulostaa epärealistiselta. Oletan näin ollen, että luvun tulisi olla korkeampi.

Viidessä pengertiekohteessa parannuspotentiaali on  $\geq 0,9$  (kuva 16). Kaikissa niistä pengertie on rakennettu pitkäkhön salmen poikki; Lillholmenin virtausaukon itäpuolella aukeaa tosin Paraisten sisäsaaristoon kuuluva Kirkkoselkä-niminen lahti (ruots. *Kyrkfjärden*), joka on kuitenkin joka ilmansuunnasta saarten ympäröimä ja yhteydessä muuhun Saaristomereen vain viiden mutkittelevan, kapean salmien kautta. Salmien leveys pengertien kohdalla vaihtelee noin 80–320 metrin välillä.



Kuva 16. Pengertiekohteet, joissa HFP  $\geq 0,9$  eli erittäin korkea. Niihin ei kuitenkaan kuulu Högholminrauman silta, jossa HFP = 0,78. Se on merkitty karttaan, koska se sijaitsee Lankholman putkisillan välittömässä läheisyydessä eikä sitä pystynyt tässä mittakaavassa rajata pois.

Lankholman putkisilta (HFP = 0,98) on nimestään huolimatta noin 120 metriä pitkä pengertie, joka ylittää Kustavissa kapeahkon salmen ja yhdistää toisiinsa Vikatmaan ja Lankholman saaret. Penkereessä on virtausaukko, jonka kannen pituus on 4 m. Sen eteläpuolella on täysin umpinainen pengeri, joka yhdistyy putkisiltaan pienen saaren kautta. Erityisesti saaren ja umpinaisen penkereen ympäristö on merkittävästi ruovikoitunutta.

Toiseksi suurimman virtaaman ahtauman aiheuttaa Sommarösundin silta (HFP = 0,92). Sekin on todellisuudessa pengertie virtausaukolla ja yhdistää Paraisilla Lillandetin ja Sommarön saaret. Pengertien ja siten myös Sommarösundin salmen keskellä on pieni, matalapiirteinen saari tai särkkä, jonka ympäristö on merkittävästi ruovikoitunut. Salmi on pengertien ympäriltä matala, vain noin 1,5 metrin syvyinen. Lillholmenin virtausaukko (HFP = 0,91) sijaitsee sekkin Paraisilla. Kulkiessa Paraisten keskustasta etelään ylitetään ensin Lillholmenin silta, sen jälkeen Lillholmenin saari, sitten pengertie, jossa halkaisijaltaan muutaman metrin kokoinen virtausaukko sijaitsee, ennen kuin matka jatkuu Stortervolandetin saarelle.

Saarelta on lauttayhteys Lillandetiin, jonka eteläpuolella sijaitsee Sommarösundin sillan lisäksi Kirjaisten silta. Kirjaisten silta ylittää pohjois-eteläsuunnassa lyhyen salmen, joka yhdistää toisiinsa kaksi avoimempaa, leveämpää salmea. Pengertie kulkee pienen saaren poikki ja sen pohjoispuoli, joka on eteläistä suojaisampi, on erittäin ruovikoitunut. Sillan kansi on noin 5 m pitkä. Hälsundin silta puolestaan sijaitsee Kemiönsaareissa. HFP on molemmissa 0,90. Hälsundissa sillan kannen pituus on noin 7 m ja sen halkoma salmi on erittäin pitkä ja kapea, pengertien kohdalla vain noin 80 metriä.

## 4.2 Veden laatu ja fyysiset paineet (II)

Indikaattorin II pisteyttämiseen liittyi lukuisia aineistolähtöisiä virhelähteitä, kuten paikkatietodatan spatiaalinen karkeus ja Trafikverketin (2023) sille osoittamien kriteerien epämääräisyys. Tämän vuoksi tulokset sen osalta (taulukko 7) ovat lähinnä suuntaa antavia.

Matalan prioriteetin kohteita on 13 kpl eli 65 % kaikista, Toiseksi suurin luokka on kohtalainen, johon kuuluu viisi kohdetta eli 25 % kaikista. Niistä Strömman kiinteän sillan ja läppäsillan ympäristössä veden ekologinen tila on välttävä. Muihin, eli Lillholmenin virtausaukkoon ja Karesundin siltaan Paraisilla sekä Högholminrauman siltaan, Lankholman putkisiltaan ja Siikarauman siltaan Kustavissa kohdistuu fyysisistä painetta. Kirkkoselkää Lillholmenin virtausaukon itäpuolella halkovat useat vilkkaasti liikennöidyt vesiväyläalueet ja sen ekologinen tila on välttävä. Sitä on ruopattu ja läjitetty ja siihen kohdistuu fyysisiä

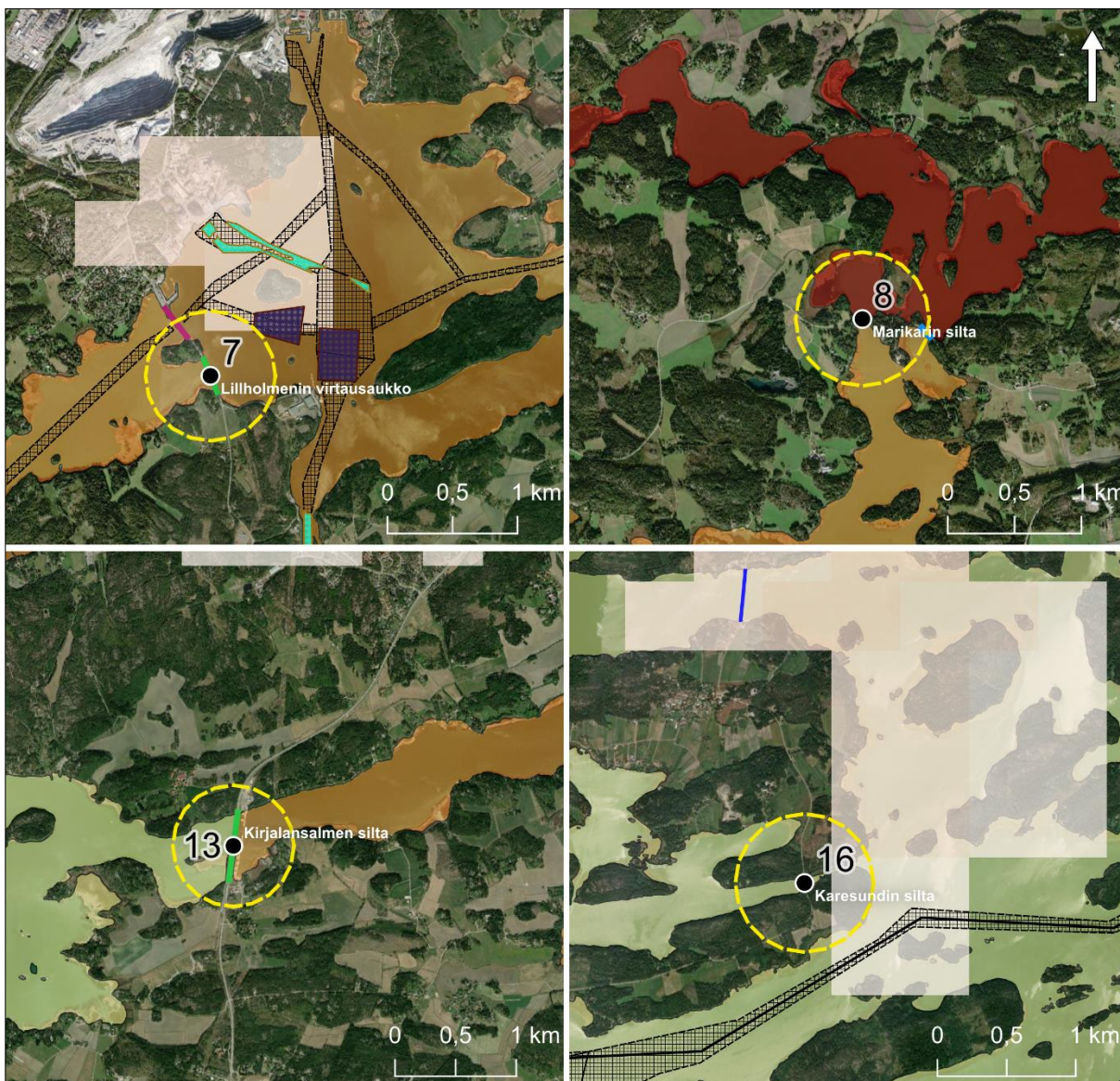
paineita, vaikka laajemmassa mittakaavassa Paraisten sisäsaariston vesien hydrologis-morfologinen tila on viimeisimmän suunnittelukauden luokittelun mukaan erinomainen. Siksi pohdin, olisiko minun pitänyt käyttää tapauskohtaista arviointia ja määrittää Lillholmenin virtausaukon prioriteetiksi korkea. Koska virtausaukon itsensä ympärillä ei kuitenkaan vaikuttanut olevan fyysistä vaikutuspainealuetta, päädyin luokittelemaan sen kohtalaisen prioriteetin kohteeksi.

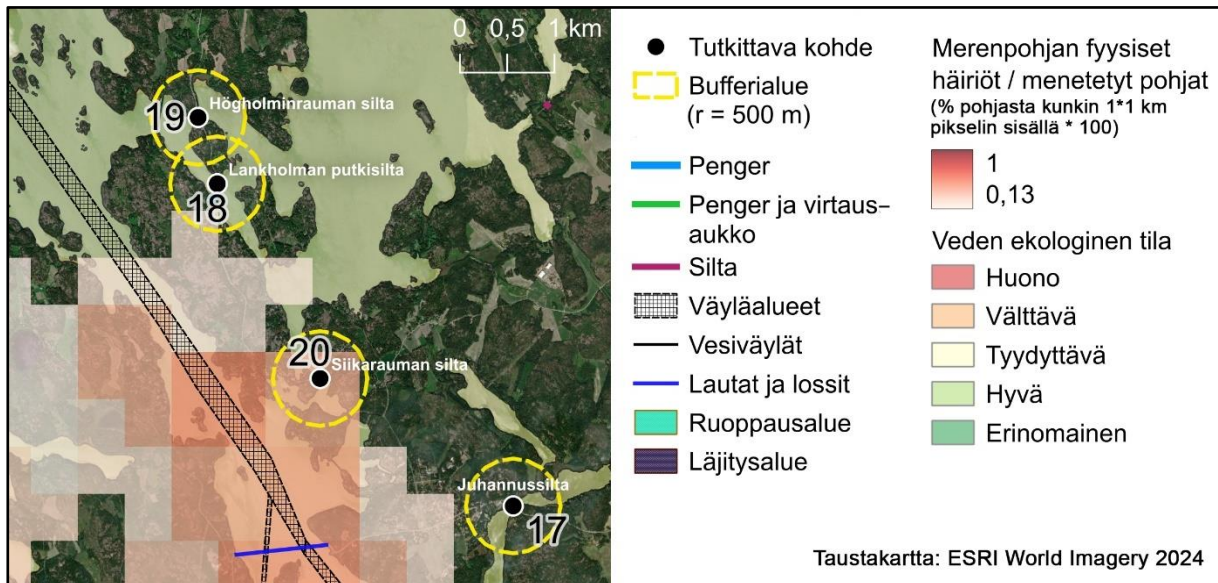
Korkea prioriteetti määräytyi kahdelle kohteelle (kuva 17). Marikarin silta Paraisilla erottaa toisistaan kaksi vesimuodostumaa; sekä ekologiselta että hydrologis-morfologiselta tilaltaan huonon makeanveden altaan sen pohjoispuolella ja edellä mainitun Paraisten sisäsaariston. Kirjalansalmen silta Paraisilla sai korkeimman prioriteettiluokituksen sen perusteella, että sen veden ekologinen tila oli välttävä ja siihen on osoitettu kohdistuvaksi toimenpiteitä; Väyläviraston hanke, jossa vanha silta tekokannaksineen puretaan uuden, yli 600 metrirä pitkän vinoköysisillan tieltä (Mt 180...uusiminen 2025; Paju-Heikkilä 2025). Hanke on parhaillaan käynnissä.

Taulukko 7. Pengertiekohteiden pisteytys veden laadun sekä fyysisten paineiden perusteella.

	Kohde	Ekologinen tila	Hydrologis-morfologinen tila	Toimenpiteitä	Fyys. paine	Pisteet
1	Strömman kiinteä silta	Välttävä	Erinomainen	Ei	Matala	2
2	Strömman läppäsilta	Välttävä	Hyvä	Ei	Matala	2
3	Hundhålen silta	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	1
4	Hälsundin silta	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	1
5	Atun virtausaukko 2	Tyydyttävä	Erinomainen	Ei	Matala	1
6	Atun virtausaukko 1	Tyydyttävä	Erinomainen	Ei	Matala	1
7	Lillholmenin virtausaukko	Välttävä	Erinomainen	Ei	Kohtalainen	2
8	Marikarin silta	Huono	Huono	Silta ja venesulku uusitaan	Matala	3
9	Mövikin silta	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	1
10	Sommarösundin silta	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	1
11	Kirjaisten silta	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	1
12	Gyltön silta	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Ei	Matala	1
13	Kirjalansalmen silta	Välttävä	Hyvä	Uusi silta rakenteilla, vanha puretaan	Matala	2

14	Träskin putkisilta	Tyydyttävä	Erinomainen	Ei	Matala	1
15	Hypeisinsilta	Tyydyttävä	Erinomainen	Ei	Matala	1
16	Karesundin silta	Tyydyttävä	Erinomainen	Ei	Kohtalainen	2
17	Juhannussilta	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	1
18	Lankholman putkisilta	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Kohtalainen	2
19	Högholminrauman silta	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	1
20	Siikarauman silta	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Kohtalainen	2





Kuva 17. Kohteet 8 ja 13 saivat korkean prioriteettiluokituksen niihin osoitettujen toimenpiteiden, veden laadun ja/tai niihin kohdistuvan fyysisen paineen perusteella. Kohteissa 7, 16, 20 ja 18 prioriteetti on kohtalainen.

