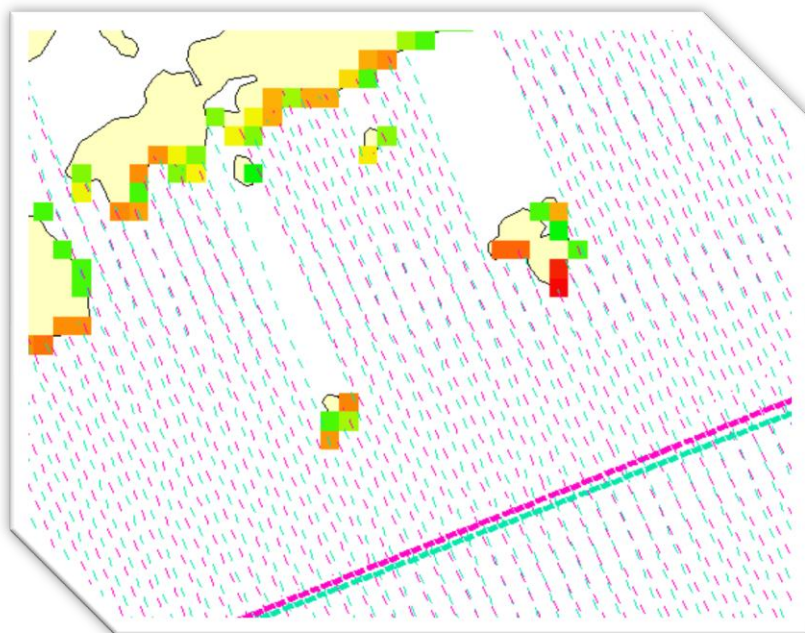


## GIS-modellering av fartygsorsakat undervattensbuller och svallvågor

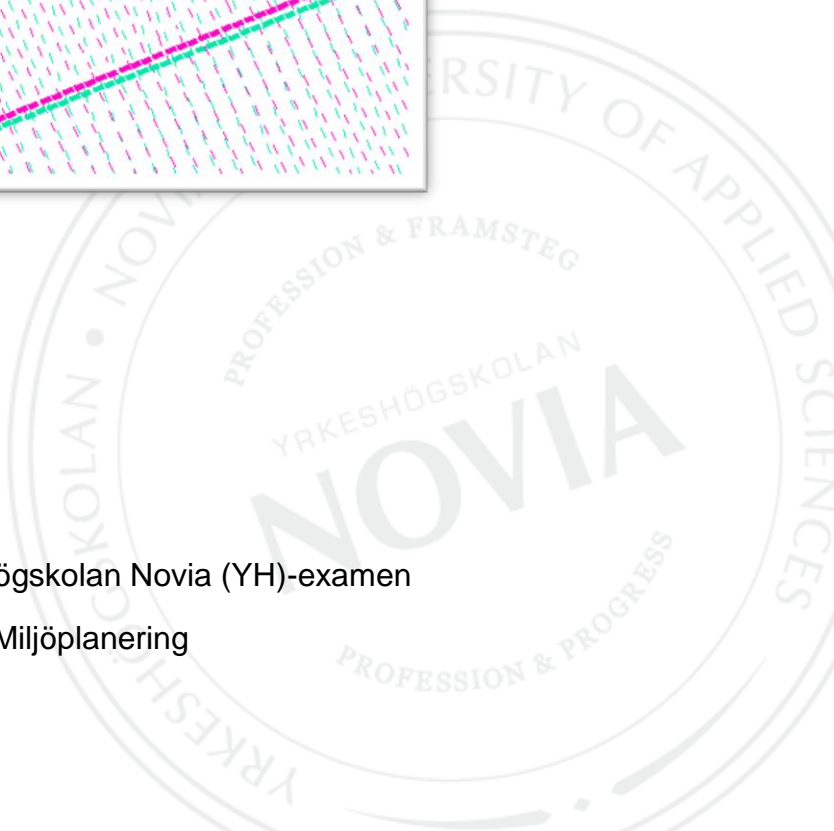


Marco Nurmi

Examensarbete för Yrkehögskolan Novia (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för Miljöplanering

Raseborg 2012



# EXAMENSARBETE

Författare: Marco Nurmi

Utbildningsprogram och ort: Hållbar utveckling, Raseborg

Handledare: Eva Sandberg-Kilpi, Kirsi Kostamo

Titel: GIS-modellering av fartygsorsakat undervattensbuller och svallvågor

---

Datum: 2.5.2012

Sidantal: 50

Bilagor: 3

---

## Sammanfattning

Undervattensbuller och svallvågor är två mekaniska fenomen vilkas miljöpåverkningar för tillfället inte är helt förstådda. Det är dock säkert att båda fenomenen är kapabla att i betydlig grad inverka på marina djur, och förutom detta kan svallvågor också orsaka bl.a. erosion och eutrofiering.

I detta examensarbete undersöktes och utvecklades metoder för att modellera fartygsorsakat undervattensbuller och svallvågor. Huvudsakligaste GIS-programmet som användes var ArcGIS, men även Manifold användes i viss grad. Också Microsoft Excel, AIS (Automatic Identification System) och ArcGIS-tilläggsprogrammen XTools Pro samt ET GeoWizards var väsentliga komponenter.

Den utvecklade metoden för modellering av undervattensbuller tillämpades på Hangö–Ekenäs skärgårdsområde, medan metoderna för modellering av svallvågor tillämpades på två mindre delområden. Delområdena var föreslagna som deponeringsplatser för muddringsmassor som skulle ha uppstått från den planerade muddringen av Pojovikens farled (ett projekt som i detta skede antagligen kommer att upphävas).

Med hjälp av modellerna undersöktes om marina djur kan bli påverkade av undervattensbuller samt om svallvågor kunde förflytta deponerade massor, skada fiskars lekplatser och orsaka erosion. Modellerna tydde dock på att fartygstrafiken antagligen inte har en stor påverkan på undersökningsområdena, men fortsatt undersökning krävs.

De utvecklade metoderna beaktar inte alla variabler; istället är de menade som språngbrädor för fortsatt utveckling av tekniker för att modellera undervattensbuller och svallvågor.

---

Språk: Svenska

Nyckelord: AIS, buller, GIS, metod, miljöpåverkan,

modellering, Pojoviken, svallvågor

---

# OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Marco Nurmi

Koulutusohjelma ja paikkakunta: Kestävä kehitys, Raasepori

Ohjaajat: Eva Sandberg-Kilpi, Kirsi Kostamo

Nimike: Laivojen aiheuttaman merenalaisen melun ja aaltojen GIS-mallintaminen

---

Päivämäärä: 2.5.2012

Sivumäärä: 50

Liitteet: 3

---

## Tiivistelmä

Vedenalainen melu ja laivojen aiheuttamat aallot ovat kaksi mekaanista ilmiötä, joiden ympäristövaikutukset eivät tällä hetkellä ole täysin ymmärrettyjä. On kuitenkin varmaa, että molemmat ilmiöt kykenevät merkittävästi vaikuttamaan merieläimiin, ja laiva-aallot voivat sitä paitsi aiheuttaa myös mm. eroosiota ja rehevöitymistä.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ja kehitetään menetelmiä vedenalaisen melun sekä laiva-aaltojen mallintamista varten. Pääasiallisesti käytetty GIS-ohjelma on ArcGIS, mutta myös Manifold käytetään jossain määrin. Myös Microsoft Excel, AIS (Automatic Identification System) ja ArcGIS-lisäohjelmat XTools Pro sekä ET GeoWizards ovat tärkeitä ohjelmia.

Vedenalaisen melun mallintamiseen kehitettyä menetelmää sovelletaan Hanko–Tammisaari saaristoalueelle, kun taas laiva-aaltojen mallintamiseen kehitettyjä menetelmiä sovelletaan kahdelle pienemmälle osa-alueelle. Osa-alueet ovat ruoppausmassoille ehdotettuja läjitysalueita, jotka olisivat syntyneet Pohjanpitäjänlahden laivaväylän ruoppauksesta (suunniteltu ruoppaushanke joka kuitenkin nyttemmin luultavasti tullaan perumaan).

Melumallinnuksen avulla tarkastellaan, voiko vedenalainen melu vaikuttaa vesieläimiin. Aaltomallinnuksien avulla tarkastellaan, voiko laiva-aallot siirtää läjitettyä massaa, vahingoittaa kalojen kutualueita tai aiheuttaa eroosiota. Mallinnukset kuitenkin osoittavat, että laivaliikenteellä ei luultavasti ole isoa vaikutusta tutkimusalueilla, mutta lisää selvitystä vaaditaan.

Kehitetyt menetelmät eivät huomioi kaikkia muuttujia; ne ovat sen sijaan tarkoitettu avuksi vedenalaisen melun ja laiva-aaltojen mallintamiseen käytettyjen menetelmien kehittämiseksi.

---

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: AIS, melu, GIS, metodi, ympäristövaikutus, mallinnus, Pohjanpitäjänlahti, aaltoja

---

# BACHELOR'S THESIS

Author: Marco Nurmi

Degree Programme: Sustainable Development, Raasepori

Supervisors: Eva Sandberg-Kilpi, Kirsi Kostamo

Title: GIS Modelling of Underwater Noise and Wakes as Caused by Ships/GIS-modellering av fartygsorsakat undervattensbuller och svallvågor

---

Date: 2 May 2012

Number of pages: 50

Appendices: 3

---

## Summary

Underwater noise and wakes are two mechanical phenomena with effects on the environment that are not yet fully understood. It is, however, a certainty that both phenomena are capable of affecting marine animals, and, furthermore, wakes can also cause erosion and eutrophication, among other things.

This thesis focuses on developing methods for modelling underwater noise and ship wakes. The main GIS program employed was ArcGIS, but also Manifold was used to some extent. Microsoft Excel, AIS (Automatic Identification System) as well as the ArcGIS expansions XTools Pro and ET GeoWizards, were also put to good use.

The method for modelling underwater noise was applied to the archipelago around the Hanko - Tammisaari area, while the methods for modelling ship wakes were applied to two smaller subareas. The subareas were proposed dump sites for dredged material that would have come from the planned dredging of Pohjanlahti's fairway (a project that, as of late, will probably be cancelled).

It was studied, with the help of the models, if underwater noise could impact marine animals, and if ship wakes could displace material from the planned dump sites, damage fish spawning areas or cause erosion. The models suggested that it is unlikely that ship traffic has a considerable environmental impact on the areas studied, but additional research is needed.

The developed methods do not account for all variables; rather, they are meant to help and inspire continued development of methods to model underwater noise and ship wakes.

---

Language: Swedish

Key words: AIS, noise, GIS, method, environmental impact, modelling, Pohjanlahti

---

## Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
2. Arbetets syfte .....	2
2.1 Deponierna och vågmodellerna .....	3
2.1.1 Planerade muddringen av farleden i Pojoviken .....	3
2.2 Lekområden för fisk .....	5
3. Områdesbeskrivning .....	5
3.1 Naturskydd.....	6
3.1.1 De skyddsvärda marina områdena i Ekenäs och Hangö skärgård och Pojoviken.....	7
4. Undervattensbuller .....	8
5. Svallvågor.....	9
5.1 Fn - Froudes tal .....	11
6. Fartygens påverkan på miljön .....	11
6.1 Buller och däggdjur .....	12
6.2 Buller och fiskar .....	13
6.3 Buller och ryggradslösa djur .....	13
6.4 Svallvågor och organismer .....	14
6.4.1 Svallvågor och fisklek.....	14
6.5 Erosion.....	14
7. Tidigare forskning .....	16
7.1 Tidigare forskning - Buller .....	16
7.2 Tidigare forskning - Vågor.....	18
7.3 Tidigare forskning - 3D modelleringar .....	19
8. Resurser som krävs .....	21
8.1 Microsoft Excel .....	22
9. Metodik.....	23
9.1 Bullermodellen .....	24
9.2 Vågmodellerna.....	25
9.2.1 Metod 1 - Fas 1 - Spider network.....	27
9.2.2 Metod 1 - Fas 2 - Bearbetning av spider network.....	28
9.2.3 Metod 1 - Fas 3 - Sista uträkningarna .....	29
9.2.4 Metod 2 - Fas 1 - Station lines .....	29
9.2.5 Metod 2 - Fas 2 - End points .....	31
9.2.6 Metod 2 - Fas 3 - Point to raster.....	31
10. Tidskrav för modelleringarna .....	31
11. Problem, frågor och tips .....	32
11.1 Problem med AIS.....	33
11.2 Problem med GIS .....	33

12. Resultat och tolkning .....	34
12.1 Bullermodellen .....	34
12.1.1 Bullrets möjliga miljöpåverkan .....	35
12.2 Vågmodellerna - L1 .....	36
12.2.1 Svallvågornas möjliga miljöpåverkan vid L1 .....	37
12.3 Vågmodellerna - L2 .....	38
12.3.1 Svallvågornas möjliga miljöpåverkan vid L2 .....	40
12.4 Andra observationer .....	41
13. Förbättringsförslag .....	41
13.1 För bullermodellen .....	41
13.2 För vågmodellerna .....	42
14. Diskussion .....	43
Källförteckning .....	46
Bilagor	

## 1. Inledning

Fartyg orsakar undervattensbuller vilket kan ha en stor påverkan på en mängd olika djur, även om effekterna och deras omfattning inte ännu är helt förstådda, särskilt då det gäller fiskar och ryggradslösa djur (Jasny & Reynolds & Horowitz & Wetzler 2005, s. 7, 15–16). Vågor orsakade av fartyg, dvs. svallvågor, kan ändra miljön samt påverka människans användning av kustvattnen; t.ex. fiske, strandbebyggelse och båttrafik (Madekivi 1993, s. 21). Svallvågor kan ibland även orsaka livsfarliga situationer för människor (Aage, m.fl. 2003, s. 18).

Detta arbete handlar delvis om hur buller kan störa havslevande djur och hur svallvågor påverkar ekologin och morfologin; framför allt handlar arbetet dock om modellering av dessa två mekaniska fenomen då de skapas av sjöfarande fartyg. Som det visar sig i examensarbetet, är buller och svallvågor mycket komplexa fenomen och vid deras modellering måste kompromisser göras. De utvecklade teknikerna som användes att skapa modellerna kan beskrivas som *ad hoc*, även om metoderna har dragit inspiration från vissa andra undersökningar.

Arbetet beställdes av havscentret för Finlands miljöcentral (Suomen ympäristökeskus, SYKE). Som kontaktperson och handledare från havscentret fungerade specialforskare Kirsi Kostamo.

## 2. Arbetets syfte

Arbetets huvudsakliga syfte var att utveckla samt tillämpa tekniker för att modellera, med hjälp av GIS, undervattensbuller och svallvågor som uppstår från fartygstrafik i skärgården. Tekniken skulle vara relativt simpel och beakta att det finns begränsningar på hurdana data som kan skaffas och tillämpas. Som undersökningsområde valdes Hangö–Ekenäs skärgårdsområde.

Medan bullermodelleringen tillämpades på hela Hangö–Ekenäs skärgårdsområdet (hädanefter kallas bullermodellens område för egentliga undersökningsområde, figur 1), tillämpades vågmodelleringarna endast på två mindre delområden i samma trakt. Båda de områden där vågmodelleringarna utfördes var föreslagna som deponeringsplatser i miljökonsekvensbedömningen för den planerade muddringen av Pojovikens farled (Finnish Consulting Group Oy 2011).



Figur 1. Egentliga undersökningsområde. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).



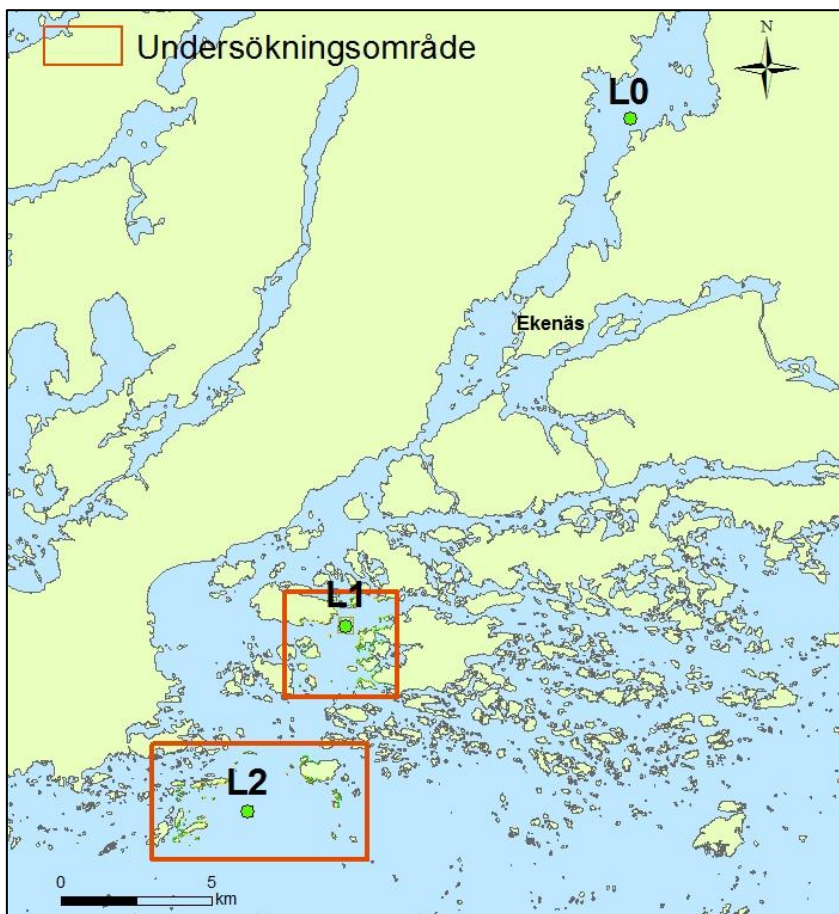
## 2.1 Deponierna och vågmodellerna

De i miljökonsekvensbedömningen föreslagna deponeringsplatserna för den planerade muddringen av Pojovikens farled valdes för modellering i detta examensarbete ursprungligen med tanke på att göra en utförlig GIS-modell på hur passerande fartyg möjligen kunde påverka och förflytta deponerade massor. En sådan modell visade sig dock vara mycket tekniskt krävande, därför blev målet istället att utveckla modeller som visade vilka delar på strandlinjerna i områden runt deponeringsplatserna som blir utsatta för svallvågor. Sådana modeller används bäst för att bestämma var det kan finnas risk för erosion, men de kan också ge riktgivande information om vart svallvågor möjligen kunde bära material från deponierna.

### ***2.1.1 Planerade muddringen av farleden i Pojoviken***

Under åren 2004 - 2011 bereddes en miljökonsekvensbedömning för muddringen av Pojovikens farled. Pojoviken är en smal, ca 15 km lång brackvattenvik. Vikens djupaste område är ca 40 m djup och den förenas med den yttre skärgården genom en muddrad farled. Trafikverket ansvarar för projektet och tanken är att laga farleden ca en meter djupare, från 4,9 m till 6,0 m. I miljökonsekvensbedömningen gavs tre förslag för muddringsmassans deponeringsområden. Deponeringsområden gavs namnen L0, L1 och L2, från nordligaste till sydligaste. (Nylands miljöcentral 2009; Finnish Consulting Group Oy 2011, s. II; Trafikverket 2011).

För svallvågsmodellerna användes L1 och L2 som undersökningsområden (figur 2).



