

Mari Niemeläinen

Automaattinen syvyyslukujen valinta Fledermaus-ohjelmalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK) -tutkinto
Rakentamisen koulutusohjelma
Maanmittauksen suuntautuminen
Opinnäytetyö
25.5.2012

Tekijä Otsikko	Mari Niemeläinen Automaattinen syvyyslukujen valinta Fledermaus-ohjelmalla
Sivumäärä Aika	35 sivua 25.5.2012
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	maanmittaustekniikka
Ohjaaja Ohjaava opettaja	suunnittelija Antti Castrén lehtori Jussi Laari
<p>Opinnäytetyössä selvitettiin Fledermaus-ohjelman käytettävyyttä merikartalla esitettävien syvyyslukujen valinnan automatisoinnissa. Merikartalle valitaan syvyyslukuja kuvaamaan pohjan topografiaa ja esittämään vaaralliset matalikot merenkulkijoille. Tällä hetkellä nämä syvyysluvut valitaan manuaalisesti. Käytössä on erilaista mittaustietoa, joista täyspeittävistä mittauksista, kuten monikeilauksesta, voitaisiin tehdä erilaisia automaattisia valintoja. Jotta tällaisia automaattisia syvyyslukuja voitaisiin käyttää, tulee niiden olla sekä merikartalle sopivia että käyttäjälle turvallisia.</p> <p>Työssä tutkittiin Fledermaus-ohjelman toimivuutta, ohjelman tekemiä ja syvyyslukujen valintaan käyttämiä syvyysmalleja sekä parametreja, joilla voi vaikuttaa siihen, mitä syvyyslukuja ohjelma valitsee. Testialueina käytettiin mahdollisimman erilaisia alueita, jotta ohjelman käytettävyyttä koko syvyystietojen uusinnassa saataisiin selvitettyä.</p> <p>Tehtyjä automaattisia syvyyslukuvalintoja verrattiin sekä samaan lähtöaineistoon, joka oli ollut käytössä manuaalisessa syvyyslukujen valinnoissa kyseessä olevilla työalueilla että manuaalisesti valittuihin syvyyslukuihin. Lisäksi arvioitiin automaattisten syvyyslukujen sopivuutta merikartalle muun syvyysaineiston ja muiden kartan kohteiden kannalta sekä kartografisuuden kannalta.</p> <p>Vertailussa arvioitiin automaattisten syvyyslukujen turvallisuutta käyttäen valittujen syvyyslukujen tarkastelussa samoja sääntöjä ja ohjeita, jotka ovat tällä hetkellä käytössä manuaalisessa työssä.</p> <p>Tutkimuksessa todettiin, että Fledermaus-ohjelma valitsee syvyyslukuja muuten turvallisesti, mutta se ei ota huomioon muuta syvyysaineistoa. Tällöin käyttäjän kannalta valitut syvyysluvut voivat antaa väärää tietoa merenkulun kannalta vaarallisista matalikoista. Lisäksi valitut syvyysluvut eivät ole kartografisesti sopivia varsinkaan kapeilla ja erityistä huomioita vaativilla työalueilla.</p> <p>Ohjelmaa ei siis voi käyttää suoraan korvaamaan asiantuntijan työtä, mutta siitä voisi saada apua laajoille merialueille tehtäviin syvyysaineiston uusimistöihin.</p>	
Avainsanat	Fledermaus, syvyysluku, merikartta, automaatio

Author Title	Mari Niemeläinen Selecting soundings automatically by Fledermaus-program
Number of Pages Date	35 pages 25 May 2012
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Land Surveying
Instructor Instructor teacher	Antti Castrén, Planner Jussi Laari, Senior Lecturer
<p>The objective of this thesis was to study the capability of Fledermaus-program to select the soundings to charts automatically. The soundings are selected to charts to display the topography of the bottom of the sea and to show the dangerous low areas to mariners. At the moment the soundings displayed are selected manually from different kind of surveys. From the full bottom covering surveys, such as multibeam surveying, it would be possible to do automatic selections. The main criteria for using automatically selected soundings on charts are that they have to fit to the chart and they have to be safe to the users.</p> <p>This thesis studies the functionality of the Fledermaus-program, the depth models which the program uses to select the soundings and the parameters which can affect what kind of soundings the program selects. Very different kinds of working areas were chosen as test areas to find out the usability of the program.</p> <p>Automatic soundings were compared both to the same basic data, which are used in manual work at the same areas and the manually selected soundings. It was also considered how the automatic soundings would fit to the charts together with other depth information and other chart information, as well as how cartographical the soundings are. While considering the automatic soundings in terms of safety, they were compared to the same rules and guidelines which are used at the moment in manual selecting.</p> <p>In this thesis it was found out that Fledermaus-program does select the sounding otherwise safely, but does not take other depth information into account. That way the user of charts might get wrong information from the selected soundings of the low areas of the sea. The selected soundings were not very good as cartographically, especially in very narrow working areas or in areas which need special attention.</p> <p>The program does not directly substitute manual work, but the automatic soundings could give some help for work in extensive sea areas.</p>	
Keywords	Fledermaus, sounding, chart, automation

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Syvyyslukujen valinnan perusteet	3
2.1	Syvyyslukujen valinta Merikartoituksessa tällä hetkellä	3
2.1.1	Syvyyslukujen valinta syvyystiedon uusimisessa	3
2.1.2	Kriteerit syvyyslukujen valintaan	6
2.1.3	Lukujen havainnollisuus navigointinäkökulmasta	9
2.2	Syvyyslukujen automaattinen valinta eri ohjelmilla	11
2.3	Syvyysmallit	11
3	Fledermaus-ohjelman ominaisuudet	13
3.1	Yleistä ohjelmasta	13
3.2	Dmagic	13
3.3	Fledermaus	14
3.4	Fledermaus-ohjelman syvyysmallit	16
3.5	Syvyyslukujen valinnan systematiikka	18
3.6	Ohjelman toimivuus	18
4	Vertailu	20
4.1	Testialueet	20
4.1.1	Erilaiset työalueet syvyysaineiston uusimisessa	20
4.1.2	Avomerien testialue	20
4.1.3	Rannikon testialue	21
4.1.4	Sisävesien testialue	21
4.2	Valittujen syvyyslukujen vertailu syvyyspiste-ehdotuksiin	22
4.2.1	Luotettavuus	22
4.2.2	Sopivuus syvyyskäyriin nähden	23
4.2.3	Sopivuus muuhun syvyysaineistoon nähden	24
4.2.4	Sopivuus muihin kartan kohteisiin nähden	25
4.3	Eröt manuaalisesti valittuihin syvyyslukuihin	26
4.4	Lukujen käyttökelpoisuus	29
5	Lopputulokset	31
6	Yhteenveto	33
	Lähteet	35

Määritelmät

asiantuntija	Liikenneviraston Merikartoitusosaston työntekijä, joka uusii syvyysaineistoa.
fau ja ASCII xyz	Merenmittauksessa yleisesti käytössä olevia tiedostoformaatteja.
kelluva syvyyskäyrä	Merikartalla esitettävä, tiettyä syvyyttä kuvaava käyrä, joka ei muodosta aluetta. Piirretään liioitellusti syvemmälle, kuin oikea syvyys merenpohjassa on. Sisävesillä on käytössä 3 metrin kelluva syvyyskäyrä ja merialueilla sekä 3 metrin että 6 metrin kelluvat syvyyskäyrät.
laivan syväys	Laivan pohjan etäisyys vedenpinnasta.
monikeilaus	Täyspeittävä, tarkka mittausmenetelmä, jolla mitataan merenpohjaa.
S2-ohjelmisto	Merikartoituksessa omaan käyttöön kehitetty ohjelmistoperhe, jolla tarkastetaan ja editoidaan merenmittausaineistoa. Ohjelmistoperhe sisältää mm. ohjelmat S2-edit ja S2-valinta.
SYRE-edit	Merikartoituksessa omaan käyttöön kehitetty ohjelma, jolla mm. tehdään mittausaineistoista tiff-kuvia.
syvyysalue	Rantaviivojen, syvyyskäyrien ja sulkevien viivojen avulla muodostettavat alueet, jotka kuvaavat tiettyä syvyysvyöhykettä.
syvyyskäyrä	Merikartalla esitettävä, tiettyä syvyyttä kuvaava ja syvyysalueet muodosta käyrä, joka piirretään merikartan käyttäjän kannalta turvallisempaan suuntaan eli aina

liioitellusti syvemmälle, kuin missä oikea syvyys merenpohjassa on.

syvyysluku	Merikartalla esitettävä pohjan syvyyttä kuvaava piste, joka annetaan positiivisena metrimääräisenä lukuna ilman yksikkömerkkiä. Erottimena käytetään pistettä.
syvyysmalli	Pintamalli, joka kuvaa järven- tai merenpohjan syvyyttä.
syvyyspiste-ehdotus	Tiheästä mittausaineistosta S2Edit-ohjelmalla tehty harvennettu pistematto, josta asiantuntija valitsee kartalla esitettävät syvyysluvut
väylän haraussyvyys	Matalin väylältä löydetty syvyys, joka on haraamalla varmistettu.
väylän kulkusyvyys	Metrimääräisenä, positiivisena lukuna annettu syvyys, jota vastaavalla laivan syväyksellä siinä on turvallista liikkua. Väylän kulkusyvyys on aina pienempi kuin väylän haraussyvyys

1 Johdanto

Tutkimuksessa on tavoitteena selvittää, soveltuuko Fledermaus-ohjelma Liikenneviraston Merikartoituksen syvyystietojen uusimisen tarpeisiin. Onko syvyyslukujen valinta luotettavaa ja turvallista? Onko ohjelma helppokäyttöinen? Onko ohjelma tarpeeksi monipuolinen Suomen olosuhteisiin? Voidaanko tällä ohjelmalla tehostaa prosessia, jossa syvyysluvut tällä hetkellä valitaan?

Virallisten suomalaisten merikarttojen teosta ja ylläpidosta vastaa Liikenneviraston Merikartoitus-osasto [1]. Karttoilla esitettävät syvyysluvut valitaan syvyystietojen uusimisen aliprosessissa, jossa uusitaan myös muu kartalla esitettävä syvyysaineisto. Lähtötiedot syvyysaineiston käsittelyyn saadaan edeltävästä merenmittaustietojen käsittelyn aliprosessista, jossa tarkastetaan vastaanotetut merenmittaukset ja käsitellään aineisto sopivaksi syvyystietojen uusimista varten. [2]

Merikartoitusosasto tuottaa sekä painettuja että elektronisia merikarttoja. Karttoja tehdään viidessä eri mittakaavassa aina tarkimmista 1:5 000-satamakartoista 1:250 000-yleiskarttoihin. Elektroniset ja painetut kartat tuotetaan samasta tietokannasta, jolloin jokaisella mittakaavalla esitettäväksi valitut syvyysluvut ovat samat huolimatta siitä, kumpaa tuotetta asiakas käyttää. Mittakaavojen välillä sen sijaan on tarkkuuseroja; suuremmilla mittakaavoilla esitetään enemmän syvyyslukuja, jos lähtöaineisto ja kartografia sen sallivat. [2]

Tällä hetkellä kartalla näytettävät syvyysluvut valitaan paikkatieto-ohjelmilla manuaalisesti tiheästä esivalinnan läpikäyneestä aineistosta. Ongelmana on se, että tämä menetelmä on hidasta ja vaatii paljon työaika. Lisäksi mitattujen pisteiden määrä lisääntyy koko ajan valtavasti, ja mitattujen alueiden tietojen kartalle vienti kestää näin ollen useita vuosia. Merenkulkijoiden kannalta kriittiset syvyystiedot viedään kuitenkin tarvittaessa nopeasti sekä aineistoon että tiedoksi karttojen käyttäjille toisen prosessin kautta. Koska Merikartoituksessa ei voida lisätä resursseja syvyystietojen laajamittaiseen uusimiseen, kaivataan tähän työvaiheeseen automaatiota.

Syvyyslukuja valitaan myös muista lähteistä, kuten vanhoilta mittalevyiltä sekä harvemmista mittauksista kuten linjaluotauksista. Näihin automaattista syvyyslukujen valintaa ei voi käyttää.

Suomen meri- ja järvialueet ovat epätasaisen pohjatopografian ja saarien sekä kivien johdosta syntyvän rikkonaisuuden takia haasteellisia sekä mitata että tehdä syvyysaineistoa. Lisäksi Suomen vesialueilla pohjan laatu on useassa kohdassa kivikkoinen, mikä lisää navigoinnin vaarallisuutta ja syvyystietojen täsmällisyyden merkitystä.