### 4.3 Ekologinen arvo (III)

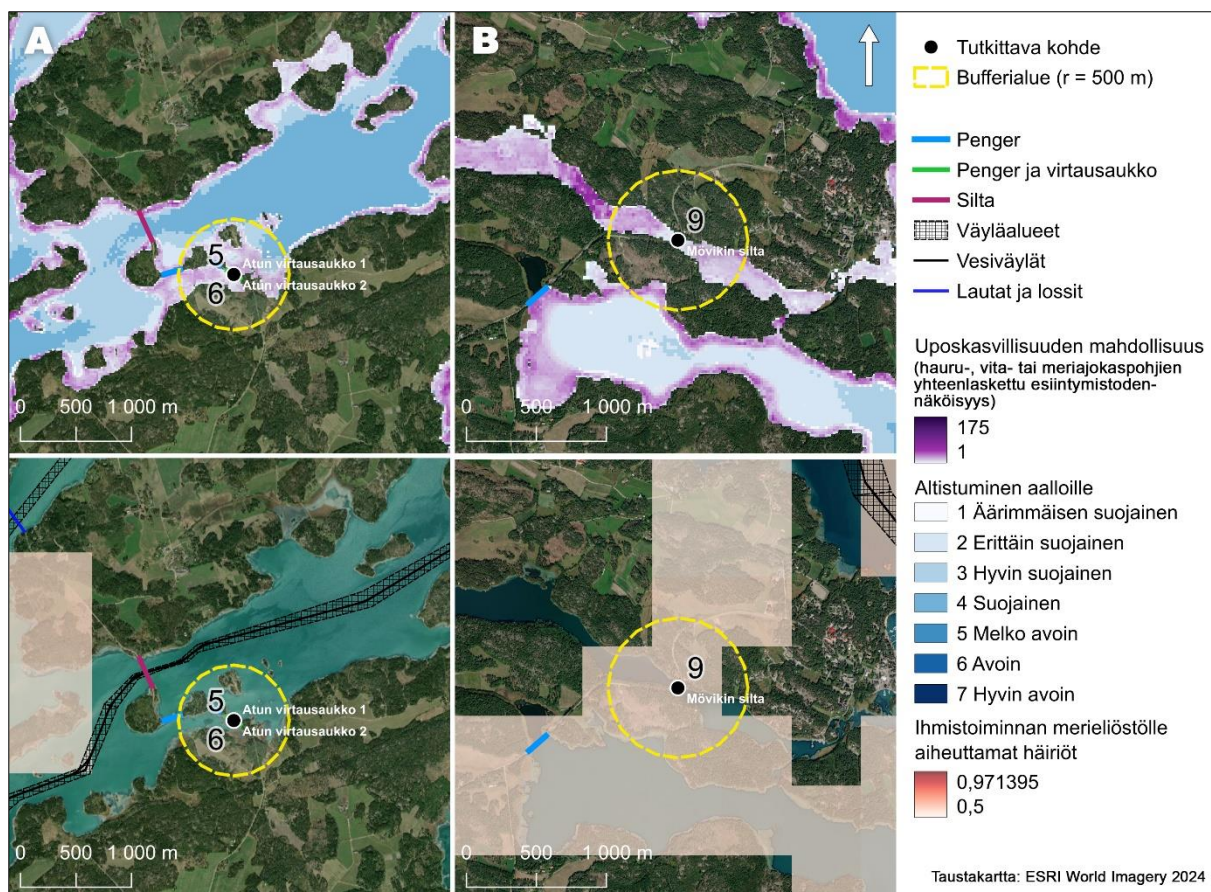
Enemmistö pengertiekohteista (12 kpl eli 60 % kaikista) sijaitsee luontodirektiivin luontotyyppien VELMU-raportoinnissa laguuniksi luokitellussa ympäristössä tai sen välittömässä läheisyydessä (taulukko 8). Syvyysmittausaineistojen mukaan alle 10 metrin syvyiset pohjat kattavat 500 metrin säteellä 51–100 % pengerteitä ympäröivistä vesistä, ja 13:ssa kohteessa niiden kattavuus on täydet 100 %. Pengertiet sijaitsevat keskimäärin joko erittäin suojaisissa (2) tai hyvin suojaisissa (3) ympäristöissä aalloille altistumisen suhteen, mutta 500 metrin säteellä niistä on myös yksittäisiä joko äärimmäisen suojaisia (1) tai suojaisia (4) pikseleitä. Gyltön siltaa lukuun ottamatta kaikissa kohteissa esiintyy mahdollisesti uposkasvillisuutta, joskin Kirjalansalmen sillan ja Juhannussillan ympärillä uposkasvillisuuspohjien yhteenlaskettu esiintymistodennäköisyys 500 metrin säteellä on alle 10 %.

Vesiväylä kulkee lähellä kahdeksaa pengertiekohteita. Niistä neljässä väylä ei leikkaa 500 metrin bufferialuetta, mutta sijaitsee sen välittömässä läheisyydessä. Näissä kohteissa käytin tapauskohtaista, silmämääräistä harkintaa. Vesiliikenteen vaikutukset, erityisesti vedenalainen melu, ovat ulottuvat veden alla kauas (ks. esim. Norrby 2001; Picciulin ym. 2022; Sahlsten ym. 2025), joten mikäli vesiväylä kulki noin 500–800 metrin päässä ja sitä erotti pengertiestä suhteessa muuhun ympäristöön melko avoin vesialue, kohteen ekologinen arvo laski asteella (kuva 18A). Ihmistoiminnan merieliöstöön kohdistuvien haittojen perusteella ekologinen arvo laski yhtä alempaan luokkaan neljässä kohteessa: Paraisilla Strömman läppäsillalla ja

Mövikin sillalla sekä Kustavissa Lankholman putkisillalla ja Siikarauman sillalla (kuva 18B). Kirjalansalmen sillan luokitusta laskin pykälällä, koska alueen suojaisuudesta huolimatta makrofytytien esiintymistodennäköisyys on sen välittömässä läheisyydessä alhainen, ja sillan aukon kohdalla vesi on yli 10 metriä syvää.

Taulukko 8. Pengertiekohteiden pisteytys ekologisen arvon perusteella.

	Kohde	Aalto- altistus	Mahdolliset kasvillisuus- pohjat (%)	Laguuni	Alle 10 m (%)	Vesi- väylä	Pisteet
			<i>500 m säteellä</i>		<i>500 m säteellä</i>	<i>500 m säteellä/ lähellä</i>	
1	Strömman kiinteä silta	3	50 %	Ei	70 %	Kyllä	1
2	Strömman läppäsilta	3	28 %	Ei	51 %	Kyllä	1
3	Hundhålen silta	2	57 %	Ei	90 %	Kyllä	2
4	Hälsundin silta	2	73 %	Kyllä	94 %	Ei	3
5	Atun virtausaukko 2	3	69 %	Ei	100 %	Kyllä	1
6	Atun virtausaukko 1	3	69 %	Ei	100 %	Kyllä	1
7	Lillholmenin virtausaukko	3	8 %	Kyllä	100 %	Kyllä	2
8	Marikarin silta	2	95 %	Kyllä	100 %	Ei	3
9	Mövikin silta	2	96 %	Kyllä	100 %	Ei	2
10	Sommarösundin silta	2	100 %	Ei	100 %	Ei	3
11	Kirjaisten silta	2	97 %	Ei	100 %	Ei	3
12	Gyltön silta	2	0 %	Kyllä	100 %	Kyllä	2
13	Kirjalansalmen silta	2	4 %	Ei	65 %	Ei	2
14	Träskin putkisilta	2	81 %	Kyllä	100 %	Ei	3
15	Hypeisinsilta	2	65 %	Kyllä	100 %	Ei	3
16	Karesundin silta	2	95 %	Kyllä	100 %	Ei	3
17	Juhannussilta	2	25 %	Kyllä	96 %	Ei	3
18	Lankholman putkisilta	2	91 %	Kyllä	99 %	Ei	2
19	Högholminrauman silta	2	63 %	Kyllä	100 %	Ei	3
20	Siikarauman silta	2	100 %	Kyllä	100 %	Kyllä	2

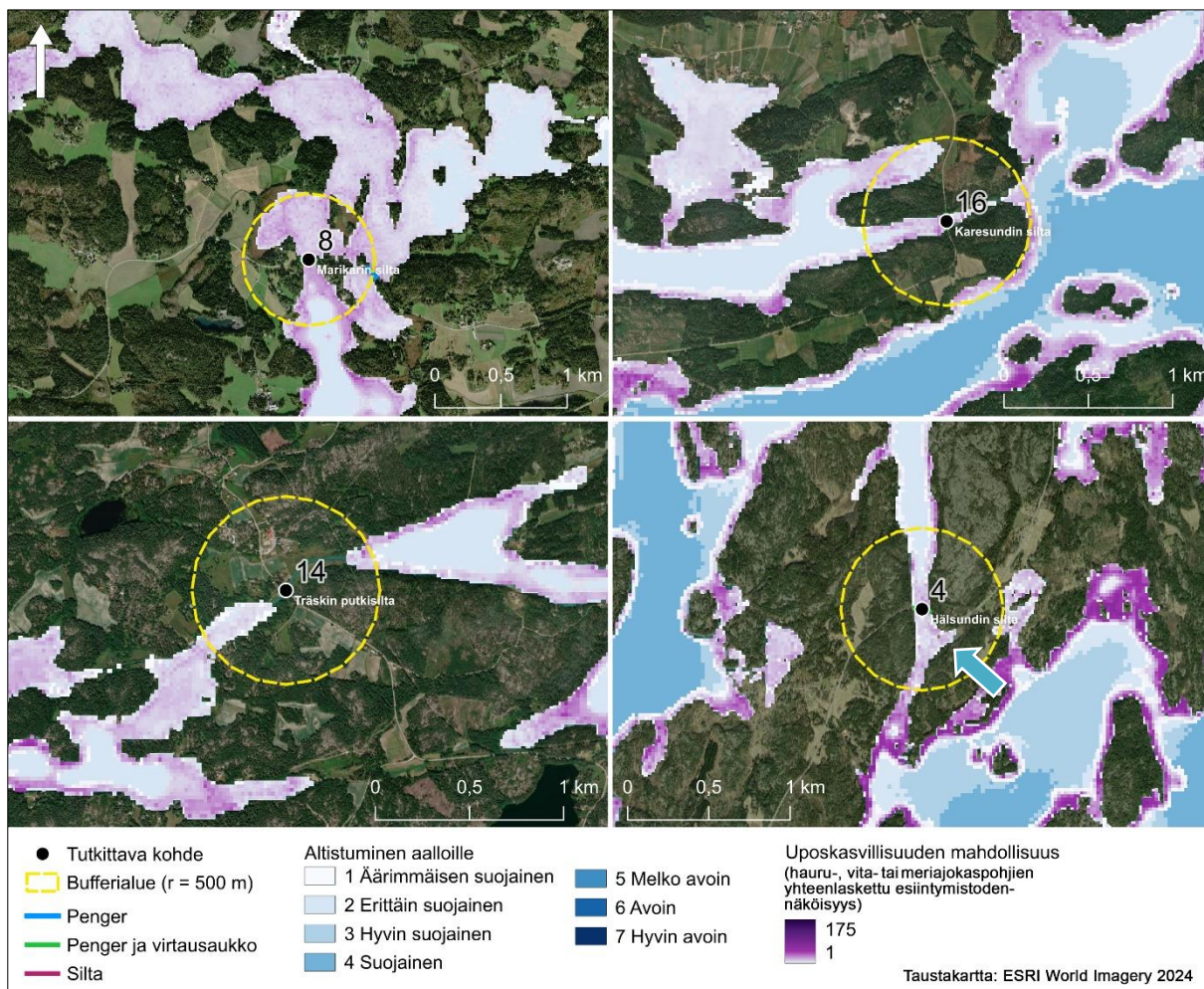


Kuva 18. Esimerkkejä tapauskohtaisesta arvioinnista. Atuntien virtausaukkoja (A) ympäröivä vesialue on pääosin suojainen tai hyvin suojainen. Pengertien ruovikoittama pieni poukama on melko otollinen elinympäristö mahdolliselle uposkasvillisuudelle ja siten muillekin matalissa vesissä viihtyville eliöille. Heti pengertien pohjoispuolella 500 m bufferin ulkopuolella kulkee kuitenkin vesiväylä, jonka veneliikenteen arvioin vaikuttavan poukaman eliöstöön ja täten kohteiden prioriteettiluokitus ekologisen arvon perusteella laskee asteella. Mövikin silta (B) halkoo kapeaa, erittäin suojaista laguunia Nauvon länsipuolella. Siihen kohdistuu kuitenkin ihmistoiminnan merieliöstölle aiheuttamia häiriöitä, ja siksi senkin ekologinen arvo laskee. Molemmat pengertiekohteet sijaitsevat Paraisilla.

Ekologisen arvon perusteella korkean luokituksen sai 12 kohdetta eli 60 % kaikista. Korkean tai kohtalaisen ekologisen arvon kohteista (16 kpl) 75 % sijaitsee laguuneissa, mikä tukee esimerkiksi Munsterhjelmin (2001) ja Saarisen (2020) toteamia siitä, että ne ovat arvokkaita elinympäristöjä. Pisteytyksen sekä muiden osatekijöiden pohjalta tärkeysjärjestyksen kärjessä ovat Marikarin ja Karesundin sillat Paraisilla, Träskin putkisilta Paraisilla sekä Hälsundin silta Kemiönsaaressa. Niitä yhdistävät pääosin erittäin tai äärimmäisen suojaisia vesiympäristö, matalat pohjat sekä hauru-, vita- tai meriajokas pohjien todennäköinen esiintyminen (kuva 19).

Paraisilla Pettebyvikenin lahden ja Marikarisundetin salmen erottaa toisistaan Flatskärin saaren kautta Simonbyntie, jolla Marikarinsilta on. Sillan yhteydessä on aiemmin mainittu Skärmolan altaan venesulku ja säännöstelypato. Ne rajaavat pohjoispuolelleen erittäin matalan, rehevän laguunin. Myös Karesundin silta pengerteineen toimii rajapyykkinä itä-länsi-suunnassa pitkälle, kapealle laguunille, joka ulottuu pengertiestä laguunin toiseen

päähän, jossa salmimainen vesimuodostuma yhdistyy avoimempaan vesialueeseen. Träskin putkisilta ylittää vain noin 20 m leveän kanavan, jonka kattamiseen monien käyttämiä paikkatietoaineistojen – mukaan lukien pohjakasvillisuuden esiintymistodennäköisyysmallin tai aaltoaltistusmallin – resoluutio ei riitä. Kanava yhdistää kuitenkin kaksi pienipiirteistä, pohjukoistaan ruovikoitunutta laguunia, jotka ovat erittäin suojassa aallokolta. Hälsundetin salmea kokonaisuudessaan ei ole määritelty laguunimaiseksi luontotyyppiä, mutta Hälsundin sillan kaakkoispuolella on pieni poukama, joka on.



Kuva 19. Kohteet, jotka saavat ekologisen arvon perusteella korkeimman prioriteettiluokituksen. Sininen nuoli osoittaa laguuniksi määriteltyä pientä poukamaa Hälsundin sillan edustalla.

#### 4.4 Etäisyys lähimmästä luonnonsuojelualueesta (IV)

Pengertiekohteista vain yksi saa kohtalaisen ja yksi korkean prioriteettiluokituksen perustuen niiden etäisyyteen lähimmästä luonnonsuojelualueesta (taulukko 9). Muut kohteet sijaitsevat yli 500 metrin etäisyydellä lähimmän suojelualan rajasta euklidisesti eli linnuntietä

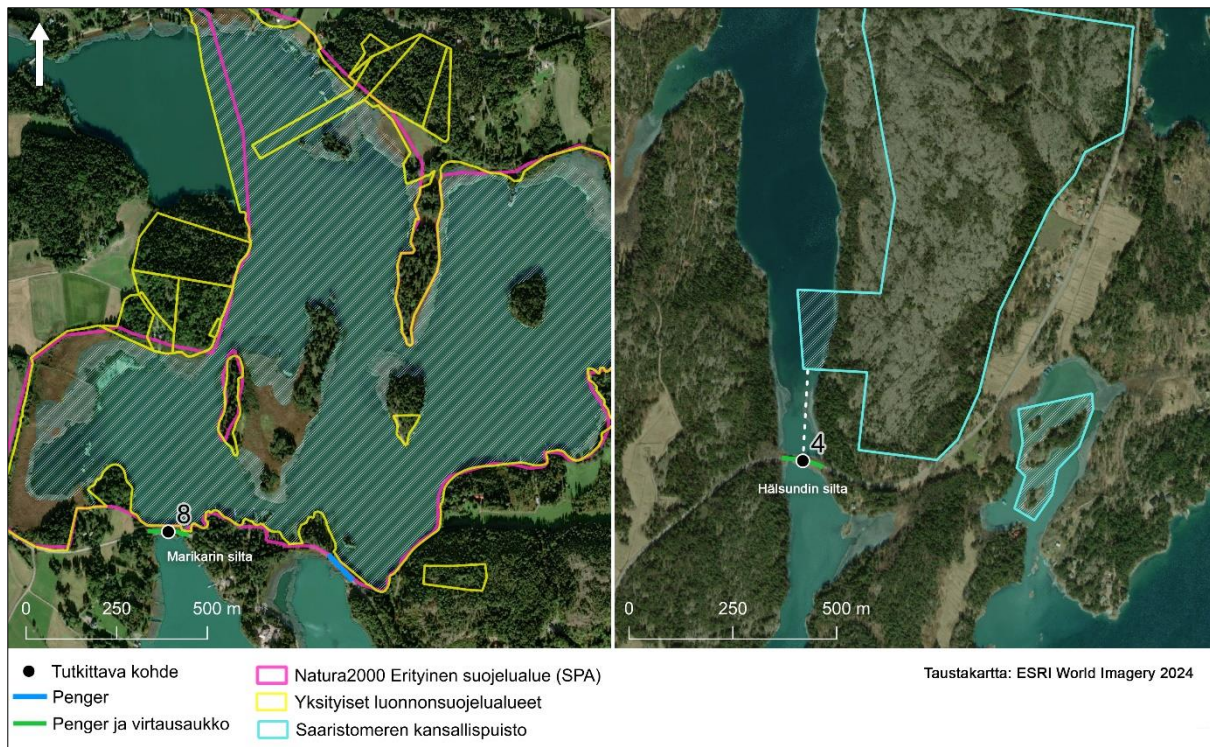
mitattuna. Näin ollen niiden mahdollisen kielteisten ympäristövaikutusten katsotaan olevan suojelualan luontoarvojen kannalta alhaisia ja siten merkityksettömiä.