Figur 2. Undersökningsområden för svallvågmodellerna. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

Nylands närings-, trafik- och miljöcentral (ELY-central) godkände endast miljökonsekvensbedömningens nollalternativ, vilket innebär att muddring inte kan utföras innan en ny miljökonsekvensbedömning görs eller nya alternativ för utförandet presenteras. Projektet kommer antagligen inte att förverkligas, i alla fall inom närmaste år. Det finns ett antal orsaker till att projektet i praktiken har slopats:

- Projektet berör ett område där miljön anses vara känslig och har mött stort motstånd från områdets invånare, vilket betyder att ett miljötillstånd är svårt att få.
- En naturskyddslagenlig Natura-bedömning har inte utförts.
- Projektet har brist på finansiering.
- Ekonomiska nyttan av att laga farleden djupare är för liten. (Trafikverket 2011).

## 2.2 Lekområden för fisk

Ett annat mål med arbetet var att undersöka på vilka områden fiskars lekplatser kunde störas av fartygstrafiken. Detta passade bra ihop med idén om att modellera fartygstrafikens svallvågor.

## 3. Områdesbeskrivning

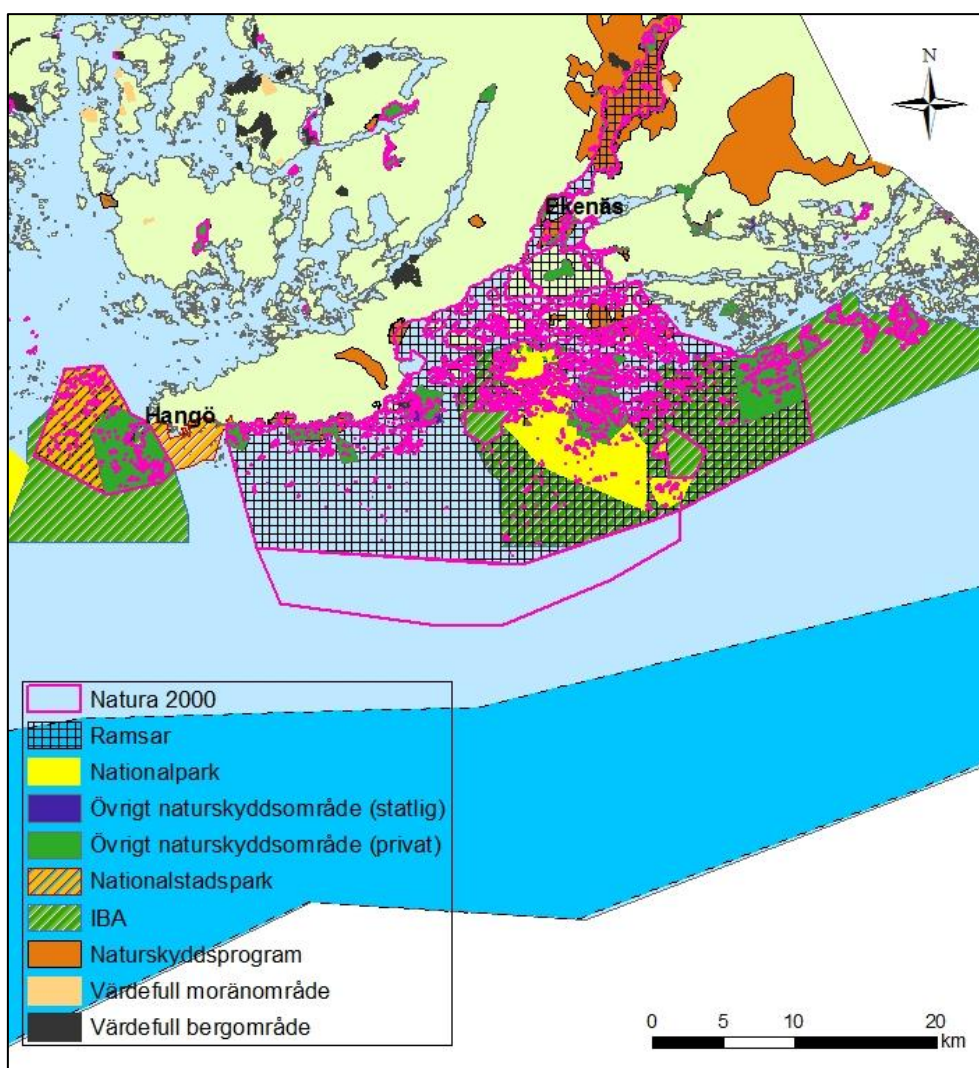
Ungefär hälften av det egentliga undersökningsområdet är öppet hav, medan resten består av fastlandets strandzon eller skärgård. Enligt Finlands miljöcentrals riksomfattande GIS-material, finns inom det egentliga undersökningsområdet 7 hamnar och 33 utflyktshamnar. Området innehåller två städer, Hangö och Raseborg (vars tätorter Ekenäs och Pojo ligger vid strandzonen). Vid Ekenäs och Pojo ligger Pojoviken.

Nordligt/sydligt sett omfattar det egentliga undersökningsområdet Pojoviken och Finlands EEZ (exklusiv ekonomisk zon) och området emellan. Från väster börjar det egentliga undersökningsområdet ca 10 km från Hangö och slutar ungefär vid Ingå. Vågmodellernas undersökningsområden, dvs. områdena runt två av de föreslagna deponeringsområdena för muddringsmassan från Pojovikens farled, ligger i skärgården mellan Danskog och Kallvassen.

GIS-uträkningar visade att ytan för L1 är ca 9 km<sup>2</sup> medan L2 är ca 15 km<sup>2</sup>. L1 och L2 är ca 2,2 km ifrån varandra. Inom undersökningsområdet L1 finns öarna Älgö, Hermansö och Koö, ett antal holmar och en utflyktshamn. Inom undersökningsområdet L2 finns ön Hästö Busö och några holmar, bl.a. Kupungar och Furuskär. Som djupast är L1 omkring 30 m, medan L2 är omkring 40 m.

### 3.1 Naturskydd

Med hjälp av Finlands miljöcentrals riksomfattande GIS-material ser man att det finns ett antal naturskyddstyper som påträffas på undersökningsområdet (figur 3): Natura 2000, Ramsar, en nationalpark och nationalstadspark, Internationellt Värdefulla Fågelområden (Important Bird Areas, IBA), diverse naturskyddsprogram och övriga naturskyddsområden (tabell 1). Även en liten mängd värdefulla morän- och bergområden hittas.



Figur 3. Olika naturskyddsområden på egentliga undersökningsområdet. Naturskyddsområden © SYKE (Natura 2000 delvis ELY-centralen). Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

Tabell 1. Naturskydden i ett nötskal (Finlands miljöcentral 2008, 2011; Forststyrelsen 2010, 2011a; Miljöministeriet 2011a, 2011b;).

<p><b>Natura 2000</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Skyddar viktiga naturtyper med mål att bevara naturens mångfald.</li> <li>• Skyddar också naturtyper som förr varit något förnekade, så som undervattensnatur, berg och småvatten.</li> </ul>
<p><b>Ramsar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strävar efter att skydda värdefulla våtmarker.</li> <li>• Är i Finland en del av Natura 2000 nätverket.</li> </ul>
<p><b>Nationalpark</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Huvudsakligen till för att trygga naturens mångfald.</li> <li>• Innehåller också natursevärdheter och nationallandskap.</li> <li>• Även till för att främja rekreation, dock på naturskyddets villkor.</li> </ul>
<p><b>Nationalstadspark</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tar hänsyn till bevarandet av viktiga värden för urbana miljön.</li> <li>• Skyddar bl.a. kultur- eller naturlandskap, historiska särdrag, värden i stadsbilden, sociala värden, rekreationsvärden.</li> </ul>
<p><b>Internationellt Värdefulla Fågelområden (IBA)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Till för att främja skyddandet samt identifieringen av övervintrings- och häckningsområden för fåglar av internationell betydelse.</li> <li>• Skyddar även dessa fåglars rastplatser under migration.</li> </ul>
<p><b>Naturskyddsprogram</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Finland har sju naturskyddsprogram: programmen för skydd av lundar, åsar, stränder, kärr, fågelrika vatten och gamla skogar samt programmet för national- och naturparker.</li> <li>• Som syfte att representera alla Finlands naturtyper.</li> <li>• Finns både på privat och statlig mark.</li> </ul>
<p><b>Övriga naturskyddsområden</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• I detta fall syftar "övriga naturskyddsområden" på naturskyddsområden som bara angetts i datat som privata eller statliga, utan desto mera klassificering.</li> </ul>

### **3.1.1 De skyddsvärda marina områdena i Ekenäs och Hangö skärgård och Pojoviken**

Den största naturskyddshelheten på det egentliga undersökningsområdet är "De skyddsvärda marina områdena i Ekenäs och Hangö skärgård och Pojoviken". Det ca 52 000 ha stora naturskyddsområdet är ett Natura 2000/Ramsar-område som också innehåller Ekenäs skärgårds nationalpark samt IBA, naturskyddsprogram, privata naturskyddsområden och några andra typer av naturskydd. En del av

området berörs av programmen för stränder och fågelrika vatten, medan en liten del berörs av programmen för åsar och lundar.

(Nylands miljöcentral 2009; Forststyrelsen 2011b).

Havet i naturskyddsområdet räknas vara ett område som kräver särskilda skyddsåtgärder och havsområdets kvalitet, botten och undervattennatur skyddas enligt vattenlagen. Även naturskyddslagen samt markanvändnings- och bygglagen tillämpas i naturskyddsområdet och muddring, utvinning av jord, avfallsvattenutsläpp samt bygg av hamnar, bottenkonstruktioner och akvakultur regleras. (Nylands miljöcentral 2009; Finlands miljöcentrals riksomfattande GIS-material; Nordström & Tainio 2008, s. 20–23).

#### **4. Undervattensbuller**

Ljud färdas fem gånger snabbare under vatten än i luft. Allmänt taget absorberas ljud med höga frekvenser snabbare av vattnet än ljud med låga frekvenser, som har förmågan att färdas mycket långa sträckor under vatten. Områdets geografi inverkar också på hur ljud beter sig: t.ex. en stenig botten kan få ett kort men intensivt ljud att eka och således skapa ett långvarigare ljud. Nuförtiden är sjöfartyg den vanligaste antropogena orsaken för lågfrekvent buller under vattenytan. Förr, då skepp använde sig enbart av segel och åror, var haven i praktiken fria från antropogena ljud, men med uppfinningen av propellermotorn ändrades ljudmiljön dramatiskt; ett stort tankarfartyg kan höras under vatten redan en dag innan den anlänt. En mycket stor bullerkälla från en del fartyg, oftast militära, är deras sonar. För tillfället är effekterna av kroniskt undervattensbuller på djur inte väl undersökta, men det har visats att vissa sonarsystem som använder låga frekvenser kan påverka marina däggdjur många hundratals kilometer bort. (Jasny, m.fl. 2005, s. 2–6; Codarin & Wysocki & Ladich & Picciulin 2009, s. 1880).

Förutom hur långt ett ljud kan färdas, påverkar frekvens också hur bra olika djurarter kan höra ett ljud; olika arter är alltså kapabla att höra olika frekvenser. Beroende på arten, kan buller från mindre fartyg ibland ha en större påverkan än buller från större fartyg. En späckhuggare, t.ex., är mera känslig för höga

frekvenser och kan sannolikt bättre höra en utombordsmotor än det lågfrekventa dånet från ett kryssningsfartyg, även om båda har samma ljudnivå. (Kipple & Gabriele 2007, s. 174).

Under åren 1999 och 2003 mätte Kipple m.fl. (2007, s. 172–173) undervattensljud producerade av 38 olika fartyg vars längder varierade från 4,3 till 294 meter. Vid en yard (0,9144 meter) och 10 knop, som var det huvudsakliga avståndet och hastigheten som undersöktes, var den lägsta uppmätta ljudnivån 157 och högsta 182 dB. Vid 100 yards avstånd (91,44 meter) skulle ljudnivån ha sjunkit med ungefär 40 dB och vid 1/3 mil (ca 0,53 km) med ungefär 53 dB.

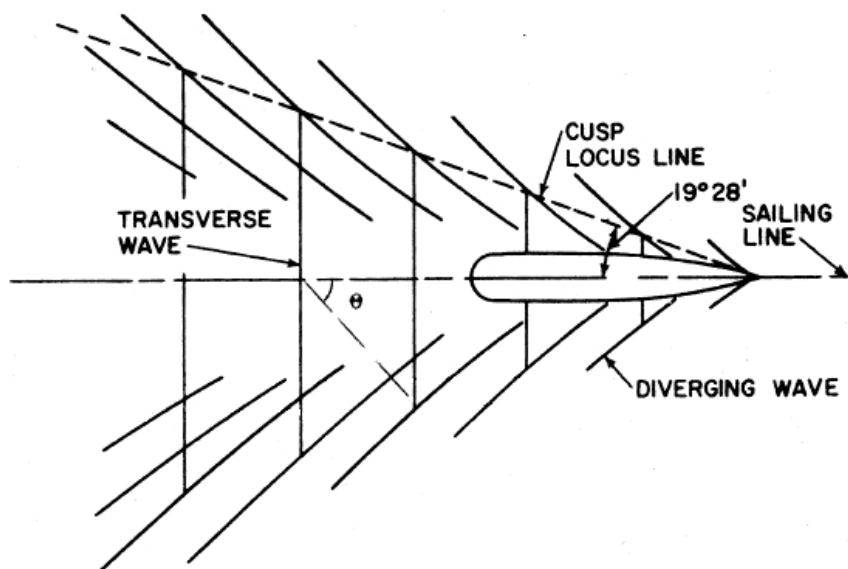
Vissa fartyg mättes även vid andra hastigheter än 10 knop och det konstaterades att ljudnivån i allmänhet steg avsevärt i samband med hastigheten, även om korrelationen var starkare hos vissa fartyg än hos andra. Gällande mindre fartyg, var ljudnivån oftast högre hos fartyg med mera hästkrafter. Två av undersökningens fartyg hade turbojetmotorer, och det visade sig att dessa skapade betydligt mindre ljud än propellerdrivna fartyg med motsvarande krafter. Också fartygens storlekar verkade påverka ljudnivåerna. (Kipple m.fl. 2007, s. 172–173).

Kipple m.fl. (2007, s. 173) noterar också att decibelskalan för undervattensljud skiljer sig från den vanligare decibelskalan som används i luftförhållanden; 100 dB i vatten är mindre än 100 dB i luft. Enligt Jasny m.fl. (2005, s. 4) är skillnaden 26 dB; alltså skulle t.ex. 200 dB i vatten motsvara 174 dB i luft.

## 5. Svallvågor

Lord William Thomson Kelvin utvecklade på 1800 -talet en vågteori som säger att vågor orsakade av fartyg uppstår från en enskild tryckpunkt, dvs. fartyget, som färdas på vattenytan. Enligt Kelvin kan skeppsvågor delas i två huvudkategorier: vågor som bildas bakom tryckpunkten och färdas tvärs längs med färdriktningen samt vågor som avgår från tryckpunkten (figur 4). Mellan naturliga vågor och svallvågor finns en betydlig skillnad gällande partiklarnas rörelser. Hos naturliga

vågor rör sig vattenmassan i en cirkelformad omloppsbanan, vilket i praktiken betyder att naturliga vågor inte förflyttar själva vattenmassan\*, medan hos svallvågor rör sig vattenmassan framåt med vågtopparna. (Madekivi 1993, s. 23, 47).



Figur 4. Tvärgående (tranverse) och avgående (diverging) svallvågor (DPIPWE 2008).

Viktiga variabler som bidrar till bildning av svallvågor är skrovform samt -storlek, hastighet, placering på farleden och miljöförhållanden. Vågor beskrivs med termerna höjd, längd, period och branthet. Höjd anger avståndet mellan vågens fördjupning och topp; längd anger avståndet mellan en topp till nästa topp; period anger tiden det tar för vågens topp att upprepa sig, dvs. röra sig från topp till topp; branthet anger vinkeln mellan topp och fördjupning. Fartyg, speciellt vid höga hastigheter, kan skapa vågor med beaktansvärda höjder. En bilfärja vid hastigheter över 20 knop kan skapa över 2,0 m höga vågor. Mindre fartyg, så som patrull- eller bogserbåtar, kan vid höga hastigheter skapa ca 0,75 m höga vågor. (Madekivi 1993, s. 22, 25–27; Holben u.å.).

\*Ett undantag är då vågorna blir tillräckligt höga, då börjar en effekt som kallas *stokes drift* som så småningom förflyttar vattenmassan i vågornas riktning (Florida Center for Instructional Technology 2005).



## 5.1 $F_n$ - Froudes tal

Vattnets djup har en betydlig roll i hurdana vågor ett fartyg orsakar; vid höga hastigheter och låga djup börjar friktion från botten påverka vågbildningen. För relativt grunt vatten kan man bra använda så kallade Froudes tal ( $F_n$ ) för att uppskatta typen av svallvågor som skapas.  $F_n$  kan räknas på olika sätt, men i detta arbete har så kallade *djup- $F_n$*  använts. Talet anges som:  $F_n = V_s / \sqrt{gh}$ , där  $V_s$  = hastighet,  $g$  = jordens dragningskraft (9,81 m/s<sup>2</sup>) och  $h$  = vattnets djup. Notera att stigande hastigheter höjer  $F_n$  talet medan stigande djup sänker det. Bottenens påverkan på vågorna kan märkas då  $F_n$  närmar sig 0,7 och då omständigheterna ger  $F_n = 1,0$ , kombineras de två vågkomponenterna till en enda tvär vågfront. Då  $F_n > 1$ , försvinner de tvärgående vågorna. (Madekivi 1993, s. 23–26; Maritime and Coastguard Agency 2001, s. 6).

Olika  $F_n$ -värden kategoriseras enligt följande:

Sub-kritisk:  $F_n < 1$

Kritisk:  $F_n = 1$

Super-kritisk:  $F_n > 1$

Trans-kritisk eller när-kritisk:  $0,85 \leq F_n \leq 1,1$

Vid kritiska värden är fartygets hastighet lika som svallvågornas maximala hastighet, medan vid super-kritiska värden är fartygets hastighet högre än svallvågornas hastighet. En femte kategori, sub-kritisk med hög hastighet (high speed sub-critical), beaktar att ett fartyg i djupt vatten med hög hastighet och sub-kritisk *djup- $F_n$*  inte alltid bildar tvärgående vågor. Detta beror på fartygets längd  $F_n$ , som är ett förhållande mellan ett fartygs hastighet och längd vid vattenlinjen. (Maritime and Coastguard Agency 2001, s. 6).

## 6. Fartygens påverkan på miljön

Fartygstrafik kan påverka miljön på ett antal olika sätt och speciellt vid trånga och grunda kanaler, skärgårdsfarleder och hamnområden kan trafiken ha en betydlig påverkan. Fartygstrafik kan höja bottenvattnets samt sänka ytvattnets temperatur

och orsaka ökad omblandning av vattnet vid farlederna, vilket i sin tur bidrar till eutrofiering. Passerande, framför allt svängande, fartyg kan också röra om bottensedimentet och på så vis orsaka tillfällig men stark turbiditet. Sedimentmaterial som suspenderats kan lägga sig inom en kort tid om det är grovt, men fint material kan spridas ut av strömmar på stora områden. Regelbunden trafik på ett område orsakar också omfördelning av näringsämnen, fytoplankton och löst flytande alger. Fartygstafrik orsakar också undervattensbuller samt bidrar till erosion. (Lindholm m.fl. 2000, s. 217, 220–221).

