

SIKUKI

QAARTITSINERMIT IMMAP ILUANI NIPI

ADRESSE COWI A/S
Vestre Stationsvej 7
5000 Odense C

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

SULIAMUT ATATILLUGU ALLAKKIAQ - NUUMMI KILISAATINUT
UMIARSUALIVIUP PILERSAARUTIGINEQARTUP
SANAARTORNEQARNERANUT ATATILLUGU QAARTITERINISSAMUT
PILERSAARUT.

IMARISAI

1	Eqikkaaneq	2
2	Inerniliiineq – tusaasoqatigiit aamma sumiiffiit sunnerneqarsinnaasut	3
3	Aallaqqaasiut	7
4	Tusaasoqatigiit aamma nipi pillugu piumasaqaatit	8
5	Periaatsip allaaserinera	9
5.1	Sonar-ligningen	9
5.2	Qaartitsinermit nipi pilerfia	10
5.3	Imaq pillugu ilisimatusarneq aamma immap naqqa	15
5.4	Nipi siaruarneranik piviusuusaartitsilluni ilusiliiineq	22
5.5	Nipimik sakkukillisaaneq	25
6	Inernerit	25
7	Inaarutaasumik oqaaseqaatit	25
8	Litteratur	26

PROJEKTNR.

A246375

DOKUMENTNR.

A246375-VVM-TN-03

VERSION

2.0

UDGIVELSESDATO

2024-04-05

BESKRIVELSE

Notat

UDARBEJDET

RSLN/FMSZ

KONTROLLERET

MNLR

GODKENDT

BOLN

1 Eqikkaaneq

Suliamut atatillugu allakkiami matumani allaaserineqarpoq nalilersorneqarlunilu Nuup umiarsualiviani immap naqqani qaartiterinermit nipip imartanut avatangiisaasunut siammartarnera.

Suliamut atatillugu allakkiaq, imaani uumasut miluumasut assigiinngitsut nipimik sunnerneqartarnerat pillugu nalilersorneqarneranni tunngavinnut ilaavoq, Nuummi umiarsualiviup allilerneqarnissaanut pilersaarummut atatillugu Avatangiisinut Sunniutinut Nalilersuinermit. *NUUMMI UMIARSUALIVIMMIK ALLILERINEQ - KILISAATINUT UMIARSUALIVIK Avatangiisinut Sunniutinut Nalilersuineq (VVM) (COWI, 2024).*

Nuup umiarsualiviani kilisaatinut umiarsualivik nutaaq pilersaarutaavoq Qeqertaq Avallermi, containerersorluni umiarsualiviup kujatinnguaniittumi. Kilisaatinut umiarsualivissaq pilersaarutaavoq containerinut umiarsualiviup kujatinnguani, tassa umiarsualivik kujammut 300 meterinik tallillugu.

Suliasami pisariaqarpoq immap naqqani qaartitsisarnissaq, immap naqqani itersamik, talittarfiup iigartassarsuisa (spuns-it) nappartiterfissaannik.

Immap iluani qaartitsinerit nipaannit avatangiisit sunnerneqartarput, uumasut, pingaartumik imaani miluumasut aalisakkallu eqqarsaatigalugit. Uumasut tusaasaqarsinnaassusiat nalinginnaasumik nipip naqitsinerata maligaasaanit pisarpoq. Imaani uumasut miluumasut tusaasaqarsinnaassusiat aallaavigalugu "tusaasaqatigiinnut" immikkoortinneqartarput. Tusaasaqatigiit tamarmik immikkut nipip maligaasaannut sunnertittarnerat assigiinngilaq aamma killissat naligi tusaasaarutivinnissamut (PTS) aamma tusaasaarukkallarnermut (TTS)-imut. Misissuinermit matumani tusaasoqatigiit eqqarsaatigineqartut makkuupput:

- > Low Frequency cetaceans (LF), assersuutigalugu qipoqqaat
- > High Frequency cetaceans (HF), assersuutigalugu kigutilissuit
- > Very High Frequency cetaceans (VHF), assersuutigalugu niisat
- > Phocid Carnivore in Water (PCW), assersuutigalugu natsiit

Immap iluani nipip siaruartarnera pisarpoq immakkut aamma immap naaqatigut, immallu itissusia (batymetri), immap naqqani atortussiat suungaluarnersut piginnaasaat immamilu pissutsit allat aamma apeqqaasarlutik. Pissutsit tamakku nipip maligaasaanut assut atassuteqarput. Taamaattumik aamma imartani sammineqartuni tusaasaqatigiit tamaaniittut eqqarsaatigalugit nipip maligaasaasaqanoq siaruartarnerat piviusuusaartitamik ilusilersorneqarsimavoq.

Inertera Tabel 2-1-mi aamma Figur 2-1-mi Figur 2-4-mullu takuneqarsinnaavoq, tusaasaqatigiinnut imaani uumasunut miluumasunut aalisakkanullu assigiinngitsunut sumiiffiit sunnerneqarsinnaaffiat. Titartakkap takutippaa, tusaasaqatigiinnut pineqartunut killililiussat qaangerneqarsimarnersut, tassa tusaasaqatigiit sunnerneqarfigisinnaasaat. Tabel-ip kisitsisit takutippai, sunnerneqarfiusinnaasup radiusia annerpaaq, tassani qaartitsiffimmiit sunnerneqarfiup killiffianut ungasissuseq naatsorsuutigalugu.

Tassa sunnerneqarfiit tamakku ilanngunneqassapput Avatangiisinut Sunniutiunut Nalunaarutip tusaasaqatigiinni uumasut assigiinngitsut

sunnerneqarfigisinnaasaat pillugit nalilersuinermi. Nalilersuinermi tassani ilaatinneqassapput uumasoaqatigiit assigiinngitsut sumiiffimmi tamaani uumasuusut. Qaartiterinermi periaatsit assigiinngitsut atorneqassapput, ataatsimoorlutik uumasunik tamakkuninnga sunniineq annikinnerpaaffianiitinniarlugu.

Periaaseq atorneqartoq:

Qaartiterinissamut pilersaarut suliamut atatillugu aallaaserisami *Nuummi umiarsualiviup allilerneqarnera*-ni allaaserineqarsimavoq. *Kilisaatinut umiarsualivik. Immap naqqani qaartiterinissamut pilersaarut*(COWI, 2024a): Immap naqqani itersaq 300 meterisut takitigisoq 4-5,5 meterinillu (immap naqqanit naatsorsuullugu) ititigisoq qaartiterinikkut pilersinneqassaaq. Tamanna immap naqqani 70-ierarluni qaartitsinissamik pisariaqartitsivoq, qaartitsiffissami ataatsimi putut qaartitsiffiusussat 28-iusassallutik. Naatsorsuutigineqarpoq ullup unnuallu ingerlanerani annerpaamik ataasiaannarluni qaartitsisoqartarnissaa. Pilersaarummi allaaserineqarpoq qaartartut suut atorneqarnissaat, qanoq annertutigisut aamma tamakku pillugit teknikkikkut paasissutissat, ilanngullugit pinngitsoortitsiniaassutit assigiinngitsut, ilaatigut puaasartitsilluni assiaqutit qaartitsisoqarnerani qaartitsiffik unngullugu assiaqutit atorneqartussat.

Immap iluani nipip akustiskiusup aallaaviata sakkortussusia naatsorsorneqassaaq qaartiterinissamut pilersaarummi teknikkikkut paasissutissat tunngavigalugit, aamma tamaani siusinnerusukkat taamaaqataanik qaartiterisarsimanermi misilittakkat, atortussiat taamaaqataa, kiisalu paasissutissat naqitaniittut qarasaasianilu database-niittut.