Välittömästi Marikarin sillan pohjoispuolelta Paraisilla alkaa Pettebyvikenin Natura 2000-luonnonsuojelualue, joka on suojeltu SPA- eli erityisen suojelun alueena (kuva 20). Se on lintujen suosima matalarantainen, ruovikkoinen lahti, jossa vesikasvillisuus on hyvin tiheää ja joka kuuluu Skärmolans makean veden altaaseen. Suuren osan sen pinta-alasta kattaa yksityisillä mailla sijaitseva luonnonsuojelualue. Lisäksi sen ympärillä on sekä yksityisiä suojelualueita että Natura 2000 -ohjelmaan kuuluvia erityisten suojelutoimien SAC-alueita. SAC-alueet rajautuvat vesirajaan, mutta osa pienemmistä yksityisistä suojelualueista kattaa myös vesialueita.

Vain noin 80 metriä leveän Hälsundetin salmen ylittävä Hälsundin silta Kemiönsaaren Kasnäsiintellä saa kohtalaisen luokituksen. Sillan itäpuolella sijaitseva Lövön saari kuuluu osin Saaristomeren kansallispuistoon, joka on siten valtio-omisteinen luonnonsuojelualue. Saaren länsirannalta on suojeltu korkea, jyrkkäreunainen kallioalue, mutta suojelualue kattaa myös kaistaleen Hälsundetin salmen vedestä. Suora etäisyys Hälsundin sillan keskikohdasta suojelualan reunaan 222 metriä.

Taulukko 9. Pengertiekohteiden pisteytys sen perusteella, mikä on niiden etäisyys lähimmästä luonnonsuojelualueesta.

	Sillan nimi	Etäisyys	Pisteet		Sillan nimi	Etäisyys	Pisteet
1	Strömman kiinteä silta	1215 m	1	11	Kirjaisten silta	1233 m	1
2	Strömman läppäsilta	1601 m	1	12	Gyltön silta	2497 m	1
3	Hundhålen silta	2308 m	1	13	Kirjalansalmen silta	1486 m	1
4	Hälsundin silta	222 m	2	14	Träskin putki-silta	4796 m	1
5	Atun virtaus-aukko 2	4235 m	1	15	Hypeisinsilta	2621 m	1
6	Atun virtaus-aukko 1	4235 m	1	16	Karesundin silta	2921 m	1
7	Lillholmenin virtausaukko	3102 m	1	17	Juhannussilta	1657 m	1
8	Marikarin silta	17 m	3	18	Lankholman putkisilta	2293 m	1
9	Mövikin silta	676 m	1	19	Högholminrauman silta	2612 m	1
10	Sommarö-sundin silta	2802 m	1	20	Siikarauman silta	1406 m	1



Kuva 20. Välittömästi Marikarin sillan pohjoispuolelta alkaa Pettebyvikenin lahti ja laajemmin Skärmolan makeanveden allas, joka on suojeltu sekä Natura2000 -kohteena että yksityisomisteisille maille perustettuna luonnonsuojelualueena. Hälsundin sillalta etäisyys lähimmän luonnonsuojelualueen reunaan (katkoviivalla) on 222 metriä.

#### 4.5 Kohteiden vertailu ja priorisointi

Lopullisen prioriteettiluokituksen mukaan viisi pengertiekohtetta 20:stä saa korkean prioriteetin (taulukko 10). Neljän prioriteettiluokka on kohtalainen ja yhdeksän matala. Trafikverketin (2023) mukaan pengertie, joka aiheuttaa alle 20 %:n virtaaman ahtauman verrattuna luonnontilaiseen tilanteeseen, ei ole mahdollisten kielteisten ympäristövaikutustensa kannalta niin merkittävä, että muiden indikaattorien tuloksilla olisi väliä. Tällaiset kohteet luokitellaan luokkaan ”ei merkittävä”. Tutkimusalueella on niitä kaksi: Kirjalansalmen silta ja Strömman kiinteä silta. Kirjalansalmen silta sai indikaattorien II ja II eli pintaveden tilan ja fyysisen paineen sekä ekologisen arvon osalta korkean prioriteettiluokituksen, mutta koska sen HFP = 0,14, sen lopullinen luokitus on matala. Lisäksi silta tekokannaksineen tullaan purkamaan kokonaan uuden, penkereettömän sillan tieltä (Mt 180...uusiminen 2025; Paju-Heikkilä 2025).

Marikarin silta on 12 pisteellä tärkeysjärjestyksen kärjessä, vaikka sen HFP on matalampi kuin muilla korkean prioriteettiluokituksen saaneilla kohteilla (kuva 21). Tämä johtuu siitä, että kohde sai muiden indikaattorien osalta täydet pisteet eli korkeimman prioriteetin. Hälsundin ja Karesundin sillat saivat 9 pistettä, Sommarösundin ja Kirjaisten sillat 8 pistettä.

Kohtalaisen prioriteettiluokituksen kohteet saivat kaikki 8 pistettä, mutta yhteispistetuloksen muodostumisessa oli pieniä eroja veden laadun ja fyysisten paineiden sekä kohteiden ekologisen arvon vaihdellessa. Matalan prioriteettiluokituksen kohteissa yhteispistemääräksi tuli 6–7 pistettä. Niissä hajonta oli muita luokkia suurempaa verrattaessa indikaattorikohtaisia pisteitä.

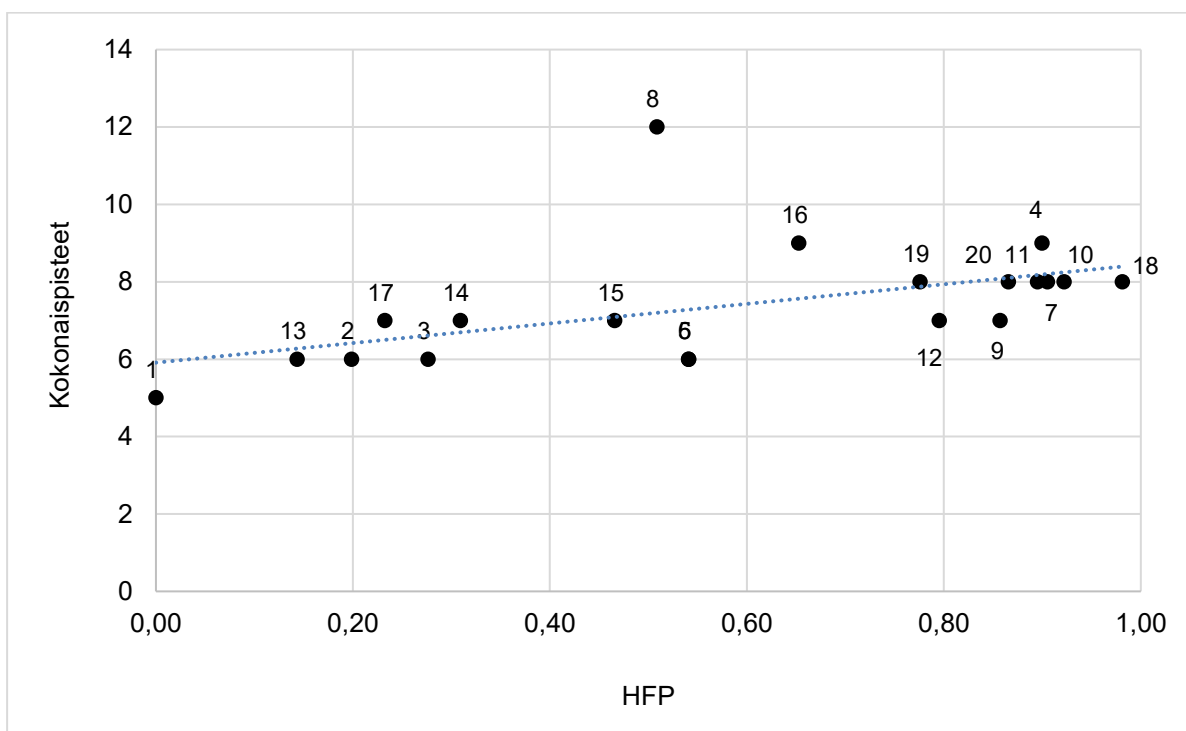
Yksityiskohtaiset osatekijät pisteytyksen taustalla on esitelty liitteessä 3. Kaikkien kohteiden pisteiden keskiarvo on 7,7 vaihteluvälillä 5–12. Pisteytyksen keskihajonta on 1,60 ja keski-  
virhe 0,36. Muunnettaessa prioriteettiluokat numeeriseen muotoon (korkea = 3, kohtalainen = 2, matala = 1, ei merkittävä = 0) niiden keskiarvoksi tulee 1,85, joka sijoittuu matalan ja kohtalaisen prioriteetin väliin.

Taulukko 10. Pengertiekohteet laskevassa tärkeysjärjestyksessä lopullisen prioriteettiluokituksensa perusteella. Kohteiden järjestys saman luokan sisällä määräytyy indikaattorien yhteispisteiden perusteella. Mikäli pisteet ovat samat, järjestyksen määrää tarkka HFP-arvo (I), sitten ekologisen arvon prioriteettiluokitus (III), sitten pintaveden tilan ja fyysisen paineen luokitus (II).

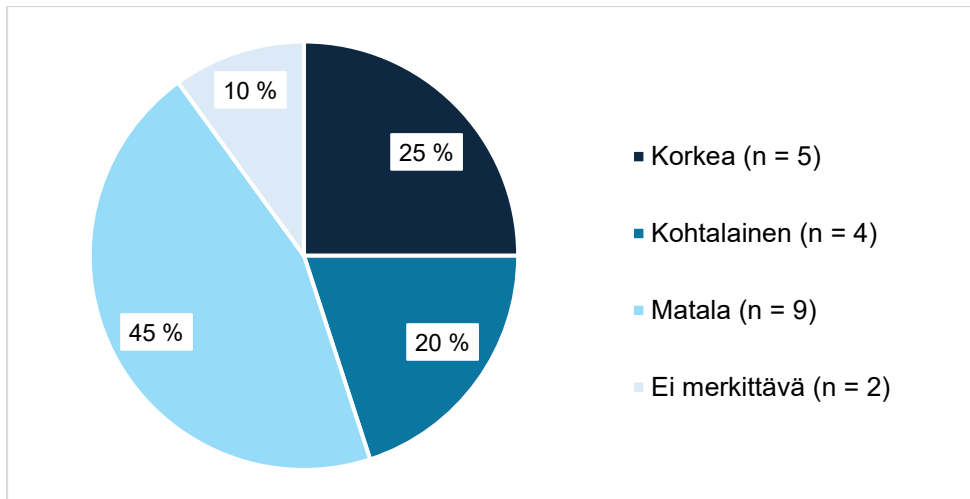
	Kohde	HFP	I	II	III	IV	Pisteet	Prioriteetti
8	Marikarin silta	0,51	3	3	3	3	12	Korkea
4	Hälsundin silta	0,90	3	1	3	2	9	Korkea
16	Karesundin silta	0,65	3	2	3	1	9	Korkea
10	Sommarösundin silta	0,92	3	1	3	1	8	Korkea
11	Kirjaisten silta	0,90	3	1	3	1	8	Korkea
18	Lankholman putkisilta	0,98	3	2	2	1	8	Kohtalainen
7	Lillholmenin virtausaukko	0,91	3	2	2	1	8	Kohtalainen
20	Siikarauman silta	0,87	3	2	2	1	8	Kohtalainen
19	Högholminrauman silta	0,78	3	1	3	1	8	Kohtalainen
9	Mövikin silta	0,86	3	1	2	1	7	Matala
12	Gyltön silta	0,80	3	1	2	1	7	Matala
15	Hyppeisinsilta	0,47	2	1	3	1	7	Matala
14	Träskin putkisilta	0,31	2	1	3	1	7	Matala
17	Juhannussilta	0,23	2	1	3	1	7	Matala
5	Atun virtausaukko 2	0,54	3	1	1	1	6	Matala
6	Atun virtausaukko 1	0,54	3	1	1	1	6	Matala
3	Hundhålen silta	0,28	2	1	2	1	6	Matala
2	Strömman läppäsilta	0,20	2	2	1	1	6	Matala
13	Kirjalansalmen silta	0,14	1	2	2	1	6	Ei merkittävä
1	Strömman kiinteä silta	0,00	1	2	1	1	5	Ei merkittävä

Suurin luokka ovat matalan prioriteetin pengertiet, joita on 45 % kohteista (kuva 22). Kaikkia yhdistää yli 500 metriä pitkä ja siten Trafikverketin (2023) kriteeristössä merkityksetön etäisyys luonnonsuojelualueista sekä Strömman läppäsiltaa lukuun ottamatta matala prioriteetti veden laadun ja fyysisten paineiden perusteella. Hydraulisen parannuspotentiaalin vaihteluväli on suurempi; kaikissa kohteissa HFP on vähintään kohtalainen pienimmän arvon ollessa 0,20 (Hundhålen silta) ja korkeimman 0,86 (Mövikin silta). Tähän prioriteettiluokkaan kuuluu muihin verrattuna suhteessa enemmän kohteita, joissa meriluontotyyppi on muu kuin laguuni. Niiden lähistöllä on vesiväyliä tai muuta vesiliikennettä, joka korkean prioriteetin kohteista puuttuu.

Kohteissa 25–81 % pohjista 500 metrin säteellä on mahdollisesti haurujen, vitojen tai meri-ajokkaan peitossa, kun taas kohtalaisen ja korkean prioriteetin kohteissa vastaava määrä on Lillholmenin virtausaukkoa (8 %) lukuun ottamatta 63–100 %. Gyltön sillan osalta luku on 0 %, mikä johtuu siitä, että se on esiintymistodennäköisyysmalliaineistojen katvealueella – Gyltön saari on Puolustusvoimien käytössä ja monissa paikkatietoaineistoissa on sen kohdalla siksi tyhjä aukko, sillä avointa dataa on saatavilla rajoitetusti tällaisilta suoja-alueilta.



Kuva 21. Kunkin pengertiekohteen hydraulinen parannuspotentiaali (HFP) suhteessa sen kokonaispistemäärään kaikkien indikaattorien osalta. Arvo kunkin pisteen vieressä kertoo kohteen numeron. HFP on tärkein prioriteettiluokittukseen vaikuttava tekijä ja sen korkea arvo johtaa todennäköisesti korkeaan pistemäärään, Kuvaajasta voidaan kuitenkin huomata, että erityisen korkea HFP ei automaattisesti tee kohteesta korkeaa prioriteettia, vaan myös muiden indikaattorien perusteella laskettavat pisteet merkitsevät lopullisessa luokittelussa.



Kuva 22. Pengertiekohteiden määrä ja osuus kaikista kohteista prioriteetti luokittain.

