

# ESA ERANTI

**Oppeja uran varrelta ja ajatuksia Suomen tilasta**

RIL HENKILÖHISTORIIKKI 226



Julkaisija: Eranti Engineering Oy

[erantiengineering.fi](http://erantiengineering.fi)

Kannen kuva; VIS Graphics

ISBN 978-952-88-1173-2 (pehmeäkantinen)

ISBN 978-952-88-1174-9 (PDF)

Painatus: Punamusta Oy 11/2025

## Tiivistelmä

Suomi uppoaa. Tärkeimpänä syynä tähän on ympäristöbyrokraattinen mielivalta. Julkisen sektorin tulopuoli sakkaa.

Elinkeinoelämä ei ole vuosikymmeniin kyennyt tarttumaan tehokkaasti ajassa liikkuviin liiketoimintamahdollisuuksiin ja uudistamaan rakenteitaan. Syynä ovat pitkät ja ennakoimattomat lupaprosessit. Suotuisissakin tapauksissa lupaehdot ovat kohtuuttoman kalliit.

Ainakin sadan tuhannen suomalaisen hyvän elämän edellytykset on jo murskattu perusteettomiin ympäristöbyrokraattisiin valtarakenteisiin.

Tässä historiikissa analysoidaan vuosikymmenten kansainvälisellä kokemuksella ja valtateoriaan tukeutuen sitä, miten tähän on tultu. Kierteestä irrottautuminen on vaikeaa, koska ympäristöhallinto, korkeimmat tuomioistuimet ja media eivät kykene käsittelemään erehdyksiään.

Ilmiö tunnetaan nimellä kognitiivinen dissonanssi. Se on erityisen vakava ongelma oman erinomaisuutensa illuusiassa toimivien eliittien kohdalla.

Historiikin alussa käsitellään taustaani ja urani varhaisia vaiheita.

Varsinaiset tieteellistekniset läpimurtoni tein myöhemmin oman yritykseni puitteissa ja osin omaan tutkimus- ja tuotekehitystyöhön nojautuen. Nämä liittyvät jääteteknologiaan, teräskuoriteknoologiaan ja erilaisten ympäristövaikutusten panemiseen suhteeseen. Kansainvälisissä projekteissa sain tuntumaa investointiekonomiaan ja projektipolitiikkaan.

Monin tavoin hyödyllisenä infrastruktuuri-investointina esitellään kiinteä yhteys Merenkurkun yli Suomen ja Ruotsin välille.

Historiikin loppupuolella hahmotellaan tietä ulos Suomen kansantalouden ahdingosta. Se alkaa tosiasioiden tunnustamisella. Julkisella sektorilla on liikaa valtaa. Sen päätöksenteko on hidasta ja heikkolaatuista. Tuomioistuimissa oikeuden ja kohtuuden vaakaa on rukattu byrokraattisen valtakoneiston hyväksi. Helsingin mediaeliitti on poliittinen toimija.

Tästä päästään rakenteellisiin uudistusehdotuksiin. Ne ovat nykyseen verrattuna radikaaleja.

## Esipuhe

Joitakin vuosia sitten sain Suomen Rakennusinsinöörien Liiton historyryhmän puheenjohtaja Aarne Jutilalta kirjeen, jossa minulta pyydettiin historiikkia. Otin asian työlliställeni, mutta kirjoittaminen eteni hyvin kitkutellen. Varsinaiset työtehtävät ajoivat edelle. Nyt puolen vuosisadan ammatillisen uran jälkeen historiikki on vihdoinkin valmistunut.

Olen paljon maailmaa nähnyt insinööri. Historiikkiin olen kerännyt urani varrelta keskeisiä tapahtumia ja oivalluksia. Kaikkea en voi kertoa asioiden luottamuksellisen luonteen takia.

Tärkeimmät julkaisuni ovat:

Eranti, E. and Lee, G.C., 1986. Cold Regions Structural Engineering. McGraw-Hill Book Company (529 p).

Eranti, E., 1992. Dynamic ice structure interaction. Theory and applications. VTT Publications 90, Espoo (81 p).

Eranti, E., 2008. Sustainable Development or the Will to Power? The European Union and Finland Pursuing Environmental Policy. Helsinki University of Technology Water Resources Publications 15 (190 pages).

Pan, H. and Eranti, E., 2009. Flow and heat transfer simulations for the design of the Helsinki Vuosaari harbour ice control system. Cold Regions Science and Technology 55 pp. 304 – 310.

Eranti, E., Lehtonen, E. Pukkila, H. and Rantala, L., 2011. A novel offshore windmill foundation for heavy ice conditions. ASME 30<sup>th</sup> International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2011-49663.

Eranti, E. 2023. Sisävesi- ja rannikkorakenteiden jääkuormat. Väyläviraston julkaisuja 86/2023 (80 s + liitteet).

Nämä sekä jääkuormiin sekä teräskuoriteknologiaan liittyvän tutkimus- ja tuotekehitystyön filmikoosteet löytyvät yritykseni verkkosivuilta [www.erantiengineering.fi](http://www.erantiengineering.fi).

Lukuisat ihmiset ovat olleet kanssani vuorovaikutuksessa urani aikana. Oppia on tullut niin hyvässä kuin pahassakin, kiitos kaikille. Historiikkiin on poimittu vain eräitä keskeisiä henkilöitä. Erikseen mainitsen kuitenkin Pietari Visannin, joka on hoitanut tämän julkaisun ja lukemattomien raporttien kuvituksen.

Urani aikana minulle on pikkuhiljaa kirkastunut vallan olemus ja monimuotoisuus.

Kansantaloustieteilijä John Kenneth Galbraithin kirja ”Vallan anatomia” oli avartava kokemus. Sitten olen saanut vaikutteita muun muassa professori Bengt Flyvbjergin, akateemikko Martti Koskenniemen ja journalisti Nick Daviesin ajatuksista. Byrokraattisen vallan räjähdysmäinen kasvu liittyy oleellisesti Suomen tähänhetkisiin ongelmiin.

Historiikin loppuosassa käsittelem kokemukseni pohjalta sitä, mikä Suomessa ja rakentamisessa on vialla. Tämä analyysi huipentuu siihen, mitä mielestäni olisi tehtävä.

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>Tiivistelmä</b>	<b>2</b>
<b>Esipuhe</b>	<b>3</b>
<b>1. Lapsuus ja koulu</b>	<b>6</b>
<b>2. Opiskeluaika Rakennusosastolla</b>	<b>8</b>
<b>3. Rakennesuunnittelijana Juvan toimistossa</b>	<b>11</b>
<b>4. Arktiseen teknologiaan erikoistuminen Yhdysvalloissa</b>	<b>14</b>
<b>5. Finn-Stroi</b>	<b>18</b>
<b>6. Insinööritoimisto Lauri Pitkälä</b>	<b>27</b>
<b>7. Väitöskirja</b>	<b>28</b>
<b>8. Eranti Engineering Oy</b>	<b>33</b>
Liite 8.1 Havaintoja, tutkimuksia, kokeita ja analyysejä.	<b>35</b>
<b>9. Juutinrauman siltahanke</b>	<b>46</b>
<b>10. Siziman</b>	<b>48</b>
Satamasuunnittelu	<b>48</b>
Ongelmia	<b>50</b>
Iso siirto	<b>51</b>
Strateginen oivallus	<b>53</b>
<b>11. Satamien ja kanavien jääkontrolli</b>	<b>54</b>
<b>12. Venäjän pohjoinen hiilivetykehitys</b>	<b>62</b>
Shtokmanin kaasukenttä ja Norsk Hydron Spar-lauttakonsepti	<b>63</b>
Painopiste Obin lahdelle ja Jamalin niemimaalle	<b>66</b>
<b>13. Teräskuoriteknologia</b>	<b>70</b>
<b>14. Merituulivoima</b>	<b>76</b>
Lupaprosessit	<b>76</b>
Hankkeita	<b>77</b>
Tahkoluodon merituulipuisto	<b>78</b>
Merituulivoiman jatkokehittäminen	<b>82</b>
Liite 14.1. Lausunto merituulivoiman rakentamisesta	<b>83</b>
<b>15. Muita projekteja</b>	<b>88</b>
Baffinland Iron Mines ja Malmin laivaussatamat	<b>88</b>
Nordstream kaasuputki	<b>91</b>
Hanhikiven ydinvoimalahanke	<b>94</b>
Liite 15.1 Sen hetkisiin Nordstream hankkeen suunnitelmiin perustuvia ympäristövaikutusten arvioita pantuna suhteeseen siten, että tavallinen ihminen ymmärtää suuruusluokan	<b>96</b>
<b>16. Rakenteiden jääkuormat ja jääsuunnittelu</b>	<b>100</b>
Paikalliset jääolosuhteet	<b>100</b>
Suunnittelutilanteet	<b>108</b>
Merirakenteiden jääkuormat	<b>117</b>
Jääolosuhteet huomioiva rakennesuunnittelu	<b>122</b>
<b>17. Ruoppaus- ja läjitustoiminta</b>	<b>126</b>
Liite 17.1 Naantalın sataman ruoppausmassojen tributyyliinahanke suuruusluokka-analyysi	<b>131</b>
Liite 17.2 Vuosaaren satamahanke oire laajemmasta ongelmasta	<b>136</b>
Liite 17.3 Vallan rakentaminen on Suomen ympäristöpolitiikan keskeinen ulottuvuus	<b>137</b>

<b>18. Ympäristöasiat</b>	<b>142</b>
Ympäristövaikutusmittari	142
Ympäristöpolitiikkatutkimus	144
Skandaalit ja sirpaletieto vallan välineinä	150
Luontokato ja ennallistaminen	152
Ilmastonmuutos	153
Liite 18.1 kirjeenvaihto Helsingin Sanomien kanssa	155
Liite 18.2 Erityisasiantuntijalausunto	156
Liite 18.3. Talvivaaran tarinasta löytyy Suomen kestävyysvajeen syy	160
<b>19. Pienyrittäjä Mäkinen oikeusvaltion syleilyssä</b>	<b>161</b>
Yhteiskunnan tukipilari	161
Mäkisen virhe	161
Aggressiosarja	161
Tekaistut perusteet	161
Oikeusprosessit	162
Ei järjen häivää	162
Miten tämä on selitettävissä?	163
Tuomion seuraukset	165
Oikeudellisia ongelmia	165
Media	166
Mäkinen	166
Liite 19.1 TkT Esa Erannin valaehdotus todistus 7.10.2020	167
<b>20. Suomen liikennepolitiikka ja Merenkurkun kiinteä yhteys</b>	<b>187</b>
Merenkurkun kiinteä yhteys	187
Mikä raidehankkeissa julkista sektoria oikein kiehtoo?	190
Liite 20.1 Antti Talvitie/ Esa Eranti: Suomi tarvitsee luovaa tuhoa	192
Liite 20.2 Merenkurkun kiinteä yhteys ja Nordic Connector	194
<b>21. Suomi oppoaa – miksi?</b>	<b>214</b>
Ongelmalla on kaksi ydintä	215
Euroopan unioni	216
Ympäristöhallinto	217
Rakentaminen	221
Valtion instituutit ja asiantuntijainstituutit	223
Oikeusjärjestelmämme ongelmia	225
Neljäs valtiomahti	226
Hallintoalamaisen osa	228
<b>22. Onko mitään tehtävissä</b>	<b>229</b>
Kaikki viisautta lähtee tosiasioiden tunnustamisesta	229
Euroopan unioni	229
Suomen julkishallinto	230
Oikeusjärjestelmä	232
Ympäristöhallinto	234
Rakentaminen	235
Valtamedia	236
Voittaako pimeys vai nouseeko aurinko?	236

### 3. Rakennesuunnittelijana Juvan toimistossa

70-luvun puoliväli oli kiireistä aikaa rakennusalalla. Minut rekrytoitiin koulun penkiltä Insinööritoimisto Erkki Juvan rakennesuunnittelijaksi 1974. Suomen perusteellisuutta rakennettiin pystyyn ja töitä tehtiin välillä yötä myöten. Ensimmäinen aamuvirkku saattoi ilmestyä työpaikalle ennen kuin viimeinen lopetti työt.

Suunnittelukohteita olivat mm. Tornion jaloterästehdas, Kaarinan vesitorni ja Kaukomarkkinoiden kemikaalivarasto Haminassa. Paasivaaran margariinitehtaan laajenuksessa Helsingissä toimin valvojana. Vesitornien suunnittelua käsittelevä diplomityöni valmistui vuonna 1976.



*Kaarinan vesitornityömaalla tulevan vaimoni kanssa. Leena (os. Viitanen) on työskennellyt juristina muun muassa tuomioistuimissa, Merentutkimuslaitoksessa ja rakennustuoteteollisuuden edunvalvonnassa. Vuosikymmenten varrella olemme tarjonneet toinen toisillemme arvokasta ammatillista tukea.*

Tein vaativia rakennesuunnittelutöitä kovin kokemattomana ja kovan paineen alla. Tukea tuli kuitenkin tarvittaessa. Erityisen arvokkaaksi koin DI Esko Savolaisen tutoroinnin. Raskaiden teollisuusrakenteiden ja erikoisrakenteiden suunnittelukokemus on ollut arvokasta myöhemmällä urallani.

Valmistumisen jälkeen pääsin myös jäätötekniikan pariin. Tein sarjan dynaamisia jääkuormakokeita TKK:n Rakennetekniikan laboratoriossa. Tie- ja vesirakennushallitus (TVH) toimitti koekappaleet luonnosta laboratorioon. Samaan aikaan laadin TVH:lle laajan raportin ”Rakenteiden jääkuormat ja jään kantokyky”. Maailmalta kerätty tieto yhdistyi konkreettisiin mittauksiin ja havaintoihin.

Ohjaamani Maunu Penttisen diplomityön puitteissa käytiin ensi kertaa kunnolla käsiksi Suomen satamien ja Saimaan kanavan jääongelmiin ja jääkontrollitekniikoihin.



*Esko Savolainen (keskellä) Juvan pikkujouluissa.*



*Jään kuormituskokeita TKK:n rakennetekniikan laboratoriossa vuonna 1978.*

#### 4. Arktiseen teknologian erikoistuminen Yhdysvalloissa

Vuonna 1979 sain Asla-Fulbright stipendin Yhdysvaltoihin tarkoituksena erikoistua arktiseen rakennusteknologiaan. Aihe oli Pohjois-Amerikassa varsin ajankohtainen Prudhoe Bayn öljykentän kehityksen ja Beaufortinmeren öljynetsinnän vuoksi.

Ajattelin ensin kohteeksi Alaskan yliopistoa Fairbanksissä. Anoppini näki elokuvan ”Alaska, jäinen helvetti” ja ilmoitti, ettei hänen tyttärensä sinne lähde. Vaimoni taas halusi Kaliforniaan, mutta tämä vaihtoehto ei oikein tuntunut uskottavalta. Siispä valitsimme tarjolla olevista kohteista State University of New York at Buffalon.

Ratkaisu osoittautui erinomaiseksi. Yliopiston Civil Engineering osasto oli rankattu kahdenkymmenen parhaan joukkoon Yhdysvalloissa. Osaston johtajaksi osoittautui legendaarinen suomalainen liikenneprofessori Antti Talvitie, josta tuli perheystävä.

Kaiken kukkuraksi yliopiston insinööritiedekunnan dekaani, professori George C. Lee ryhtyi sponsorikseni ja järjesti minulle yhteistyömahdollisuuden New Hampshiressa sijaitsevan US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratoryn (CRREL) kanssa. US Army hoitaa Yhdysvalloissa saman kaltaisia, mutta laajempia tehtäviä kuin Väylävirasto Suomessa. CRREL on sen kylmien alueiden kysymyksien asiantuntijayksikkö.

Aluksi oli kuitenkin selvittävä perusopinnoista. Tahti oli armoton. Jos et pysynyt tahdissa tai saanut riittävän hyviä arvosanoja, edessä oli erottaminen. Toisaalta ainakin minun kohdalleni sattuneet opettajat olivat vahvasti asialleen omistautuneita ja loistavia luennoitsijoita.

Muistan elävästi, kuinka kysyin professori Charlie Vogelien rakenteiden dynamiikka käsittelevällä luentosarjalla asiaa, jota en ymmärtänyt. Charlie vastasi. Luennon päätyttyä Charlie ilmestyi toimistooni ja arveli, etten ymmärtänyt vastausta. Hän kävi kynän kanssa asian uudelleen läpi. Jo aukesi!

Jo opintojen aikana ja erityisesti niiden jälkeen tutkin jään ja rakenteiden välistä vuorovaikutusta ja laajemmin kylmien alueiden rakennustekniikkaa. Yhteistyö CRREL:in tutkijoiden kanssa oli tiivistä ja heidän tukensa arvokasta. Tuloksena oli useita julkaisuja. Kanssakäyminen jatkui myös jälkepäin, tohtori Dev Sodhin ja johtaja Al Wuoren kanssa jopa yli kolmen vuosikymmenen ajan.

Työ Buffalon yliopistossa jatkui sivutoimisena Research Associatena ollessani päätoimisesti Finn-Stroin arktisen tekniikan asiantuntija. Se huipentui McGraw-Hillin vuonna 1986 julkaisemaan kirjaan ”Cold Regions Structural Engineering”, jonka kirjoitin yhdessä professori George C. Leen kanssa.



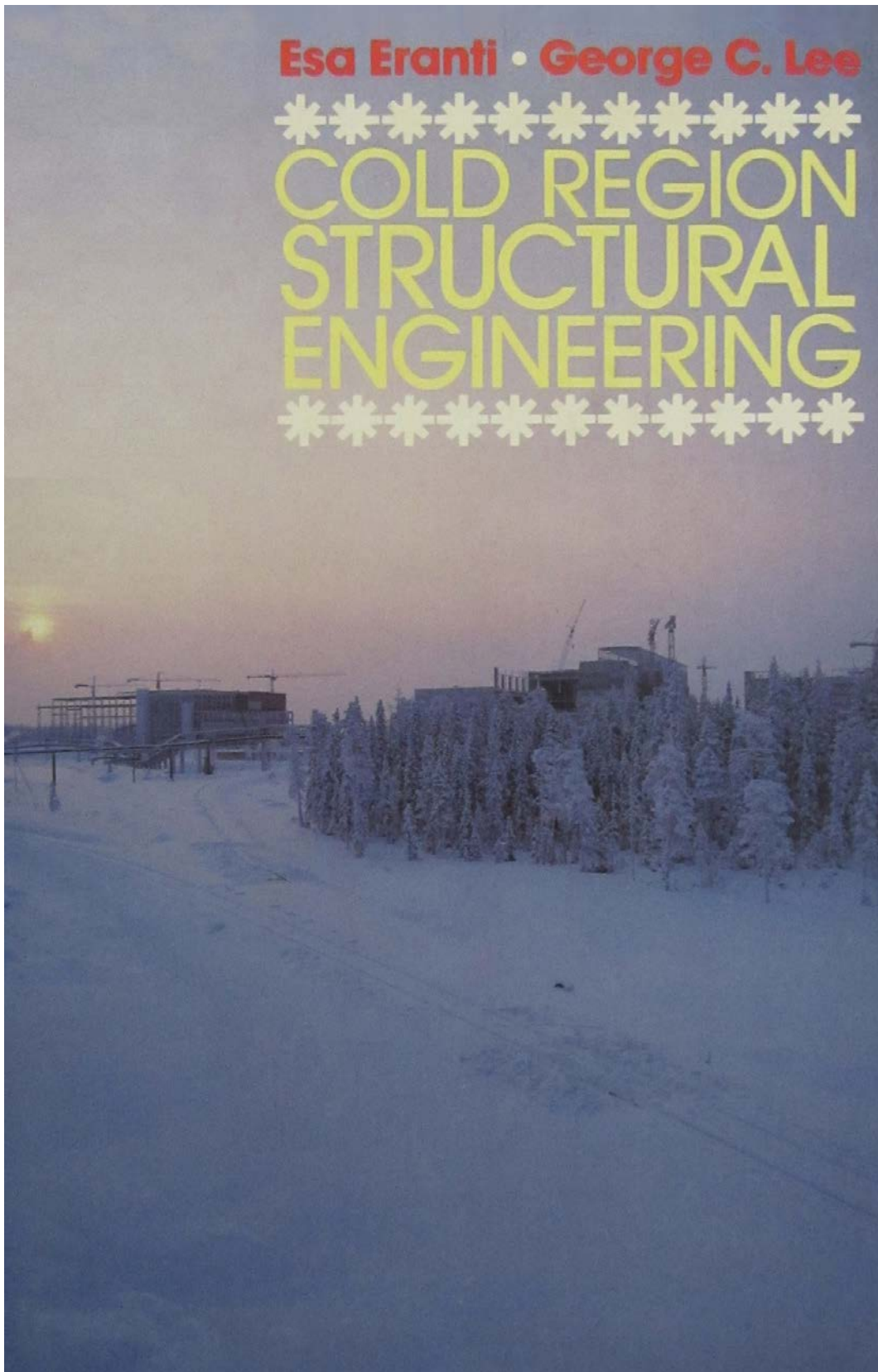
*Valmistujaisjuhlat opiskelija-asunnossani Buffalossa. George C. Lee on tummatukkainen herra vaaleassa takissa ja Antti Talvitie punaisessa tuolissa hänen vieressään.*



*Showtapahtuma ikeroutakonferenssissa Alaskassa vuonna 1983. Kuvassa johtaja Al Wuori CRREL:stä.*



*Jään ja rakenteen dynaamista vuorovaikutusta mittaava mallikoe CRELL:in jäätankissa. Kuvassa laboratorioinsinööri Don Haynes.*



*Kirja Cold Region Structural Engineering sisälsi luvut kylmien alueiden ympäristöstä ja kehityksestä, lumi- ja jäätymisongelmista, jääongelmista, roudasta, rakennusmateriaaleista, muista suunnittelunäkökohdista, kylmien alueiden rakennustekniikoista ja rakennusprojekteista kylmillä alueilla. McGraw-Hill Book Company julkaisi kirjan vuonna 1986.*

## 5. Finn-Stroi

Finn-Stroi oli Suomen rakennusteollisuuden yhteisyritys Neuvostoliiton suuria rakennusprojekteja varten. Olin jo tehnyt yritykselle rakennesuunnitelmia muun muassa Kostamus-projektia varten, mutta varsinainen kontakti yrityksen päättäjiin tapahtui Insinööritoimisto Erkki Juvan järjestämässä arktisen rakentamisen seminaarissa, jossa esiinnyin Amerikasta hankituin tuorein tiedoin.

1980-luvun alussa Finn-Stroissa ajateltiin, että Neuvostoliiton arktisen mannerjalustan hiilivetyvarojen hyödyntämisestä tulisi sen seuraava suuri tehtävä Kostamuksen kaivoskombinaatin rakentamisen jälkeen. Minut rekrytoitiin Finn-Stroin liiketoimintojen kehitysyksikköön arktisen tekniikan asiantuntijaksi vuonna 1981.

Yksikön päällikkö, Wärtsilä-taustainen laivanrakennusinsinööri Reino Pentikäinen toi toimintaan vahvan kansainvälisen leiman. Tietoa oli Pohjois-Amerikasta, jossa Beaufort-meren öljynporaukset olivat edenneet ja arktisen merirakentamisen ongelmatiikkaa oli selvitetty isolla rahalla. Tietotaitoa, jonka varaan saattoi rakentaa, oli myös Neuvostoliitossa ja Suomessa.

TEKES:in arktisen teknologian teknologiahanke tarjosi puitteet omalle tutkimukselle ja tuotekehitykselle. Olin hankkeen rakennusteknologiaa koskeva osan pääarkkitehti. Ideana oli tunnistaa jäätyvien merialueiden poraus- ja tuotantotasanteiden suunnittelun avainkysymyksiä ja tehdä näiden suhteen suoraan asian ytimeen iskevä läpimurto.

TEKESin teknologiaohjelman tulokset on summattu yhdessä laivanrakennusteollisuutta edustaneen professori Ernst Enkvistin kanssa kokoamassamme raportissa ”Development of Arctic Offshore Technology”. Omalta osaltani keskeisiä tutkimuskohteita olivat betonin kulutuskestävyys dynaamisten jääkuormien alaisena, jäävallin kolin lujuus sekä jään ja rakenteen välinen dynaaminen vuorovaikutus. Viimeksi mainitun tutkimuksen tuloksia hyödynsin myöhemmin väitöskirjassani.

Tutkimus- ja kehitystyö TEKESin teknologiaohjelman puitteissa ei ollut kaikilta osin ongelmatonta. Esimerkiksi sopii vaikkapa kallis tutkimusprojekti betonin kestävydestä arktisissa merirakenteissa. Sen ainutlaatuinen osa oli jäänmurtajan keulaan kiinnitettyjen koekappaleiden kulumisen täysmittakaavakoikeissa. Projektin käynnistyttyä tutkijat rupesivat kuitenkin tekemään omia jo tuttuja asioitaan. Nämä eivät olleet tutkimuksen tavoitteiden kannalta kaikilta osin relevantteja.

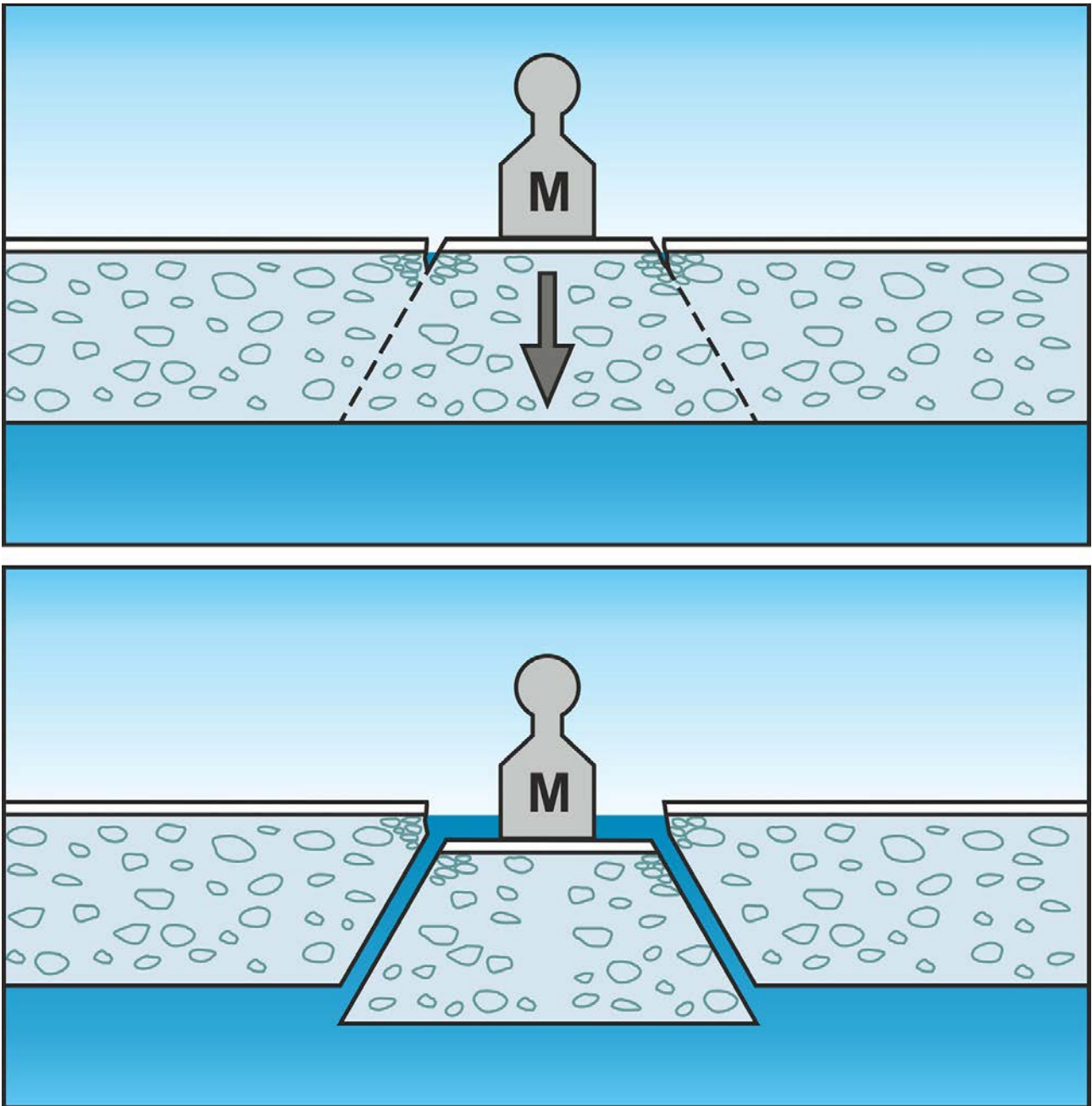
Tutkimuksessa selvisi, että ensi vaiheessa betonipinta siliää jään kulutuksen vaikutuksesta ja vasta toisessa vaiheessa alkoi varsinainen kulumisprosessi. Osa koekappaleista kuitenkin hajosi ryskytyksessä syistä, jotka eivät liittyneet betonin kulumiseen. Toisen iteraatiokierroksen koesarjaan ei ollut enää rahaa.

Tutkimuksessa ei myöskään haluttu ymmärtää, että kapeaan koekappaleeseen liittyvät kulutusrasitukset ovat suurempia kuin leveään rakenteeseen kohdistuvat kulutusrasitukset. Lisäksi rakenteen elinaikana kokema kulutusrasitus on laskettavissa (pienen jäälauttojen törmäyksiin ei liity jatkuvaa murtumaa eikä siten myöskään kulutusrasitusta). Kun tutkimuksen yksioikoinen lopputulos oli olennaiselta osin virheellinen, siitä saatu hyöty jäi tutkimuksen tavoitteen kannalta kyseenalaiseksi.

TEKESin tutkimusprojekteja on vaivannut jo vuosikymmenten ajan ristiriita tutkijoiden omien tavoitteiden ja rahoittajista koostuvan johtoryhmän tavoitteiden välillä. Tutkimuslaitos ja tutkijat haluavat toteuttaa omia tavoitteitaan, mutta tutkimusohjelman orjallinen noudattaminen johtaa usein nollassa tutkimukseen. Jos halutaan todellisia läpimurtoja, johtoryhmän ja tutkimusryhmän pitäisi päästä aitoon vuorovaikutukseen. Tutkimuksen painopistettä on voitava muuttaa oivallusten myötä.



*Betonin kulutuskestävyyttä tutkittiin ajamalla jäänmurtajan keulaan kiinnitetyjä koekappaleita jääkenttien läpi. Samalla saatiin täysmittakaavatietoa jään murskauslujuudesta rakennetta vasten.*

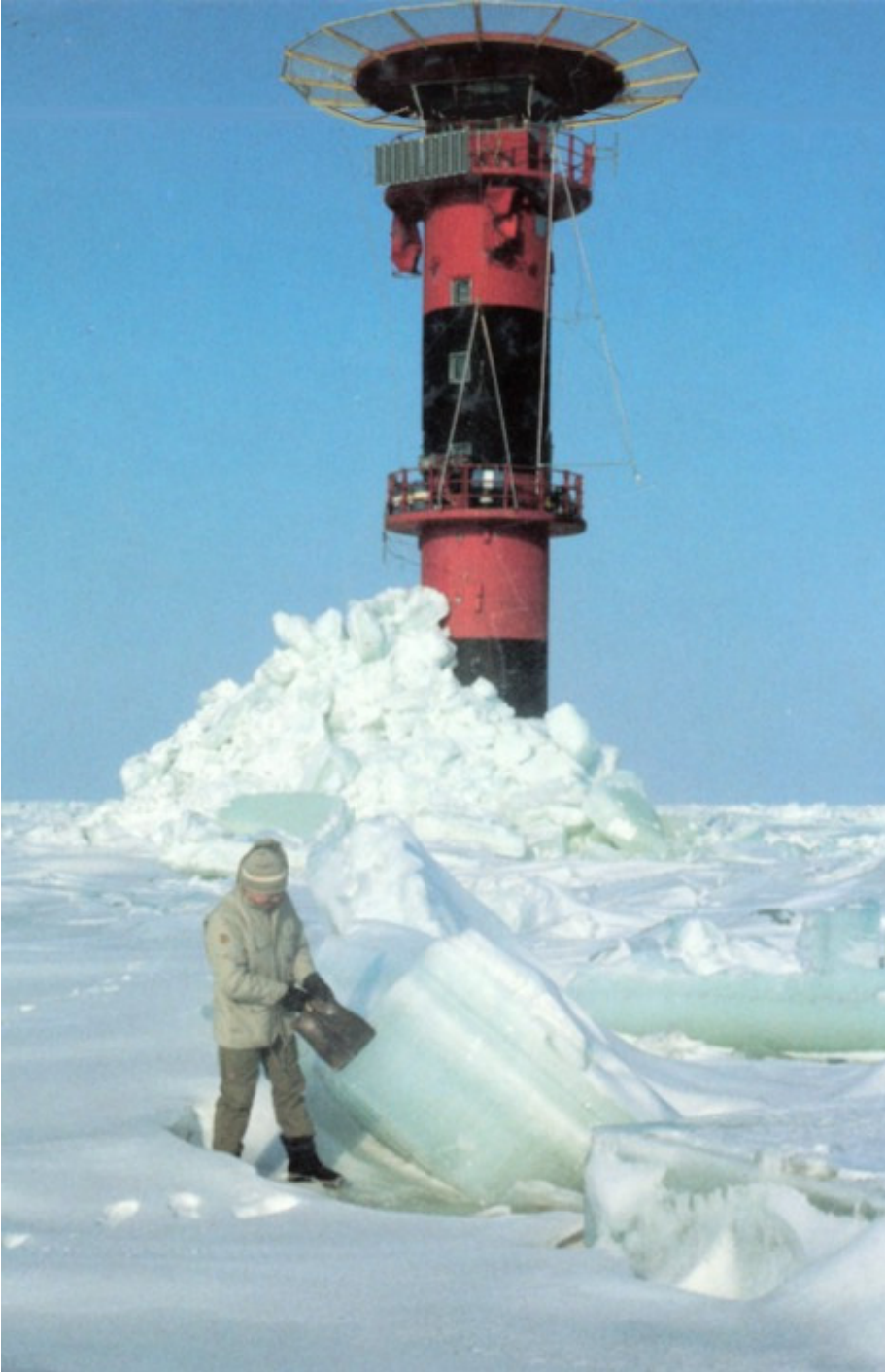


*Jäävallin kölin lujuuden mittauksen periaate. Ensimmäiset tämän kaltaiset kokeet tehtiin TEKESin teknologiaohjelman puitteissa Perämerellä talvella 1987. Sitten vastaavia kokeita on tehty muun muassa hydraulisten tunkkien avulla Suomen lisäksi Kanadassa ja Venäjällä.*



*Jään ja rakenteen dynaamisen vuorovaikutuksen tutkimista VTT:n jäätankissa. Olennaista tutkimuksessa oli oikean jään (ei mallijään) käyttö sekä värähtelevän kappaleen ominaisuuksien variointi.*

Merirakenteiden suunnittelun kannalta tärkeäksi osoittautui myös kenttätutkimus, jossa jääkuormia mitattiin Kemi 1 majakan ympärille rakennetusta kartiorakenteesta. Tämä Oulun yliopiston professori Mauri Määttäsen johtama tutkimus oli monessa suhteessa onnekas. Saatiin kova jäätalvi ja lisäksi talvimyrsky, joka pani paksut jäät liikkeelle. Kartiosta mitattiin tasojaan aiheuttamia kuormia, vallikuormia ja jään liikkeellelähtökuormia. Siis paljon arvokasta täysmittakaavatietoa jääkuormista. Tälle ainutlaatuiselle tiedolle on löytynyt käyttöä vuosikymmenten ajan.



*Jäät ovat kasautuneet Kemi 1 majakan jalustan päälle ja nousset jääkuormien mittauskartiota pitkin korkeuksiin dynaamisessa vallikuormitustilanteessa, joka on kuvassa pysähtynyt.*

Neuvostoliiton tarpeita kartoitettiin varsinkin aluksi Suomen ja Neuvostoliiton välisen tieteellisteknisen yhteistyön kautta. Arktisen tekniikan TT-työryhmän työ oli osittain akateemista, mutta sitä kautta saatiin myös kontakteja asiakasorganisaatioihin ja tietoa esiintymistä.

Olin TT-yhteistyön puitteissa kuukauden Neuvostoliiton kaasuteollisuusministeriön asiantuntijavieraana Moskovassa, Pietarissa ja Bakussa vuonna 1983. Tähän matkaan liittyi paitsi monenlaista teknistä vuorovaikutusta, myös tärkeä oivallus.

Bakussa vierailin vaatimattomassa laboratoriossa, jossa tutkittiin korroosiota. Isäntä kertoi yleensä, että heidän tärkein työnsä oli laatia normatiivisia dokumentteja. Jäin ihmettelemään, miten syvällisellä käytännön asiantuntemuksella näitä dokumentteja laadittiin. Sittemmin olen havainnut, että myös länsimaissa määräysten ja normien taso on vähintäänkin kirjava.

Neuvostoliiton pohjoisen mannerjalustan olosuhteet ja kenttäkehitystarpeet alkoivat yhteistyön myötä hahmottua. Aluksi kehiteltiin koetasannetta muun muassa jääkuormien mittaamiseksi, mutta kun hinta selvisi, kohde muuttui nopeasti instrumentoiduksi poraustasanteeksi. Perustettiin Arctic Construction Group (ACG), jossa Finn-Stroi, Lohja ja Partek yhdistivät voimansa teräsbetonisten poraustasanteiden kehittämiseksi.

Kovaa tietotaitoa ostettiin Canmarilta, joka oli operoinut aggressiivisesti Beaufort-meren Kanadan puoleisella osalla. Pohjanmeren ja Alaskan hiilivetykehitystä tutkittiin. Alan konferensseissa verkostoiduttiin. Tasanteiden rakennesuunnittelijaksi valikoitui kanadalainen suunnittelutoimisto Swan Wooster. Syntyi etsintä- ja varhaistuotantotasanteen suunnitelma Pechoran meren olosuhteisiin.



*Esimieheni Reino Pentikäinen (vasemmalla), TT-komitean pääsihteeri Antero Inkari ja VNIPImorneftegazin DA Mirzoev TT-kokouksen jälkeisellä vastaanotolla. Mirzoevin kanssa syntyi luottamuksellinen suhde. Jäähän ja tasanteisiin liittyvä tieteellistekninen vuorovaikutus oli laajaa.*



*Pienoismalli varsin pitkälle suunnitellusta ACG:n teräsbetonisesta poraustasanteesta, johon kuului myös jäähän ja geotekniikkaan liittyvät monitorointijärjestelmä.*



*Väkeä ACG:n Symposiumissa Moskovassa 1984. Kaksipäiväisen symposiumin aiheena oli "Pohjoisen mannerjalustan öljy- ja kaasuvarojen hyödyntäminen".*



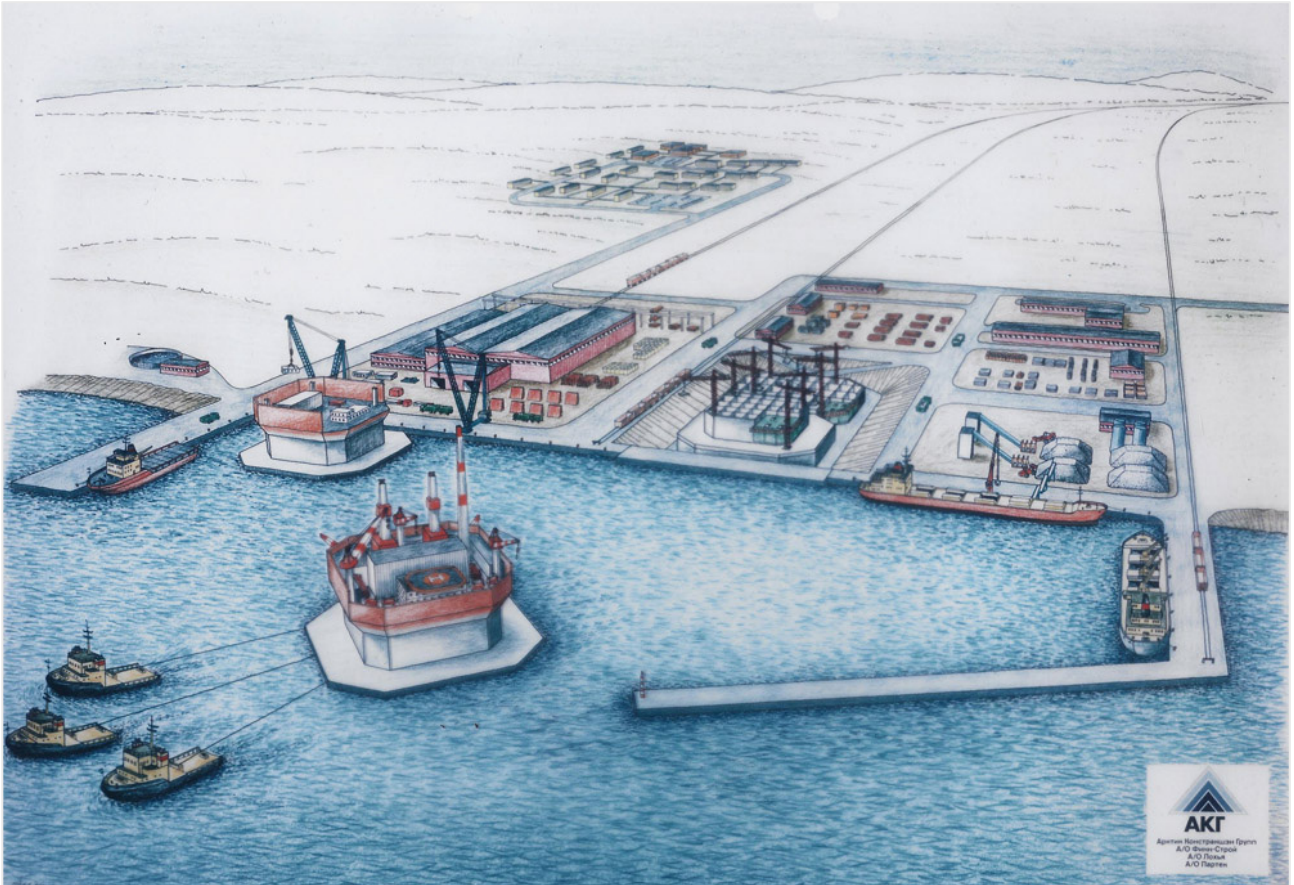
*Arktiseen teknologiaan ja tähän liittyviin liiketoimintamahdollisuuksiin kohdistui laaja kansainvälinen mielenkiinto 80-luvulla. Tässä Suomen ja Länsi-Saksan myyntitykit, professorit Pauli Jumppanen (vasemmalla) ja Joakim Schwarz kilvoittelevat konferenssis sihteeri U. Behrendin huomiosta. Tilaisuus on konferenssin Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC 85) juhlaillallinen, ja paikka Nassarssuaq Grönlannissa.*

Kun Neuvostoliitosta saatiin viesti, että tie Barentsin merelle käy Ohotan meren kautta, kehitettiin Ohotan merelle ensin tuotantotasannekonsepteja eri vesisyvyyksiin ja sen jälkeen vielä tuotantotasanteiden valmistustelakkakonsepti. Tässä vaiheessa mukaan tulivat prosessiosaamisineen myös Taylor Woodrow ja Mitsui.