Immap iluani nipip siaruarternera aamma piviusuusaartitsineq aallaavigalugu ilusilersorneqarsimavoq, qarasaasiakkut atortorissaarut software dBSea atorlugu. Taamatut ilusilersuinermi ilaatinneqarput, nipip aallaaviata sakkortussusiat saniatigut, umiarsualiviup tamaaniittup itissusia, immap naqqata sananeqaataa aamma akustiskimik piginnaasai, kiisalu immap akustiskimik piginnaasai. Nipip siammarnissaanut naatsorsukkat ilaatinneqassapput nipip naqitsinerata maligaasiorneranut aamma uumasunut imarmiut miluumasut tusaasaqatigiaanut aamma aalisakkanut, akustisk-imik piumasaqaatit. Ilusilersuinermi atorneqarpoq nalinginnaasumik periaaseq ingattarsinngitsoq.

Taava nipip qaffasissusai assigiinngitsut pillugit isorartussutsit sammiviillu naatsorsorneqassapput, immallu assingani titartorneqarsinnaapput killeqarfiit tusaasaqatigiit immikkoortillugit sunnerneqarfiusinnaasut assigiinngitsut.

2 Inerniliineq – tusaasoqatigiit aamma sumiiffiit sunnerneqarsinnaasut

Immikkoortumi matumani naatsorsuinerit inernerit takutinneqarput, tamatumani qaartitsivimmi 28-nik putulimmi, putut tamarmik immikkut 20 kg. Eurodyn 3000-nik qaartiterutitallit qaartinneqarneranni, immap iluani nipi aallaavigineqarluni. Nipi sakkukilliskikumallugu matumani naatsorsuutigineqarpoq puasartitsilluni assiaqutit marloqiusat atorluarsinnaasut atorneqassasut. Inernerit tunngaveqarput akustisk-imut uuttuutit SEL aamma nipip naqitsinerata

sakkortussusia Peak, nalilersorneqarsimallutillu uumasunut imarmiunut milu-umasunut tusaaniarnikkut akornuserneqarsinnaanermut tunngasut, kiisalu aalisakkanut taamatut (takuuk immikkoortoq 4).

Tulliuttuni PTS (Permanent Threshold Shift) isumaqartinneqassaaq ataavartusamik tusaasinnaajunnaanertut, TTS (Temporary Threshold Shift) isumaqartinneqassalluni tusaasaarukkallarnertut.

Tabel-imi titartakkanilu immikkoortumi matumani takuneqarsinnaavoq, tusaaniarnikkut akornuserneqarnertut sunnerneqarneq annerpaaq, tusaasaqatigiinnut LF-inut tunngasuusooq, 1400 meter angullugit radiuseqarfiup iluani tusaasaarukkallarnermik (TTS) kinguneqarsinnaalluni. Tamanna pissuteqarpoq, nipip nukinga piviusuusaartitsilluni ilusilikkami qillikkat putuini qaartitsinermi puasaartitsillunilu assiaquteqartitsinermi sakkortunerpaammat pineqartup ilaani maligaasani appasinnerni (lavfrekvente del af spektret). Taamaalilluni tusaasaqatigiit LF ("Low Frequency cetaceans") nipimit tassanga tusaaniarnermikkut ulorianartorsiortinneqarnerpaajupput.

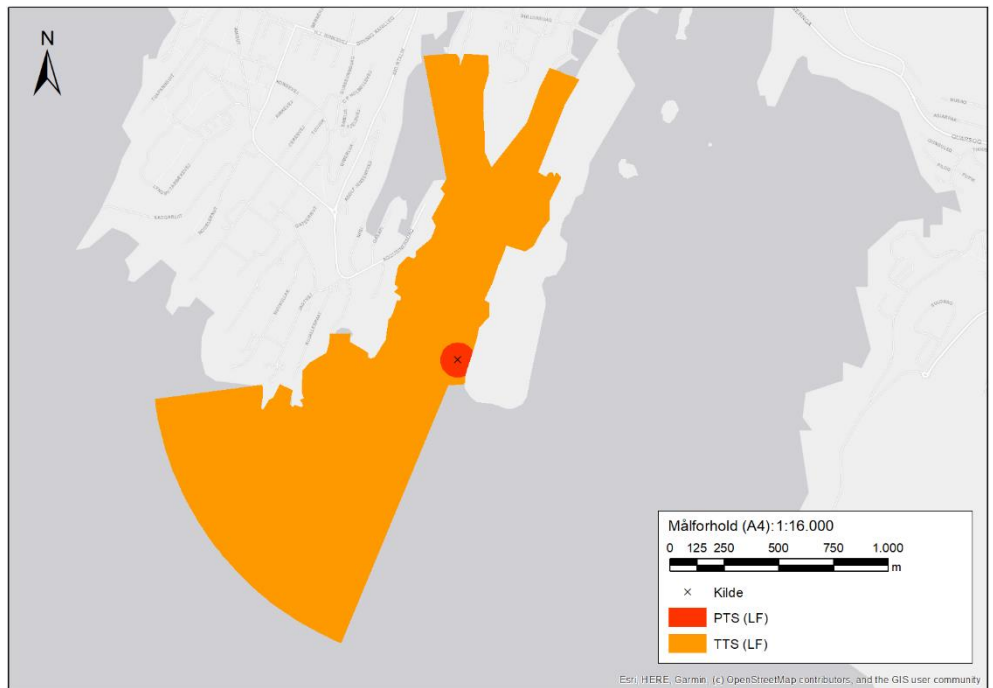
Paarlattuanik uumasut imarmiut miluumasuni tusaasaqatigiit (HF, VHF aamma PCW) tusaaniarnermikkut misikkarlunnerupput nipimit appasissumik maligaasallimmit. Taamaattumik tusaasaqatigiit taakku sunnerneqarfigisinnaasaat annikinneruvoq, tassa 1-80 meter radiusip iluani, takuuk Tabel 2-1. Nalilerneqarpoq naatsorsuernerme periaaseq killilimmik ilanngussimagai nipip pinngorfianut qanittumi akustisk-imik suungaluarnersumik pisoqarsinnaanera. (akustiske nærfeltsfænomener). Taamaattumik 50 meter-it ataallugit ungasitsigisumi sunnerneqarfiusinnaasut, mianersortumik aallaaveqarnermi tamarmik isumaqartinneqartariaqarput, 50 meterip iluaniittutut.

Tabel 2-1. Kilisaatinut umiarsualivissamut atatillugu qaartitsinermi sunniuteqarfigineqarsinnaasup isorartunerpaaffianik naatsorsuineq.