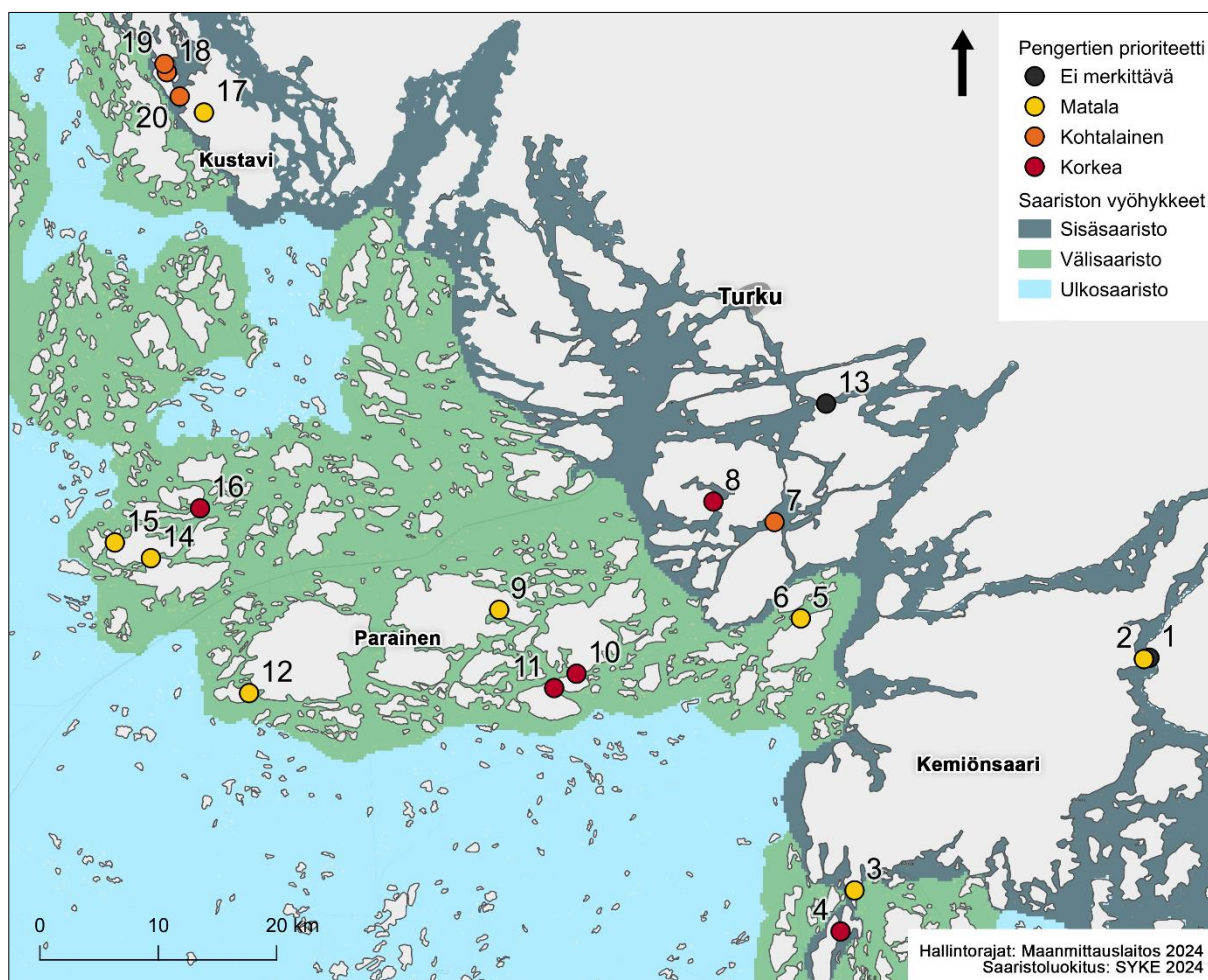
Kohteista 11 kpl eli 55 % sijaitsee sisäsaaristossa, loput 45 % välisaaristossa (kuva 23).

Kohtalaisen prioriteetin pengertiekohteita ovat Lankholman putkisilta, Lillholmenin virtausaukko sekä Siikarauman ja Högholminrauman silta. HFP vaihtelee niissä välillä 0,78–0,98 eli penkereen aiheuttama virtaaman ahtauma on merkittävä. Lillholmenin virtausaukkoa lukuun ottamatta kaikki sijaitsevat Kustavissa saman tien varrella noin neljän kilometrin säteellä toisistaan. Niiden itäpuolelle jää Kivivesi-niminen sisälahti. Se on yhteydessä avoveteen vain kapeiden sunttien eli pienten kanavamaisten salmien kautta, joihin myös Lankholman, Siikarauman ja Högholminrauman pengertiekohteet virtausaukkoineen kuuluvat. Kivivesi on suojainen, hyvin matala ja otollinen kasvuympäristö uposkasvillisuudelle. Se muistuttaa tässä mielessä luvussa 3.1 kuvaamaani, suojaisaa ja rehevöitynyttä Uudenkaupungin makeanveden allasta. Uudenkaupungin allas on tosin pengertämällä erotettu kokonaan muusta merestä (Popova & Alho 2007) ja keinotekoisesti säännelty. Uskon, että Kivivettä ympäröivät kapeat sunnit vaikuttavat sen vedenvaihtoon ja siten muihin ympäristöoloihin jossain määrin samalla tavalla.

Lillholmenin virtausaukon ympäristöä kuvailen luvuissa 4.1 ja 4.2. Lillholmenin virtausaukko on osa pitkää sillan ja virtausaukollisen penkereen yhdistelmää, joka ylittää Kirkkoselkä-nimisen lahden Paraisten sisäsaaristossa. Vesialue on luokiteltu laguuniksi, mutta on virtausaukosta itään niin vilkkaasti liikennöity ja ihmistoiminnan muuttama sekä häiritsemä, että sen prioriteetti sekä veden laadun ja fyysisten paineiden että ekologisen arvon perusteella laskee pykälällä. Virtausaukosta lounaaseen rannat ovat ilmakuvienv tarkastelun perusteella vähemmän rakennettuja eikä sinne ole merkitty ruoppaus- tai läjitysalueita, mutta myös siellä hauru-, vita- tai meriajokasvujen esiintymistodennäköisyys on alhainen. Paraisten satamasta alkaa myös vesiväyläalue, joka alittaa virtausaukon pohjoispuolella sijaitsevan sillan ja halkoo

myös Kirkkoselän ”rauhallisempaa” lounaispuolta häiriten Trafikverketin (2023) kriteerien mukaan todennäköisesti sen vedenalaisia elinympäristöjä.

Korkean prioriteettiluokituksen saaneissa kohteissa veden ekologinen tila on huono tai tyydyttävä. Niihin kohdistuu enintään kohtalaisesti fyysistä painetta. Kaikissa 500 metrin säteellä pengertiestä kasvillisuuspohjien yhteenlaskettu esiintymistodennäköisyys suuri, 73–100 %, ja ympäröivän veden syvyys lähes 100-prosenttisesti alle 10 metriä. Aaltoaltistuksen osalta kaikki kohteet sijaitsevat erittäin suojaisilla alueilla, joilla on myös joitakin äärimmäisen suojaisen luokan pikseleitä. Edellä mainituista seikoista huolimatta Sommarösundin tai Kirjaisten siltojen ylittämää vesialueita ei kuitenkaan ole luokiteltu virallisesti laguuneiksi, toisin kuin muissa kohteissa. Tämä johtune siitä, että molemmat ovat suurehkoihin avoimiin vesialueisiin yhdistyviä salmia.



Kuva 23. Pengertiekohteet kartalla. Kohteet 8, 10, 11 ja 16 eli Marikarin, Sommarösundin, Kirjaisten ja Karesundin penkereet sijaitsevat Paraisilla, kohde 4 eli Hälsundin penger Kemiönsaarella. Kustavissa ei ole yhtäkään korkean prioriteettiluokituksen saanutta pengertietä, mutta 3/4 kohtalaisen prioriteetin kohteista sijaitsee siellä.

Ilmakuvat korkean prioriteetin kohteista ennen pengertien rakentamista sekä sen jälkeen ovat liitteessä 4. Ne ovat kuvankaappauksia Paikkatietoikkuna-verkkopalvelusta, jossa käyttäjä kykenee tarkastelemaan sekä Maanmittauslaitoksen ilmakuvia kautta aikain. Palvelun varhaisimmat ilmakuvat Turusta ja sen rannikkoseudulta ovat 1940-luvun tienoilta, uusimmat 2020-luvulta. Valitsin kunkin kohteen osalta uusimman kuvan, jossa pengertietä ei kuitenkaan vielä ole olemassa, ja vertasin niitä vuoden 2025 tilanteeseen. Näin ollen ilmakuvien perusteella Marikarin silta on rakennettu välillä 1951–1995, Hälsundin silta välillä 1963–1982, Karesundin silta välillä 1943–1993 (vuoden 1963 ilmakuvassa tosin näkyy keino-tekoinen pengerrys, mutta ilman tietä tai siltaa) ja Kirjaisten sekä Sommarösundin sillat välillä 1963–1982.

Liitteen 4 ilmakuvissa sininen viiva kuvaa nykyisin alueen poikki kulkevaa maantietä. Kuviin on muokattu keltaisin nuolin eniten pengertien rakentamisen jälkeen – mutta ei välttämättä yksin siitä johtuen – merkittävimmin muuttuneet paikat, joissa on tapahtunut esimerkiksi ruovikoitumista tai vesialue on alkanut maata, mikä on usein seurausta veden vaihtuvuuden vähenemisestä maankohoamisen ohella ja voi siten olla kytköksissä penkereen rakentamisen. Kaikissa kuvissa vasemman alakulman janamittakaavan pituus on 200 metriä.

## 5 Keskustelu

### 5.1 Pengerteiden ympäristövaikutukset

Ruotsissa pengertiekohteiden tunnistaminen perustuu ennalta laadittuun paikkatietoaineistoon, joka sisältää koko rannikon valtio-omisteiset pengertiet ja ratapenkereet (n = 82), joilla arvioidaan olevan kielteisiä vaikutuksia veden vaihtuvuuteen ja laatuun (Trafikverket 2023). Kohteita on siis rajattu niiden mahdollisten ympäristövaikutusten perusteella jo ennen työpöytä tutkimuksen aloittamista. Suomessa vastaavaa aineistoa ei ole. Pelkästään Varsinais-Suomen alueelta tunnistettiin yhteensä 98 vesistönylitystä vertaamalla Väyläviraston tieverkko-, silta- ja rumpuaineistoja visuaalisesti kartta- ja satelliittikuviin. Niistä noin 65 % on pengerteitä. Merkittävä osa pengerteistä karsiutui pois, kun 20 pilottikohdetta valittiin hydraulisen parannuspotentiaalinsa laskemista ja tätä tutkielmaa varten. Pilottikohteet sijaitsevat sisä- ja välisaaristossa Paraisilla, Kemiönsaarella ja Kustavissa. Pengerteitä on kuitenkin myös Sauvon, Salon, Naantalinnon ja Taivassalonn alueella.

Valtaosassa pengertiekohteista HFP on yli 0,5. Penger aiheuttaa niissä siis yli 50 %:n virtaaman ahtauman verrattuna luonnontilaiseen tilanteeseen ilman pengertä. Tulokset tukevat siten tutkimuskirjallisuudessa tehtyjä huomioita siitä, että tiepengerrykset rajoittavat veden vaihtuvuutta (ks. esim. Cederwall 2001; Jaeger 2020; Frankiewicz ym. 2021). Veden vähentynyt virtaama ja kierto eri vesialueiden välillä voi edesauttaa ruovikoitumista ja rehevöitymistä sekä kasvattaa hapettomien alueiden muodostumisen riskiä. On kuitenkin huomattava, että lähtötietojen puuttellisuus, ilmakuviennon epätarkkuus sekä energia- ja kitkahäviöiden määrittämiseen käytetyt yleiskertoimet tekevät HFP-laskennan tuloksista jokseenkin suuntaa-antavia (Raudasoja & Kronholm 2024). Myös topografisen eristyneisyyden jättäminen pois tästä tutkielmasta heikensi HFP-arvojen tarkkuutta erityisesti salmien osalta.

Selkeä merkki rehevöitymisestä on rihmalevien lisääntyminen (Mattila 2001; Trafikverket 2023). Rihmalevät kasvavat nopeasti, vievät elintilaa esimerkiksi yhdeksi Itämerenn avainlajiksi kutsutulta rakkohaurulta ja pahentavat happikatoa muodostamalla merenn pohjaan laajoja, tiheitä mattoja. Veden lämpötila voi nousta ja kiihdyttää levätuotantoa, ja talvella taas veden vähentynyt vaihtuvuus hidastaa jääkannen sulamista ja näin edesauttaa vähähappisten pohja-alueiden syntyä. Pengertien ja sen virtausaukon – sillan tai rummun – edustalle voi kasaantua sedimenttiä, kiviä ja kariketta (Frankiewicz ym. 2021). Näin voi syntyä vaelluseste,

mikäli pengertie tai puutteellisesti asennettu rumpu eivät jo itsessään estä esimerkiksi kalojen liikkumista. Suomessa arvioidaan olevan noin 30 000 vesistö-rumpua, jotka lasketaan kalojen ja muiden vesieliöiden kannalta vaellusesteeksi (Järvenpää & Savolainen 2016). Niiden todellinen määrä on kuitenkin todennäköisesti suurempi, sillä kaikkia rumpuja ei ole kartoitettu tai merkitty. Erityisesti harvaan liikennöidyillä yksityisteillä rummut hukkuvat helposti kasvillisuuden sekaan, liettyvät ja tukkeutuvat (Koskinen 2002).

Väyläinfrastruktuurin ja tierumpujen ympäristövaikutukset ovat kansainvälisesti verrattain vakiintunut tutkimusaihe (Karlson ym. 2014). Tutkittavat rummut ja tiepenkereet sijaitsevat kuitenkin useimmiten virtavesissä, kuten puroissa ja joissa, ja niiden ympäristövaikutuksia arvioitaessa keskitytään ensisijaisesti kaloihin ja niille muodostuviin vaellusesteisiin (ks. esim. Karlson ym. 2014; Jaeger 2020; Frankiewicz 2021). Rannikko- ja saaristoympäristöissä tutkimusta on tehty vähemmän. Varsinkaan Suomessa rannikon pengerteiden ympäristövaikutuksia ei juuri ole aiemmin tutkittu. Varsinais-Suomen ELY-keskuksen edeltäjävirasto, Tiehallinnon Turun tiepiiri, teetti pengertieselvityksiä Saaristomeren alueella vuosina 1991–2003 – tämä tutkielma on osin jatkoa niille. Selvityksissä tutkittiin juuri pengerteiden ympäristöhaittojen vähentämistä virtausaukkoja rakentamalla (Aulio 1991; Kalpa 1997, 1998; Koskinen 2002; Kari ym. 2003). Tutkittavat kohteet olivat osin samoja kuin tässä tutkielmassa; Atun, Lankholman, Sommarösundin, Lillholmenin, Kirjaisten ja Juhannussillan penkereet virtausaukkoineen. Kaikki kirjoittajat havaitsivat kohteissa rehevöitymistä ja ruovikoitumista penkereiden rakentamisen jälkeen.

Teutli-Hernández & Herrera-Silveira (2018) tarkastelevat pengerteiden ja niihin rakennettujen virtausaukkojen vaikutuksia mangrovekosteikoilla Meksikossa, Reimer ym. (2015) matalikoilla Japanissa ja Möller & O’Leary (2025) suolamarskimailla Irlannissa. Näiden alueiden ilmasto, vuorovesiolosuhteet, lajisto, pohjan geomorfologia sekä veden fysikaalis-kemialliset ja hydrologiset ominaisuudet poikkeavat merkittävästi Suomen rannikon oloista. Saaristomerellä vesi on pysyvästi kerrostunutta murtovetä, veden ja ilman lämpötilan vuodenaikaisvaihtelu merkittävää ja pohjat geologisesti sekä topografisesti rikkonaisia (Korpinen ym. 2018: 28–30; Nummela ym. 2019). Vuorovesi-ilmiötä ei esiinny. Kymmenien tuhansien saarten saaristo jakautuu vyöhykkeisiin, joiden välillä voi olla suuriakin eroja (Rannanpää ym. 2023).

Gerwing ym. (2020) tarkastelevat estuaareihin ja muihin rannikkoympäristöihin rakennettuihin pengerryksiin puhkottujen virtausaukkojen vaikutuksia yleisemmin laajan

kirjallisuuskatsauksen kautta. Vaikka Itämeri onkin sisämeri, Leppäranta & Myrberg (2001: 3–8) toteavat koko Itämeren olevan toiminnaltaan myös eräänlainen suuri estuaari eli suojaista lahti, jossa yhden tai useamman joen makea vesi sekoittuu suolaisen meriveden kanssa murtovedeksi. Japanissa, Meksikossa ja Irlannissa tehdyt tutkimukset sijoittuvat myös estuaareihin (Reimer ym. 2015; Teutli-Hernández & Herrera-Silveira 2018; Möller & O’Leary 2025). Ympäristöolojen eroavaisuuksista huolimatta nämä ja Gerwingin ym. (2020) tutkimustulokset ovat kuitenkin yhteneväisiä sekä minun havaintojeni että Aulion (1991), Kalvan (1997, 1998), Koskisen (2002) sekä Karin ym. (2003) tulosten kanssa. Pengertien rakentamisen jälkeen veden virtaus on vähentynyt, vesikasvillisuus runsastunut, eläimistö muuttunut ja vesi samentunut kiintoaineksesta. Reimer ym. (2015) vertaavat tuloksiaan Kanadan Fundynlahteen, jota käytetään usein malliesimerkkinä alan tutkimuksesta rannikko-ympäristössä. Lahden poikki rakennettiin 1970-luvulla leveä pengertie. Edellä mainittujen muutosten lisäksi myös lahden vuorovesi-ilmiö on heikentynyt, hienosedimentoituminen lisääntynyt ja marskimaan pinta-ala kasvanut.