Syvyyslukujen valinnassa merikarttatuotteelle ei ole ollut vielä käytössä automaattista pisteiden valintaa. Merikartoituksessa on tutkittu automaattista syvyyslukujen valintaa mm. S2-ohjelmistoperheeseen kuuluvalla S2 Valinta -ohjelmalla, jolla tällä hetkellä tehdään tiheästä lähtöaineistosta syvyyspiste-ehdotukset syvyystiedon uusijoiden käyttöön. Tällä ohjelmalla ei kuitenkaan saatu tehtyä sellaisia pistevalintoja, jotka olisivat olleet käyttökelpoisia esitettäväksi merikartoilla. [5]

2 Syvyyslukujen valinnan perusteet

2.1 Syvyyslukujen valinta Merikartoituksessa tällä hetkellä

2.1.1 Syvyyslukujen valinta syvyystiedon uusimisessa

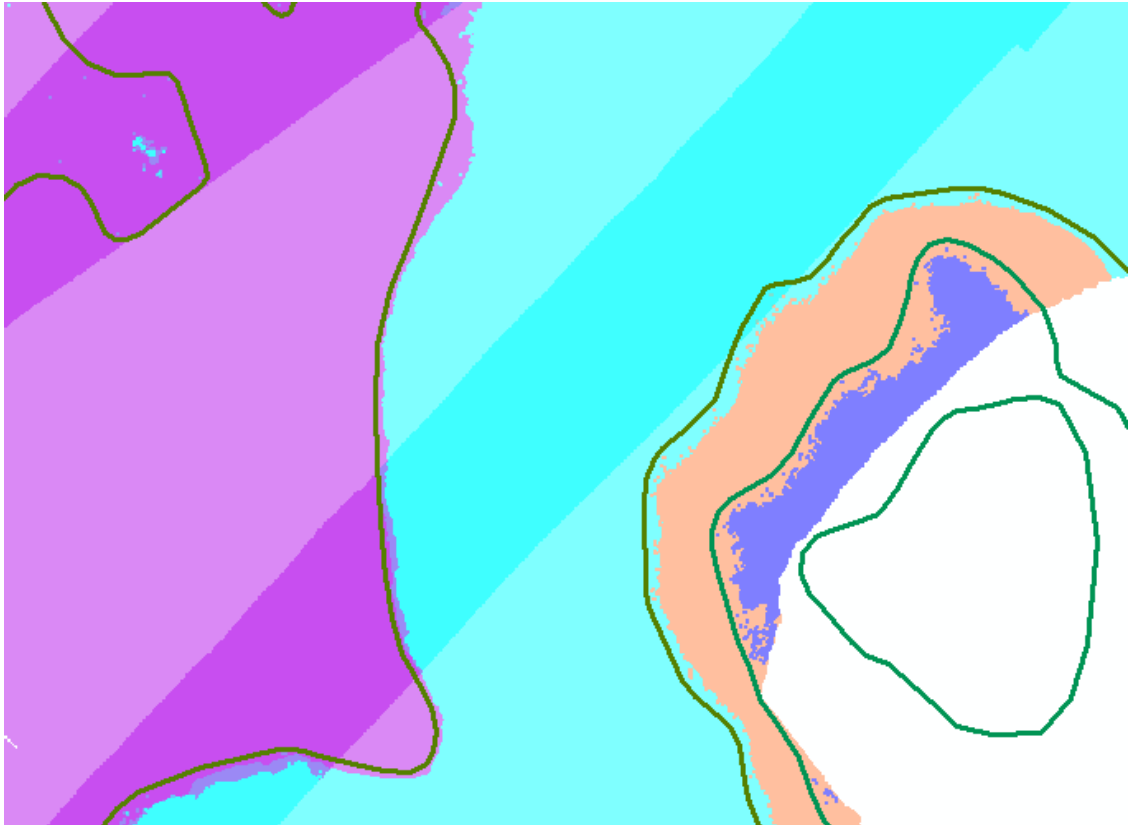
Syvyyslukujen valinta tehdään syvyystiedon uusimisen aliprosessissa samaan aikaan muun syvyysaineiston, kuten syvyyskäyrien ja kivien uusimisen kanssa. Syvyysaineistoa uusivat asiantuntijat, joiden pohjakoulutus on joko merenkulun tai paikkatiedon alalta. Kun asiantuntijalla on tarpeeksi kokemusta syvyystiedon uusimisesta, hän voi myös tarkastaa toisen asiantuntijan tekemän työn.

Syvyysluvut esittävät merikartalla kyseisellä kohdalla olevaa merenpohjan syvyyttä. Merikartalla luvut näytetään positiivisina metrimääräisenä lukuna ilman negatiivista yksikkömerkkiä. Jos syvyysluvusta näytetään myös ensimmäinen desimaali, käytetään erottimena pistettä. Tarvittaessa syvyysluku voidaan kartografisista syistä siirtää sivummalle oikeasta sijaintikohdastaan. Tätä pyritään välttämään ja käyttäjälle tällainen siirretty syvyysluku esitetään pystyllä fontilla, kun taas oikealla paikalla sijaitsevat syvyysluvut esitetään vinolla fontilla.

Kartalla esitettävät syvyysluvut valitaan työalueelle siinä vaiheessa, kun työalueelle on ensin uusittu syvyyskäyrät ja kelluvat syvyyskäyrät. Molemmat käyrätyypit kuvaavat pohjan syvyyttä tietyllä kohdalla kuitenkin niin, että käyrät piirretään navigointiturvallisuuden takia aina syvemmälle, kuin missä kyseinen syvyys oikeasti on. Syvyyskäyrät muodostavat yhdessä rantaviivojen ja tarvittaessa erityisten apuna käytettävien sulkevien viivojen kanssa syvyysalueet, jotka kuvaavat aina tiettyä syvyysvyöhykettä. Kelluvat syvyyskäyrät eivät ole mukana syvyysalueiden muodostamisessa.

Syvyyskäyrien uusinnassa käytetään mittauksista saaduista pistepilviaineistoista SYRE-edit-ohjelmalla tehtyjä tiff-kuvia. Käytettävät tiff-kuvat ovat georeferoituja rasterikuvia, jotka tehdään mittausdatalogoista. Ruutukoko on yleensä pieni, 200 cm.

Täyspeittävästä aineistosta tehdään aina kaksi tiff-kuvaa, joista toisessa on esitetty eri väreillä eri syvyysalueet ja toisessa on tämän lisäksi varjostukset, jolloin tästä kaksiulotteisesta kuvasta voidaan hahmottaa pohjan topografiaa. Syvyyskäyrät piirretään yleensä varjostamattoman tiff-kuvan avulla, kuten kuvassa 1 on tehty.

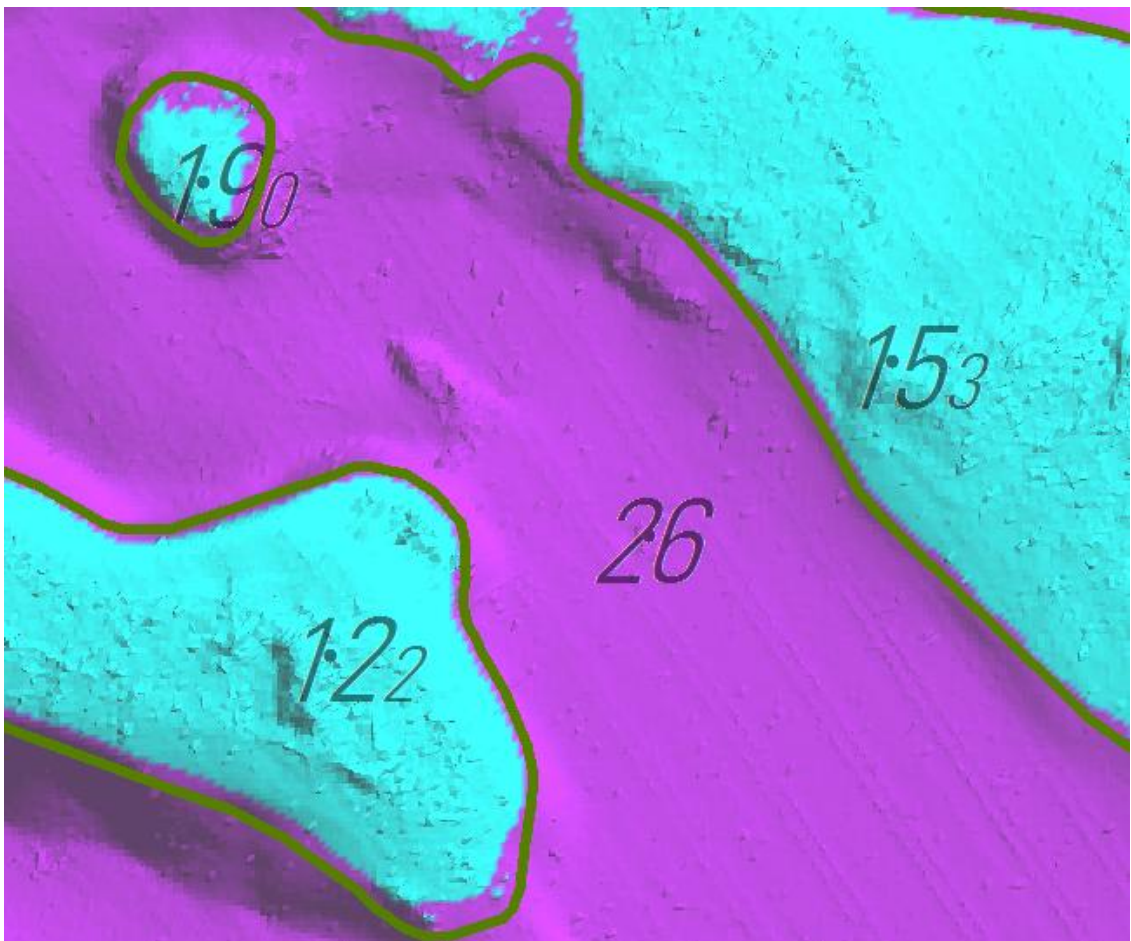


Kuva 1. Syvyysaineiston uusimistyössä tehdyt syvyyskäyrät, jotka on piirretty monikeilainmittausaineistosta tehdyn tiff-kuvan mukaan ja yhdistetty ennestään merikartalla olleisiin käyriin.

Syvyyslukuja valitessa otetaan huomioon tehdyt syvyyskäyrät. Suoraan syvyyskäyrien päälle tulevia syvyyslukuja pyritään välttämään. Kohteena olevasta työalueesta riippuen syvyyslukujen valinnassa otetaan myös huomioon olemassa olevat sekä lisättävät uudet kivet sekä kartan muut kohteet, jos työalue on sellainen, että näitä kohteita siellä on. Tämän lisäksi huomioidaan täyspeittävän mittauksen ulkopuolelle sekä reunalle jäävät olemassa olevat syvyysluvut. Jos työalueen vierestä ei ole täyspeittävästä mittauksesta, ei matalia syvyyslukuja lähdetä poistamaan. Nämä matalat syvyyspisteet ovat voineet tulla vanhoista mittauksista, joissa yleensä syvyystieto on ollut suhteellisen tarkka, kun taas paikannustieto on ollut epävarma.

Lähtötietoina syvyyslukujen valinnassa käytetään tällä hetkellä syvyyspiste-ehdotuksia, joissa alkuperäisistä mittauspistepilvistä on poistettu selkeästi väärät havainnot, esimerkiksi harhakaiut. Pistepilveä on harvennettu valitsemalla lukuja esitettäväksi 30–40 metrin välein. Kohdista, joissa mittausalueet menevät päällekkäin, poistetaan mittaushavaintoja niin, että syvyyspiste-ehdotuksiin tulee joko uusimman tai tarkemman mittauksen aineisto tai samanarvoisista mittauksista valitaan matalimmat syvyysluvut. [2; 4.]

Lisäksi syvyyslukujen valinnassa käytetään apuna varjostettua tiff-kuvaa, josta matalikot erottuvat selkeästi sekä erilaisia paikkatieto-ohjelmasta saatavia symbolointeja. Kuvassa 2 näkyy varjostettu tiff-kuva, johon on syvyyskäyrien piirtämisen jälkeen valittu pohjan muotoja kuvaavia ja navigoinnin kannalta merkityksellisiä syvyyslukuja.

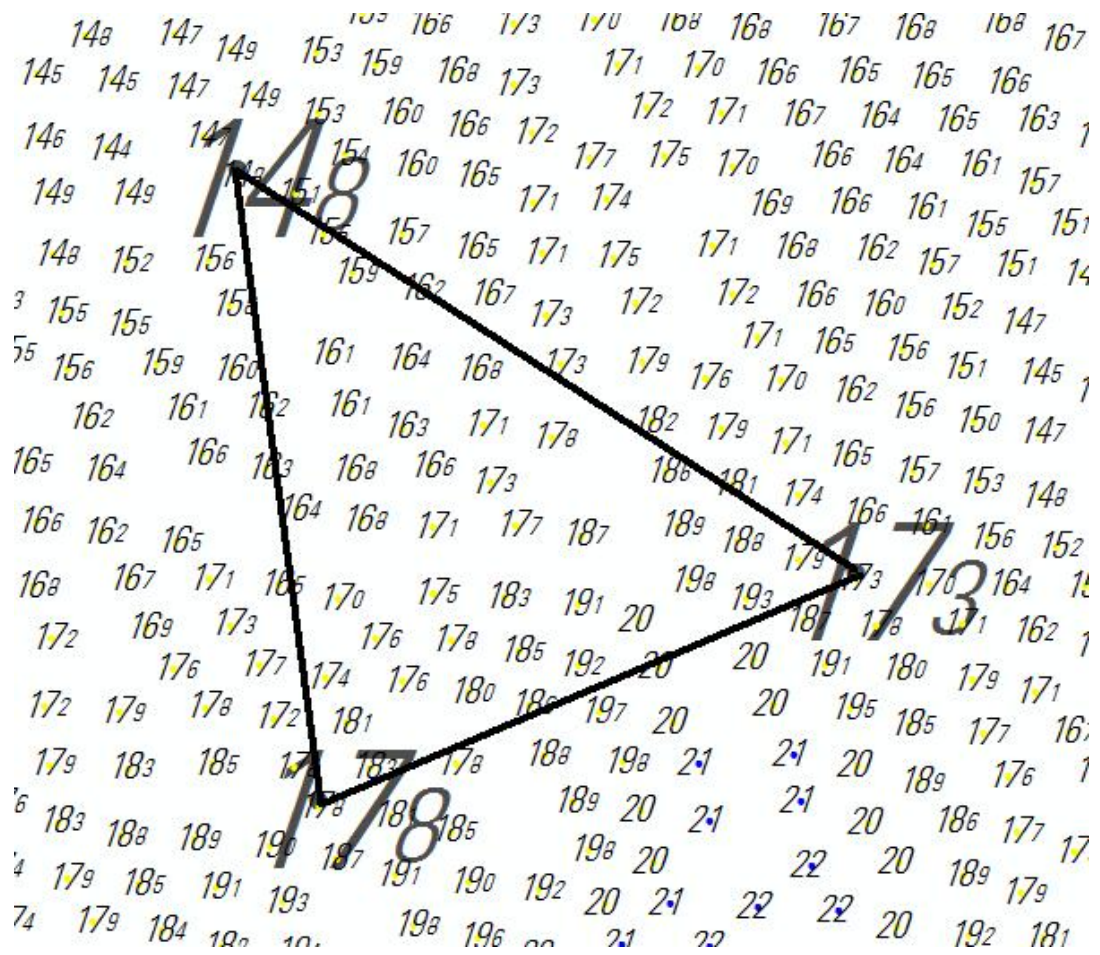


Kuva 2. Varjostettu tiff-kuva, jonka päällä juuri uusittua syvyysaineistoa.