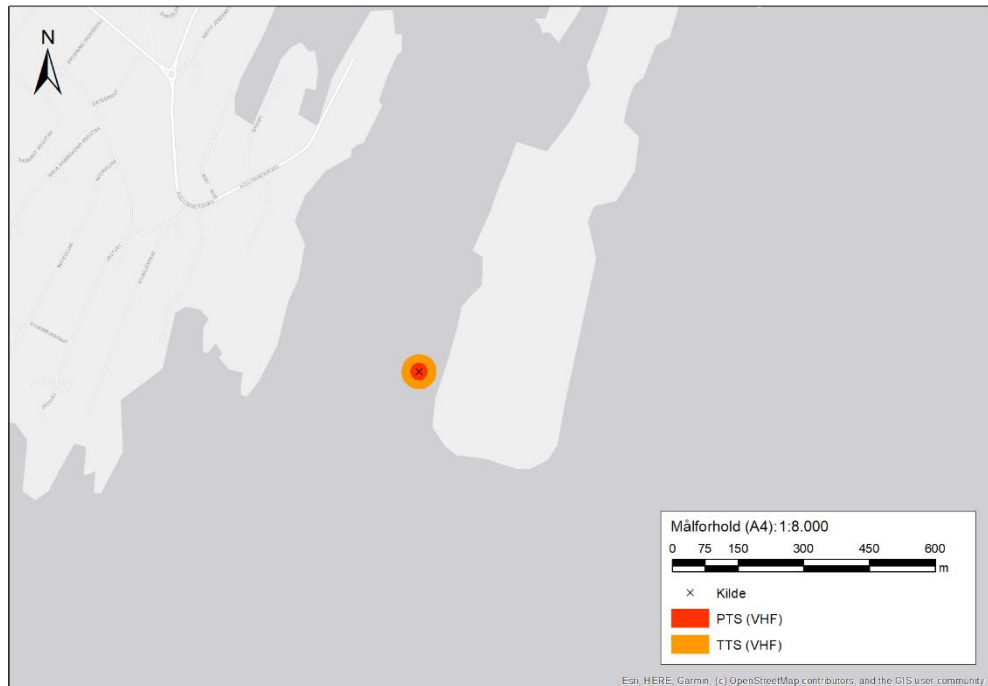
Tusaasoqatigiit	Tusaasaqarsinnaanermik akornuserneqarneq-piumasaqaatit	
	PTS	TTS
Low Frequency cetaceans (LF)	80 m	1400 m
High Frequency cetaceans (HF)	<1 m	<1 m
Low Frequency cetaceans (VHF)	<20 m	40 m
Phocid Carnivores in Water (PCW)	<20 m	60 m
Aalisakkat	440 m	N/A

Titartakkat tulliuttut naatsorsuinerupput nipip pinngorfianit avammut sammi-vinni 24-iusuni titarnerit nalaaniittut (radielle transekter). Titarnerup (transekt) mianernarnerpaap (kriske) nalaani sunnerneqarfiusinnaasup isorartussusia

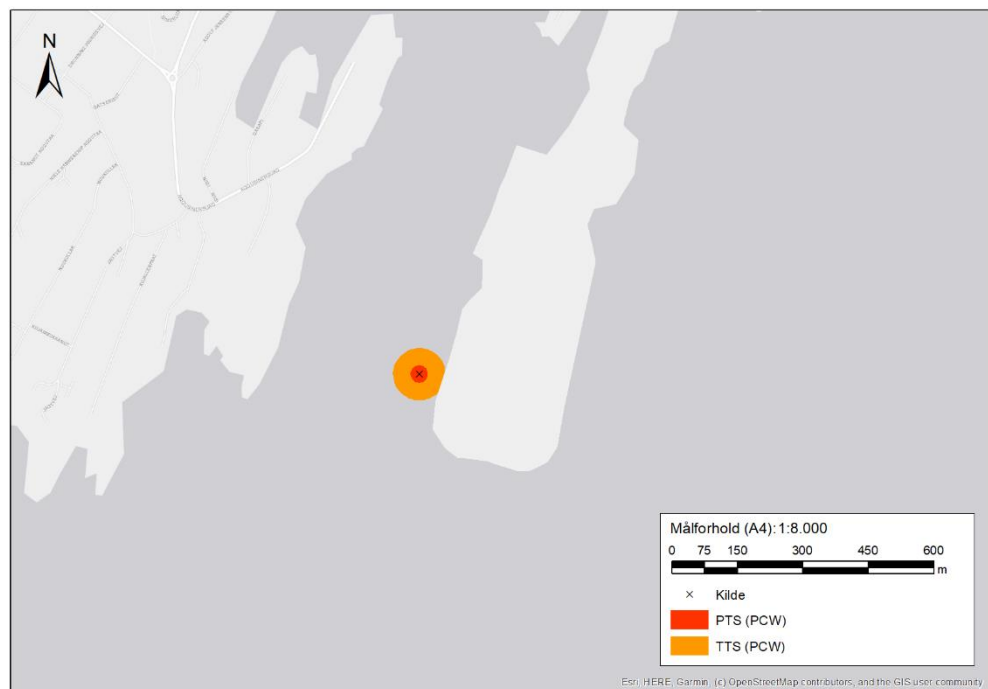
mianersortumik aallaaveqarluni titartorneqarpoq titarnernut allanut radiusia as-sigitillugu.



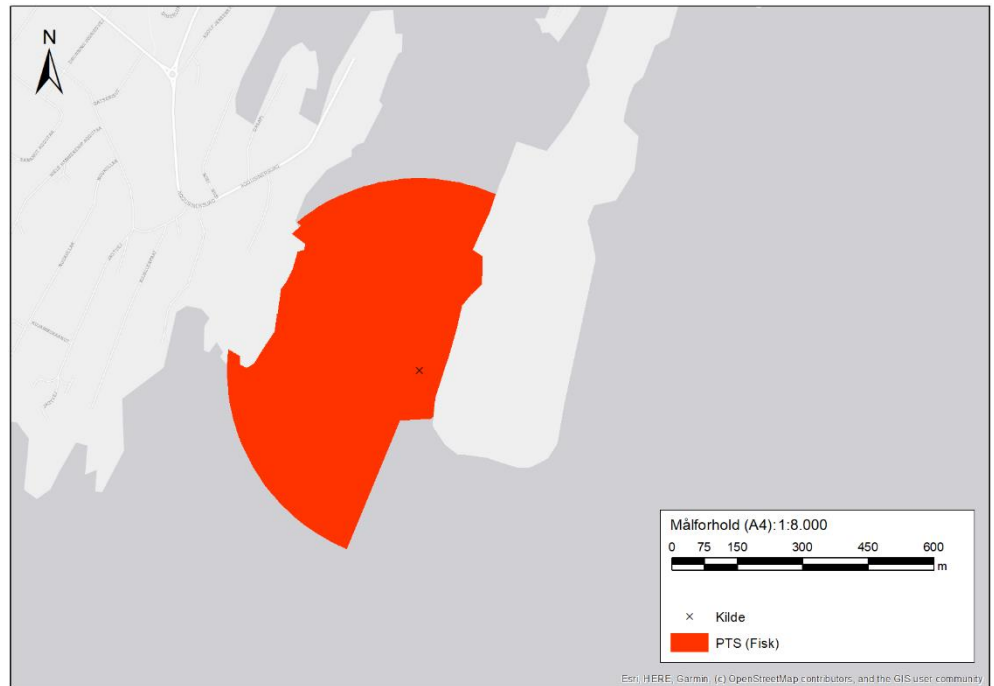
Figur 2-1. Putuni 28-ni qaartitsinerup immap iluani nipimik pilersitsinera. Puaasartitsilluni assiaqutinik nipimik sakkukillisaaneq ilanngutereerlugu. Tusasaqatigiinnut LF-inut, sunnerneqarfusinnaasut PTS aamma TTS titartorneqarsimapput.



Figur 2-2. Putuni 28-ni qaartitsinerup immap iluani nipimik pilersitsinera. Puaasartitsilluni assiaqutinik nipimik sakkukillisaaneq ilanngutereerlugu. Tusaasaqatigiinnut VHF-inut sunnerneqarfiusinnaasut PTS aamma TTS titartorneqarsimapput.



Figur 2-3. Putuni 28-ni qaartitsinerup immap iluani nipimik pilersitsinera. Puaasartitsilluni assiaqutinik nipimik sakkukillisaaneq ilanngutereerlugu. Tusaasaqatigiinnut PCW-inut sunnerneqarfiusinnaasut PTS-inut aamma TTS-inut titartorneqarsimapput.