Vaellus- ja virtausesteiden poistoa suunniteltaessa juurikin niiden asettaminen tärkeysjärjestykseen, erityisesti laskennalliseen dataan ja matemaattiseen mallintamiseen perustuen, on hyvä strategia (McKay ym. 2020). Juuri Trafikverketin (2023) tutkimusmenetelmän käyttöä tässä tutkielmassa muiden menetelmien sijaan puoltaa se, että Suomen ja Ruotsin rannikot ovat pitkälti samankaltaisia (Cederwall 2001). Indikaattorina HFP mittaa suoraan pengertiestä johtuvaa virtausolosuhteiden muutosta (Trafikverket 2023), mutta indikaattorit II–IV keskittyvät lähinnä pengertiestä riippumattomien ympäristötekijöiden tarkasteluun. Pengerteiden rakentamisen ympäristövaikutuksia olen tutkinut pitkälti kirjallisuuskatsauksen muodossa. Nojaten saamiini tuloksiin, aiempiin Saaristomerellä tehtyihin pengertieselvityksiin sekä Ruotsin ja Suomen rannikoiden samankaltaisuuksiin uskallan kuitenkin todeta, että tarkastelemieni pengertiekohteiden ympäristövaikutukset ovat todennäköisesti linjassa kansainvälisen tutkimuskirjallisuuden kanssa.

Tulosten perusteella Varsinais-Suomen rannikolla pengertiet on tyypillisesti rakennettu matalan, suojaisten vesialueen poikki väli- tai sisäsaaristossa. Veden keskisyvyys on alle 10 m ja runsas vesikasvillisuus todennäköistä. Tällaisia ympäristöjä esiintyy runsaasti Saaristomerellä (Kuningas ym. 2019). Niissä altistuminen aalloille on melko vähäistä. Suurin osa tarkastelemistani pengertiekohteista sijaitsee salmessa; vain muutamassa kohteessa pengertien toiselle puolelle jää lahti tai poukama. Salmessa vesi pääsee virtaamaan pengertien aiheuttaman virtaaman ahtauman rajoissa kahden vesialueen välillä ja vaihtuu siten toden-

näköisesti hieman tehokkaammin, mutta lahdissa ei. Näin ollen veden riittävä vaihtuvuus on niissä erityisen tärkeää, sillä hitaasti virtaavan ja vaihtuvan veden happipitoisuus alenee, mikä edesauttaa mm. rehevöitymistä, samentumista, happikatoa ja lämpötilan nousua (Trafikverket 2023). Myös rannat saattavat ruovikoitua, mikä on havaittavissa kaikissa liitteen 4 ilmakuvissa korkean prioriteetin pengerkohdeista. Pengertien katkaisemassa matalassa merenlahdessa voidaan havaita ajan myötä vähittäistä fladamaista kehitystä (Frankiewicz ym. 2021; Trafikverket 2023).

Vaikka fladat ja muut matalat pohjat ovatkin ekologisesti arvokkaita, vesirakentamisessa tulisi minimoida siitä aiheutuvat vaikutukset ylitettävän vesistön pohjaan tai veden virtaukseen (Järvenpää & Savolainen 2016). Virtausolosuhteiden ja veden ekologisten, fysikaalis-kemiallisten sekä hydrologis-morfologisten ominaisuuksien muuttuessa muutoksille herkätkä paikalliset lajit voivat nimittäin joutua ahtaalle (Nummela ym. 2019; Kuismanen ym. 2022). Kuten Korpinen ym. (2018: 30) toteavat, monet Itämeren lajit ovat sopeutuneet elämään Itämeressä elinalueensa ääri rajoilla, ja siksi vähäisetkin muutokset elinympäristössä voivat aiheuttaa merkittäviä muutoksia meriekosysteemeissä. Näin ollen on perusteltua, että myös vanhojen vesistöjä ylittävien taitorakenteiden aiempia ympäristöhaittoja tulisi pyrkiä minimoimaan (Järvenpää & Savolainen 2016).

Tarkastelemistani kohteista 60 % sijaitsee laguuneissa. Ne ovat EU:n luontodirektiivin (92/43/ETY) mukaan ensisijaisesti suojeltavia luontotyyppejä. Varsinais-Suomen merialue-suunnittelun kannalta laguunit (sis. fladat ja kluuvit) ja muut matalat alueet, kuten jokisuistot, vedenalaiset särkät, laajat suojaisat lahdet sekä kapeat murtovesilahdet ja -salmet ovat oleellisimpia mereisiä luontotyyppejä (Nummela ym. 2019). Saarisen (2019) mainitsema rannikkoalueiden kasvanut käyttöpaine ja rakentaminen heijastuu myös niihin. Tarvetta rannikkoympäristöjen erityispiirteiden ja meriekosysteemien hyvinvoinnin huomioimiselle ranta- ja väylärakentamisessa on myös globaalisti, sillä ihmistoiminta haittavaikutuksineen lisääntyy maailman rannikkoalueilla (ks. esim. Barbier ym. 2011; Teutli-Hernández & Herrera-Silveira 2018). Ne ovat jo nyt yksiä tiheimmin asutuista ympäristöistä maailmassa. Mereiset ekosysteemipalvelut ja resurssit ovat siis kovassa käytössä, joten kestävä merialue-suunnittelua tarvitaan sen kielteisten vaikutusten lieventämiseksi sekä Suomessa että maailmanlaajuisesti.

## 5.2 Virtausaukkojen rakentamisen tarve

Pengertiet ovat mahdollisten ympäristövaikutustensa perusteella tärkeysjärjestyksessä taulukossa 10 tulososion luvussa 4.5. Tulosten perusteella suurin osa tarkastelluista pengertiekohteista ei todennäköisesti vaadi lisää tutkimista tai muita toimenpiteitä. Jatkoselvitykset voivat tapauskohtaisesti olla perusteltuja, mutta niillä ei ole kiire. Strömman kiinteän sillan ja Kirjalansalmen sillan HFP on niin alhainen, että ne voi jättää Trafikverketin kriteerien (2023) mukaan huomiotta. Lisäksi Kirjalansalmen nykyisen sillan ja sen teko-kannaksen tilalle tulee valmistumaan kokonaan uusi, penkereetön silta (Mt 180...uusiminen 2025; Paju-Heikkilä 2025).

Lankholman, Lillholmenin, Siikarauman ja Högholmin penkereet ovat kohtalaisen prioriteetin kohteita, eli ne saattavat vaatia toimenpiteitä ympäristön tilan parantamiseksi ja siten jatkoselvitykset ovat suositeltavia. Lillholmenin virtausaukko sijaitsee tosin muihin tämän prioriteettiluokan kohteisiin verrattuna paljon avoimemmalla ja vilkkaasti liikennöidymmällä vesialueella ja tiellä, joten penkereen tutkiminen ja mahdolliset kunnostus- ja ennallistamistoimet, ovat todennäköisesti hieman haastavampia. Vuonna 2003 Kari ym. (2003) arvioivat, että Lillholmenin ja Stortervolandetin saarten välille penkereeseen tulisi rakentaa joko yksi isompi tai kaksi pienempää rumpua sen lounaispuolen veden vaihtuvuuden lisäämiseksi.

Marikarin pengertie saa korkeimmat yhteispisteet indikaattorien I–IV perusteella. Se sijoittuu Hälsundin, Karesundin, Sommarösundin ja Kirjaisten pengerteiden kanssa korkean prioriteetin luokkaan. Niissä Trafikverketin (2023) mukaan todennäköisesti tarvitaan uusia taitorakenneratkaisuja tai muita toimia vedenläpäisyn ja siten ympäristön tilan kohentamiseksi. Näin ollen niiden tutkiminen lisäselvityksin on akuuteinta. Marikarin sillan sijaan tärkeysjärjestyksen kärjessä on kuitenkin suhtauduttava kriittisesti. Sen HFP on matalampi kuin muiden korkean prioriteetin kohteiden, minkä kyseenalaistan jo luvussa 4.1. Tärkeämpi seikka on kuitenkin se, että pengertien rajaama Skärmolan allas on tarkoituksellisesti erotettu merestä jo vuonna 1968 Paraisten asukkaiden raakavedenlähteeksi (Turun Sanomat 2012). Penkereessä on kaksi virtausaukkoa; venesulkuportti ja säännöstelypadon luukku (kuva 24).

Altaan patoaminen on edesauttanut sen madaltumista, rehevöitymistä ja ilmakuivissa nähtävää rantojen ruovikoitumista penkereen molemmiin puolin, mutta mikäli penger purettaisiin tai sulkuportin ja säännöstelyluukun tilalle rakennettaisiin yksi isompi virtausaukko, altaan moninkertaisesti suojellut luontoarvot todennäköisesti kärsisivät. Tämä tukee sekä Gerwingin

ym. (2020), Anttilan (2024), Trafikverketin (2023) näkemystä siitä, että lähtokohtaisesti uusien virtausaukkojen puhkomisen tai penkereiden purkamisen hyödyt ylittävät pitkällä tähtäimellä sen haitat, mutta ne eivät *aina* ole optimaalisin ratkaisu.



Kuva 24. Marikarin silta Paraisilla. Silta toimii säännöstelypatona ja venesulkuna. Kuva: Siltatyöt Varsinais-Suomessa vuonna 2025 (2025).

Monissa tapauksissa olemassa olevan rummun suurentamisella, uuden virtausaukon (rummun tai putkisillan) puhkaisemisella tai penkereen muuttamisella kokonaan sillaksi saavutettaisiin kuitenkin merkittävä hyöty virtaaman lisäämisen ja ympäristön tilan parantamisen kannalta. Tätä puoltavat esimerkiksi Frankiewicz ym. (2021), joiden mukaan penkereiden ja rumpujen haittavaikutukset tulevat yleensä näkyviin vasta sitten, kun ne poistetaan. Ympäristön tilan koheneminen ja muut seuraavat hyödyt eivät myöskään näy välittömästi, vaan vähitellen, useiden vuosien kuluessa (Gerwing ym.2020).

Vuosina 1997 ja 1998 Atun pengertien ympäristön tila ei kohentunut merkittävästi, mutta oli parempi kuin vuonna 1991 ennen kahden pienen rummun puhkaisemista penkereeseen (Kalpa 1998). Vuonna 2003 pengertien vaikutusalueella ei havaittu olevan luonnonarvoiltaan poikkeuksellisia tai suojeltavia kohteita, mutta se todettiin kalastuksen kannalta pilatuksi. Vesialueen tilan katsottiin mahdollisesti parantuvan ruoppaamalla sen runsasta järviruokokasvustoa ja puhkomalla penkereeseen uusi virtausaukkopari (Kari ym. 2003).

Myös Sommarösundin ja Kirjaisten silloille suositeltiin rakennettavan uusia virtausaukkoja niiden vähäisestä ruovikoitumisesta huolimatta (Kari ym. 2003). Ympäristöltään rehevemmän Juhannussillan senhetkisen silta-aukon puhdistus ja kunnossapito katsottiin riittäviksi toimenpiteiksi riittävän virtaaman mahdollistamiseksi. Näiden kohteiden nykytilanne tulisi tarkistaa maastossa.

Myös kansainväliset tutkimustulokset todistavat virtausaukkojen rakentamisen lieventäneen pengerteistä aiheutuvia kielteisiä ympäristövaikutuksia (ks. esim. Teutli-Hernández & Herrera-Silveira 2018; Jaeger 2020). Myös luvussa 5.1 mainitsemassani Fundynlahdessa on tehty onnistuneesti ennallistamistoimia lahtea rajaavan pengertien virtausaukon kokoa, materiaaleja ja sijoittumista kehittämällä (Bowron ym. 2011). Tällainen taitorakenteen muokkaaminen tai purkaminen ei ole täysin ongelmaton, sillä rakennustöiden yhteydessä vesistöä voidaan joutua ruoppaamaan (Kari ym. 2003). Ruoppaus aiheuttaa väliaikaisesti melua ja veden samentumista, mutta on edellytys sen tilan kohenemiselle pitkällä tähtäimellä. Ruoppaustöiden järjestelyssä ja ruoppausmassojen läjityksessä on kuitenkin pyrittävä minimoimaan niiden haittavaikutukset.

Rakennus- ja kunnostustoimien suunnittelussa olisi hyvä arvioida kriittisesti myös sitä, voiko niistä kuitenkin aiheutua edellä mainittujen hetkellisten haittojen lisäksi pitkäaikaisempaa vahinkoa (Gerwing ym. 2020). Esimerkiksi tilanteessa, joissa pengertie erottaa toisistaan kaksi ekologiselta tilaltaan merkittävästi eroavaa vesimuodostumaa, virtauksen lisääminen virtausaukkoja rakentamalla voisi mahdollisesti heikentää niistä paremman tilaa, kun huonolaatuisempi vesi pääsisi sekoittumaan siihen. Toisaalta laajemmassa mittakaavassa virtausaukkojen puhkomisen nähdään lähtökohtaisesti aina parantavan tiepenkereen muuttaman vesiympäristön tilaa (Gerwing ym. 2020; Frankiewicz ym. 2021).

### **5.3 Tutkimusmenetelmän käytettävyys Suomessa**

Bassot (2022: 10) käsittelee työpöytä tutkimusta ensisijaisesti laadullisen, ei numeeriseen dataan perustuvan tutkimuksen välineenä. Trafikverketin (2023) avoimen lähdekoodin aineistoihin pohjautuva menetelmä voidaan kuitenkin nähdä työpöytä tutkimuksena, sillä avoimia paikkatietoaineistoja on runsaasti saatavilla ja ne sisältävät sekä laadullista että määrällistä tietoa. Laadullisen tutkimuksen tavoitteena on yleisesti ottaen kerryttää tietoa ja ymmärrystä tutkittavasta ilmiöstä – joka on yleensä ihmisiin tai yhteiskuntaan liittyvä – dataa tulkitsemalla (Bassot 2022: 6–7). Myös tässä tutkielmassa tekemäni ympäristövaikutusten arviointi edellytti numeeristen arvojen lisäksi kunkin pengertiekohteen monipuolisempaa

tarkastelua riittävän kokonaiskuvan muodostamiseksi. Myös McKay ym. (2020) toteavat, että vaikka matemaattiseen mallintamiseen perustuva virtaus- ja vaellusesteiden priorisointi niiden poistamiseksi on tehokas toimintatapa, yksin se tuskin kuvaa kohteiden todellisuutta riittävän hyvin.

Tutkielman tulokset ovat kuitenkin vain suuntaa-antavia. Pengertiekohteiden prioriteetti-luokituksen pohjalta ei tule ryhtyä suunnittelemaan virtausaukkojen rakentamista tai muita kunnostus- tai ennallistamistoimia, vaan sitä on täydennettävä jatkoselvityksin ja kohdekohtaisin asiantuntija-arvioin (Trafikverket (2023). Työpöytä tutkimus soveltuu siis jossain määrin pengerteiden tunnistamiseen ja niiden ympäristövaikutusten alustavaan arviointiin, mutta tulokset on varmennettava muilla tavoilla. Seuraava vaihe voisi olla maastohavainnointi ja valokuvaus, jota Varsinais-Suomen rannikolla on tehty ennenkin (ks. esim. Kalpa 1998; Koskinen 2002; Kari ym. 2003). Paikkatietoanalyysiin perustuvien tulosten luotettavuutta kannattaisi arvioida valikoiduissa kohteissa *in situ*, minkä perusteella tuloksia laajennettaisiin ja tarkennettaisiin.