## 6.1 Buller och däggdjur

Eftersom synligheten är betydligt sämre under vattenytan än ovanpå, kompenserar och kompletterar marina däggdjur ofta synen med ljud och hörsel. Marina däggdjur använder ljud för att underlätta navigation, spana efter predatorer, sköta avkomlingar samt söka partner och föda. Speciellt delfiner och tumlare, genom att yttra högfrekventa klickar, använder sig av ljud för att hitta föda. Hurdan effekt buller kan ha beror på själva djuret och hur känslig den är för ljud samt hur nära källan djuret är: bredvid källan kan tillräckligt starkt buller direkt orsaka fysisk skada, t.o.m. livshotande, medan längre bort kan bullret orsaka tillfällig eller permanent hörselskada samt ändra djurets beteende. Dessutom kan sång och annat ljud som djur avger, för att t.ex. kommunicera eller jaga, dränkas av bakgrundsbuller. (Jasny, m.fl. 2005, s. 2–14).

Det finns många fall där valar eller tumlare strandats högst antagligen p.g.a. stark buller, exempelvis från sonar, som orsakat panik och trauma. Tecken på att ett djur har dött till följd av buller är om djuret är oskadat på ytan, men har intern skada och blödning vid och omkring hjärnan. Det finns också bevis som tyder på att marina däggdjur som utsatts för extremt buller även kan få tryckfallssjuka, dvs. samma sjuka som uppstår hos dykare om de uppstiger för snabbt från större djup. (Aage, m.fl. 2003, s. 21; Jasny, m.fl. 2005, s. 2–14;).

## 6.2 Buller och fiskar

Fiskars hörselsystem är uppbyggt något annorlunda än däggjurens, men det har upptäckts att även fiskar klart kan använda sig av ljud och kan påverkas till hög grad av buller, ofta på samma sätt som däggdjuren. Exempelvis är torsken och abborren känsliga för lågfrekvent ljud och särskilt arter som är specialiserade på hörsel, så som strömmingen, kan vara känsliga för buller. Det finns också tecken på att intensivt buller kan döda eller hämma utvecklingen av fiskyngel. (Jasny, m.fl. 2005, s. 2–17).

En undersökning utförd av Wysocki m.fl. (2005, s. 501–502) utsatte tre olika fiskarter, karp, sandkrypare och abborre, för simulerat fartygsbuller och fann att detta orsakade att fiskarna utsöndrade höga halter av kortisol, som är det huvudsakligaste ämnet som äkta benfiskar utsöndrar vid akut och kronisk stress. Codarin m.fl. (2009, s. 1880, 1885–1886) studerade hur fartygsbuller påverkade hörseln och kommunikeringen hos tre fiskarter; *Chromis chromis*, *Sciaena umbra* och *Gobius cruentatus*. Undersökningen fann att en motorbåt som passerade på 10 meters avstånd med hastigheten 6 knop minskade avståndet som fiskar av samma art kunde kommunicera med varandra på tio- till över hundrafaldigt, beroende på art.

## 6.3 Buller och ryggradslösa djur

Vetenskapen om hur buller påverkar marina däggdjur och fiskar är ännu bristfällig, men inte lika bristfällig som kunskapen om hur ljud påverkar ryggradslösa djur. Det finns dock undersökningar som tyder på att buller påverkar också ryggradslösa djur. Exempelvis finns det tecken på att sandräkans tillväxt och fortplantning kan hämmas av buller och att *Chionoecetes opilio*, dvs. snökrabban, kan få lever- och äggstockskada. Det finns även fall där jättebläckfiskar har dött till följd av buller orsakad av luftbössor. Luftbössor används för seismiska mätningar till havs, t.ex. för att hitta olja, och kan orsaka synnerligen högt buller. (Jasny, m.fl. 2005, s. 3–4, 15–17; Ne.se u.å.).

## 6.4 Svallvågor och organismer

Fartygstrafik kan ha omedelbar negativ inverkan på organismer; stillasittande organismer kan skadas eller omplaceras om fartygen orsakar rörelse i materialet där organismerna sitter; bottensediment kan transporteras närmare stränder som orsakar blandade och således mindre stabila organismsamhällen. Dock kan vissa organismer även gynnas av svallvågor. Svallvågor kan skapa en sorts tidsvatteneffekt som kan hjälpa vissa alger, och djuren som förekommer på dem, att breda ut sig till nya områden, medan ettåriga trådalger drar nytta av näringsämnen som svallvågorna sätter i rörelse. (Aage, m.fl. 2003, s. 21; Madekivi 1993, s. 95).

### 6.4.1 Svallvågor och fisklek

Regelbunden trafik kan påverka lokala lekplatser; lekplatserna och rommen kan täckas av suspenderat material som sedimenterar, vilket således försämrar äggens syreupptagningsförmåga, och löst sediment ovanför lekområdet kan svepa bort äggen om t.ex. en storm träffar området. Fartygstrafikens påverkan på fisklek kan variera mellan fiskarter, men om möjliga lekplatser på ett område har tagit betydlig skada, kan konsekvensen vara att fiskarna flyttar bort. Även akvakultur kan påverkas av fartyg; svallvågor från fartygstrafik kan vara så betydliga att anläggningar nära farleden måste använda extra hållbart material. (Madekivi 1993, s. 56–59; Finnish Consulting Group Oy 2011, s. 110).

## 6.5 Erosion

Fartyg orsakar stranderosion huvudsakligen genom två olika sätt; svallvågor och strömmar. Vid låga hastigheter är det närmast propellerströmmarna som bidrar till erosionen. Svallvågor som slår stranden kan orsaka starka strömmar och virvlar som i sin tur kan lösgöra och förflytta jorden bort från området. Vågor från regelbunden trafik bidrar till erosion genom att transportera bort finkornig jord och sortera jordtyper vid stränder. (Madekivi 1993, s. 22–23).

Hur lätt en strand kan lida av erosion beror på bl.a. skiktning, fuktighet, vattenpermeabilitet, jordartens kornstorlek, växtlighetstäckning och lutning. Vid grunda och långsluttande områden uppstår det så småningom en balans, dvs. erosionen minskar, då materialhalten och profilen anpassar sig till vattnets allmänna energitillstånd. Balansen kan dock rubbas om passerande fartyg höjer energitillståndet genom att skapa tillräckligt starka och långvariga strömmar, i vilket fall stranden börjar eroderas. (Madedkivi 1993, s. 69–70).

Madedkivi (1993, s. 71–72) refererar Granath som menar att strandtyper vid bedömning av stränders erosionsförmåga kan indelas in i följande klasser:

**0:** Konstgjorda stränder

**1:** Bergstränder

**2:** Stenig strand med kornstorlek över 20 cm.

**3:** Strand med grus och sten. Vid stranden pågår eller har pågått erosion med varierande kornstorlek från 2 till 20 cm.

**4:** Långsluttande moränstrand som inte är totalt eroderad. Stranden består av diverse material och har en sluttning under 10°.

**5:** Brant moränstrand som inte är totalt eroderad. Stranden består av diverse material och har en sluttning över 10°.

**6:** Sandstrand med kornstorlek under 2 cm.

**7:** Finmaterialstrand av lera eller silt med kornstorlek under 0,2 mm. Stranden är ofta långsluttande och befinner sig i ett skyddat område.

Klasserna 4 - 7, speciellt branta moränstränder, kan anses vara känsliga för erosion Dessutom är områden som redan tidigare störcs av yttre krafter, så som t.ex. kraftiga stormar eller muddring, oftast känsligare än områden som länge varit stabila. Finlands vanligaste strandtyp är bergstränder, men det finns ändå också skäl att beakta riskerna associerade med erosion. I synnerhet vid planeringen av nya farleder bör riskerna för erosion beaktas, eftersom en ökad energi-input kan rubba balansen på området. Det är också viktigt att beakta hur naturliga vågförhållanden ser ut jämfört med vågorna orsakade av fartyg, eftersom områden med exponerade stränder som konstant utsätts för naturliga vågor är tåligare än

skyddade områden där förekomsten av naturliga vågor är låg. (Madekivi 1993, s. 69–72; Aage, m.fl. 2003, s. 20–21).

## 7. Tidigare forskning

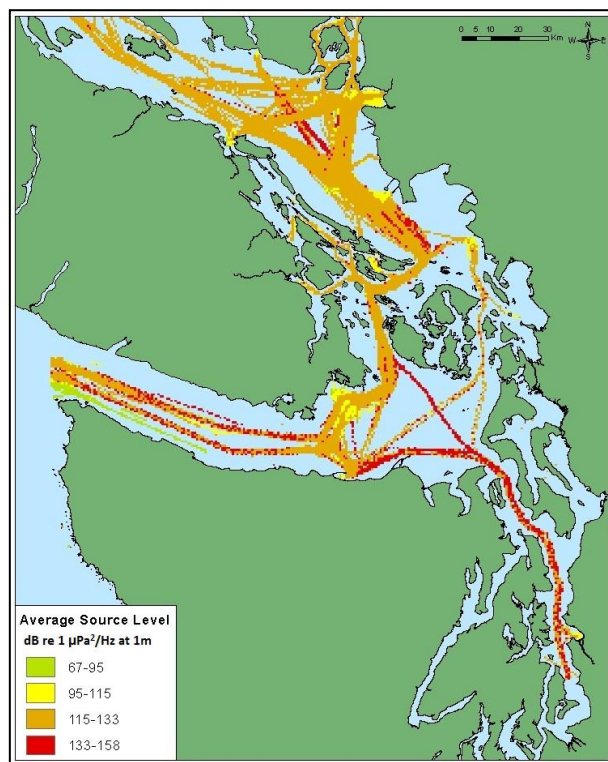
Efter extensivt sökande visade det sig att det var svårt att hitta liknande arbeten som denna, dvs. där undervattensbuller eller svallvågor från fartyg modellerats. Dessutom visade det sig att modelleringarna av fartygsvågor oftast var av mycket detaljerad och småskalig karaktär, dvs. det var ofta fråga om ett enda fartyg vars vågor modellerats mycket noggrant med hjälp av 3D-program. Det var alltså modelleringar menade för någorlunda andra syften än de som detta slutarbete hade och dessutom var modelleringarna inte gjorda med GIS-program.

### 7.1 Tidigare forskning - Buller

Som ett exempel på tidigare modellering av undervattensbuller kan tas projektet som utfördes av fem studerande från kanadensiska universitetet University of British Columbia (UBA). Deras projekt, *Commercial Shipping Noise Impacts on the Critical Habitat of the Southern Resident Killer Whale (Orcinus orca)*, handlade huvudsakligen om att undersöka var undervattensbuller störde späckhuggares läten i provinsen British Columbias södra kust (Crystal & Moseley & Paterson & Ryvola & Wang 2011).

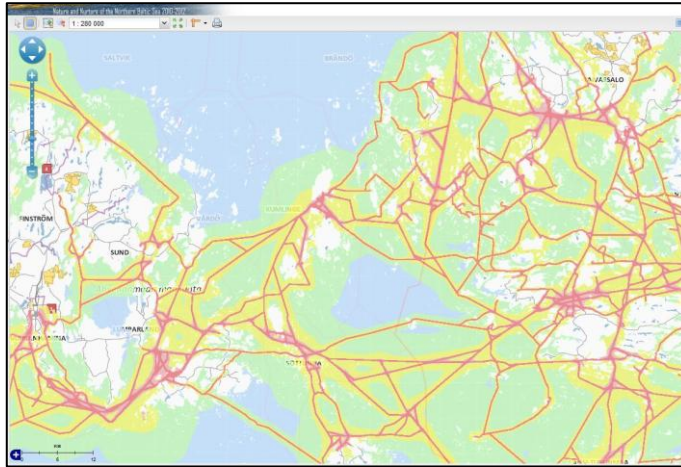
Crystal m.fl. (2011) använde sig av AIS-data\* och skapade med hjälp av en formel ett raster (figur 5) som visade decibelnivån vid ljudets ursprungskälla, alltså fartygens position under varje AIS-signal. Från detta modellerades sedan ett nytt raster som visade för varje plats hur mycket späckhuggarnas läten doldes av undervattensbuller.

\*AIS (Automatic Identification System) är ett system som möjliggör identifieringen av fartyg samt följning av deras rörelser. Systemet hämtar information om bl.a. fartygets hastighet, koordinater, storlek, typ och riktning och skickar ut informationen med jämna intervall. (Navigation Center u.å.a).



Figur 5. Medeltal på ljudkällors decibelnivå Crystal m.fl. (2011).

Ett annat intressant exempel är bullermodellen (figur 6) som hittas i *Nature and Nurture of the Northern Baltic Sea 2010-2012 (NANNUT)* kartservicen ([www.nannut.fi](http://www.nannut.fi)) och gjordes av Forststyrelsen enligt ett recept som utvecklades i samband med *Baltic Sea Management - Nature Conservation and Sustainable Development of the Ecosystem through Spatial Planning (BALANCE)* projektet. BALANCE projektets mål var att utveckla verktyg baserade på fysisk planering samt tvärvetenskapligt samarbete för marina förvaltningen av Östersjön. Projektet, som till en del var finansierat av EU, startades år 2005 och slutfördes 2007. NANNUT, som består av 10 projekt partners varav YH Novia är den ledande partnern, är ett projekt vars huvudsakliga mål är att integrera användningen av undervattensdata med planering av människoaktiviteter i grunda marina områden. (Balance 2007; Nannut 2012).



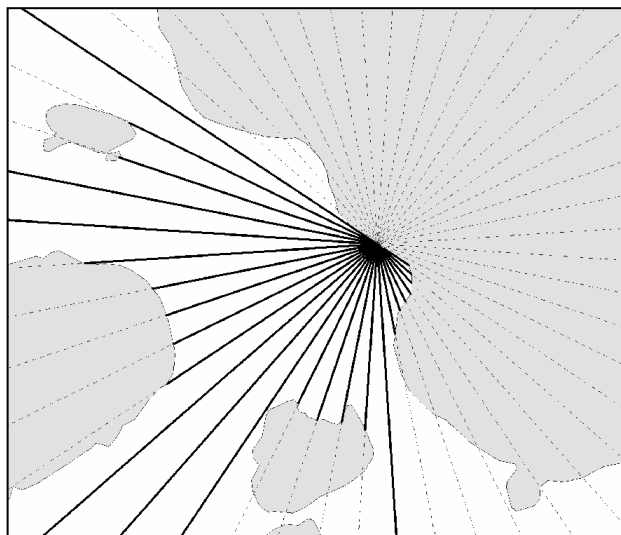
Figur 6. Bullermodellen från [www.nannut.fi](http://www.nannut.fi).

BALLANCE-modellen baserar sig inte på AIS-data, men på farleder och hamnar. Farleden användes för att representera större fartyg, medan mindre båtar representerades av en sorts buffert runt hamnarna. Rationalisering var att större fartygs rörelser var lätta att förutspå, eftersom de nästan alltid följer farleder, medan mindre båtar har ett mera oregelbundet rörelsemönster. På grund av utspädningseffekten antogs densiteten för småbåtstrafik vara lägre ju högre avståndet var från en hamn. Andra saker som beaktades i modellen var bl.a. farledens djup, landområden och dämpning av bullret enligt en logaritmisk skala på basis av avståndet från källan. Efter att ett skilt raster för farleden och hamnarna var klara, kombinerades rasterna och modellen var färdig. (Snickars & Pitkänen 2007, s. 91–99).

## 7.2 Tidigare forskning - Vågor

Gällande vågmodellering finns det en teknik som går ut på att skapa så kallade fetchlinjer. Linjerna kan användas för att modellera hur utsatt ett område är för naturliga vågor. Tekniken har t.ex. använts för att undersöka vilka områden i Stora barriärrevet som är känsliga för cykloner och Åbo universitet har utnyttjat fetchlinjer för att skapa exponeringsdata för Finlands kust (figur 7). (Puotinen u.å.; Kalliola & Suominen 2007, s. 5–15).



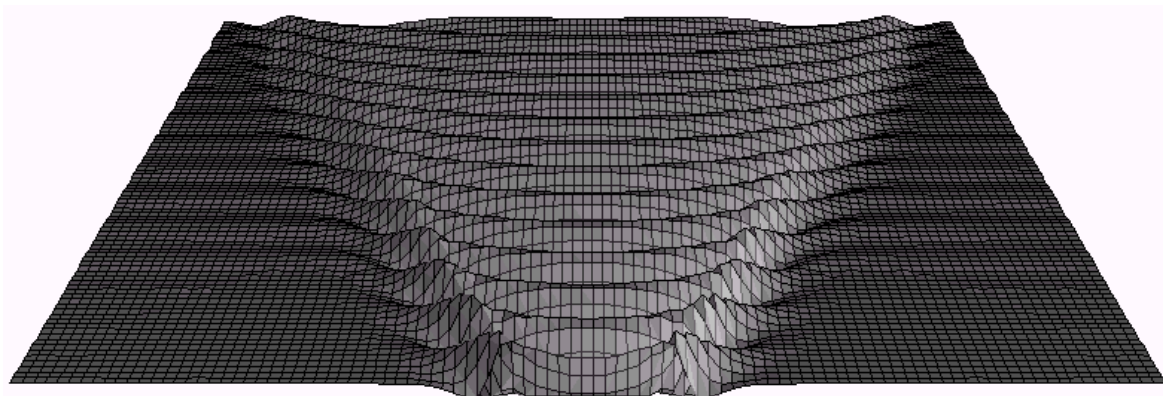


Figur 7. Exempel på fetchlinjer (Kalliola & Suominen 2007).

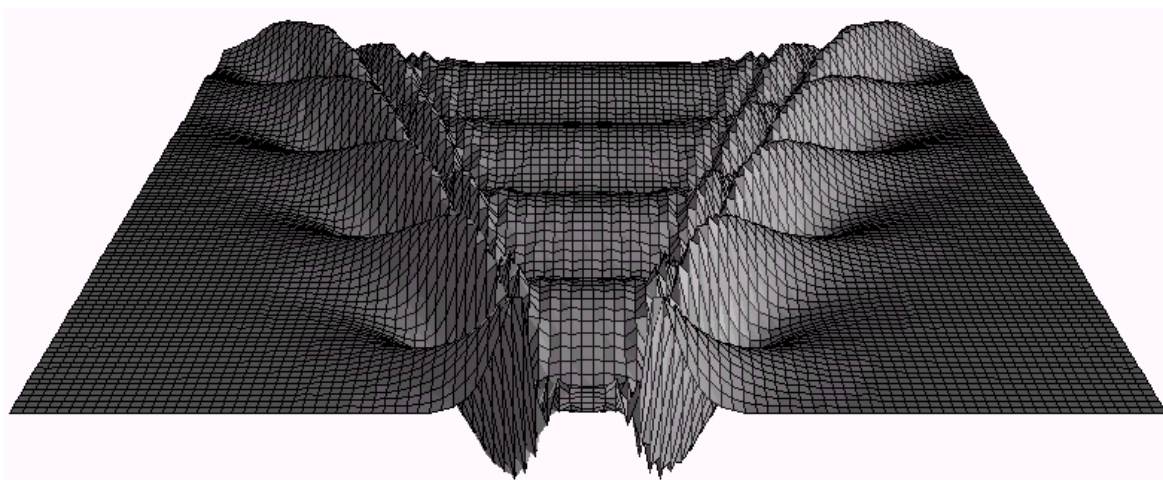
Tekniken går ut på att först skapa punkter längs med kanterna av de områden som vill undersökas, t.ex. längs med strandlinjen av en ö, sedan skapa linjer av en bestämd längd som strålar ut från punkterna. Linjerna bör stråla ut i varje riktning och i dessa fall strålade en linje ut med 7,5 graders mellanrum. Efter detta klipper man bort de delar som överlappar med något som kan klassificeras som ett hinder för vågor, dvs. oftast land eller rev. Kvar blir linjer med olika längder och ju längre en linje är, desto högre exponering kan området anses ha för vågor som färdas från linjens väderstreck. (Puotinen u.å.; Kalliola & Suominen 2007, s. 5–15).