Neuvostoliiton resurssit eivät lopulta riittäneet arktisen mannerjalustansa hiilivetyvarojen hyödyntämiseen. Suunnitelmatalous sortui ja Neuvostoliitto hajosi. Finn-Stroin kannalta se merkitsi arktisen kehitystyön loppua ja koko yrityksen kuihtumista.

Jäljelle jäi kuitenkin merirakentamisen ja jääteknologian osaamista. Finn-Stroi jätti käyttööni arktista merirakentamista koskevan arkistonsa. Tälle on myöhemmin löytynyt käyttöä monessa yhteydessä. Se on antanut myös pohjaa jatkokehitystyölle.

Tasanteita ja tasannetelakkaa koskevasta työstä ja tietotaidosta oli hyötyä myös Finn-Stroin ex-johtaja Lasse Alanteelle ja Quattrogeminille, kun yritys myi tasannetelakan ja kahden tasanteen rakennusprojektin Ohotan meren tarpeisiin. Työ ajoittui vuosille 2003–05 ja nyt asiakkaana oli Shell. Työ olisi voinut mennä paremminkin, jos hankittu tietotaito olisi hyödynnetty täysimääräisesti.



*Taiteilijan näkemys tuotantotasannetelakasta Ohotan meren tarpeisiin.*

## 6. Insinööritoimisto Lauri Pitkälä

Finn-Stroista siirryin vesirakenteiden suunnittelijaksi Lauri Pitkälän toimistoon 1989. Toimisto oli modernin vesirakennesuunnittelun (satamarakenteet, merirakenteet, väylät, sulut, telakat jne.) uranuurtaja Suomessa. Toimiston työ oli konkreettista ja tehokasta. Oppia tuli paljon.

Pitkälän työjaksoa häiritsi ottamani virkavapaa väitöskirjan tekemistä varten. Idean olin kehittänyt jo Finn-Stroissa, rahoitus oli järjestynyt ja kokeet olivat käynnistymässä, joten tilaisuuteen piti tarttua.

Pitkälän toimistossa tein pääosin satama- ja kanavarakennesuunnittelua, mutta mukana oli myös arktiseen hiilivetykehitykseen liittyneitä toimeksiantoja.

Toimistossa työskennellessäni sai alkunsa kolme projektia, joilla oli myöhemmin suuri merkitys myöhemmän urani kannalta: Jääekspertin tehtävät Juutinrauman siltahankkeessa, Sizimanin puutavarasataman suunnittelu ja Tornion Röyttän sataman jääkontrollisysteemin suunnittelu.

Lauri Pitkälä siirtyi syrjään toimiston vetäjän roolista vuonna 1993. Hänen ehdotuksestaan perustin tuolloin Eranti Engineering Oy:n. Ratkaisu oli hyvä, koska tehokkaaksi rutiinisuunnittelijaksi ei minusta olisi ollut.



*Outokummun Röyttän sataman jääkontrollisysteemi nyt jo toiminnassa talvella 1995. Satama-altaan perälle purettiin lämmintä prosessivettä 14 MW:n teholla. Se ohjattiin pintavirrankehittäjillä laiturin suunnassa satama-altaaseen. Vaikutukset ulottuivat pitkälle keventäen jäätilanetta koko satama-altaassa.*

## 7. Väitöskirja

Väitöstyötäni aloittaessani olin jo kahden vuosikymmenen aikana perehtynyt dynaamisiin jääkuormiin liittyvään kirjallisuuteen, tehnyt kokeita, kehittänyt jään ja rakenteen välistä dynaamista vuorovaikutusmallia, laatinut aiheesta julkaisuja ja soveltanut oppimaani monien vesirakenteiden suunnitteluun.

Tilaisuus seuraavaan edistysaskeleeseen tuli TEKES:in arktisen teknologian teknologiahankkeen yhteydessä. Hankkeessa tutkittiin myös kiinteiden rakenteiden jääkuormia. Jään ja rakenteen välistä dynaamista vuorovaikutusta tutkineen hankkeen suunnittelu tapahtui ollessani Finn-Stroilla ja toteutus ollessani Suomen Akatemian palveluksessa sijoituspaikkanani VTT:n Rakennetekniikan laboratorio.

Kehitin vyöhykkeiseen jään murtumiseen perustuvan mallin jään ja rakenteen välisen dynaamisen vuorovaikutuksen analysoimiseksi. TKT Tuomo Kärnä koodasi mallin ja VTT:n Rakennetekniikan laboratorio teki oikean jään käyttöön soveltuvan koejärjestelyn jäätankkiinsa. Mallin parametreja hienosäädettiin vertaamalla koetuloksia ja simulaatiolaskelmiin. Mallin avulla laskettiin myös täysmittakaavarakenteiden jääkuormia ja tuloksia vertailtiin mittauksiin ja havaintoihin.

TKK:n laivanrakennustekniikan laboratorio liittyi projektiin sen alkuvaiheessa tutkimaan jään ja rakenteen välistä kosketusta ja paikallisia jääkuormia. Kahden tutkimushankkeen välillä oli synergiaa.

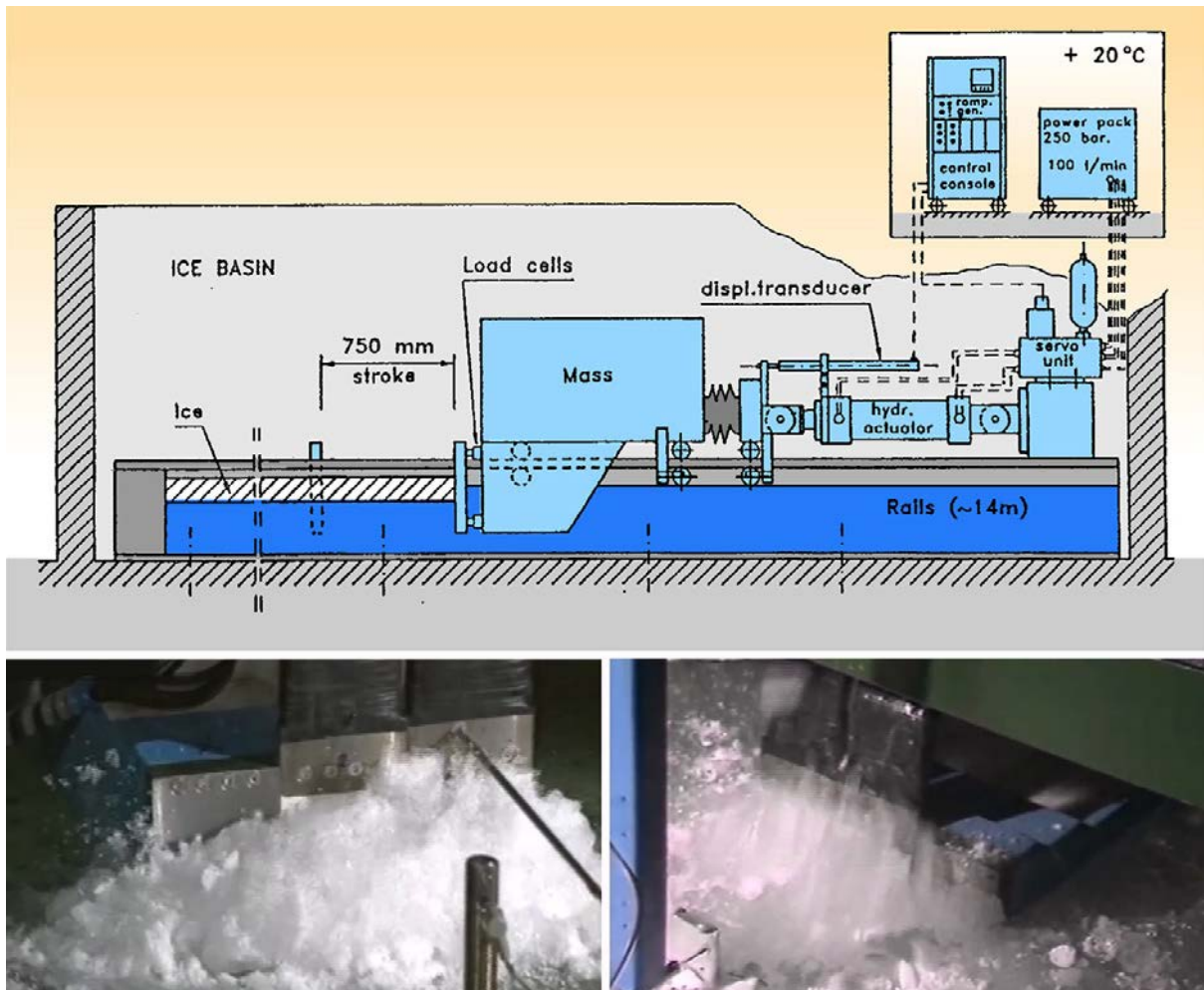
Väitöstyö valmistui vuonna 1992. Sen johtopäätöksiä olivat:

- Rakenteen jääkuorma ei ole ennalta määrätty luku tai sahalaitakuvio, vaan se riippuu jään ja rakenteen välisestä dynaamisesta vuorovaikutuksesta;
- Kun rakenne värähtelee, jään murtovyöhykkeet toimivat lähes samassa vaiheessa.
- Kun rakenne värähtelee, sen tunkeutumisenopeus jäähän pienenee, mikä lisää jäävyöhykkeen lujutta.
- Suurimmat nimelliset tasojäakuormat liittyvät joustaviin pystyseinäisiin rakenteisiin;
- Jääkuormaa voidaan pienentää muun muassa kallistamalla sitä jään kontaktialueella ja lisäämällä sen jäykkyyttä.

Mallia on sittemmin käytetty useiden merirakenteiden, mm. Juutinrauman sillan pylonien, merituulivoimaloiden perustusten ja öljynporaustasanteiden kelpoisuusselvityksiin ja suunnitteluun.

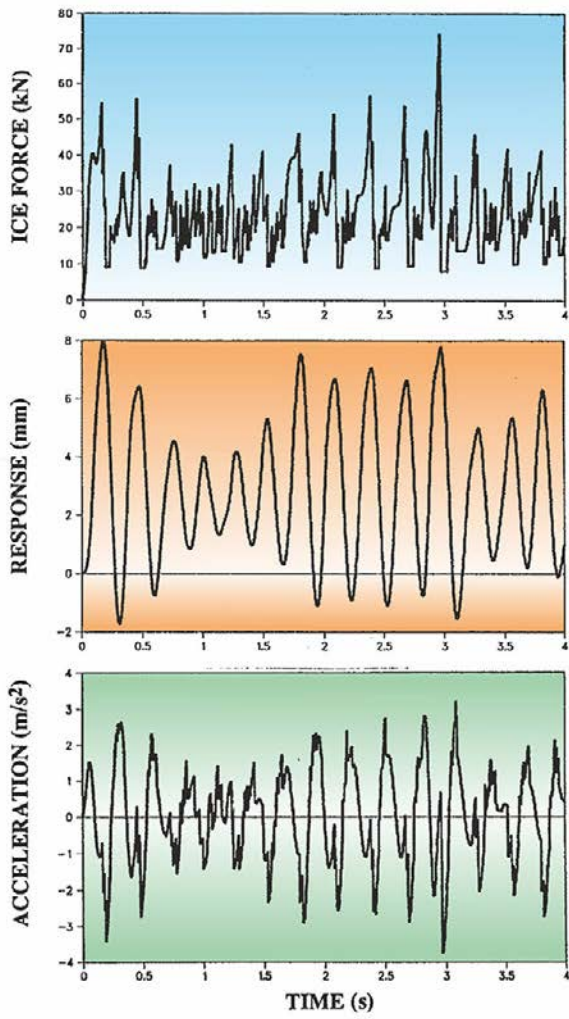
Jälkikäteen ajatellen leveän rakenteen murtovyöhykkeet eivät ole yhtä lujia kuin kapean rakenteen, jos rakenne on pystysuora tai lähes pystysuora. Syynä on halkeilun lisäksi murtovyöhykkeiden vähäisempi poikittaispuristus (confinement). Malli antaa siis leveille jään vaikutusvyöhykkeestä pystysuorille rakenteille turhan konservatiivisia kuorma-arvoja.

Leveätkin pystyseinäiset rakenteet ovat kuitenkin värähdelleen Beaufortinmerellä ja Ohotanmerellä pelottavassa mitassa. Rakenteita on jouduttu suojaamaan tai modifioimaan. Ilmiö on siis syytä ottaa vakavasti.

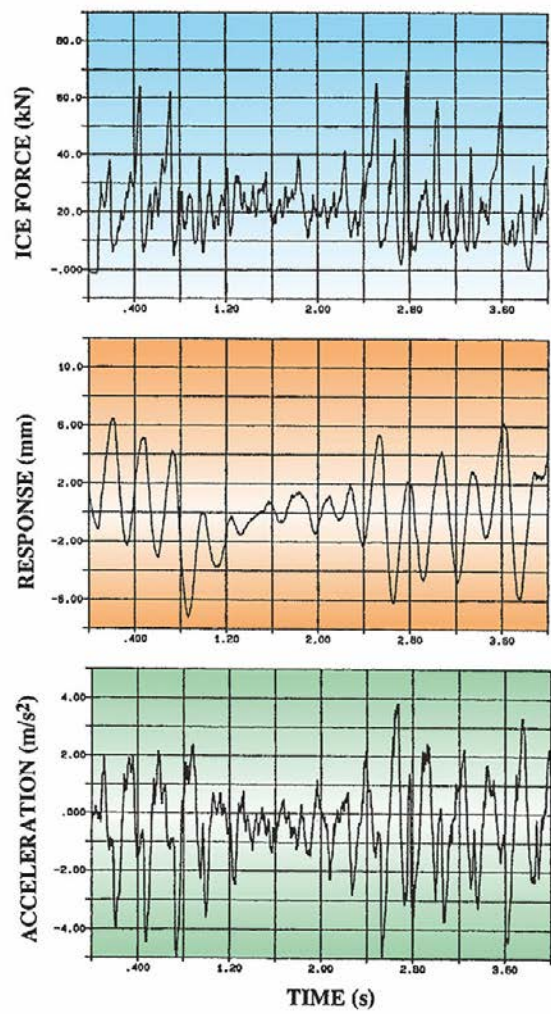


*Koejärjestely VTT:n jäätankissa.*

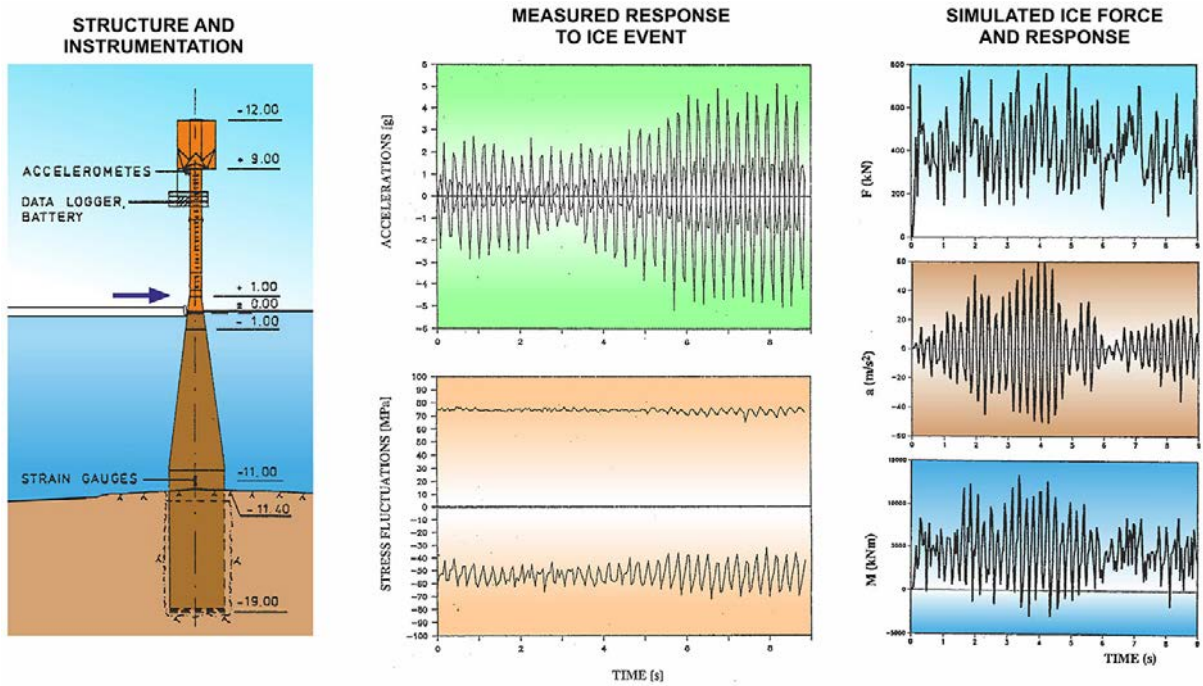
## SIMULATED TEST RESULT



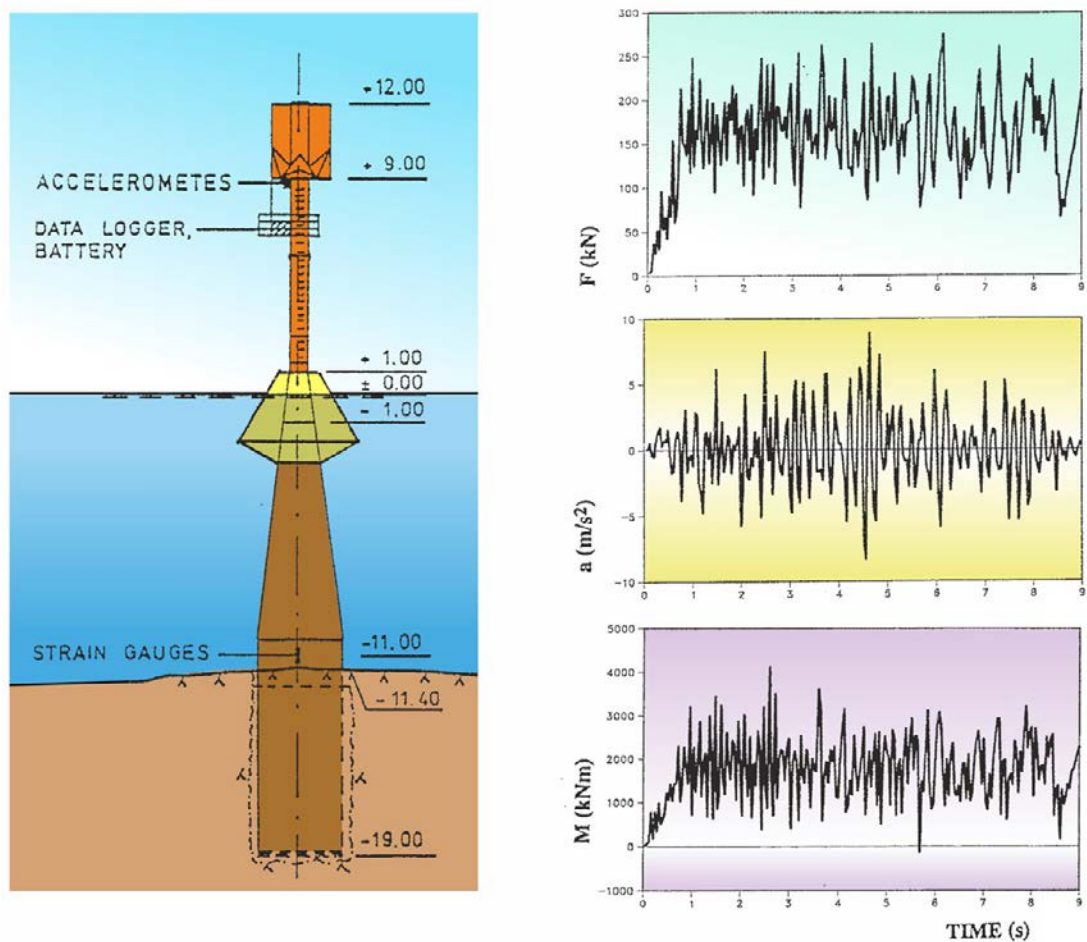
## MEASURED TEST RESULT



*Mitatun ja kehitetyn mallin avulla lasketun jääkuorman ja rakenteen vasteen vertailu.*



Reunamerkestä KR11 mitattu (vasemmalla) ja mallin avulla laskettu (keskellä) jääkuorma ja vaste. Kiihtyvyyden  $g$  on  $9.81 \text{ m/s}^2$ .



Kartion avulla voidaan pienentää tasojäätökuormia ja erityisesti rakenteen vastetta ratkaisevasti. Esimerkki reunamerkestä KR11.

Väitöskirjan tekoon liittyi mielenkiintoinen ja dramaattinen episodi. Kun työni Finn-Stroilla loppui, TKK:n Laivanrakennustekniikan laboratorio yritti pullauttaa minut projektista ulos ja kyseenalaistaa oikeuteni käyttää sen tutkimustuloksia. VTT:n Rakennetekniikan laboratorion johtaja Asko Sarja, Finn-Stroin toimitusjohtaja Christian Lax ja työni ohjaaja professori Martti Mikkola asettuivat kuitenkin eri tavoin tuekseni.

Väitöstyön vastaväittäjät hankittiin ulkomailta (Bill Sackinger ja Lennart Fransson). Kun väitöstilaisuuden kysymysosuudessa oikeuteni tutkimustulosten julkaisemiseen yritettiin vielä kyseenalaistaa, luin oheisen Christian Laxin allekirjoittaman kirjeen. Väitöstilaisuus päättyi siihen.



CLx/eis

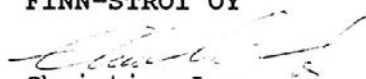
#### OIKEUKSIEN SIIRTO

Finn-Stroi Oy on osallistunut vuonna 1988 käynnistettyyn tutkimusprojektiin "Jään ja leveäuumaisen offshorerakenteen välinen dynaaminen vuorovaikutus" ja saanut näin oikeudet mm. tutkimustuloksiin. Koska Finn-Stroi ei nykyisissä olosuhteissa kykene tietoja hyödyntämään, siirtää Finn-Stroi Oy kaikki oikeutensa osallistua edelleen tutkimustyöhön sekä saada haltuunsa, käyttää ja julkaista kyseisen projektin tuloksia Esa Erannille, joka toimiessaan Finn-Stroi Oy:ssä osallistui projektin suunnitteluun ja toteutukseen ja on sen jälkeen osallistunut projektin toteutukseen itsehankkimallaan rahoituksella.

Finn-Stroi Oy luopuu oikeudestaan turvatakseen tehdyn työn täysimittaisen hyödyntämisen kansallisen tiede-edun nimissä.

Espoossa 18. pñä marraskuuta 1991

FINN-STROI OY

  
Christian Lax  
toimitusjohtaja

*Finn-Stroin toimitusjohtaja Laxin kirje.*

## 8. Eranti Engineering Oy

On olemassa kolmen tyyppistä insinööritoimintaa:

1. ”Boss knows best”;
2. Normeihin ja vakiintuneisiin ratkaisuihin perustuvaa insinööritoimintaa;
3. Asioiden syvällisestä ymmärtämisestä lähtevä ”Value Engineering”.

Pahimmillaan ”Boss knows best” insinööritoiminta on tekemistä kommentoimatta ja seurauksista välittämättä. Lievempi versio tästä on asioiden tahallinen manipulointi tai vääristely, jotta tulos saadaan vastaamaan asiakkaan tai poliitikon tavoitteita. Valta liittyy yleensä aina jollakin tavalla tällaiseen toimintaan.

Normeihin ja vakiintuneisiin ratkaisuihin pohjautuva insinööritoiminta on sitä, mitä valtaosa insinööreistä tekee. Se kuitenkin kangistaa. Uusia ylhäältä annettuja määräyksiä, normeja, standardeja ja ohjeita tulee jatkuvalla syötöllä. Näihin ei yleensä ole liittynyt minkäänlaista hyötykustannus analyysiä. Taso on kirjava. Seurauksena on usein tarpeettoman kalliita ratkaisuja.

Arktisessa meri- ja rantarakentamisessa on ollut tilaa kehitystoiminnalle ja oman järjen käyttämiselle. Olosuhteet ovat usein hankalat. Normit ja standardit on yleensä mahdollista sivuuttaa tarkemmilla selvityksillä. Visioilla ja avainkysymyksiin puretuvilla selvityksillä voidaan usein päätyä standardiratkaisua huomattavasti parempiin ratkaisuihin.

Yrityksen toimintaperiaatteeksi on muodostunut pikkuhiljaa asioiden ja olosuhteiden syvälliseen ymmärtämiseen perustuva ”Value Engineering”. Kustannus- ja aikataulusäästöjä on haettu brutaalin yksinkertaisilla ja tehokkailla ratkaisuilla.

Ympäristökysymykset ovat tulleet osaksi yhtiön toimintaa 1990-luvun lopulla. Tässä yhtiön toimintaperiaatteena on ollut asioiden paneminen suhteeseen. Kun asiaa lähestyy tältä pohjalta, ei yleensä mitään merkittävää ongelmaa ole. Jos sellainen on, löytyy myös järkevä ratkaisu.

Uusiin asioihin liittyy tavallista enemmän riskejä. Riskejä voi kuitenkin hallita. Paikallisiin olosuhteisiin tutustuminen, ääritilanteisiin liittyvät kenttähavainnot ja mittaukset sekä kansainväliset kokemukset auttavat riskien auttavat riskien hahmottamisessa ja hallinnassa.

Jos pienimittakaavaisen laboratoriotutkimuksen tai kenttäkokeen tulos kyetään ennalta laskemaan, luottamus täysmittakaavaratkaisun toimintaan kasvaa kertaluokalla.

Esimerkkejä analyttisistä, kokeellista ja kenttätutkimuksista on esitetty liitteessä 8.1. Näitä tutkimuksia on tehty sekä asiakkaiden rahoilla, että omilla rahoilla. Kaikkia tutkimuksia ei valitettavasti voi näyttää.

Usein tutkimus- ja tuotekehitysprojekti ei johda toivottuun tulokseen. Oppia kuitenkin tulee ja sen myötä voi kehittää uusia sovelluksia.

Esimerkiksi sopivat liitteen 8.1 kuplamuuritutkimukset. Itse tutkimus osoitti, että kuplamuuri ei toimi öljyvuomina eikä myöskään pellettivuomina vaikeissa virtaus tai aalto-olosuhteissa.

Rauman väylän ruoppausten yhteydessä harkittiin avomerellä sijaitsevan läjitysalueen ympärille kuplamuuria suspension leviämisen estämiseen (sinänsä mitätön ongelma). Kokeiden avulla kykenin osoittamaan, ettei ratkaisu toimi siltiverhona myöskään hankalissa avomeriolosuhteissa.

Tutkimukset antoivat kuitenkin lisäpotkua pulputuksen käyttöön satamien jäättilanteen hallinnassa.

Olen ollut oman tieni kulkija. Etenkin ympäristökysymysten käsittely, mutta myös muu vakiintuneet käytännöt ja uskomukset kyseenalaistanut insinööri työ on kohdannut ajoittain voimakasta vastustusta. Asiakkaat ovat saattaneet joskus kokea yritykseni työn poliittiseksi painolastiksi.

Ympäristöviranomaisen on täyryttänyt asiakkaalleni neuvottelupöydässä analyysihini ja johtopäätöksiini liittyen esimerkiksi seuraavan kaltaisen uhkauksen: ” Jos te olette todella tuota mieltä, niin se on hankkeenne kannalta huono juttu”. Se jäi epäselväksi, mikä analyysissä ja johtopäätöksissä oli vikana.

Onneksi yhtiön toiminta on ollut ainakin puoliksi kansainvälisen toiminnan varassa.

Yksi kantava periaate työssäni on ollut ehdoton rehellisyys asiakasta kohtaan. Erityisesti yritykset, mutta myös monet julkisen sektorin toimijat ovat arvostaneet tätä. Asiakkaita ei ole kiinnostanut ongelmien maalailu vaan se, miten todelliset ja kuvitellut ongelmat ratkaistaan. Jos poliittisesti korrektia retoriikkaa on tarvittu, asiakkaat ovat hoitaneet sen itse.

Toiminta itsenäisenä konsulttina on ollut antoisaa. Se on sisältänyt monimuotoisia ja haastavia toimeksiantoja ympäri pohjoista pallonpuoliskoa. Monet projektit ovat olleet pieniä, mutta olen saanut olla mukana erityisasiantuntijana myös miljardien eurojen mammuttiprojekteissa. Tuntuu, että vasta itsenäisenä konsulttina olen kypsynyt insinöörinä täyteen mittaani.

Seuraavassa käydään läpi jo yli 30 vuotta kestäneen yhtiöhistorian mielenkiintoisimpia hankkeita ja näihin liittyneitä strategisia oivalluksia.

## Liite 8.1 Havaintoja, tutkimuksia, kokeita ja analyysyjä.



Kuva 1

Kuva 2



Kuva 3

Kuva 4

*Vuosaaren satamaa suunniteltaessa oli otettava huomioon etelästä ja idästä Sipoon selältä tuleva aallokko. Aallokkoa mitattiin Merentutkimuslaitoksen aaltopojjulla tulevan satama-altaan suulta (kuva 1).*

*Erityisen kiinnostavia olivat myrskytilanteet. Kuvassa 2 etelästä tuleva myrskyaalto murtuu Vuosaaren satamaa vasten.*

*Kuvassa 3 länsilounaasta tuleva myrskyaallokko heijastelee Helsingin Länsisataman satama-altaassa. Ro-Ro laiva liikkui jossain määrin, mutta lastaus jatkui aallokosta huolimatta. Tilanne oli relevantti idästä Vuosaaren satama-altaaseen tulevan myrskyaallokon vaikutusten arvioinnin kannalta. Suunnittelussa ääritilanteet ovat määrääviä. Siksi kenttätutkimukset ja havainnot tulee keskittää tällaisiin hetkiin.*

*Kuvassa 4 aalto iskee Airiston kelluvaa aallonmurtajaa vasten.*



Kuva 1



Kuva 2



Kuva 3



Kuva 4

Järvien ja merenpohjan pintasedimentit ovat usein erittäin huokoisia, toisin sanoen niiden vesipitoisuus on usein moninkertainen kiintoainepitoisuuteen verrattuna. Kunnostusruoppauksissa (esim. Vaasan Infjärden, Kauniaisten Gallträsk) on massan loppusijoituksen kannalta usein tarpeen poistaa sedimentistä vettä ja stabiloida se. Kuvissa otetaan näytteitä ja tutkitaan pintasedimenttien käyttäytymistä sekä tehdään pilottikoe, jossa kemikaalien ja prosessin avulla tehdään sedimentin vedenpoisto ja stabilointi. Yhteistyökumppanina oli Envitop.



*Kuva 1. Raakaöljy ja tuuli*



*Kuva 2. Raskas polttoöljy ja aallokko*



*Kuva 3. Kevyt polttoöljy ja tuuli*



*Kuva 4. Muovipellettejä jäähdytysvesitunnelista*



*Kuva 5. Pellettejä ja pulputuspuomi*



*Kuva 6. Pellettejä ja kiinteä puomi*

*TKK:n vesirakennuslaboratorion aaltokourussa tutkitaan Nesteen toimeksiannosta pulputuspuomin toimivuutta tuulella, aallokossa ja virtauskentässä. Vaikeissa olosuhteissa pulputuspuomi ei toimi, mutta ei myöskään kiinteä puomi.*



Kuva 1



Kuva 2



Kuva 3



Kuva 4

90-luvun lopulla Neste tutki öljyvuomien (kuva 1) korvaamista satamissaan kuplamuureilla, kuten jossakin maailman satamissa oli jo tehty. Kuvassa 2 asennetaan Listeman pulputuspuomia ja kuvassa 3 testataan sen pitävyyttä kellukkeiden avulla. Kuvassa 4 testataan kuplamuurin ja öljyvuomin yhdistelmää. Osoittautui, että vaikeissa olosuhteissa (kova aallokko ja virtaukset) kuplamuurin tulisi olla tasaisen yhtenäinen ja voimakas pysäyttääkseen öljypäästön. Öljypäästöt tapahtuvat tyypillisesti vaikeissa olosuhteissa.



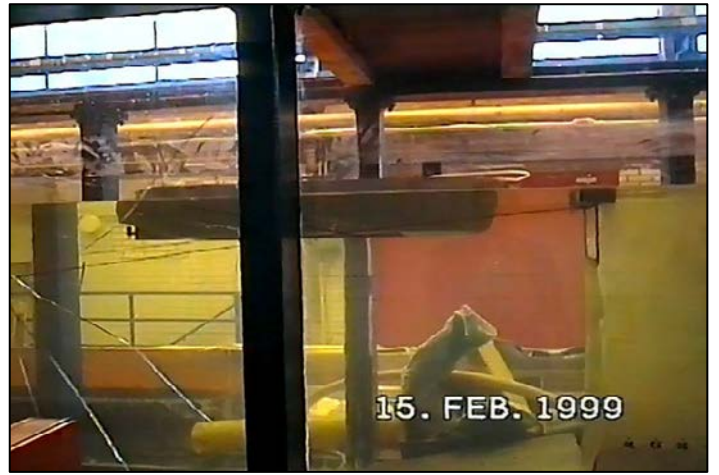
Kuva 1



Kuva 2



Kuva 3



Kuva 4

*Ruoppausmassojen läjitykseen liittyneitä pienoismallikokeita TKK:n vesirakennuksen laboratoriossa. Kuvassa 1 laboratorioinsinööri Hepojoki lastaa Turun satamasta ruopattavaa liejua palkoproomuun. Kuvassa 2 on tapahtunut läjitys ja suspensioilvi on lähtenyt leviämään lähellä pohjaa. Kuvassa 3 on läjitetty syvänteeseen. Suspensioilvi ei tahdo nousta syvänteestä edes virtauskentässä. Kuvassa 4 tutkitaan läjitystä ponttonista ripustettavan ruoppausverhon sisään. Palkoproomun malli ajaa verhon läpi. Käytännössä tällaiset ratkaisut ovat kalliita ja hajoavat helposti myrskyolosuhteissa. Ruoppaukseen ja ruoppausmassojen läjitykseen liittyvä suspensio on siinä määrin mitätöntä verrattuna luonnon omiin suspensiovirtoihin, että ruoppausverhojen käytössä on järkeä vain erittäin saastuneiden sedimenttien ruoppauksessa ja vesiläjityksessä suojaisissa olosuhteissa. Tutkimus liittyi laajaan merenkulkuinfrastruktuuriprojektiin.*



*Kuva 1*



*Kuva 2*



*Kuva 3*



*Kuva 4*

*Teollisuuden lämpöpäästöjä voidaan hyödyntää satamien jäätilanteiden hallinnassa. Mussalon sataman suunnittelussa eräs tekijä oli pääsatama-altaan perälle ahtautuvien lohkarjäämassojen vaikutus sataman toimintoihin. Sataman pohjoispuolella oli kuitenkin kaksi voimalaitosta, joiden lämpöpäästöt valuivat satama-altaan editse.*

*Kuvissa tehdään TKK:n vesirakennuksen laboratoriossa pienoismallikoesarjaa, jossa tutkitaan väriaineen avulla lämpimän veden kiertymistä satama-altaaseen potkurivirtojen ja pulputuksen vaikutuksesta. Kuvassa 2 oikealla edessä Kotkan satamainsinööri Riitta Kajatkari ja hänen vasemmalla puolellaan johtava satamasuunnittelija Lauri Pitkälä. Vasemmassa alakuvassa laboratorioteknikko Antti Loukio.*



*Kuva 1. Maan varassa lepäävää kiviaineksella täytettyä terässylinteriä kaadetaan.*



*Kuva 2. Savikolle hatuilla varustettujen paalujen varaan perustetun täytetyn terässylinterin vertikaalikuormitusko.*



*Kuva 3. Savikolle hatuilla varustettujen paalujen varaan perustettua kiviainestäyttöistä terässylinteriä kaadetaan.*

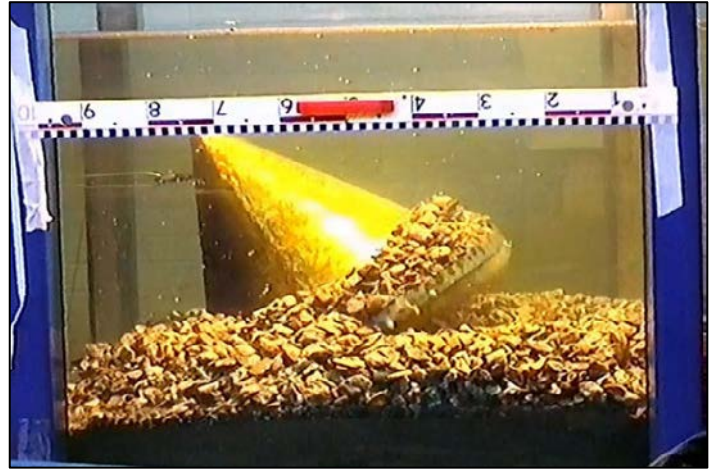


*Kuva 4. Kaatokokeen jälkeinen tilanne tutkimuskuopassa. Sylinterin alueelle on jäänyt soraa, yksi paaluhattu on sormen alla ja savea on noussut murtopintaa pitkin.*

*Kiviaineksella täytettyjen terässylinterien pienoismallikokeita. Pohjastaan avoin rakenne toimii jopa paremmin hatuilla varustettujen paalujen varassa savikolla kuin karkean kiviaineksen päällä. Luottamus rakenteen teorian mukaiseen toimintaan kasvoi kokeiden myötä kertaluokalla. Toimeksiantajana toimi Rautaruukki.*



Kuva 1



,Kuva 2



Kuva 3



Kuva 4

*Teräskuoriperustuksen hinaus kohteeseen ilmakuplan varassa ja laskeminen pohjaan ilmaa päästämällä on edullista ja hallittua. Se asettaa kuitenkin vaatimuksia vesisyvyydelle koko hinausmatkan pituudelta. Kuvassa 1 merimerkin perustuksen mallia hinataan aallokossa.*

*Kuvassa 2 tehdään rengasanturalla varustetun ja kiviaineksella täytetyn merimerkkiperustuksen kaatokoe. Idea on siinä, että jos onnistuu laskemaan pienoismallin kaatokuorman, luottamus täysmittakaavarakenteen kapasiteetilaskelmaan kasvaa kertaluokalla.*

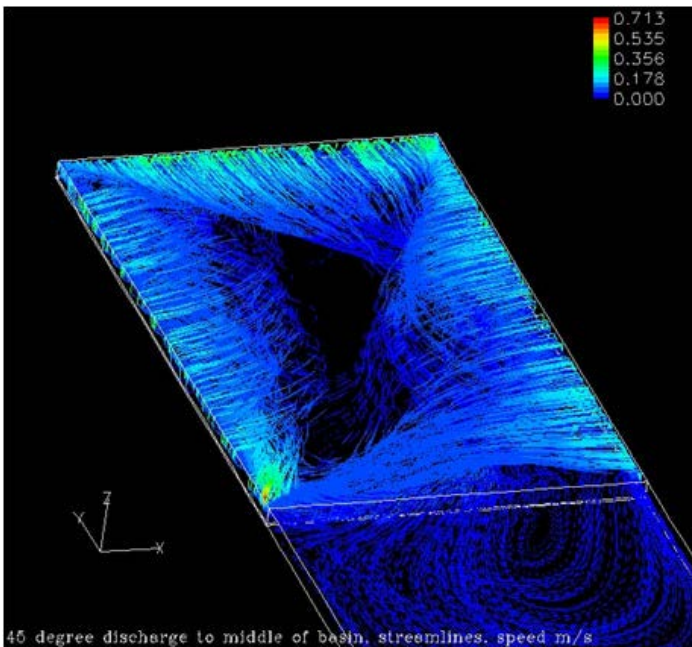
*Kuvissa 3 ja 4 tutkitaan teräskuorirakenteen stabiliteettia. Mainittakoon, että täysmittakaavarakenteen sisätäyttö kiviaineksella lisää ohutseinäisen teräskuorirakenteen stabiliteettia ratkaisevasti.*



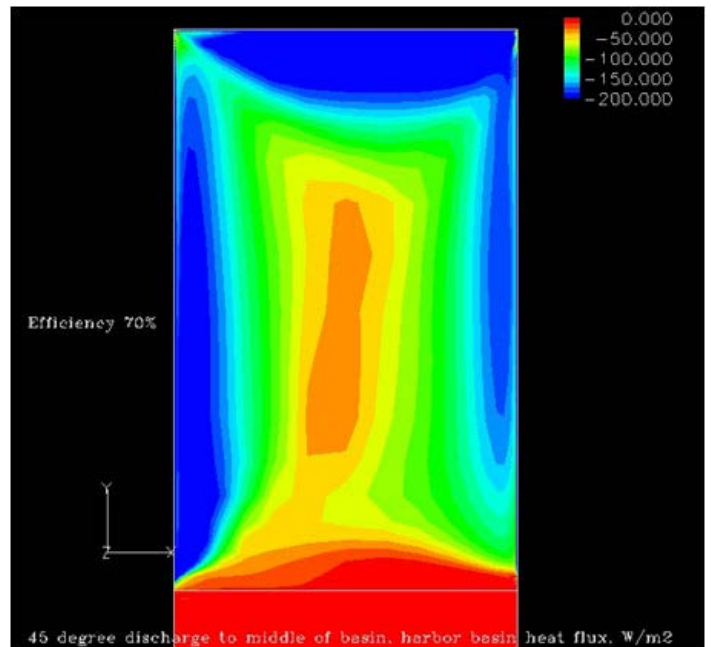
Kuva 1



Kuva 2



Kuva 3



Kuva 4

Kuvassa 1 ollaan tutkimassa röysien (pohjautuneita jääahtautumia) rakennetta VTT:n väen kanssa Hailuodon edustalla.