2.1.2 Kriteerit syvyyslukujen valintaan

Kartalla esitettävien syvyyslukujen valinnan tämänhetkisten sääntöjen mukaan matalimmat syvyysluvut ovat tärkeimmät. Työssä huomioidaan ensin matalikot. Lukuja valitaan tiheämmin maan kohoumille ja erilaisissa kapeikoissa valitaan aluksen läpikulkua rajoittavin luku. Muuten syvyysluvuilla pyritään esittämään merenpohjan topografiaa mahdollisimman hyvin valitsemalla matalikon matalimpia ja syvänteiden syvimpiä lukuja. Syvyysluvut välillä 0 ja 19.99 näytetään yhden desimaalin tarkkuudella ja siitä syvemmät metrin tarkkuudella, kuitenkin aina niin, että luku katkaistaan aina turvallisempaan suuntaan. Tällä hetkellä katkaisu tapahtuu automaattisesti syvyystietojen uusimiseen käytettävässä ohjelmassa. [3, s. 3.]

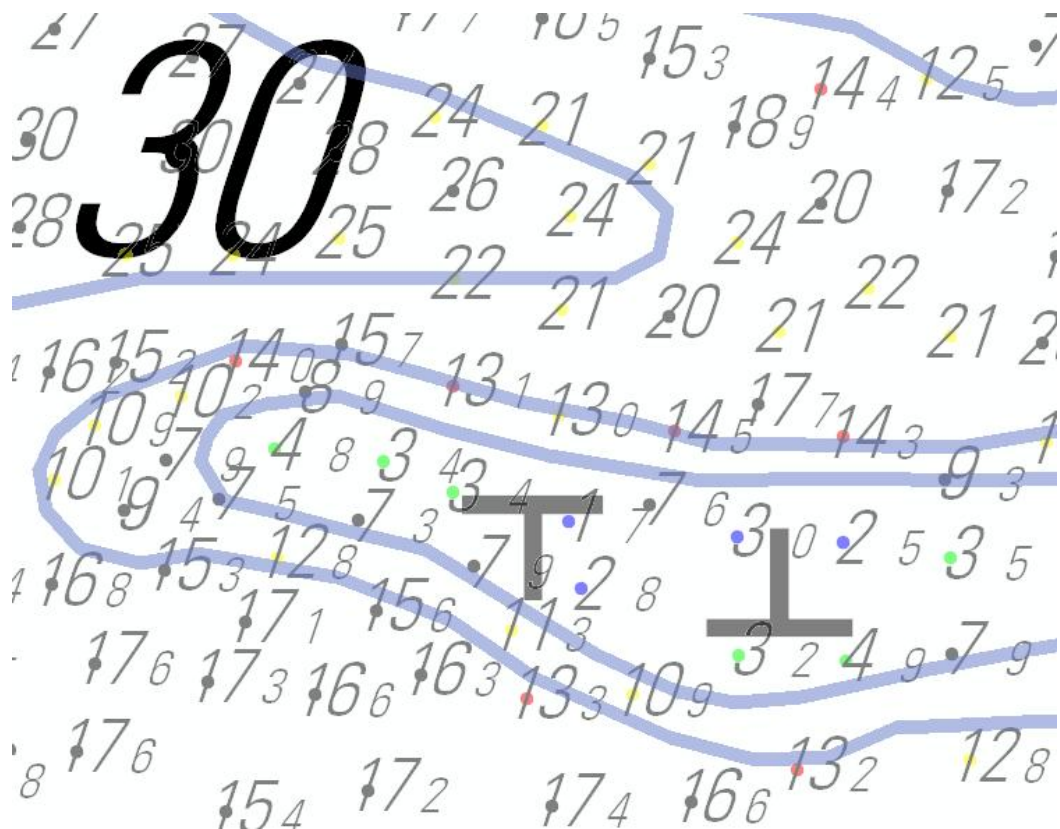
Syvyyslukuja valitessa kahden syvyysluvun väliin ei saa jäädä matalampaa syvyyslukua kuin matalampi valittu syvyysluku on. Pääsääntönä tarkastuksessa on niin sanottu kolmioajattelu, jossa kolmen lähimmän valitun syvyysluvun muodostaman kolmion keskelle ei saa jäädä syvyyspiste-ehdotuksia, jotka ovat syvyydeltään matalampia kuin kolmion kärkipisteissä olevista syvyysluvuista matalin luku. [3, s. 4.] Kuvassa 3 on piirretty kolmio työalueelta valittujen pisteiden päälle, jolloin huomataan, että syvyysluvut ovat valittu oikein. Työskennellessä ja töitä tarkastettaessa kolmioita ei oikeasti piirretä, vaan verrataan kolmea lähekkäistä syvyyslukua ja niiden keskelle jääviä syvyyspiste-ehdotuksia.



Kuva 3. Kolmion sisään ei jää matalampia syvyyspiste-ehdotuksia kuin 14.8 eikä suoraan muidenkaan syvyyslukujen väliin jää matalampia syvyyspiste-ehdotuksia.

Myös kartalle tuleva syvyyskäyrä tulee ajatella lukuna, jolloin syvyyskäyrän ja syvyysluvun välille ei saa jäädä matalampia syvyyspiste-ehdotuksia kuin näistä matalamman arvo on [3, s. 4].

Pääsääntöisesti jokaisella syvyysalueella, varsinkin matalikoilla, pitäisi olla syvyysluku. Jos syvyysluvun lähellä on kivi, varoittaa matalikolla kivi enemmän kuin luku. Tällöin lukua ei matalikolle valita, kuten kuvassa 4 on jätetty valitsematta matalia syvyyspiste-ehdotuksia. Syvyystietoja uusittaessa otetaan huomioon sekä kartalla jo valmiiksi olevat kivet, jotka lisätään työn alueelle muista lähtötiedoista. Tällaisia lähtötietoja ovat muun muassa Maanmittauslaitoksen kivet, vanhat mittalevyt ja merenmittaajien kartoittamat kivet. Myöskään aivan syvyyskäyrän viereen ei pitäisi valita lukua, jotta kartta olisi luettava. [3, s. 3–4; 9, s. 14–17.]



Kuva 4. Vedenalainen ja vedenpäällinen kivi varoittavat merikartan käyttäjää selkeästi matalikosta, jolloin alueelle on turha valita matalinta syvyyspiste-ehdotusta 1.7.

Väylille ja väyliä läheisyyteen valitaan syvyyslukuja, jotka ovat lähellä väylän haraussyvyyttä tai voivat muuten olla riskinä lähellä väylän kulkusyvyyttä olevalla syvyyksellä liikkuville aluksille. Haraussyvyys kertoo, mihin syvyyteen kyseinen väyläalue on varmistettu mekaanisesti haraamalla. Yleensä alueelta saadaan juuri tämänsyvyisiä havaintoja. Kulkusyvyys kertoo sen, millä syvyyksellä kulkevan laivan siitä on turvallista kulkea. Tämä tieto on tärkeä varsinkin valittaessa syvyyslukuja väyläalueen läheisyydestä sellaisilta alueilta, joille laivat mahdollisesti voisivat väistää.

Lisäksi on muita erityisiä paikkoja, joihin syvyyslukujen valinnassa tulee kiinnittää huomiota, kuten ankkurointipaikat. Tällaisille paikoille syvyyslukuja tulisi valita enemmän. Jos kartalla on muita kohteita, kuten turvalaitteita, tulisi taas välttää syvyyslukujen valitsemista näiden kohteiden päälle.

Näin ollen syvyyslukujen valinnassa valitaan sekä ensi- että toissijaisia syvyyslukuja. Ensijaiset syvyysluvut ovat matalikkoja sekä muuten merenkulkua rajoittavia tai merenkulun turvallisuutta vaarantavia syvyyslukuja. Toissijaisista syvyyslukuista muodostuu yhtenäinen syvyyslukujen kattama vesialue, joka pyrkii esittämään

syvyyskäyrien kanssa merenpohjan muotoja. Lisäksi valitaan erityisiä syvyyslukuja, kuten kapeikon pienin syvyys, mutta määrällisesti näitä syvyyslukuja on kartalla erittäin vähän. [6.]

Syvyysaineiston uusimisen aliprosessissa toimitaan niin, että kun asiantuntija on uusinnut työalueelleen syvyysaineiston, tarkastaa toinen asiantuntija työn. Tällä pyritään löytämään mahdolliset virheet ja saamaan aineisto samanlaatuiseksi tekijästä riippumatta. Nykyisin käytettävässä ohjelmassa on joitakin tarkastusajoja, joilla päästään osaan virheistä kiinni, mutta mitään sellaista ajoa ei ole, joka tarkastelisi valittuja syvyyslukuja verraten niitä lähtöaineistona käytettyihin syvyyspiste-ehdotuksiin. Näin ollen tämä toisen asiantuntijan tekemä visuaalinen tarkastus on ainoa keino löytää mahdolliset virheet. Tässäkin piilee se mahdollisuus, että työn tarkastajaltakin voi jäädä huomaamatta joku yksittäinen virhe.

Alkuperäisistä mittaustiedoista syvyyslukujen attribuutteihin siirtyä tietoa mittauksesta, mm. mittauksen nimi ja luotausmenetelmä. Tällöin voidaan tarvittaessa jäljittää mistä mittauksesta kyseinen syvyysluku on tullut aineistoon. Jos jossain syvyysluvussa epäillään olevan jotain virhettä, voidaan tarvittaessa tarkastaa alkuperäinen mittausaineisto ja muuttaa syvyyslukua.

2.1.3 Lukujen havainnollisuus navigointinäkökulmasta

Merikartan pitäisi olla käyttäjälle havainnollinen, ja siitä pitäisi huomata heti turvallinen vesialue sekä mahdolliset vaaranpaikat. Matalin syvyysalue on painetulla kartalla väriltään sininen. Tämä alue on merialueilla nollostaa kymmeneen metriin ja sisävesillä nollostaa kuuteen metriin. Aluksen syvyyksestä riippuu se, miten matalat alueet ovat vaarallisia kullekin alukselle. Suomen alueella liikkuvilla aluksilla vaaralliset syvyudet ovat nollostaa kahteenkymmeneen metriin, mutta jopa kolmenkymmenen metrin syvyudessa olevat matalikot voivat vielä vaikuttaa aluksen liikkuvuuteen.

Syvyyspisteet tukevat kartan havainnollisuutta. Syvyyspisteiden avulla kartan käyttäjä pystyy nopeasti näkemään, kummalla puolella syvyyskäyrää on syvää ja kummalla puolella matalaa, sekä missä on turvallista liikua. Lisäksi selkeät suuret matalat poikkeamat syvyyskäyrien läheisyydessä varoittavat jyrkästi nousevasta

merenpohjasta. Merikartan syvyyslukujen perusteella merenkulkijat voivat myös etsiä sopivinta paikkaa ankkuroitumiselle. Varsinaisille ankkurointipaikoille syvyyslukuja on laitettu tiheämpään, vaikka ankkuroinnissa tarkalla syvyydellä ei ole suurta merkitystä.

Suomalaisilla merikartoilla on perinteisesti näytetty avomerialueella tiheästi valituilla syvyysluvuilla aineiston luotettavuutta. Merikarttatietokannassa on kohdeluokka merenmittauksen laatu, joka kertoo, miten luotettavia kunkin alueen syvyystiedot ovat. Tämä kohdeluokka on esillä myös sekä painetuilla että elektronisilla merikartoilla. Valitettavan harvat merenkulkijat osaavat toistaiseksi käyttää tätä tietoa hyväkseen.