### 7.3 Tidigare forskning - 3D modelleringar

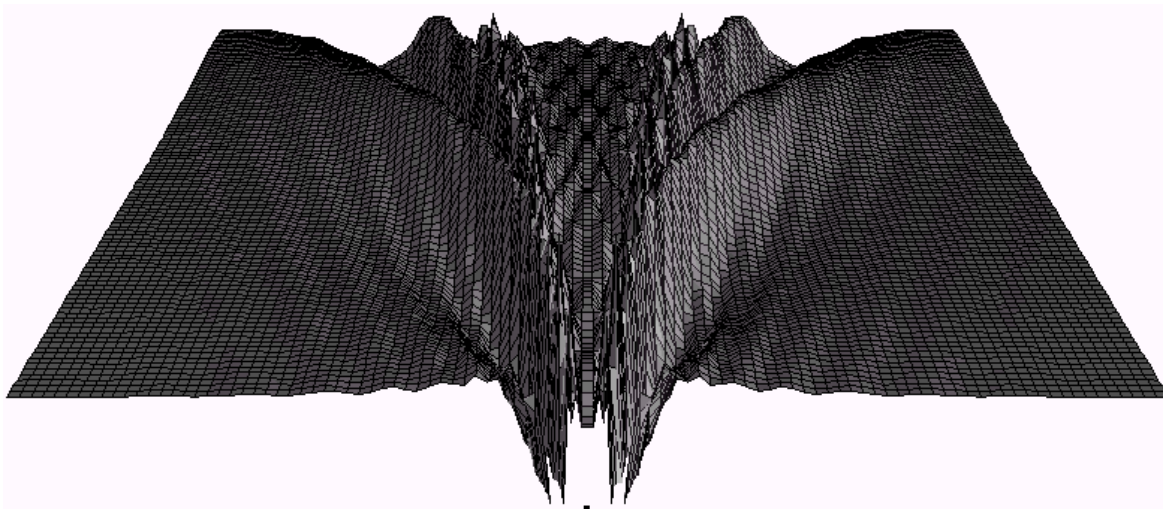
Som exempel på 3D-modelleringar kan tas modellerna skapade av Australiens Department of Primary Industries and Water (DPIPWE). DPIPWE:s lagade ett antal modeller som visade hur vågornas egenskaper och mönster ändrades med stigande hastigheter. Modellerna simulerade en 5 meter lång båt och våghöjderna överdrevs för att underlätta åskådandet. Vid modelleringen användes längd Froude-tal som, som tidigare beskrivits, beaktar fartygets längd men inte vattnets djup. I rapporten representerades längd Froude-talen 0,3, 0,35, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 och 1,5 (figur 8, 9 och 10). Bilderna visar bra hur de tvärgående vågorna försvinner då  $Fn$  närmar sig 1,0. (DPIPWE 2008, s. 1–6).



Figur 8. Svallvågor vid  $Fn$  0,35 (DPIPWE 2008).



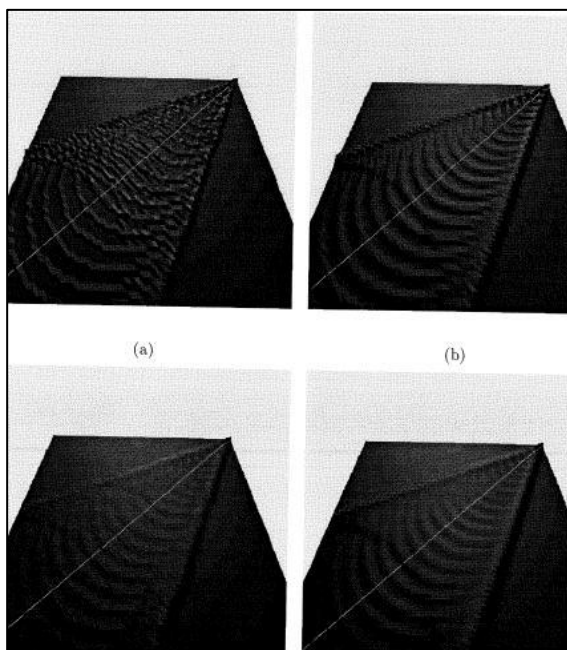
Figur 9. Svallvågor vid  $Fn$  0,6 (DPIPWE 2008).



Figur 10. Svallvågor vid  $Fn$  1,0 (DPIPWE 2008). Vid detta skede har tvärgående vågorna nästan försvunnit.

Ett annat exempel är 3D-modelleringarna som utfördes av Khan (1994, s. II, 21–27). Modellerna beaktade inte fartygskroppen, istället simulerades vågorna genom att skapa utstrålade cirklar från punkter på fartygets farled (figur 11). Till

skillnad från detta arbetets och DPIPWE:s vågmodelleringar, använde sig Khan inte av Froudes tal.



Figur 11. Vågmodelleringar (Khan 1994).

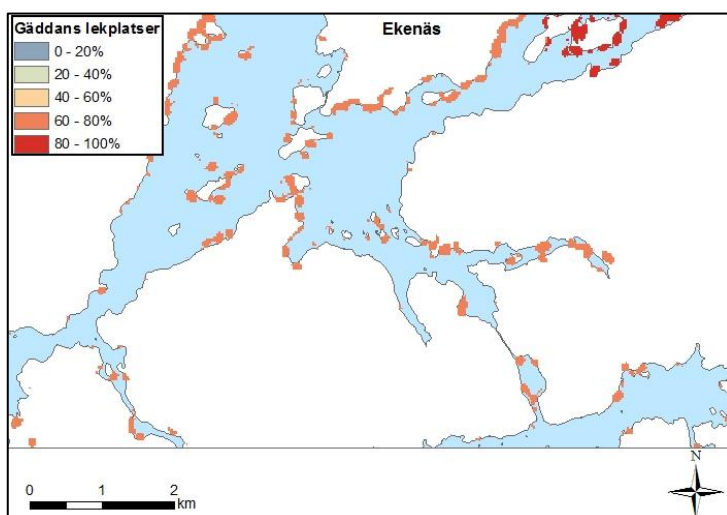
## 8. Resurser som krävs

De två huvudsakliga programmen som användes för att skapa GIS-modellerna var ArcGIS och Microsoft Excel. Vid några skeden används också GIS-programmet Manifold. Man kan skapa modellerna utan Manifold, men i så fall kräver det att man skaffar vissa extra verktyg till ArcGIS; antingen genom enskilda scripts eller i samband med ett tilläggsprogram som innehåller verktygen. I detta examensarbete användes ArcGIS-tilläggsprogrammen XTools Pro och ET GeoWizards. I stället för Microsoft Excel går det bra att använda freeware program, så som OpenOffice.org eller LibreOffice. Förutom tillgång till ett bra kalkyl- och GIS-program, behövs också tillgång till AIS-data.

För att skaffa AIS-data, kan det vara lönsamt att kontakta HELCOM. Så länge data inte används för kommersiella ändamål, finns det en bra möjlighet att HELCOM ger tillgång till AIS-servern.

I princip är alla moderna datorer tillräckligt kraftiga för effektivt arbete med ArcGIS, även om vissa skeden i de använda metoderna kan ta länge att processera på en långsammare dator. I fall ArcGIS används genom ett så kallat applikationsvirtualiseringsprogram (t.ex. Citrix) är det möjligt att vissa processer tar extremt långa tider att avklara, därför är det rekommenderbart att ArcGIS är lokalt installerat på datorn.

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet (VFFI) gav modeller om gäddans och mörtens lekplatser som gick att jämföra med vågmodellerna för att identifiera lekområden som möjligen påverkas av fartygstrafiken (figur 12).



Figur 12. Exempel på modellen som visar sannolikheten gäddan leker på ett område. Modellen om gäddans lekplatser från VFFI. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

## 8.1 Microsoft Excel

Arbetar man med stora mängder data, så som bullermodellen, är det nyttigt att ha ett kalkylprogram som kan hantera ett stort antal rader; t.ex. Microsoft Excel 2007 eller nyare. Man klarar sig också med äldre versioner eller program, men det blir mera arbete eftersom det då blir nödvändigt att dela upp data i mindre bitar. Då modellerna gjordes, gick en betydlig del av tiden åt till arbetet med Excel; alltså är det mycket önskvärt att man är bekant med kalkylprogram då man arbetar med AIS-data eller liknande.

## 9. Metodik

Eftersom vågor och speciellt sådana som orsakas av fartyg är mycket komplexa fenomen, var det inte realistiskt att försöka göra modeller som beaktar alla variabler, även om data varit tillgängligt. Samma gäller undervattensbuller, även där var bristen på data om enskilda fartygs fysiska och mekaniska egenskaper (bl.a. motor- och propellermodell) en avgörande faktor för vilka variabler som kunde beaktas i modellen. För buller utvecklades endast en teknik, medan för vågorna utvecklades två tekniker. De två teknikerna för vågmodellering, "metod 1" och "metod 2", använde båda principen om att modellera vågorna som polylinjer, men med vissa betydande skillnader i hur linjerna skapas. Metoderna modellerade endast vågornas höjder.

Via HELCOM:s AIS-server var det möjligt att ta ner de data som behövdes för modellerna; dvs. data om fartygens hastigheter, koordinater, MMSI, namn och storlek (figur 13). MMSI ("*Maritime Mobile Service Identity*") är en unik nummer som fartyg med AIS har (Navigation Center u.å.b). Notera att för att kunna använda koordinaterna, behöver man också "*Base Station Time Stamp*", alltså klockslaget då informationen om fartygets position skickades. Alla data togs ner i cvs-format vilket sedan bearbetades i Microsoft Excel; efter detta kunde data föras in i ArcGIS. För alla modeller användes AIS-data från 01.08–31.08.2010 och under den tiden färdades 5 200 fartyg genom det egentliga undersökningsområdet, 26 fartyg genom L1 och 87 fartyg genom L2 (ibland färdades ett och samma fartyg flera gånger genom ett område, men i detta arbete behandlas dessa som olika fartyg).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Time_stamp	MMSI	Latitude	Longitude	Course_over_ground	Speed	Heading	Ship_name	Type_of_ship	Draught
2	11:19:51	276737000	59.859675	23.35466		99.8	11.1	511 MARI V		4
3	11:13:23	276737000	59.85674	23.31827833		55.9	11.1	511 MARI V		4
4	11:26:20	276737000	59.856195	23.39334667		103.3	10.8	511 MARI V		4
5	10:28:24	265611880	59.85721667	23.38174667		281.1	4.9	511 IDA-SOEDERHAMN		26
6	11:05:52	265611880	59.84833833	23.30064833		248.4	4.9	511 IDA-SOEDERHAMN		26
7	10:21:56	265611880	59.85563667	23.39863167		283.2	4.7	511 IDA-SOEDERHAMN		26
8	10:34:25	265611880	59.85901333	23.36656667		286.8	4.6	511 IDA-SOEDERHAMN		26
9	10:40:54	265611880	59.86020833	23.35011333		278.4	4.5	511 IDA-SOEDERHAMN		26
10	10:59:52	265611880	59.85394833	23.309225		210.7	4.4	511 IDA-SOEDERHAMN		26
11	10:53:22	265611880	59.85839667	23.32260167		241.3	4.4	511 IDA-SOEDERHAMN		26
12	10:47:22	265611880	59.86170167	23.33557667		250.8	4.4	511 IDA-SOEDERHAMN		26
13	14:21:36	258033200	59.85723	23.38314667		101.7	0	102 NORDNES		26
14	14:01:04	244100009	59.85613167	23.31560667		234	6.4	511 STOERE JOHANNA		26
15	14:07:32	244100009	59.848665	23.29872333		241.3	6.4	511 STOERE JOHANNA		26
16	13:54:33	244100009	59.86288	23.333735		239.5	5.8	511 STOERE JOHANNA		26
17	13:48:04	244100009	59.87216333	23.34057667		192.9	5.8	511 STOERE JOHANNA		26
18	13:41:32	244100009	59.88239333	23.34463833		187.5	5.8	511 STOERE JOHANNA		26
19	13:35:03	244100009	59.89244667	23.34674167		160.2	5.7	511 STOERE JOHANNA		26

Figur 13. Exempel på AIS-data.

## 9.1 Bullermodellen

Eftersom målet var att laga en ganska simpel modell på buller, delades värden upp i index. I AIS-data var det informationen om fartygets hastighet och storlek som bäst lämpade sig för bullermodellen. Möjligheten att ta i beaktande fartygets djupgående i modellen övervägdes också, men eftersom data gällande djupgåendet hade för mycket fel och dessutom var totalt frånvarande i många fall, övergavs den tanken. Gällande hastigheten togs värden 0–0,1 knop bort, sedan delades de resterande värdena in i fyra klasser (tabell 2). Längden delades in i 6 klasser (tabell 3). Efter indelningen adderades båda indexen ihop för varje fartyg, så att ett nytt index med värdena 2–10 uppstod.

Tabell 2. Nya klasser för fartygens hastigheter.

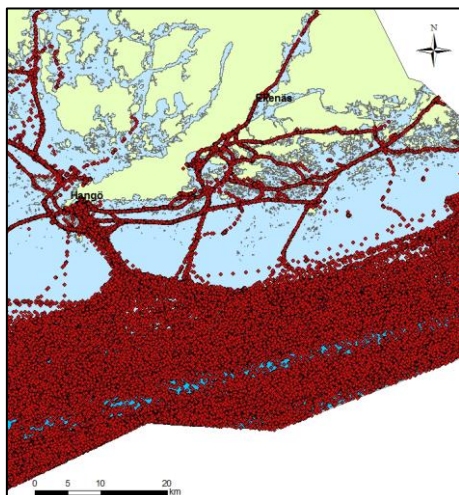
Knop	Klass
0,2–7,0	1
7,1–14,0	2
14,1–21,0	3
21,0 <	4

Tabell 3. Nya klasser för fartygens längder.

Längd (m)	Klass
2–10	1
11–20	2
21–40	3
41–80	4
81–160	5
160 <	6

Därefter fördes koordinaterna in till ArcMap som punkter, varefter "*Point to Raster*" användes för att skapa den egentliga bullermodellen. Inställningarna var 250 meter för "*Cellsize*"-kolumnen med nyaste indexet (2–10) i "*Value field*" och "*SUM*" för "*Cell assignment type*" - dvs. verktyget summerade värden för punkter som var placerade i samma 250 \* 250 meters cell. Om det i en cell t.ex. råkade finnas två punkter med klassen 4, en punkt med klassen 7 och en punkt med klassen 10, blev cellens slutliga värde 25 (4 + 4 + 7 + 10). Ett problem som uppstod av detta var att hamnområden, med nästan stillastående fartyg som skapade många närliggande punkter, fick mycket stora värden (>1000), medan aktivt använda farleder fick relativt låga värden (ofta <100). För att korrigera detta skapades ett nytt index på värden 1–4 (tabell 4).

Tabell 4. Nya klasser för rastrets värden.



Figur 14. Punkter skapade av AIS-koordinaterna.  
Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

Värde	Ny klass
2–15	1
16–30	2
31–45	3
45 <	4

## 9.2 Vågmodellerna

Den viktigaste parametern som bearbetades, gällande vågmodellerna, var kolumnen för "*Base Station Time Stamp*". I AIS-datat var "*Base Station Time Stamp*" ursprungligen skrivet på ett sätt som ArcGIS inte kan läsa (hh:mm:ss), därför omvandlades tiden till ett tidstal. Detta är enkelt i Excel; man behöver endast omvandla cellernas format från "*tid*" till "*tal*" (figur 15). Eftersom bearbetandet av "*Base Station Time Stamp*" krävde att datumet separeras från tiden, skrevs datumet för varje koordinat in i en ny kolumn, som sedan kombinerades i ytterligare en ny kolumn med fartygets MMSI (figur 16).

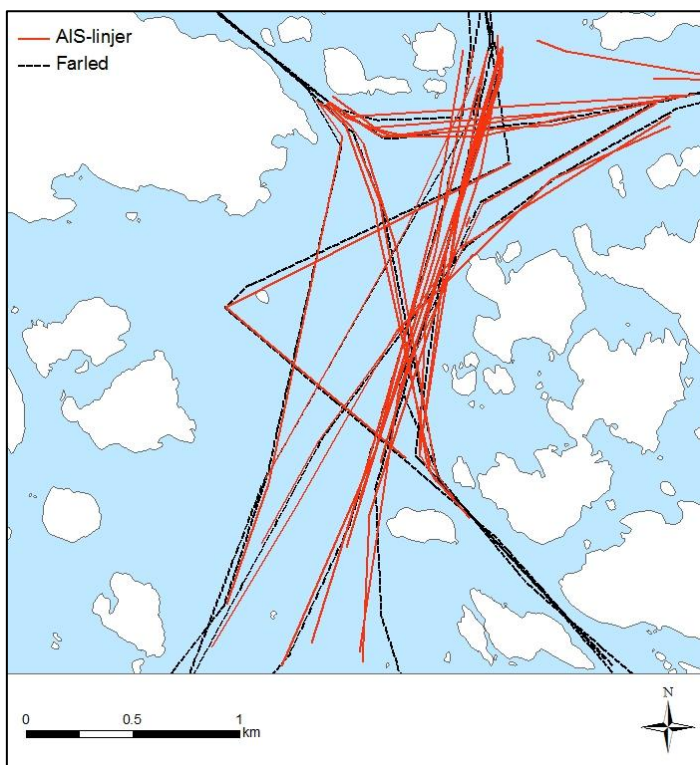
	A	B
1	Time_stamp	Time_stamp2
2	11:19:51	0.4721181
3	11:13:23	0.4676273
4	11:26:20	0.4766204
5	10:28:24	0.4363889
6	11:05:52	0.4624074
7	10:21:56	0.4318981
8	10:34:25	0.4405671

Figur 15. *Base Station Time Stamp* ändrat till tidstal.

S	T
MMSI	MMSI_DATE
276737000	276737000.12
276737000	276737000.12
276737000	276737000.12
265611880	265611880.31
265611880	265611880.31
265611880	265611880.31
265611880	265611880.31

Figur 16. MMSI och MMSI + datum.

Av AIS-punkterna som skapades för bullermodellen gjordes ett linjeskikt med verktyget "Make One Polyline from Points" i Xtools Pro. Verktyget band, med linjer, samman alla punkter som hörde till samma fartyg. Fartygen grupperades enligt rutterna de använde och sedan ritades linjer som representerade gruppernas ungefärliga gemensamma farled för hand (figur 17). En generalisering av fartygens rutter har ingen betydlig påverkan på modellens noggrannhet. AIS sänder ut information om fartygets position med några minuters mellanrum, inte konstant, alltså är fartygens rutter redan till en början endast ungefärliga. För alla fartyg räknades dess medelhastighet samt medeldjup för farleden som fartygen använde. Med hjälp av medeldjupet och medelhastigheten räknades sedan  $F_n$ -talet ut. Alla  $F_n$ -tal som översteg 7,0 sänktes ner till 7,0, eftersom formeln för våghöjd inte lämpar sig för värden högre än detta. Det skapades också en kolumn som visade vilken farled fartyget använde.