Figur 2-4. Putuni 28-ni qaartitsinerup immap iluani nipimik pilersitsinera. Puaasartitsilluni assiaqutinik nipimik sakkukillisaaneq ilanngutereerlugu. SEL tunngavigalugu aalisakkanik ajoqusiisinaanermi sunnerneqarfiusinnaasoq titartorneqarsimavoq. Taamaaqataatigut Peak--mut tunngatillugu radiusia 40 meterinit naanneruvoq takutinneqarailu.

3 Aallaqqaasiut

Nuummi kilisaatinut umiarsualiviliornissamut atatillugu pilersaarutigineqarpoq immap naqqani qaarsumik qaartiterisoqarnissaa.

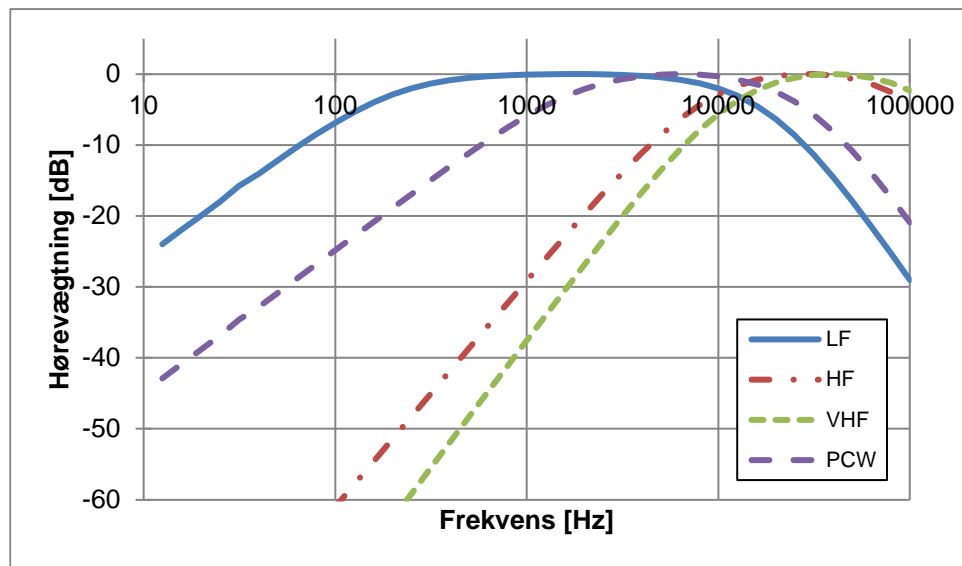
Qaartiterineq immap iluani nipimik sakkortuumik pilersitsisarpoq, imaanilu uumasogarnermut ajoqusiisinaalluni. Avatangiisinut Sunniutit Naliler-sorneqarnissaannut atatillugu nipimut tunngasut misissorneqartussaapput.

Allakkiami matumani nipi saqqummersinneqarpoq kisitsisit atorlugit piviusuusaartitamik takussutissiornermik, makku tunngavigalugit:

- > Nipip aallaavii akustiskiusut qaartiterinissamut pilersaarut (COWI 2024) aallaavigalugu naatsorsuutigineqartut.
- > Tamaani immap pissusaa immallu naqqata nipimut atatillugu pissusaa tunngavigalugit nipip siaruartarnissaa pillugu piviusuusaartitsilluni ilusilersuineq
- > Imaani uumasut miluumasut aalisakkallu nipimik sunnerneqartarneri pillugu ilisimatuussutsikkut piumasaqaatit atuuttut pillugit assersuussineq

4 Tusaasoqatigiit aamma nipi pillugu piumasqaatit

Nipimut akustiskiusumut atatillugu imaani uumasut miluumasut tusaasaqatigiinnut ("auditor groups") tusaasaqarsinnaassuii aallaavigalugit immikkoortiterneqartarput. Nalunaarusiap (Southall et al. 2019)-ip taamaalilluni sammivai imaani uumasut miluumasut aamma tusaasaqatigiinnut atatillugu maligaasat ingerlasarneri tusaaniarnermillu akornusiisinnaanerinit killissarititat ilanngullugit. Nalunaarusiaq una atornerqarpoq Qallunaat Nunaanni Guideline for undervandsstøj, imaani anorisaassuarnik ikkussuinermit atatillugu (Energistyrelsen 2023). Najoqqutassaq taamaaqataa USA-mi atornerqarsimasoq (Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) 2023) innersuussivoq tunngavigisap assigianut uumassuseqartunut USA-p inatsisitigut oqartussaaffiisa avataaniittunut.



Figur 4-1. Suliassami matumani tusaasaqatigiinnut maligaasat sunniuteqarnerat pillugu

Tusaasaqatigiinnut matumani pineqartunut nipip maligaasaasa sunniuteqarsinnaanerinit titarnerit takutinneqarput uani Figur 4-1, tassani tusaasaqatigiinni LF-miittut appassissumik frekvens-ilinnik tusaasaqarnerusinnaasut. Taamatullu tusaasaqatigiinni VHF-ini qaffasissumik kHz frekvens-ilinnut tutsarinerneruffeqarput.

Imaani uumasunut miluumasunut tusaasaqarnerup ajoqusernissaanut killigitat takuneqarsinnaapput Tabel 4-1. PTS, Permanent Threshold Shift matumani isumaqarpoq, piujuartussamik tusaasaarunneq. TTS tassaavoq Temporary Threshold Shift, isumaqartoq piffissap ilaani tusaaniarnermik akornuserneqarneq Piumasqaatit tunngaveqarput $SEL_{cum,24h}$ [dB re $1\mu Pa^2s$], tassaasoq nalunaaquttap akunnerisa 24-it ingerlaneranni nipip nukiga SEL-iusoq. Naatsorsuutigineqarmat ullup unnuallu ingerlanerani ataasiaannarluni qaartitsisoqartarnissaa $SEL_{cum,24h}$ - p nalingata assigissavaa SEL qaartitsinerpiamut tunngatillugu. SEL-imut ilisarnaatitut una atornerqartarpoq $L_{E,p}$.

Tabel 4-1. Suliassami matumani tusaasaqatigiiaanun killissarititaasut naligi (Southall et al. 2019). dB-iit pillugit allaaserisaq tabel-imi takuuk.

Tusaasoqatigiit	Tusaasaqarsinnaanermik akornuserneqarneq-pi-umasaqaatit		Uumasut suus-susii - asser-suutit
	PTS	TTS	
Low Frequency cetacean (LF)	$L_{E,p}$ 183 dB	$L_{E,p}$ 168 dB	Qipoqqaq
High Frequency cetaceans (HF)	$L_{E,p}$ 185 dB	$L_{E,p}$ 170 dB	Kigutilissuaq
Low Frequency cetaceans (VHF)	$L_{E,p}$ 155 dB	$L_{E,p}$ 140 dB	Niisa
Phocid Carnivore in Water (PCW)	$L_{E,p}$ 185 dB	$L_{E,p}$ 170 dB	Natseq

Aalisakkatut tunngatillugu killissarititaasut naligi atornerqassapput uku "Fishes, mass ≥ 2 g" jfr. (Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) 2023) for Skade ("Injury"). Her gælder som parameter dels (uvægtet) SEL, dels (uvægtet) Peak SPL ($L_{p,pk}$).

Tabel 4-2 Killissarititat naligi aalisakkanut (Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) 2023). dB-ip naliginut frekvens-iit ilaatinneqanngillat, takuuk allassimanera.