Syvyyslukujen valinnan tiheyteen vaikuttaa se, minkä mittakaavan kartalle syvyyslukuja ollaan valitsemassa. Valinnassa pyritään keskimääräisiin sovittuihin etäisyyksiin, jotka ovat nähtävissä taulukossa 1. Työskennellessä käytetään valitun syvyysluvun symboloinnissa luvun ja pisteen lisäksi ympyrää, jonka säteen arvo on mittakaavasta riippuva ohjeellinen valintaetäisyys [3, s. 3]. Nämä keskimääräiset etäisyydet toteutuvat käytännön työssä lähinnä silloin, kun valitaan toissijaisia syvyyslukuja. Ensisijaisten syvyyslukujen valinnassa syvyyslukujen tärkeys navigoinnin näkökulmasta on merkittävämpi kuin tietty tiheys, jolloin syvyyslukuja valitaan yleensä tiheämmin.

Taulukko 1. Suomen merikartoilla käytössä olevat mittakaavat ja ohjeelliset syvyyslukujen valinnan etäisyydet.

Mittakaavan nimi	Mittakaava	Keskimääräinen syvyyslukujen valintaetäisyys
berth	1:5 000—1:10 000	50—100 m
harbour	1:20 000—1:25 000	200—250 m
approach	1:40 000—1:50 000	400—500 m
coastal	1:100 000	1 000 m
general	1:250 000	2 500 m tai harvempi
overview	1:600 000	mittakaavalla ei esitetä syvyyslukuja

2.2 Syvyyslukujen automaattinen valinta eri ohjelmilla

Erilaiset ohjelmat käyttävät syvyyslukujen valinnassa erilaisia tekniikoita ja laskenta-algoritmeja. Lisäksi ohjelmat voivat ottaa huomioon muitakin lähtötietoja kuin mittausaineistoa.

Osa ohjelmista ottaa syvyyslukujen valinnassa huomioon syvyyskäyrät sekä muun syvyysaineiston. Ne muodostavat syvyyskäyrien avulla syvyysmallin, johon mitattuja pisteitä verrataan. Ne havainnot, joilla on suurin poikkeavuus luodusta syvyysmallista, tulevat valituksi esitettäväksi kartalle. Ohjelma muuttaa tämän jälkeen syvyysmallia ottaen siihen mukaan valitut syvyysluvut. Ohjelma jatkaa havaintojen vertaamista syvyysmalliin ja syvyyslukujen valitsemista tätä kautta. Ohjelmaan voi myös antaa arvon, jonka perusteella valitaan syvyysmallista syvempään suuntaan poikkeava syvyysluku tietyin väliajoin. [7.]

Ohjelmat voivat myös suorittaa valituille pisteille tarkistuksen, jossa automaattisesti verrataan syvyyspisteiden valinnan jälkeen kaikesta julkaistavasta syvyysaineistosta tehtyä syvyysmallia lähtötietoina käytettyyn syvyysmalliin. Jos jälkimmäinen syvyysmalli pysyy koko ajan julkaistavasta syvyysaineistosta tehdyn syvyysmallin syvemmällä puolella, on syvyyspisteiden valinta turvallista. [8.]

2.3 Syvyysmallit

Valittaessa syvyyslukuja automaattisesti täytyy ensin muodostaa havainnoista pintamalli. Merenpohjaa kuvaavia pintamalleja kutsutaan syvyysmalleiksi. Syvyysmallit kuvaavat havaintojen välisiä suhteita muodostaen havainnoista näin jatkuvan topologisen alueen. Näitä malleja voidaan tehdä eri tarkoituksiin, mutta merikartalle tulevia syvyyslukuja varten käytetään aina navigoinnin kannalta turvallisimpaan suuntaan eli matalia lukuja korostavia malleja. Paikkatiedon käsittelyohjelmilla voidaan luoda pistemäisestä lähtöaineistosta kahdenlaisia syvyysmalleja, TIN-malleja tai grid-malleja.

TIN-malli luo pinnan tekemällä epäsäännöllisen kolmioverkon havainnoista. Siinä havainnot kytketään toisiinsa topologisesti kolmion sivujen mukaan. Mikä tahansa syvyys TIN-mallin sisällä voidaan tämän jälkeen laskea käyttämällä lineaarista

interpolaatiota. Näin saadaan lähimpien kolmen havainnon väliseltä pinnalta laskennallinen syvyys. Tuloksen tarkkuuteen vaikuttaa lähtöaineiston tiheys ja todellisen pinnan epätasaisuus. [10, s. 136—137; 11, s. 189.]

Grid-malli muodostetaan säännöllisen, koko mittausalueen kattavan ruudukon avulla. Ruutua edustavan syvyysarvon valinta riippuu mallin teossa käytettävästä laskenta-algoritmista. Näistä arvoista muodostuu hilamainen taso, josta tietyn kohdan syvyys valitaan käyttämällä kyseisen hilan edustavaa syvyysarvoa. Grid-mallin tarkkuus riippuu lähtöaineiston tasaisuudesta. Jos lähtöaineisto on tasaista, on grid-malli helppo tehdä. Lisäksi tulosten tarkkuuteen vaikuttaa valittu ruudun koko sekä mallin teossa käytetyn edustavan syvyysarvon painotus. [10, s. 136; 11, s. 241.]

Pisteiden valinnassa käytetään yleensä grid-malleja. Grid-mallit ovat yksinkertaisempi kuin TIN-mallit, mutta niiden laskeminen on tietokoneelle kevyempää kuin TIN-mallien. Lisäksi edistyneiden ohjelmien lähtötietoina käyttämät syvyyskäyrät rajoittavat TIN-mallien käyttöä. [7; 8.]

Myös syvyysmalleja voidaan laskea eri tavoin. Atlis-ohjelma lupaa TIN-mallin veroisen tarkkuuden ja luotettavuuden syvyyslukujen valintaan nopeilla grid-mallilaskennoilla, joiden luvataan toimivan paremmin kuin perinteiset *shallow biased* -mallit. Ohjelmalla oli testattu alueita Norjasta ja saavutettu luotettavia ja pohjan muotoa hyvin esittäviä syvyyslukuja. Näissä tehdyissä syvyyslukuvalinnoissa ohjelma on käyttänyt algoritmeja, jotka määrittävät minkälaiseen luokkaan syvyyspistehavainto kuuluu. Tämän jälkeen ohjelma priorisoi erilaiset havainnot ja valitsee luvut tärkeysjärjestyksessä valiten myös sekä toissijaisia että erityisiä lukuja. Lisäksi ohjelman käyttämät parametrit vaihtelevat syvyysalueesta riippuen. [8.]

3 Fledermaus-ohjelman ominaisuudet

3.1 Yleistä ohjelmasta

Testauksessa käytetyt ohjelmat Fledermaus ja DMagic kuuluvat Interactive Visualization Systems -tuoteperheeseen. DMagic-ohjelmaa käytetään pohjatyöhön ja itse syvyyslukujen valinta suoritetaan Fledermaus-ohjelmalla. Testauksessa oli käytössä V7-versio.

Lähtötietoina Fledermaus-ohjelmassa käytetään pistepilvenä olevia monikeilauksella mitattuja mittaustiedostoja. Monikeilaus on tarkkaa mittausta, jolla saadaan merenpohjan täysin peittävä mittauspistepilvi. Näistä tiedostoista on poistettu selvästi virheelliset pisteet. Nämä tiedostot ovat tarkempia kuin syvyyspiste-ehdotukset, eli sisältävät enemmän pisteitä kuin on tarpeen syvyystietojen uusimisessa.

3.2 DMagic

Syvyyslukujen valinnassa käytetään kahta eri ohjelmaa. Mittausalueet luetaan DMagic-ohjelmaan, jossa tehdään Fledermaus-ohjelmassa käytettävä PFM-tiedosto. Tähän tiedostoon pakataan kaikki mittausdata ja sitä käytetään syvyysmallin muodostamiseen.

DMagic-ohjelmassa tehdään halutusta työalueesta oma projektinsa. Tälle projektille määritellään käytettävä koordinaattijärjestelmä sekä tiedostopolku minne projektin tiedot tallennetaan. Projektiin voidaan lukea niin monta vierekkäistä mittausaluetta, kuin kerralla halutaan käyttää. DMagic lukee yleisiä merenmittauksessa käytettäviä kaikuluotainformaatteja, kuten Merikartoituksessakin käytössä olevia fau- ja ASCII xyz -tiedostoja. Tiedostoja luettaessa tulee varmistaa, että koordinaattijärjestelmä on oikein ja että ohjelma lukee oikeista sarakkeista X-, Y- ja Z-arvot. [5, s. 163.]

Kun ohjelmaan on luettu halutut mittaustiedostot, muodostetaan näistä PFM-tiedosto. PFM-tiedoston voi tarvittaessa luoda myös erillisellä, koordinaatteihin perustuvalla

rajauksella tai ottamalla muodostukseen mukaan vain osan mittaustiedostoista, jos haluaa tehdä pienemmän PFM-alueen kuin millä haetut mittaustiedostot ovat. PFM-tiedosto ehdotetaan tehtäväksi projektille määritettyyn koordinaattijärjestelmään, mutta sen voi tarvittaessa vaihtaa. DMagic näyttää, missä koordinaattijärjestelmässä lähtötiedot ovat ja muuttaa ne haluttuun koordinaattijärjestelmään, joko alussa annettuun PFM-tiedoston koordinaattijärjestelmään tai toiseen tässä vaiheessa annettavaan. [5, s. 164.]

Käyttäjä voi itse vaikuttaa joihinkin PFM-tiedoston luontiparametreihin. Ohjelman voi antaa joko automaattisesti käydä läpi työalueen syvyysarvot minimi- ja maksimisyvyyksien löytämiseksi tai käytettävät minimi- ja maksimiarvot voidaan määritellä itse. Lisäksi määritellään metreinä solun koko, johon ohjelma pakkaa lähtöaineiston. Tämä ei vaikuta alkuperäiseen lähtöaineistoon, vaan se säilyy sellaisella tarkkuudella kuin se on ohjelmaan ladattu. Syvyystiedon resoluution voi valita metristä aina millimetrin tarkkuuteen. [5, s. 164.]

Lisäksi käyttäjä voi halutessaan lisätä maksimissaan kymmenen omaa attribuuttia PFM-tiedoston luontiin. Näin mittaushavainnoille voi antaa jonkun tietyn attribuutin vaikka eri syvyysalueiden perusteella. Lähtödataa voi myös suodattaa tässä vaiheessa hakemalla tietynlaisia pisteitä niiden attribuuttien arvojen perusteella ja antamalla ohjelmalle käskyn joko poistaa tai merkitä mittaushavainto epäilyttäväksi. [5, s. 165.]

PFM-tiedosto tallennetaan halutulla nimellä haluttuun paikkaan. Ohjelma tekee tarvittavat lisätiedostot samaan paikkaan automaattisesti. [5, s. 166.]

3.3 Fledermaus

Syvyyslukujen valinta tehdään Fledermaus-ohjelmalla. Tässä Fledermaus käyttää hyväkseen DMagic-ohjelmalla luotua PFM-tiedostoa. PFM-tiedoston soluissa olevaa tietoa käytetään muodostettaessa säännöllisiä hilamuotoisia syvyysmalleja. PFM-tiedostossa voi myös tarkastella yksittäisiä mittaushavaintoja sekä niiden attribuutteja. [5, s. 113—114.]

Syvyyslukujen valinnan voi tehdä koko PFM-tiedoston alueelle tai sitten eri rajaustyökaluilla tehdyn valinnan alueelle. Fledermaus tekee syvyyslukujen valinnan automaattisesti käyttäen sen omia algoritmeja. Käyttäjä valitsee työalueen lisäksi sen, millä etäisyydellä hän haluaa syvyyslukuja valittavan. Ohjelmassa annetaan haluttu kartan mittakaava, jolloin ohjelma ehdottaa itse minimietäisyyttä valituille syvyyslukuille. Tätä minimietäisyyttä voi myös itse muokata haluamaansa lukuun. [5, s. 124—125.]

Ohjelma käyttää syvyyslukujen valinnassa myös *selection factor* -arvoa, joka on annettu etukäteen. Tätä arvoa voi muuttaa, mutta ohjeissa kehoitetaan jättämään arvo sikseen. Mitä pienempi tämä arvo on, sitä paremmanlaatuinen on valinta, mutta samalla kasvaa työkalun valintaan käyttämä aika. [5, s. 124—125.]

Testatessa eri *selection factor* -arvoja tuli ilmi, että tämä vaikutti lähinnä valittujen syvyyslukujen tiheyteen niin, että pienemmillä arvoilla syvyyslukuja tuli valituksi harvemmin välimatkoin kuin suuremmilla arvoilla. Näin ollen isommat *selection factor* -arvot valitsivat myös syvempiä lukuja. Syvyyslukujen tiheys tasoittui arvosta 10 ylöspäin ja taas selkeästi pieneni arvosta 5 alaspäin.

Ohjelma näyttää voiko valittuja parametreja ylipäättään käyttää syvyyslukujen valinnassa vai pitääkö esimerkiksi syvyyslukujen valinnan minimietäisyyttä muuttaa. Jos valitut parametrit läpäisevät funktion $minimietäisyys > (selection\ factor \times solun\ koko)$, ohjelmalla voi tehdä syvyyslukujen valinnan. Muussa tapauksessa parametreja pitää muuttaa, että ne läpäisisivät funktion. [5, s. 124—125.]