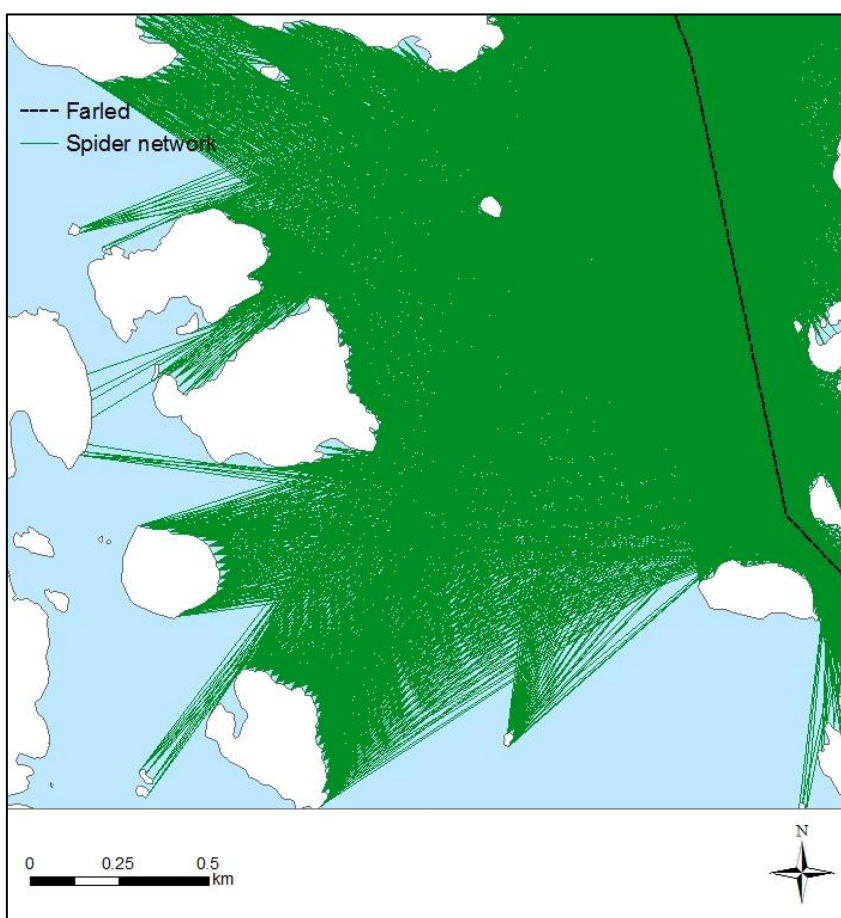
Figur 17. Linjer skapade av AIS-punkter samt handritade farled (L1). Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).



### 9.2.1 Metod 1 - Fas 1 - Spider network

För att simulera svallvågor i metod 1, användes så kallade "spider network". Det finns olika variationer på "spider network", men i detta fall innebär det två punktskikt och linjer mellan dessa två skikt. Ena punktskiktet skapades av linjeskiktet som representerade farleden medan andra punktskiktet skapades av ett linjeskikt som representerade strandlinjen. För varje farled gjordes ett eget punktskikt. Farledspunkternas mellanrum var 50 meter medan strandlinjepunkternas mellanrum var 25 meter.

Först skapades för varje punkt i varje farledspunktskikt en linje till varje punkt i strandlinjepunktskiktet, sedan togs linjerna som korsade med strandlinjeskiktet bort; kvar blev då ett skikt med linjer som representerade vågor från farlederna (figur 18).



Figur 18. Exempel på spider network från L1. Linjerna strålar ut från strandlinjen mot en farled. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

Punktskikten skapades i ArcMap med hjälp av XTools Pro, medan själva "spider network" skapades i Manifold med hjälp av scriptet:

```
SELECT NewLine([Points 1].[Geom (I)], [Points 2].[Geom (I)]) As [Connection]
FROM [Points 1], [Points 2]
```

*Points 1* och *Points 2* är namnen på punktskikten.

### **9.2.2 Metod 1 - Fas 2 - Bearbetning av spider network**

Först räknades alla "spider network" -linjers längd ut i meter. Sedan skapades, med hjälp av XTools Pro verktyget "Convert Features to Points", för varje linje i varje "spider network" en punkt i den ända som träffade strandlinjen. Attributtabellen för punktskiktet innehöll data om hur lång varje punkts "ursprungslinje" var; dvs. om linje #139 hade längden 90 meter, innehöll punktskiktets attributtabel data om att punkt #139 hade "längden" 90 meter. Skapandet av ändpunkterna orsakade ett fenomen där det fanns många punkter som låg precis på varandra (på engelska kallas detta "superimposition"); dessa punkter omvandlades till raster med hjälp av "Point Statistics".

"Point Statistics" användes två gånger för varje av de nyligen skapade punktskikten: en gång för kolumnen med ursprungslinjens längd och en gång för att räkna hur många punkter som låg på varandra på varje område. Då längden användes som "Field", var "MEAN" (medeltal) angiven som "Statistics type." I praktiken innebar detta att verktyget räknade ut medeltalet på längdkolumnen för varje område med påliggande punkter; om största delen av "vågorna" som träffade området hade sitt ursprung från ett långt avstånd, blev talet högt, t.ex. då mängden punkter på ett område räknades, var "SUM" angiven som "Statistics type" och för "Field" användes en nyligen skapad kolumn där alla rader hade värdet 1. Cellstorleken angavs som 25 meter.

Rastren namngavs "Ingth\_x" respektive "amountx" där x angav vilken farled det var frågan om. Notera att "Neighborhood"-inställningen ska vara liten och i själva

verket kan vara hur liten som helst, eftersom alla punkter som lagts på varandra har exakt samma koordinater med varandra. Nu fanns det alltså två typer av raster: en angav medeltalet på sträckan som vågorna färdats från sina farleder och en som angav från hur många ställen på farleden vågor kunde träffa området.

### 9.2.3 Metod 1 - Fas 3 - Sista uträkningarna

För att få en modell på hur ofta ett område på strandlinjen utsattes för vågor i förhållande till andra områden, summerades alla "amount"-raster ihop. Notera att detta inte berättade något om vågornas styrka. Rastret gavs namnet "hit\_amount".

För att beräkna om ett område blev träffat av relativt starka eller svaga vågor, användes formeln:

$$Hi = \alpha_1 (s/h)^{-0,33} * Fn^{\alpha_3} * h$$

där:

$Hi$  = våghöjden

$\alpha_1$  = 1,2

$s$  = avståndet till farleden

$h$  = vattendjupet

$\alpha_3$  = 4,0

Formeln var ursprungligen formulerad enligt  $Hi/h = \alpha_1 (s/h)^{-0,33} * Fn^{\alpha_3}$  och menad för att visa relationen mellan våghöjd och vattendjup (Madekivi 1993, s. 27). Uträkningarna gjordes med "Raster calculator", där "Ingh"-rastren användes för  $s$  och medeltalet på farledens vattendjup för  $h$ .  $Fn$  var samma som hos fartyget vars vågor modellerades. Till slut summerades alla våghöjdsraster.

### 9.2.4 Metod 2 - Fas 1 - Station lines

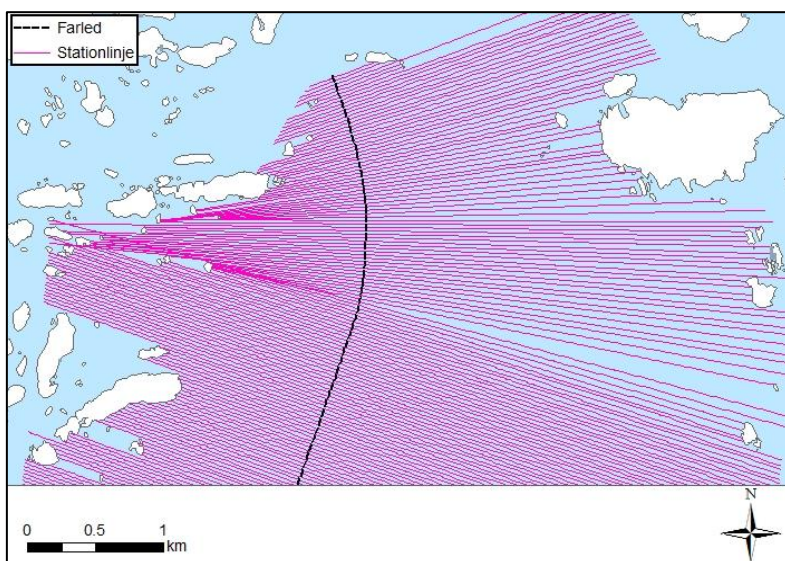
Vågsimuleringen i metod 2 grundar sig på så kallade "station lines" (stationlinjer) som kan skapas med hjälp av ET GeoWizards. Stationlinjer, i detta sammanhang, är linjer som strålar vinkelrätt ut från farleden med jämna mellanrum.

Före skapandet av själva stationlinjerna gjordes farledernas kanter (dvs. noderna där en linje ändrar riktning) mjukare. Till detta användes "Smooth" ("B-Spline") verktyget från ET GeoWizards. Inställningarna varierar beroende på hur mjuka linjerna ursprungligen är, men det lönar sig inte att mjuka dem allt för mycket eftersom detta kan orsaka förvrängningar.

Avståndet mellan varje stationlinje var 25 m och en skild station linje skapades på båda sidorna av farleden. I inställningarna innebar detta att inställning #3 angavs som 25 meter och #5 som "Both". Längden på station linjerna har ingen betydelse, så länge varje linje når gränsen av undersökningsområdet

Efter skapandet av stationlinjerna skars linjerna av, med clip-verktyget, vid undersökningsområdets gränser och sedan vid strandlinjerna inom undersökningsområdet. Vid detta skede ser linjerna redan ganska bra ut, men ett problem återstår: linjerna skärs av vid strandlinjen, men fortsätter på andra sidan. För att korrigera detta användes "select by location" för att välja endast station linjer som rör vid en farled. Förutom sin ursprungsfarled kan en station linje röra flera andra farleder; detta kan åtgärdas genom att behandla stationlinjerna för varsin farled i ett skilt skikt (figur 18).

Till slut sammanslogs alla stationlinjeskikt och varje linjes längd räknades ut i skiktets attributtabell. Detta sker enkelt med "calculate geometry"-funktionen som hittas via attributtabellen.



Figur 19. Stationlinjer som strålar ut från en farled (L2). Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

### 9.2.5 Metod 2 - Fas 2 - End points

Efter att stationlinjerna var färdigt bearbetade skapades en punkt i ändan av varje stationlinje. Som i fas 2 för metod 1, användes XTools Pro verktyget "*Convert Features to Points*".

Efter detta skede fanns alltså punkter vid strandlinjen och undersökningsområdets gränser, och varje punkt innehöll information om ursprungslinjens längd. Punkterna vid undersökningsområdets gränser var onödiga och togs bort genom att med "*select by location*" välja alla punkter som inte föll på en strandlinje.

### 9.2.6 Metod 2 - Fas 3 - Point to raster

Kvarstående punkter omvandlades till raster med verktyget "*point to raster*". Cellstorleken var igen 25 meter och i "*environments*"-inställningarna angavs "*extent*" som samma som rastren från metod 1. Detta innebär att det nya rastrets celler föll på samma koordinater som alla raster skapade med metod 1, vilket i sin tur underlättar interaktion mellan raster. "*Cell assignment type*" angavs som "*MEAN*". Dessa blev metodens "*lngh\_x*" raster och sista uträkningarna gjordes enligt fas 3 för metod 1.

Också "*amount*"-raster, som alltså visade hur många gånger en cell blev träffad av svallvågor, skapades med hjälp av "*point to raster*". Som "*cell assignment type*" valdes "*count*" och igen angavs "*extent*" i "*environments*" som samma som för metod 1 rastren. Principen var annars den samma som för metod 1; fas 2 och 3.

## 10. Tidskrav för modelleringarna

Av modelleringarna är bullermodellen klart den snabbaste att laga och kan i princip skapas under en arbetsdag, detta fordrar dock att personen som arbetar med modelleringen vet hur tabellerna skall bearbetas och är erfaren med både kalkylprogram och ArcGIS. Om personen inte är erfaren med ArcGIS och speciellt

om hon inte bearbetat AIS-tabeller förr, lönar det sig att reservera minst en eller två arbetsveckor för modellen.

Vågmodellerna är rätt så komplicerade och krävande, även om man är erfaren med ArcGIS och kalkylprogram. Dessutom kan bl.a. "*spider network*" kräva en hel del datorresurser, så även om man vet precis vad man gör, kan det ta en god stund att utföra arbetet p.g.a. flera timmar långa processeringstider. Även mänskliga fel kan förekomma, vilket givetvis också ökar på tidskravet. Också för någon som kan grunderna i ArcGIS och kalkylprogram, kan det ta ca fyra arbetsveckor att skapa en vågmodell. Metod 2 är något snabbare än metod 1, fast inte nödvändigtvis lättare; alltså kan båda metoderna vara lika tidskrävande åtminstone första gången man använder dem. Hur tidskrävande vågmodelleringarna är, beror dock till största delen på hur mycket data som ingår i uträkningarna. Småskaliga modelleringar kan utföras på en eller två arbetsveckor, medan mera ambitiösa modelleringar förmodligen kan kräva tiotals arbetsveckor.

Man bör notera att om man är totalt oerfaren med att bearbeta AIS-tabeller så att de på korrekt sätt kan användas i ArcGIS, kan det ta länge innan man lär sig att snabbt och effektivt göra det. Det finns många olika sätt man kan använda då man bearbetar stora mängder data i kalkylprogram, vissa är snabbare än andra. Är man erfaren, kan man bearbeta ca 30 tabeller på ett par timmar, men innan man finlipat sin teknik, kan det t.o.m. ta några hela arbetsdagar att bearbeta en liknande mängd tabeller.

## **11. Problem, frågor och tips**

Även vid rutinmässigt arbete med ArcGIS uppstår det ofta oförväntade problem. Med andra ord är det opraktiskt och rent av orealistiskt att i detta arbete försöka gå igenom alla problem som uppstod eller som kan uppstå. P.g.a. detta kommer endast de svåraste problemen som uppstod eller kan uppstå att här diskuteras.

## 11.1 Problem med AIS

Ibland fanns det fel i AIS-data gällande t.ex. fartygets storlek eller hastighet. Eftersom de felregistrerade värdena oftast var självklara, t.ex. hastigheter på över 100 knop eller fartyg med längder över 500 meter, var det enklaste sättet att snabbt korrigera de tydligaste felen att sortera kolumnerna enligt värdenas storlek. Ett fartygs riktiga längd går lätt att hitta via internet genom att skriva in fartygets MMSI i en sökmotor, t.ex. Google. Ett något märkligt fel som förekommer ofta i en obearbetad AIS-tabell är att den också innehåller några punkter från följande dag (t.ex. tabellen för dag 3 kan innehålla några rader data om dag 4). På grund av detta lönar det sig alltid att söka igenom varje tabell för obehöriga datum innan man för data in i ArcGIS eller slår ihop tabellen med andra tabeller.

På HELCOMs AIS-server finns det en gräns på hur mycket data som kan exporteras på en gång. I princip innebär detta att export av AIS-data måste delas in i mindre delar om forskningsområdet är stort, vilket i sig innebär en ökad mängd tabeller. Efter exporteringen går det givetvis att slå ihop tabellerna, men då bör man se till att det inte finns flera exemplar av en och samma punkt. Verktaget "*Remove duplicates*" är behändig för detta.

## 11.2 Problem med GIS

Vid hamnar bildas ofta stora kluster av punkter, eftersom fartygen där har antingen en låg hastighet eller står helt stilla, men ändå skickar ut AIS-data. En stor mängd punkter på en liten areal kan orsaka att ArcGIS kraschar om man försöker förvandla punkter till linjer. Problemet är ändå lätt att korrigera; oftast räcker det att man tar bort alla punkter som har en mycket låg hastighet (t.ex. 0–0,1 knop).

Då man räknar ut längden på t.ex. linjer, kan det visa sig att programmet ger svaren i grader istället för meter. Detta beror oftast på att skikten använder WGS84 som koordinatsystem; alltså löser man problemet genom att byta till exempelvis KKJ (dvs. Finland Zone 1–4). Det lönar sig att alltid ha alla skikt i samma koordinatsystem! Notera att har man skikt i WGS84, bör "*Using*"

inställningen i dataramens (data frame) "*Transformations*" meny vara "*KKJ\_To\_WGS\_1984\_2\_JHS153*" för "*GCS\_WGS\_1984*".

Då man adderar ihop raster (i detta fall t.ex. våghöjdsraster) bör man komma ihåg att "*NoData*" plus ett värde alltid blir "*NoData*". Man bör alltså ge, med t.ex. "*reclassify*", "*NoData*"-cellerna värdet 0 innan man adderar. Alla raster bör också ha samma yta ("*extent*"). Ytan går att ändra efter att man skapat ett raster, men enklaste är att före påbörjandet av modelleringen skapa en polygon som täcker hela undersökningsområdet och sedan i "*environment*"-inställningarna (höger klick på *ArcToolbox* fönstret) ange polygonen som "*extent*". Olika ytor mellan raster kan orsaka att celler inte faller precis på varandra, vilket bl.a. kan försämra modellens noggrannhet efter addering.

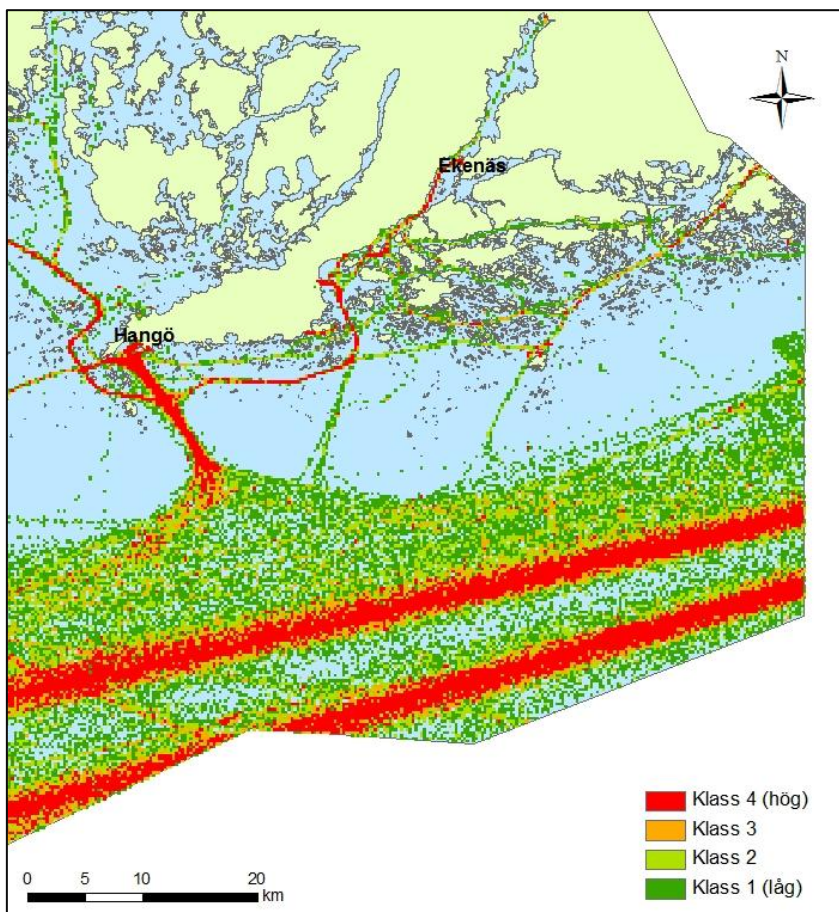
## 12. Resultat och tolkning

Tolkningen av alla modeller gjordes visuellt, dvs. utan hjälp av automatiserade analyser eller GIS-verktyg. Tolkningarna baserar sig på fakta som berättats i arbetet, men också delvis på personliga åsikter och kan följaktligen anses vara till en liten grad subjektiva. Under tolkningen av vågmodellerna färgades rastren, i "*symbology*"-menyn, med "*Minimum-Maximum*" som histogram.