Uumasoqatigiit	Tusaasaqarsinnaanermik akornuserneqarneq-pi-umasaqaatit	
Aalisakkat	$L_{E,p}$ 187 dB	$L_{p,pk}$ 206 dB

5 Periaatsip allaaserinera

Piviusuusaartitsilluni ilusilersuinermi matumani tunngavigneqarpoq sonar-ligning, tassa immap iluani nipi atorlugu isorartussutsinik uuttuinermi assigiissitsineq, tassa akustiskimik tiguisussamat apuussineq.

Akustiskip aallaaviata sakkortussusia aalajangerneqarpiq qaartiterinissamat pilersaarummi allaaserineqartumi (COWI 2024). Nipip siaruarneranik aalajangi-iniarnermi qarasaasiami atortoq software dBSea atornerqarpoq, immap iluani akustisk-it pissuseqarnerannik piviusuusaartitsilluni ilusilersuinermi atornerqartartoq. Naggataatigut nipit naatsorsorneqarsimasut killiffiisa naligannut tulluurtunut ilaatinneqarlutik saqqummiunneqarput immikkoortumi 4. Periaatsip immikkoortortai erseqqinnerusumik matuma ataani allaaserineqarput.

5.1 Sonar-ligningen

Immap iluani nipi isiginiarneqarsinnaavoq sonar-ligning atorlugu ajornannginnerpaamik ilusilersuinikkut (Urlick 1983, takuuk Figur 5-1:

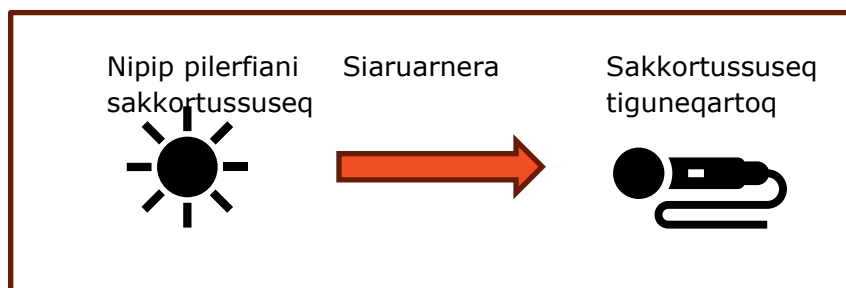
$$RL = SL - TL$$

RL "Received Level" isumaqarpoq nipip sakkortussusia tiguneqartooq nipip pilersianiit ungasissutsimi aalajangersimasumi

SL "Source Level" tassaavoq nipip pilerfiani sakkortussuseq akustisk-iusoq.

TL "Transmission Loss" tassaavoq akustisk-ip aallaavianiit tiguisussap tun-gaanut ingerlaarnermi (transmission) annaasaqarneq (udbredelses-tabet).

Sonar-ligning atorlugu uuttortaanermi immikkoortut tamarmik frekvens-inut atapput, uuttuutillu assigiinngitsut atorlugit nassuiarneqarsinnaallutik.



Figur 5-1. Sonar-ligning skematisk-imik takusassiarinera.

Tulliuttuni allaaserineqassaaq ilusilersuineq pillugu misissuinerup taassuma So-nar-ligning-ip immikkoortuinut atorneqarnera.

5.2 Qaartitsinermi nipip pilerfia

5.2.1 Qaartitsinermit immap iluani nipi

Medium-imi naassaangitsumi qaartitsineq

Allaaserisa una naatsoq uanngaaneerpoq (Cheong et al. 2020) aamma (Weston 1960). Medium-imi naassaangitsumi qaartitsineq (tassa akimmiffissaqarfiun-gitsumi) naqitsinermi kemisk proces pilersarpoq, naqitsinipiluunersuaq si-ammartarluni, kingornalu pullartaq gas-imik imalik pilersarluni. Qaartitsiffiusup qanittuani naqitsinerujussuaq siaruaattarpoq nipimik sukkanerulluni, titartornis-saa ajornakusoortumik pissusilersorluni. Ammaloqisaap sanillinneqarsinnaasup qaavani radiusip marloriaataanik pingasoriaataanilluunniit isorartunerusuni, qaartitsiffissamik unguisimasoqartillugu, nipip siaruariartornerani sukassuseq appassaaq nipip sukassusianut avatangiiserisamini, assersuutigalugu immami.

Pullartaq gas-imik imalik allissaaq anginerpaaffissanngornissi tikillugu, angissusi-alu nikeralerluni naqitsinernillu malingaasiortitsilluni nikerartumillu amplitude-qarluni (initussuseqarluni), nukeerukkiartorluni naggataatigullu kimeerulluni.

(Weston 1960) malillugu naatsorsuutigineqassanngilaq titarnertut ittunik avam-mut sunniteqassanngitsoq 100 yards, tassa 90 meter tikillugit.

Vandsøjle-mi qaartartoq, piviusut avatangiiserlugit

1940-ikkuli amerlasoorpassuariarluni immap iluani qaartitsinermit immap iluani nipi uuttortarlugu misissorneqartarsimavoq, qaartiterut vandsøjle-mut inis-sillugu. Taamaalilluni allaganngorlugit atuakkiaralugillu taaguutit arlallit

pilersinneqarsimapput assersuutigalugu peak-nipaa P_{pk} [Pa], tassa ungasissutsimut qaartartullu annertussusianut tunngasoq.

$$P_{pk} = K_p \left(\frac{r}{W^{1/3}} \right)^\alpha$$

tassani r [m] qaartitsinerup pilerfianit ungasissusiuvooq, W [kg] tassaalluni qaartiterutip TNT-ÆKVIVALENTE annertussuseralugu. K_p og α , tassaapput qaarnerup naqitsinerujussuata koifficientii uuttuinnermi kisitsisinngortinneqarsimasut. Atuakkiatigut allaaserisani tamakku assigiinngitsunik naleqartinneqarput, uuttuiffigisami nipip tamaani siaruarnera apeqqutaatillugu. Qaartiterutini allani TNT-iunngitsuni W annertussusilerneqartarpoq qaartitsinermi nukiup sitsiaasuseqarnera TNT-imut sanilliullugu, 4148 kJ/ kg-uusumut.

Atuakkiani formelit saqqummiinerni atorineqartut arlaliupput, annertussuseq gulaani taaneqartoq tunngavigalugu konstantillu empirisk-imik aalajangerneqarsimallutik, assersuutigalugu (Arons 1954). Taaguutit tamakku tamakkii-sumik annertussusiliinerukkajupput, imaanilu uumasunut miluumasunut ataitillugu nalilersuinerni killilimmik atorineqartarlutik, frekvensspektri ilaatillugu. Tamatuma saniatigut aamma pingaaruteqarput kisitsisinut atorineqartuni ungasissutsimut tunngasut nipillu siaruarterneranut tunngasut, sumiiffimmi allami allaanerujussuusinnaammata, pissutaallutik batymetri (immap itissusia) aamma immap naqqata piginnaasai allaanerusinnaammata.

Uami suliasami aallaavigineqaannassaaq Sonar-ligning, takuuk immikkoortoq 5.1. Siaruarnermi katataq TL ilusilerneqarpoq sukumiisumik model-imik numerisk-iusumi immikkoortumi 5.4. Aallaaviup qeqqani sakkortussuseq vandsøjle-mi qaartitsinermi ilusilerneqarsinnaavoq (modelleres) qaartartup TNT-masse-mut annertoqataa, aamma qaartartup qanoq ititigisumi inissinneqarnera. Tamanna pissaa diagrammit atorlugit (Urlick 1983) SI-nngortinneqarsimasooq (Hannay and Zykov 2020)-imi. Diagrammit taakku empiriske data tunngavigalugit sananeqarput.