Valinnassa voidaan antaa myös kolme muutakin parametria, joilla voi rajoittaa valittavaksi tulevia syvyyslukuja. Ensimmäisellä parametrilla voi rajoittaa pois käytöstä sellaiset solut, joissa on liian vähän lähtöpisteitä. Arvo annetaan kokonaisarvoina havaintoa/solu. Toisella parametrilla voi asettaa prosentuaalisen minimieron sille, miten kaukana syvyysluvun pitää vähintään olla solun keskimääräisestä korkeudesta. Viimeisenä voi laittaa arvon, jolla rajoitetaan käytettävien lähtötietojen keskihajonta valittua lukua pienemmäksi. [5, s. 126.]

Valitut syvyysluvut voi tallentaa kolmella erilaisella tavalla valitsemalla joko formaatin ASCII XYZ, ASCII XYZ + attribuutit tai NAVO/Caris ASCII [5, s. 118].

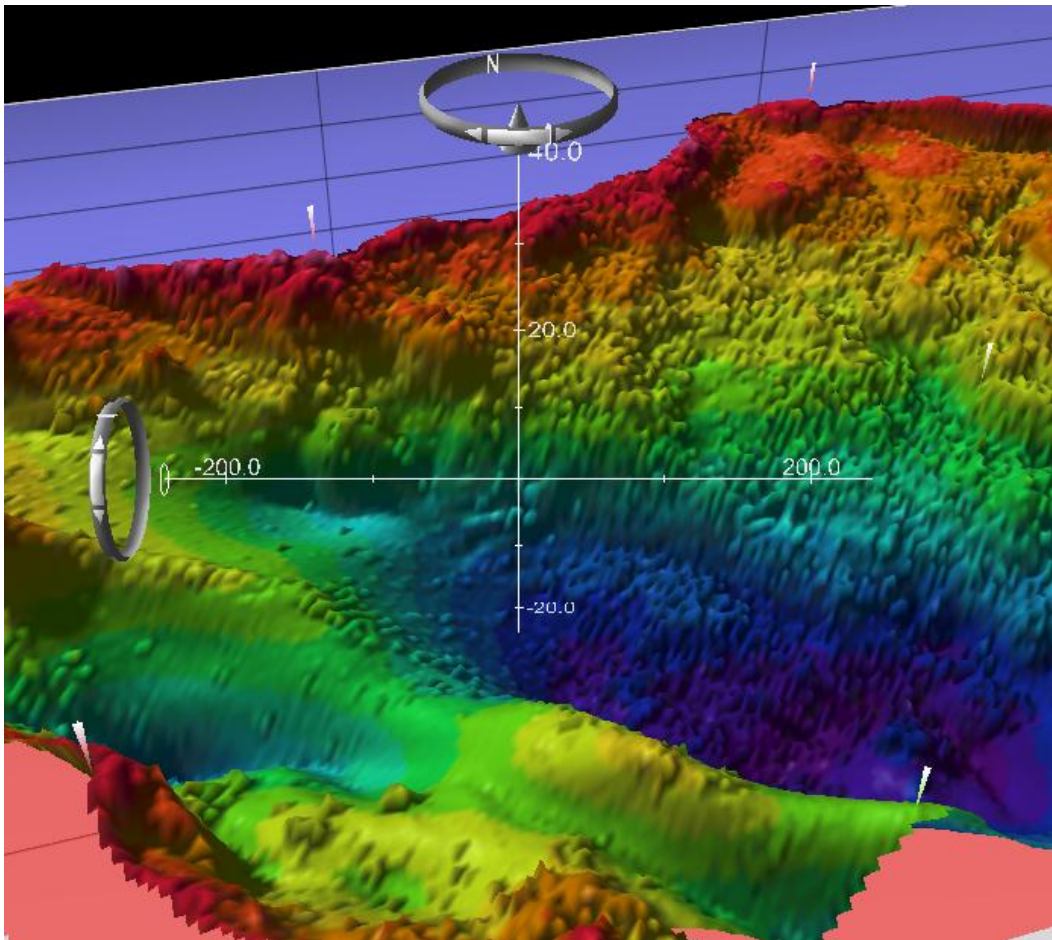
3.4 Fledermaus-ohjelman syvyysmallit

Ohjelmassa käytetyt syvyysmallit ovat grid-malleja, jossa esitettävä pinta muodostetaan funktion $z = f(x, y)$ kautta. Funktiossa olevat x ja y ovat pituus- ja leveyskoordinaateista muodostettu ruutu ja z tietty syvyys, joka esittää tämän kohdan edustavaa syvyyslukua. [5, s. 95] PFM-tiedoston syvyysmalleissa edustava z -arvo voidaan valita kolmella eri tavalla [5, s. 113]. Havaintojen paikat pysyvät tässä oikeilla kohdillaan, ja valittu syvyysluku on siinä kohdassa, jossa kyseinen havaintokin on.

Syvyysmalliin voi halutessaan ottaa mukaan vääriksi havainnoiksi merkatut pisteet tai mallin voi tehdä vain hyväksytyistä pisteistä [5, s. 113—115]. Merikartalla julkaistavien syvyyslukujen valintaa varten valitaan aina käytettäväksi vain hyväksytyjä pisteitä käyttävä syvyysmalli.

Shallow biased -malli tekee syvyysmallin korostaen matalikkoja. Ohjelman algoritmit valitsevat jokaisesta solusta kyseisen solun matalimman arvon. Tällaisesta syvyysmallista tulee kumpareinen. Avarage-malli käyttää mallin teossa jokaisen solun keskiarvoa. Näin ollen se tekee tasaisempaa syvyysmallia, ja siinä korostuvat jonkin verran syvemmät luvut verrattuna *shallow biased* -malliin eli lopputulos on lähinnä kuoppainen. Deep-malli muodostaa selkeästi syvimmän mallin, koska se valitsee esitettäväksi solun matalimman arvon ja näin ollen se on hyvin kuoppainen.

Näin ollen lukujen valintaa merikartoille varten paras syvyysmallin laskentatyyppi on *shallow biased*, koska se on näistä kaikista turvallisimpaan suuntaan muodostuva malli. Kuvassa 5 näkyy *shallow biased* -mallin mukainen syvyysmalli, jossa matalat luvut näkyvät korostettuna kumpareisuutena.



Kuva 5. Fledermaus-ohjelman valitsema syvyyslukuja *shallow biased* -syvyysmallilla

Fledermaus käyttää syvyysmallin hilan kokona aikaisemmin annettua PFM-tiedoston solun kokoa. Solun koolla ei ollut testialueilla suurta merkitystä. Pieniä poikkeamia esiintyi valittujen syvyyslukujen tiheydessä. Pienemmän solukoon syvyysmalli oli valinnut muutaman syvyysluvun enemmän kuin suurempisoluiset mallit. Lisäksi pienemmällä solukoolla tuli poikkeavissa valinnoissa valituiksi yleensä matalampia syvyyslukuja, mutta tässä oli joitakin poikkeuksia. Kaiken kaikkiaan syvyysluvut olivat valittu samojen sääntöjen mukaan.

Solun koon valinta vaikuttaa paljon siihen, miten kauan tietokoneella menee PFM-tiedoston muodostamiseen. Alle viiden metrin koolla PFM-tiedoston tekeminen kesti testikoneella kauan, ja joissain tapauksissa ohjelma kaatui tiedostoa tehtäessä. Viiden metrin solukokoa käytettäessä tiedoston teko-aika oli siedettävä, ja tätä suuremmilla arvoilla ohjelma toimi kutakuinkin yhtä nopeasti.

3.5 Syvyyslukujen valinnan systematiikka

Fledermaus-ohjelman syvyyslukujen valinnan algoritmit eivät ole selkeästi esillä. Fledermaus käyttää syvyyslukujen valintaan vain lähtöaineistoa ja tekee siinä vertailua mittaushavaintojen syvyyksien välillä. Ohjelmaan ei voi syöttää mitään arvoja, jonka välein ohjelma valitsisikin syvemmän mittaushavainnon. Ohjelman algoritmit perustuvat selkeästi matalimman syvyysluvun valintaan. Työalueelta valitaan ensin matalin mittaushavainto, ja sen jälkeen ohjelma lähtee valitsemaan seuraavaksi matalampia mittaushavaintoja pitäen aina kuitenkin valittujen syvyyslukujen välimatkan vähintään käyttäjän antamassa minietäisyydessä. Näin valittujen syvyyslukujen etäisyys voi olla jopa yli kaksi kertaa annetun minimietäisyyden mittainen.

3.6 Ohjelman toimivuus

Ohjelman käyttö on suhteellisen helppoa, ja ohjelma toimii hyvin testikoneella, jossa on Windows XP Professional -käyttöjärjestelmä. Ohjelman käyttöön ja syvyyslukujen valintaan tehtävään työhön on helppo tehdä yksinkertaiset Word-ohjeet tarvittaessa. Näin syvyyslukujen valinnan voi tehdä kuka tahansa Merikartoituksessa työskentelevä, jolla on Fledermaus-ohjelma asennettuna koneelleen sekä jonkinlaista kokemusta paikkatieto-ohjelmien käytössä.

Ohjelman pitäisi olla yhteensopiva Merikartoituksessa käytössä olevan ArcGIS-ohjelmistoperheen kanssa hyvin helposti eli suoraan Fledermaus-ohjelmasta pitäisi olla mahdollisuus tallentaa tietoja ulos shape-muodossa. Tämä ei kuitenkaan testattavana olleella lisenssillä toiminut, koska joistakin lisensseistä puuttuu ArcGIS-yhteensopivuus. Ohjelmalla tehdyt testisyvyyspisteet käännettiin shape-muotoon Excel- ja FME-ohjelmien avulla. Tästä formaattien muutoksesta ei tullut merkittävää ajanhukkaa. Laajemman lisenssin kanssa formaattimuunnokset todennäköisesti toimivat, mutta ongelmaa voi tarvittaessa kiertää samalla tavalla kuin testatessa tehtiin.

Suurilla tiedostoilla ja raskailla laskennoilla ohjelmalla oli taipumusta kaatua. Tämä pitäisi ottaa huomioon työalueita määriteltäessä sekä välttää liian tarkkojen laskentojen tekoa.

Testatessa käytettiin xyz-formaattia, jossa oli mittaushavainnoista vain koordinaattitiedot sekä syvyystiето. Näin ollen eri metatietojen siirtymistä Fledermaus-ohjelmasta ArcGIS-ohjelmiin ei tutkittu. Jos Fledermaus otetaan käyttöön syvyysslukujen valinnassa, tulee selvittää, saadaanko attribuutit siirtymään vai pitääkö ne lisätä myöhemmin ArcGIS-ohjelmassa.

4 Vertailu

4.1 Testialueet

4.1.1 Erilaiset työalueet syvyysaineiston uusimisessa

Automaattista valintaa testattiin kolmelle eri työalueelle. Tavoitteena oli saada havaintoja sellaisilta erityyppisiltä alueilta, joita syvyysaineiston uusimisessa yleensä tulee vastaan. Lisäksi etsittiin alueet, joille olisi vastikään uusittu syvyysaineisto nykyisten ohjeiden mukaan.

Testialueiksi valittiin yksi laajempi avomerialue, yksi syvä, kurunomainen väyläalue rannikolta sekä yksi alue sisävesiltä. Myös eri mittakaavoja pyrittiin saamaan mukaan. Kaikki testiaineisto oli täyspeittävää monikeilainaineistoa, josta tällaisen automaattisen valinnan voi tehdä.

Testattavaksi otetuilta alueilta tehdään myös general-tason karttoja useimmiten mittakaavassa 1:250 000. Syvyysluvut tälle mittakaavatasolle valitaan yleensä suoraan tarkemman mittakaavan aineistosta, koska mittakaavojen pitää olla yhteneväisiä. Syvyysluvuthan pitäisi ohjeiden mukaan valita noin 2,5 kilometrin välein, jolloin testattavaksi tarvittaisiin hyvin iso alue. Tästä syystä tässä työssä ei testattu 1:250 000-mittakaavaa. Jos testaus toimii 1:50 000 mittakaavalla, voidaan automaattista valintaa kokeilla niissä tapauksissa, jos joltain alueelta tehdään vain general-tason karttoja.

4.1.2 Avomeren testialue

Avomerialue on kooltaan noin 5 km x 6 km. Alueella ei ole väylää tai muita karttaan tulevia kohteita, joita pitäisi ottaa huomioon lukuja valitessa, paitsi syvyyskäyrät. Alueella sekä sen läheisyydessä ei ole rantaviivaa eikä kiviä. Matalin manuaalisesti valittu syvyysluku alueella on 10.3 ja syvin 67. Alueella on siis useita sekä

kahdenkymmenen että viidenkymmenen metrin syvyyskäyriä. Alueelta tehtävän kartan mittakaava on 1:50 000.

4.1.3 Rannikon testialue

Rannikon väyläalue sijoittuu kohtaan, josta tehdään sekä satamakarttoja mittakaavoissa 1:20 000 ja 1:10 000 että rannikkokarttaa mittakaavassa 1:50 000. Alueella on sekä syviä että matalampia väyliä, ankkurointialue, turvalaitteita, satama ja laitureita. Sataman kohdalla mittaukset ulottuvat rantaan asti. Mittauksien osalta matalin kartalle esitettäväksi valittu syvyysluku on 4.8. Syvyyspiste-ehdotuksissa matalin arvo on 2.6, mutta tämä havainto on saatu aivan rannasta. Syvin kohta sekä mittauksessa että kartalla tarkimmalla mittakaavalla esitettynä on 32.