### 12.1 Bullermodellen

Enligt modellen (figur 20) är undervattensbullret högst och mest koncentrerat vid huvudfarleden som ligger på Finlands EEZ (exklusiv ekonomisk zon) och leder mot Sankt Petersburg. Också vid Hangö hamn och farleden som leder dit förekommer en jämfört med resten av undersökningsområdet hög och koncentrerad mängd buller. Vid farleden från Hangö till Ekenäs samt vid området mellan Koverhar och Ekenäs förekommer en lägre grad buller. Vid området ut från kusten, runt EEZ-farleden, förekommer en betydlig mängd ljudkällor, men mindre koncentrerat och regelbundet.





Figur 20. Densitet och styrka av bullerkällor. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

Området mellan Hermansö och Orslandet belastas endast av små mängder buller. Samma gäller norrut från Ekenäs. Även området mellan Kimitoön och Hangö är bullerfritt, förutom farleden som leder från Hangö till skärgårdsområdet syd om Kimitoön, där en viss mängd buller förekommer.

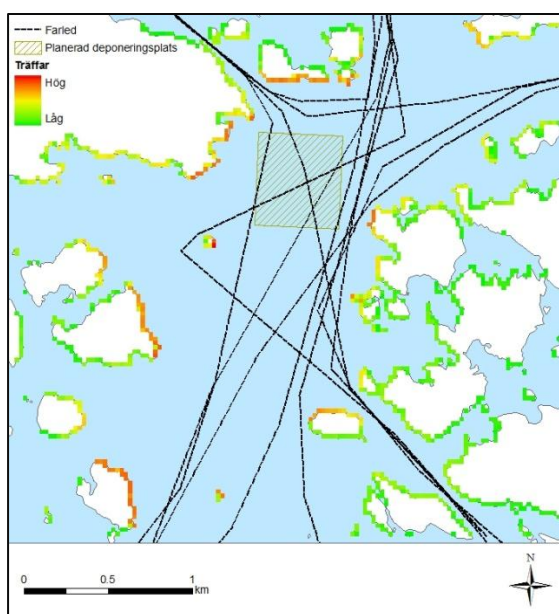
Se bilaga 1 för bullermodellen med en annan färgskala.

### 12.1.1 Bullrets möjliga miljöpåverkan

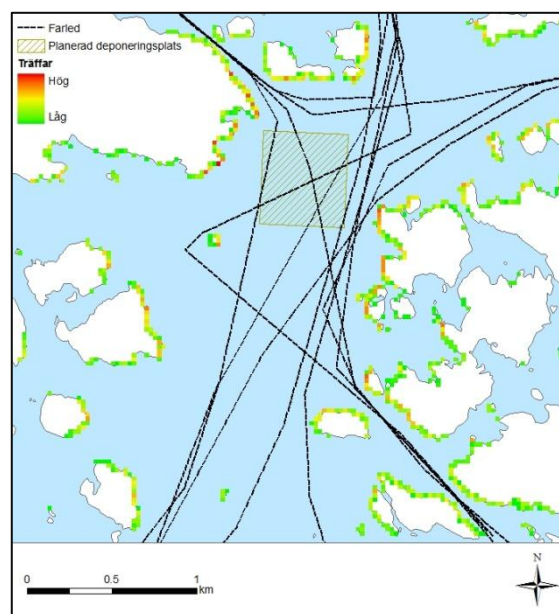
Det kan tänkas att djur som befinner sig omkring EEZ-farleden eller nära Hangö lider mest av buller på det egentliga undersökningsområdet. Man bör beakta att eftersom ljud kan röra sig långa sträckor under vatten kan även området runt EEZ farleden, där ljudkällorna är mindre koncentrerade och regelbundna än vid själva farleden, ha en tillräckligt stor mängd buller för att påverka djurens beteende i någon grad.

## 12.2 Vågmodellerna - L1

Båda modellerna (figur 21 och 22) för L1 tyder på att svallvågorna närmast träffar de utskjutande delarna av öarna som omringar området farleder, medan mera skyddade områden endast får en liten andel träffar. Enligt modellen skapad med metod 1 tar de nordliga och västliga öarna en aning mera träffar än de östliga öarna. Modellen från metod 2 visar mest träffar på nordliga öarna och lite mera träffar på de östliga än västliga öarna. Skillnaderna mellan modellerna är dock små.

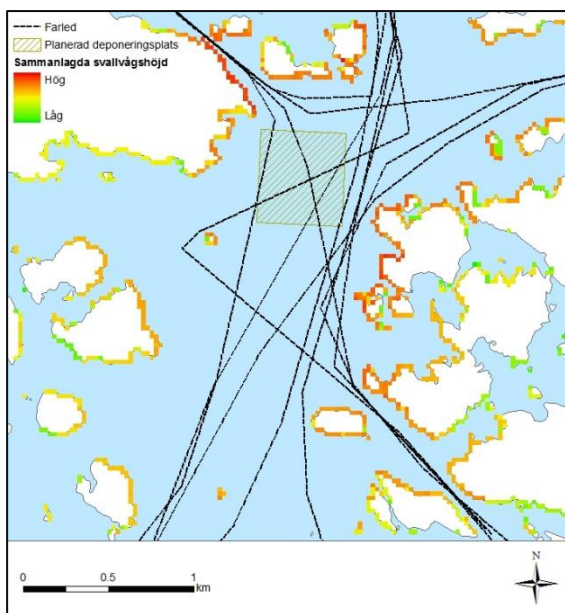


Figur 21. Sammanlagda svallvågsträffar, L1 metod 1. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

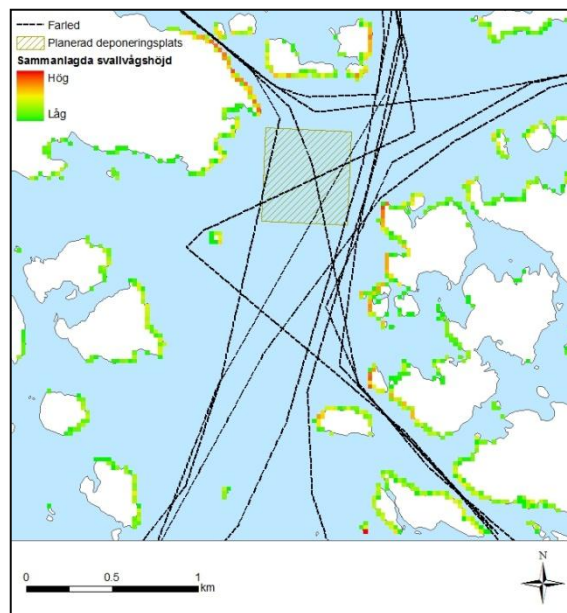


Figur 22. Sammanlagda svallvågsträffar, L1 metod 2. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

Angående svallvågornas sammanlagda höjder, visar metod 1-modellen (figur 23) att de östliga och nordliga öarna träffas av de största vågorna; cellvärden runt dessa öar ligger huvudsakligen mellan 18 och 25, medan de västliga öarnas värden huvudsakligen ligger mellan 12 och 17. Modellen skapad med metod 2 (figur 24) visar samma trend; större värden runt de nordliga och östliga öarna.



Figur 23. Sammanlagda svallvågshöjder, L1 metod 1. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).



Figur 24. Sammanlagda svallvågshöjder, L1 metod 2. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

Fem av de elva farleden korsar det föreslagna deponeringsområdet för den planerade muddringen av Pojovikens farled. Resten av farleden passerar deponeringsområdet med ca 100 meter, som närmast.

Enligt modellerna från Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet om gäddans och mörtens lekplatser, är det osannolikt att någondera arten använder L1-områdets stränder för förökning. Ca 1-2 km nordost från området finns det dock områden där gäddan möjligen leker.

Se bilaga 2 för L1-vågmodellerna med en annan färgskala.

### 12.2.1 Svallvågornas möjliga miljöpåverkan vid L1

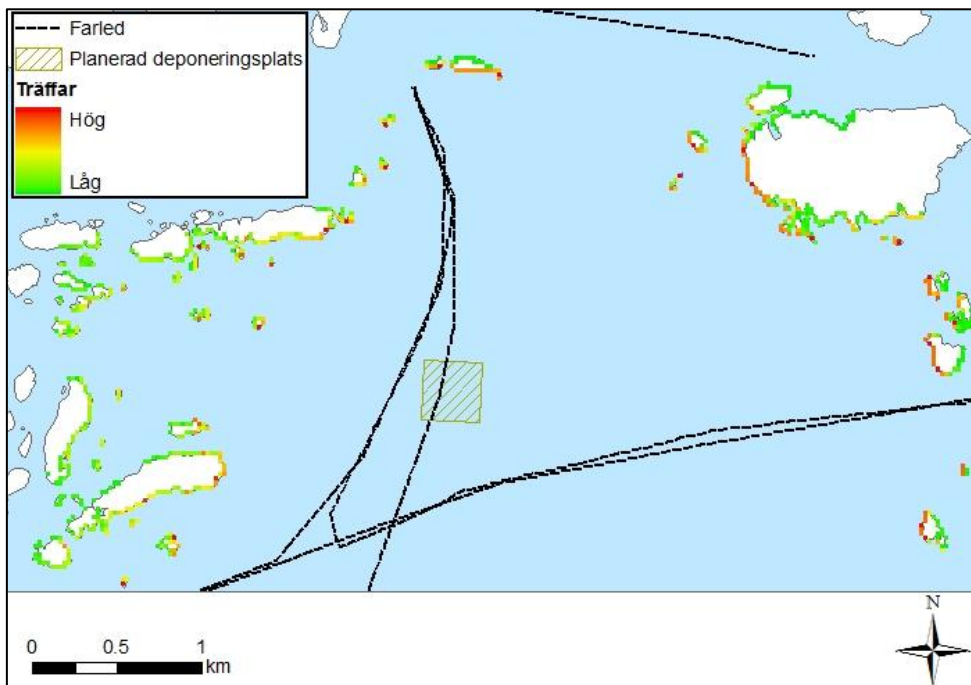
Det verkar osannolikt att L1 lider av någon avsevärd mängd fartygsrelaterad erosion, närmast eftersom trafiken i området är liten. Dessutom var medelhastigheten för de undersökta fartygen endast ca 8 knop vid området.

Skulle en deponeringsplats för muddermassa grundas i L1, är det osannolikt att den låga och långsamma trafiken i betydande skulle grad förflytta de deponerade massorna.

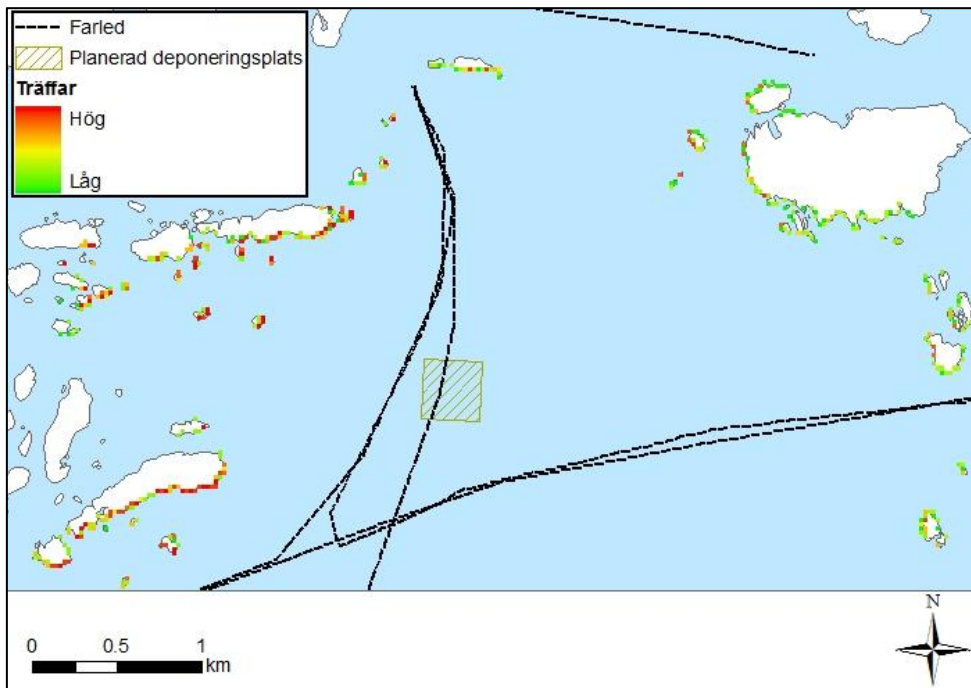
Även om gäddan, mörten eller någon annan fisk skulle använda L1 som lekplats, skulle svallvågorna från trafiken troligen inte påverka leken avsevärt.

### 12.3 Vågmodellerna - L2

Metod 1-modellen (figur 25) visar en ganska jämn spridning av träffar men med lite mera träffar på de minsta holmarna och östliga öarna. Metod 2-modellen (figur 26) visar i viss grad omvända resultat; de västliga öarna är mest utsatta. En västlig ö, Mellanskär, missades totalt av stationlinjerna från metod 2. Ön är dock ganska skyddad och långt från farlederna, samt hade den i andra modellen endast en liten mängd träffar. Skyddade områden har, som förväntat, minst träffar i båda modellerna.

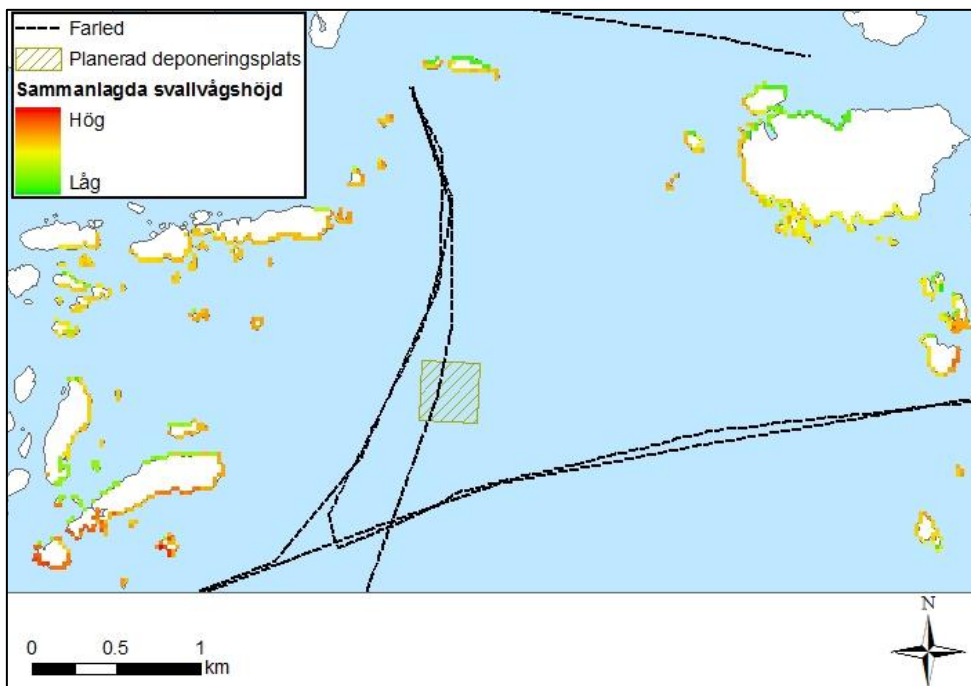


Figur 25. Sammanlagda svallvågsträffar, L2 metod 1. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

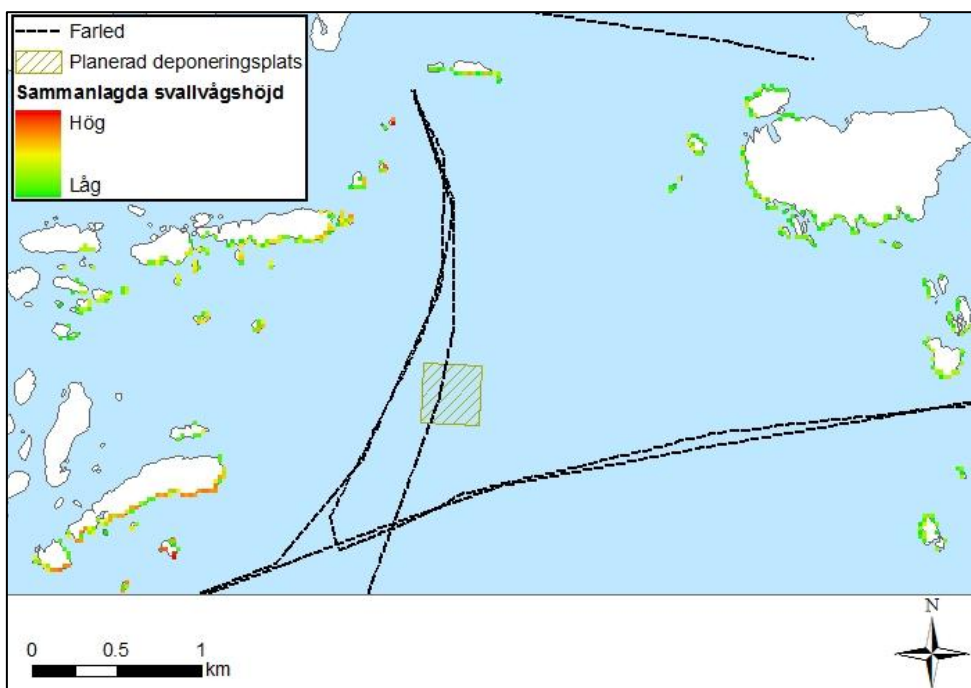


Figur 26. Sammanlagda svallvågsträffar, L2 metod 2. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

Metod 1 (figur 27) gav högsta höjdvärden för sydvästliga öklustret medan största delen av undersökningsområdets andra utsatta öar blev medelmåttligt belastade. Metod 2 (figur 28) gav höga värden för samma sydvästliga ökluster, medelmåttliga värden för de nordvästliga öarna och relativt låga värden för de östliga öarna.



Figur 27. Sammanlagda svallvågshöjder, L2 metod 1. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).



Figur 28. Sammanlagda svallvågshöjder, L2 metod 2. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

Endast en av de fem farlederna korsar det föreslagna deponeringsområdet, en farled är över 2 km bort och resten passerar området från 100 - 400 meters håll som närmast.

Modellerna för gäddans och mörtens lekplatser visar inga sannolika lekplatser nära L2.

Se bilaga 3 för L2-vågmodellerna med en annan färgskala.

### 12.3.1 Svallvågornas möjliga miljöpåverkan vid L2

Genom L2 passerar över tre gånger mera fartyg än L1 och med större hastigheter (i medeltal ca 10 knop). Detta kunde möjligtvis vara tillräckligt för att orsaka erosion i någon grad; dock är området också naturligt exponerat och motstår antagligen erosion bättre än L1 eller andra, mera skyddade, områden.

Det föreslagna deponeringsområdet ligger på ca 40 meters djup, alltså verkar det osannolikt att passerande fartyg skulle förflytta den deponerade massan, även om trafiken är ganska betydlig.

Som för område L1, ser det osannolikt ut att svallvågorna från trafiken på L2 skulle påverka fiskars lekplatser, särskilt gäddans eller mörtens.

## **12.4 Andra observationer**

Resultaten tyder på att metod 2 passar nöjaktigt för tätare skärgårdsområden, som L1, men sämre för öppnare områden, som L2. Då en strandlinje befinner sig en liten längre bit bort från farleden, finns det en risk för att stationlinjen från farleden missar strandlinjen helt och hållet - ett problem som metod 1 inte har. Ändå visade metod 1 och metod 2 huvudsakligen samma trender; således kan det konstateras att båda metoderna passar ungefär lika bra för täta skärgårdsområden, men metod 1 är att föredra för öppna områden.

Genom att betrakta träffarna och våghöjderna samtidigt, kan det konstateras att i L1 blir de oskyddade områden ungefär lika jämnt belastade, dock med en aning större belastning på de östliga och nordliga öarna. I L2 sker största sammanlagda belastningen på de västliga öarna och särskilt det sydvästliga öklustret.