5.2.2 Qillerinermi putuni qaartitsineq

Immap naqqani qaarsumik qaartitsinermi periuseq nalinginnaasooq imaappooq, putumut qaarsumi qillerneqarsimasumut qaartiterummik ikisineq putorlu matullugu, assersuutigalugu qaarsup sequinnerinit. Qaartiteriffissani anginerusuni putut arlallit atorineqartarput, qaartiterutissallu qaartitsinermi aallartitsissummik imminnut ataqatigiissinneqartarput, piffissap sivikitsuararsuup iluani tulleriaarlutik qaartussanngorlugit. Qaartiterutit tulleriaarlutik qaarnerat eqqarasuartaatip eqqaassineratut assersuunneqarsinnaavoq.

Qillerinermi putup iluani qaartartup qaarnerani nipip malingaasaasa aqqusaartussaavaa peqatigisussaallugulu qaarsoq. Taamaalilluni qaartartoq qaarsup iluani qaarpap, malungineqarsinnaavoq nipi annikillisinneqarujussuortoq assersuutigalugu vandsøjle-mi qaartitsinermut sanilliullugu. Nukiup annersaa qaartinneqartumik suujunnaarsitsiniarnermut atorineqartussaavoq, aammalu nipip naqitsinera immap naqqa akimorlugu ingerlaniartussaavoq, immap naqqaniillu imaanut appakaannermini aamma tassani ilaatigut aportinneqartussaalluni. Sunniutit tamakku qanoq sunniuteqartiginerannut apeqqutaapput qaartiterutip piginnaasaa, immap naqqani atortussiat suunersut piginnaasaat aamma vandsøjlep

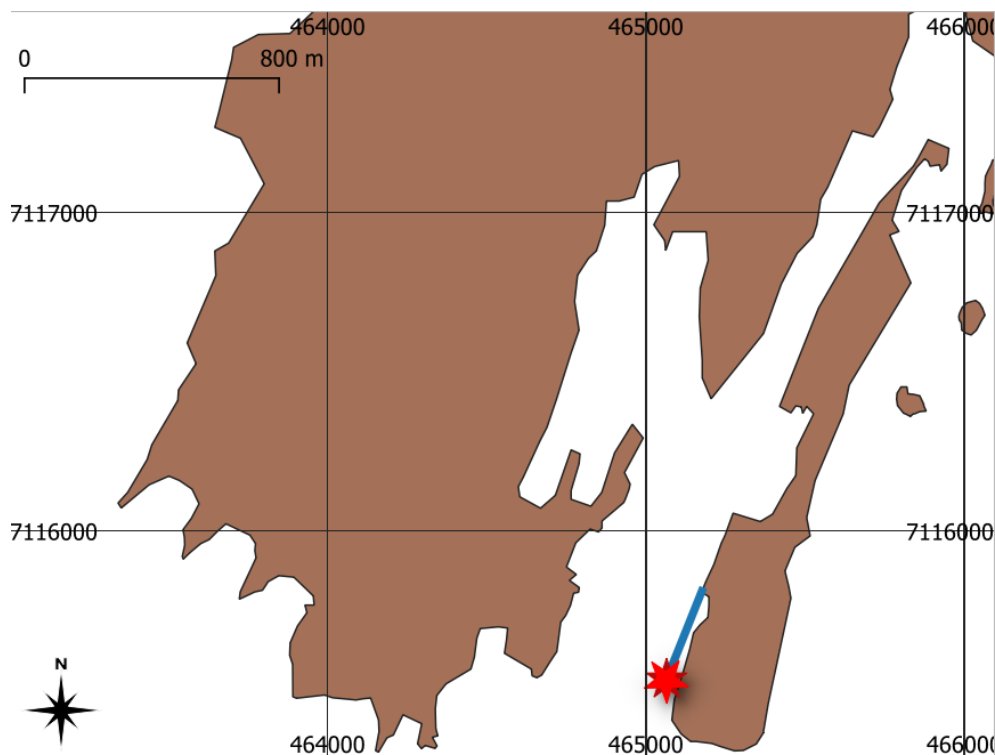
piginnaasaa eqqortut. Taamaalilluni nipimik annikillisisineq tamarmiusoq assigi-inngiaarsinnaavoq suliamiit suliamut. Uttuisarnerit pillugit atuakkiani takuneqarsinnaasuni assersuutaavoq nipimik sakkukillisaaneq 26 dB-iusoq (Tripathy og Shirke 2015).

Qaartitsinermit chokbølge sukkasoorujussuarmik siaruartarpoq (6.000 m/s annerusumik Eurodyn 2000 aamma 3000 atorlugit). Qaartartunik ikitsinerit (qaartitsinerit) tulleriarlutik ikinneqartarneratigut chokbølge-t imminnut sakkortusaasutut sunniuteqarnek ajorput. Taamaattumik qaartitsissutinik kingusinaalaartillugit tulleriarlutik qaartinneqarneranni Peak SPL putuni ataasiakkaani qaartartunut ataasiakkaanut tunngavoq, qaartitsinerimi qaartartup ataatsimut katillugu annertussusianut tunnganani (Hempen og Ruben 2005). Akerlianik, qaartartut taamatut tulleriarlutik qaarnerannit nipip nukinga, SEL-itut annertussusilerneqarpoq, tassa qaartitsissutit tamarmik ataatsimut nipimik pilersitsinerat aallaavigalugu.

5.2.3 Model-scenarie

Kilisaatinut umiarsualivissamut qaartiterinissamik pilersaarummi (COWI) pilersaarutaavoq ullup unnuallu ingerlanerani annerpaamik ataasiaannarluni qaartitsisoqartarnissaa. Qaartitsiffiusumi ataatsimi putut 28 angullugit amerlasuseqassapput, akunnerminni nalinginnaasumik 1,5 meter-inik imminnut unga-sissuseqassallutik. Putut tamarmik immikkut qaartiterutissanik annerpaamik 20 kg Eurodyn 3000-nik immerneqartassapput, qaartiterutissallu ikinneqarnerisa tulleriarneri 25 ms-inik akunneqartassallutik. Taamaattumik qaartitsinerimi ataatsimi qaartitsineq eqqarasuartaammik eqqarasuarnertut tulleriarlutik pisuseqartassaaq sivissuseqassalluni 0,9 s miss.

Figur 5-2-imi titarneqarpoq qaartiterlugu itersiassaq 300 meterinik takissuseqartussaq. Itersiassap avannaatungaa 200 meterisut takissusilik qaartiterneqassaaq 4 meterinik itissusilerlugu, itersiassallu kujasinnerusortaa 100 meterinik takissusilik 5,5 meterinik itissusilerlugu. Titartakkami aappalaartumik ulloriaasamik nalunaaqutserneqarpoq immap iluani nipimut naatsorsueriaaseq numerisk-iusoq nipip pilerfiata inissisimaffia. Nipip pilerfia naatsorsueriaatsimi atorneqartumi immap naqqanit 1 meterinik qutsinnerusumi inissinneqarsimavoq.



Figur 5-2 Nuup umiarsualivia Qaartitsisarluni itersiassap sumiiffia (titarneq tun-gujortoq) aamma qaartiterutissap annertussusia (titarneq aappalaartoq).