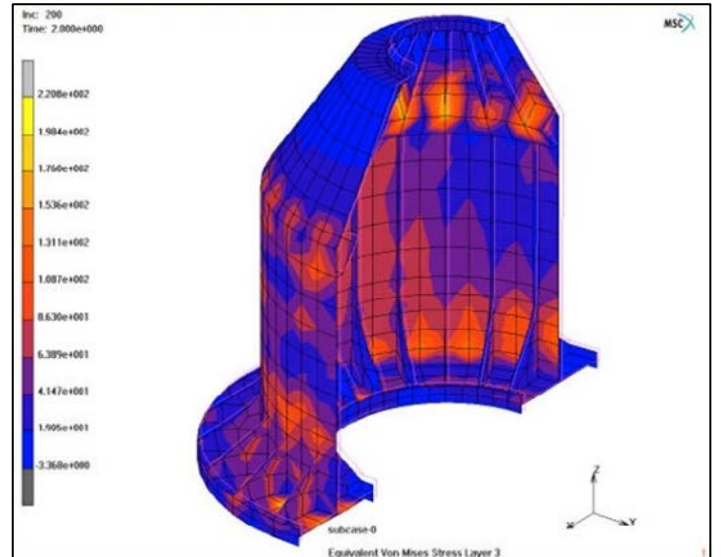
Kuvassa 2 tutustutaan jäätilanteeseen Helsingin Eteläsatamassa kovana jäätalvena 2003. Lohkarejäää oli paikoin pohjautunut sataman kääntöaltaan reunalle. Alusmanööverit altaassa saattoivat kestää tunteja. Satamajäänmurtaja oli joutunut vaihtamaan paikkaa.

Vuosaaren pääsatama-altaan jääkontrollisysteemiä tutkittiin CFD-laskennan avulla. Kuvassa 3 nähdään, miten lämmin vesi kiertää satama-altaassa pulputussysteemin vaikutuksesta. Voimalaitoksen lämpimän lauhdeveden purkupaikka näkyy altaan reunalla alhaalla vasemmalla.

Kuvassa 4 on laskettu jään sulatusteho altaan eri osissa. CFD-analyysit teki tohtori Huanchen Pan.



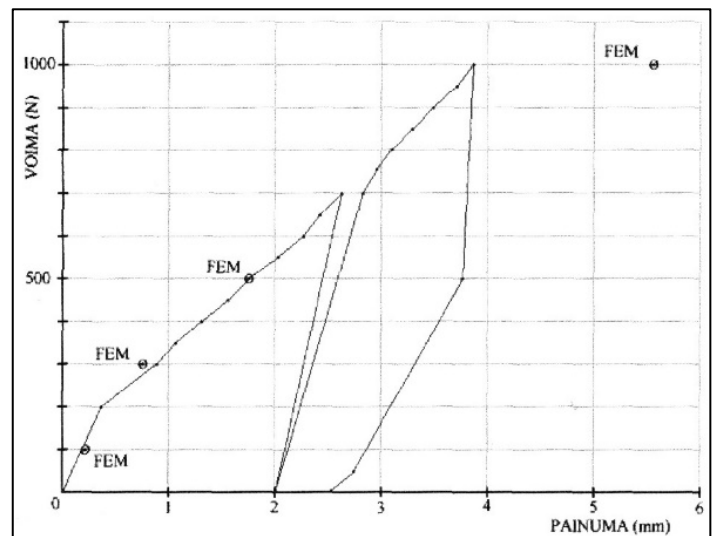
Kuva 1



Kuva 2



Kuva 3



Kuva 4

Kuvassa 1 teräskuoriperustuksen pienoismallia rasitetaan dynaamisessa kaatokokeessa.

Kuvassa 2 on täysmittakaavaisen teräskuoriperustuksen jännitystila kaksinkertaisella jäävällin suunnittelukuormalla. Maa-aines perustuksen sisällä, alla ja ympärillä oli mallinnettu mukaan FEM-analyysiin.

Kuvassa 3 teräskuorta kuormitetaan paikallisesti, jäätelin iskuja simuloiden.

Kuvassa 4 on vertailtu pienoismallikokeen ja FEM-analyysin tuloksia. Rakenteen kapasiteetti oli kertaluokkaa suurempi kuin kuorma, jolla kuori alkoi myötää. Kokeet tehtiin TKK:n vesirakennuksen laboratoriossa. Tutkimus liittyi Hyötytuulen teettämään Tahkoluodon merituulipuiston kelpoisuusselvitykseen. FEM-analyysit teki PI-Rauma.



*Korotusrenkaalla varustetun teräskuoriperustuksen käyttäytymistä tuuli- ja aaltokuormien alaisena tutkitaan pienoismallikokeessa TKK:n geotekniikan laboratoriossa.*



*Paaluttamattomien ja paalutettujen teräskuoritasanteiden käyttäytymistä tutkittiin pienoismallikokeiden ja FEM-analysien avulla Tampereen Teknisessä Yliopistossa. Asiakkaana oli Wellquip.*

## 9. Juutinrauman siltahanke

Juutinrauman siltahanke oli ensimmäinen mammuttiprojekti, jossa toimin erityisasiantuntijana. Pääsin mukaan, kun ruotsalainen vastaväittäjäni Lennart Fransson suositteli minua projektin jääkspertiksi Scandiaconsultingille. Sen toimitusjohtaja evästi minua ikimuistoisesti: ”There are just two things in consulting, to get the job and to get the job done”.

Projektin toteutusmuoto oli hahmottunut ”Request for Proposals” menettelyn kautta. Tunnelin, keinosaaressa ja sillan yhdistelmä oli innovatiivinen. Sain tutustua tehtävääni liittyen laajasti suunnitteluasiakirjoihin.

Tehtäväni oli tarkastaa Danish Hydraulic Instituten ja muiden tanskalaisten konsulttien jäätä ja jääkuormia koskevat työt. Tein myös itse analyysejä, kuten sillan pylonien värähtelyanalyysin dynaamisten jääkuormien vaikutuksesta. Käytännössä tarkasteltiin harvinaisia, laskennallisesti kerran tuhannessa vuodessa toistuvia tilanteita.

Ensimmäinen tehtävä oli tietysti jään paksuuden määrittäminen. Tanskalaisilla oli mittaustietoa alueelta noin sadalta vuodelta ja muutamina vuosina oli tosiaan esiintynyt jäätä. Havaintojen mukaan oli myös esiintynyt jään liikkeitä ja nousua rannoille.

Yksi paksuuslukema oli korkea ja tilastollinen analyysi tuotti suunnittelujäänpaksuudeksi metrin. Muista poikkeava jään paksuuslukema pisti silmään etenkin, kun se ei ollut sopusoinnussa talven pakkasmäärän kanssa. Oli mitattu päällekkäin ajautuneen jään paksuus.

Meillä on Merenkurkussa mediaanitalvena samanlaiset jääolosuhteet kuin Juutinraumassa kerran tuhannessa vuodessa. Erinomaisia mittauksia ja havaintoja on kirjattu esimerkiksi Valassaaren alueelta yli sadalta vuodelta.

Tämä näkökulma olisi antanut tanskalaisille huomattavasti tukevamman käsityksen jään paksuudesta ja mahdollisista jäätilanteista. Suunnittelujäänpaksuus oli liian suuri. Vaikka talvet tulisivat ankarammiksi Juutinrauman alueella esimerkiksi Golfvirran heikkenemisen seurauksena, suunnitelmiin jäi huomattavasti pelivaraa tällaiseen kehitykseen.

Jään suuresta mitoituspaksuudesta huolimatta dynaaminen jääkuorma ei noussut rakenteiden mitoituksessa määrääväksi kuormitustilanteeksi. Tanskalainen kollegani totesi, että jos ei nyt jotain keksitä, ”We are out of business!”. Hän keksikin piirtää kuvan, jossa matalaan veteen kertynyt jääkasautuma iskee sillan kannatinpalkkiin. Tuli lisää analysoitavaa.

Helppomalla olisi päässyt, jos olisi laskenut jääkasan huipun passiivipainemurtumaan tarvittavan paineen.



*Juutinrauman silta*

## 10. Siziman

Sizimanin satamahanke sai alkunsa vuonna 1993, kun Pöyry teki amerikkalaiselle Pioneerille kelpoisuus selvityksen puutavaran hakkaamiseksi alueelta ja kuljettamiseksi Kaukoidän markkinoille. Siziman oli kyläpahanen Tatariansalmen länsirannalla Sahalinin saarta vastapäätä.

Ajankohta oli 1990-luvun alkupuoli. Olot Venäjällä olivat sekasortoiset Neuvostoliiton hajottua. Pioneer oli toisaalta erikoistunut toteuttamaan investointiprojekteja vaikeissa olosuhteissa. Kelpoisuus selvitys johti hankkeen toteuttamiseen yhteistyössä paikallisen yrityksen kanssa.

Projektin alkuvaiheessa paikan päälle kuljettiin helikopterilla, laivalla tai uivalla miehistönkuljetus panssarivaunulla. Jokainen matka oli seikkailu.

Talvella oli ajoittain yli 40 astetta pakkasta. Asemarakennukset ja ränsistyneet kylät olivat runollisen kauniita. Sizimanin läpi kulkevassa joessa saattoi olla puolitoista metriä kristallinkirkasta jäätä. Joku kairasi jäähän reiän ja pilkki siitä puolesta tunnissa kolmisenkymmentä nieriää. Kalasoppa oli makoisaa ja kyytipojaksi tarjottiin pontikkaa. Yöllä tähdet tuikkivat kirkkaalla taivaalla.

Luonto oli runsas ja monimuotoinen. Oli karhuja, susia, ilveksiä, jättiläismerikotkia ja monia meillekin tuttuja lintuja. Meressä oli paljon kaloja, äyriäisiä ja hylkeitä. Merenrantasortumista löytyi kivettyneitä puunkappaleita. Kylän lähellä olivat Stalinin aikaisen vankileirin jäänteet.

### Satamasuunnittelu

Sataman rakentaminen avoimelle rannalle syvään veteen on kallis ja aikaa vievä operaatio erityisesti alueella, jolla ei ole infrastruktuuria. Aluksi suunniteltiin satamaa matalakulkuisille proomuille. Puutavaran lastaus proomuista rahtialuksiin ajateltiin tapahtuvaksi merellä.

Satamasuunnittelun venäläiseksi yhteistyökumppaniksi valikoitui pietarilainen satamasuunnitteluinstituutti Lenmorniiproekt (sittemmin Morstroitechnology) projektipäällikkönään Alexander Kramarenko.

Tämä ratkaisu osoittautui erittäin onnistuneeksi satamasuunnitteluun ja -rakentamiseen liittyneiden eksoottisten episodien käsittelyssä. Kramarenko oli erittäin kykenevä, joustava ja luotettava mies.

Satamasuunnittelussa sovellettiin Kramarenkon kollegan Michael Nikolayevskin kehittämää teräskuoriteknologiaa. Hän osoitti minulle, että kun ympyränmuotoinen teräskuori täytettiin kiviaineksella, se käyttäytyi tietyin edellytyksin staattisten kuormien alaisena kuin soliidi blokki. Jatkokehitin sittemmin monenlaisia vesirakenneratkaisuja tältä pohjalta.

Satamarakentaminen oli jo alkanut, kun markkinoille ilmestyi matalakulkuisia venäläisiä jokilaivoja, jotka soveltuivat puutavaran rahtaamiseen Japaniin. Tämä oli hyvä uutinen, sillä näin päästiin yhdellä lastausoperaatiolla.

Satamasuunnitelmaa muutettiin. Puutavaran lastaus tapahtuisi lastaustasanteella pyörivää telaketjunosturia käyttäen rekasta suoraan laivaan. Samaa nosturia käytettiin satamapenkereiden eroosiosuojausten rakentamiseen.



*Sizimanin puutavarasatama ensimmäisessä vaiheessa. Takana on työntekijöiden parakkikylä. Keskellä Siziman joki laskee mereen.*



*Laiturimuurin teräskuorirakenne, Alexander Kramarenko ja Mikhail Nikolayevsky.*

## Ongelmia

Kun sataman rakentaminen oli edennyt jo hyvän matkaa syksyllä 1994, Pioneerin venäläinen yhteistyökumppani ilmoitti, ettei satamapengerluiskien raskaita eroosiosuojauksia tarvittaisi. Perusteeksi esitettiin, että pengerten eroosiota ei ollut tapahtunut muutaman kuukauden vesirakentamisyksikön aikana. Asiasta väännettiin ankarasti. Eroosiosuojaukset rakennettiin, mutta ne jäivät heikoiksi lohkaroiden niukkuuden takia.

Jo seuraavana syksynä tuli kunnan myrsky. Lohkaresuojaus vaurioitui monin paikoin, ja pengertien melkein katkesi, mutta suojaus esti projektikatastrofin. Korjaukset tehtiin myrskyn tauotta.

Puutavaran lastausasanteet oli suunniteltu rakennettaviksi kiviaineksella täytettävien terässylinterien varaan. Kesken rakentamisen venäläinen yhteistyökumppani sai päähänsä, että rahaa säästyy, jos sylinterien sijasta tehtäisiin teräslaatikoita. Nyt tietysti tulivat mukaan sisätäytöstä aiheutuvat momentit, joita ohut teräslevy ei kestänyt. Rahaa ja aikaa kului, kun neljä jo rakennettua teräslaatikkoa vahvistettiin.

Seuraava järkytys koettiin, kun satama saatiin valmiiksi ja ennen sen avausta mitattiin vielä kerran vesisyvyudet laiturin ympäristössä. Vesisyvyys oli tässä matalakulkuisille rahtialuksille suunnitellussa satamassa kriittinen. Syvyudet poikkesivat merkittävästi aiemmin mitatuista. Keskelle satama-allasta näytti ilmaantuneen matalikko.

Nyt tuli kiire. Lensimme yhdessä Pioneerin projektijohtaja Bill Popen kanssa helikopterilla Khabarovskista Amur jokea seurailleen suoraan Sizimaniin. Helikopteri oli kerrassaan upea ja siihen liittyi oma historiansa. Se oli tehty aikanaan Neuvostoliiton johtaja Mihail Gorbatschovin käyttöön. Kun tämä suistettiin vallasta, kopteri jäi Khabarovskiin tekemään tilauslentoja.

Paikan päällä tehdyissä luotauksissa ei matalikkoa löytynyt. Syy syvyyskarttojen ristiriitaisuuksiin sen sijaan löytyi. Ne oli tehty mittaamalla veden syvyys ja vähentämällä siitä vuoroveden korkeus mittausajankohtana. Vuoroveden korkeus katsottiin virallisesta vuorovesitaulukosta.

Vuorovesitaulukon referenssipiste oli Tatariansalmen toisella rannalla Sahalinin saarella. Toisin sanoen vuoroveden korkeus vaihteli Sizimanissa eri tahdissa kuin taulukon referenssipisteessä. Kun vuorovesiamplitudi oli ajoittain yli kaksi metriä, syvyysmittausarvoon tuli helposti metrin virhe.

Merenkulkupiiri myönsi, että jos haluttiin erityisen tarkkoja syvyysmittauksia, kiinteä referenssitaso oli oikea lähtökohta. Se suostui uusimaan mittauksen käyttäen referenssitasona laituriin merkittyä LAT (Lowest Atmospheric Tide) tasoa. Tehtävä taisi olla sille mieluinen. Siihen aikaan ihmisten palkat olivat rästissä ja monilla oli hätä. Työstä sai laskutettavaa, joka maksettiin säntillisesti.

Todettakoon kuitenkin, että jos käytössä olisi ollut alun perin oikea pohjatopografia, laituri olisi rakennettu hiukan toiseen paikkaan.

Pian sataman valmistuttua haluttiin lisätä sen kapasiteettia. DI Jarmo Pesonen Pöyryltä keksi, että jos laituri muuri rakennettaisiin jatkuvaksi, tukkirekka voisi ajaa laivan ja nosturin väliin. Nosturin ei tarvitsisi kiertyä, vaan tukkiniput voisi nostaa yksinkertaisella nostolla suoraan laivaan. Lastausnopeus kaksinkertaistuisi.

Kiviainestäytöisistä terässylintereistä rakennettiin jatkuva laituri muuri talvella 1998 laivausten ollessa pysähdyksissä. Kevättalvella menin tarkastamaan tehtyä työtä.

Osoittautui, että muurin taustatäyttö oli tehty suunnitelmien vastaisesti lumen sekaisesta siltistä. Laituri kallistui ja tilanne eli erityisesti lastausoperaatioiden yhteydessä. Onneksi tilanne stabiloitui ajan myötä.



*Laiturimuuri on rakennettu jatkuvaksi terässylinterien avulla.*

### **Iso siirto**

Tässä yhteydessä venäläinen yhteistyökumppani toi esiin toisen satamaprojektin, pyysi minua suunnittelijaksi ja ilmoitti valmistelewansa helikopteriretkeä paikan päälle. Tässä oli kuitenkin kyse harhautuksesta. Mitään projektia ei ollut olemassa. Tilanne selvisi kaikessa karmeudessaan juuri ennen laivauskauden alkua.

Venäläinen yhteistyökumppani ilmoitti Pioneerille, että katsokaa, teillä on puukenttä täynnä tukkeja, jotka pitäisi toimittaa asiakkaille. Meidän piti hoitaa sataman täydennysrakentamisen lupasiat, mutta emme ole sitä tehneet. Nyt täytyy saada paljon rahaa ja äkkiä, jotta luvat järjestyisivät ja satama saataisiin auki.

Olin yhteistyökumppanin toimistossa Komsomolskissa, kun vaatimus tuli. Riuhtaisin itseni ulos kokouksesta ja pakenimme Pioneerin paikallisjohtajan kanssa sakeassa lumipyryssä maastoautolla Khabarovskiin. Sieltä jatkoin lentokoneella Moskovaan.

Yllättäen yhteistyökumppanin ”turvamies” ilmestyi viereeni samalle lennolle. Tilanne oli uhkaava, mutta onneksi hänellä oli matkaeväänä viskipullo. Karistin raskaasti juopuneen miehen kannoiltani Moskovan lentokentällä.

Suomeen päästyäni pidin heti neuvonpidon Alexander Kramarenkon kanssa tilanteen laukaisemiseksi. Hän matkusti kiireesti Vaninoon ja järjesti paikalliselta Merenkulkupiiriltä sataman avaamiseen tarvittavat luvat.

Jopa yhtä ja toista maailmalla nähneessä Pioneerissa oltiin vaikuttuneita kiristystilanteen nopeasta raukeamisesta. Saimme Pioneerilta oheisen suosituskirjeen.

**The Pioneer Group, Inc.**

60 State Street  
Boston, MA 02109-1829  
617-742-7825



Esa Eranti  
Eranti Engineering Oy

Via fax: 358-9-455-92010

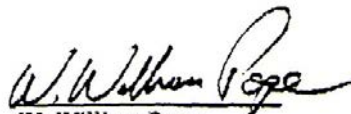
May 20, 1998


To Whom It May Concern:

Eranti Engineering Oy in cooperation with Lenmoriiproekt has been of invaluable service to our projects in the Russian Far East. Particulatly, they have been responsible for the design and engineering of the Forest Starma harbor facility at Siziman Bay. This facility, under their consultation, has undergone two phases of construction that include initial design and construction, as well as modification design and construction aimed to reach its current shipping capacity of 500,000 cubic meters of logs annually.

The combined work of Mr. Esa Eranti and Mr. Alexander Kramarenko has been extremely beneficial in streamlining the governmental permitting and registration processes that allowed minimizing unproductive delays. Their approach is totally client-oriented to the betterment and completion of the project.

Based upon the services that have been provided to Pioneer Group, Inc., they have our unqualified recommendation.

  
W. William Pope  
President,  
Pioneer Forest, Inc.

  
John Lawlor  
Vice President  
The Pioneer Group, Inc.

*Suosituskirje Pioneerilta.*

Pioneer oli lähtenyt tähän vaikeaan investointihankkeeseen kovalla nimellisessä tuottovaatimuksella ja isolla riskillä. Riskit oli arvioitu niin suuriksi, että omalle pääomalle haettiin vastapainoksi 40 % vuosituottoa. Ihailin tapaa, jolla he työskentelivät sitkeästi ja luovasti kohti tavoitteitaan erittäin vaikeassa ympäristössä.

Venäläisen yhteistyökumppanin strategia oli Neuvostosysteemistä opittu. Projektin etenemistä vaikeutettiin monin tavoin. Vakavalla naamalla esitettiin hurskaita selityksiä. Joka kerralla ongelmien ratkaisu vaati rahallista panostusta. Prosessi huipentui sotahistoriasta tuttuun näyttävään harhautukseen ja yllätysiskuun.

Iskun epäonnistuttua rahan tulo kuitenkin loppui. Osa venäläisistä siirtyi Pioneerin leiriin.

Matkustimme Kramarenkon kanssa Yhdysvaltoihin suosituskirje taskussamme markkinoimaan palveluksiamme monikansallisille öljy- ja rakennusyriyksille. Toimeksiantoja tulikin, koska erityisesti Venäjän öljy- ja kaasuvarojen hyödyntäminen kiinnosti näitä yrityksiä siihen aikaan kovasti. Kramarenko sai töitä moniksi vuosiksi yritysten lupa-asioiden hoitajana.

### **Strateginen oivallus**

Me elämme maailmassa, jossa taistellaan rahasta ja vallasta. Jos toimittaja onnistuu horjuttamaan hankevastaavan tavoitteita siten, että seuraukset ovat suuret, tilanne tarjoaa hyvän mahdollisuuden omien taloudellisten tavoitteiden toteuttamiseen.

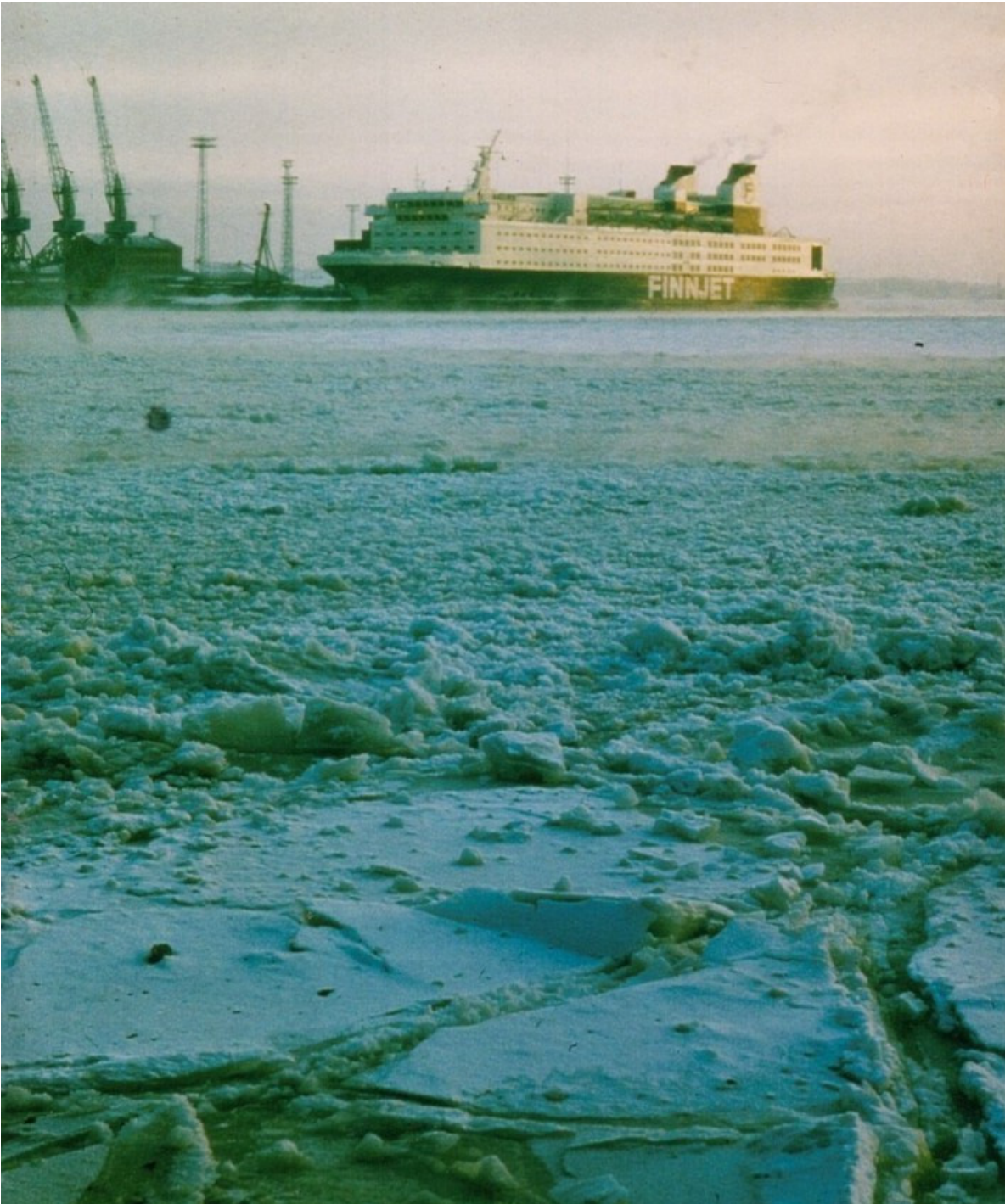
Projektin aikataulun kaataminen on yksi tapa aiheuttaa hankevastaavalle suuria taloudellisia tappiota, erityisesti jos rakentamisen perässä tulee prosessitoimitus. Sabotaasia hienostuneempi strategia on ”Drag your feet and play stupid!”. Tässä strategiassa viivytellään ja ymmärretään asioita tahallaan väärin, kunnes tavoiteltu tilanne saavutetaan.

Tällainen projektipolitiikka on maailmanlaajuista. Sitä soveltavat myös eurooppalaiset ja osin suomalaisetkin yritykset. Joskus ei muste ole ehtinyt kuivua sopimuksesta, kun jo alkaa vääntäminen. Toki alistavaa projektipolitiikkaa voi harjoittaa myös hankevastaava.

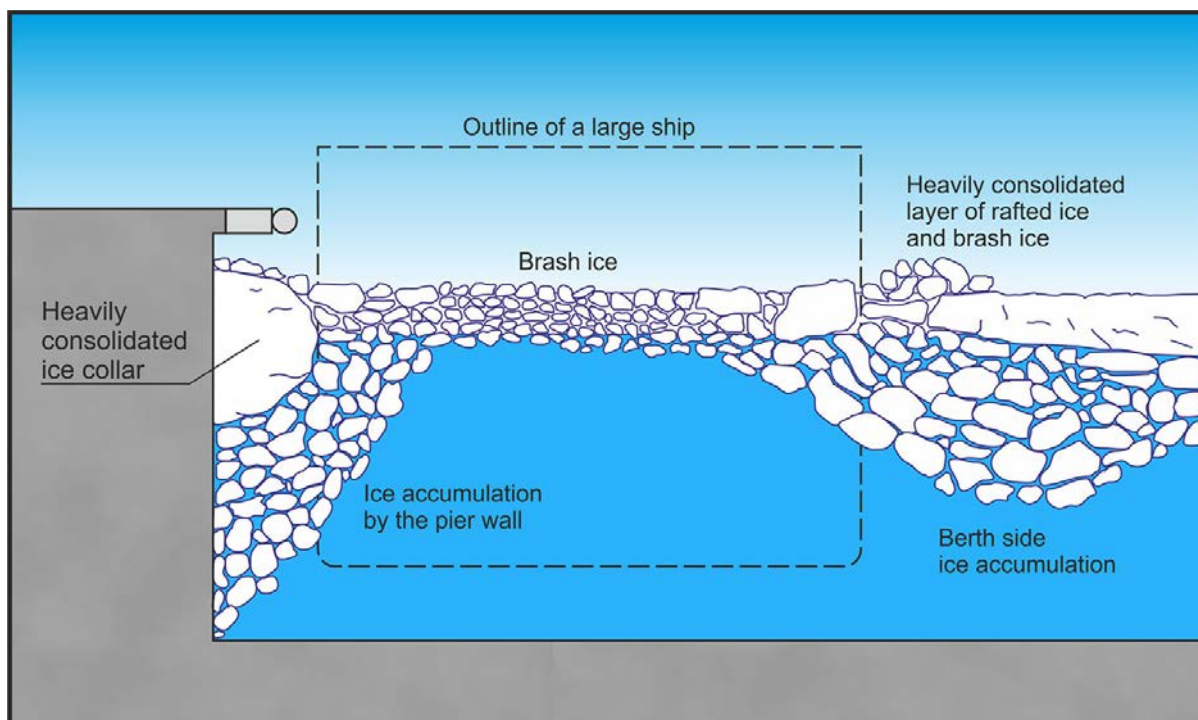
## 11. Satamien ja kanavien jääkontrolli

Eräs talvimerenkulun pullonkaula liittyy lohkarjään muodostumiseen. Kun jäätä rikotaan toistuvasti, lohkarjään pintakerroksessa on runsaasti vapaata vettä, joka kovilla pakkasilla jäätyy nopeasti.

Jään muodostus voi olla moninkertainen normaaliin tasojäänkasvuun verrattuna. Aluksen operointi paksussa lohkarjäämassassa vaikeutuu ja voi pysähtyä. Laiturin reunaan pakkautuvat ja jäätyvät jäämassat voivat estää aluksen pääsyn laituriin.



*Lohkarjään muodostusta Helsingin Eteläsatamassa. Mitä enemmän jäätä murrettiin, sitä enemmän sitä muodostui.*



*Kun alus ajaa laituriin, se työntää puolen aluksen leveyden verran lohkarjäättä laituria vasten. Lohkarjäättä voi yrittää poistaa aluksen ja laiturin välistä satamajäänmurtaajan potkurivirroilla, mutta kovilla pakkasilla ja paksussa lohkarjäässä tehtävä oli melko toivoton.*

Asiaa alettiin tutkia toden teolla 80-luvun alussa DI Mauno Penttisen diplomityön puitteissa, jonka ohjasin. Suomen satamista ja Saimaan kanavalta kerättiin kokemuksia ongelmista ja toimenpiteistä. Veden lämpötiloja mitattiin ja tehtiin pulputuskokeita.

Tässä vaiheessa kävi selväksi neljä asiaa:

- Monessa satama-altaassa ja Saimaan kanavassa oli merkittävästi lämpöenergiaa, joka oli pääosin peräisin teollisuuden päästöistä. Jään sulatukseen soveltuvat lämpöpäästöt saattoivat olla jopa satoja megawatteja.
- Lämpöenergia saattoi kulkeutua vesimassassa jään alla pitkiäkin matkoja aiheuttamatta erityisiä sulamisvaikutuksia.
- Kun vain asteen kymmenyksen jään sulamispisteen yläpuolella oleva vesi pantiin kiertämään pinnassa pulputussysteemin tai pintavirrankehittäjän avulla, jään sulaminen oli merkittävää ja laaja-alaista.
- Jos vesimassassa ei ollut termistä reserviä (vastoin yleistä luuloa tällaista reserviä ei yleensä ollut ilman ulkoista lähdettä), veden kierrätyksen aiheuttama sulamisvaikutus oli korkeintaan hyvin paikallinen ja kokonaistilanne saattoi jopa huonontua. Joissakin tapauksissa pohjasta vesimassan alakerrokseen purkautuvalla geotermisellä energialla oli merkitystä.

1990-luvulla kiinnostus satamien jääkontrollitoimiin lisääntyi. Satamien aikatauluille herkkä linjaliikenne oli kasvanut. Tarvittavat jääkontrolli-investoinnit olivat pieniä ja niille oli osoitettavissa kymmenien, jopa satojen prosenttien laskennallinen tuotto.

Jääkontrollisysteemejä suunniteltiin Tornion, Kilpilahden, Kotkan (useita), Oulun (useita), Kemin, Naantalın, Helsingin (useita), Pietarin, Steensby Inletin ja Sabettan satamiin sekä Kashagan öljykentän laiturien yhteyteen Kaspian meren koillisosaan.

Puolet systeemeistä on toteutettu, aluksi hyödyntäen käytettyjä pintavirrankehittäjiä ja myöhemmin pulputuslinjoja. Yhteistyökumppaneina toimivat pulputussysteemien LVI-suunnittelija Mika Karilas ja CFD-analyysien osalta professori Huanchen Pan.

Hankkeita suunniteltaessa tutkittiin erityisesti voima- ja teollisuuslaitosten lämpöpäästöjä sekä veden lämpötiloja talvella. Lisäksi TTK:n vesirakennuksen laboratoriossa tehtiin mallikokeita Mussalon sataman editse virtaavan lämpimän veden kulkeutumisesta satama-altaaseen pulputuksen vaikutuksesta. Myöhemmin veden kiertymistä ja systeemin sulatustehoa selvitettiin CFD-analyyseillä.

Erytyisesti Tornion ja Kotkan hankkeiden yhteydessä toteutetut tarkkailuohjelmat antoivat arvokasta palautetta ja referenssitietoa.

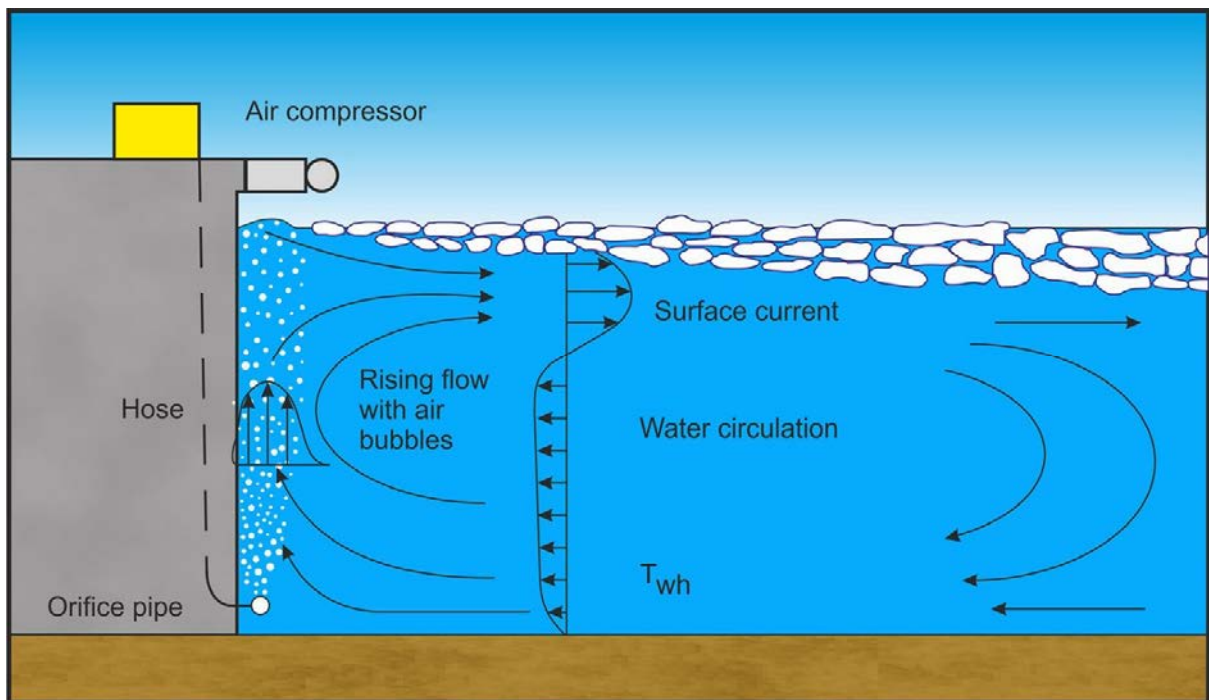
2000-luvun alussa Merenkululaitos alkoi tosissaan selvittää Saimaan kanavan liikennöintikauden laajentamista ympärivuotiseksi. UPM:n Kaukaan tehtailta laskettiin Saimaaseen lämpimiä vesiä satojen megawattien sulatusteholla. Suuri osa näistä vesistä kulkeutui Saimaan kanavaan helpottaen jäätilannetta sen Suomen päässä.

Saimaan kanava oli otollinen sekä lohkarajään muodostuksen että lämpimän veden sulatusvaikutusten tutkimiseen, koska liikenne ja olosuhteet olivat tarkkaan tiedossa. Järvi-Suomen merenkulkupiiri oli kerännyt kokemuksia sekä tehnyt veden lämpötila- ja lohkarajään paksuusmittauksia kanavan eri osissa vuosien ajan.

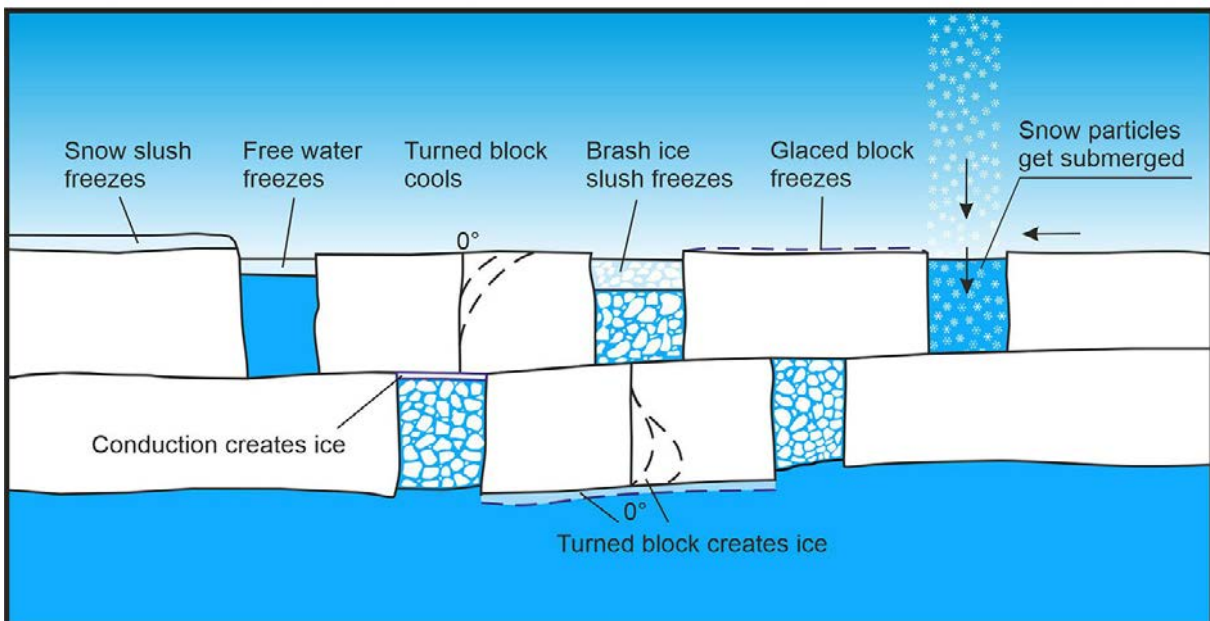
Suunnitelmaksi muodostui Kaukaan lämpimien vesien jakaminen koko kanavan pituudelle putken avulla noin 120 MW:n sulatusteholla. DI Kalle Lyytinen teki kokeita lämpimän veden purkamisesta kanavaan käyttäen siirrettävää 4 MW:n kattilalaitosta lämmöntuotantoon. VTT teki talviliikennöintikokeita kanavassa.

Itse tein mallin lohkarajään muodostumisesta talviliikennöidyssä kanavassa ja toisen mallin lohkarajään sulamisesta lämpimän veden vaikutuksesta talviliikennöidyssä ja juoksutetussa kanavassa. Nämä mallit on julkaistu Cold Regions Science and Technology lehdessä vuonna 2009 Vuosaaren Sataman jääkontrollisysteemin analyysinä käsittelevässä artikkelissa.

Liikennöinti Saimaan kanavalla ei kehittynyt ennakoidulla tavalla. Ympärivuotisen liikennöinnin hankkeesta luovuttiin. Malli kuitenkin jäi ja sitä sovellettiin Vuosaaren sataman jääkontrollisysteemin suunnittelussa.