Kohteita silmämääräisesti maastossa arvioinut Koskinen (2006) toteaa Sommarösundin, Atun, Lankholman, Lillholmenin ja Kirjaisten pengerteiden suhteen ihmistoiminnan, luonnollisten prosessien ja tiepenkereen vaikutusten erottamisen toisistaan olevan vaikeaa. Tämä pätee myös puhtaasti työpöytätyöskentelynä tehtävässä paikkatietoanalyysissä. Meriekosysteemien monimutkaisuus ja dynaamisuus tekevät ilmiöiden – esimerkiksi pengertien ympäristövaikutusten – syy-seuraussuhteiden todentamisesta hankalaa (McKay ym. 2020). Niiden riittävän yksityiskohtainen ja luotettava arviointi on myös pro gradu -tason tutkimuksen puitteissa haasteellista. Penkereen rakentamisella voi joskus olla yllättäviä myönteisiäkin seurauksia, kuten Raisonlahden linnustoarvojen merkittävä kasvu (Anttila 2024), mutta lähtökohtaisesti siitä on aina haittaa erityisesti vedenalaiselle luonnolle (Karlson ym. 2014; Trafikverket 2023). Vaikka koko pengertie purettaisiin tai korvattaisiin sillalla, monia ympäristöjä ei kuitenkaan voitaisi myöskään palauttaa penkereen rakentamista edeltävään tilaan (Gerwing ym. 2020; Trafikverket 2023).

Trafikverketin (2023) indikaattoreihin perustuva arviointi antaa pengerteiden mahdollisista ympäristövaikutuksista vain karkean yleiskuvan, sillä avoimesti saatavilla olevien aineistojen spatiaalinen ja ajallinen kattavuus, tarkkuus tai jatkuvuus ovat monesti rajallisia (McKay ym. 2020). Esimerkiksi vedenalaisen luonnon tilaa ja merieliöstölle tärkeiden elinympäristöjen esiintyvyyttä tarkasteltaessa on pakko tehdä yleistyksiä ja olettamuksia (*Itämeren*

*luontotyyppien esiintymistodennäköisyysmallit* 2024), jotka kertautuvat datan jatkojalostuessa eli tässä tapauksessa minun tekemissäni analyyseissä. Sekä Bassotin (2022: 11) mukaan yksi työpöytä tutkimuksen keskeisistä haasteista onkin datan laadun epävarmuus ja sopivuus soveltaviin analyyseihin.

Suomen merialueista ei myöskään ole olemassa samanlaisia paikkatietoaineistoja kuin Ruotsin merialueista prioriteettiluokituksen määrittämiseksi kaikkien Trafikverketin (2023) menetelmän indikaattorien osalta. Esimerkiksi pengerteitä ei ole kartoitettu samoilla kriteereillä, eikä nimenomaan niiden aiheuttamaa fyysistä painetta ole tutkittu. SYKEN vastaavaa aineistoa ei voitu luovuttaa minulle salassapitosyistä. Käyttämäni HELCOMin aineistot kuvaavat pitkälti samoja muuttujia, mutta hyvin karkealla resoluutiolla. Myös merenpohjan syvyysalueita tai geomorfologisia ominaisuuksia kuvaavat kartat ovat yleistasoisia turvallisuussyistä. Lisäksi Raudasojan & Kronholmin (2024) mukaan HFP-laskentaan tarvittut lähtötiedot olivat puutteellisia ja tulokset siten suuntaa-antavia. Osana HFP:n laskemista olisi pitänyt myös määrittää osalle pengertiekohteista topografinen eristäytyneisyys. Jätin sen tekemättä aikataulusyistä. Näin ollen tulokseni eivät ole täysin vertailukelpoisia Trafikverketin (2023) tulosten kanssa.

Koska HFP on keskeisin lopulliseen prioriteettiluokituksen vaikuttava muuttuja, siihen liittyvät epävarmuudet vaikuttavat mahdollisesti pengertiekohteiden lopulliseen tärkeysjärjestykseen (Trafikverket 2023). Aineistojen ollessa alueellisesti kattavia ja sisältäessä tietoa relevanteista ympäristökijöistä pengertiekohteiden priorisointi työpöytä tutkimuksen avulla olisi Trafikverketin (2023) mukaan toistettavissa muuallakin kuin Ruotsissa. En täysin jaa tätä näkemystä. Prioriteettiluokien kriteerit ovat osin niin epämääräisiä, että on pakko käyttää luovuutta. Esimerkiksi ”runsaasti liikennöidyt veneilyalueet laskevat kohteen ekologista arvoa” (Trafikverket 2023: 29) – mitä tarkoittaa runsaasti liikennöity, ja millä etäisyydellä veneliikenne vielä vaikuttaa? 500 metrin bufferi, kalojen kutualueiden tarkastelu ja indikaattorikohtainen pisteytysjärjestelmä ovat omia soveltavia ratkaisujani, joilla paikkasin menetelmän aukkoja ja tarkkojen raja-arvojen puutetta.

Karlson ym. (2014) korostavat juuri vakiintuneen mittariston ja menetelmällisen viitekehyksen standardisoimisen tärkeyttä väyläinfrastruktuurin ympäristövaikutusten arvioinnissa. Kun pengertiekohteita asetetaan tärkeysjärjestykseen niiden todennäköisesti vaatimien kunnostustoimien perusteella, on lisäksi pohdittava, mistä lähtökohdista käsin ja ”ketä varten” priorisointia tehdään (McKay ym. 2020). On otettava huomioon paitsi luonto-

arvot, myös väylänpidon kustannus- ja aikatehokkuus, tie- ja vesiliikenteen tarpeet sekä eri sidosryhmät. Heitä voivat olla väylänpidosta ja virtausaukkojen rakentamisesta vastaavien tahojen lisäksi esimerkiksi paikalliset mökkiläiset, maanomistajat ja vapaa-ajan kalastajat. Trafikverket (2023) peräänkuuluttaa asiantuntijoiden näkemysten tärkeyttä väylä-infrastruktuuria koskevassa päätöksenteossa. Heidän lisäksi myös paikallisten sidosryhmien osallistaminen voisi tuoda hankkeisiin arvokkaita näkökulmia ainakin silloin, kun suunnitelmissa on penkereen poistaminen kokonaan tai sen korvaaminen sillalla (McKay ym. 2020).

Indikaattori IV eli etäisyyden laskeminen lähimpään luonnonsuojelualueeseen tuottaa Trafikverketin (2023) laskutavalla lähtökohtaisesti harhaanjohtavia tuloksia. Euklidisesti mitattu etäisyys ei huomioi sitä, että pengerteiden ympäristövaikutukset kohdistuvat ensisijaisesti veteen ja rantoihin, eivät juuri maa-alueille. Luonnonsuojelualue, joka sijaitsee lähimpänä linnuntietä, ei sokkeloisessa saaristossa todennäköisesti ole lähin vesiteitse mitattuna, vaan esteen takana. Siksi yritin laskea lyhyimmän etäisyyden kustakin pengertiekohteesta lähimpään osittain tai kokonaan mereiseen suojelualueeseen vain vettä pitkin eli eräänlaisena optimoituina verkosto- tai reittianalyysinä. Tietokoneeni suorituskeho ei kuitenkaan riittänyt tähän tarkoitukseen sopivan QGIS:n/GRASSin :n *r.cost* -työkalun ja sen vaatimien suurikokoisten rasteritiedostojen käsittelyyn.

Vaativampia paikkatietoanalyysyjä voitaisiin hyödyntää myös muiden indikaattoreiden tarkastelussa. Esimerkiksi Kratzerin ym. (2008) Himmerfjärden-vuonon tutkimiseen käyttämät kaukokartoitusmenetelmät voisivat antaa erilaista tietoa pengerteiden ympäristöstä. Satelliittikuvien analysointi on myös skaalattavaa ja toistettavaa, ja mahdollistaisi esimerkiksi leväkukintojen ja ruovikoitumisen kehittymisen seuraamisen ilmakuvia tiheimmistä aikasarjoista. Mikäli tutkimusmenetelmän vaiheita sekä niissä asetettuja kriteerejä ja raja-arvoja indikaattorien eri osatekijöille tarkennettaisiin, ainakin osa vaiheista olisi automatisoitavissa. Työpöytä tutkimus on laajoja, kattavia maastotarkastuksia kustannus- ja aikatehokkaampi työskentelytapa (Trafikverket 2023), mutta näin manuaalisesti toteutettuna yhä aikaavievää. Esimerkiksi indikaattori III määrittämiseen voisi hyödyntää ohjelmointia kirjoittamalla Python-koodin, jonka tutkija voisi ajaa läpi QGIS:n sisällä. Näin säästyisi aikaa ja vaivaa. Myös moniin muihin tutkimusprosessin vaiheisiin voisi hyödyntää tällaista automatisoitua data-analytiikkaa, vaikka sen tulokset tulisi yhä ihmissilmin varmentaa ja kutakin pengertiekohteita tarkastella omassa kontekstissaan ympäristötekijöineen.

Enemmistö tarkastelemistani pengertiekohteista sijaitsee laguuneissa. Saaristomerelle tyypilliset, ekologisesti arvokkaat kluuvit ja fladat sisältävät laguunit ovat EU:n luontodirektiivin (92/43/ETY) mukaan suojeltavia. Ne ovat Suomen kansainvälisiä vastuu-luontotyyppisiä (2025) ja lisäksi Natura 2000 -suojelualueiden valinta perustuu osin niihin (Luontodirektiivin luontotyyppit 2025). Pohdin siksi, miksei niitä ole SYKEN luonnonsuojelu-alueita kuvaavissa paikkatietoaineistoissa merkitty suojelualueiksi lukuun ottamatta Marikarin sillan pohjoispuolista Pettebyvikenin lahtea. Jos olisi, indikaattorin IV osalta prioriteetti-luokitus voisi olla hyvin erilainen.

Työpöytä tutkimus sopii siis mielestäni pengertiekohteiden ympäristövaikutusten arviointi-prosessin alkuun. Trafikverketin (2023) menetelmää tulisi kuitenkin kehittää, jotta se soveltuisi paremmin Suomen rannikkoympäristöjen tutkimiseen (taulukko 11). Aiheeltaan ja laadultaan sopivien avointen aineistojen etsimistä ja vertailua on jatkettava, esimerkiksi asiantuntija-arvioin ja tutkimusalueen keskeisiä toimijoita osallistamalla (McKay ym. 2020), kuten Trafikverket (2023) tai tämän tutkielman tekemistä tukenut ohjausryhmä tekivät. Yksityiskohtaisemmat aineistot, menetelmät ja prioriteettiluokkien kriteerit tuottaisivat luotettavampia tuloksia. Sekä Trafikverket (2023) että Aroviita ym. (2019) korostavat kokonaiskuvan merkitystä arvioitaessa ihmistoiminnan vaikutuksia meriympäristössä. Siksi kaukokartoitusaineisten tarkastelu sekä maastotarkastukset työpöytä tutkimuksen jälkeen toisivat mielestäni lisäarvoa kohteiden luokitteluun ja tärkeysjärjestyksen muodostumiseen. Näin myös jatkoselvitysten ja mahdollisten virtausaukkojen rakentamisen suunnittelu olisi todennäköisesti kustannus- ja aikatehokkaampaa.

Taulukko 11. Trafikverketin työpöytä tutkimuksen vahvuuksien ja heikkouksien tarkastelua.

Vahvuudet	Heikkoudet
Saavutettavuus	Vajavaiset aineistot (ml. aikasarjojen puute)
Kustannustehokkuus	Aineistojen resoluutio
Skaalautuvuus	Yleistäminen ja oletaminen
Nopeus verrattuna empiiriseen datan keräämiseen ja esim. maastotyöhön	Indikaattorien epämääräiset kriteerit
Avoimet aineistot	Indikaattorit eivät välttämättä kerro totuudenmukaisesti syy-seuraussuhteista
Monipuoliset indikaattorit	Analyysien yksinkertaisuus
Toistettavuus (jossain määrin)	Tulosten merkittävä epäluotettavuus
Muokattavissa tutkimuksen tekijän haluamaa soveltamistarkoitusta palvelevaksi	Dynaamisten, monimutkaisten ja alueellisesti vaihtelevien ilmiöiden (esim. aaltoaltistus)
Osin automatisoitavissa	mittaaminen staattista tilaa kuvaavalla datalla

## 6 Johtopäätökset

Tässä pro gradu -tutkielmassa tarkastelin 20 pengertietä ja niiden lähiympäristöjä Saaristomeren alueella Varsinais-Suomessa. Jokaiselle pengertiekohteelle laskettiin hydraulinen parannuspotentiaali eli HFP, minkä lisäksi määritin itse niille pisteet ja prioriteettiluokituksen kolmen muun indikaattorin perusteella Trafikverketin (2023) kehittämää tutkimusmenetelmää soveltaen. Mitä korkeampi pistemäärä ja prioriteetti pengertiellä on, sitä todennäköisemmin sitä olisi syytä tutkia lisää ja sen ympäristön tilaa parantaa. Ensisijaiset keinot tähän ovat uusien virtausaukkojen rakentaminen penkereeseen tai muiden kunnostustoimenpiteiden suunnitteleminen alueelle.

Enemmistö tutkimistani pengerteistä rajoittaa veden virtausta merkittävästi. Kahdeksassa kohteessa tien pengerrys vähentää veden virtausta vähintään 80 % verrattuna luonnontilaiseen tilanteeseen. Niistä viidessä HFP on  $\geq 0,9$  eli penkereen aiheuttama virtaaman ahtauma on vähintään 90 %. Nämä kohteet ovat Hälsundin silta Kemiönsaarella, Lillholmenin virtausaukko, Sommarösundin ja Kirjaisten sillat Paraisilla sekä Lankholman putkisilta Kustavissa. Lopullisessa luokittelussa Lillholmenin ja Lankholman kohteet saivat kohtalaisen prioriteettiluokituksen, muut kolme korkean. Niiden lisäksi prioriteettiluokituksen kärjessä ovat Marikarin, Karesundin, Siikarauman ja Högholminrauman sillat. Niissä virtausaukkojen rakentamisesta tai muista kunnostus- tai ennallistamistoimista olisi siis todennäköisesti eniten hyötyä.

Veden vaihtuvuuden väheneminen aiheuttaa lähes poikkeuksetta haittaa ympäristölle erityisesti vedenpinnan alapuolella. Haittavaikutukset kohdistuvat paikalliseen lajistoon, joka kärsii fyysisten ympäristöolojen muuttumisesta. Edellä mainittuja kohteita, joiden lopullinen prioriteettiluokitus on kohtalainen tai korkea, yhdistävät paitsi korkea HFP-arvo, myös suojaisuus, matalat pohjat sekä suuri uposkasvillisuuden esiintymistodennäköisyys. Veden ekologinen tila on niissä enintään tyydyttävä ja niihin kohdistuva fyysinen paine enintään kohtalainen. Suurin osa kohteista sijaitsee sisä- tai välisaaristossa laguunimaisissa ympäristöissä, jotka ovat ekologisesti arvokkaita luontotyyppisiä ja siten suojeltavia.

Tavoitteenani oli asettaa valitut pengertiekohteet tärkeysjärjestykseen niiden todennäköisten ympäristövaikutusten perusteella. Prioriteettiluokituksen lisäksi tutkielman tarkoituksena oli selvittää, soveltuuko Trafikverketin (2023) Ruotsin rannikon tarkasteluun kehittämä tutkimusmenetelmä käytettäväksi myös Suomessa. Avoimen lähdekoodin paikkatieto-

aineistoihin nojaavan menetelmän vahvuuksia ovat sen kustannustehokkuus, skaalautuvuus ja toistettavuus. Sen heikkouksia ovat kuitenkin saatavilla olevien aineistojen spatiaalinen ja ajallinen epätarkkuus, indikaattorien epämääräiset kriteerit ja tulosten merkittävän suuri, helposti kertautuva virhemarginaali. Tällaisenaan menetelmän käyttö edellytti myös paljon manuaalista työtä ja kohdekohtaista tulkintaa. Se toimii mielestäni ensimmäisenä vaiheena pengerteiden ympäristövaikutusten arviointiprosessissa, mutta vaatii kehittämistä.