5.2.4 Qaartitsinermit nipip pilerfiata sakkortussusianik ilimaginninneq

Immikkoortumi 5.2.1 takuneqarsinnaasutut atuakkiani vandsøjle-mi qaartitsinermit nipip annertussusia pillugu allaaserisarpasuaqarpoq. Qillerummik putuukkani qaartartunik inissiilluni, matuneqarsimasunik, aamma puasartitsilluni assiaqutinik atuilluni qaartitsinermit, ilanngunneqarput tummeraasat, tassani taakku tamarmik nipimut sunniuteqarput sumiiffimmi pissutsit aallaavigalugit, taamammallu piviususaartitsilluni aalajangerniarnissaat ajornakusoorluni. Tamanna sulii ajornakusoornerulersinneqarpoq frekvensit tunngavigalugit aalajangiiniarnermi pisariaqartinneqartumi, nipi naggataatigut imaani uumasut milu-umasut tusaaniarnerannut tunngatinneqalerpat.

Suliassamut matumunnga atatillugu iluaqutissaqarpoq, tassami qaartiterinissamut pilersaarutaasoq Rambøll-ip containerinut umiarsualiviup sanaartorneqarnissaanut atatillugu misiliilluni qaartitsineranut pissutsit assigoqimmata, nipit pillugit uuttortaanermit nalunaarummi nalunaarutigineqartut (Kristensen og Maxon 2015). Tassani nalunaarusiami allaaserineqarput misiliilluni qaartitsinerit marluk qillerilluni putuni misilinneqarsimasut qaartiterutissat 20 kg. Eurodyn 2000-it putuni marlunni immikkut atorlugit. Misiliilluni qaartitsineq putuni 28-ni pivoq, piffissamik 25 ms-mik akunneqartillugit, tamanna Kilisaatinut umiarsualiviliassami pilersaarummut assingunerpaavoq. Misiliilluni qaartitsinerup aappaa 27. november 2015 qaartinneqarpoq immallu iluani nipi uuttortarneqarluni, puasartitsilluni assiaqutit marloqiusat atorlugit (takuuk immikkoortoq 5.5).

Nipimik uuttortaneq pillugu nalunaarusiami SEL 168 dB-iuseq (uvægtet) taaneqarpoq qaartitsiffimmiit 800 meterinik ungasitsigisumi. Taamatuttaaq

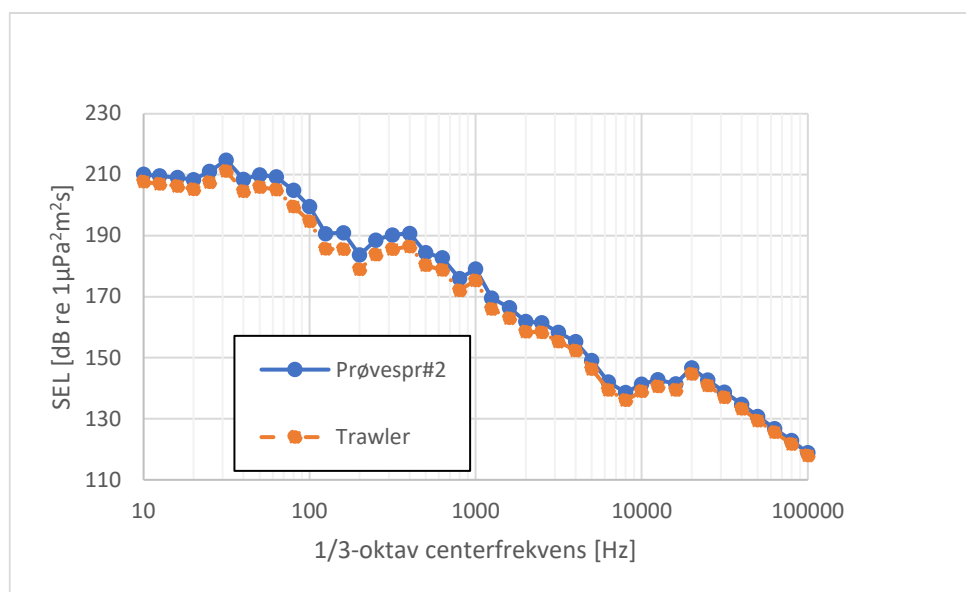
taaneqarsimavoq 1/3-oktavspektrum, kisianni uuttuutit "LZMax"-itut. Dette er et uvægtet ("LZ") maksimal-niveau med tidsvægtning Fast ("F"). Taanna uuttuummut SEL-imut qanillattuutit atorneqarsinnaavoq. Isorartussuseq uuttortaavigneqartoq naammattut nalilerneqarpoq, nipip siaruariartornera akustik-itut titarnertut nalinginnaasutut allaaserineqarnissaanut, immikkoortumi 5.2.1-mi allaavigneqartut malillugit, aamma taamaattumik aallaaviup sakkortussusia sanilliunneqarsinnaasoq paasineqarsinnaalluni.

Misiliilluni qartitsineq manna aallaavigneqarpoq, pissutigalugu ilaatigut pissutsit tamaaniittut sunniuteqarneri ilanngunneqarmata:

- > Qillerinermi putunut qartiterutissanik inissiineq
- > Talittarfiit iigaannit qanittuniittunit utersaarnerit
- > Puaasartitsilluni assiaqut marloqiusaq

Nipip sukkassusianik ulloq uuttortaavigneqartoq allassimanngilaq, kisianni paasissutissanik toqqorsivimmi database-mi nassaarineqarpoq (takuuk immikkoortoq 5.3.3) 18. november 2015-meersumi aamma nalilerneqarpoq nipip sukkassusiatut matumani piviusuusaartitsilluni ilusilersuineri nipimut sukkassuseritinneqartumut assiguserujussuartut. Uuttortaaffigneqartup isorartussusia 800 meter-isut naatsiginera eqqarsaatigissagaanni nalilerneqarpoq piviusumi nipip sukkassusianit nikingassut 1 dB-mit annikinnerusumik nipip siaruarneranut sunniuteqassasoq.

Puttasup hydrofon-itallip qartitsinermilu nipip aallaaviata akornanni uuttortaanerit pillugit nalunaarusiami paasissutissat tunngavigalugit misiliilluni qartitsinermi nipip siaruarneranik aalajangiineq dBSea atorlugu pivoq. Sonar-ligning aallaavigalugu (takuuk immikkoortoq 5.1) misiliilluni qartitsinermi nipip aallaavianik SL-mik aalajangiineq pivoq nipimik uuttortaanermi paasissutissat nipip siuarneranut tunngasut peqatigitillugit. Nipip aallaaviata sakkortussusia taanna sangoriarnermi tungujortuim takutinneqarpoq Figur 5-3, tamakkiisumillu sakkortussuseqarluni 220 dB re 1 μ Pa²m²s.



Figur 5-3. Misiliilluni qaartitsinermi nr. 2-mi (tungujortoq) nipip aallaaviisa sakkortussusii pillugit naatsorsuutit aamma kilisaatinut umiarsualivissamut atatillugu qaartiterinissamut pilersaarummut iluarsisat (orange kittorartaartoq). Imatut takutinneqartoq $L_{S,E}$ [dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{m}^2\text{s}$].

Diagrammit ikiorsiullugit (Urlick 1983, aamma takuuk immikkoortoq 5.2.1) uku akornanni assigiinngissut nassaarineqarpoq:

- > Misiliilluni qaartitsinermi qaartitsissutit Eurodyn 2000 atorneqartut aamma Kilisaatinut umiarsualivissamut atatillugu qaartiterinermi atorneqartussat Eurodyn 3000 akornanni assigiinngissut
- > Qaartiterutissaq misiliilluni qaartitsinermi immami 8 meterisut ititigisumi pivoq, kilisaatillu umiarsualivissaanni qaartitsineq immami 18 meter missaani itissusilimmi pisussaalluni.