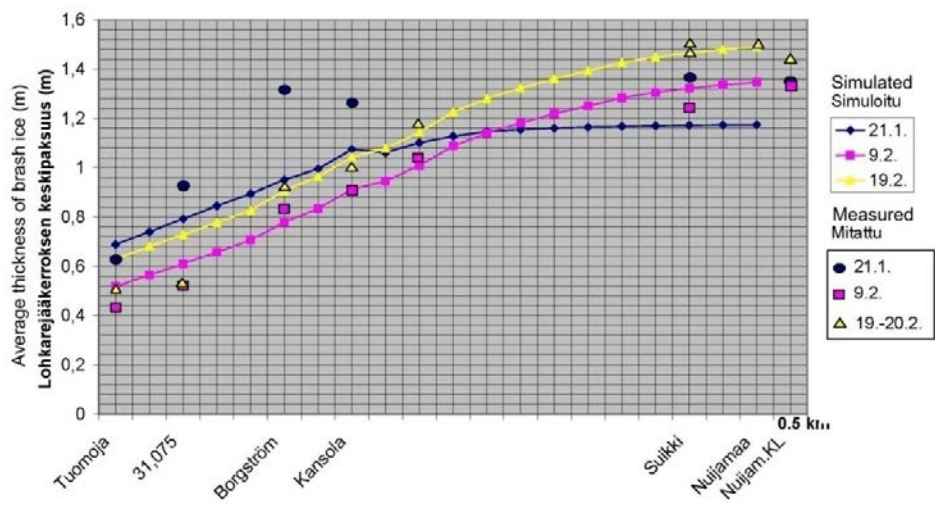
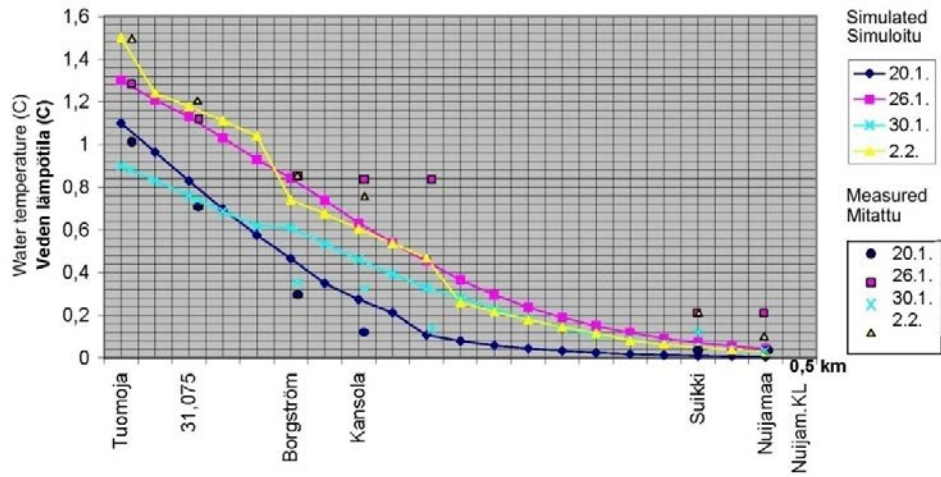
*Oulun satama-altaan jääkontrolli perustuu pulputuksen luomaan suureen kiertovirtaukseen (noin  $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$  pulputuslinjametriä kohti, tässä tapauksessa yhteensä noin  $100 \text{ m}^3/\text{s}$   $50 \text{ kW}$ :n kompressorilla). Kiertovirtaus vetää teollisuuden lämpöpäästöjä taustalla olevasta salmesta satama-altaaseen ja jään sulatukseen hyvällä hyötysuhteella. Alla pulputussysteemin periaate.*



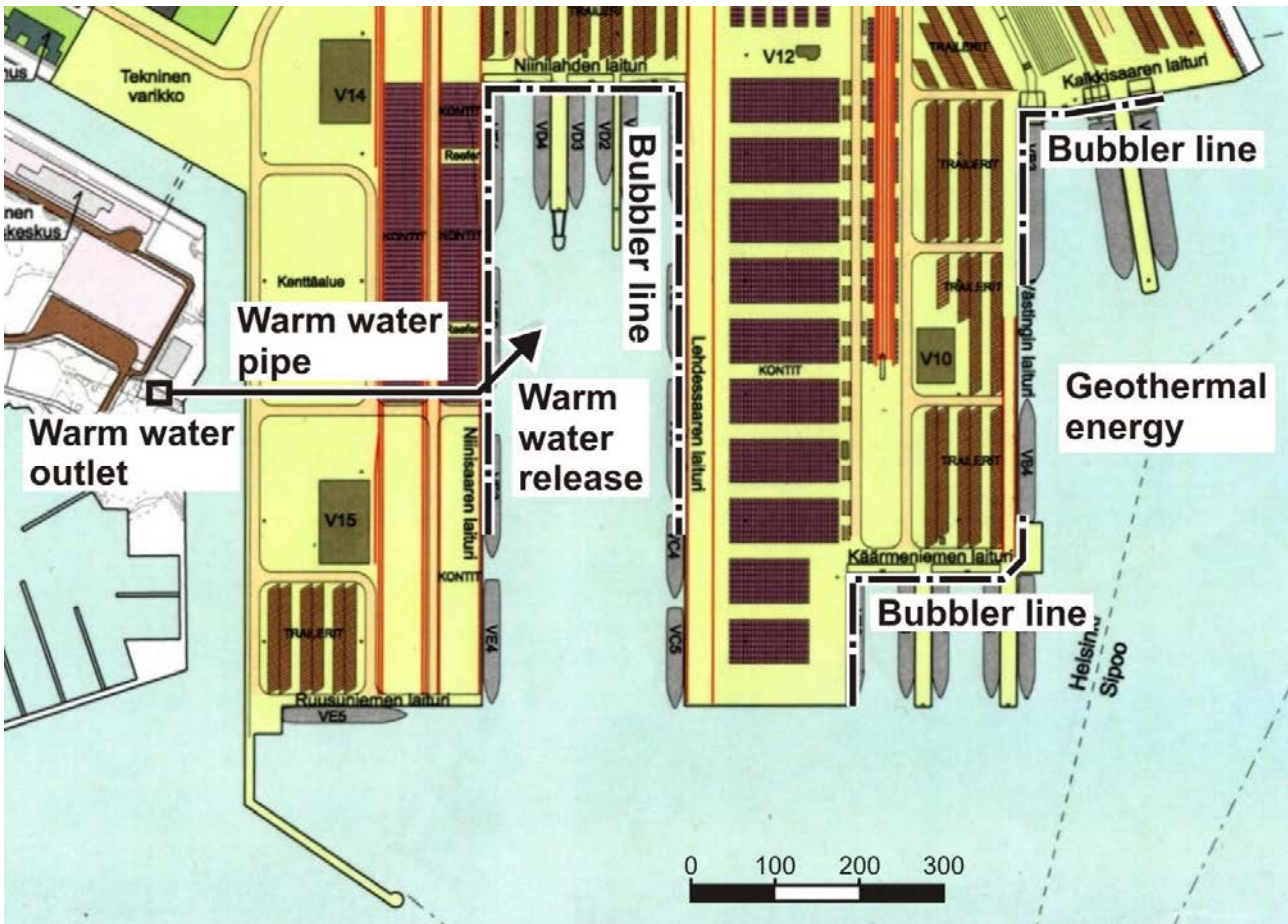
*Lohkarejään muodostusmekanismeja.*



Liikennöintiä ja jään muodostusta Saimaan kanavalla tutkittiin yhteistyössä VTT:n kanssa.



Mitattuja ja mallien (jään muodostusmalli ja jään sulamismalli) avulla simuloituja veden lämpötiloja sekä lohkarejään paksuuksia Saimaan kanavassa.



*Vuosaaren sataman jääkontrollisuunnitelma.*

Kiinnostus satamien jäätilanteen hallintaan herää aina, kun tulee vaikeuksia. Näin tapahtui esimerkiksi talvella 2003, kun modernin matkustaja-aluksen kääntäminen Helsingin Eteläsataman altaassa saattoi kestää 6 tuntia ja kymmenet alukset joutuivat odottamaan Pietarin satamaan pääsyä, kun lohkarjäämassat tukkivat sataman.

Viime aikoina talvet ovat Suomen satamissa olleet kuitenkin leutoja. Jääkontrollin tarve on vähentynyt.

Toisaalta ilmaston lämpenemisen myötä merenkulku Pohjoisen Jäämeren alueella on voimakkaassa kasvussa. Ympärivuotisessa käytössä olevien satamien lohkarjäätilanteen hallinta on kuitenkin usein kelpoisuuskysymys. Pakkassumma alueella voi olla moninkertainen Pohjanlahden satamiin verrattuna. Jos liikenne on tiheää, lohkarjääkerroksen paksuus kasvaa nopeasti useiden metrien paksuiseksi.

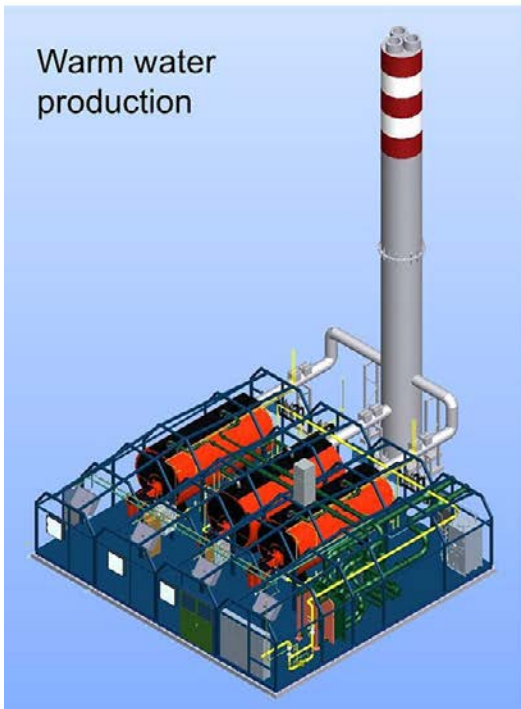
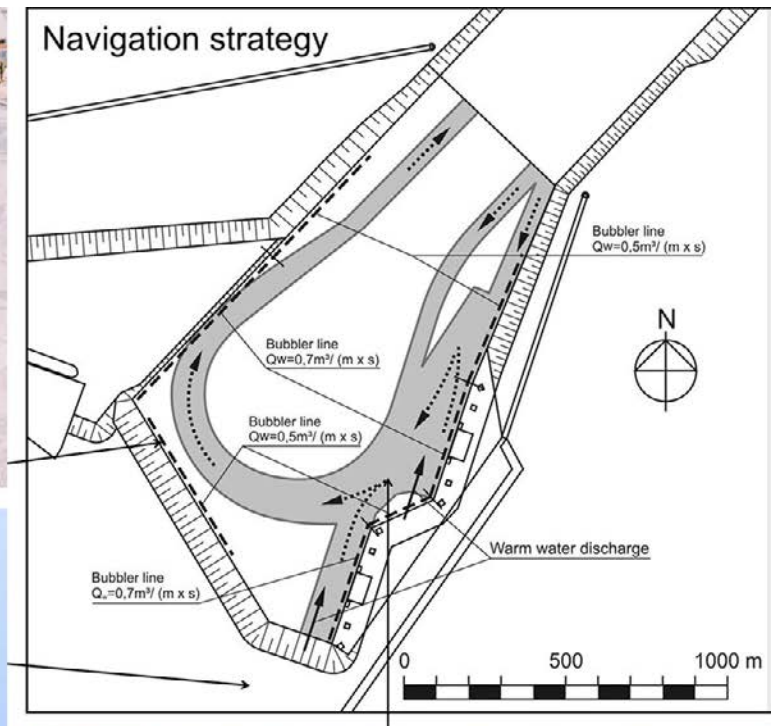
Esimerkiksi Yamal LNG:n Sabetan terminaalista Obin lahden rannalta pitäisi kuljettaa laitoksen täydellä kapasiteetilla 16,5 miljoonaa tonnia LNG:tä ympäri vuoden kulkevilla tankkereilla markkinoille.

Myös Baffinland Iron Minesin Mary River projektin eteneminen edellyttää tehokasta jäätilanteen hallintaa Steensby Inlet:iin suunnitellussa satamassa. Tarkoitus olisi laivata 18 miljoonaa tonnia rautamalmia vuodessa maailmanmarkkinoille.

Näissä ja eräissä muissa arktisen alueen hankkeissa Suomessa kehitettyä tietotaitoa on voinut hyödyntää täysimääräisesti. Hukkalämpöä ei yleensä ole ollut tarjolla. Lisävaikeutena on se, että jään suolapitoisuus on alhaisempi ja sulamispiste korkeampi kuin meriveden. Jäätilan hallintaan tarvittava lämpöenergia täytyy tuottaa kattilalaitoksessa.

Toisaalta lohkarajäakerroksen kasvu hidastuu, kun vapaa vedenpinta voi olla yli puolen metrin syvyydessä lohkarajäakerroksen pinnasta. Eri jäätymismekanismien suhteellinen merkitys muuttuu.

Arktisten satamien jäätilan hallintaan liittyneet projektit olen tehnyt yhteistyössä Aker Arcticin kanssa. Tehtävä on laajentunut kokonaisvaltaiseksi käsittäen alusmanööverit ja jäänmurtostrategiat, satama-altaan suojaamisen liikkuvalla jäältä ja lohkarajäätilan hallinnan.



*Kokonaisvaltaista jäätilan hallintaa ja navigointistrategiaa arktisessa satamassa.*

## 12. Venäjän pohjoinen hiilivetykehitys

90-luvulla useat öljy-yhtiöt ja isot kansainväliset urakoitsijat yrittivät kehittää liiketoimintaa Venäjän pohjoiseen hiilivetykehitykseen liittyen. Suomessa YIT oli aktiivinen tarjoten näille palveluksiaan. Sillä oli jo jalansijaa alueella Yamburgin ja Ardalinin projektien muodossa.

Tuon YIT:n markkinointiponnisteluja monissa hankkeissa kehittämällä vaikeisiin olosuhteisiin kustannustehokkaita rakennuskonsepteja. Tämä tapahtui enimmäkseen innovatiivisessa yhteistyössä YIT:n projektipäällikkö Eero Lustigin kanssa.

Tuohon aikaan suunniteltiin esimerkiksi kaasuputkea Jamalin niemimaalta lounaaseen. Putkilinjan piti kulkea Baydaradskayalahden poikki. Vaikeudet olivat matalissa rantavyöhykkeissä, joissa putki piti haudata, mutta johon ruoppaajat eivät päässeet.

Tavanomainen ratkaisu olisi ollut pehmeissä pohjaolosuhteissa kahden ponttiseinän rakentaminen, ruoppauksen tekeminen niiden välistä ja putken vetäminen tähän ojaan. Tällainen toimenpide on avoimen meren rantavyöhykkeessä kallis ja riskialtis.

Ehdotin työn tekemistä kokonaan talvella pohjautuneelta jääpatjalta, joka voitiin rakentaa nopeasti pintajäädytysmenetelmällä. Menetelmä osoittautui kustannustehokkaaksi. Jättiprojekti jäi kuitenkin ainakin toistaiseksi toteuttamatta.

Pyrimme tarjoamaan palvelusiamme myös suoraan kansainvälisille yrityksille yhdessä Lenmorniiproektin/Morstroitechnologyn Alexander Kramarenkon kanssa. Tämä yhteistyö oli hedelmällistä, koska näin kykenimme yhdistämään paikallistuntemuksen ja ratkaisukonseptin.

Teimme muun muassa suunnitelman Varandeyn laiturin saneeraamisesta Texacolle ja konseptisuunnitelman Varandeyn ja Toraveyn kenttien öljyn kuljettamisesta länsimarkkinoille Timan Pechora Companylle (Texacon, Exxonin, Amocin ja Norsk Hydron yhteisyritys). Tässä yhteydessä tuli taas kerran opittua, että valtameren rantavyöhykkeessä ruopattu väylä voi täytyä nopeasti sedimenttidynamiikan seurauksena.

Näihin selvityksiin liittyi mielenkiintoinen sopimustekninen episodi. Meille tarjottiin öljy-yhtiöiden monikymmensivuista standardisopimusta, jossa edellytettiin muun muassa miljoonan dollarin vakuutusta ja sopimusehtoja, joita emme täysin ymmärtäneet. Sen verran ymmärsimme, että asiakas halusi välttää kaiken vastuun ja olisimme asiakkaan armoilla.

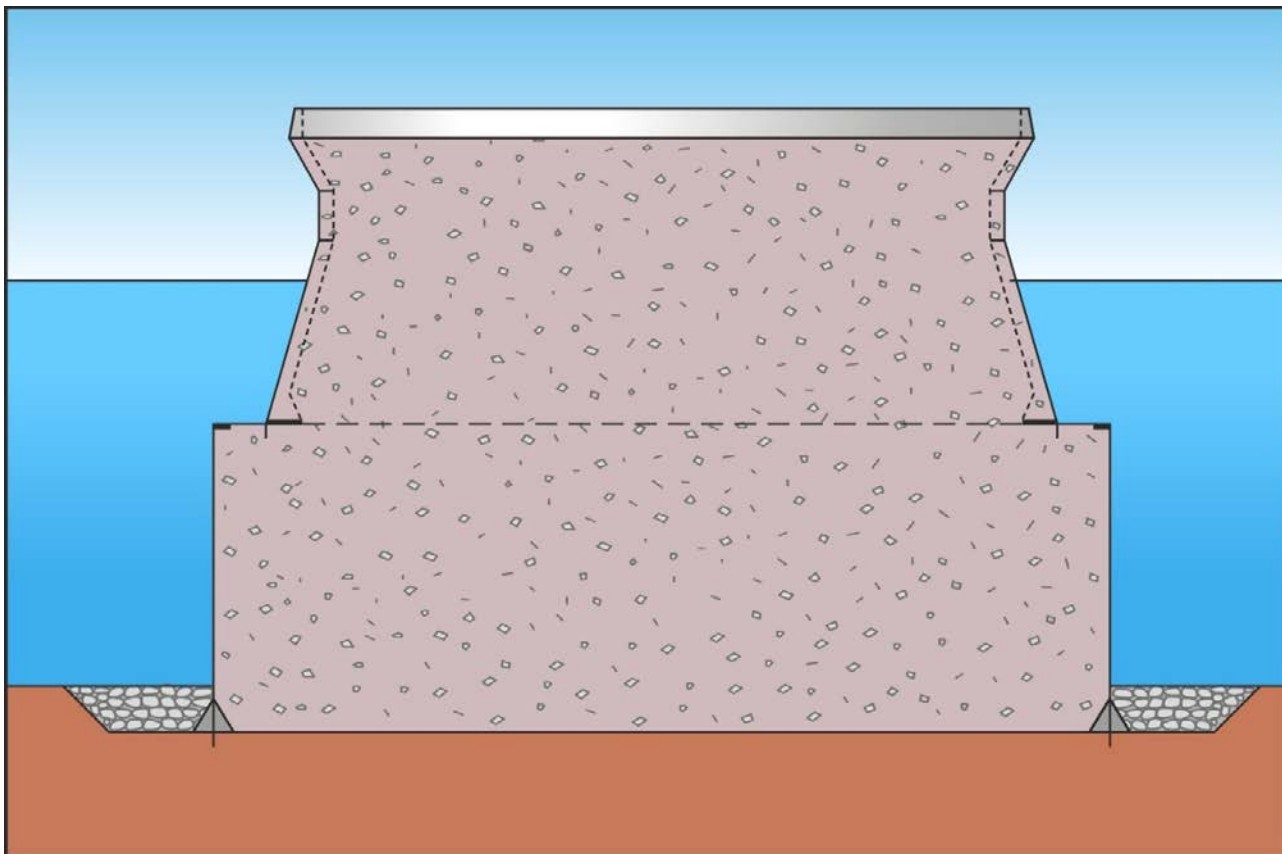
Texaco kuitenkin halusi yhteistyötä. Kun selitimme tilanteen, heidän projektinjohtajansa Jay Kemper laukaisi sen toteamalla ”We don’t want a bunch of lawyers here!”.

Öljy-yhtiöt hakkasivat aikansa päätään seinään, mutta kun Länsi-Siperian hankkeet eivät heidän osaltaan edenneet, kiinnostus hiipui. Kramarenkon kannalta jo Sizimanissa alkanut yhteistyömme kantoi kuitenkin hedelmää. Hän sai töitä länsimaisten urakoitsijoiden Moskovan konttorista.

Ohotan merellä sen sijaan edistytettiin, joskin etanan vauhtia. Kävin Exxon Production Research Companyssä markkinoimassa tietotaitoani. Ehdotin muun muassa kuvassa hahmoteltua teräskuoriteknologiaan perustuvaa tasanneratkaisua. Asia tuntui ajankohtaiselta.

Vanhempi insinööri innostui konseptista kovasti. Hän ehdotti, että siitä tehtäisiin nopea kustannusarvio. Toinen insinööri toppuutteli.

Voi olla, että Exxonin suunnitelmat olivat tasanteen suhteen jo pitkällä. Uusi suunnitelma olisi ollut projektikomplikaatio. Ymmärsin myös, että organisaatiossa ei tehty mitään ilman sisäistä tilausta tai johdon hyväksyntää. Henkilöstön saneerauskierrroksia oli tiuhaan.



*Tasannekonsepti, jota on tarjottu Exxonille Ohotan merelle ja Amocolle Bohai lahdelle.*

### **Shtokmanin kaasukenttä ja Norsk Hydron Spar-lauttakonsepti**

Vuosien varrella olin ollut eri yhteyksissä yhteistyössä Technip Offshore Finlandin ja sen edeltäjien Aker Rauma Offshoren, Rauma Offshore Contractingin ja Rauma Repolan kanssa. Shtokmanin kaasukentän kehittämisestä oli puhetta jo Finn-Stroissa.

Kun Norsk Hydro lähti tavoittelemaan osuutta kaasukentän kehittämisprojektista, se lähti kehittämään kelluvaan Spar-lauttaan perustuvaa tasanneratkaisua. Kumppaniksi se valitsi Technipin, jolla oli kokemusta tämän tyyppisistä tuotantotasanneratkaisuista. Näistä valtaosa on rakennettu Porin Tahkoluodon telakalla. Raimo Saarikoski Technip Offshore Finlandista pyysi minut mukaan projektin jääasiantuntijaksi.

Kehitystyö eteni projektiryhmässä, jossa oli mukana norjalaisen projektipäällikön ja kahden huippuinsinöörin lisäksi joukko Technipin asiantuntijoita. Omalta osaltani selvitin muun muassa rakenteen jääkuormia ja rakenteellisia mahdollisuuksia niiden hallitsemiseksi.

Määrääviksi kuormitustapauksiksi muodostuivat jäävuoren törmäykset ja jäävallikuormat. Paikallisia jääkuormia tutkailtaessa kävi selväksi se valtava kapasiteettireservi, mikä tämän tyyppisillä rakenteilla oli, jos levyn sallittiin myötää.

Jäävallikuorma oli tässäkin tapauksessa relevantti kuormitustapaus. Mitoitusvallin ominaisuudet tuottivat kuitenkin päänvaivaa.

Venäjän Arctic and Antarctic Institute (AARI) oli tehnyt muutamana vuotena pienten avomerivallien kartoituksia Barentsin merellä. Se oli mittauttanut muun muassa vallien kölien yksittäisten jääteliä maksimisyvyysulottumia. Tältä pohjalta se sai tilastollisen käsittelyn avulla laskettua esimerkiksi kerran 10 000 vuodessa esiintyvän vallin maksimipaksuuden. Tämä lähestymistapa johti kuitenkin epärealistisen suuriin kölipaksuuksiin.

Maksimikölipaksuus ei ole kuitenkaan rakenteen jääkuormamitoituksen kannalta oleellinen suure, vaan kölin keskimääräinen paksuus rakenteen halkaisijan alueella. Kun lähtökohdaksi otetaan tämä suure, ollaankin vallin kölipaksuuden osalta realistisissa suuruusluokissa.

On kuitenkin otettava huomioon, että jäävallien koko riippuu olosuhteista, jotka vaihtelevat eri vuosina. Oleellista on myös se, törmäkö rakenteeseen avomerivalli vai kiintojään ja ajojään rajaan syntynyt ja myöhemmin suuressa jäälautassa liikkeelle lähtenyt valli. Jossain määrin on merkitystä myös kölin volyymilla, konsolidoitumisasteella ja sillä, missä kulmassa valli törmää rakenteeseen.

Periaatteessa suunnitteluvallin dimensiot voidaan arvioida seuraavasti:

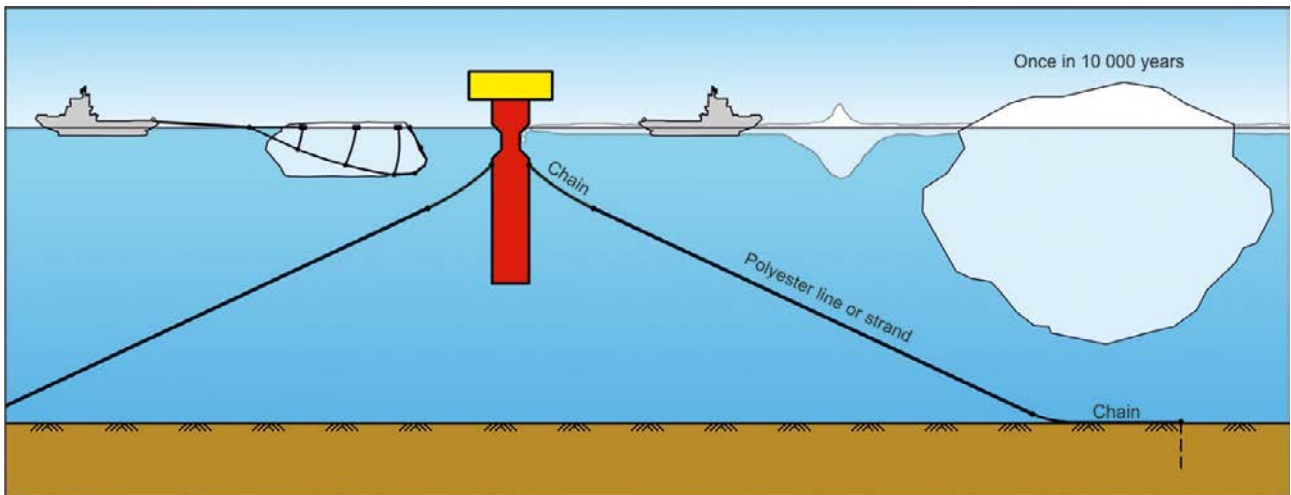
- Kuinka usein kohdealueella on ylipäätänsä sellaiset jääolosuhteet, että vallikuormitustilanne on relevantti (Barentsin mereltä on olemassa jääkarttoja lähes sadalta vuodelta);
- Kuinka monta kilometriä rakenne tunkeutuu suunnittelujakson aikana sellaisten suurten jäälauttojen läpi, joilla on riittävä ajovoima suunnittelukuorman tuottamiseen.
- Sovella vallistatistiikkaa.

Näin tehtiin ja saatiin 100:n ja 10 000 vuoden suunnitteluvallille dimensiot. Olosuhteet ovat kuitenkin muuttumassa ja tuloksiin liittyy muutenkin epävarmuutta. Vaikka jäätilannetta kyettiinkin seuraamaan ja rakennetta suojaamaan jäänmurtajan avulla, siihen liitettiin irrotusmahdollisuus.

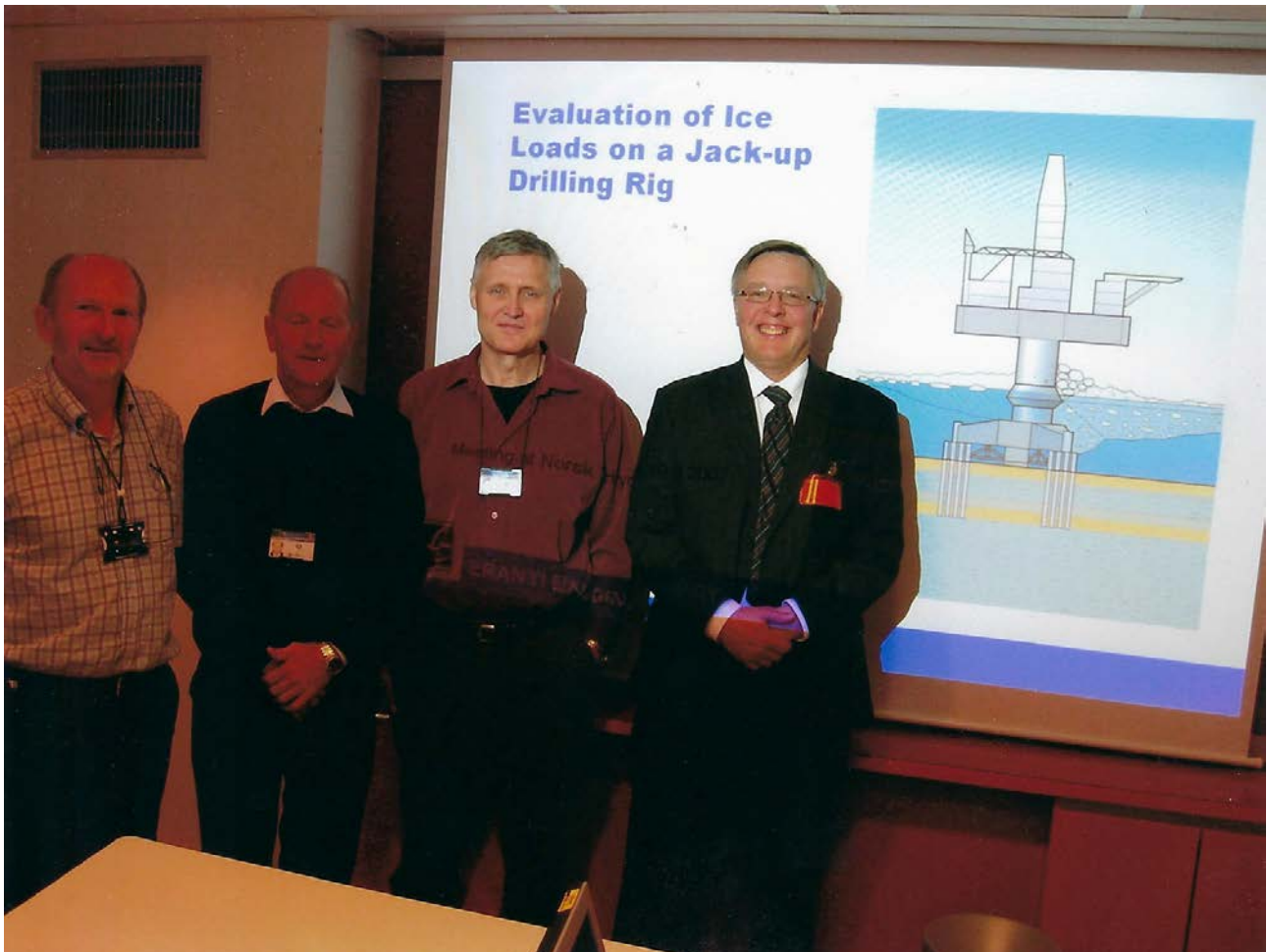
Shtokman-projektia ei ole toteutettu. Venäjä keskitti resurssinsa Jamalin niemimaan kaasukenttien kehittämiseen ja kaasun kuljettamiseen LNG-tankkereilla maailman markkinoille.

Voitin kuitenkin Norsk Hydron miesten luottamuksen ja yhteistyömme jatkui. Se loppui Hydron öljy- ja kaasudivisioonan sulautumiseen Statoiliin. Tässä yhteydessä kontaktini ottivat heille tarjotun eläköitymispaketin.

Hydron projektit teettivät paljon haastavia töitä varsin kansainvälisissä yhteyksissä vuosina 2005 – 2007. Yhteistyön aikana en voinut olla huomaamatta, miten hyvin Norsk Hydro, Det Norske Veritas, norjalaiset konsultit ja tutkimuslaitokset pelasivat yhteen.



*Shtokmanin kaasukentälle suunniteltu jäänkestävä Spar-tuotantolautta ja jääkuormien hallintamahdollisuuksia stand-by jäänmurtajan avulla.*



*Vasemmalta Lars Ingolf Eide, Kjell Ivar Stocke ja Dagfinn Sven Norsk Hydrosta sekä allekirjoittanut kokouksessa jack-up porauslauttakonseptista Pechoranmeren jääolosuhteisiin.*

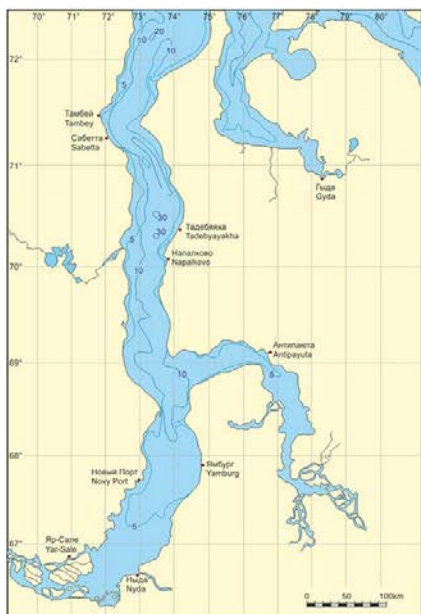
## Painopiste Obin lahdelle ja Jamalin niemimaalle

Vuosien varrella on tullut osallistuttua erilaisissa rooleissa moniin Venäjän hiilivetykehitysprojekteihin. Kohteet ovat sijainneet muun muassa Tatarian salmessa, Kaspian merellä, Pechoran merellä ja Ohotan merellä. Kyse on ollut muun muassa porausrakenteista, tuotantotasanteista, öljyn lastausrakenteista sekä hiilivetykehitykseen liittyvistä satamista. Työ on ollut konseptikehittelyä, jääkuormien määrittelyä, suunnitelmiin liittyviä lausuntoja ja jääongelmien hallintaan liittyvien suositusten laadintaa.

Yhteistyökumppaneina on usein ollut verkoston yrityksiä kuten Aker Arctic, RR-Offshore, Aker Rauma Offshore, Wellquip ja Morstroitechnology. Loppuasiakkaina on ollut muun muassa Gazflot, Yamal LNG ja Exxon.

Töiden painopiste siirtyi pikkuhiljaa Obin lahdelle. Jäiden lähtö lahdella saattoi olla raju suurten ja paksujen jäälautojen purkauessa keväällä kohti pohjoista.

Olosuhteet ovat kuitenkin vielä ankarammat Beaufort merellä. Sen olosuhteet, merirakenteiden suunnittelukriteerit ja kokemukset olivat pääosin tiedossa, kiitos muun muassa Finn-Stroin Canmarilta ostaman tietotaidon. Tästä sai hyvän lähtökohdan töille.



	Ob-Bay, project area	Canadian Beaufort Sea
Average freezing index	4 000 C x days	4 600 C x days
Ultimate temperature range	- 55 C - + 26 C	- 58 C - + 24 C
Maximum wind speed	35 m/s	40 m/s (10 min/100)
Wave height once in 100 years	Hs = 3 – 5 m	Hs = 6 – 7.3 m
Wave period	T = 5 – 6 s	T = 11 – 12 s
Surface current once in 100 year	1 – 2 m/s	2.5 m/s
Average max. first year ice thickness	1.8 m	1.8 m
First year ice ridges	Hk = water depth or less	Hk = 23 m (one per 1000 km)
Multi year ice	None	Average thickness 2-4m Typical concentration 2 – 5 % Maximum thickness up to 10 m
Major ice movements	Spring break-up period	Year round

### Obinlahden ja Beaufortinmeren olosuhteiden vertailu.

Venäjä päätti vihdoinkin 2010-luvun alussa ryhtyä jättiprojektiin. Suunnitelmana oli rakentaa Yamalin kaasun LNG-prosessointilaitos ja satama Sabettaan Obin lahden länsirannalle ja kuljettaa kaasu sieltä jäätä murtavilla LNG-tankkereilla maailman markkinoille.

Vaiheittain toteutetun projektin kokonaiskapasiteetiksi suunniteltiin 16,5 miljoonaa tonnia nesteytettyä kaasua vuodessa. Sen kustannusarvio oli tankkereineen 27 miljardia dollaria. Sataman rakentaminen alkoi vuonna 2013. LNG:n tuotanto ja laivaukset alkoivat vuoden 2017 lopussa.

Aker Arctic oli valikoitunut mukaan hankkeeseen jäänmurtajätietämyksensä ansiosta. Eranti Engineering taas tuli mukaan kehittämänsä jääkontrollitekniikan takia. Jäätä jouduttaisiin murtamaan tiheään satama-altaassa ja väylillä paljon kylmemmissä olosuhteissa kuin Suomessa. Lohkarejäamassat olisivat pitkän talven aikana ongelma niin aikataulutetulle linjaliikenteelle kuin myös terminaalien rakentamiseen ja operointiin liittyvälle liikenteelle.

Laadimme lämpimän veden käyttöön perustuvat jääkontrollisuunnitelmat laitureille ja satama-altaaseen porukassa, johon kuuluivat allekirjoittaneen lisäksi Sami Saarinen Aker Arcticista alusmanöövereiden asiantuntijana, Mika Karilas Airixista pulputusjärjestelmän suunnittelijana sekä Huachen Pan CFD-Finlandista nestemekaniikan asiantuntijana.

Analyysi koostui kahdesta osasta. Toisaalta laskettiin lohkarjään muodostumista, joka tapahtuu pääasiassa lohkarjääkerroksen pinnassa ja hidastuu lohkarjääkerroksen paksuuntuessa. Toisaalta lasketaan lämpimän veden kierrosta johtuvaa lohkarjääkerroksen sulamista alaspäin. Sulamista laskevien CFD-analyyseiden komplikaationa oli sen huomioon ottaminen, että suolaveden jäätympiste oli alhaisempi kuin vähemmän suolaisen jään.

Tämän lisäksi tehtäviini projektissa liittyi lay-out vaihtoehtojen kommentointi, jääkuormien kommentointia sekä satama-altaan pohjan ikeroutakysymysten analysointia.

Projektin toteutuksessa oli merkillepantavaa sen nopeus. Koko jättihanke suunniteltiin ja toteutettiin ensimmäisen vaiheen osalta käytännössä seitsemässä vuodessa.



*Ilmakuva Sabettan LNG-terminaalista ja satamasta.*

Toinen merkillepantava seikka oli mielestäni tarpeettoman raskaiden suojausten käyttö matalassa vedessä. Näitä tosin kevennettiin satamasuunnittelun loppuvaiheessa.

Voidaan kysyä, mikä on todennäköisyys, että satamaan iskeytyy riittäväällä ajovoimalla suuri jäälautta luoteesta. Ja jos iskeytyy, niin mitkä ovat seuraukset, kun jäänmurtokalustoakin on käytössä? Jos suojaus olisi toteutettu yksinkertaisen kiviainespenkereen avulla, se olisi vaurioituneenakin synnyttänyt satamaa suojaavan pohjautuneen jääahtautuman.

Tässä projektissa toteutui myös kansainväliseen toimintaan liittyvä riski. Osa tilatusta työstä (tilauksen oli tältä osin tehnyt suunnitteluorganisaatio, ei Yamal LNG) jäi maksamatta. Riitely ja neuvottelut maksun saamiseksi osoittautuivat ajan haaskaukseksi. Kyseessä oli ainut kerta Eranti Engineeringin historiassa, kun merkittävä osa tilatusta työstä jäi korvaamatta.



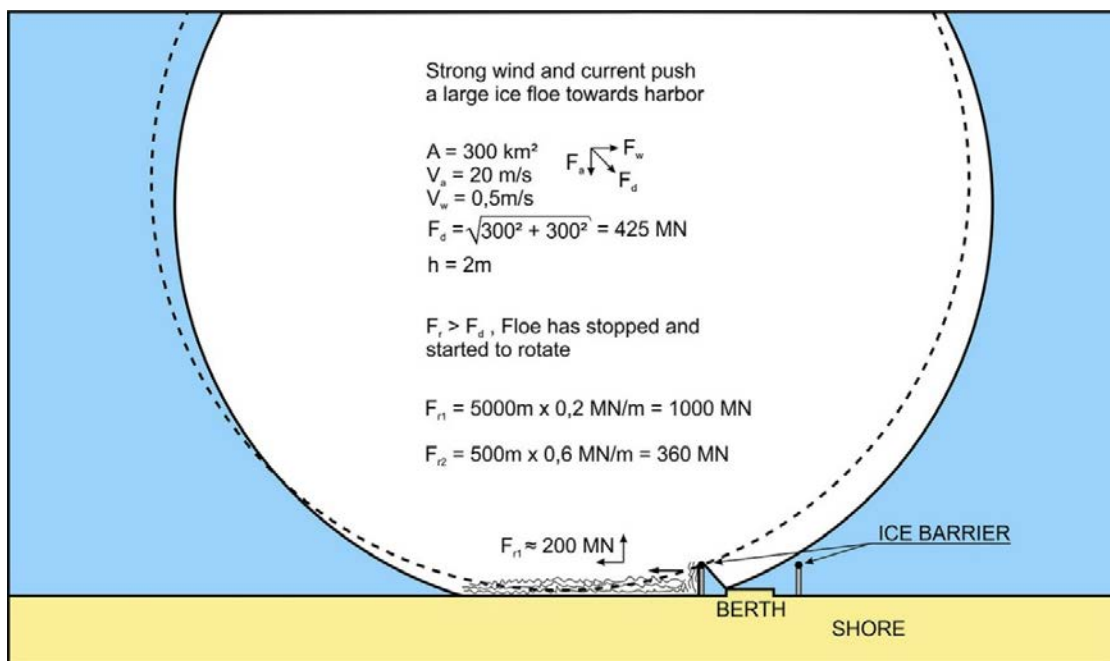
*Endicott-öljyntuotantokompleksiin Beaufortinmerellä johtaa matalaan veteen rakennettu yksinkertainen pengertie. Jään maksimipaksuus alueella on kahden metrin luokkaa.*

Venäläiset yhteistyökumppaneineen alkoivat suunnitella ja rakentaa uutta LNG terminaalia ja satamaa Obin lahden itärannalle Sabettaa vastapäätä. Projekti nimettiin Arctic LNG 2:ksi.

Suunnitelmissa olivat jälleen massiiviset suojaukset vaikeisiin pohjaolosuhteisiin satama-altaan ulkopuolelle. Kyseessä olisi kallis ja aikaa vievä operaatio.