Alueella on kymmenen ja kahdenkymmenen metrin syvyyskäyriä sekä kuuden metrin kelluvia käyriä. Usein tällaisilla alueilla ei voi valita syvyyslukuja täysin systemaattisesti tietyn välimatkan välein. Lisäksi samalla alueella eri mittakaavassa olevat kartat täytyy pitää yhdenmukaisina. Jos syvyysluku on kartan mittakaavalla 1:50 000, tulee luvun olla myös tarkemmilla mittakaavoilla.

4.1.4 Sisävesien testialue

Testatulta sisävesien alueelta tehdään karttaa veneilyarjalle. Kartan mittakaava on 1:40 000. Osa mittausalueesta osuu myös spesiaalikartan alueelle, jossa mittakaava on 1:20 000. Mittausalue on noin 3 km pitkä ja 550 metriä leveä alue. Mittausalueella on väylä, kiviä, turvalaitteita sekä saari keskellä mittauksia. Mittaukset myös ylettyvät lähes rantaan asti joillakin paikoilla.

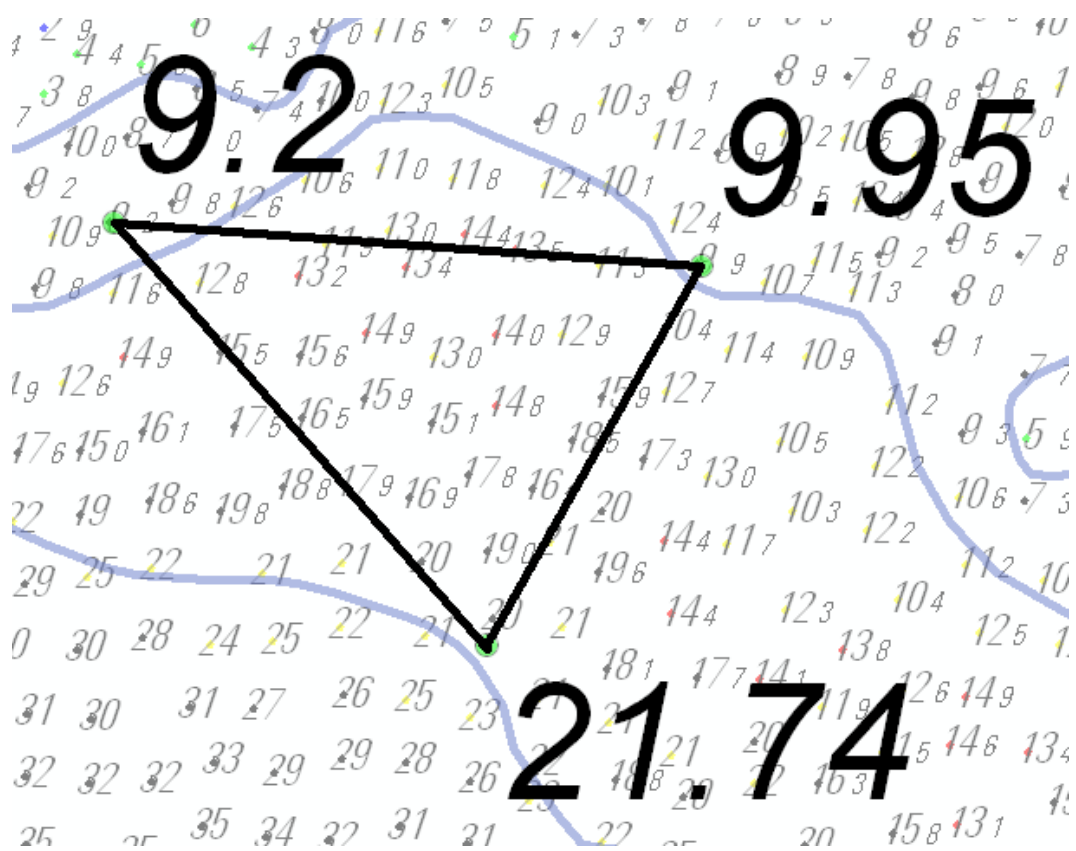
Alueella on syvänteitä 38 metriin saakka, joka on valittuna syvyyslukuna molemmilla mittakaavoilla. Matalin valittu syvyysluku mittauksen alueelta on 2.1 mittakaavan 1:40 000 kartalle ja 1.8 mittakaavan 1:20 000 kartalle. Matalin syvyyspiste-ehdotuksen arvo on 0.2, mutta tämä on lähellä kiveä, joten sitä ei ole valittu kartalle esitettäväksi. Alueella on tehty manuaalisesti valittuihin syvyyslukuihin vertaustasomuutoksista johtuvia vähennyksiä, joten valitut syvyysluvut voivat poiketa metrin kymmenesosan verran syvyyspiste-ehdotuksista.

Koska sisävesien vesialueet ovat kapeita ja sisältävät paljon muutakin karttatietoa, on sieltä yleensä hankala valita syvyyslukuja tasaisin välimatkoin. Kartan muut tiedot tulee ottaa huomioon syvyyslukuja valitessa ja joustaa tarvittaessa syvyyslukujen etäisyyksien suhteen.

4.2 Valittujen syvyyslukujen vertailu syvyyspiste-ehdotuksiin

4.2.1 Luotettavuus

Ohjelma valitsee esitettäviä syvyyslukuja Merikartoituksessa tällä hetkellä käytettävien sääntöjen mukaan. Se ei siis jätä syvyyslukujen väliin matalampia syvyyslukuja kuin matalampi valittu syvyysluku on, ja jos piirretään kolmio lähimpien kolmen syvyysluvun kautta, ei kolmion sisälle jää matalampaa syvyyslukua kuin valittujen syvyyslukujen matalin on, kuten kuvasta 6 voi havaita.



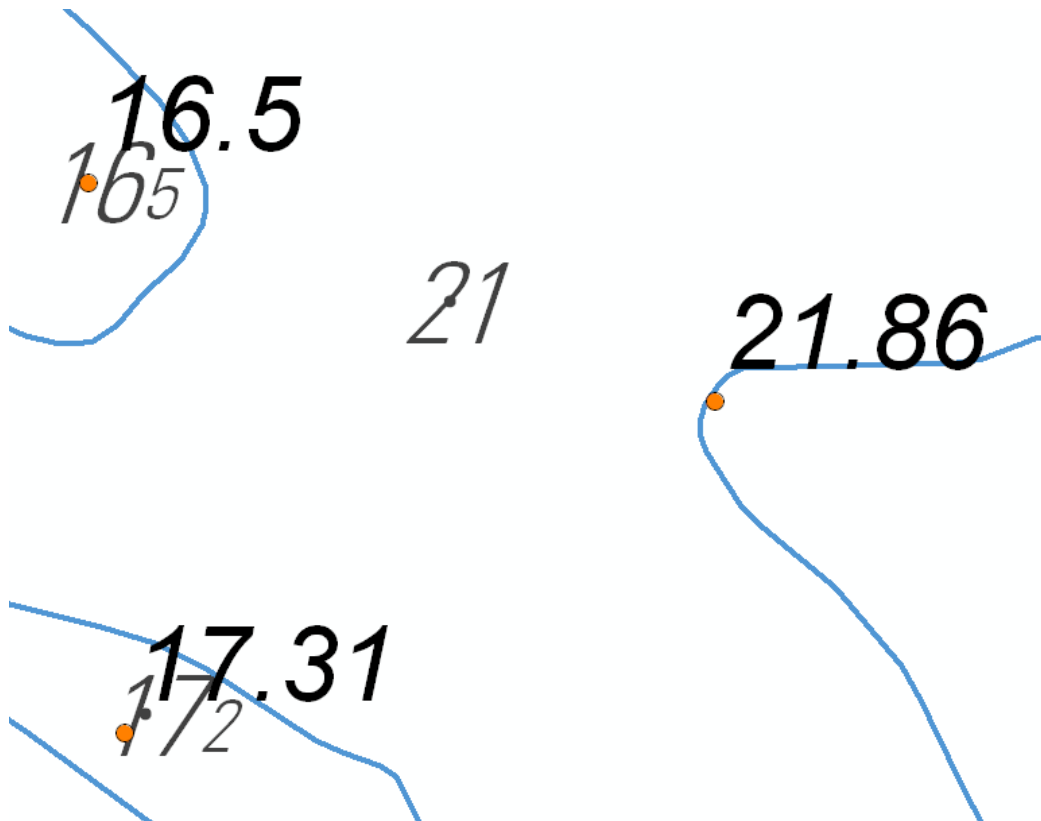
Kuva 6. Fledermaus-ohjelman valitsemat kolme syvyyslukua ja niiden välille piirretty kolmio. Syvyysluvun tarkka kohta merkattu vihreällä pallolla. Taustalla syvyyspiste-ehdotukset ja kartalla olevat syvyyskäyrät.

Ohjelma valitsee syvyysslukuja tiheästä aineistosta, joten se on valinnut joissakin kohdissa syvyyssluvun, jota ei ole syvyysspiste-ehtotuksissa. Näissä kohdissa ei kuitenkaan edelleenkään ollut virhettä.

Ohjelma valitsi erilaisia syvyysslukuja riippuen käytetyistä etäisyyksistä syvyysslukuja valitessa, kuitenkin aina niin, että kaikista matalimmat syvyyssluvut olivat aina valittuna. Tiheydestä riippuen ohjelma jätti valitsematta selkeästi matalamman, melko lähellä olevan syvyyssluvun. Edelleenkään tässä ei ollut varsinaista virhettä kolmiosäännön mukaan.

4.2.2 Sopivuus syvyysskäyriin nähden

Fledermaus-ohjelma ei ota syvyysslukuja valitessa ollenkaan huomioon syvyysskäyriä. Tämän takia valitut syvyyssluvut voivat antaa käyttäjälle väärää tietoa turvallisesta kulkusyvyvyydestä. Esimerkkinä on kuvan 7 tilanne. Avomerialueelta ohjelma oli valinnut syvyyssluvun 17.3. Vieressä oli syvyyssluku 17.2. Tämä oli kolmiosäännön mukaan oikein, koska syvyyssluku 17.2 oli syvyyssluvusta 17.3 matalamman syvyyssluvun 16.5 suuntaan. Kuitenkin muuta syvyyssi-tietoa katsottaessa syvyyssluku oli väärin, koska kyseessä oli erillinen, alle 20 metrin matalikko ja näin ollen syvyyssluku 17.2 jäi syvyyssluvun 17.3 ja 20 metrin syvyysskäyrän väliin. Tällaisten tilanteiden varalta asiantuntijan tulisi tarkistaa huolellisesti kaikki erilliset matalikot, jos ohjelman valitsemat syvyyssluvut ovat käytössä.



Kuva 7. Kuvassa oranssien pallojen kohdassa paksummalla tekstillä Fledermaus-ohjelman valitsemat syvyysluvut, ohuemmat luvut kartalla olevia syvyyslukuja ja syvyyskäyrät kartalla olevia 20 metrin syvyyskäyriä.

Lisäksi ohjelma valitsee aika ajoin syvyysluvun syvyyskäyrän kohtaan. Nämä syvyysluvut pitäisi poistaa manuaalisesti ja tarvittaessa valita korvaava syvyysluku läheltä valittua syvyyslukua syvyyskäyrän jommallekummalle puolelle.

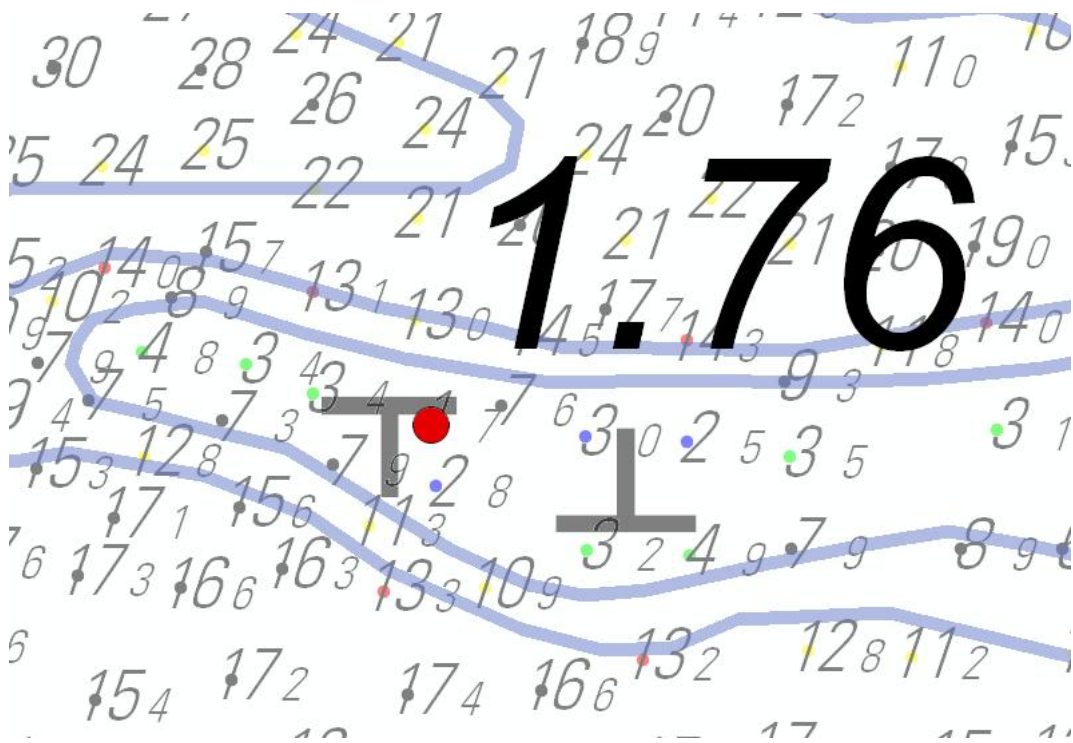
4.2.3 Sopivuus muuhun syvyysaineistoon nähden

Ohjelma ei ota huomioon mittauksen ulkopuolella olevia syvyyslukuja. Näin ollen asiantuntijan pitäisi käydä vielä manuaalisesti läpi reuna-alueet ja katsoa, onko ulkopuolella matalampia syvyyslukuja, jotka korvaavat liian lähelle valitun uuden syvyysluvun.