Tutkimusmenetelmän avulla voitaisiin mahdollisesti saada luotettavampia tuloksia käyttämällä yksityiskohtaisempaa dataa, analyysimenetelmiä ja prioriteettiluokkien kriteerejä. Käyttämäni pisteytysjärjestelmä tulisi mielestäni sisällyttää jatkossa tutkimukseen pelkän kolmivaiheisen luokittelun lisäksi edes jossain muodossa. Työn tehokkuuden lisäämiseksi osan työvaiheista voisi automatisoida ja kaukokartoitusaineistoja hyödyntää kohteiden tarkastelussa. Alustavan paikkatietopohjaisen analytiikan jälkeen kohtalaisen ja korkean prioriteettiluokituksen saaneita kohteita tulisi tutkia myös maastossa tulosten todentamiseksi ja mahdollisten jatkotoimenpiteiden suunnittelemiseksi. Näin väylänpitoa Saaristomeren alueella voitaisiin kehittää kestävämmäksi ja Väyläviraston ympäristöperiaatteita (2024) paremmin vastaavaksi. Toimivat, kestävät kulkuyhteydet palvelevat lukuisia ihmisiä ja muita tahoja saaristossa.

Tämän tutkielman pilottikohteet Paraisilla, Kemiönsaaressa ja Kustavissa valikoituivat tutkittavaksi HFP:n laskeneiden asiantuntijoiden sekä minun toimestani. Pengerrettyjä vesistönylityksiä on tunnistettu kuitenkin näiden paikkakuntien lisäksi myös Sauvon, Salon, Naantalın ja Taivassalon alueella. Jatkossa myös näihin kohteisiin tulisi perehtyä.

## 7 Kiitokset

Haluan kiittää ohjaajiani, professori Risto Kalliola ja vesistöasiantuntija Jaakko Leppästä, hyvästä ohjauksesta ja pitkästä pinnasta. Toivotan Ristolle mukavia eläkepäiviä. Kiitos myös yliopistonlehtori Harri Tolvaselle vaivannäöstä tutkielmani tarkastamiseksi ja sen saattamiseksi yliopiston järjestelmiin.

Kiitos ohjausryhmäni jäsenille eli Niina Anttilalle, Alina Mustikkamaalle, Jussi Sääskilahdelle, Risto Ojalammille, Anni Karhuselle, Virpi Kuukka-Ruotsalaiselle ja Marketta Hyväriselle ELYssä ja Väylävirastossa yhteistyöstä, asiantuntevista kommentteista ja aineistojen luovuttamisesta käyttöni. Kiitos Luode Consultingin asiantuntijoille hydraulisen parannuspotentiaalini laskemisesta.

Suurkiitokset Swecolle, Varsinais-Suomen ELY-keskukselle (vuoden 2026 alusta alkaen Lupa- ja valvontavirasto ja Lounais-Suomen elinvoimakeskus) sekä Väylävirastolle tämän pro gradu -tutkielman rahallisesta tukemisesta.

Kiitos myös läheisilleni ja ystävilleni neuvoista ja myötäelämisestä.

## Lähteet

- Ahvenen mallinnetut poikastuotantoalueet Suomen rannikolla / VELMU* (2024)  
Luonnonvarakeskus. <https://opendata.luke.fi/dataset/urn-nbn-fi-att-93306a39-7655-4154-8af3-9cdb8ade1e74> 20.11.2025.
- Aluevalvontalaki 755/2000. Annettu Helsingissä 18.8.2000.
- Anttila, N. (2024) *E18 NARA TS ympäristövaikutusten ja ympäristösuunnittelun 1. tekniikkaryhmän palaveri, muistio*. Henkilökohtainen sähköpostiviesti V. Virtaselle. 25.10.2024.
- Aroviita, J. Mitikka, S. & Vienonen, S. (2019) *Pintavesien tilan luokittelu ja arviointiperusteet vesienhoidon kolmannella kaudella*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37/2019.
- Aulio, K. (1991) *Vesistöpenkereiden ympäristövaikutusten arviointi*. Turun tiepiiri, Tielaitos.
- Barbier, E., Hacker, D., Kennedy, C., Koch, E., Stier, A. & Silliman, B. (2011) The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs* 81(2), 169–193. [www.jstor.org/stable/23047554](http://www.jstor.org/stable/23047554)
- Bassot, B. (2022) *Doing qualitative desk-based research: A practical guide to writing an excellent dissertation*. Policy Press, Bristol.
- Bekkby, T., Isachsen, P. E., Isæus, M., Bakkestuen, V. (2008) GIS modelling of wave exposure at the seabed: A depth-attenuated wave exposure model. *Marine Geodesy* 31(2), 117–127. DOI: 10.1080/01490410802053674
- Bowron, T., Neatt, N., van Proosdij, D., Lundholm, J. & Graham, J. (2011) Macro-tidal salt marsh ecosystem response to culvert expansion. *Restoration Ecology* 19(3), 307–322. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2009.00602.x
- Cederwall, K. (2001) Saaristomaisema – fyysinen vesiympäristö, merenkulku ja vesirakentaminen. Teoksessa von Numers, M. (toim.) *Saaristoympäristöt – nykytila, ongelmat ja mahdollisuudet*, 123–130. Kirjapaino Grafia Oy, Turku.
- Ekholm, M. (2020) *Siltatyypit Suomessa*. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, rakennustekniikka. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020051812169>
- Erkkilä, A. & Kalliola, R. (2003) Veden laadun seuranta Saaristomerellä – tasapainoilua mittasuhteiden välillä. *Terra* 115(3), 216–223. <https://terra.journal.fi/article/view/106213>
- Frankiewicz, P., Radecki-Pawlik, A., Walega, A., Lapínska, M. & Wojtal-Frankiewicz, A. (2021) Small hydraulic structures, big environmental problems: Is it possible to

- mitigate the negative impacts of culverts on stream biota? *Environmental Reviews* 29(4), 510–528. DOI: 10.1139/er-2020-0126
- Gerwing, T., Davies, M., Clements, J., Flores, A., Thomson, H., Nelson, K., Kushneryk, K., Brouard-John, E., Harvey, B. & Plate, E. (2020) Do you want to breach an embankment? Synthesis of the literature and practical considerations for breaching of tidally influenced causeways and dikes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 245. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.107024
- Hauen- ja särjenpoikasten esiintymiskartoitukset vuosina 2004–2011 Suomen lounais- ja etelärannikolla / VELMU* (2024) Luonnonvarakeskus.  
<https://opendata.luke.fi/dataset/urn-nbn-fi-att-6f3d148e-4f06-4739-acdb-53c74819de8a> 20.11.2025.
- Häkkänen, L. (2020) *Huvilan paluu: Suomalaisen mökin kehityskaari*. Diplomityö. Tampereen yliopisto, rakennetun ympäristön tiedekunta, arkkitehtuurin yksikkö.  
<https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202004203385>
- Isaeus, M. & Rygg, B. (2005) *Wave exposure calculations for the Finnish coast*. Norwegian Institute of Water Research.
- Jaeger, R. (2019) *Hydraulic improvements in culverts for climate change adaptation*. Väitöskirja. University of the Sunshine Coast, School of Science, Technology and Engineering. DOI: 10.25907/00554
- Järvenpää, L. & Savolainen, M. (2016) *Silta- ja rumpurakenteiden aukkomitoitus*. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen opas 4.
- Kalpa, A. (1997) *Vesistöpenkereiden virtausaukkojen rakentamisen vaikutusten seuranta*. Turun tiepiiri, Tielaitos.
- Kalpa, A. (1998) *Vesistöpenkereiden virtausaukkojen rakentamisen vaikutusten seuranta 2*. Turun tiepiiri, Tielaitos.
- Kari, H., Arén, E., Madekivi, O., Koskinen, M. & Myllymäki, T. (2003) *Pengerteiden ympäristöhaittojen vähentäminen virtausaukkoja rakentamalla*. Turun tiepiiri, Tiehallinto.
- Karlson, M., Mörtberg, U. & Balfors, B. (2014) Road ecology in environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 48, 10–19. DOI: 10.1016/j.eiar.2014.04.002
- Kipinä-Salokannel, S. & Mäkinen, M. (2021) *Varsinais-Suomen ja Satakunnan vesienhoidon toimenpideohjelma vuosille 2022-2027*. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

- Korpinen, S., Laamanen, M., Suomela, J., Paavilainen, P., Lahtinen, T. & Ekeboom, J. (2018; toim.) *Suomen meriympäristön tila 2018*. SYKE:n julkaisu 4. Grano, Helsinki.
- Koskinen, M. (2002) *Lounais-Suomen rannikon tiepengerinventointi*. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja 2/2002.
- Kratzer, S., Brockmann, C. & Moore, G. (2008) Using MERIS full resolution data to monitor coastal waters – A case study from Himmerfjärden, a fjord-like bay in the Northwestern Baltic Sea. *Remote Sensing of Environment* 112, 2284–2300. DOI: 10.1016/j.rse.2007.10.006
- Kuismanen, L., Kiviluoto, S., Lehmijoki, A., Vieno, M., Kostamo, K. & Korpinen, S. (2022) *Mereiset avainluontotyypit ympäristöluvituksessa*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 10.
- Kuningas, S., Veneranta, L., Ojanen, H., Kallasvuo, M. & Lappalainen, A. (2019) *Ihmistoiminnan vaikutukset rannikon kalojen lisääntymisalueisiin ja mahdollisuudet kunnostuksiin*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 27/2019. Luonnonvarakeskus.
- Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 503/2005. Annettu Helsingissä 23.6.2005.
- Laki saariston kehityksen edistämisestä 494/1981. Annettu Helsingissä 26.6.1981.
- Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2004. Annettu Helsingissä 30.12.2004.
- Laurila, L. & Kalliola, R. (2019) *Seurantatutkimus 'Suomen merenrannikon rakennetut ja rakentamattomat rannat'*. Merialuesuunnittelu.
- Leppäranta, M. & Myrberg, K. (2009) *Physical oceanography of the Baltic Sea*. Praxis Publishing, Chichester.
- Luontodirektiivi 92/43/ETY. Annettu Brysselissä 21.5.1992.
- Luontodirektiivin luontotyypit (2025) Suomen ympäristökeskus.  
<https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/luonnon-monimuotoisuus/luontotyyppien-monimuotoisuus/luontodirektiivin-luontotyypit#itameren-ja-rannikon-luontotyypit> 7.11.2025.
- Lång, R. & Nummelin, M. (2017) *Ohjeet vesistön ylittävien siltojen aukkomitoista*. Liikenneviraston ohjeita 42/2017.
- Mattila, J. (2001) Saariston rehevöityminen. Teoksessa von Numers, M. (toim.) *Saaristoympäristöt – nykytila, ongelmat ja mahdollisuudet*, 15–23. Kirjapaino Grafia Oy, Turku.
- McKay, S. K., Martin, E., McIntyre, P., Milt, A., Moody, A. & Neeson, T. (2020) A comparison of approaches for prioritizing removal and repair of barriers to stream

- connectivity. *River Research and Applications* 36(8), 1754–1761. DOI: 10.1002/rra.3684
- Munsterhjelm, R. (2001) Matalat pohjat, lahdet ja kuroutumisasteet. Teoksessa von Numers, M. (toim.) *Saaristoympäristöt – nykytila, ongelmat ja mahdollisuudet*, 41–56. Kirjapaino Grafia Oy, Turku.
- Müller, D. (2007) Second homes in the Nordic countries: Between common heritage and exclusive commodity. *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism* 7(3), 193–201. DOI: 10.1080/15022250701300272
- Möller, I. & O’Leary, K. (2025) Balancing conservation and human access to nature: The impact of a constructed causeway on water levels and sedimentation, North Bull Island, Ireland. *Cambridge Prisms: Coastal Futures* 3(e9), 1–12. DOI: 10.1017/cft.2025.10006
- Norrby, S. (2001) Saariston veneily – voimavara vai ympäristöuhka? Teoksessa von Numers, M. (toim.) *Saaristoympäristöt – nykytila, ongelmat ja mahdollisuudet*, 95–102. Kirjapaino Grafia Oy, Turku.
- Nummela, A., Pohja-Mykrä, M., Ijäs, A., Perttula, E., Roslöf, S., Savola, A., Juvonen, T., Lusenius, H., Salminen, P., Jutila, H. & Lindberg, W. (2019) *Saaristomeren ja Selkämeren eteläosan suunnittelualueen ominaispiirteet*. Merialuesuunnittelu.
- Paju-Heikkilä, J. (2025) Kukaan ei tiedä mitä tapahtuu, kun Kirjalansalmen tekokannas puretaan. *Turun Sanomat* 26.11.2025. <https://www.ts.fi/uutiset/6831835>
- Petäjä, S., Ronni, J., Joutsensaari, J. & Torkkeli, M. (2023) *Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu*. Väyläviraston ohjeita 93/2023.
- Picciulin, M., Armelloni, E., Falkner, R., Rako-Gospić, N., Radulović, M., Pleslić, G., Muslim, S., Mihanović, H. & Gaggero, T. (2022) Characterization of the underwater noise produced by recreational and small fishing boats (<14m) in the shallow-water of the Cres-Lošinj Natura 2000 SCI. *Marine Pollution Bulletin* 183. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.114050
- Popova, M. & Alho, P. (2017) *Uudenkaupungin makeavesiallas: Loppuraportti kyselytutkimuksesta käyttö- ja hoitosuunnitelman tueksi*. Turun ammattikorkeakoulun raportteja 237.
- Rannanpää, S., Ahtinen, S., Antikainen, J., Heikkinen, B., Hovi, S., Sinerma, J. & Tolonen, S. (2023) *Suomen saaristoalueet tilastojen kertomana: Tilastokatsaus saaristoluokituksella*. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2023, 25.

- Raudasoja, N. & Kronholm, H. (2024) *Hydraulisen parannuspotentiaalin laskenta pilotointikohteille*. Luode Consulting.
- Reimer, J., Yang, S., White, K., Asami, R., Fujita, K., Hongo, C., Ito, S., Kawamura, I., Maeda, I., Mizuyama, M., Obuchi, M., Sakamaki, T., Tachihara, K., Tamura, M., Tanahara, A., Yamaguchi, A. & Jenker-Kodama, H. (2015) Effects of causeway construction on environment and biota of subtropical tidal flats in Okinawa, Japan. *Marine Pollution Bulletin* 94(1–2), 153–167. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2015.02.037
- Saarinen, A. (2020) *Merenkurkun matalien rannikkoympäristöjen kunnostus. Keskiössä fladat: kokemuksia, menetelmiä ja tulevia toimenpiteitä*. Kvarken flada -hankkeen osaraportti.
- Saaristomeren kansallispuisto (s.a.) Luontoon.fi, Metsähallitus.  
<https://www.luontoon.fi/fi/kohteet/saaristomeren-kansallispuisto> 28.7.2025.
- Saaristomeri ja saaristo (s.a.) Varsinais-Suomen liitto. <https://varsinais-suomi.fi/kumppanuusfoorumi/kumppanuusfoorumi/ymparisto/saaristomerijasaaristo/> 25.11.2024.
- Sahla, M. & Kalliola, R. (2018) Reliability of local scale human pressure modelling at the seafloor of the Baltic Sea. *Coastal Management* 46(1), 40–57. DOI: 10.1080/08920753.2018.1405329
- Sahlsten, J., Pöyhönen, V., Outinen, O. & Loisa, O. (2025) A case study: Recreational boat traffic and underwater noise nearby shallow coastal protected areas in the Finnish Archipelago Sea. *The Effects of Noise on Aquatic Life IV*. Julkaisematon.
- Savolainen, A. & Liukas, J. (2014) *Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje*. Liikenneviraston ohjeita 21/2024.
- Selkämeren kansallispuisto (s.a.) Luontoon.fi, Metsähallitus.  
<https://www.luontoon.fi/fi/kohteet/selkameren-kansallispuisto> 28.7.2025.
- Siltatyöt Varsinais-Suomessa vuonna 2025 (2025) Väylävirasto. <https://vayla.fi/siltatyot-varsinais-suomi> 3.12.2025.
- Suolaisuus ja lämpötila (s.a.) Itämeri.fi. <https://itameri.fi/luonto-ja-sen-muutos/veden-ominaispiirteet/suolaisuus-ja-lampotila/> 13.12.2025.
- Suomen kansainväliset vastuuluontotyypit (2022). Suomen ympäristökeskus.  
<https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/luonnon-monimuotoisuus/luontotyyppien-monimuotoisuus/luontotyyppien-uhanalaisuus/suomen-kansainvaliset-vastuuluontotyypit> 20.8.2025.