Menin yhdessä Wellquipin kanssa markkinoimaan projektiratkaisua, jossa nämä massiiviset suojaukset voitaisiin suurelta osin välttää. Yllättäen vastassa olivat osin samat miehet, joiden kanssa olin tekemisissä jo Yamal LNG-projektissa. Esitin asiani. Se sai ilmeisesti ristiriitaisen vastaanoton.

Myöhemmin konsultoin diskreetisti erästä kansainvälistä merirakennusurakoitsijaa sataman suojausten osalta. Tässä yhteydessä minulle selvisi, että satamasuunnittelijat olivat panostaneet hanke-esittelyn yhteydessä materiaaliin, jossa ehdotukseni tyrmättiin. Perusteet eivät kuitenkaan kestäneet lähempää tarkastelua. Joka tapauksessa Eranti Engineering oli projektista ulkona.



*Äärimmäinen satamasuojauksen kuormitusskenaario Obinlahdella. Jäälautan ajovoima on rajallinen. Varsinkin lahden pohjukassa olevaan satamaan on erittäin vaikea osua voimalla.*



*LNG-terminaalin suojauskonsepti tekosaarten ja jäänmurtajan avulla. Jos jäänpaine kasvaa kriittiseksi myrskyssä, jäänmurtaja avaa tekosaarten ulkopuolelle väylän, joka laukaisee vallittumisen satama-altaan ulkopuolella.*

### 13. Teräskuoritekнологia

Sylinterin muotoon ajettuja lautaponttirakenteita, jotka on täytetty kiviaineksella, on käytetty laituri- ja merirakentamisessa satakunta vuotta. Sisätäyttö antaa rakenteelle massan ja sylinterimuotoinen teräskuori ottaa vedolla vastaan sisätäytön aiheuttamat paineet. Rakentaminen on kuitenkin herkästi riippuvaista erityisesti aalto-olosuhteista.

Kun venäläisten tapa käyttää esivalmistettuja terässylintereitä ponttien sijasta tuli minulle tutuksi Sizimanin projektissa, nousi mieleen ajatus teknologian käytöstä Suomessa. Vuosaaren sataman suunnittelu antoi kiinnostukselle lisäpontta. Terässylinterit olisivat vaihtoehtoihin (laiturikasuuni tai kulmatukimuuri) verrattuna kevyitä ja niitä olisi helppo nostaa paikoilleen yleisesti saatavilla olevalla kalustolla.

Teimme yhteistyössä Rautaruukin kanssa pienoismallikoesarjan TKK:n vesirakennuksen laboratorioissa laajan pienoismallikoesarjan, jolla vakuutuimme konseptin toimivuudesta. Tutkimme myös YIT:n ja Rautaruukin kanssa sen taloudellista kilpailukykyä.

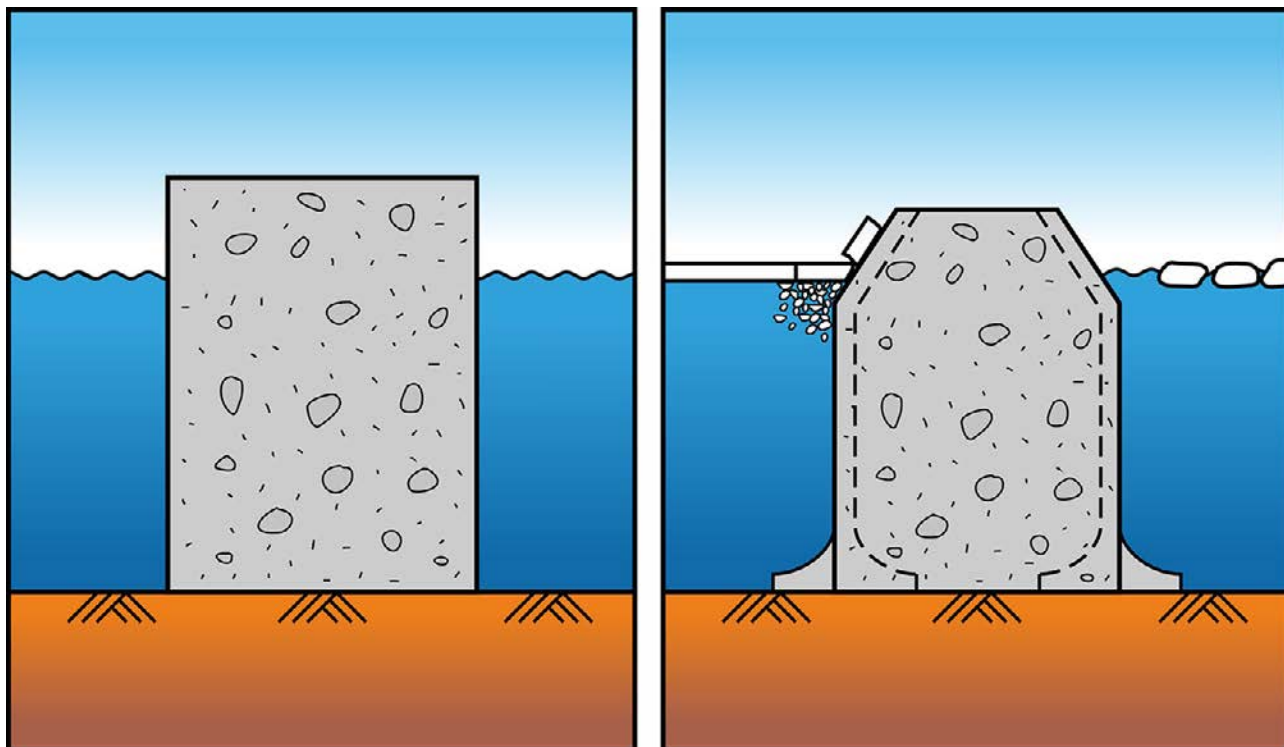
Osoittautui, että rakennetyyppi ei tarjonnut ratkaisevaa kilpailuetua kilpailijoihin verrattuna täällä kehittyneen rakennusinfrastruktuurin piirissä. Teräslevyjen hitsaaminen säiliöseinän muotoon tuli turhan kalliiksi.



*Terässylinterimuurin kaatokoe TKK:n vesirakennuksen laboratorioissa. Tässä tapauksessa taustäyttönä oli masuunihiekka, jolla oli suuri kitkakerroin. Kokeita tehtiin myös hienolle merihiekalle. Kun kuormaa oli tarpeeksi, saatiin aikaan hydraulista murtumaa seurannut tukimuurin kaatuminen.*

Kehitystyö kuitenkin jatkui, nyt merimerkkeihin liittyen. Kun kuormat ovat dynaamisia, tarvitaan rengasantura ankkuroimaan vetopuoli. Samalla saadaan lisää stabiloivaa momenttivartta puristuspuolelle.

Kokeita tehtiin ja suunnitelmia laadittiin nyt yhteistyössä Suomenlahden merenkulkupiirin kanssa. Yksi merkki toteutettiin muunneltuna Porkkalan edustalle. Tässä projektissa kallion rakoisuus aiheutti ikävän yllätyksen ankkureita injektoitaessa. Merkkien tarve väheni navigointitekniikan kehityksen myötä. Kustannusetu paaluperustukseen verrattuna oli olemassa vain tietyissä pohjaolosuhteissa.



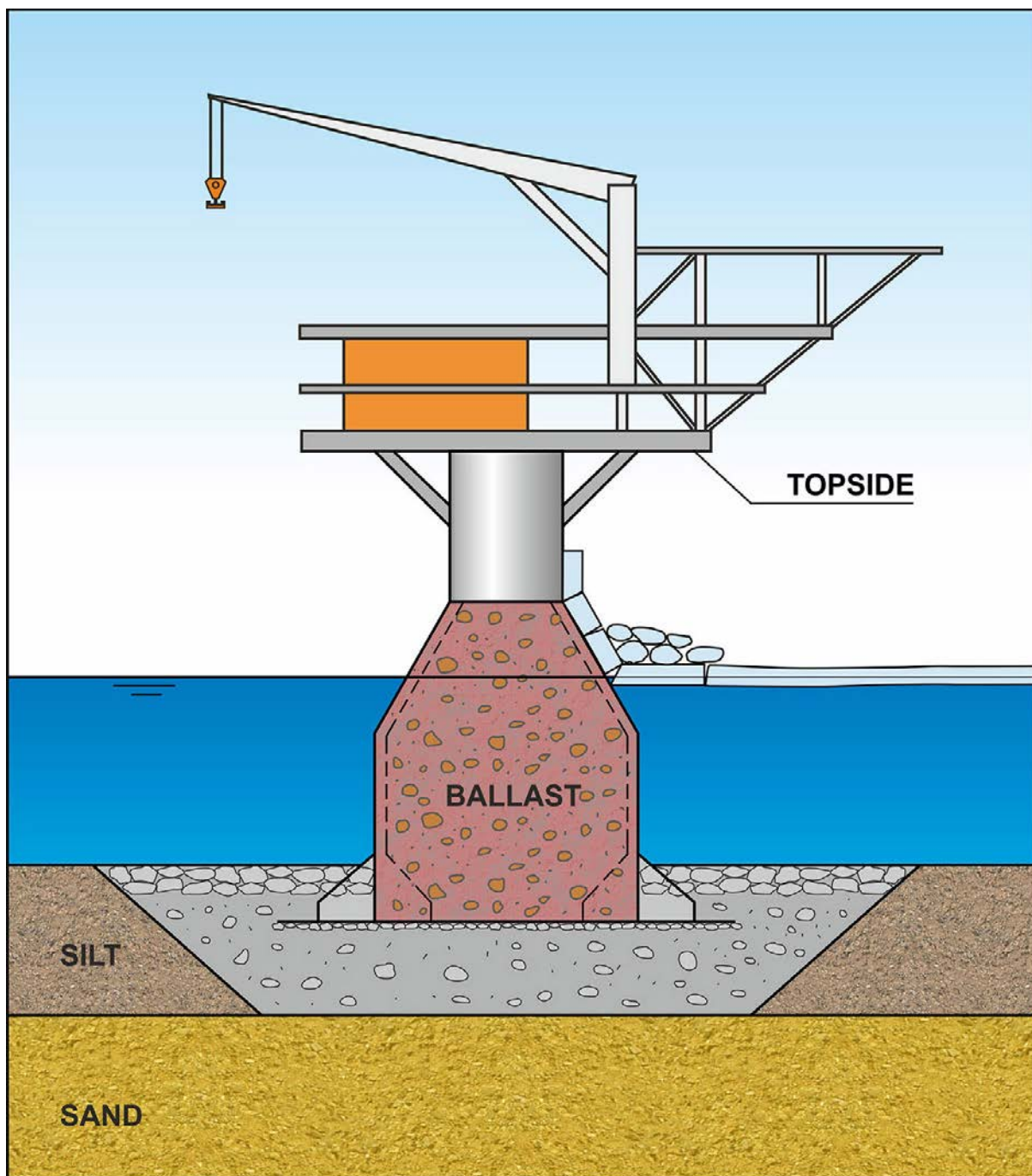
*Kun pyörähdyssymmetrinen teräskuori täytetään kiviaineksella, se käyttäytyy melkein kuin solidi blokki staattisten kuormien alaisena. Täyttö tukee teräskuorta paikallisten kuormien suhteen ja lisää merkittävästi puristuksen alaisen kuoren stabiliteettia. Jos rakenteeseen kohdistuu suuria dynaamisia kuormia ja paikallisia kuormia, tarvitaan rengasantura ja jäykisteitä.*



*Grimsholmenin reunamerkki valmiina meriasennusta varten. Etualalla tyttäreemme Katri.*

Teräskuoriteknologiaa kehitettiin myös matalan veden hiilivetykehityshankkeita silmällä pitäen. Tässä olisi tarjolla nopeita ja kustannustehokkaita poraustasanne-, lastausrakenne- ja öljylaituriratkaisuja erityisesti arktisille alueille. Kaupallisia ehdotuksia on tehty eri toimijoiden kanssa Obinlahdelle, Ohotanmerelle, Bohainlahdelle, Beaufortinmerelle ja Kaspianmeren pohjoisosiin.

Markkina on kuitenkin ohentunut ja kadonnut osin kokonaan. Kaupallisiin sovelluksiin ei ole päästy.



*Ehdotus satelliittiporaustasannekonseptiksi Kaspian meren koillisosaan.*

Teräskuoriteknologian varsinainen läpimurto tapahtui merituulivoiman kehittämisen yhteydessä. Merellä tuulee ja meillä on Pohjanlahdella laajoja merituulivoiman tuotantoon soveltuvia matalikkoalueita, joilla on pääosin gravitaatioperustuksille soveltuvia kovia pohjia. Perustusten on kestävä dynaamisia tuuli-, jää- ja aaltokuormia.

Projektinhallinnallisista syistä rakentamisen on oltava sarjatuotantomaisen tehokasta. Perustusten uittaminen paikoilleen ei oikein tule kysymykseen, koska väylät ovat matalia, eikä teräsbetonisten perustusten valmistamiseen sopivaa telakkakapasiteettiakaan ole tarjolla. Toisaalta perustusten noston kustannus kasvaa eksponentiaalisesti tarvittavan nostokapasiteetin funktiona.

Rengasanturalla varustettu teräskuoriperustus täyttää vaatimukset erinomaisesti. Perustukset ovat riittävän kevyitä paikoilleen nostettaviksi ja niiden valmistukseen sopivaa telakkakapasiteettia on tarjolla. Jätin tällaista meriperustusta koskevan patenttihakemuksen vuonna 2002 ja sain pitkällisen kirjelmöinnin tuloksena siitä Eurooppa-patentin vuonna 2016.

2.3 MW:n pilottivoimala rakennettiin teräskuoriperustusteknologiaa soveltaen Porin Tahkoluodon edustalle vuonna 2010. Sen ympärille rakennettiin 40 MW:n merituulipuisto 10 – 15 metrin syvyyksiin vuonna 2017-2018. Toimin molemmissa projekteissa pääsuunnittelijana. Sittemmin olen ollut Hyötytuulen erityisasiantuntijana suunnittelemassa perustuksia 15 – 20 MW:n voimaloille paljon suurempiin vesisyvyyksiin.



*Tahkoluodon merituulipuiston pilottivoimala myrskyssä.*

Teräskuoriperustus on kantavalla pohjalla usein erinomainen ratkaisu myös sillan virtapilariksi. Valmistele pohja, nosta esivalmistettu kevyt teräskuori paikoilleen ja täytä se kiviaineksella. Nopeaa ja edullista ilman turhia kommervenkkejä.



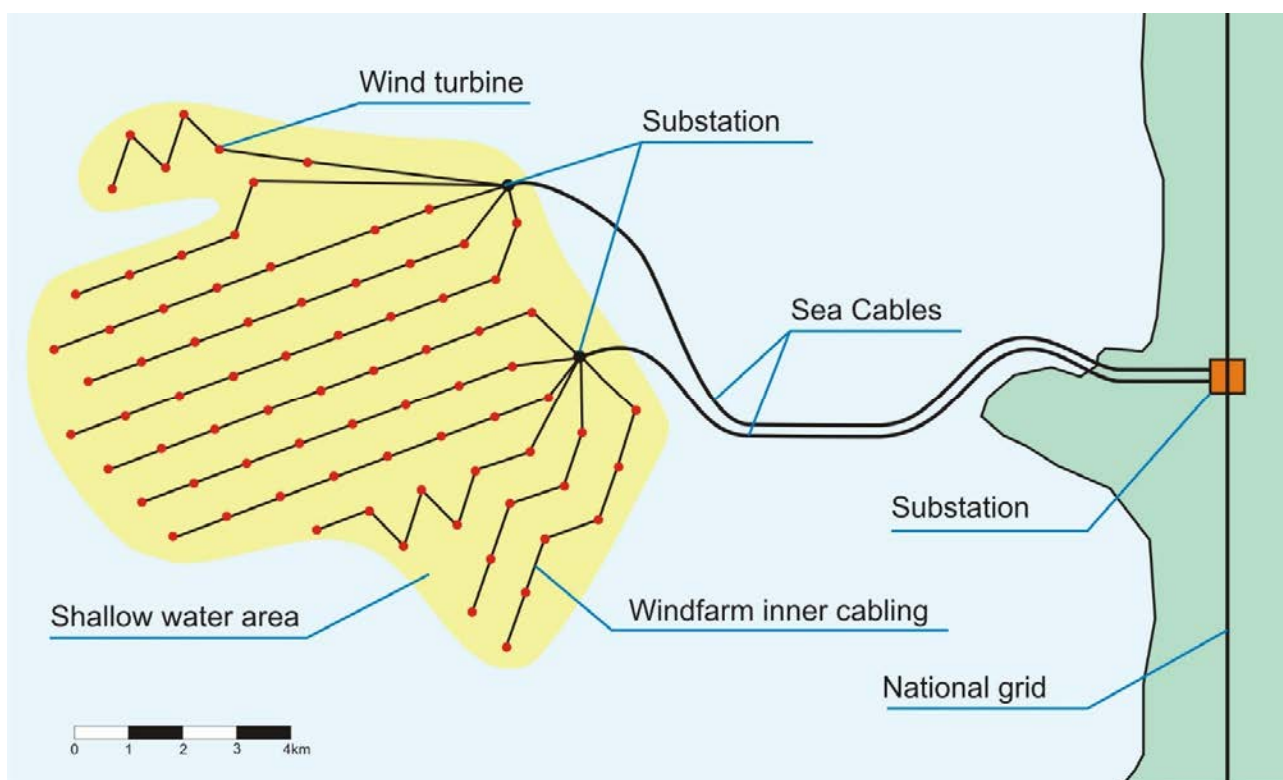
*Teräskuoriperustus kevyen liikenteen sillan virtapilarina.*

## 14. Merituulivoima

Vuosituhammen taitteessa kiinnostuin merituulivoimasta. Taustalla oli toisaalta kehittämäni perustusteknologia ja toisaalta näkemystäni ilmastonmuutoksesta. Hyväksi yhteistyökumppaniksi löytyi DI Esa Holttinen, joka tuolloin vaikutti Electrowatt-Ekonossa.

Merellä tuulee, mitä ulompana, sen enemmän. Kartoitimme potentiaalisia tuulivoima-alueita ja kehittelimme näille ratkaisuja (voimalat perustuksineen, kaapelointi ja kytkentä valtakunnan verkkoon). Teimme myös teknistaloudellisia arvioita merialueiden soveltuvuudesta tuulivoimatuotantoon kaavoituksen pohjaksi. Siinä vaiheessa voimalat olivat pieniä. Visiossa voimalakoko oli 3 MW:n luokkaa.

Teimme myös Suomen Hyötytuuli Oy:lle Pori Offshore 50 MW:n merituulipuiston kelpoisselvityksen yhteistyössä ABB:n, Mäntyluoto Worksin ja YIT:n kanssa. Selvitys valmistui vuonna 2002.



*Hypoteettisen merituuliprojektin osat*

### Lupaprosessit

Jo tässä vaiheessa kiinnitin huomiota hankkeiden massiivisiin lupaprosesseihin. Maisemavaikutus on merituulipuiston pääasiallinen ympäristövaikutus. Monimuotoinen lupaprosessi viivästyttää sen toteutusta ja tähän liittyvää kasvihuonekaasupäästöjen leikkausta tyypillisesti viidellä vuodella. Liitteenä 14.1 on Suomen tuulivoimayhdistykselle asiasta kirjoittamani lausunto.

Erityisen tyrmistyttävä oli laajalle levinnyt mielikuva tuulivoimalasta lintujen silppurina. Asiaa tutkinut erikoistutkija Jarmo Koistinen totesi jo tuolloin, että linnut näkevät, kuulevat ja kiertävät voimalat. Törmäyksiä tapahtuu vain poikkeustilanteissa.

Tämä vastasi myös tutkimuksiin perustuvaa kansainvälistä käsitystä, jonka mukaan törmäystiheys voimalaa kohti on luokkaa 1 kappale vuodessa.

Suomessa ammutaan noin miljoona lintua vuodessa. Autokolareissa, ikkunatörmäyksissä ja kissojen saaliina kuolee miljoonia lintuja. Kun poikaskuolleisuus otetaan huomioon, Suomen alueella vuosittain menehtyvien lintujen määrä on suuruusluokkaa 100 miljoonaa.

Tämä asian veivaaminen jatkuu kuitenkin edelleen. Projekteja rasietaan näiden asioiden massiivisella selvittämisellä jo ennen investointipäätöstä. Voimalapaikkojen siirtely huonompiin paikkoihin saattaa maksaa miljoonia heti investointivaiheessa. Päälle tulevat vielä raskaat seurantatutkimukset ja tuotannon ohjauksesta aiheutuvat lisäkustannukset. Kuluttaja ja ilmasto lopulta maksavat.

## Hankkeita

2000-luvun alussa Korsnäsin edustan laaja matalikkoalue vaikutti lupaavalta alueelta teollisen mittakaavan merituulivoiman tuotantoon. Alueen pohjaolosuhteita selvitettiin ja tuulivoima-alueita rajattiin.

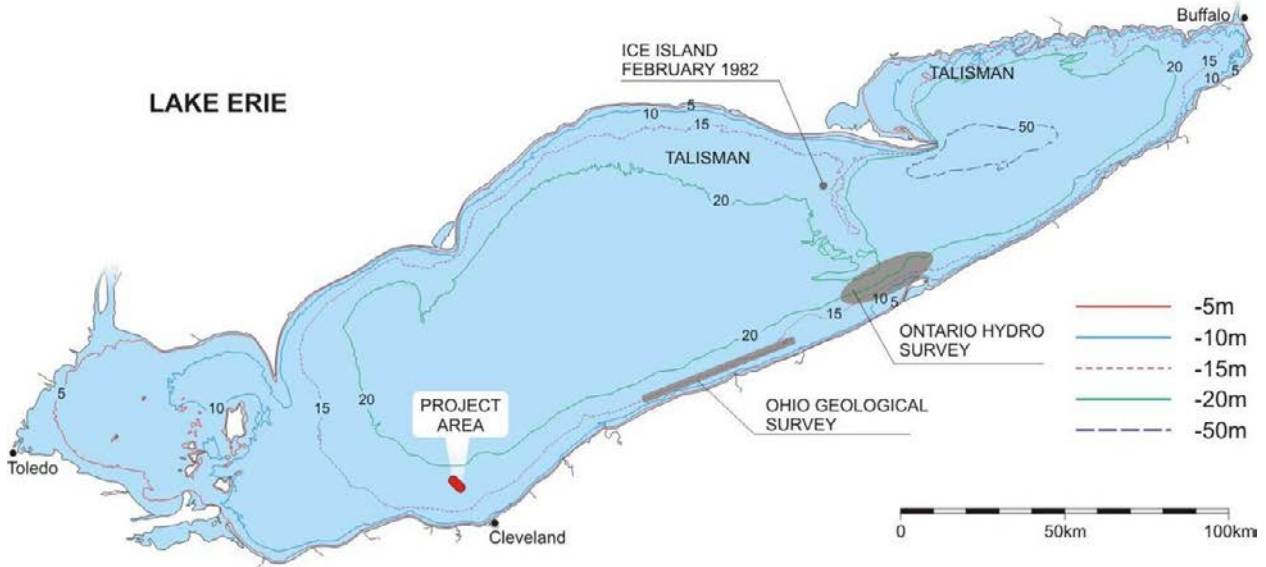
Tuossa vaiheessa yksi ihminen asettui vastahankaan. Hän kertoi, että kohta on investoijia jonoksi asti. Hänen vaikutuksestaan tuulivoimantuotantoalueet rajattiin niin etäälle, ettei niiden tutkimista kannattanut silloin viedä eteenpäin. Myöhemmin teknologian kehittyttyä WPD Suomi selvitti merituulivoimahankkeen kelpoisuutta alueella, mutta hanke ei edennyt.

Olin myös mukana WPD Suomen Suurhiekkan alueen merituulipuiston hankeselvityksessä sekä WPD Ruotsin Finngrundenin ja Storgrundetin hankeselvityksistä. Työ oli lähinnä merirakennustekniikkaa, mutta myös ympäristökysymyksiin tehtiin perusteltuja kannanottoja. Mikään näistä hankkeista ei ole ylittänyt investointikynnystä.

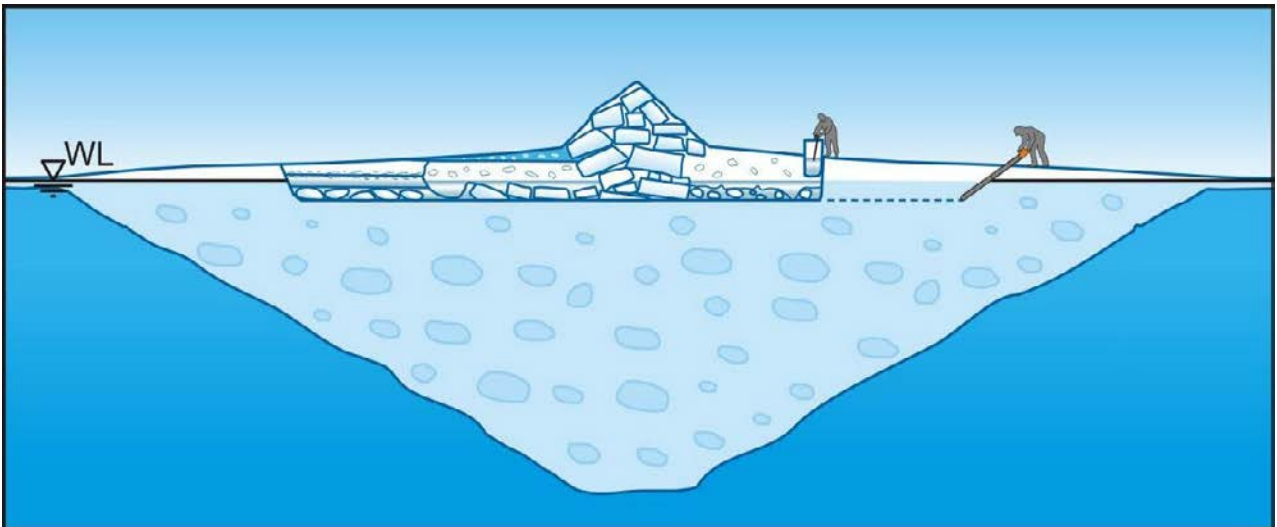
2010 – luvun alkuvuosina ja myöhemminkin olin mukana LEEDCO:n Icebreaker projektissa tarkoituksena rakentaa muutaman tuulivoimalan puisto Lake Erielle. Olin aluksi hankkeessa jääasiantuntijana, mutta myöhemmin luottamuksen kasvettua konsultoin LEEDCOa myös hankkeen perustamis- ja ympäristövaikutuskysymyksissä. Yhteistyö loppui lopullisesti vuonna 2019 Eranti Engineering Oy:n myytyä merituulivoimaliiketoimintansa patenteineen Suomen Hyötytuuli Oy:lle.

Pakkasmäärät Lake Erien alueella eivät ole suuria, kovana pakkastalvena 600 astevuorokauden luokkaa. Järvi on kuitenkin matala. Joinakin talvina kovat, idän puolelta pitkään puhaltavat hyytävän kylmät tuulet puskevat ajojäättä kiintojään reunaan muodostaen jopa yli 20 metriä paksuja jäävalleja. Ehdotinkin hankkeen tutkimusohjelmaosuuteen kenttätutkimuksia liittyen suurten vallien rakenteeseen ja lujuteen.

Hankkeeseen liittyi myös palaveri paikallisten ympäristöviranomaisten kanssa. He sanoivat, että kehittäkää te vain hanketta. Me ratkaisemme sen, miten se saadaan hyväksytyä. Siis toisin sanoen hankevastaava oli viranomaisten hyvän tahdon armoilla Yhdysvalloissa. Aivan samalla tavalla kuin Suomessa.



*Project Icebreakerin sijainti Lake Eriellä. Kartassa on näytetty myös alueet ja paikat, joista on löydetty suuria jäävalleja.*



*Yksi tapa tutkia jäävallin konsolidoituneen osan rakennetta. Onko päällekkäin ajautuneessa ja konsolidoituneessa jääkerroksessa heikkousvyöhykkeitä?*

### **Tahkoluodon merituulipuisto**

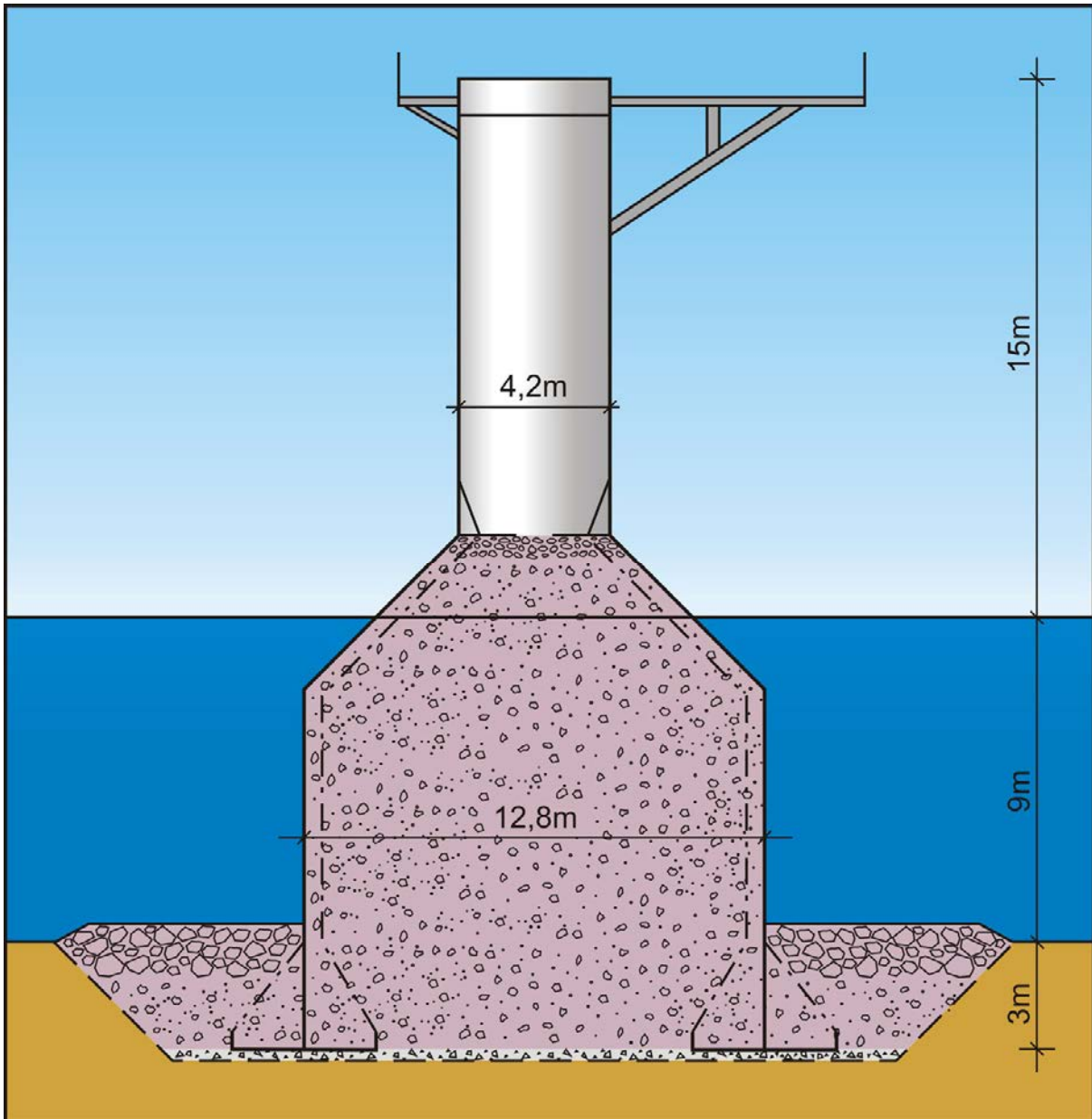
Porin Tahkoluodossa sen sijaan mentiin eteenpäin. 2.3 MW:n pilottivoimala valmistui vuonna 2010. Toimin hankkeen pääsuunnittelijana lähimpänä yhteistyökumppaninani Hyötytuulen silloinen johtaja Timo Mäki. Porin kaupunki suhtautui hakkeeseen myönteisesti. Technip Offshore Finland valmisti teräskuoriperustuksen ja Siemens toimitti turbiinin. Merirakennustöistä vastasi Terramare.



*Tahkoluodon pilottivoimalan valmistusta ja asennus.*



*Tahkoluodon pilottivoimala jäissä talvella 2011.*



*Tahkoluodon merituulipuiston pilottivoimalan päämitat.*

Vuosina 2017 – 2018 pilottivoimalan ympärille rakennettiin kymmenen 3.6 MW:n voimalan merituulipuisto. Olin tässäkin hankkeessa pääsuunnittelijana. Lähimpinä yhteistyökumppaneinani olivat projektijohtajat Arto Huhmarkangas ja Hanna Matomäki. Perustukset toimitti Technip ja turbiinit Siemens. Merirakennustöistä vastasi tällä kertaa Jan de Null.

Suunnittelijoista mainittakoon Ramboll perustussuunnittelijana, Technip teräskuorirakenteen detajisuunnittelijana ja Sweco Danmark, joka teki muun muassa aaltoanalyysit sekä aalto- ja jääkuormien yhdistelyn voimalan tuulikuormiin.

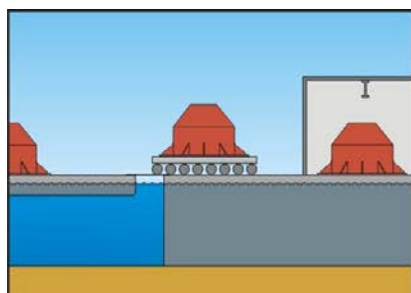
Itse tein perustuksen pääsuunnittelun lisäksi muun muassa merikaapelointisuunnitelman, ruoppaus- ja läjityssuunnitelman sekä merirakentamiseen liittyneet tekniset ympäristöselvitykset.

Rakennusvaiheessa työtahti oli kova. Kalliiden koneiden seisominen maksoi. Onneksi merenpohjatutkimusten tarkkuus oli kehittynyt hämmästyttävällä tavalla. Urakoitsija mittausalus tiimeineen tulosti nopeasti työn lopputuloksen. Päätös työvaiheen hyväksynnästä tai korjaustoimenpiteestä voitiin tehdä puolessa tunnissa jopa aamuyöstä.

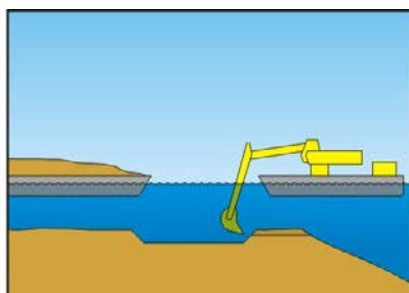
Yksi mielenkiintoinen osakokonaisuus oli työnaikaisten aalto-olosuhteiden ennustaminen. Tätä varten oli käytössä Ilmatieteen laitoksen 12 tunnin välein päivittyvä ja kaksi vuorokautta eteenpäin katsova aaltoennuste alueen edustalla olevaan referenssipiteeseen, jossa oli aaltopoiju. Työpisteen aaltoennusteen sai Sweco Danmarkin laatiman aaltojen vaimentumista kuvaavan tuulipuiston sisäisen aaltomallin avulla.

Asia on tärkeä, koska kullekin työvaiheelle on merkitsevän aallonkorkeuden raja, tyypillisesti 0.7 – 1.2 metriä riippuen työvaiheesta.

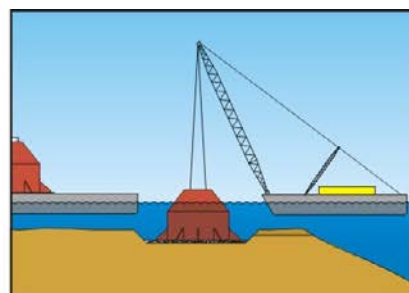
Rehellisyyden nimissä on todettava, että kaikki ei mennyt ihan nappiin. Toimittajien kanssa käytiin armotonta väänköä. Jälkitöitä jouduttiin tekemään. Tuulipuisto saatiin kuitenkin tuotantoon aikataulussa ja melkein budjetissa.



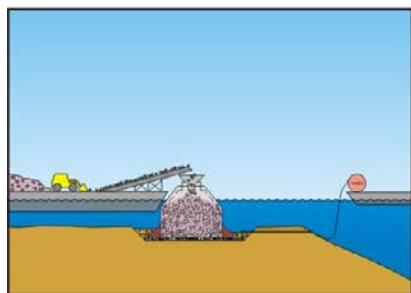
1. Manufacturing of substructures



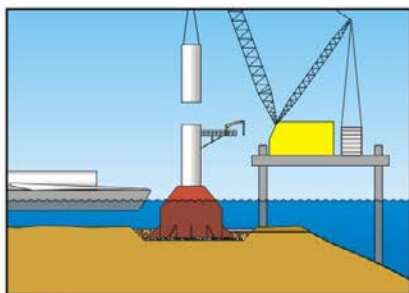
2. Bottom preparation and trenching



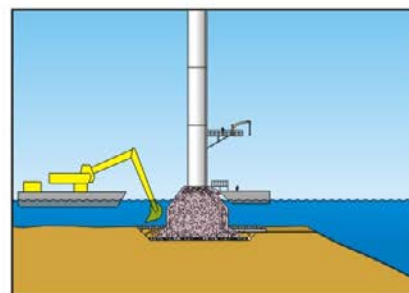
3. Shell placement



4. Rock fill, cabling



5. Erection of shaft, wind turbines



6. Hook-up and commissioning

*Tahkoluodon merituulipuiston rakentamisperiaate.*



*Tahkoluodon merituulipuiston rakentamista.*

### **Merituulivoiman jatkokehittely**

Työt merituulivoiman parissa jatkuivat, nyt eksklusiivisesti Hyötytuulen erityisasiantuntijana. Uutena piirteenä kehitystyössä oli voimalakoon kasvu asteittain 15 – 20 MW:n luokkaan.

Tein Hyötytuulelle 38 potentiaalisen teolliseen tuotantoon soveltuvan merituulivoima-alueen evaluaation ja tarkemman evaluaation neljälle alueelle. Olen osallistunut monin tavoin Tahkoluodon merituulipuiston laajennussuunnitteluun. Ice design basis-dokumentin olen tehnyt kahdelle alueelle.

Hyötytuuli onnistui myymään kehittämänsä tietotaitoa tuulipuistohankkeeseen Viroon. Olen ollut mukana myös tässä hankkeessa.

Merituulivoimahankkeissa kertynyt merirakentamisen tietotaito on osoittautunut erittäin hyödylliseksi, kun olemme yhdessä Antti Talvitien ja Merenkurkun neuvoston kanssa hakeneet nopeaa ja kustannustehokasta ratkaisua kiinteäksi yhteydeksi Merenkurkun yli Vaasasta Uumajaan.

## Liite 14.1. Lausunto merituulivoiman rakentamisesta.

# Merituulivoima ja lupaprosessit

## Lähtökohta

Yhteiskunta pyrkii edistämään puhtaiden energiamuotojen kuten tuulivoiman käyttöä. Vallitsevan teknistaloudellisen näkemyksen perusteella tuulivoiman toteutusedellytykset ovat parhaimmillaan suurina keskitettyinä kokonaisuuksina meren laajoilla matalikkoalueilla olemassa olevan voimainfrastruktuurin läheisyydessä. Tässäkään tapauksessa tuulivoiman kustannustaso ei nykytilanteessa ole voimayhtiöiden kannalta kovin houkutteleva. Merituulivoimaprojektien toteutusedellytykset riippuvat merkittävästi myös niihin liitettävien lupaprosessien pituudesta, raskaudesta ja riskipitoisuudesta.

Merituulipuistojen perustamisen yhteydessä lähinnä kysymykseen tulevat lupaprosessit ovat vesilupaprosessi, YVA-prosessi, kaavoitusprosessi ja rakennuslupaprosessi. Lisäksi voidaan joutua tekemisiin muun muassa Natura-lainsäädännön, luonnonsuojelulain ja kulttuuriperintöön liittyvän lainsäädännön kanssa.

## Ympäristövaikutusten merkittävyys

Lupaprosessien tarvetta pohdittaessa keskeiseksi kysymykseksi muodostuu ympäristövaikutusten luonne ja merkittävyys. Asian hahmottamiseksi merituulipuiston ympäristövaikutuksia verrataan seuraavassa YVA-asetuksessa mainittuihin polttoaineteholtaan vähintään 300 MW:n kattila- tai voimalaitoksiin ja yli 1350 tonnin aluksille tarkoitetut meriväylät ja satamat. Ympäristövaikutusten suuruusluokkia luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen arvioidaan vaikutusalan, vaikutusajan ja vaikutuksen suhteellisen suuruuden tulona.

Kattila- tai voimalaitoksen vaikutukset luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen ovat suuruusjärjestyksessä tyypillisesti seuraavat:

- 1) Hiilidioksidipäästöt (olettaen että IPCC:n arviot kasvihuoneilmiöstä ovat suurin piirtein oikeita)
- 2) Rikki-, typpi ja hiukkaspäästöt
- 3) Polttoainehuoltoliikenteen ja muun raskaan liikenteen vaikutukset
- 4) Muut vaikutukset (jätteet, lämpöpäästö, jalanjälkivaikutus, melu jne.)

Vaikutustyyppien suuruudessa on yhden tai useamman suuruusluokan ero.