Automaattisessa valinnassa käytetyn työalueen reunat tulisi myös käydä läpi siinä tapauksessa, jos tekisi uuden työn edellisen viereen. Tällöin pitäisi varmistaa, että valitaan aina matalin syvyysluku riippumatta siitä, missä järjestyksessä alueet ja työt olisivat tehty. Ongelmaksi voi myös muodostua poikkeava tiheys kahden alueen yhdistävällä reunalla, kun ohjelma kuitenkin valitsee syvyyslukuja samalla tiheydellä

molemmilta reunoilta. Tätä ongelmaa voidaan pienentää sillä, että Fledermaus-ohjelmassa käsitellään mahdollisimman isoja työalueita, kuitenkin ohjelman ja tietokoneen suorituskyvyn asettavilla rajoituksilla.

Ohjelma ei huomioi kartalla esitettäviä, joko ennestään olevia tai lähtötiedoista tulevia uusia kiviä, kuten kuvasta 8 käy ilmi. Jos syvyysluku ja kivi ovat kartografisesti liian lähekkäin toisiaan, poistetaan syvyysluku ja jätetään kivi, koska se varoittaa merenkulkijaa enemmän vaarallisesta alueesta. Testialueista kiviä oli nyt vain sisävesien mittausten läheisyydessä, mutta ongelma on yleinen myös merellä useiden väylien ja rantojen läheisyydessä. Nämäkin ristiriidat pitäisi korjata asiantuntijan toimesta joko poistamalla syvyysluku kokonaan tai valitsemalla toinen syvyysluku kauempaa tilalle, jos se nähdään tarpeellisena.



Kuva 8. Ohjelma on valinnut punaisen pisteen kohdalta esitettäväksi syvyysluvun 1.7 huomioimatta alueella olevia kiviä.

4.2.4 Sopivuus muihin kartan kohteisiin nähden

Valittaessa merikartalla esitettäviä syvyyslukuja tulisi ottaa huomioon myös muita kartalla olevia kohteita kuin pelkkää muuta syvyysaineistoa. Tällaisia asioita ovat mm. rantaviivat ja väylätiedot.

Aivan rantaviivan läheisyyteen ei yleensä ole hyvä valita syvyyslukua. Kapeilla mitta-alueilla, jotka yltyvät joko ihan rantaan tai lähelle sitä, tulevat mittausten matalimmat mittaushavainnot juuri rannan läheisyydestä. Näin ollen Fledermaus valitsee esitettävät syvyysluvut usein sieltä, vaikka ne ovat kartografisesti huonoja ja merikartan käyttäjän kannalta turhia.

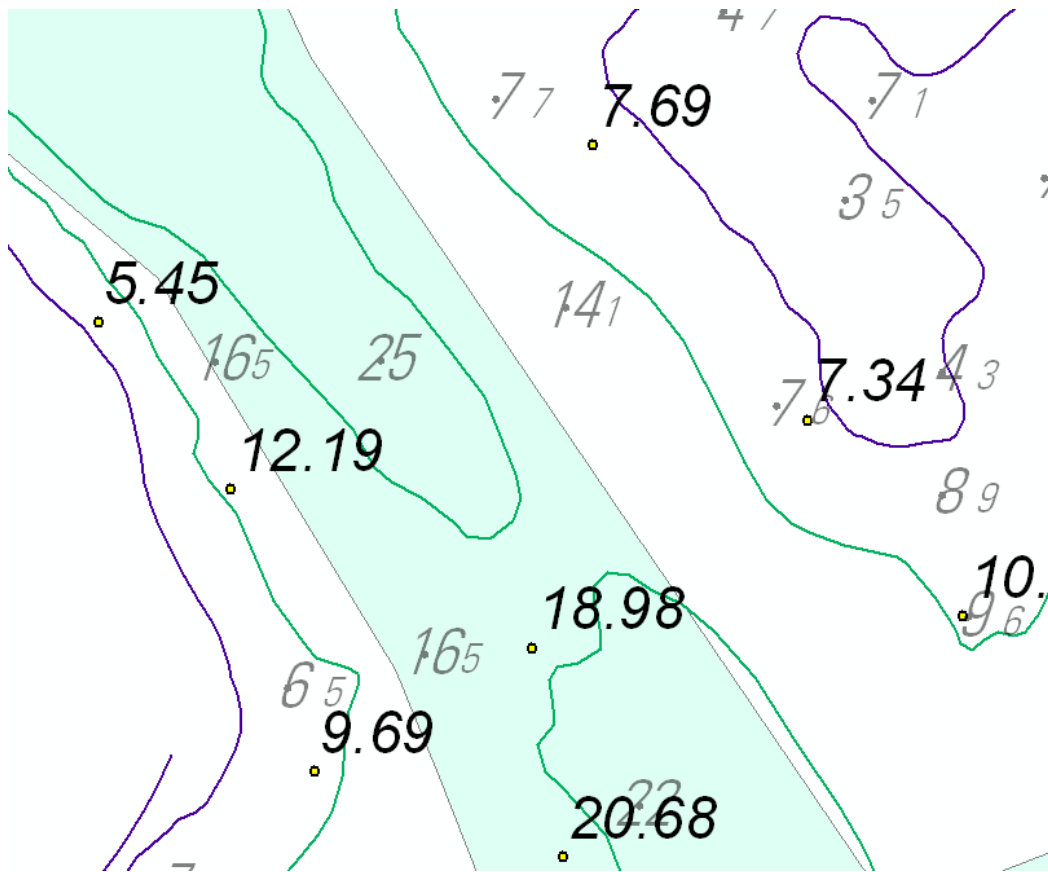
Ohjelma ei osaa lisätä tiheyttä väyläalueilla eikä niiden läheisyydessä. Lisäksi ohjelmaa ei saa huomioida väylän harausvyvyyttä tai kulkusyvyyttä tärkeiden syvyyslukujen valitsemiseksi. Ohjelma ei myöskään huomioi mahdollisia turvalaitteiden rakenteista tulleita havaintoja.

4.3 Erot manuaalisesti valittuihin syvyyslukuihin

Syvyyslukujen valinnassa ohjelma ei ota huomioon sellaisia asioita, joita asiantuntija huomioi. Tässä näkyvät ohjelman puutteet.

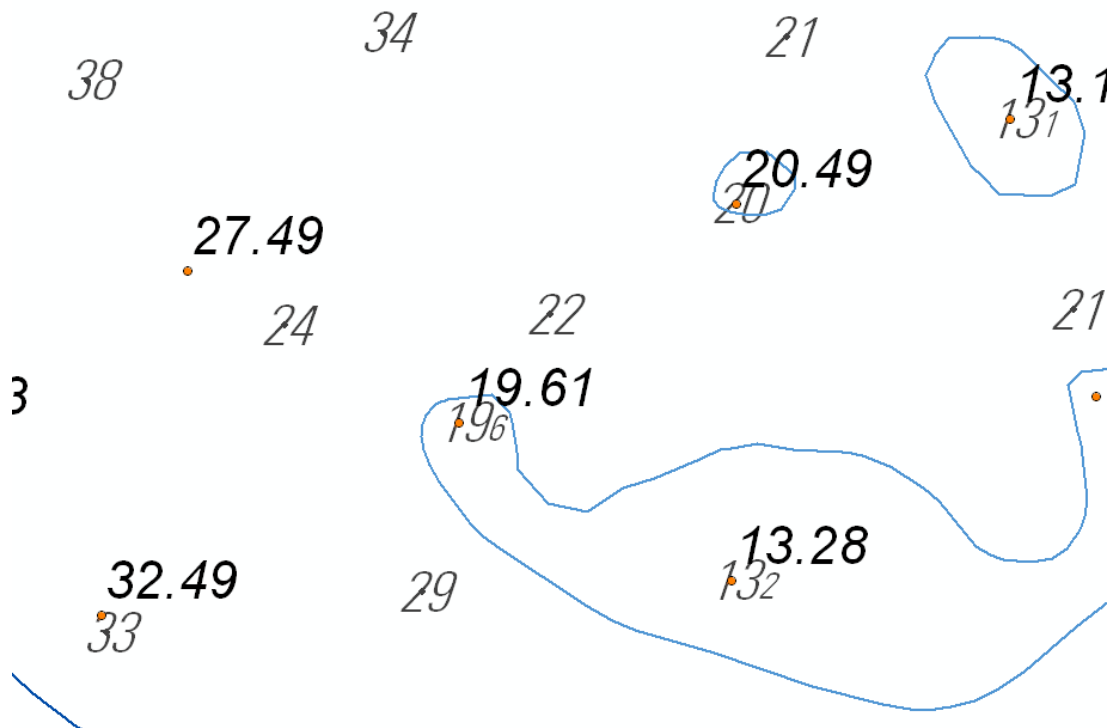
Koska asiantuntija pyrkii työssään aina esittämään pohjan muodon navigoinnin näkökulmasta parhaalla mahdollisella tavalla, näkyy manuaalisesti valituissa syvyysluvuissa syvänteitä, joita Fledermaus ei valitse näytettäväksi ollenkaan. Tässä tietysti vaikuttaa myös se, miten tiheästi Fledermaus-ohjelmassa on valittu haettavaksi syvyyslukuja. Testialueilla muuten kartografisesti hyvällä tiheydellä valituissa syvyysluvuissa ei saavutettu sellaista tilannetta, että ohjelma olisi valinnut myös syviä syvyyslukuja. Syvänteet näkyivät vasta aivan liian tiheästi tehdyillä valinnoilla.

Asiantuntija käyttää matalia syvyyslukuja sekä korostaakseen navigoinnin näkökulmasta vaarallisia ja huomioon otettavia paikkoja että näyttääkseen paremmin pohjan muotoja. Ohjelma ei osaa huomioida ollenkaan esimerkiksi väyläalueiden erityistarpeita. Kuva 9 on rannikon testialueelta, jossa on tässä kohdassa 16,5 metriin varmistettu väylä. Asiantuntija on valinnut väylälle syvyyslukuja, jotka korostavat väylän matalimpia kohtia. Lisäksi asiantuntija on esittänyt väylän läheisyydestä esimerkiksi syvyysluvun 14.1, joka on kriittinen syvyysluku väylän kulkusyvyydellä kulkevien laivojen kannalta, jos laivojen jostain syystä pitää väistää pois väylältä.



Kuva 9. Väylän, jonka haraussyvyys on 16.5, esitetty vaalean vihreällä. Vaaleat syvyysluvut asiantuntijan valitsemat, tummat luvut Fledermaus-ohjelman valitsemissä syvyyslukuja.

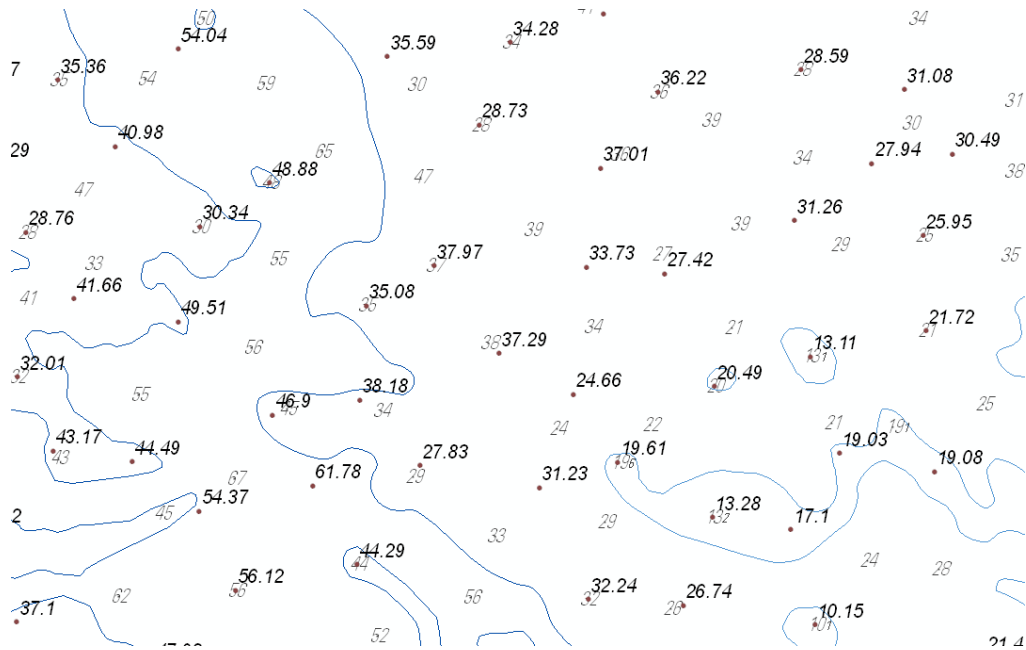
Kolmiosäännön mukaan ohjelman valitsemat syvyysluvut ovat oikein, mutta pohjan muotoa kuvatessaan asiantuntija on esittänyt vielä matalamman syvyysluvun läheltä ohjelman valitsemaa syvyyslukua, kuten kuvassa 10, tai valinnut saman syvyysluvun pohjan muotoa paremmin esiin tuovasta kohdasta. Tällaiset eroavaisuudet olivat hyvin tyypillisiä automaattisten valintojen ja manuaalisesti tehtyjen valintojen välillä.