## **13. Förbättringsförslag**

### **13.1 För bullermodellen**

Medan bullermodellen bra visar var det finns täta områden av ljudkällor, är den bristfällig då det gäller utstrålningen av ljud från dessa källor. Beroende på noggrannheten som man vill åstadkomma, kan modellering av ljudets utstrålning vara mycket krångligt. Det kan t.ex. uppstå problem, p.g.a. databrist och tekniska

bekymmer, om man vill beakta att ljudet dämpas då det träffar land eller att ljudnivån sjunker ju längre den är från sin ursprungskälla.

Vill man beakta att varje cell i ett raster blir utsatt av ljud från flera olika håll samtidigt, kan det vara viktigt att tänka på under vilken tid på dygnet som ljuden når området. Belastas området konstant med låg intensitet genom hela dygnet, eller endast under några timmar men med hög intensitet? Också tidpunkten på året spelar en viktig roll. Träffas ett område av högt buller just under de veckorna som fiskarna leker eller sälarna parar sig?

En viktig sak är hur man behandlar frekvenser och ljudnivåer. Med de data som använts i arbetet är det inte realistiskt att försöka få fram mycket noggranna värden för frekvenser eller ljudnivåer, eftersom detta skulle fordra information bl.a. om enskilda fartygs motorer och propeller. Någon sorts generalisering kunde dock lyckas; fartygen kan t.ex. delas in i klasser på basis av deras typ eller storlek, och sedan antas alla fartyg i en klass avge ljud av samma frekvens. Däremot, om undersökningen skulle omfatta endast ett fåtal fartyg, kunde det vara möjligt att skaffa noggrann information om varje enskilt fartyg.

## 13.2 För vågmodellerna

En svaghet i de använda metoderna gällande vågmodellerna är att de lämpar sig bäst för relativt små mängder data (dvs. fartyg och farleder). Metoderna går i princip att användas också då det är frågan om tusentals fartyg och hundratals farleder, men då kommer arbetet att vara mycket monotont och tidskrävande. Dessutom orsakar ökade mängder data betydligt risken för mänskliga fel och försvårar identifieringen och korrigeringen av dem.

Om metoderna vill tillämpas på stora mängder data, kan det vara skäl att antingen dela arbetsbördan mellan flera personer eller generalisera data. Räkningarna kan göras snabbare genom att t.ex. gruppera fartygen, på basis av deras  $F_n$ , i 7 eller 14 grupper och genom att använda endast de viktigaste farlederna i området.



En möjlig metod för att skapa farledslinjer för de mest använda rutterna är att använda sig av "*Raster to Polyline*"-verktyget. Om man först, t.ex. med hjälp "*Point Density*", "*Line Density*" eller "*Kernel Density*", skapar ett raster som anger mängden fartyg som passerat genom varje cell och sedan omklassificerar alla höga värden och tar bort alla låga värden, borde det vara möjligt att få relativt bra farledslinjer skapade med "*Raster to Polyline*". Även så, ett farledslinjeskikt skapat enligt denna metod skulle högst antagligen också kräva en del manuell modifiering. Notera att vilka värden man omklassificerar och vilka man tar bort beror på hur små farled man vill ha med i modellen.

Vågmodellerna handlade om vågornas höjder, men även våglängden eller perioden går att modellera med hjälp av samma metoder, endast formeln behöver bytas. Mera information om formlerna hittas i Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset (Madekivi 1993).

Även om fartygets hastighet är en viktig variabel, finns det också andra viktiga variabler, så som ändringar i djupet under vågornas färd, strömmar samt fartygets storlek och form, som tyvärr inte beaktades i modellerna. Modellerna kan bli mycket komplexa om man vill beakta dessa variabler, men möjligen kunde man t.ex. beakta fartygets storlek genom att höja  $F_n$ -värdet lite för stora fartyg.

## 14. Diskussion

Vid modellering med GIS måste man ofta skapa *ad hoc*-metoder för att nå resultat. Problemet med detta är att det ofta kan vara svårt att hitta liknande modeller för att verifiera eller jämföra resultat, vilket betyder att modellernas skapare har ett stort ansvar på sig att försöka vara så opartiska, grundliga och etiska som möjligt. Dock bör man komma ihåg att kartor är endast grova generaliseringar av verkligheten och även de mest grundligt utförda modellerna är endast riktgivande och uppskattande. Kartor och modeller har en kompletterande och stödande funktion; viktiga beslut bör inte göras endast på basis av kartor och modeller om det också finns tillgång till eller möjlighet att skaffa även andra sorts data.

GIS är mycket flexibla och omfattande program, och eftersom det sällan finns standarder för hur modelleringar av komplexa fenomen så som undervattensbuller och svallvågor ska modelleras, finns det en nästan gränslös mängd av metoder och tekniker som kan utvecklas för att skapa en modell. Likaså finns det en gränslös mängd kombinationer av variabler samt formler man kan använda och olika kombinationer kan vara lämpliga för olika omständigheter.

Orsakerna till att standarder för specifika modelleringar inte finns kan tänkas vara flera. GIS är ett relativt nytt fenomen som håller på att bli mer allmänt använt, men eftersom programmen är dyra och skolning kräver resurser kan tröskeln för att skaffa GIS vara hög för många arbetsplatser. Det kan också vara svårt att komma överens om standarder och riktlinjer för hur ett komplext fenomen ska modelleras eftersom inte alla, inte heller statliga enheter, har tillgång till samma program eller data; dessutom kan det finnas rikt med data av någon typ från ett område, men fattigt av samma data från ett grannområde. Riktgivande standarder för olika modeller är sannolikt en bra sak, men allt för styva regler och riktlinjer kunde möjligen utesluta för många alternativ, tekniker och metoder. GIS går hand i hand med problemlösning och kreativitet, alltså bör inte alltför många regler sättas i vägen av forskaren. Men även om det inte finns standarder eller likadana modeller från förut, finns det ändå antagligen arbeten som kan användas som stöd och inspiration.

Bullermodellen utvecklad i detta slutarbete lånade idéer från bullermodellen av Crystal m.fl. (2011). Modellerna påminner mycket om varandra eftersom båda har använt AIS-data samt verktyget "*point to raster*". Tyvärr kunde formeln som studerandegruppen använde för sin modell inte utnyttjas eftersom det fanns oklarheter gällande en variabel. Saken kunde inte utredas eftersom alla förfrågningar förblev obesvarade.

Vågmodellerna, speciellt metod 1, baserar sig på fetchlinjer men från ett omvänt perspektiv. Istället för att stråla ut från strandlinjen strålar linjerna ut från vågornas källor, alltså farleden av enskilda fartyg. Metod 2 har en något unikare karaktär, eftersom linjerna strålar endast tvärs ut från farleden och de skapades med ett sätt som kan anses vara mindre automatiserat än vid metod 1 eller fetchlinjer.

Angående resultaten ser det ut som om buller kan ha en märkbar påverkan på organismerna i det egentliga undersökningsområdet medan svallvågor från trafiken troligtvis inte har någon betydlig miljöpåverkan i L1- och L2-områden. Hur som helst; den påverkan som undervattensbuller och svallvågor har på miljön är ännu inte helt förstådda, mera forskning inom området krävs och metoder för att modellera fenomenen borde utvecklas längre. Modellerna som utvecklades för detta arbete är ännu en lång bit från fullkomliga, men kan bra användas som språngbräddor för utveckling!

## Källförteckning

Aage, C., Bell, A., Bergdahl, L., Blume, A., Bolt, E., Eusterbarkey, H., Hiraishi, T., Kofoed-Hansen, H., Maly, D., Single, M., Rytönen, J. & Whittaker, T. (2003). *Guidelines for Managing Wake Wash from High-Speed Vessels*. Bryssel: PIANC General Secretariat. [http://www.pianc.us/workinggroups/docs\\_wg/marcom-wg41.pdf](http://www.pianc.us/workinggroups/docs_wg/marcom-wg41.pdf) (hämtat: 14.9.2011).

Balance (2007). *Welcome to Balance*. <http://balance-eu.org/> (hämtat: 13.6.2011).

Codarin, A., Wysocki, L.E., Ladich, F. & Picciulin, M. (2009). Effects of ambient and boat noise on hearing and communication in three fish species living in a marine protected area (Miramare, Italy). In: Sheppard, C. (ed.), *Marine Pollution Bulletin* (volume 58, issue 12, p. 1880–1887). St. Louis: Elsevier Journals. [http://ac.els-cdn.com/S0025326X09003075/1-s2.0-S0025326X09003075-main.pdf?\\_tid=ef1be6f7b04939dd050c1202725909e2&acdnat=1335349822\\_8a123baf38cbe13906229874c28b0dab](http://ac.els-cdn.com/S0025326X09003075/1-s2.0-S0025326X09003075-main.pdf?_tid=ef1be6f7b04939dd050c1202725909e2&acdnat=1335349822_8a123baf38cbe13906229874c28b0dab) (hämtat: 1.6.2011).

Crystal, D., Moseley, K., Paterson, C., Ryvola, R. & Wang, S. (2011). *Commercial Shipping Noise Impacts on the Critical Habitat of the Southern Resident Killer Whales*. Vancouver: UBC Environmental Sciences. [https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/34597/Commercial\\_Noise\\_Impacts\\_Critical\\_Habitat\\_Southern\\_Resident\\_Killer\\_Whale\\_ENVR\\_400\\_2011.pdf?sequence=1](https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/34597/Commercial_Noise_Impacts_Critical_Habitat_Southern_Resident_Killer_Whale_ENVR_400_2011.pdf?sequence=1) (hämtat: 5.6.2011).

DPIPWE (2008). *Knowing your boat means knowing its wake*. Hobart: Department of Primary Industries and Water. [http://www.dpiw.tas.gov.au/inter-nsf/Attachments/LJEM-6J22X3/\\$FILE/Understanding%20Wave%20Wake.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter-nsf/Attachments/LJEM-6J22X3/$FILE/Understanding%20Wave%20Wake.pdf) (hämtat: 10.8.2011).

Finlands miljöcentral (2008). *Internationellt värdefulla fågelområden (IBA)*. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=290910&lan=SV> (hämtat: 10.2.2012).

Finlands miljöcentral (2011). *Suomen Ramsar-alueet*.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=77948&lan=FI> (hämtat: 10.2.2012).

Finnish Consulting Group Oy (2011). *Pohjankurun väylän syventäminen 6,0 metrin väyläksi*. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=124218&lan=fi> (hämtat: 3.6.2011).

Florida Center for Instructional Technology (2005). *Waves in the Ocean*.

<http://fcit.usf.edu/florida/teacher/science/mod2/waves.html> (hämtat: 18.1.2012).

Forststyrelsen (2010). *På Natura 2000-områdena skyddas naturtyper och arter*.

<http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/sv/Naturskydd/Skyddsomraden/Natura2000omraden/Sivut/PaNatura2000omradenaskyddasnaturtyperocharter.aspx> (hämtat: 10.2.2012).

Forststyrelsen (2011a). *Nationalparkerna hör till våra naturskatter*.

<http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/sv/Naturskydd/Skyddsomraden/Nationalparker/Sivut/Nationalparkernahortillvaranaturskatter.aspx> (hämtat: 10.2.2012).

Forststyrelsen (2011b). *Planering av skötsel och användning i Ekenäs och Hangö skärgård*.

<http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/fi/Luonnonsuojelu/Hoidonjakaytonsuunnittelu/ujelualueilla/Tammisaari/Sivut/PlaneringavskotselochanvandningiEkenasochHangoskargard.aspx> (hämtat: 13.2.2012).

Holben, J. (u.å.). *Understanding and Utilizing the Secrets of Waves*.

BoatSafe.com. <http://boatsafe.com/nauticalknowhow/waves.htm> (hämtat: 1.6.2011).

Jasny, M., Reynolds, J., Horowitz, C. & Wetzler, A. (2005). *The Rising Toll of Sonar, Shipping and Industrial Ocean Noise on Marine Life (Sounding the Depths II)*. NRDC Reports Department: New York.

<http://www.nrdc.org/wildlife/marine/sound/sound.pdf> (hämtat: 12.9.2011).

Kalliola, R. & Suominen, T. (2007). *Spatial modelling in coastal areas - Mapping of exposure, sea surface temperature and shore occupation*. Åbo: UTU-LCC.  
[http://utu-lcc.utu.fi/publications/Vol\\_13.pdf](http://utu-lcc.utu.fi/publications/Vol_13.pdf) (hämtat: 21.2.2011).

Khan, R.S. (1994). *A Simple Model of Ship Wakes*. Vancouver: The University of British Columbia. [https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/5372/ubc\\_1994-0475.pdf?sequence=1](https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/5372/ubc_1994-0475.pdf?sequence=1) (hämtat: 2.8.2011).

Kipple, B. & Gabriele, C. (2007). Underwater Noise from Skiffs to Ships. In: Piatt, J.F. & Gende, S.M. (eds.), *Proceedings of the Fourth Glacier Bay Science Symposium* (p. 172–175). Reston: U.S. Geological Survey.  
<http://pubs.usgs.gov/sir/2007/5047/pdf/sir20075047.pdf> (hämtat: 1.6.2011).

Lindholm, T., Svartström, M., Spoof, L., & Meriluoto, J. (2000). Effects of ship traffic on archipelago waters off the Långnäs harbour in Åland, SW Finland. In: Martens, K. (ed.), *Hydrobiologia: The International Journal of Aquatic Sciences* (volume 444, p. 217–225). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.  
<http://www.springerlink.com/content/jl06v32305x95337/fulltext.pdf> (hämtat: 1.3.2011).

Madekivi, O. (1993). *Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset*. Helsingfors: Painatuskeskus Oy.

Maritime and Coastguard Agency (2001). *A Physical Study of Fast Ferry Wash Characteristics in Shallow Water*.  
<http://www.qub.ac.uk/waves/fastferry/reference/MCA457.pdf> (hämtat: 28.2.2011).

Miljöministeriet (2011a). *Nationalstadsparker*.  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=390177&lan=SV> (hämtat: 10.2.2012).

Miljöministeriet (2011b). *Skyddsprogram och skyddsområden*.  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=393379&lan=fi&clan=sy> (hämtat: 10.2.2012).

Nannut (2012). *Nannut* (Kartservice). <http://www.nannut.fi/> (hämtat: 13.6.2011).

Navigation Center (u.å.a). *Automatic Identification System Overview*.  
<http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=AISmain> (hämtat: 12.10.2011).

Navigation Center (u.å.b). *Martitime Mobile Service Identity*.  
<http://www.navcen.uscg.gov/index.php?pageName=mtMmsi> (hämtat: 24.4.2012).

Ne.se (u.å.). *Airgun*. <http://www.ne.se/airgun> (hämtat: 13.10.2011).

Nordström, M. & Tainio, E. (2008). *Tammisaaren ja Hangon itäisen saariston hoito- ja käyttösuunnitelma*. Forststyrelsen.  
[http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/fi/Luonnonsuojelu/Hoidonjakaytonsuunnittelusuojelualueilla/Tammisaari/Documents/tammisaari\\_suunnitelma\\_281108.pdf](http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/fi/Luonnonsuojelu/Hoidonjakaytonsuunnittelusuojelualueilla/Tammisaari/Documents/tammisaari_suunnitelma_281108.pdf)  
(hämtat: 26.3.2012).

Nylands miljöcentral (2009). *Tammisaaren ja Hangon saariston ja Pohjanpitäjänlahden merensuojelualue*.  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=11456&lan=fi> (hämtat: 3.6.2011).

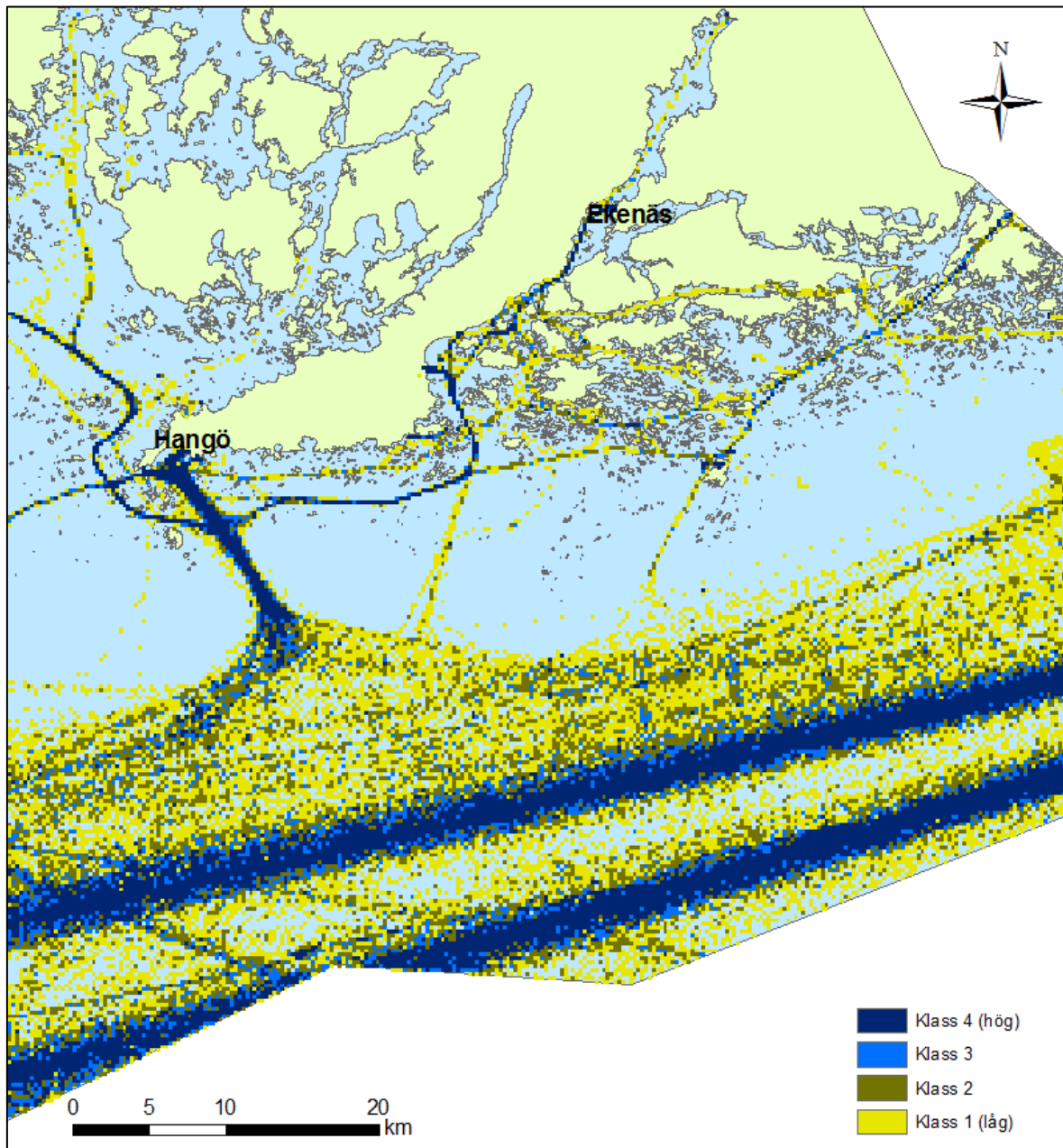
Puotinen, M.L. (u.å.). *An Automated GIS Method For Modeling Relative Wave Exposure Within Complex Reef-Island Systems: A Case Study Of The Great Barrier Reef*. <http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/puotinen.pdf> (hämtat: 20.2.2011).