Meriväylän ja sataman vaikutukset luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen ovat suuruusluokkajärjestyksessä tyypillisesti seuraavat:

- 1) Merenkulun ja satamaliikenteen hiilidioksidipäästöt
- 2) Merenkulun ja satamaliikenteen rikki-, typpi-, ja hiukkaspäästöt
- 3) Jalanjälkivaikutus ja liikenteen aiheuttama häiriö ympäristössä
- 4) Muut vaikutukset (laivojen jätehuolto, laivojen muut päästöt, rakentamisen vaikutukset jne)

Myös tässä tapauksessa kategoriatasolta toiseen siirryttäessä siirrytään myös suuruusluokasta toiseen. Mainittakoon, että muualla Euroopassa parhaat satamapaikat on rakennettu jo historiallisena aikana. Uudet satamapaikat joudutaan tunkemaan tyypillisesti jokisuistoihin tiheään asutuksen piiriin, koska sataman rakentaminen avoimen meren rantaan on yleensä lähes mahdotonta. Ehkä nämä syyt ja sataman vaatimat liikennejärjestelyt ovat olleet takana, kun satamat on otettu mukaan YVA-direktiiviin.

Merelle sijoitettava tuulipuisto koostuu merenpohjaan perustettavista tuulimyllyistä, pohjaan asennettavista ja peitettävistä voimakapeleista ja muuntamoasemista. Vaikutukset luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen ovat lähinnä:

- 1) Häiriövaikutus (linnut eivät tule aivan lähelle tuulimyllyä)
- 2) Jalanjälkivaikutus
- 3) Tuulipuiston rakentamisen ja purkamisen vaikutukset

Nämä vaikutukset ovat varsin pieniä. 300 MW:n merituulipuiston vaikutukset luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen ovat arviolta neljä kertaluokkaa pienemmät kuin esimerkiksi polttoaineteholtaan 300 MW:n hiilivoimalan vaikutukset. Osin on vaikea arvioida ovatko vaikutukset positiivisia vai negatiivisia. Uuteen satama- ja väylähankkeeseen verrattuna päästövaikutukset puuttuvat ja vaikutukset ovat jalanjäljen ja rakentamisen osalta tyypillisesti kaksi kertaluokkaa pienemmät.

Merituulivoiman yhteydessä on nostettu esiin lukuisia määriä erilaisia ympäristöriskejä kuten lintujen törmäykset tuulimyllyihin, sähkökaapelien voimakenttien vaikutukset ankeriaan vaeltamiseen, tuulimyllyistä mahdollisesti varisevan kuparipölyn vaikutukset meren ekosysteemiin, tuulipuiston vaikutukset paikallisiin virtauksiin, tuulivoimalan meluvaikutukset jne. Tämän kaltaisia kysymyksiä on jo tutkittu maailmalla varsin paljon ja riskien suuruusluokkia on analysoitu karkeasti myös Suomessa. Lintujen törmäysriski tuulivoimalaan on samaa suuruusluokkaa kuin törmäysriski omakotitalon ikkunoihin. Merikaapeleista on paljon kokemusta, eikä erityisiä ongelmia ole havaittu. Kuparipölyriski ja tuulipuiston vaikutus virtaamiin on mitätön. Tuulivoimalan meluvaikutukset ovat vähäisiä meren pauhuun ja meriliikenteen meluvaikutuksiin verrattuna.

Merituulivoimaan liittyy maisemavaikutus, joka riippuu tarkastelupisteen etäisyydestä. Etäisyyden ollessa alle 3 km merituulipuistoa voi luonnehtia dominoivaksi maisemaelementiksi. Etäisyyden ollessa 3 ... 7 km maisemavaikutusta voi luonnehtia voimakkaaksi. Etäisyyden ollessa 7 ... 12 km maisemavaikutusta voi luonnehtia näkyväksi muiden tekijöiden dominoidessa. Etäisyyden ollessa yli 12 km tuulipuistoa voi luonnehtia navigaatioavuksi. Maisemavaikutus voi olla merituulipuiston merkittävin ympäristövaikutus esimerkiksi kaupunkien edustalla.

## Prosessianalyysi

Vesilupaprosessin ja rakennuslupaprosessin raja on perinteisesti kulkenut vesirajassa. Suomen väylähankkeet ruoppauksineen, läjityksineen, majakoineen, linjatauluineen ja muine merimerkkeineen on toteutettu vesiluvan varassa. Sittemmin uusiin ulkomaankaupan väylähankkeisiin on liitetty YVA-prosessi, mutta väylien peruserustuksen- ja kunnossapitohankkeet toteutetaan edelleen vesilupaprosessin puitteissa.

Myös vesilupaprosessi on vuorovaikutusprosessi, johon viranomaiset ja intressitahot antavat lausuntoja ja tekevät muistutuksia. Etenkin ympäristökeskukset, kalatalousviranomaiset ja museoviranomaiset valvovat hyvinkin tarkasti, että asiat selvitetään eikä ajauduta ristiriitaan lainsäädännön, luontoarvojen, elinkeinotoiminnan tai kulttuuriarvojen kanssa. Lupahakemukseen sisältyy varsin yksityiskohtainen vesilain edellyttämä hankekuvaus ja siihen liittyy vesilain perusteella luontevasti kelpoisuusselvityksen yhteydessä tehtyjä seuraavankaltaisia selvityksiä:

- Sijointipaikan valintaan vaikuttaneet tekijät
- Laitosten näkyvyys ja vaikutus maisemaan
- Meluvaikutukset
- Ekologiset vaikutukset
- Arkeologiset ja historialliset vaikutukset
- Hydrologiset vaikutukset
- Vaikutus merenkulkuun
- Vaikutus kalastukseen
- Vaikutus telekommunikaatioon
- Vaikutus ilmailuturvallisuuteen
- Laitosten muu turvallisuus
- Rakentamisaikaiset vaikutukset
- Liittyminen sähköverkkoon
- Vaikutukset paikalliseen talouteen
- Globaalit ympäristövaikutukset (päästöjen väheneminen muualla)
- Vaikutukset turismiin ja virkistyskäyttöön
- Laitosten purkamisen ympäristövaikutukset

Vesilupaehdoin liittyy normaalisti ympäristövaikutusten tarkkailu ympäristökeskuksen määräämällä tavalla, mahdolliset muut tarkkailuvelvoitteet sekä korvauskysymykset.

YVA-prosessia edellytetään hankkeilta, joilla on todennäköisesti merkittäviä ympäristövaikutuksia ja YVA-asetuksen hankeluettelo määrittelee tässä linjaa. Edellä esitetyn perusteella merituulipuistoihin ei yleensä liity todennäköisesti merkittäviä ympäristövaikutuksia. Toki voidaan tehdä harkinnanvarainen YVA silloin kun sillä on perusteet (esim. suunniteltaessa tuulipuistoa Natura alueelle).

Kaavoitus- ja rakennuslupaprosessit ovat useilta osin päällekkäisiä vesilupaprosessin kanssa. Yksityiskohtaiseen kaavoitukseen ei pitäisi mennä ilman perusteita. Tällainen peruste voi olla esimerkiksi merkittävä maisemavaikutus rakennettaessa tuulipuistoa Helsingin edustalle.

Tuulivoiman tuotantoon ensisijaisesti soveltuvat merialueet on melko helppo selvittää ja määritellä kartalle. Näiden alueiden varaaminen tuulivoimatuotantoon maakuntakaavoissa on tuulivoiman kehittämisen kannalta positiivista alueiden käytön suunnittelua. Kaavamerkinnän puute ei ole kuitenkaan este tuulivoiman rakentamiselle.

## Lupaprosessit ja merituulipuistojen toteutusedellytykset

Tuulipuistoprojekti ei voi toteutua ilman investoijatahoa, joka on yleensä voimayhtiö. Jos halutaan edistää tuulivoimarakentamista ilman tarpeettoman suurta yhteiskunnan tukipanostusta, on syytä tarkastella lupaprosesseja investoijatahon näkökulmasta.

Investoijatahon kannalta tuulivoimaprojektissa on kysymys panostuksesta, tuotto-odotuksista ja riskeistä. Investoija etsii ajassa liikkuvia liiketoimintamahdollisuuksia ja ryhtyy kehittämään lupaaviksi arvioimiaan hankkeita. Investoijataho maksaa kelpoisuus selvityksen ja lupaprosessin olemassa olevan liiketoimintansa marginaaleista ja odottaa jo tälle erittäin riskipitoiselle investoinnille riskiin ja aikaan suhteutettua tuottoa.

Investoijataho ymmärtää hyvin sen, että hankkeen kannalta olennaiset ympäristö- ja muut vaikutukset selvitetään. Itse asiassa tämä on myös investoijatahon intressissä ja työ tehdään valtaosin jo kelpoisuus selvityksen yhteydessä. Olennaista on, että selvitykset voidaan tehdä tehokkaasti, olemassa olevaan tietoon tukeutuen ja ennakoitavissa olevassa laajuudessa.

Mikäli kelpoisuus selvitys osoittaa, että hankkeen investointiedellytykset ovat suotuisat, edetään lupaprosessiin. Tehokas, yksinkertainen ja aikataulultaan, kustannuksiltaan sekä lopputulokseltaan ennustettavissa oleva lupaprosessi parantaa tuulivoiman rakentamisedellytyksiä. Periaatteellisen investointipäätöksen voi tehdä ja liiketoiminnan rakentamisen aloittaa aikaisessa vaiheessa.

Jos edessä näyttää olevan monimutkainen ja jopa kymmenvuotiseksi venyvä hallitsemaan lupaprosessi, mahdollisen luvan tultua markkinatilanne on muuttunut ja lupahakemuksen mukainen ratkaisu vanhentunut. Investoijatahon kiinnostus kohdistuu helposti muualle, vaikkapa tuulivoiman rakentamiseen Viron merialueille.

## Kansallinen intressi

Jos IPCC:n arviot kasvihuoneilmiöstä ja sen vaikutuksista osoittautuvat suurin piirtein oikeiksi, on hiilidioksidipäästöt leikattava murto-osaan nykyisestä niin Suomessa kuin muuallakin. Massiivisten ympäristövaikutusten eliminoimiseksi leikkauksen on oltava lisäksi erittäin nopea. Tämä merkitsee murrosta energian tuotantorakenteessa. Investointi tuulivoimaan on tässä tilanteessa myös kustannustehokasta ympäristönhoitoa.

Suomeen on jo syntynyt elinvoimaista tuulivoimateollisuutta. Mitä nopeammin Suomeen kehitetään merituulivoimaa, sitä voimakkaampaa on pioneerivaiheen tuulivoimateknologian kehitystyö. Syntyy referenssejä. Suomen teollisuuden jalansija nopeasti kasvavilla markkinoilla vahvistuu. Kansantalous hyötyy.

## Johtopäätökset

**Merellä sijaitsevien tuulipuistojen ympäristövaikutukset eivät ole yleensä merkittäviä. Sen sijaan nopeasta siirtymisestä puhtaaseen energiantuotantoon voi seurata merkittävää ympäristöhyötyä. Tuulivoimarakentaminen voidaan haluttaessa toteuttaa merelle suurinakin kokonaisuuksina pääsääntöisesti 1 – 2 vuotta kestävä vesilupaprosessin varassa. Selkeä ja tehokas lupaprosessi tukee merituulipuistojen toteutusedellytyksiä ja Suomen tuulivoimateollisuuden toimintaedellytyksiä.**

Espoossa 27.4.2002



Tekniikan tohtori

## 15. Muita projekteja

### Baffinland Iron Mines ja malmin laivaussatamat

Baffinsaaren pohjoisosasta Mary Riveristä löytyi vuonna 1962 valtavia rautamalmiesiintymiä. Kyseessä oli satoja miljoonia tonneja 65 – 70 prosenttista louhintapotentialista rautamalmia, joka ei edellyttänyt esiprosessointia ennen masuunia. Pian löydön jälkeen tehtiin suunnitelmia kaivosten avaamisesta ja malmin kuljettamisesta maailman markkinoille. Investoijaa ei kuitenkaan löytynyt.

2000-luvun alkupuolella rautamalmin hinta alkoi vahvistua. Baffinland Iron Mines alkoi tosissaan suunnitella kaivostoimintaa ja malmin kuljettamista maailman markkinoille. Aker Arctic valikoitui rahtilaiva- ja kuljetuskonsultiksi. Olin heidän alikonsulttinsa satama-asioissa ja satamaan liittyvissä jääasioissa sekä myöhemmin myös Boskaliksen konsulttina vuosina 2005 - 2011.

Satamakonsepteja tutkittiin ensin Milne Inlettiin. Sen jälkeen päähuomio kiinnitettiin Steensby Inlettiin. Sataman kautta oli tarkoitus laivata jäätä murtavilla Panamax kokoluokan laivoilla ympäri vuoden yhteensä 18 miljoonaa tonnia rautamalmia vuodessa.



*Steensby Inletin kaavailtu satamapaikka on saaren lounaiskärjessä kuvan oikeassa reunassa. Malmi suunniteltiin tuotavaksi varastosta satamaan kuljettimilla.*



*Satamapaikan sijainti Steensby Inletissä. Paikka on melko suojainen.*

Paikka oli eksoottinen. Talven pakkasmäärä oli 5000 astevuorokauden luokkaa (laskien meriveden jäätympisteestä  $-1.8\text{ C}$ ), kun kesällä lämpöastevuorokausia kertyi noin 1000. Oltiin siis ikirouta-alueella. Vuorovesivaihtelu oli maksimissaan talvella 2 – 3 metriä ja kesällä 3 - 4 metriä.

Valaita, hylkeitä ja jääkarhuja nähtiin alueella yleisesti. Jääkarhujen varalta rannikoilla työskentelevillä oli suojanaan paikallinen kiväärillä varustettu opas.

Steensby Inlettiin tehtiin toukokuun alussa 2007 tutkimusmatka, jossa tutkittiin paikallisia jääolosuhteita sekä kevyellä pliktauskalustolla laituripaikkojen pohjaolosuhteita. Matka Mary Riverin leirikylästä taittui helikopterilla.

Jään paksuudeksi mitattiin satama-alueella 1.6 – 1.8 m. Yllättäen melko suojaiselta satama-alueelta löytyi myös laaja alue, jossa jään paksuus oli noin 3 metriä.

Göran Wilkman Aker Arcticista arveli sen syntyneen alkutalvesta kiintojään rajaan jään moninkertaisen päällekkäin ajautumisen seurauksena. Toinen mahdollisuus on kiintojään rajaan alkutalvesta ajautuneen paksun jääsohjoivyöhykkeen konsolidoituminen.

Jään puskeminen massiivisesti rannoille vuorovesivaihtelun ja crack- jackingin seurauksena tuli täällä dramaattisesti esiin. Rantavyöhykkeen halkeamamekanismista ja halkeamissa syntyvästä jäätymisestä syntyy puskua jääkenttään. Ilmiö korostuu paksussa jäässä ja suurten vuorovesivaihteluiden alueella.



*Crack-jacking ilmiö on puskenut jäätä rannoille massiivisiksi röykkiöiksi.*

Satama- ja väyläsuunnittelussa haasteena oli usein toistuvasta jään murtamisesta syntyvät valtavat jäämassat, joista meillä on jonkin verran kokemusta myös Suomesta. Merellä murrettua ränniä voi vaihtaa sen käytyä tiukaksi. Laiturialueella tämä ei ole mahdollista.

Ajatellaan, että laivapaikassa on keskimäärin 4 metriä paksusti lohkarejäättä. Tämä määrä saavutetaan Steenby Inletin suunnitelluilla liikennemäärillä jo alkutalvesta, jos jääkontrollitoimenpiteisiin ei ryhdytä. 50 metriä leveä laiva puskee laituria vasten puoli laivallista eli 100 m<sup>3</sup>/m lohkarejäättä. Laivan ja laiturin väliin jäävä jää konsolidoituu ja estää laituriin ajon. Ratkaisua etsittiin jään sulatuksesta lämpimän veden avulla ja mekaanisesta jään poistamisesta.

Myös laiturikonsepti sekä vedenalainen louhinta ja ruoppaus sesonkirajoituksineen tuottivat päänvaivaa. Alue oli karikkoinen.

Kelpoisuusselvitysten valmistuttua (merikuljetus ja satama olivat vain yksi osa) projektia kehiteltiin joitain vuosia. Sitten rautamalmin hinta romahti ja kiinnostus isoihin investointeihin hiipui.

Mary Riverin kaivostoiminta on kuitenkin saatu alkuun. Malmia kuljetetaan avovesikaudella markkinoille Milne Inletin kautta.

### **Nordstream kaasuputki**

Kun Nordstream kaasuputkea ryhdyttiin suunnittelemaan Itämeren poikki Venäjältä Saksaan, Rambolista otettiin yhteyttä. Tarvittiin merirakentamisen ympäristökysymysten erityisasiantuntija hankkeen Suomen YVA:an laatimiseen. Toimin Rambolin YVA-ryhmässä ja myöhemmin suoraan Nordstream AG:n konsulttina ympäristökysymysten hahmottamisessa ja panemisessa suhteeseen.

Siihen aikaan esiintyi paineita ympäristökysymysten käyttämiseksi politiikan välineenä hanketta vastaan. ”Ympäristöasiantuntijoiksi” nimetyt Suomen valtion edustajat esittivät kalliita vaatimuksia putkilinjan linjauksesta vailla minkäänlaista käsitystä putkilinjarakentamisesta tai ympäristökysymysten suuruusluokista reaalimaailmassa.

”Myrkyt lähtevät liikkeelle putkirakentamisen yhteydessä” oli laajalle levinnyt uskomus. Pohjaa muokataan (rakennetaan kiviainespatjoja, ruopataan ja jopa paikoin räjäytetään) ja massat ovat valtavia. Alueella on merimiinoja. Puhuttiin jopa ekokatastrofista, vaikka mereen oli rakennettu kymmeniä tuhansia kilometrejä putkilinjoja ilman merkkejä ekokatastrofeista.

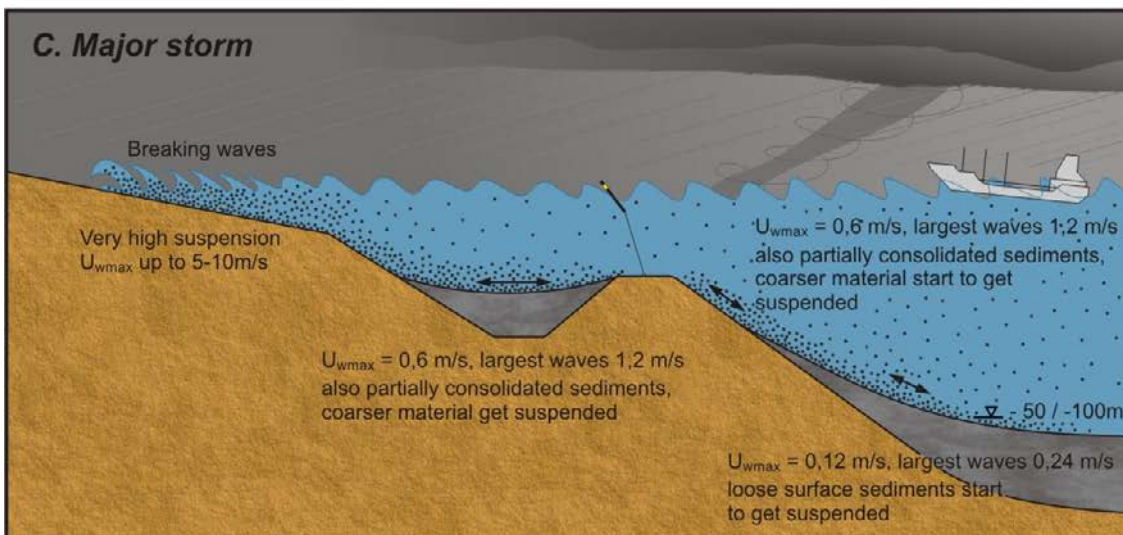
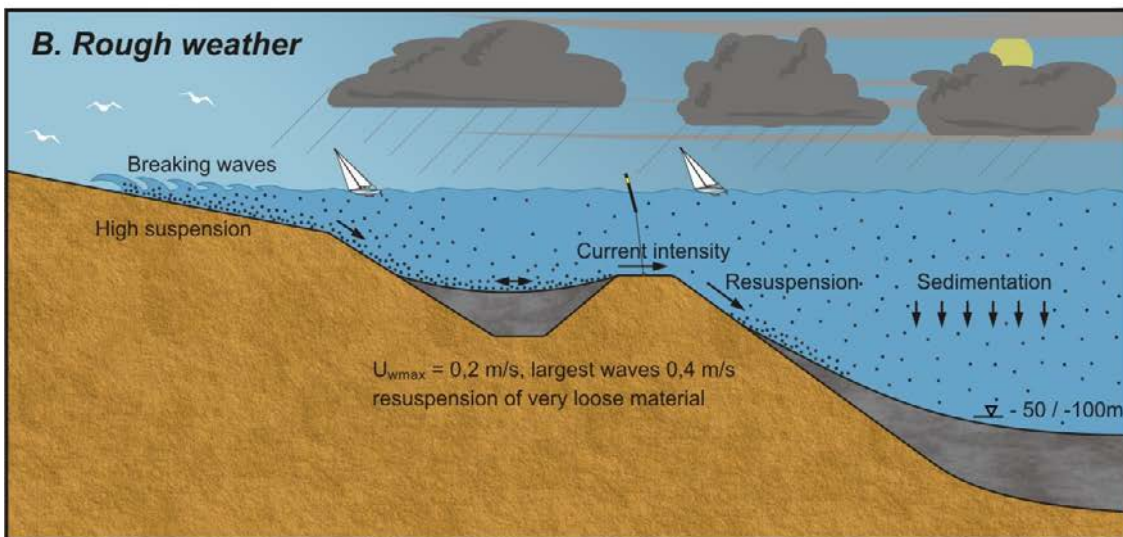
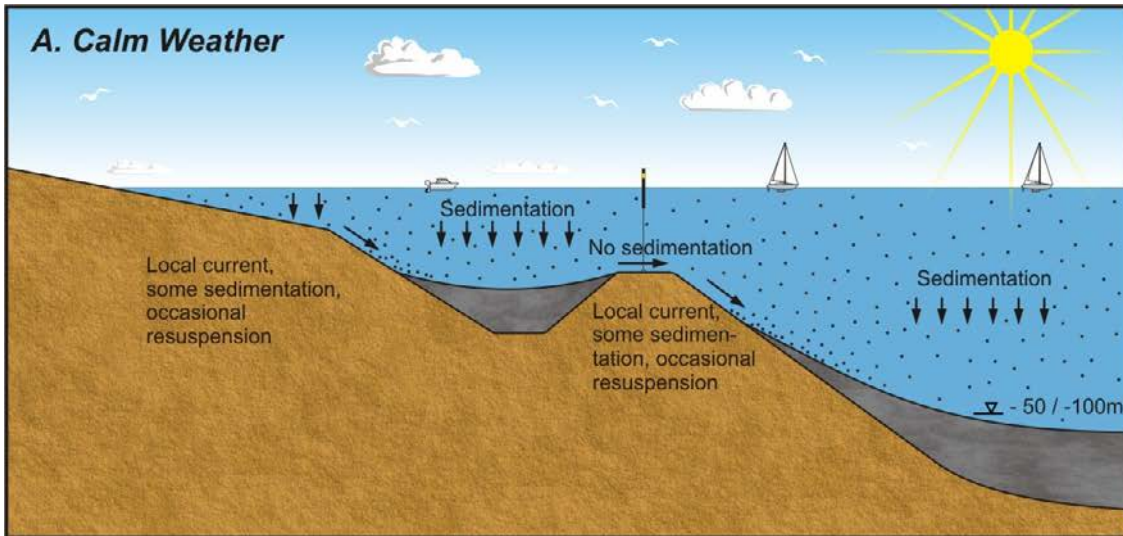
Esiintyi jopa väitteitä, että haitta-ainehiukkasen kulkeutuminen Natura-alueelle rakentamisen seurauksena tai rakennuslaivaston aiheuttama häiriö merilintujen ravinnonsaannille olisi este hankkeen toteuttamiselle.

Tein ensi töikseni laskelmia meren sedimenttidynamiikasta. Suomenlahdessa kelluu tyypillisesti noin miljoona tonnia kiintoainesta. Kauniilla ilmalla kiintoainesta laskeutuu pohjaan ja sedimentoituu laajoilla alueilla. Tyypillinen kiintoainevirta on satoja tonneja kilometriä ja vuorokautta kohti.

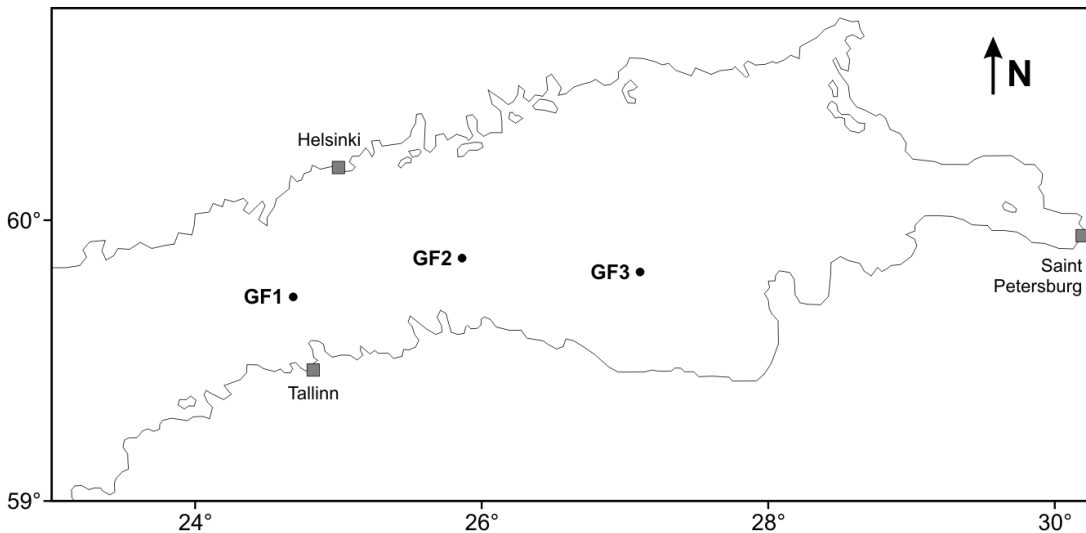
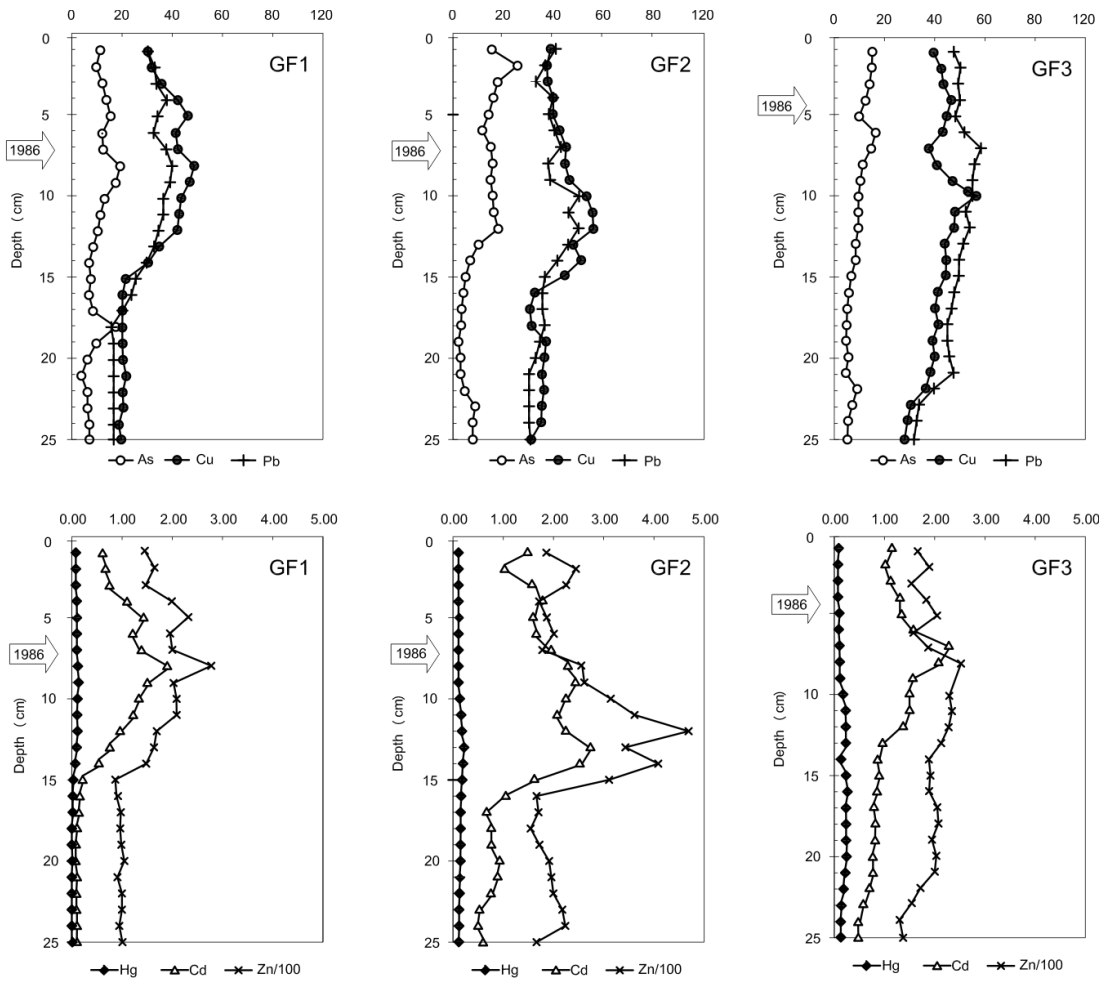
Kun Suomenlahdella raivoaa kunnon länsimyrsky, miljoonia tonneja löyhää kiintoainesta erodoituu pohjasta vesimassaan. Samalla virtausnopeudet kasvavat. Kiintoainevirta kasvaa ainakin kahdella kertaluokalla.

Suomenlahden pohjan kemiallista pitoisuutta on myös tutkittu. Pintasedimenttien haitta-ainepitoisuudet ovat toki hiukan koholla taustapitoisuuksiin verrattuna, mutta ei siellä mitään myrkyllisiä pitoisuuksia esiinny. Pitoisuudet ovat samaa luokkaa kuin vesimassassa kelluvassa kiintoaineksessa.

Liitteessä 15.1 olen pannut kauhukuvia ja projektin vaikutuksia suhteeseen. Toteutus muuttui hankkeen edetessä jonkin verran. Johtopäätös on kuitenkin selvä. Hankkeen ympäristövaikutukset olivat rakentamisen osalta vähäisiä. Sen jälkeen putkilinja on lisäpiirre muuten monotonisessa pohjassa. Se lisää marginaalisesti ja paikallisesti biodiversiteettiä.



*Suomenlahden vesimassassa on keskimäärin miljoona tonnia kiintoainesta, joka sedimentoituu pohjaan hyvällä säällä ja erodoituu myrskysäällä suspendoituen uudelleen vesimassaan.*



*Suomenlahden pohjan pintasedimenttien raskasmetallipitoisuudet ovat taustapitoisuuksiin verrattuna hiukan koholla. Pitoisuudet vastaavat vesimassassa kelluneen kiintoaineksen pitoisuuksia. Pintasedimentit ovat erittäin löyhiä ja herkkiä erodoitumaan (Vallius, H. ja Leivuori, M., 1999. The distribution of heavy metals and arsenic in recent sediments in the Gulf of Finland. Boreal Environment Research 4: 19-29.)*

## Hanhikiven ydinvoimalahanke

Hanhikiven ydinvoimalahankkeeseen pääsin mukaan vuonna 2012. Toimeksiantaja oli tuolloin Fennovoima.

Tein erityisasiantuntija-arvioita tehdyistä töistä koskien voimalan vedenoton jääriskejä sekä sataman aallonmurtajaa. Tein myös katsauksen Suomen meriväyliin sedimentoitumiseen ja arvioin Hanhikiven väylän sedimentoitumisriskiä. Nämä työt johtivat suunnitelmamuutoksiin.

Selvitysteni perusteella olisi erittäin epätodennäköistä, että lännestä väylää pitkin satama-alueelle tapahtuva vedenotto menisi jääahtautumien vaikutuksesta tukkoon. Mitään isoa ongelmaa ei tässäkään tilanteessa syntyisi, koska voimala voitaisiin pysäyttää.

Ehdotin kuitenkin, että varavedenotto järjestettäisiin satama-altaan perälle. Se suljettaisiin kesäksi, koska lämpimän veden rantakäyttö johtaisi voiman tuotannossa tehohäviöihin. Ajatus omaksuttiin.



*Hahmotelma Hanhikiven ydinvoimalakompleksista. Varavedenotto talvella on järjestetty satama-altaan perältä.*

Työt jatkuivat vuonna 2021. Aiheena olivat voimalarakenteiden jääkuormat. Asiakkaana oli nyt Rosatom/RAOS Project Oy. Tein työn yhdessä Aker Arcticin kanssa. Taustalla oli solmimamme yhteistyösopimus ja aie siirtää meri- ja rantarakentamiseen liittyvää tietotaitoani Aker Arcticiin.

Erityisesti veden otto- ja purkurakenteisiin liittyviä jääkuormia tutkittiin kuormituskenaarioiden avulla ääritilanteissa. Tarkastelussa olivat kerran tuhannessa, sadassatuhannessa ja kymmenessä miljoonassa vuodessa toistuvat tilanteet.

Rosatomin insinööreistä minulla on vain hyvää sanottavaa. Vuorovaikutus oli hedelmällistä ja kysymykset veivät asiaa eteenpäin. Ammattitaitoista porukkaa.

Sen sijaan atomivoimalan suunnittelu- ja tarkastusprosessi herättää ihmetystä.

Säteilyturvakeskukselta kestää puoli vuotta ottaa kantaa suunnitelmiin ja yksittäistä kysymystä voidaan vatvoa vaikkapa vuoden. Tämä viittaa vakaviin puutteisiin tarkastushenkilökunnan ammattitaidossa.

Onko Säteilyturvakeskus kloonannut itseään ja rekrytoinut teoreetikkoja valtion hallinnosta raskaan sarjan teollisuussuunnittelijoiden sijaan. Ei ihme, että ydinvoimalarakentaminen kestää ja maksaa.

Ensimmäinen kysymys riskien hallinnassa pitäisi olla ”SO WHAT?”. Riskit pitäisi luokitella vakaviin ja vähemmän vakaviin. Nyt on vaarana, että todelliset riskit hautautuvat massiivisen byrokratian alle.

Tätä kirjoitettaessa Eurooppa horjuu edelleen ydinsodan partaalla. Toisaalta meidän pitäisi kantaa vastuumme ilmastonmuutoksen pysäyttämisessä.

Ensimmäiset ydinvoimalat rakennettiin Suomeenkin nopeasti ja kohtuukustannuksin. Mitkä ovat modernin ydinvoimalan riskien suuruusluokat? Mikä maksaa?

## **Liite 15.1 Sen hetkisiin Nordstream hankkeen suunnitelmiin perustuvia ympäristövaikutusten arvioita pantuna suhteeseen siten, että tavallinen ihminen ymmärtää suuruusluokan.**

### **Footprint**

There are two pipelines with a diameter of 1.4 m. Their combined length in the Finnish territorial waters is 900 km. This gives a footprint of 1.26 km<sup>2</sup>.

There will be rock dumping for free span correction of the pipeline, lifting the pipeline above cables and other obstacles and protecting the pipeline from anchors and other hazards. The total amount of rock dumping is about 250 000 m<sup>3</sup>. This adds about 0.1 km<sup>2</sup> to the footprint. Furthermore, there may be trenching for the pipeline in the Finnish economical zone with a footprint effect of the order of 50 m per pipeline meter.

The total footprint of the project, about 2 km<sup>2</sup>, can be compared to the following footprints:

Gulf of Finland	30 000 km <sup>2</sup>
Finnish road network	2 000 km <sup>2</sup>
Dredged and filled area of Kokkola navigation channel and harbour	5 km <sup>2</sup>

### **Volume of rock dumping**

The total volume of rock dumping for the two pipelines is of the order of 250 000 m<sup>3</sup>. The total volume of trenching may be of the order of 100 000 m<sup>3</sup>. These quantities can be compared to the following:

Annual volume of Finnish earthworks	100 000 000 m <sup>3</sup>
Dredging and filling works of Vuosaari harbour,	10 000 000 m <sup>3</sup>
Annual volume of dredging at the port of Turku /1/	100 000 m <sup>3</sup>

Net sedimentation in the Gulf of Finland (FMRI estimate)	8 700 000 tn/year
--	-------------------

### **Total amount of suspension caused by pipeline project**

During rock dumping (the rock is lowered down almost to bottom before dumping) a small fraction of surface sediments is suspended. The total amount of suspension is about 2000 tons.

During pipe laying in rough weather also a small fraction of surface sediments is suspended under the pipeline. The maximum amount of suspension during pipe laying is estimated to be 3 tn/km in the Gulf of Finland during a storm. In normal conditions the amount of suspension is only a fraction of this.

If 100 000 m<sup>3</sup> is trenched and 50 % of the trenched material is suspended (this is a very high value and depends on trenching method), this amounts to a maximum of about 100 000 tn of suspension (for example silt moraine) that settles fast back to the bottom.

During a major storm from WSW- SW significant wave height may be 7.5 m at the mouth of Gulf of Finland and 4.5 m at the Eastern part of Gulf of Finland. Maximum wave height is almost twice the significant wave height.

In the depth of 50 meters maximum water particle velocities exceed 1.5 m/s at the mouth of Gulf of Finland and 0.25 m/s at the Eastern part of Gulf of Finland. At shallower depths water particle velocities increase further. Waves start to break at water depths of 10 – 20 m. Water particle velocities may reach 10 m/s at the bottom in areas of breaking waves /2/.

When water particle velocities exceed 0.1 m/s softest surface material that has sedimentated on the bottom during calm conditions start to erode. Thus we expect that the surface layer of the sedimentation area is extensively suspended in the Finnish side of the Gulf of Finland during a major Southern or Southwestern storm. We can expect suspension of several hundred mg/l near bottom.

When water particle velocities increase, also coarse and firmer material starts to erode. In areas of breaking waves concentration of suspended solids in the water mass may exceed 1000 mg/l or even 10 000 mg/l /3,4,5/.

If a major storm increases the average concentration of suspended solids by 10 mg/l in the Gulf of Finland, the total increase in the mass of suspended solids is

$$0.01 \text{ kg/m}^3 \times 1\,000\,000\,000\,000 \text{ m}^3 = 10\,000\,000\,000 \text{ kg}$$

Thus the total quantities of suspension of less than 5 000 tn caused by pipeline construction or 100 000 tn in case of extensive trenching can be compared to the following:

Suspension caused by a major storm in the Gulf of Finland 10 000 000 tn

Suspension brought annually to Gulf of Finland by river Kymi /6/ 60 000 tn

(concentration of dioxins and furans in the suspended matter four times the unofficial limit value suggested by Finnish Environment Institute)

Suspension caused by annual dredging works at the port of Turku /1/ 4 000 tn

### **Amount of suspension in the water mass at any given moment**

The amount of suspension in the water mass caused by pipeline construction varies depending of work phase and bottom conditions. However, suspension remains near the bottom and thus settles fast. The maximum amount of suspension in the water mass originated from pipeline construction is of the order of 10 tons. If trenching is applied, this is most likely happening on erosion bottoms with coarse material settling fast. The maximum amount may be of the order of 1000 tn.

The typical amount of suspended solids in the water mass of the Gulf of Finland is more than 1 mg/l, but this may exceed 50 mg/l over large areas in the Gulf of Finland during a major storm. Thus the following comparisons can be made:

Typical amount of suspension in the water mass of the Gulf of Finland 1 000 000 tn

Amount of suspension in Gulf of Finland from Kymijoki during spring break up 10 000 tn

Average amount of suspension in the water mass during dredging season in Turku /1/ 20 tn

## Flow of contaminants

The top layers of the bottom sediments at the Eastern parts of Gulf of Finland are not clean. They contain various chemical substances like heavy metals in quantities that can be traced back to human activities /7/. The environment has adapted to the chemical composition of the bottom and water mass and also to its natural fluctuation.

Typically the solid material floating around in suspended form in Gulf of Finland (settling down and sedimentating during calm periods and getting partly resuspended during rough weather and especially major storms) has very similar chemical composition as the surface sediments. Chemical concentrations harmful substances in suspended matter may be even higher than in the bottom because of the grain size distribution of suspended matter as compared to sedimented matter /1/.

Based on the HELCOM principles one way to assess environmental impact is to estimate the contribution of action to local contaminant fluxes. In the Eastern part of the Gulf of Finland we may have a water depth of 50 m, average current velocity of 4 cm/s and concentration of solids in the water mass 2 mg/l.

The flux of contaminants is proportional to the amount of solids in the water mass. This flux is typically

$$50 \text{ m} \times 1000 \text{ m} \times 0.04 \text{ m/s} \times 0.002 \text{ kg/m}^3 \times 3600 \text{ s/h} \times 24 \text{ h/day} = 350\,000 \text{ kg}/(\text{day} \times \text{km})$$

This continuous flux of 350 tn/(day x km) of suspended matter with harmful substances may be increased by two orders of magnitude during a storm as both the amount of suspension and current velocity are increased. Thus we are speaking about a flux of more than 10 000 tn/(day x km).

Pipeline construction may add up 10 tons to this continuous flux during a single day. If trenching is applied it is anticipated to take mostly place in erosion bottoms. There are no contaminants in erosion bottoms.

## Accidental oil spill

To get perspective to this we should consider ship traffic in the Gulf of Finland. There are about 350 commercial ship movements in the Gulf of Finland every single day. In addition to that ships registered to states (ice breakers, navy and coast guard ships etc.) are moving in the area /8/.

Pipe laying temporarily adds about 10 ships (pipe laying vessel, transportation vessels, survey vessel and anchor handling tugs and a special vessel for gravel works). Most of the time these vessels are away from major shipping routes.