Kuva 10. Asiantuntija on valinnut syvyyssluvun 24 korostamaan matalikon jatkumista.

Ohjelma ei ota huomioon paikkoja, joihin ei ole hyvä valita syvyysslukua, esimerkiksi väylämerkintöjen tai syvyysalueella sijaitsevien laitteiden, kuten turvalaitteiden päälle tai läheisyyteen. Näissä kohdissa asiantuntija pyrkii etsimään paremman paikan valita syvyyssluku, jos se vain on turvallisuus huomioon ottaen mahdollista. Tarvittaessa voidaan tietysti käyttää siirrettyä syvyysslukua, mutta se kuormittaa aina kartantuotantoa rastereiden tekemisen vaiheessa.

Sopivassa syvyysslukujen valinnan tiheydessä oli jonkin verran hakemista. Asiantuntijoiden kartan mittakaavalla 1:50 000 käyttämä 500 metriä ei toiminut Fledermaus-ohjelmassa, koska Fledermaus pitää tätä minimivälinä, kun taas asiantuntija hakee parhaiten edustavan syvyyssluvun noin 500 metrin päästä. Asiantuntijan kanssa samansuuntaiseen tiheyteen Fledermaus pääsi avomerialueella 400 metrin minimietäisyydellä. Tässäkin tapauksessa syvyyssluvut olivat epätasaisemmin kuin asiantuntijan valitsemina ja varsinkin syvemmillä alueilla syvyysslukujen väliin jäi pitkiä etäisyyksiä. Kuvassa 11 näkyy eroavaisuus asiantuntijan käyttämän 500 metrin keskimääräisen etäisyyden ja Fledermaus-ohjelman käyttämän 400 metrin minimietäisyyden välillä.



Kuva 11. Tummemmalla Fledermaus-ohjelman valitsemat syvyysluvat minimietäisyydellä 400 m, vaaleammalla asiantuntijan valitsemat syvyysluvat.

Ohjelma valitsee syvyysluvat aina minimietäisyyden perusteella. Kun valitaan eri mittakaavoille eri minimietäisyyksiä, tulee näissä yhteisiksi valinnoiksi pääasiassa vain aivan matalimmat syvyysluvat. Epätarkemmalle mittakaavalle tulee näin ollen syvyyslukuja, joita ei ole tarkemmalla mittakaavalla esitetty. Tämä ei ole syvyyslukujen luotettavan valinnan kannalta virhe, mutta se on vastoin nykyisiä ohjeita mittakaavojen yhtenäisyydestä.

4.4 Lukujen käyttökelpoisuus

Asiantuntijoiden mielestä avomerellä tehdyistä testeistä saatiin kartan navigointikäytön kannalta havainnollisesti sekä hyvännäköisiä että huononäköisiä syvyyslukuvalintoja. Ainakin yksi avomerialueille tehty testivalinta oli sellainen, jota asiantuntijat voisivat käyttää apuna työskentelyssä. Tiheys oli tässä valinnassa hyvä, ja vaikka osa syvyysluvuista menikin syvyyskäyrien päälle, ei näiden kohtien jälkikäteistä manuaalista korjaamista koettu liian työläänä.

Kapeilla työalueilla tehdyt syvyyslukuvalinnat eivät olleet asiantuntijoiden mielestä havainnollisia. Syvyysluvat oli joissakin testeissä hyvällä tiheydellä valittu, mutta ne eivät olleet muuten havainnollisia. Näillä alueilla asiantuntijat eivät käyttäisi tämäläisiä automaattisesti valittuja syvyyslukuja vaan tekisivät syvyyslukujen valinnan edelleen manuaalisesti.

Asiantuntijat voisivat ottaa avukseen automaattiset syvyysluvut avomerialueilla. He korjaisivat käyrien läheiset luvut ja tarkastaisivat matalat alueet aina 25 metrin syvyyteen asti, jotta suurimpaan osaan aluksia vaikuttavat syvyydet tulisi huomioiduksi.

5 Lopputulokset

Ohjelma on helppo ja nopea käyttää. Jos sen tiedonsiirron saa sujumaan toimivasti, ohjelma soveltuu käytettävyytensä puolesta Merikartoituksessa olevien ohjelmien joukkoon. Käytettävät parametrit pystytään valitsemaan niin, että tietokoneet suoriutuvat toiminnoista ja saadaan silti valittua tietyin ehdoin navigoinnin näkökulmasta turvallisia syvyyslukuja.

Ohjelma toimii kolmiosäntöä noudattaen. Se ei kuitenkaan riitä valittaessa syvyyslukuja merikartoille. Jos ohjelman valitsemat syvyysluvut otettaisiin käyttöön Merikartoituksen karttatuotannossa, tulisi vielä asiantuntijan käydä läpi käyrien läheisyydessä olevat syvyysluvut joko poistaen ja tarvittaessa uudelleen valiten käyrien päällä olevat syvyysluvut sekä tarkistaen matalikoista, onko ohjelma valinnut sittenkin syvemmän syvyysluvun verratessaan matalikon syvyyslukua seuraavaan matalikkoon.

Lisäksi pitäisi käydä läpi työalueen reunoille valituiksi tulleet syvyysluvut ja verrata niitä vierekkäisiin alueisiin sekä tarvittaessa vanhoihin syvyyslukuihin. Tätä työtä voidaan vähentää tekemällä mahdollisimman isoja työalueita ja välttämällä lopputuloksen kannalta epäolennaisten tarkkojen parametrien käyttöä.

Kapeilla mittausalueilla ja alueilla, joilla pitää syvyyslukujen valintaan kiinnittää erityistä huomiota, syvyyslukujen automaattinen valinta tällä menetelmällä ei toimi niin hyvin, että sillä saavutettaisiin ajansäästöä. Myöskään tarkemmilla mittakaavoilla ei päästä yhtä laadukkaisiin syvyyslukuvalintoihin kuin asiantuntijan valitsemat syvyysluvut, koska tarkemmat kartat ovat yleensä erityistä huomiota vaativilta alueilta. Ohjelma ei osaa valita samoja syvyyslukuja eri tiheydelle valituista syvyysluvuista, jolloin mittakaavoille tulisi eroavia syvyyslukuja ja mittakaavat eivät näin olisi yhdenmukaisia.

Jos ohjelma on muutenkin käytössä Merikartoituksessa, voitaisiin sillä tehdä valintaehdotuksia laajoille merialueille, joissa olisi vähän päällekkäisiä mittakaavoja. Asiantuntija voisi luottaa syvyyslukujen turvallisuuteen käyrien välissä ja tarvittaessa tarkistaa kohdat, joista on testatessa ilmennyt virheitä, sekä kohdat, joihin pitäisi

muutenkin kiinnittää erityishuomiota. Lisäksi, jos ohjelma jättää syvänteisiin syvyyslukuja valitsematta, tulisi näihin käydä valitsemassa muutama pohjaa havainnollistava luku. Tätä jäljelle jäävää työtä ei koettu liian suurena suhteessa automaattisista luvuista saataviin hyötyihin.

Parhaiten syvyystiedon uusimisen aliprosessia auttaisi sellainen ohjelma, joka ottaa huomioon syvyyskäyrät sekä valitsisi syvyyslukuja muutenkin lähes samankaltaisesti kuin asiantuntija. Tällaisen ohjelman pitäisi olla käyttökelpoinen myös sisävesillä, väyläalueilla ja niiden läheisyydessä sekä saaristossa ja muutenkin rantaviivojen läheisyydessä.

Siinä tapauksessa, että ohjelman valitsemaa syvyyslukuja käytettäisiin ajan säästämiseksi, tulisi myös hyväksyä se, etteivät syvyysluvut ole samantasoisella tiheydellä valittu kuin asiantuntijan valitsemat syvyysluvut eivätkä ne esittäisi pohjan muotoja yhtä hyvin kuin asiantuntija.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyössä selvitettiin mahdollisuutta korvata asiantuntijoiden manuaalista työtä Fledermaus-ohjelman automaattisella syvyyslukujen valinnalla. Täysin asiantuntijan työtä korvaavaksi ohjelmaksi Fledermaus-ohjelman tästä versiosta ei ole, mutta sitä voisi käyttää aputyökaluna avomerialueilla, joissa ei ole paljon muita karttakohteita eikä enempää kuin kaksi erilaista mittakaavaa.

Ohjelmaa voi käyttää toissijaisten syvyyslukujen valintaan, jos se on taloudellisesti järkevää. Parhaiksi havaituilla parametreilla voisi tehdä valintaehdotuksia avomerialueille mitta-alueille. Tällaisia valintaehdotuksia olisi helppo tehdä useampia. Asiantuntija voisi valita käyttöön tiheydeltään sopivimman ehdotuksen ja tehdä tähän tarkastukset matalikoille sekä syvyyskäyrien läheisyydessä oleville syvyysluville. Varsinkin tuleville työalueille, joilta tehdään vain general-tason karttoja, voisi suositella tällä ohjelmalla tehtyjä valintaehdotuksia.

Ennen valintaehdotusten käyttöönottoa tulisi testata tiedonsiirtoa suoraan Fledermaus-ohjelmasta ArcGIS-ohjelmiin. Tiedonsiirto-ongelman voi tarvittaessa kiertää käyttämällä FME-ohjelmaa formaattimuunnoksen tekemiseen. Tällöin pitäisi huolehtia siitä, että kaikille työntekijöille, jotka tekevät automaattisia valintoja, asennettaisiin myös FME-ohjelma. Lisäksi tulisi selvittää, miten syvyysluville saadaan tarvittavat attribuutit, kuten tieto mittauksesta sekä tieto siitä, että syvyysluvun valinnassa on käytetty automaattisesti valittuja syvyyslukuja.

Suuremmassa määrin asiantuntijoiden manuaalista työtä korvaavan ohjelman pitäisi olla sellainen, joka ottaisi syvyyslukujen valinnassa huomioon syvyyskäyrät niin, ettei tulisi syvyyslukuja käyrien päälle tai välittömään läheisyyteen ja että ohjelma myös käyttäisi syvyysmallin luonnissa sekä syvyyskäyriä että syvyyslukuja tai havaintoja. Ohjelman pitäisi myös saavuttaa nykyistä käytäntöä vastaava tiheys tai tarvittaessa sillä pitäisi olla helppo tehdä erilaisella tiheydellä tehtyjä syvyyslukuvalintoja. Lisäksi tällaisessa ohjelmassa olisi hyvä olla lisäparametreja niin, että tarvittaessa saataisiin

valittua väylän harausvyödyden ja kulkusyvyödyden kannalta merkittävimmät luvut väyliltä sekä niiden läheisyydestä.

Olisi suositeltavaa siis jatkaa tällaisten ohjelmien testaamista. Tämän työn lopputuloksia voi käyttää hyväksi muita vastaavaan tarkoitukseen suunniteltuja ohjelmia testatessa vertaamalla testituloksia tämän työn yhteydessä saatuihin tuloksiin.

Lähteet

- 1 Laki Liikennevirastosta 13.11.2009/862.
- 2 Merikartoituksen toimintajärjestelmä. 2011. Liikenneviraston sisäinen verkkodokumentti.
<http://liiviweb01/QPR81/Portal/qpr.dll?QPRPORTAL&*prmv&SES=sFat5081og7fKYzs&FMT=p&LAN=en%u002c1&DTM=>> Luettu 18.1.2012.
- 3 Fledermaus Reference Manual, Version 7.
- 4 Silvennoinen, Jenni. 2011. Syvyysaineiston käsittely -ohje. Sisäinen ohje. Liikennevirasto.
- 5 Taavitsainen, Liisa. 2012. Tarkastaja, Liikennevirasto, Helsinki. Keskustelu 10.2.2012.
- 6 Rosqvist, Mikael. 2012. Tarkastaja, Liikennevirasto, Helsinki. Keskustelu 23.2.2012.
- 7 Zoraster, Steven & Bayer, Stephan. 1992. Automated cartographic sounding selection. Verkkodokumentti. International Hydrographic Review.
<<http://www.austinsubsurfacedmodeling.com/publications/pub-automated.html>>. 5.6.2007. Luettu 22.2.2011.
- 8 Baqué, Amandine & Spoelstra, George. 2012. Improvement of spot sounding selection for nautical charts and ENCs. Verkkodokumentti. ENSTA & Atlis.
<<http://www.conference.co.nz/files/docs/shallow%20survey/presentations/33.pdf>> Luettu 26.3.2012.
- 9 Silvennoinen, Jenni. 2011. Kivien käsittely syvyysaineistotyön yhteydessä SYVÄ-järjestelmällä. Sisäinen ohje. Liikennevirasto.
- 10 Wise, Stephen. 2002. GIS Basics. London. Taylor & Francis.
- 11 Worboys, Michael & Duckham, Matt. 2004. GIS: A Computing Perspective. 2nd ed. Boca Raton. CRC Press.