Snickars, M. & Pitkänen, T. (2007). *GIS tools for marine planning and management*. Balance. <http://balance-eu.org/xpdf/balance-interim-report-no-28.pdf>  
(hämtat: 13.6.2011).

Trafikverket (2011). *Liikennevirasto ei jatka Pohjankurun väylän syventämishankkeen valmistelua*.  
[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/uutiset/2011/9\\_10\\_2011/20111021\\_pohjan\\_kuru](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/uutiset/2011/9_10_2011/20111021_pohjan_kuru) (hämtat: 20.11.2011).

Wysocki, L.E., Dittami, J.P. & Ladich, F. (2005). Ship noise and cortisol secretion in European freshwater fishes. In: Primack, R.B. (ed.), *Biological Conservation* (volume 128, issue 4, p. 501–508). St. Louis: Elsevier Journals. [http://ac.els-cdn.com/S0006320705004350/1-s2.0-S0006320705004350-main.pdf?\\_tid=ca0fe5329041856bd07f48021cea3620&acdnat=1335354720\\_9fe9d285d62ef26bd2de95aa3bcef31f](http://ac.els-cdn.com/S0006320705004350/1-s2.0-S0006320705004350-main.pdf?_tid=ca0fe5329041856bd07f48021cea3620&acdnat=1335354720_9fe9d285d62ef26bd2de95aa3bcef31f) (hämtat: 3.7.2011).

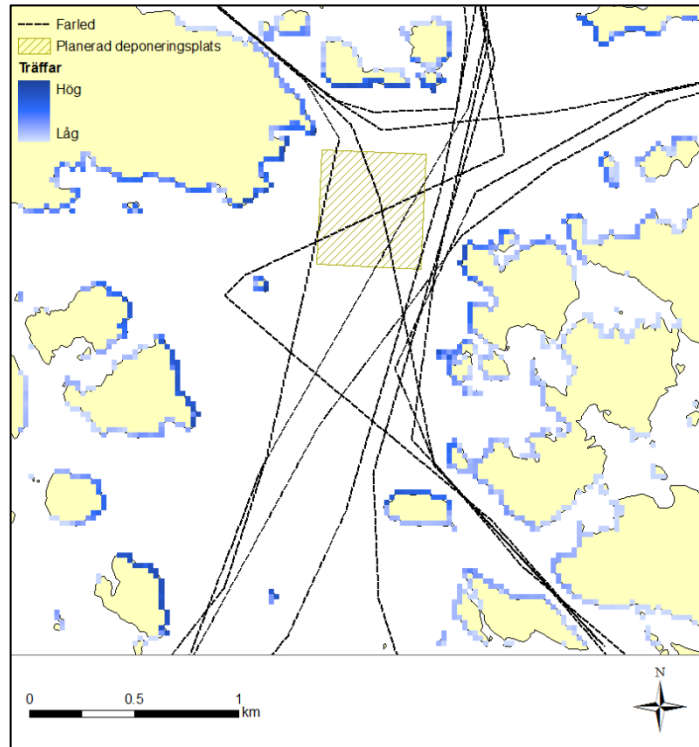




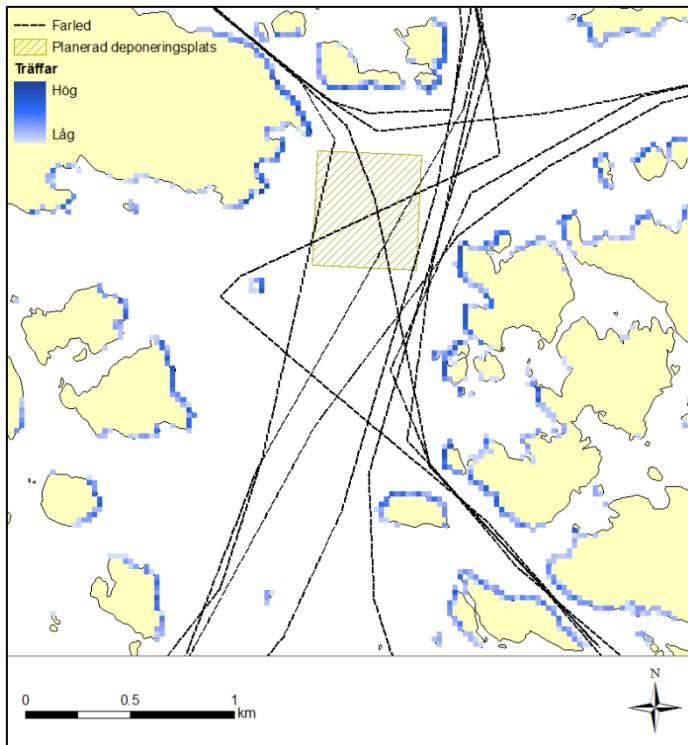
Figur 29. Densitet och styrka av bullerkällor. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

## Bilaga 2 (1/2)

### Vågmodeller för L1



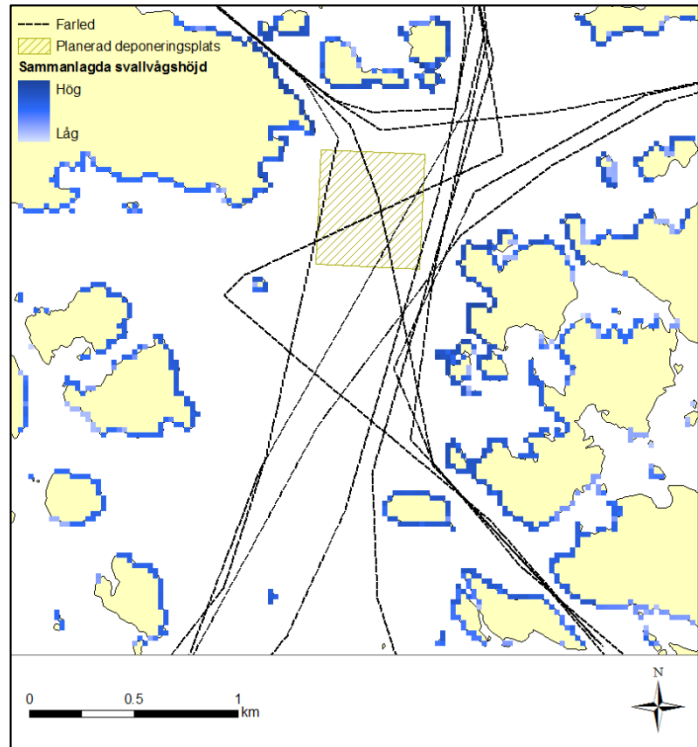
Figur 30. Sammanlagda svallvågsträffar, L1 metod 1.  
Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).



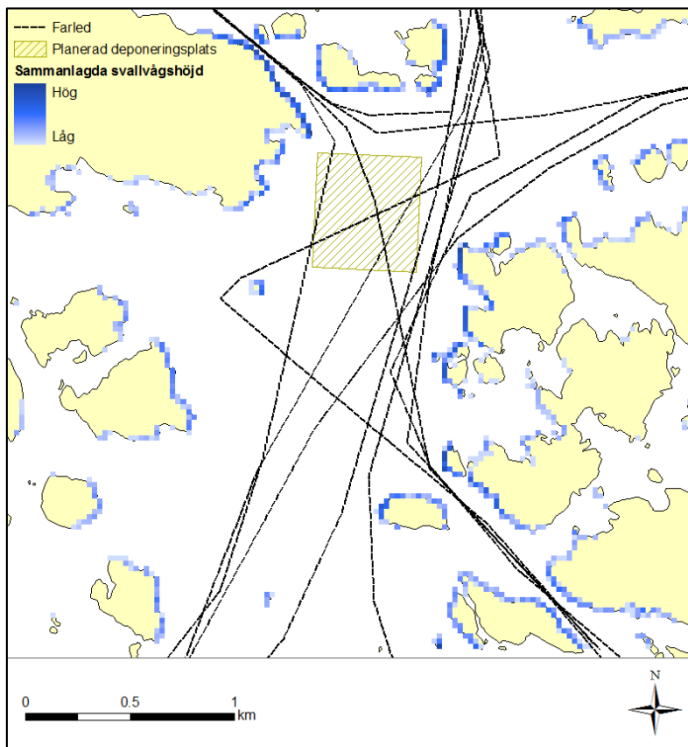
Figur 31. Sammanlagda svallvågsträffar, L1 metod 2.  
Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

## Bilaga 2 (2/2)

### Vågmodeller för L1

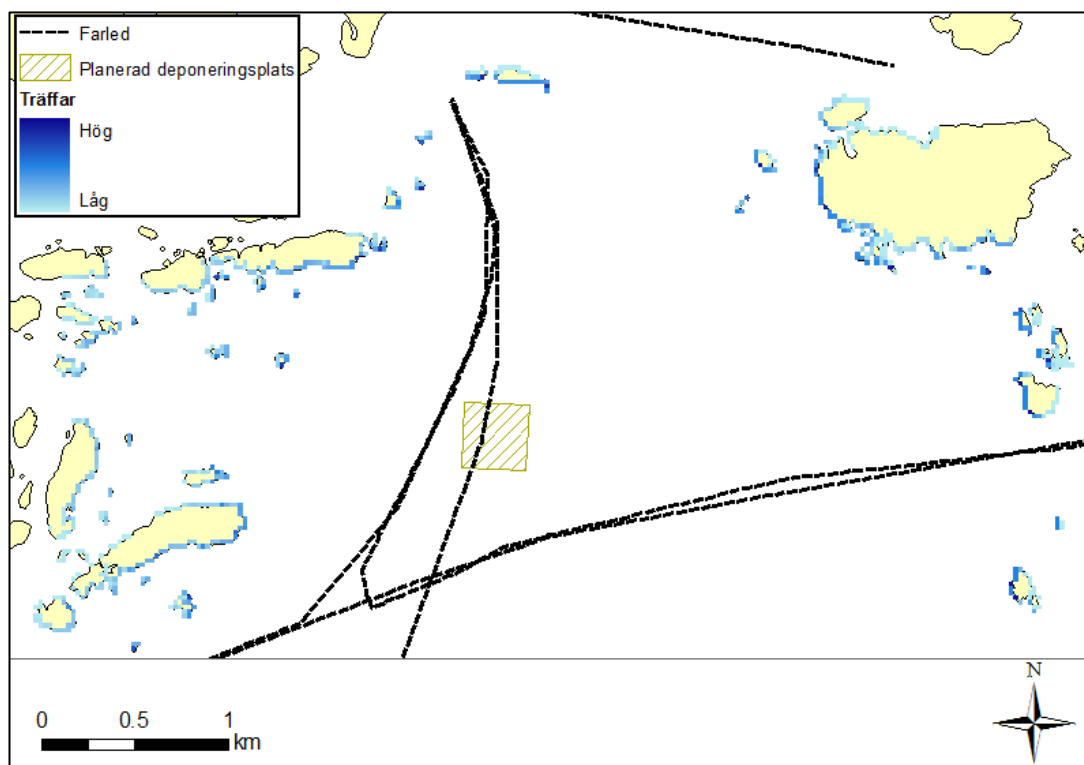


Figur 32. Sammanlagda svallvågshöjder, L1 metod 1.  
Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

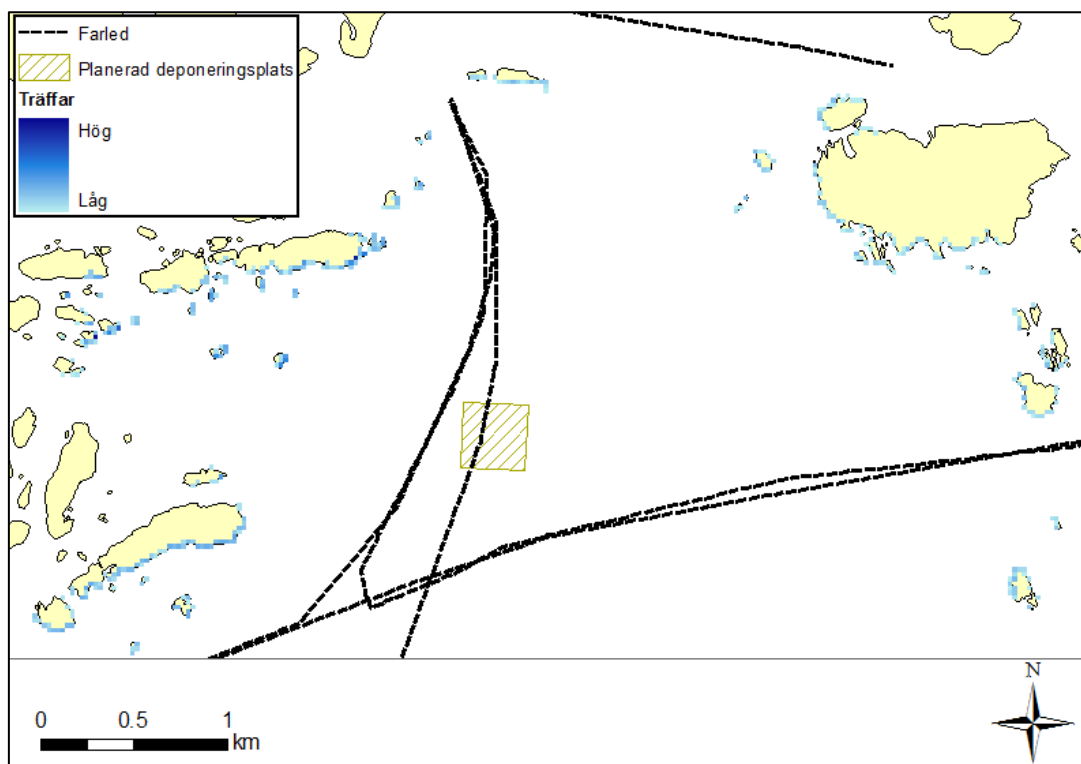


Figur 33. Sammanlagda svallvågshöjder, L1 metod 2.  
Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

**Bilaga 3 (1/2)**  
Vågmodeller för L2



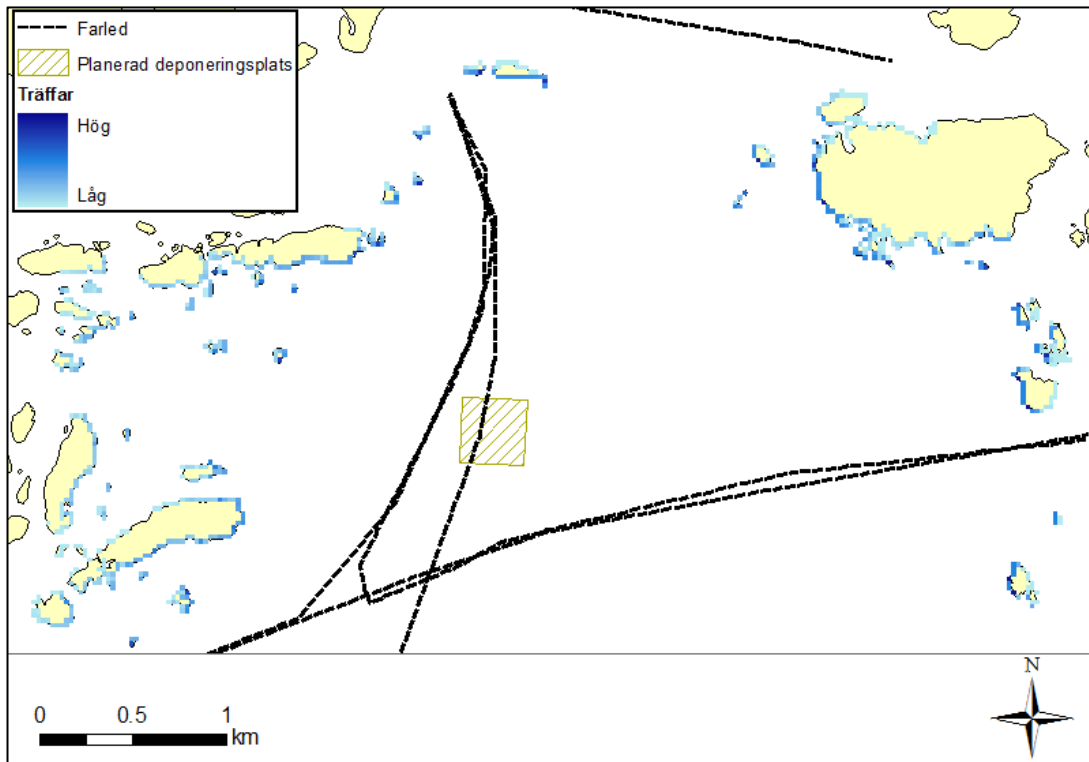
Figur 34. Sammanlagda svallvågsträffar, L2 metod 1. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).



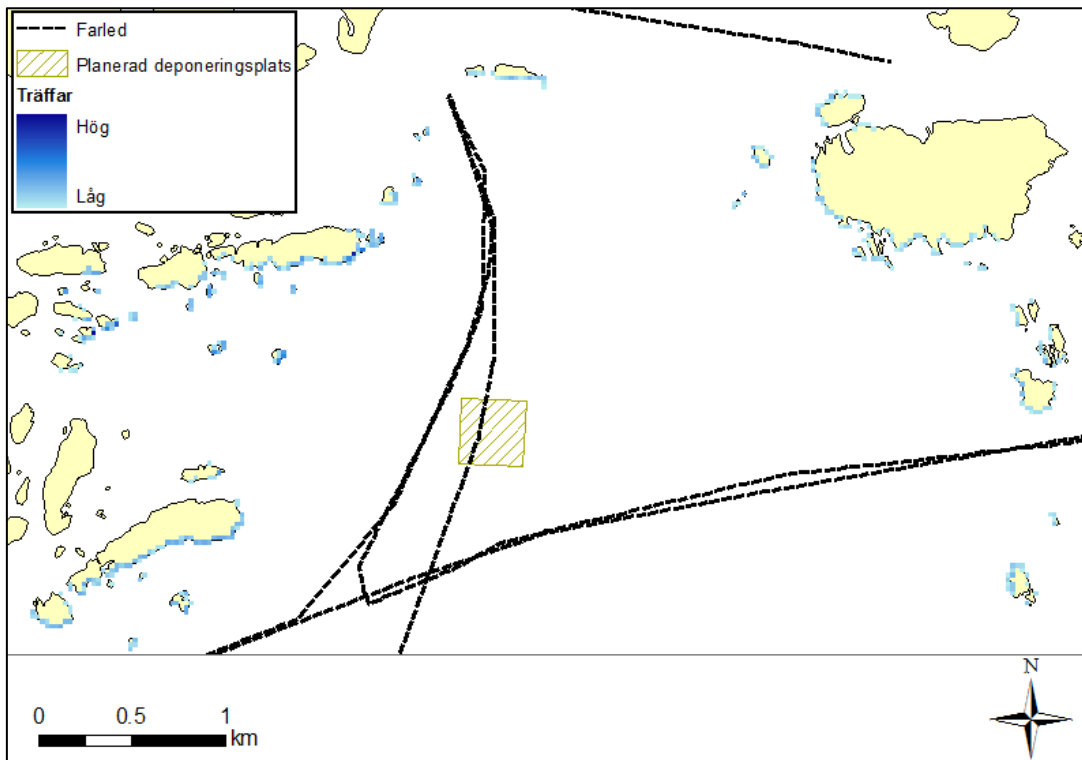
Figur 35. Sammanlagda svallvågsträffar, L2 metod 2. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).

### Bilaga 3 (2/2)

### Vågmodeller för L2



Figur 34. Sammanlagda svallvågshöjder, L2 metod 1. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).



Figur 35. Sammanlagda svallvågshöjder, L2 metod 2. Bakgrundskartan © SYKE, ELY-keskukset (rantaviiva-aineisto MML).