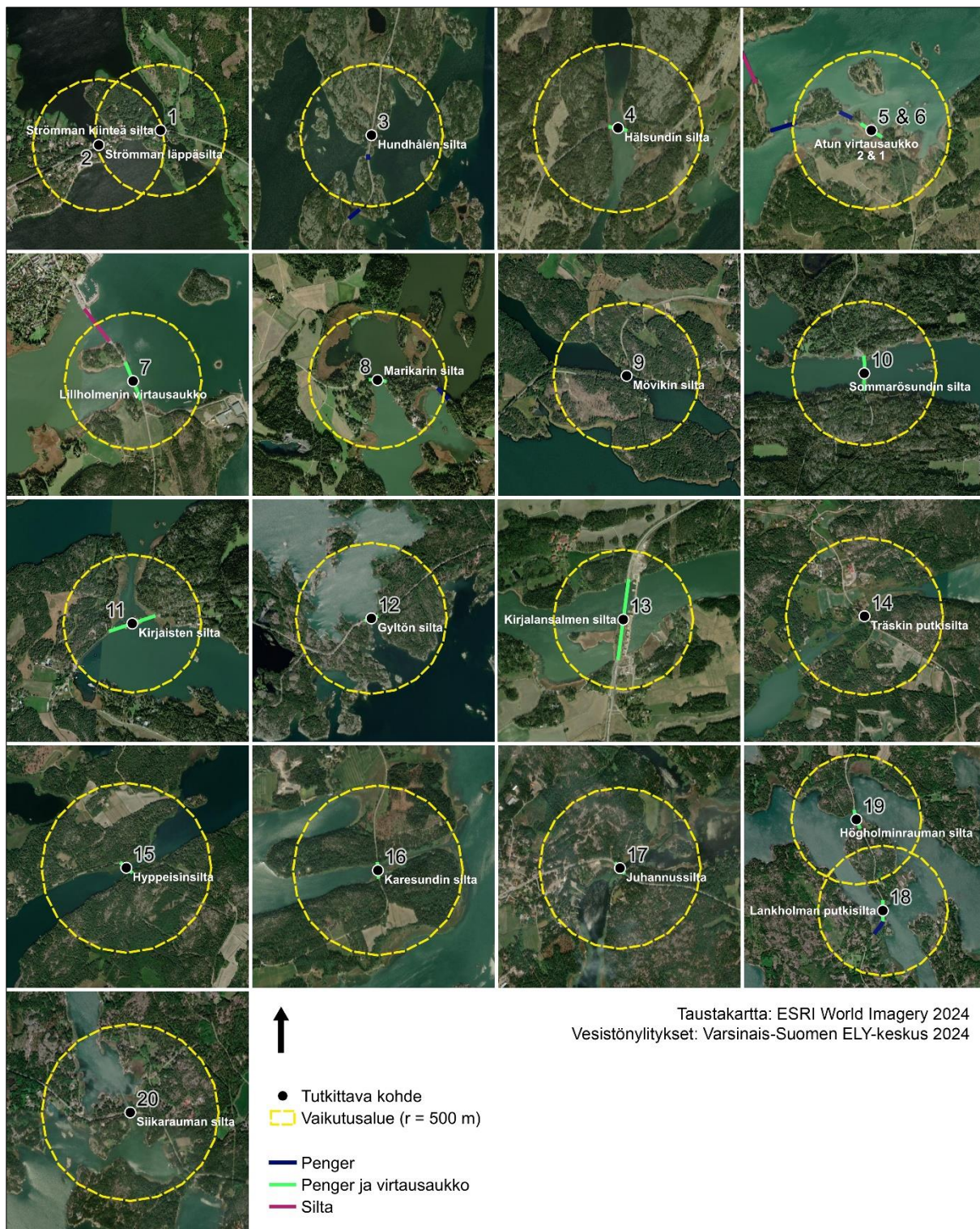
- Suominen, T. (2015) *Spatiotemporal features of coastal waters in Southwest Finland*.  
Väitöskirja. Turun yliopisto, matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, maantieteen  
ja geologian laitos. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-29-6152-8>
- Teutli-Hernández, C. & Herrera-Silveira, J. (2018) The success of hydrological rehabilitation  
in mangrove wetlands using box culverts across coastal roads in Northern Yucatán  
(SE, México). Teoksessa Makowski, C. & Finkl, C. (toim.) *Threats to Mangrove  
Forests. Coastal Research Library 25*, 607–619. Springer, Cham.
- Tieverkko (2025) Väylävirasto. <https://vayla.fi/vaylista/tieverkko> 10.6.2025.
- Trafikverket (2023) *Metod för bedömning av vägbankars påverkan i kustmiljö genom  
skrivbordsanalys*. Trafikverkets publikationer 32.
- Turun Sanomat (2012). Paraisten venesulun korjaus vienee ainakin viikon. *Turun Sanomat*  
29.7.2012. <https://www.ts.fi/uutiset/372972> 9.6.2024
- Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä 1040/2006. Annettu Helsingissä  
30.11.3006.
- Vesilaki 587/2011. Annettu Helsingissä 27.5.2011.
- Vesipolitiikan puitedirektiivi 2000/60/EY. Annettu Brysselissä 23.10.2000.
- Vuorinen, I. (1994) *Itämeren ympäristön tila*. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen  
julkaisuja A 23. Painosalama, Turku.
- Willberg, E., Järv, O., Väisänen, T. & Toivonen, T. (2021) Escaping from cities during the  
COVID-10 crisis: Using mobile phone data to trace mobility in Finland. *International  
Journal of Geo-Information* 10(2). DOI: 10.3390/ijgi10020103
- Ympäristöperiaatteet (2024) Väylävirasto. <https://vayla.fi/ymparisto/ymparistoperiaatteet>  
20.11.2024.

## Liitteet

### Liite 1. Luokittelu indikaattoreittain

Indikaattorikohtaiset luokat				
Indikaattori	Osatekijä	Matala	Kohtalainen	Korkea
I	Hydraulinen parannus-potentiaali	< 0,2	0,2–0,5	> 0,5
II	Veden tila	Ekologinen: huono, tyydyttävä, hyvä tai erinomainen	Ekologinen: välttävä, tyydyttävä, hyvä tai erinomainen	Ekologinen: Hydrologis-morfologinen: enintään tyydyttävä
	Fyysiset paineet	Pengertien lähistöllä ei ole juurikaan fyysistä painetta.	Pengertie sijaitsee alueella, joilla vesimuodostumaan kohdistuva fyysinen paine on erittäin suuri. Vaikutus- aluetta ei kuitenkaan voida erottaa itse pengertien ympärillä.	Osoitettu pengertietä koskevia toimenpiteitä.  Pengertietä ympäröi fyysinen vaikutusvyöhyke.
III	Vedenläpäisy			Ei virtausaukkoa
	Aaltoaltistus	Muu	Erittäin suojaisa matalikko	Äärimmäisen tai erittäin suojaisa matalikko
	Ympäristöolot <i>*vesiliikenne, ruoppaus yms. lähistöllä laskee indikaattorikohtaista luokitusta asteella</i>			Pengertie leikkaa vesialuetta, joka yhdistää meren ja laguunin/kouroutuvan altaan tai meren ja muun vesistön lähellä rannikkoa
IV	Etäisyys lähimmästä luonnonsuojelualueesta	> 500 m	101–500 m	0–100 m

## Liite 2. Pengertiekohteet kartalla



## Liite 3. Lopullinen pisteytys

id	Sillan nimi	HFP	I	VesiEko	VesiHyMo	Toimenpiteitä	FyysPaine	physloss_	physdist_	II
								mean	mean	
8	8 Marikarin silta	0,51	3	Huono	Huono	Silta uusittu	Matala	0	0	3
4	4 Hälsundin silta	0,90	3	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	0	0	1
16	16 Karesundin silta	0,65	3	Tyydyttävä	Erinomainen	Ei	Kohtalainen	0	0,04	2
10	10 Sommarösundin silta	0,92	3	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	0	0	1
11	11 Kirjaisten silta	0,90	3	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	0	0	1
18	18 Lankholman putkisilta	0,98	3	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Kohtalainen	0	0,12	2
7	7 Lillholmenin virtausaukko	0,91	3	Välttävä	Erinomainen	Ei	Kohtalainen	0,07	0,12	2
20	20 Siikarauman silta	0,87	3	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Kohtalainen	0	0,39	2
19	19 Högholminrauman silta	0,78	3	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Kohtalainen	0	0,06	1
9	9 Mövikin silta	0,86	3	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	0	0	1
12	12 Gyltön silta	0,80	3	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Ei	Matala	0	0	1
15	15 Hypeisinsilta	0,47	2	Tyydyttävä	Erinomainen	Ei	Matala	0	0	1
14	14 Träskin putkisilta	0,31	2	Tyydyttävä	Erinomainen	Ei	Matala	0	0	1
17	17 Juhannussilta	0,23	2	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	0	0	1
5	5 Atun virtausaukko 2	0,54	3	Tyydyttävä	Erinomainen	Ei	Matala	0	0	1
6	6 Atun virtausaukko 1	0,54	3	Tyydyttävä	Erinomainen	Ei	Matala	0	0	1
3	3 Hundhålen silta	0,28	2	Tyydyttävä	Hyvä	Ei	Matala	0	0	1
2	2 Strömman läppäsilta	0,20	2	Välttävä	Hyvä	Ei	Matala	0	0	2
13	13 Kirjalansalmen silta	0,14	1	Välttävä	Hyvä	Silta rakenteilla	Matala	0	0	2
1	1 Strömman kiinteä silta	0,00	1	Välttävä	Erinomainen	Ei	Matala	0	0	2
								0,13-1,0	0,13-1,0	

id	Sillan nimi	Veden- läpäisy	Aalto- altistus	Kasvillisuus- pohjat	Ahven	Hauki	Laguuni Alle 10m	Vesiväyliä	speedist_mean	III
8	8 Marikarin silta	Kyllä	2	95 % Suotuisa	Erittäin suotuisa	Kyllä	100 %	0	0	3
4	4 Hälsundin silta	Kyllä	2	73 % Suotuisa	-	Kyllä	94 %	0	0	3
16	16 Karesundin silta	Kyllä	2	95 % Suotuisa	Epäsuotuisa	Kyllä	100 %	0	0	3
10	10 Sommarösundin silta	Kyllä	2	100 % Suotuisa	-	Ei	100 %	0	0	3
11	11 Kirjaisten silta	Kyllä	2	97 % Suotuisa	Erittäin suotuisa	Ei	100 %	0	0	3
18	18 Lankholman putkisilta	Kyllä	2	91 % Suotuisa	Erittäin suotuisa	Kyllä	99 %	0	0,538347721	3
7	7 Lillholmenin virtausaukko	Kyllä	3	8 % Suotuisa	Erittäin suotuisa	Kyllä	100 %	1	0	3
20	20 Siikarauman silta	Kyllä	2	100 % Suotuisa	Erittäin suotuisa	Kyllä	100 %	1	0,526531637	3
19	19 Högholminrauman silta	Kyllä	2	63 % Suotuisa	Erittäin suotuisa	Kyllä	100 %	0	0,269173861	3
9	9 Mövikin silta	Kyllä	2	96 % -	Erittäin suotuisa	Kyllä	100 %	0	0,558524648	3
12	12 Gyltön silta	Kyllä	2	0 % Epäsuotuisa	Epäsuotuisa	Kyllä	100 %	1	0	3
15	15 Hypeisinsilta	Kyllä	2	65 % Epäsuotuisa	Epäsuotuisa	Kyllä	100 %	0	0	3
14	14 Träskin putkisilta	Kyllä	2	81 % Suotuisa	Epäsuotuisa	Kyllä	100 %	0	0	3
17	17 Juhannussilta	Kyllä	2	25 % -	Erittäin suotuisa	Kyllä	96 %	0	0	3
5	5 Atun virtausaukko 2	Kyllä	3	69 % Suotuisa	Erittäin suotuisa	Ei	100 %	1	0	1
6	6 Atun virtausaukko 1	Kyllä	3	69 % Suotuisa	Erittäin suotuisa	Ei	100 %	1	0	1
3	3 Hundhålen silta	Kyllä	2	57 % Epäsuotuisa	Erittäin suotuisa	Ei	90 %	1	0,188796699	3
2	2 Strömman läppäsilta	Kyllä	3	28 % Suotuisa	Suotuisa	Ei	51 %	1	0,539688859	1
13	13 Kirjalansalmen silta	Kyllä	2	4 % Suotuisa	Erittäin suotuisa	Ei	65 %	0	0	3
1	1 Strömman kiinteä silta	Kyllä	3	50 % Suotuisa	Suotuisa	Ei	70 %	1	0,359791239	1
								0,5-0,97	ilman häiriötä	häiriöllä

id	Sillan nimi	Etäisyys	IV	Vesiympäristön tyyppi	Saaristoloukutus	Vettä	Pisteet	PRIORITEETTI
8	8 Marikarin silta	17	3	Poukama salmen perällä, pengertie erottaa laguunin/makeanvedenaltaan	Sisäsaaristo	54 %	12	Korkea
4	4 Hälsundin silta	137	2	Kapea salmi	Sisäsaaristo	17 %	9	Korkea
16	16 Karesundin silta	2634	1	Kapea salmi; toisella puolella avoimempaa vettä, toisella lahtimainen salmi	Välisaaristo	20 %	9	Korkea
10	10 Sommarösundin silta	1803	1	Salmi	Välisaaristo	35 %	8	Korkea
11	11 Kirjaisten silta	1233	1	Salmi	Välisaaristo	52 %	8	Korkea
18	18 Lankholman putkisilta	644	1	Salmi, jonka keskellä saari	Sisäsaaristo	47 %	8	Kohtalainen
7	7 Lillholmenin virtausaukko	1629	1	Ylittää lahden/laguunin, joka yhdistyy mereen monen kapean, mutkittävän salmen kautta	Sisäsaaristo	69 %	8	Kohtalainen
20	20 Siikarauman silta	1406	1	Poukama, jonka toisella puolella salmi, toisella laguunimainen lahti	Sisäsaaristo	34 %	8	Kohtalainen
19	19 Högholminrauman silta	1181	1	Salmi, jonka keskellä saari	Sisäsaaristo	55 %	8	Kohtalainen
9	9 Mövikin silta	676	1	Kapea lahti, yhteys mereen heikko	Välisaaristo	24 %	7	Matala
12	12 Gyltön silta	2319	1	Yhdistää avoimen selän ja laguunimaisen poukaman lahden perällä	Välisaaristo	46 %	7	Matala
15	15 Hypeisinsilta	2621	1	Kapea salmi	Välisaaristo	19 %	7	Matala
			1	Suntti/kanava, joka yhdistää kaksi kapeaa, pientä lahdelmaa toisiinsa; nämä yhteydessä mereen salmien kautta	Välisaaristo	8 %	7	Matala
14	14 Träskin putkisilta	981	1	Kapea salmi, jonka perällä pieni lahti/poukama	Sisäsaaristo	20 %	7	Matala
17	17 Juhannussilta	1604	1	Leveähkö salmi, jonka keskellä saaria	Välisaaristo	51 %	6	Matala
5	5 Atun virtausaukko 2	3905	1	Leveähkö salmi, jonka keskellä saaria	Välisaaristo	51 %	6	Matala
6	6 Atun virtausaukko 1	3905	1	Erottaa kaksi leveähköä salmea	Sisäsaaristo	54 %	6	Matala
3	3 Hundhålen silta	2308	1	Salmi, jonka keskellä saari	Sisäsaaristo	52 %	6	Matala
2	2 Strömman läppäsilta	1601	1	Kapea salmi	Sisäsaaristo	52 %	6	Ei merkittävä
13	13 Kirjalansalmen silta	1486	1	Salmi, jonka keskellä saari	Sisäsaaristo	39 %	5	Ei merkittävä
1	1 Strömman kiinteä silta	1215	1	Salmi, jonka keskellä saari	Sisäsaaristo	39 %	5	Ei merkittävä
								500m säteellä

#### Liite 4. Korkean prioriteetin pengertiekohteet ilmakuivissa