## Thermal release

Gas leaves the compressor terminal at Vyborg at + 40 - + 60 C. Gas releases heat as it cools down in the underwater pipeline. The thermal release in the Finnish territorial waters is less than 100 MW (to be checked). The following references give perspective to that number:

Thermal release to Gulf of Finland at the Loviisa nuclear power plant      2 000 MW

Thermal release from open water surface in the Gulf of Finland when T = - 10 C      250 MW/km<sup>2</sup>

### **Water pressure test (apparently not in the Finnish economic zone)**

In water pressure tests about 400 000 m<sup>3</sup> of treated water is released to the Finnish economic zone during two occasions. In order to put this number into perspective we have the following:

Treated sewage to Gulf of Finland from Helsinki Viikki water treatment plant	300 000 m <sup>3</sup> /day
--	-----------------------------

### **Disturbance of guillemots, razorbills and migrating birds**

There have been concerns about the impact of pipeline construction on the populations of guillemots and razorbills. These birds may fly up to 30 km from their nesting areas to get food from the sea.

Furthermore, migrating birds like to rest eat in shallow water areas (water depth less than 20 m) where they get food. Pipeline construction may disturb migrating birds.

The following is to put these issues into perspective:

Guillemots and razorbills may have a 1 000 km<sup>2</sup> theoretical eating area although most of the time they stay closer to the nesting area. If there is a 1 km<sup>2</sup> disturbance area far offshore during pipeline construction in the Finnish economic zone, there is 999 km<sup>2</sup> of area where these sea birds get food.

There are no shallow water areas around the pipeline route in the Finnish economic zone.

There are about 100 000 pleasure boats in the Finnish part of Gulf of Finland /9/ free to move around anywhere in the pipeline construction area as well as around the nesting areas of guillemots and razorbills and resting areas of migrating birds.

## 16. Rakenteiden jääkuormat ja suunnittelu jääolosuhteet huomioon ottaen

Rakenteiden jääkuormat ovat olleet koko ammatillisen urani ajan erityisosaamisalueeni. Olen tehnyt tähän asiakokonaisuuteen liittyviä selvityksiä ja suunnitelmia projekteihin ympäri pohjoista pallonpuolisko.

Sisävesi ja rannikkorakenteiden jääkuormista kertynyt tietotaitoni on summattu Väyläviraston julkaisuun 86/2023 (kts. [www.erantiengineering.fi](http://www.erantiengineering.fi)). Esimerkit ovat Suomesta, mutta esitetyt periaatteet pätevät laajemmalti. Sisä- ja rannikkorakenteiden suunnittelujääkuormat ovat olleet yleensä, mutta eivät aina, liian korkeita.

Seuraavassa käsittelen lyhyesti varsinaisten merirakenteiden jääkuormia. Tällaisia ovat muun muassa kiinteät merimerkit, keinosaalet ja poraustasanteet. Viime aikoina painopisteenalueiksi ovat kohonneet merituulivoimalat, penkereet, siltarakenteet sekä putki- ja kaapelilinjat.

Merirakenteiden jääsunnittelu ja jääkuormien määrittäminen alkaa paikallisten jääolosuhteiden kartoittamisella. Sen jälkeen tarkastellaan erilaisia kuormitusskenaarioita ja niiden todennäköisyyksiä. Määrittäminen huipentuu järkevän toteutuskonseptin hahmottamiseen sekä karakterististen ja harvinaisten jääkuormien laskemiseen.

### Paikalliset jääolosuhteet

Kaikilta alueilta ei ole kunnollista jääolosuhdetietoa. Osin tämä johtuu siitä, että jään esiintyminen alueella on harvinaista ja osin siihen, ettei kartoituksia ole tehty.

Satelliittikuvia ja perimätietoa on kuitenkin olemassa. On myös tietoa pakkasmääristä. Suunnitteluolosuhteiden kannalta on tehokasta turvautua referenssitietoon Beaufortinmereltä, Pohjanlahdelta ja osin Venäjän arktisilta alueilta.

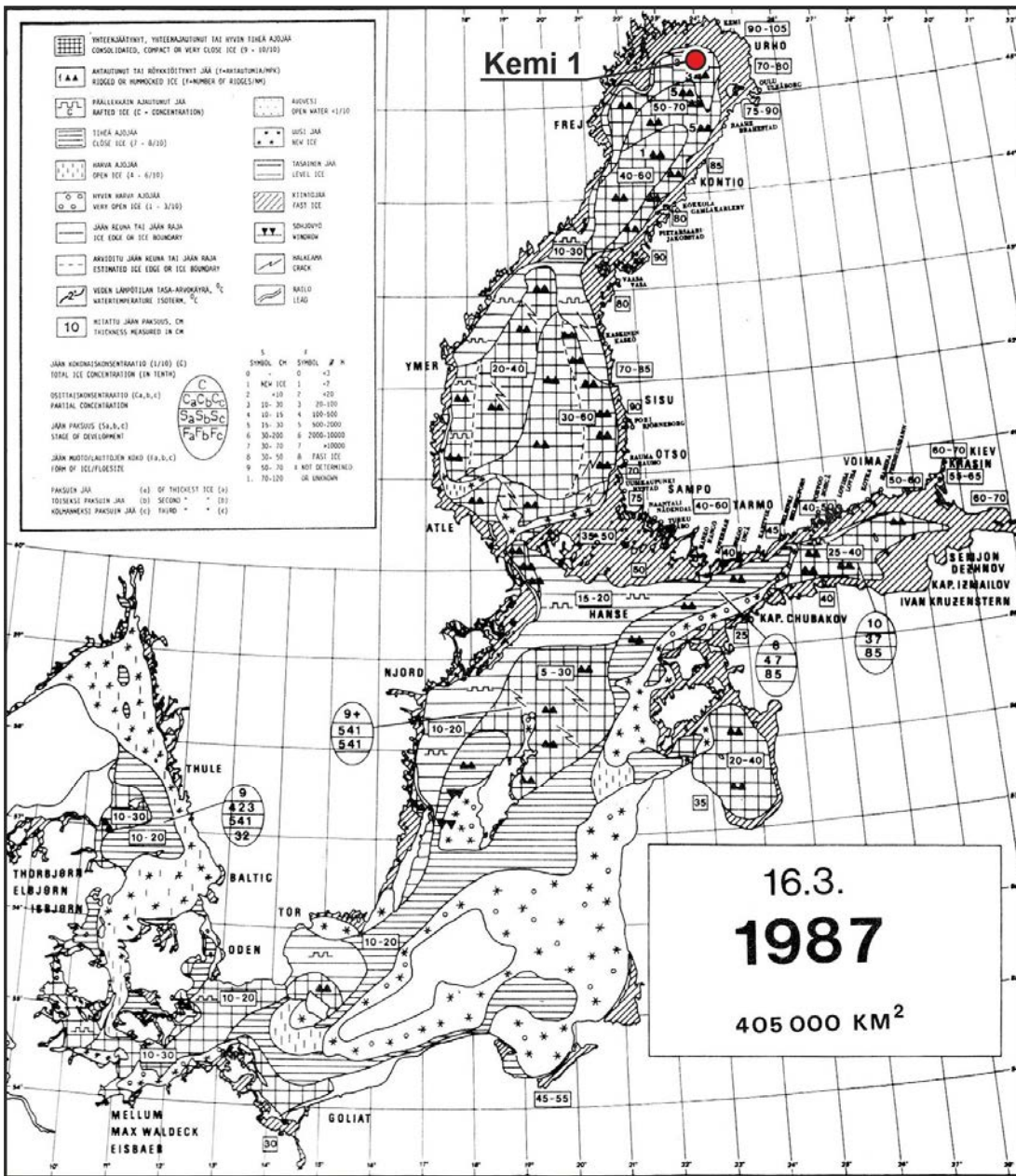
Hyviä jääkarttoja Itämeren jääolosuhteista löytyy Ilmatieteen laitokselta, viime vuosikymmeniltä myös nettisivuilta [fmi.fi](http://fmi.fi). Alla on esimerkkipilkku viimeiseltä Itämeren mittakaavassa erittäin ankaralta jäätalvelta 1987. Jääkarttoja selaamalla saa käsityksen jäätalvien kehittämisestä kohdealueella.

Jääkartoissa annetut rannikon jään paksuudet voivat sisältää teräsjään lisäksi myös kohvajääkerroksen paksuuden. Edelleen on merkillepantavaa, että merijään paksuudet ovat jäänmurtajilta arvioituja tyypillisiä arvoja. Karttoista ei näy esimerkiksi päällekkäin ajautuneen jään paksuuksia.

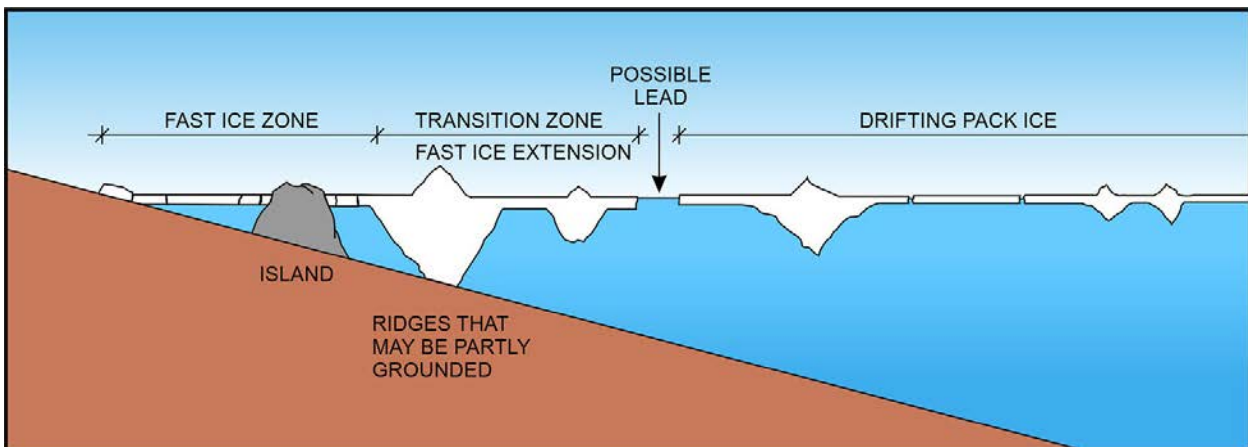
Jääkarttatietoa voi täydentää perimätiedon, jäänmurtajien kapteenien ja esimerkiksi majakoilta tehtyjen paikallishavaintojen avulla. Majakanvartijat ovat kirjanneet jäätietoja satojen vuosien ajan. On huomattava, että talvimerenkulku ja ilmaston lämpeneminen vaikuttavat jääolosuhteisiin.

Vaikka ilmasto onkin lämmennyt, pakkasmääriin perustuvassa tilastollisista tarkasteluista selviää, että kovat jäätalvet ovat edelleen mahdollisia, tosin harvinaisempia. Jatkuvasta lämpenemisestä Itämerellä ei ole varmuutta, muun muassa Golfvirran heikkenemiseen tai polaaripyörteen muuttumiseen liittyvien riskien takia.

Kovina jäätalvina merijää on selvästi vyöhykkeistä. Lähinnä rantaa on kiintojävyöhyke, sen jälkeen on siirrosvyöhyke ja sen ulkopuolella ajojävyöhyke. Ajojää voi tuki olla tiheää, yhteen jäätyynyttä ja jopa liikkumatonta ennen kevättä, jolloin jää on jo haurastunut.



Itämeren jäätalanne jään maksimiulottuman aikaan erittäin kovana jäätalvena 1987.



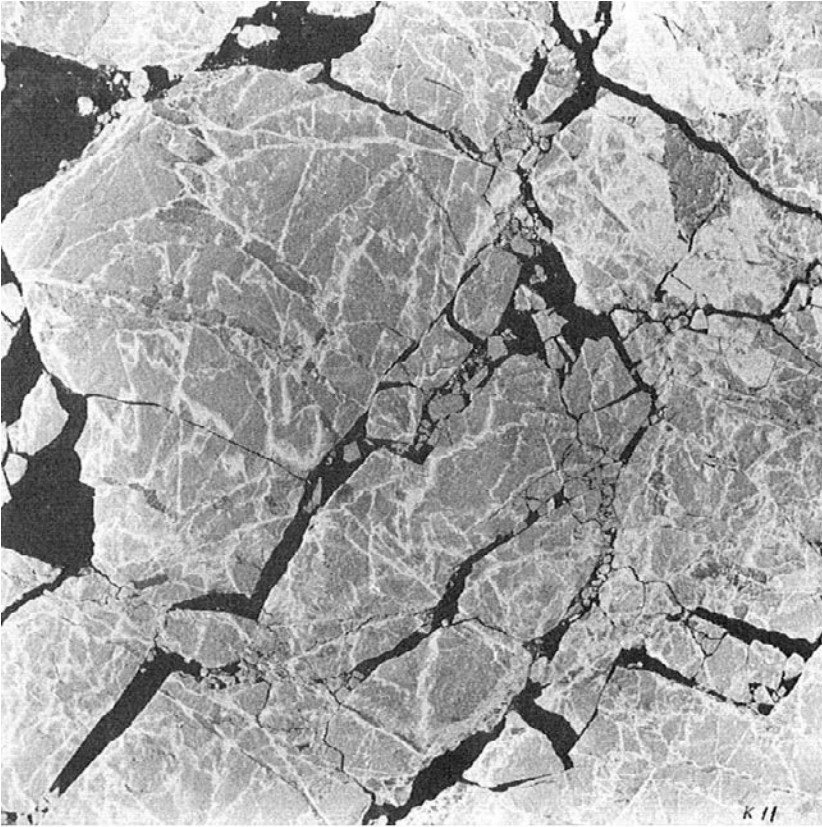
Tyypilliset kovan talven jäävyöhykkeet pohjoisella Itämerellä.



*Jäävyöhykkeitä Kallakarin alueelta Kalajoen edustalta 21.4.1982. Kuvassa on etualalla kiintojäavyöhyke, sen ulkopuolella on siirtovyöhyke, jossa on valleja ja karkeaa jäätä. Siirtovyöhykkeen ja ajojäavyöhykkeen väliin on avautunut railo (Kuva Merentutkimuslaitos).*

Kovan jäätalven sydämessä avojääkenttä voi olla tiukkaan pakkautunut ja osin yhteen jätynyt. Yksittäiset jäälautat voivat olla jopa yli 10 neliökilometrin laajuisia. Keväällä jäät alkavat haurastua ja jäälauttojen koko pienenee.

Merirakenteiden suunnittelussa ollaan kiinnostuneita erityisesti siirrosvyöhykkeen ja ajojäavyöhykkeen jäämuodostumista. Näitä ovat tasaisen jään lisäksi päällekkäin ajautuneet jäät, ahtojääkentät, jäävallit ja pohjautuneet jääkasautumat.



*Ajojäätä Perämerellä 21.4.1982 ja 19.5.1982. Ajojääkenttä on tullut löyhemmäksi ja lauttakoko on pienentynyt kevään myötä (Leppäranta, M., 1983. Size and shape of ice floes in the Baltic Sea in spring. Geophysica Vol. 19, No 2).*



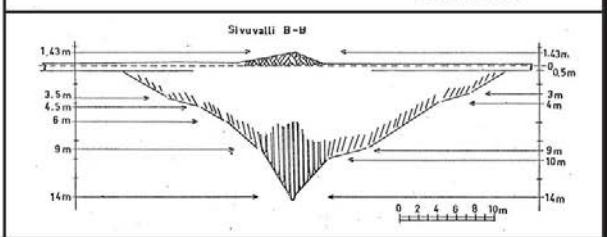
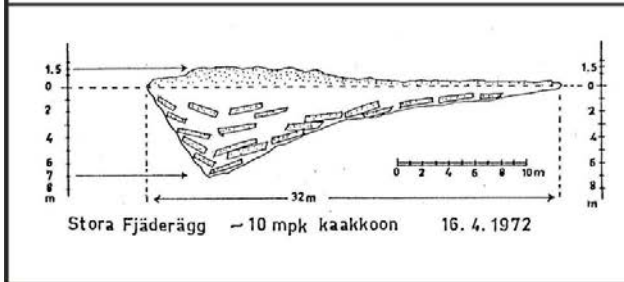
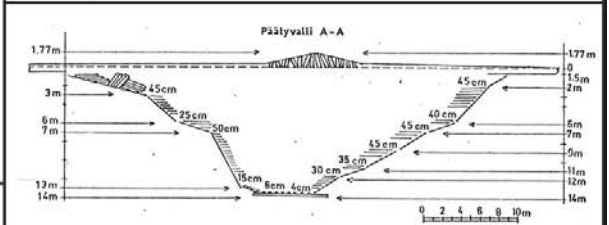
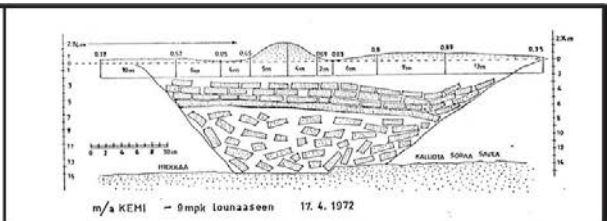
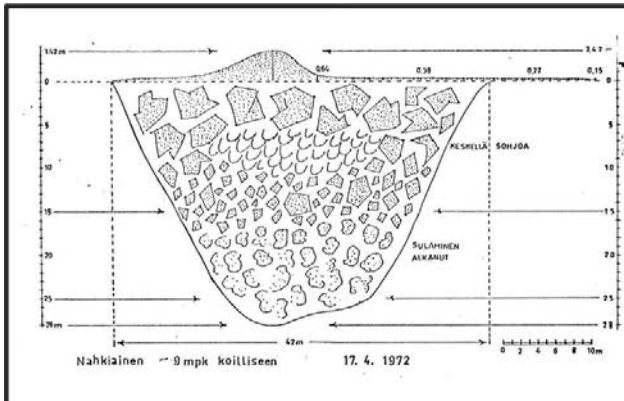
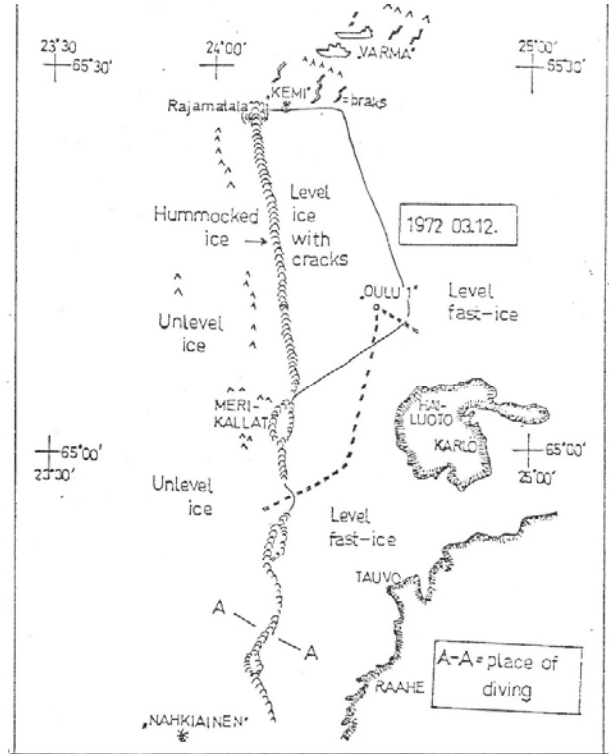
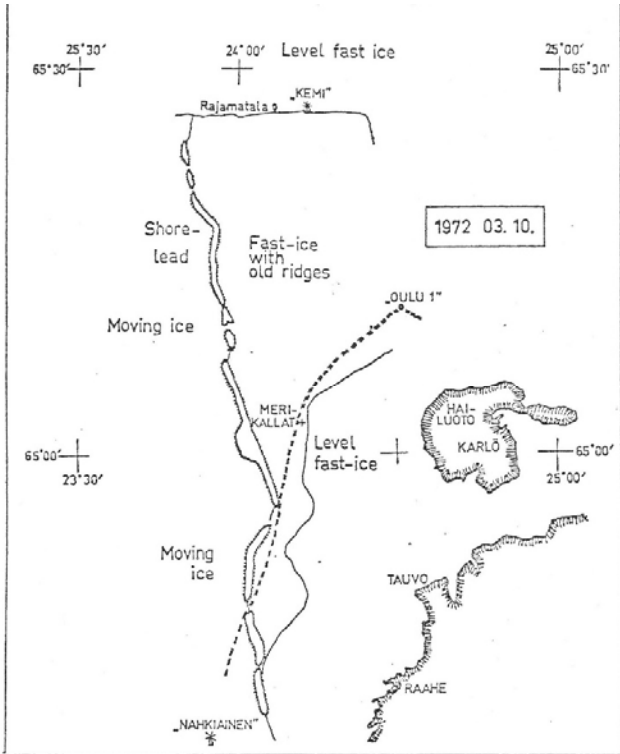
*Jäävalleja Lake Erien ajojääkentässä (Kuva LEEDCo).*



*Jään ajautumista päällekkäin (Kuva LEEDCo).*



*Ahtautunutta jääkenttää Perämerellä (Kuva Oulun Yliopisto).*



*Poikkeuksellinen jäävallimuodostuma muodostui Perämerellä ajojään ja kiintojään rajavyöhykkeeseen, kun railo ajautui umpeen myrskyssä. Kuvassa on myös vallipoikkileikkauksia. (Palosuo, E. 1975, Formation and structure of ice ridges in the Baltic, Winter Navigation Research Board, Research Report 12).*



*Pohjautunut jääahtauma Nahkiaisen majakan ympärillä. Jäät voivat nousta korkealle.*

Seuraavassa taulukossa hahmotellaan lähestymistapaa paikallisten jääolosuhteiden hahmottamiseen Kemi 1 majakalla kovien pakkastalvien jääkartojen avulla. Suunnittelijan kiinnostus kohdistuu koviin jäätalviin.

	1984 – 1985	1985 – 1986	1986 – 1987
Pakkasmäärä (C x vrk)			
Kemi -Tornio lentokenttä	1824	1711	1798
Kemi 1 majakka	1560	1332	1495
Jään muodostus alkaa	17.12.	5.12.	18.12.
Olosuhteet vallittumiseen	5.1.	13.1.	12.1.
Pakkasmäärää jäljellä	1150	700	960
Jäätymisen loppu	29.4.	21.4.	22.4.
Jää kadonnut alueelta	20.5.	26.5.	25.5.
Jään maksimipaksuus jääkartoissa Tornion edustalla			
	121 cm	83 cm	85 – 105 cm
Ajojään maksimipaksuus jääkartoissa Kemi 1 majakan alueella			
	50 – 70 cm	45 – 70 cm	50 – 70 cm

Ensinnä nähdään, että pakkasmäärä merellä on pienempi kuin rannikolla. Ero syntyy alkutalvesta, kun meri on auki.

Jotta jään muodostus voisi alkaa, meren pintakerroksen täytyy jäähtyä. Tähän kuuluu osa pakkasmäärästä.

Jäävallin törmäys on merellä usein määräävä kuormitustapaus. Taulukossa on annettu päivämäärä, jolloin jääkarttojen mukaan jääolosuhteet Kemi 1 majakkaa ympäröivällä alueella ovat sellaiset, että merkittävä vallinmuodostus on ylipäättään mahdollista. Tässä tapauksessa tarvittava pakkasmäärä merellä on suuruusluokkaa 500 astevuorokautta.

Vallinmuodostus tapahtuu tämän päivämäärän jälkeen tuulen puhaltaessa voimakkaasti sopivasta suunnasta.

Jäälauttojen koko ja vahvuus ajojääkentässä kasvaa talven edetessä, kunnes pakkasmäärän kertyminen lakkaa. Tämän jälkeen jään liikkuvuus kasvaa, mutta lauttakoko pienenee ja jää alkaa haurastua.

Jään paksuus rannikkovyöhykkeessä riippuu paitsi pakkasmäärästä, niin myös muun muassa lumen ja kohvajääkerroksen paksuudesta.

Merellä mitatut ajojään paksuudet ovat suuntaa antavia. Kemi 1 majakan ympäristöstä mitattiin tasojaan paksuudeksi 17.2.1986 65 – 80 cm (jääkartassa 30 – 60 cm) ja 23.3.1986 80 – 85 cm (jääkartassa 45 – 70 cm). Päällekkäin ajautuneen ja yhteen jäätyneen jään paksuuksiksi mitattiin paikallisesti 17.2. 105 – 115 cm ja 23.3. 120 – 135 cm.

Esimerkiksi laajoilla alueilla Itämeren piirissä tyypillisinä vuosina merellä ei esiinny jäätä lainkaan. Tilastollinen analyysi ja paikallinen historiatieto voi kuitenkin kertoa merkittävästä jään esiintymisestä karakteristisella tai harvinaisella tasolla.

Kohdealueen jäätalvien kehitystä (erittäin leuto, leuto, normaali, ankara ja erittäin ankara) on tapana kuvata jääkarttasarjoin. Esimerkki on annettu liitteessä 16.1.

## **Suunnittelutilanteet**

Perämeri jokavuotisine jäätilanteineen, jäätutkimuksineen, jäänmurtokokemuksineen sekä merirakenteineen (majakat, reunamerkit) on erinomainen referenssi sellaisten jäätilanteiden hahmottamiseen, jotka muualla ovat harvinaisia (kuva).

Erityisesti vuonna 1986 Oulun Yliopiston professori Mauri Määttäsen johdolla toteutettu Kemi I koekartioprojekti auttaa hahmottamaan suunnittelutilanteita. Kemi I majakan ympärille rakennettiin teräksestä kartio. Viritys instrumentoitiin jääkuormien mittaukseen. Järjestely on näytetty kuvassa.

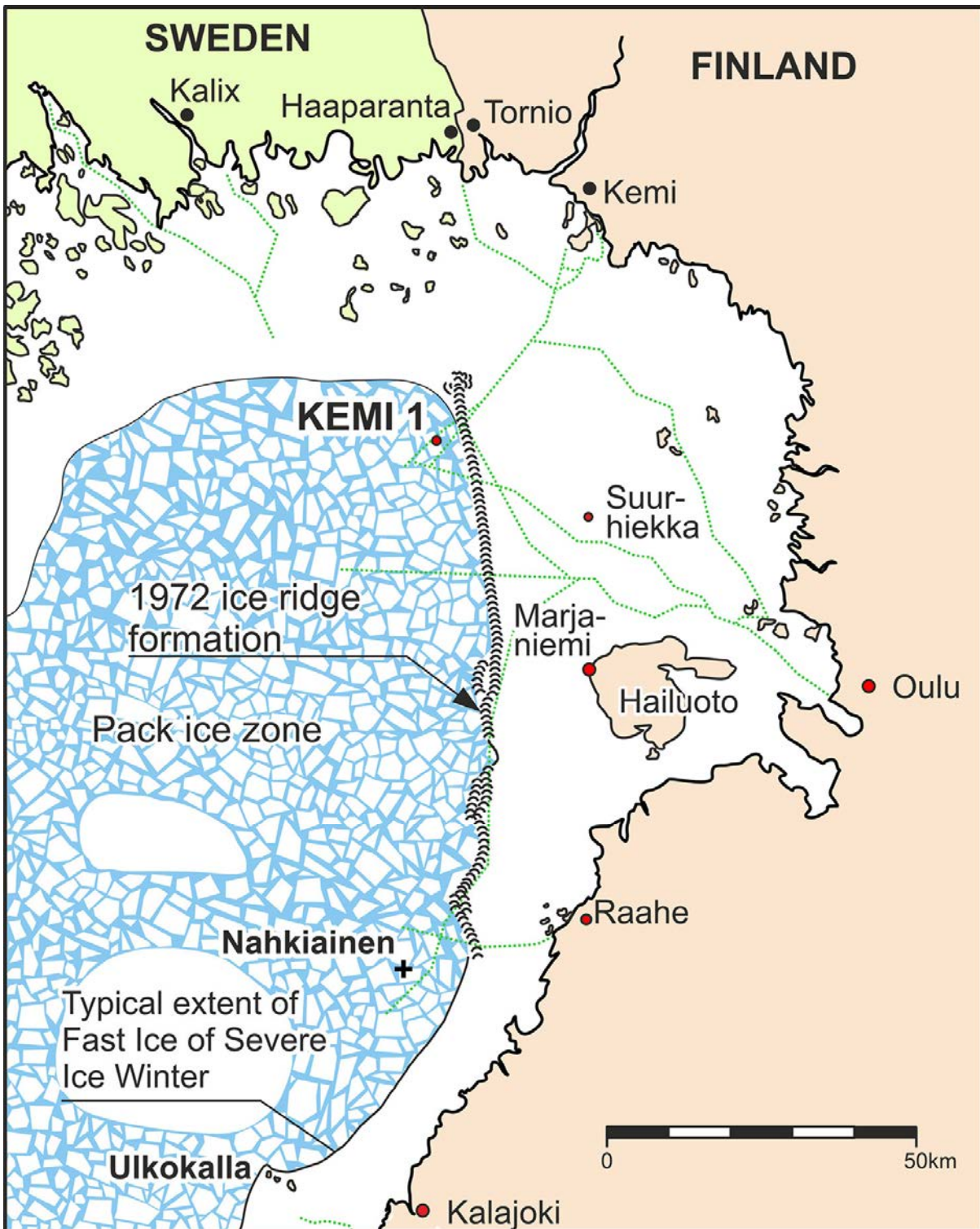
Olin projektin johtoryhmässä Arctic Construction Groupin (Finn-Stroi, Lohja, Partek) edustajana. Analysoin tuloksia ja vedin johtopäätöksiä.

Projekti oli onnekas. Saatiin ankara jäätalvi. Alkupalvesta jäät liikkuivat paljon. Sydäntalvella saatiin myrsky, joka ajoi paksut jäät massiivisesti liikkeelle. Keväällä jäiden lähdön aikaa mitattiin haurastuneiden jäiden jääkuormia.

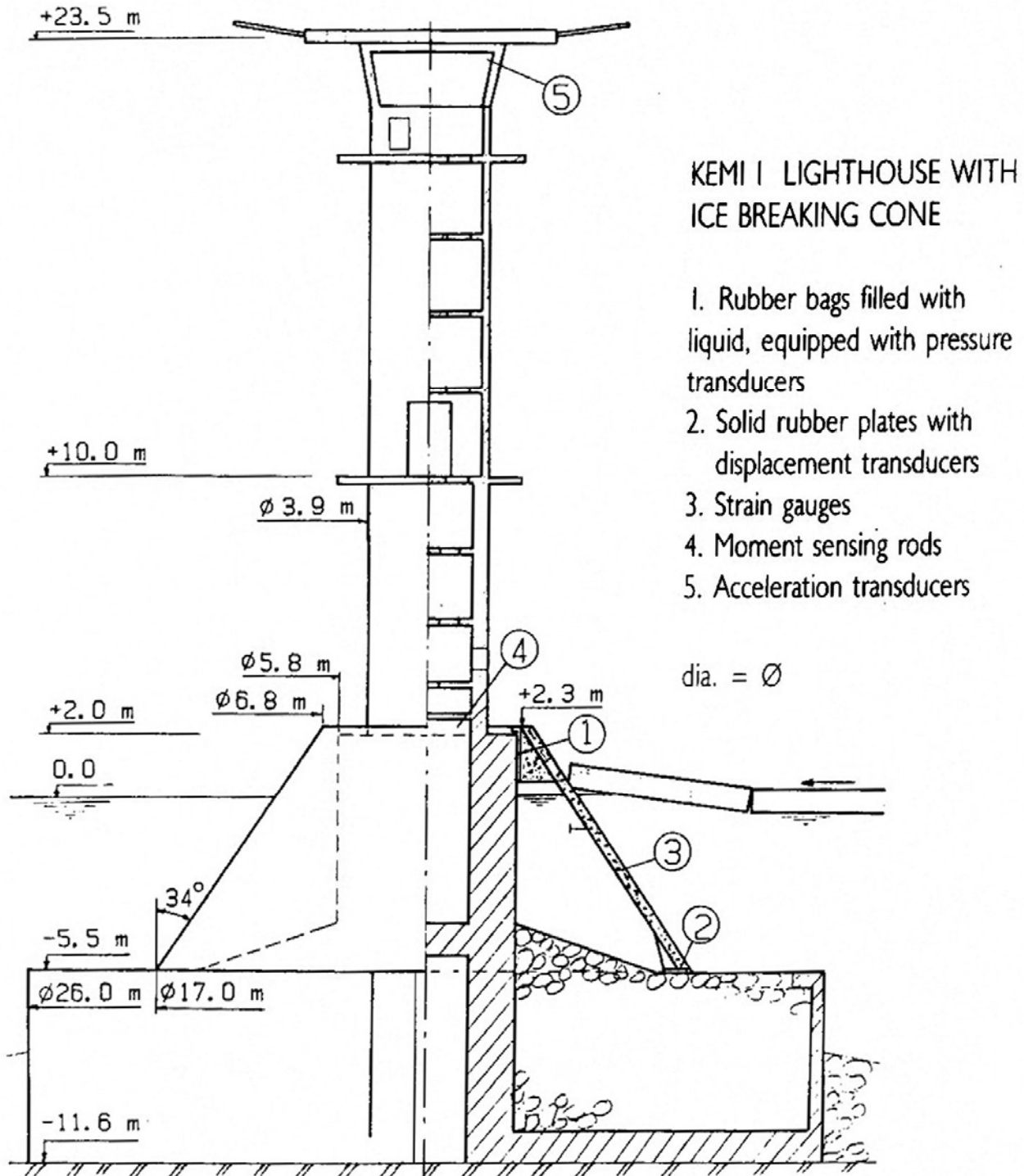
Arvokasta täysmittakaavatietoa saatiin jään liikkeistä, tasojaäkuormista, osin jäävallikuormista ja jopa jonkin asteisesta kiinnijäätyriskuormista jäiden lähtiessä liikkeelle.

Lisäksi projektin yhteydessä tehtiin monenlaisia havaintoja. Jään paksuuksia mitattiin. Majakan ympäristössä olevia jäävalleja tutkittiin. Löydettiin kaksi isoa vallia, joista toinen oli mahdollisesti

pohjautunut ja toinen varmasti pohjautunut. Vesisyvyys alueella oli 12 metrin luokkaa. Lisäksi saatiin havaintoja jään noususta rakennetta vasten eri tilanteissa.

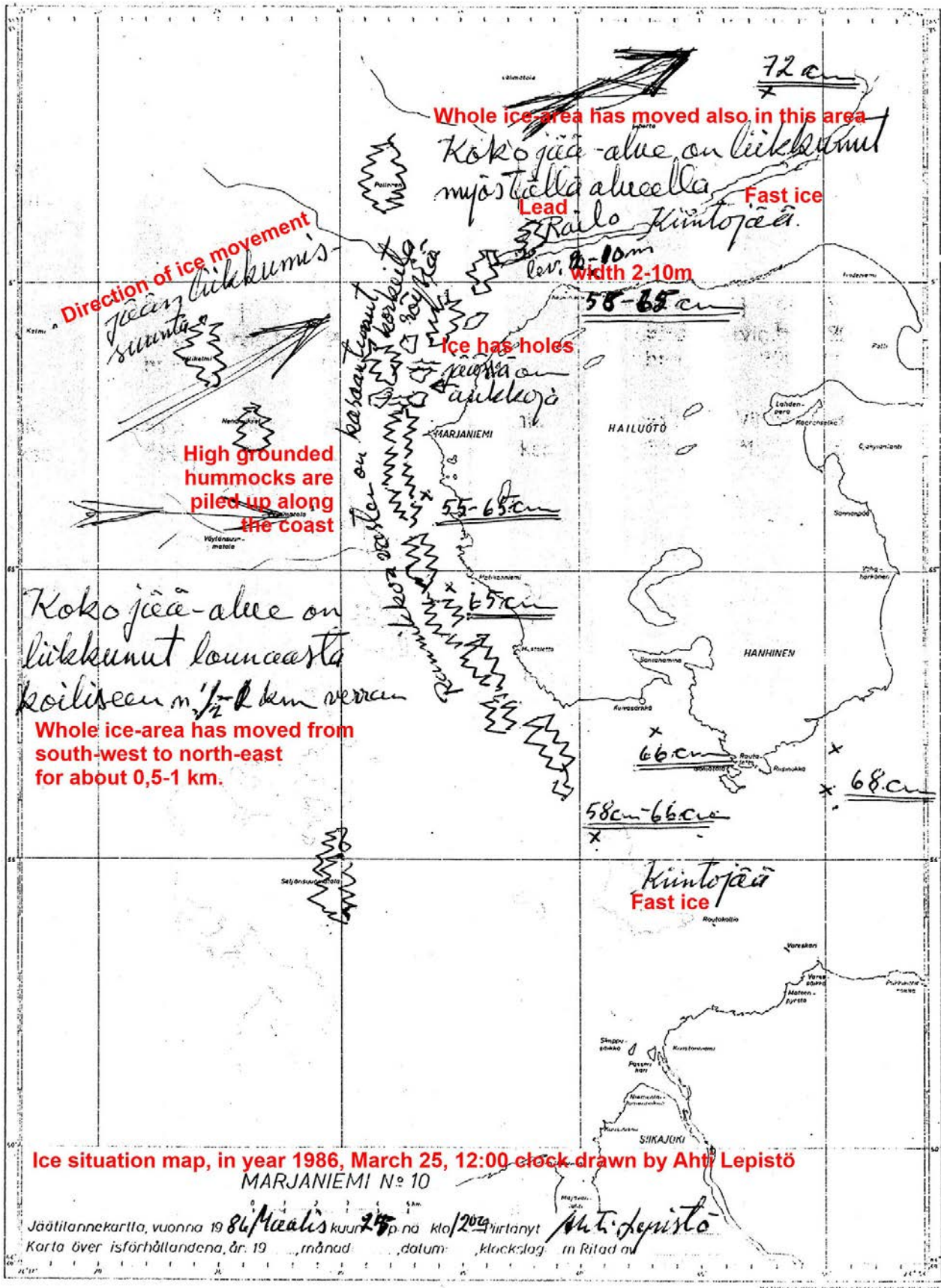


*Perämeren pohjukka jäävyöhykkeineen ja meriväylineen.*



*Kemi I majakan ympärille rakennetusta koekartiosta mitattiin jääkuormia.*





Paikallishavaintoja jäiden poikkeuksellisista liikkeistä Hailuodon edustalta. Yleensä tämä alue on ankarina jäätalvina kiintojään peitossa. Mainittakoon, että myrsky nosti vedenpintaa Oulussa kahdessakymmenessä tunnissa 0.67 metriä jääpeitteestä huolimatta.



*Jäät ovat kasautuneet kartiolle varustettua Kemi I majakkaa vasten. Jäämassa on pohjautunut majakan jalan päälle, mikä on vaikuttanut nousukorkeuteen. Etualalla päällekkäin ajautunutta ja yhteen jätynyttä jäätä.*

Karakteristinen kuorma on konservatiivinen arvio kuormasta, joka toistuu kerran rakenteen suunniteltuna elinikä, esimerkiksi kerran 50 vuodessa.

Merirakenteiden jääkuormat ovat monessa tapauksessa kuin maanjäristykset Kaliforniassa. Pikku tärinöitä esiintyy silloin tällöin, mutta kunnan maanjäristystä saa kohdealueella odottaa satoja vuosia. Harvinaiset kuormitustapaukset ovat usein määrääviä merirakenteiden jääkuormamitoituksessa.

Yksivuotisen jään alueella merirakenteiden suunnittelussa määrääviä jääkuormitustapauksia ovat tyypillisesti jäävallikuorma, dynaaminen tasojääkuorma ja hitaasti liikkuvan tasojaan kuorma, jonka ylärajana on kiinnijäätymiskuorman laukeaminen. Lisäksi rakennesuunnittelussa on otettava huomioon paikalliset jääkuormat.

Kuormitusskenaariot ovat hyödyllisiä jääkuormien hahmottamisessa. Esimerkiksi Kemi I majakan kohdalla karakteristinen jääkuorma voisi vastata avomerivallin törmäystä.

Tarvitaan ankara jäätalvitalvi, kovia tuulia alkutalvesta vallittamaan jääkenttää sekä myrsky sydäntai loppupalvesta, joka puskee ja murtaa suuressa jäälautassa olevan vallin rakennetta vasten. Lähes tällainen tilanne on nähty vuonna 1986.

Harvinaisena kuormitusskenaariona voidaan tarkastella siirtovyöhykkeeseen syntyneen ison jäävallin irtoamista ja ajautumista myrskyssä isossa jäälautassa vähintään murtumista edellyttävällä ajovoimalla rakennetta vasten (kuva).

Tämän skenaarion edellytyksenä on:

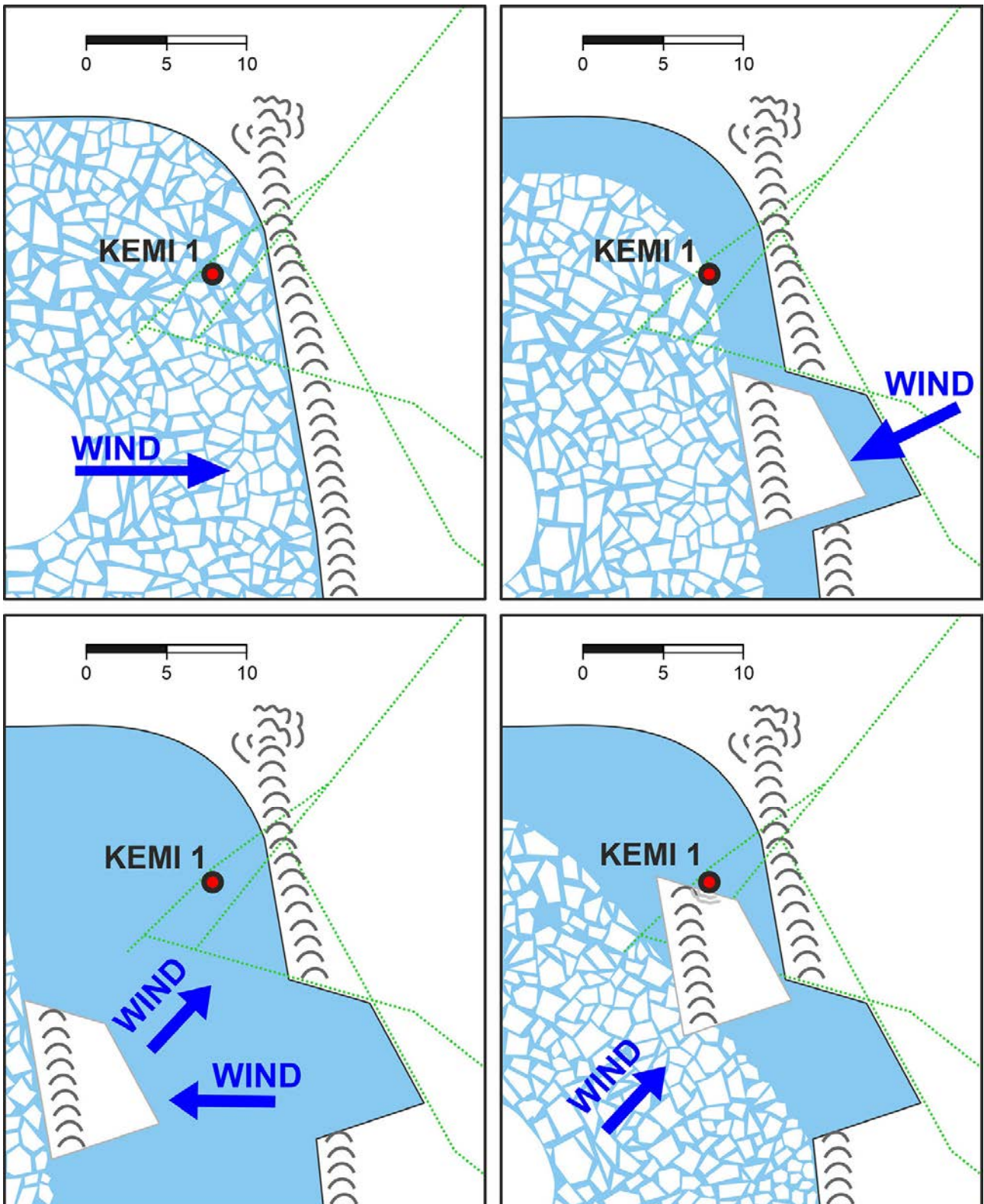
- Ankara jäätalvi;
- Alkutalven myrsky, joka synnyttää isoja jäävalleja siirrosvyöhykkeeseen;
- Tapahtumaketju, joka ajaa vallin isossa jäälautassa merelle;
- Toinen myrsky, joka ajaa ja painaa isossa jäälautassa olevan vallin rakennetta vasten.

Todella isojen jäävallien muodostuminen siirtovyöhykkeeseen on poikkeuksellista. Vaikka merenkulku saattaa helpottaa jäälauttojen lohkeamista siirtovyöhykkeestä, tällainen tapahtumaketju on erittäin harvinainen, ehkä kerran kymmenessä tuhannessa vuodessa toistuva. Siis iso valli syntyy Perämerellä kerran 50 vuodessa, sen lohkeaminen ja ajautuminen merelle tapahtuu 10 prosentin todennäköisyydellä ja sen osuminen myrskyllä vahvalla kohdallaan rakenteeseen tapahtuu 5 %:n todennäköisyydellä.

Itse olen käyttänyt Perämeren pohjoisosassa karakteristisessa jääkuormitustapahtumassa vallia, jonka kölipaksuus on 15 metriä ja konsolidoituneen kerroksen paksuus 1.3 m. Harvinaisena tai poikkeuksellisena kuormitustapahtumana on ollut valli, jonka kölipaksuus on 20 metriä ja konsolidoituneen kerroksen paksuus 1.5 m.

Kemi I:n kohdalla ja monessa muussakin tapauksessa vesisyvyys asettaa ehdottoman ylärajan kölipaksuudelle. Pohjautuva valli pysähtyy nopeasti.

Muilla merialueilla Itämeren piirissä näitä arvoja ja törmäystodennäköisyyksiä on skaalattu alas paikallisten olosuhteiden pohjalta.



*Poikkeuksellinen jääkuormitusskenaario, jossa iso siirrosvyöhykkeen valli irtoaa kiintojästä ja törmää rakenteeseen. Jään murto voi olla laukaiseva tekijä tällaisessa tapahtumaketjussa. Huomaa, että monenlaiset vallin törmäyskulmat ovat mahdollisia.*

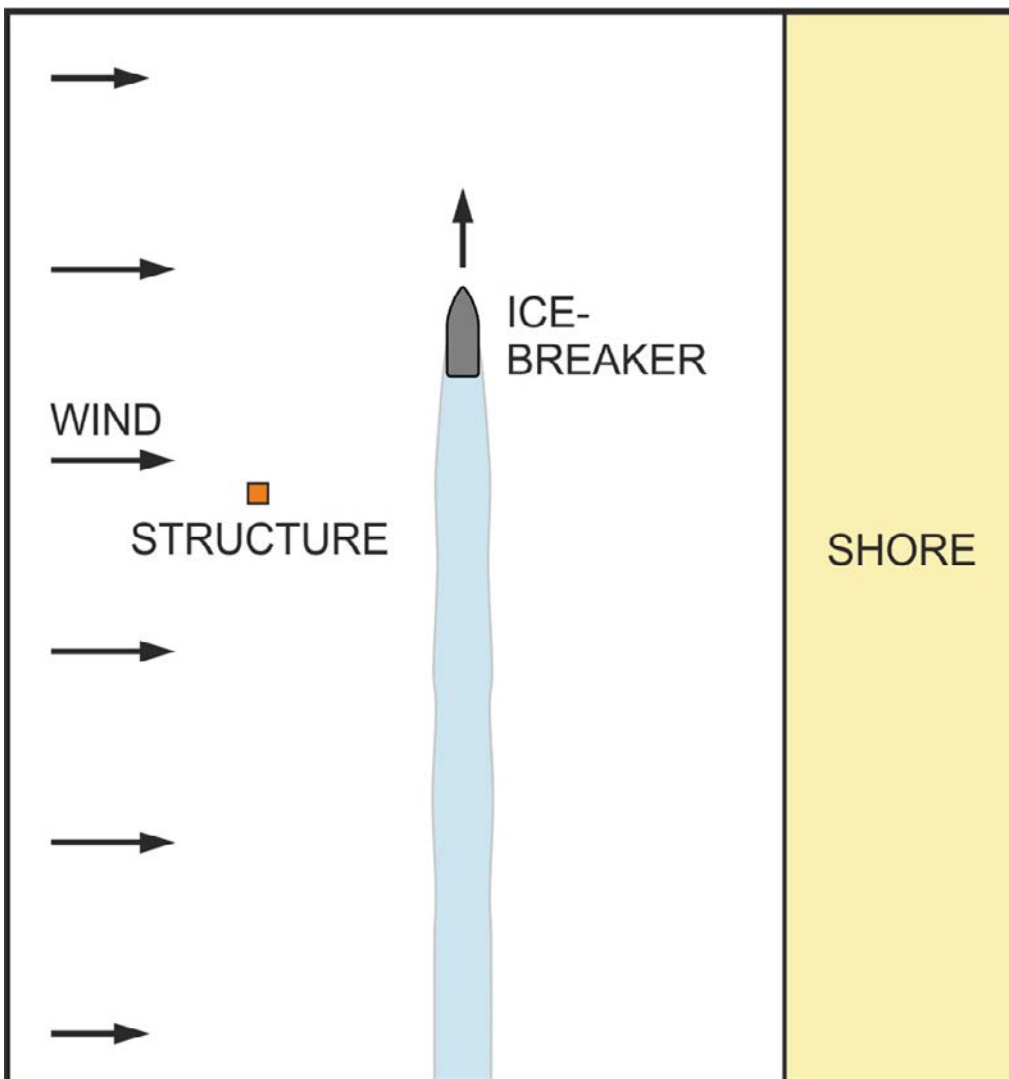
Monessa tapauksessa merirakenteet sijaitsevat alueilla, joissa ei isoja jäävalleja esiinny esimerkiksi ulkoluotojen vaikutusten takia. Jäät voivat kuitenkin liikkua. Korkeita jääkuormia voi esiintyä erityisesti vertikaalirakenteilla, jos rakenne värähtelee.

Toinen mielenkiintoinen suunnittelutilanne on kiinnijäätymiskuorman laukeaminen. Kun kontakti rakenteeseen on jäiden lähtiessä liikkeelle lähes täydellinen, tulee isoja kuormia. Tosin kuorman kasvaessa hitaasti syntyy halkeilua.

Myrskyn lähestyessä myös veden korkeudella on taipumus muuttua. Jo parinkymmenen sentin vedenkorkeuden muutos rikkoo kontaktia. Kemi I koekartioprojektin yhteydessä mitattiin jonkinasteisia kiinnijäätymiskuorman laukeamisia.

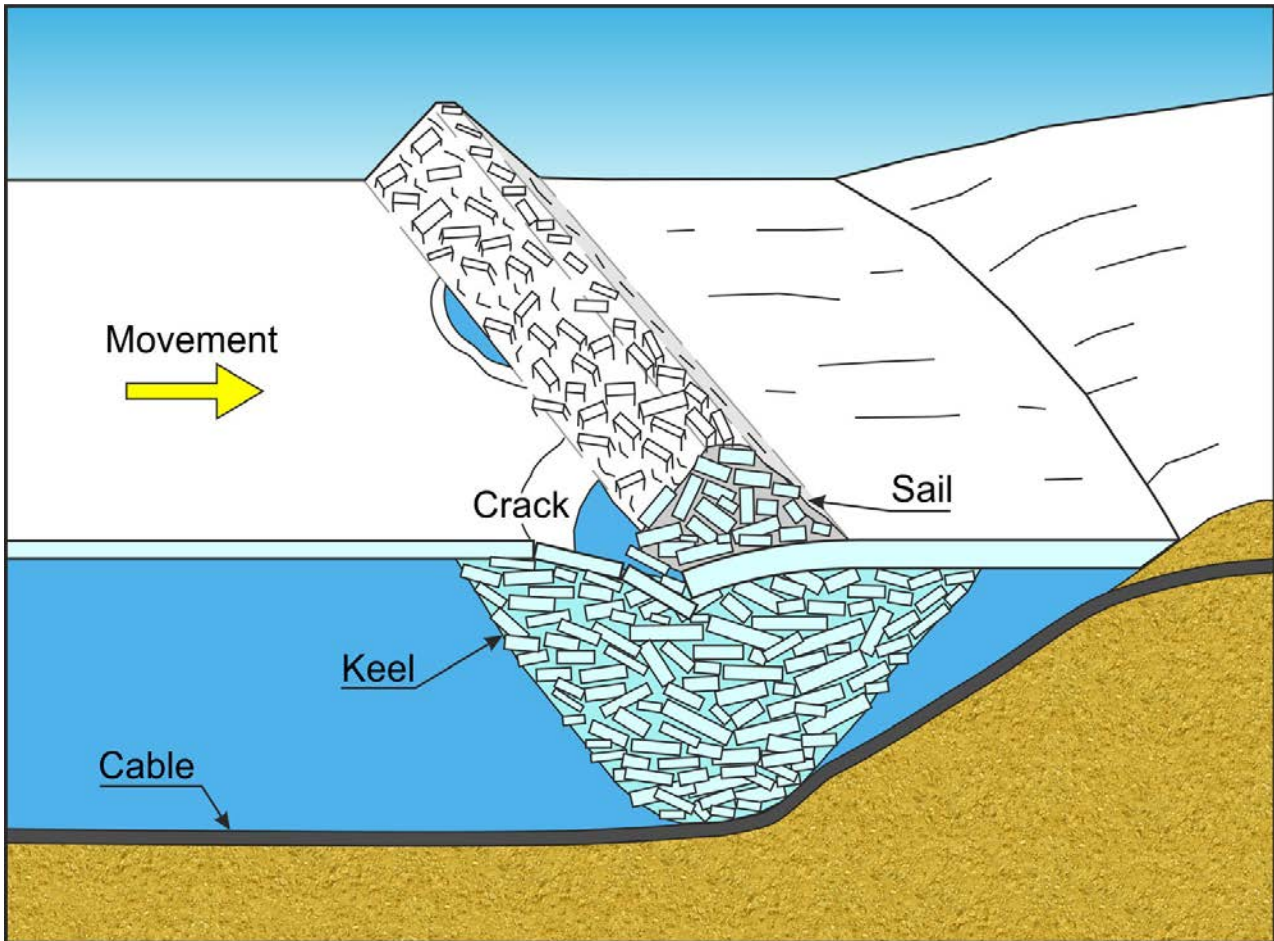
Keväällä kontakti jään ja rakenteen välillä heikkenee sulamisen takia usein jo varhaisessa vaiheessa.

Kiinnijäätymiskuorman laukeaminen voi liittyä tilanteeseen, jossa jäätä murretaan ja samalla puhaltaa kova tuuli (kuva). Kiinnijäätymiskuorman laukeamista jään ollessa paksua olen yleensä käsitellyt harvinaisena kuormitustapauksena.



*Esimerkki tilanteesta, jossa kiinnijäätymiskuorma voi laueta jäänmurron seurauksena.*

Merellä voi olla myös kaapeleita ja putkilinjoja. Jäävallin kölin mahdollinen kuormitus on syytä ottaa huomioon merellä. Rantavyöhykkeessä on monta syytä sijoittaa kaapeli tai putkilinja ojaan ja peittää se.



*Jäävallin köli voi merellä vahingoittaa kaapelia tai putkilinjaa.*

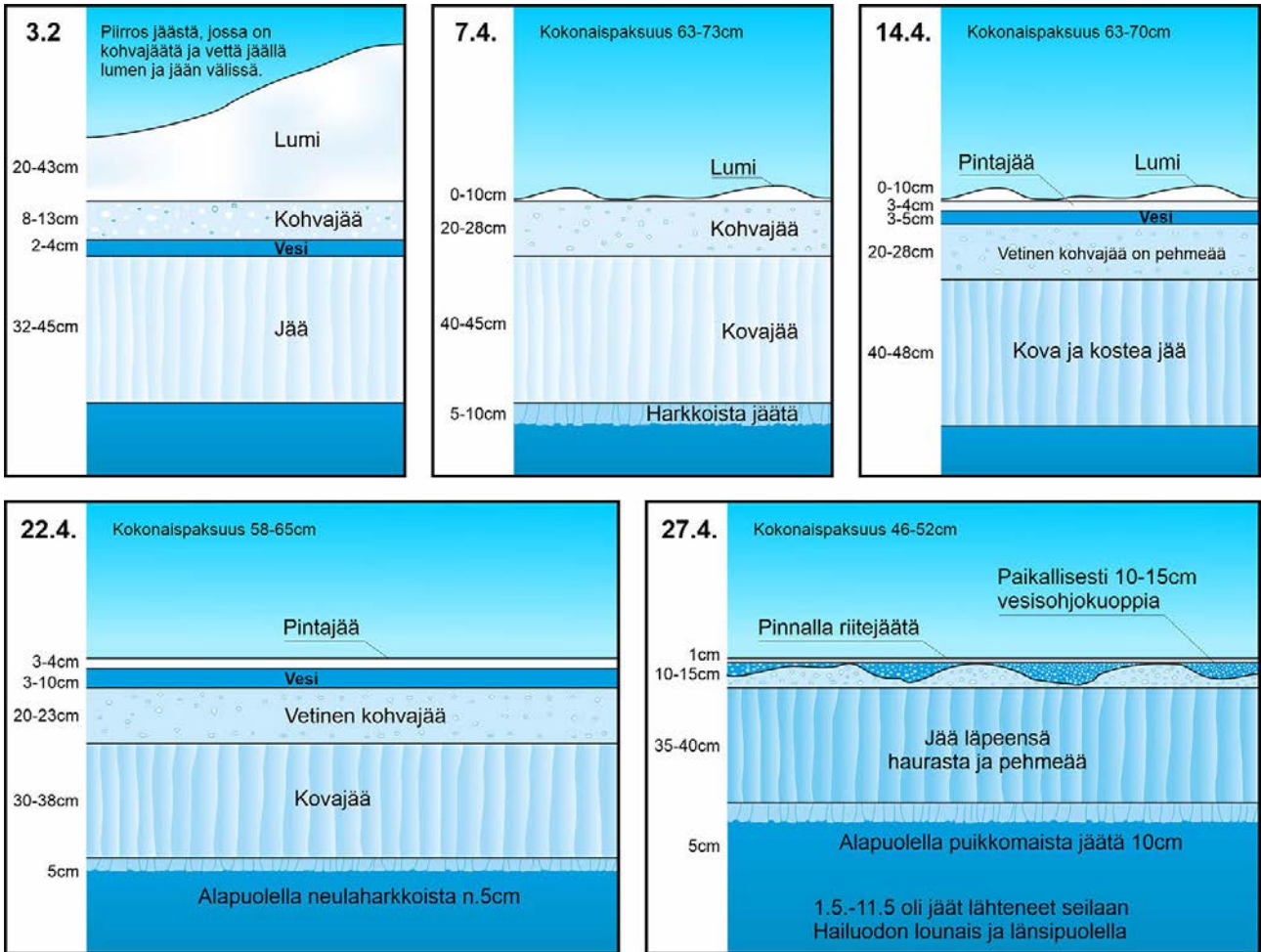
### **Merirakenteiden jääkuormat**

Kun puhutaan jääkuormista, ensimmäinen kysymys on ”Mistä voima tulee?”. Merellä tuuli on yleensä dominoiva tekijä. Virtaukset, jäälautan liike-energia, ahtojäiden paine lauttaan takaapäin, jään termiset liikkeet tai muut liikkeet ovat yleensä sekundaarisia tekijöitä Itämeren piirissä.

Kymmenen minuutin keskituulennopeus kymmenen metrin korkeudessa ylittää harvoin 20 m/s kovien jäätalvien sydämessä. Nyrkkituntuma-arvo tuulen ajovoimalle on siten 1 MN/km<sup>2</sup>.

Toinen tärkeä kysymys liittyy jään lujuuteen suunnittelutilanteessa. Itämeren piirissä merijää on tyypillisesti lämmintä, sydäntalvellakin keskimäärin vain muutaman asteen pakkasen puolella. Ei pidä käyttää arktiselle merijäälle annettuja arvoja.

Keväällä jään lujuus muuttuu dramaattisesti, kun jään sulamisprosessi alkaa (kuva).

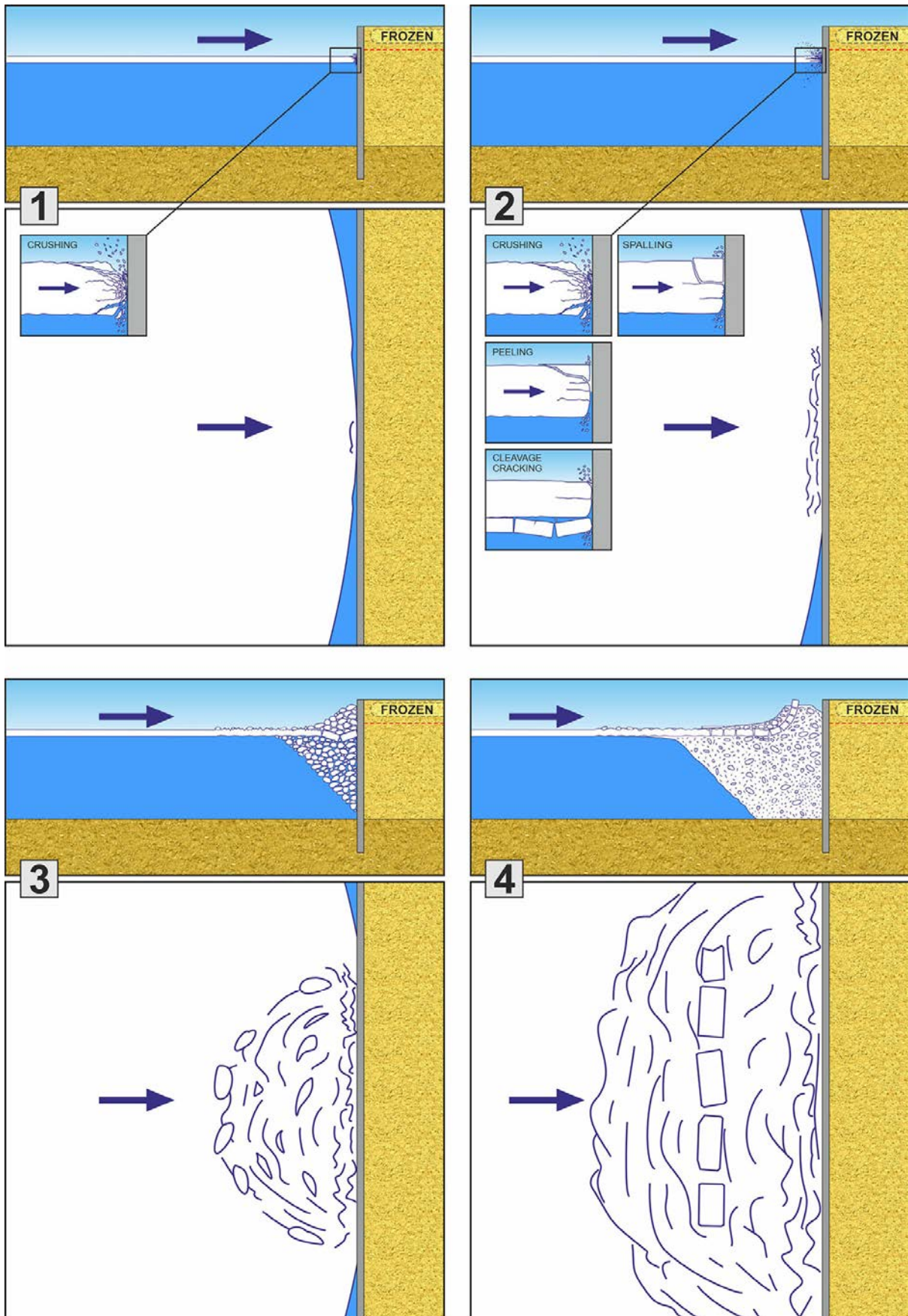


*Kiintojään rakenteen muuttuminen kevään 2011 edistyessä Hailuotoa ympäröivillä merialueilla Ahti Lepistön paikallishavaintojen mukaan (piirretty uudestaan skissien pohjalta).*

Jos jään ajovoima on riittävä, tulee seuraavaksi tarkasteluun konsolidoituneen jääkerroksen murtokuorma. Tämä riippuu rakenteen muodosta ja leveydestä. Seuraavat murtomuodot tulevat kysymykseen:

- Viruminen rakennetta vasten ylärajana kiinnijäätymskuorman laukeaminen;
- Murskautuminen pystysuoraan rakennetta vasten;
- Leikkausmurto kaltevaa rakennetta vasten;
- Taivutusmurto kaltevaa rakennetta vasten;
- Monimuotoinen murtotapahtuma;
- Murtuminen vallittumismekanismeilla;

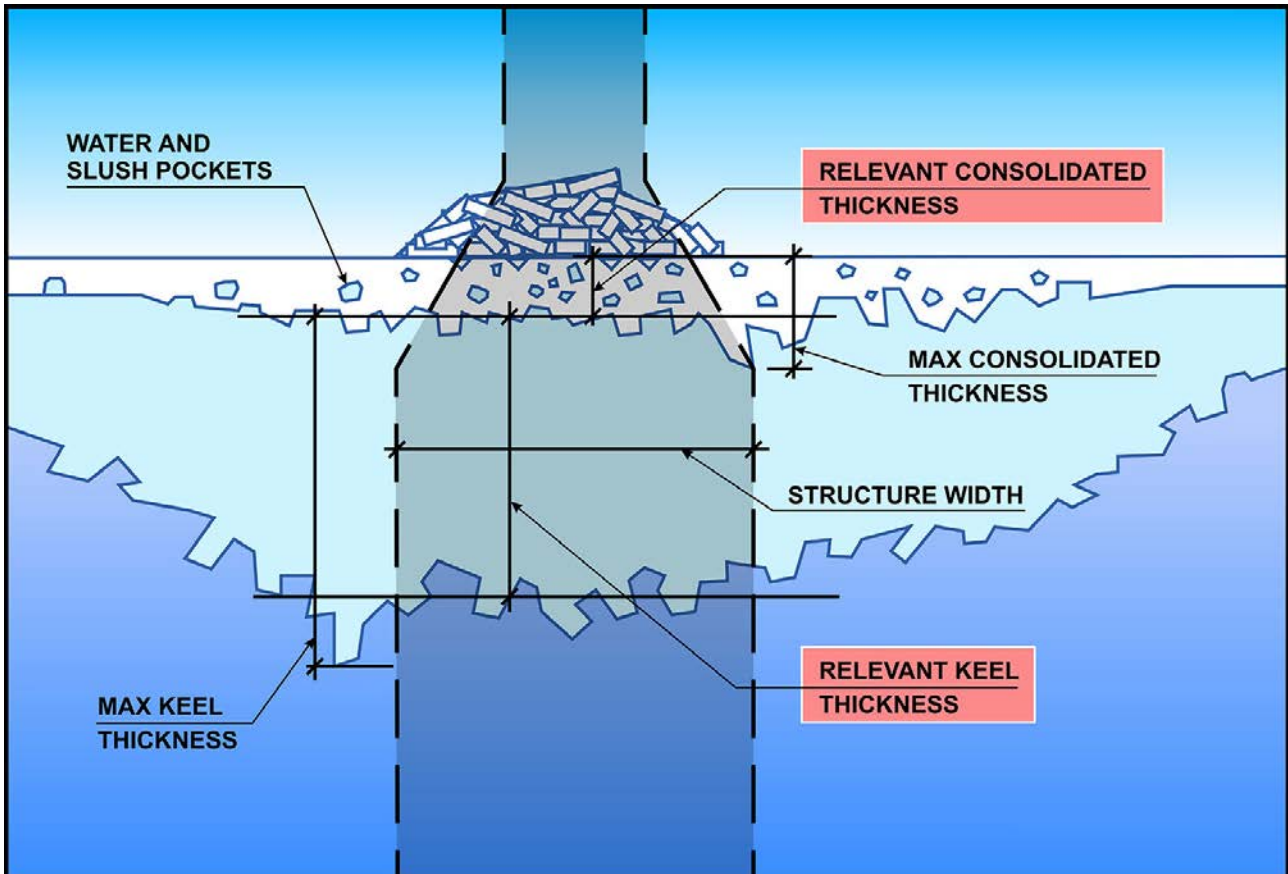
Kaikkia murtotapahtumia virumismurtoa lukuun ottamatta voidaan pitää vyöhykkeisinä, taivutusmurtoa tosin vain leveän rakenteen tapauksessa. Kuvauksia, ohjeita ja kaavoja kuormien arviointiin on annettu Väyläviraston julkaisussa 86/2023. Seuraavassa kuvassa on esitetty kuorman kehittyminen sellaista leveää rakennetta vasten, jonka seinämä on pystysuora.



*Kun suuri jäälautta törmää leveään rakenteeseen, murtotapahtumasta tulee varsin monimuotoinen. Rakenteen ympärille syntyy usein jo alkutalvesta sitä suojaava jääahtaus.*

Merellä määrävä globaalkuormitustapaus on usein kuitenkin jäävalli. Jäävalleissa on usein päällekkäin ajautunutta jäätä, joka on konsolidoitunut. Tämän lisäksi valleilla on köli. Jääkuorma koostuu konsolidoituneen kerroksen ja kölin kuormakomponenttien summasta.

Tässä yhteydessä on valittava edustavat arvot vallin konsolidoituneen kerroksen ja kölin paksuudelle. Asiaa on kuvattu alla.



*Jäävallin konsolidoituneen osan ja kölin teholliset paksuudet.*

Kölikuorman laskemisessa pidän Dolgopolovin alkuperäistä kaavaa (Kts. Eranti, Lee, 1986, s. 129) parempana kuin ISO 19906:2019 annettua kaavaa. Jälkimmäinen kaava aliarvioi sivusuhteen merkityksen erityisesti, kun rakenteen leveys on pieni jäävallin kölin paksuuteen verrattuna.

Itämeren piirissä olen käyttänyt kölin keskimääräisenä kitkakulmana 30 astetta ja koheesiona viittä KPa:ta. Havaintojen ja täysmittakaavakokeiden (kokeita tehty Itämerellä ja Kanadassa) perusteella koheesioarvo voi olla muilla merialueilla suurempi. Jäälohkareiden yhteen sulaminen ja jäätyminen (kölin konsolidaatio) on edennyt pidemmälle.

Olisin omalta osaltani halunnut tutkia:

1. Jäävallien konsolidoituneen kerroksen rakennetta ja siinä mahdollisesti olevia heikkousvyöhykkeitä.
2. Kölien rakennetta ja lujuutta eri syvyyksissä;

3. Kölien vaikutusta putkilinjojen ja kaapelien suunnitteluun. Avainkysymyksiä ovat 1. kuinka syvän uran köli voi uurtaa kovaan maahan ja 2. vaurioituuko putkilinja tai kaapeli, jos köli ajaa sen yli.
4. Osittain konsolidoituneiden kölien murtumista. Kuinka hyvin klassinen maamekaniikka kuvaa tapahtumaa? Vai onko kyse sarjasta paikallisia murtumia yhdistettynä kölimassan jäännöslujuuteen?

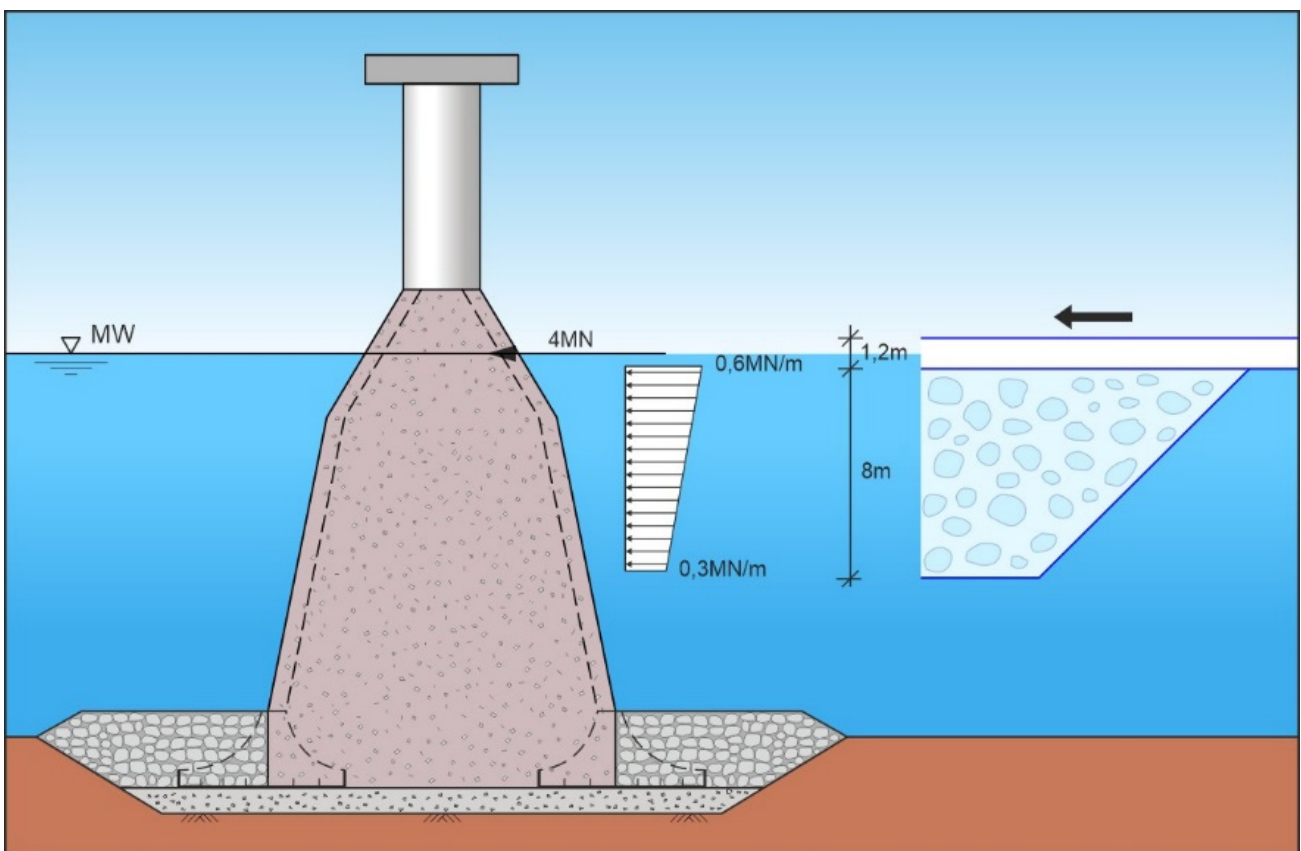
Ehkäpä joku jatkaa tähän suuntaan.

Kokonaiskuormien lisäksi merirakenteiden suunnittelussa on otettava huomioon paikalliset jääkuormat. Kiintojään paikalliskuormituksista pystysuoraa rakennetta vasten on olemassa normitietoa. Asiaa voi lähestyä myös siten, että paikallinen kuorma on osa kokonaiskuormaa ja se keskittyy jäänpaksuuden kolmannekseen.

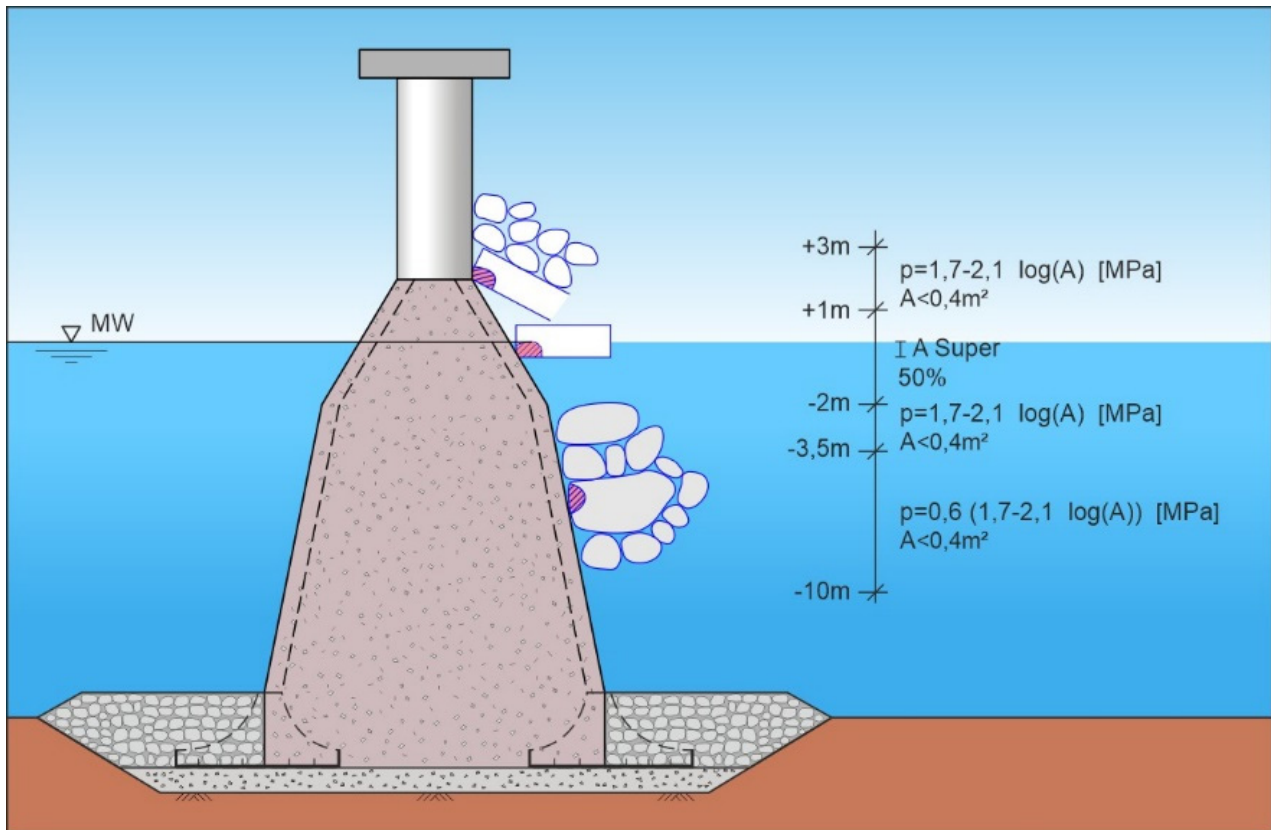
Kaltevan rakenteen tapauksissa jäätä murtavien alusten suunnittelukriteerit antavat osviittaa. Meillä on runsaasti käytännön kokemusta siitä, mikä kestää Itämeren oloissa.

Kölin osalta olen tarkastellut jäätä murtavien alusten suunnittelukriteereitä ja kokonaiskölikuorman murto-osia.

Esimerkki Merenkurkun sillan perusrakenteen harvinaisesta kokonaiskuormasta ja paikallisista jääkuormista on esitetty alla olevissa kuvissa. Tässä tapauksessa matalikot rajoittavat suunnitteluvallin kölin syvyyttä.



*Esimerkkirakenteen globaali suunnittelukuormitus.*



*Esimerkkirakenteen paikalliset jääkuormituskriteerit.*

### Jääolosuhteet huomioiva rakennesuunnittelu

Suomen ja Ruotsin merialueilla on noin 100 aitoa merirakennetta liikkuvan jään vyöhykkeessä. Kokemusta on yli puolen vuosisadan ajalta. Osa rakenteista on kestänyt ja muutama on vaurioitunut. Lisää arvokasta kokemusta on kertynyt muun muassa Beaufortinmereltä ja Ohotanmereltä.

Merirakenteiden suunnittelijan on jo alkuvaiheessa päätettävä, miten suuria ja minkälaisia jääkuormia halutaan ottaa vastaan. Jos rakenteen etureunaa kallistetaan vain 30 astetta pystysuorasta, rakenteen tasojääkuorma putoaa dramaattisesti. Samalla eliminoiduvat jään aiheuttamat värähtelyt.

Suomessa teräsputkipaaluista tehdyt merimerkit ovat värähdelleet siinä määrin, että niiden valolaitteita on mennyt rikki tiuhaan tahtiin. Tällaisten merimerkkien ympärille onkin rakennettu jääkartioita.

Beaufortinmerellä ja Ohotanmerellä massiiviset öljynporausrakenteet ovat värähdelleet pelottavassa määrin (seuraavat kuvat). Ylärakenteiden laitteiden kannalta tällaista värähtelyä ei voida sallia. Toisaalta jäykät ja massiiviset betonimajakat ovat toki kokeneet dynaamisten jääkuormien vaikutuksen, mutta eivät varsinaisia kelpoisuutta haittaavia värähtelyjä.



*Öljynporaustasanne CIDS Beaufortinmerellä. Tämä pehmeällä pohjalla oleva massiivinen betonirakenne värähteli pelottavassa määrin jäiden vaikutuksesta. Kuvassa sen suojaksi rakennetaan pohjautunutta jääsaarta.*



*Myös öljynporaustasanne Ohotanmerellä värähteli jäiden vaikutuksesta. Aluksi jäänmurtajat rikkoivat lähestyviä jäälauttoja ja myöhemmin rakennetta korjattiin.*

Rakenteen varmuustaso on yksi avainkysymys merirakenteita suunniteltaessa. Kiinteän merimerkin varmuustaso on luonnollisesti alhaisempi kuin esimerkiksi öljynporaustasanteen. Isot jääkuormat ovat Itämeren piirissä harvinaisia (päinvastoin kuin esimerkiksi keskellä Obinlahtea). Jääkuormiin ja niiden tulevaisuuden toistuvuuteen liittyy epävarmuutta.

Yksi lähestymistapa on pohtia kuorman ylittymisen seurauksia ja lisävarmuuden kustannuksia. Rakenteissa on usein paikallisesti ja myös globaalisti runsaasti kapasiteettia jäljellä harvinaisellakin kuormalla.

Merirakenteisiin liittyy erityisesti vesirajassa joko teräksen korroosio tai pakkassuolarasituksen ja jään hankauksen yhdistelmänä betonin kuluminen. Investointiekonomisesti ei yleensä kannata suunnitella rakenteita näiden tekijöiden suhteen sadan vuoden tähtäimellä. Parempaan tulokseen voi päästä varautumalla korjaustoimenpiteeseen 30 – 50 vuoden välein.

Rakenteen väsyminen jääkuormien vaikutuksesta ei ole samanlainen riski kuin esimerkiksi merituulivoimalan tuulikuorma tai merirakenteen aaltokuorma. Kuormitusyklejä tulee aivan liian vähän.

Suomen olosuhteissa putkilinjat ja kaapelit on yleensä suhteellisen helppo sijoittaa suojaan jäävallien ja ahtautumien vaikutuksilta pohjatopografiaa hyväksi käyttäen.

Jää on monille melko tuntematon ja siksi pelätty kuormitustekijä. Usein kuitenkin aaltokuorma (tai merituulivoimaloiden tapauksessa tuulikuorma) dominoi (kuva). Tämä koskee niin varsinaisia merirakenteita kuin putki- ja kaapelilinjoja.

Rakenteet on kuitenkin vahvistettava paikallisten jääkuormien takia. Sekundaarirakenteisiin voi liittää heikon lenkin, jotta primaarirakenne ei vaurioidu jääkuormitustilanteessa.

Sekundaarirakenteita ei ole järkevää sijoittaa kiintojään vaikutusvyöhykkeeseen. Roiskejään kertyminen niihin on syytä ottaa huomioon.



*Merirakenteen aaltokuorma on usein suurempi kuin jääkuorma.*