Qaartitsinermi assigiinngissutsit taamaallaat 1 dB miss. sakkortunerulersitsippit kilisaatinut umiarsualivissamut atatillugu qaartitsinerup aallaavianut tamakkiisumut. Immap naqitsinerani assigiinngissuseq spektral-imik iluarsisarpoq, taamaalluni kilisaatinut umiarsualivissamut atatillugu qaartitsinerup aallaavia annikillisinneqassalluni 1-5 dB missaani 1/3 oktavbåndit tamaasa, matuma ataani titarnermi kittoraasumi orange-mi takuneqarsinnaasutut Figur 5-3. Kilisaatinut umiarsualiviliornermi ataatillugu qaartitsinermi aallaaviup tamakkiisup qaffasisusia naatsorsorneqarpoq, misiliilluni qaartitsinermi nipip aallaavianut sanilliullugu 4 dB-mik appasinnerusumik.

Mianersortumik aallaaveqarnermi toqqarneqarpoq misiliilluni qaartitsinermi nipip aallaaviata sakkortussusia, taaneqartut iluarsinerit atornagit.

5.3 Imaq pillugu ilisimatusarneq aamma immap naqqa

Immap iluani nipip sammineqarneranut atatillugu (Farcas et al. 2016) uuttuutit arlallit sunniutai misissorpai. Tamatumani ersersinneqarpoq pingaartumik immap itissusia aamma immap naqqata katitigaanerata piginnaaneri sunniutilerujussusut.

Nipip maligaasaasa siumut ingerlanerminni aamma immap naqqata sunniuteqatigiinnerat kimikilliarortitsinermi pingaernerpaajupput, isorartussutsip annertusiarturnerani. Nipip siaruariartornerani nipip maligaasai immap qaavata immallu naqqata akornatigut ingerlanerminni utersaarfigitittarpoq. Sunniivigeqatigiinnermi immap qaava sakkukillisitsinngilaq, kisiannili naqqanut utersaarfigitinnerit tamarmik annertuumik sakkukillisitsisarlutik. Siaruarnera immami itisuumi, isorartussutsimi takisuumi, nipip maligaasaasa immallu naqqata akornanni sunniivigeqatigiinneq annikinneruvoq, immami ikkattumut sanilliullugu. Misissuinermi matumani mianersortumik toqqaanermi salliutinneqarsimavoq assersuutit immami itisuumesut atornissaat.

5.3.1 Tinittarneq ulittarnerlu aamma immap itissusianik misissuineq (batymetri)

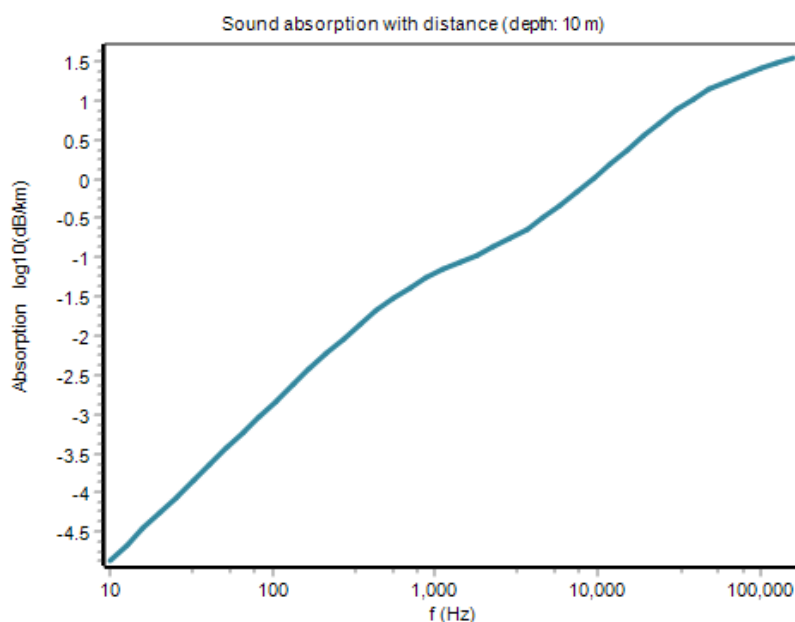
Sanaartornermut pilersaarummi (COWI 2023) Nuummi tinittarneq ulittarneq pillugu pissutsit ukioq 2000-imeersut atorneqarput.

Batymetrien, tassa immap itissusianut tunngasut, immap iluani akustisk-imut model atorneqartoq suliarineqarput immap assinga digitaliusoq atorlugu software MIKE C-MAP (DHI 2024). Taakku qassutaasat naligiissaanngitsut atorlugit ikkussuunneqarsimapput, qummoortoq opløsning (tassa punktimit punktimit ungasissuseq) umiarsualiveqarfimmi 25-35 meteriutinneqarlutik. Umiarsualiveqarfiup avataani punktimit punktimit (opløsning) ungasissuseq 85-95 meterit missaanniippoq.

Immikkoortumi kingusinnerusumik immap naqqanut batymetri uani takutinneqarpoq Figur 5-8.

5.3.2 Volumen-absorption i vandsøjlen

Nipip maligaasai imap ikeratigoornermini sakkukillisarpoq pissutsit assigi-inngitsut tunngavigalugit. Tamakku tassapput immap ikeratigut ingerlanissamut pissutsit pissutsillu kemiskiusut immamiittut (Jensen et al. 2011). Nipip sumi-iffigisaminut ilanngussinnaanera (volumen-absorption) frekvensiunngilaq titarnertut ittoq, apeqqutaasarlunili immap kissarnera, tarajoqassusia seernasusialu (ph-værdi). Ilangussinnaaneq (absorption) qaffattarpoq frekvensitigut, aatsaallu isumalimmik sunniuteqarsinnaalluni frekvensiqarfimmi kHz-mi.



Figur 5-4. Imaani akustiskit ilanngussinnaanerit $\log_{10}(\text{dB}/\text{km})$ -itut takutinneqarpoq versus frekvens i Hz.

Piviusuusaartilluni ilusilersuinermut atortoq (modellerings-software) misissuinermi matumani atorneqartoq (Ainslie og McColm 1998)-imi, semiempiriske formelit tunngavigalugit takutitsineruvoq. Figur 5-4-mi takutinneqarpoq absorptionsspektrum atorneqartoq. 10 kHz-imi absorption 1 dB/km missaanniippoq, tassa titartakkap logaritmiske akse-ani 0-mik naleqarluni.

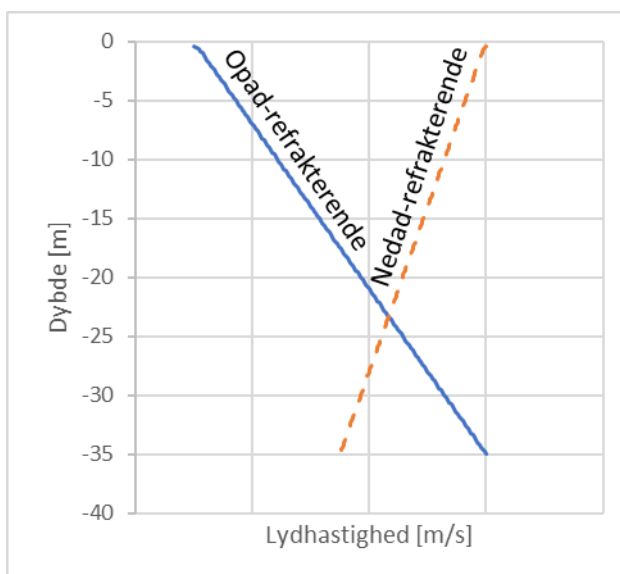
5.3.3 Nipip sukkassusia

Akustiskip sunniutaa

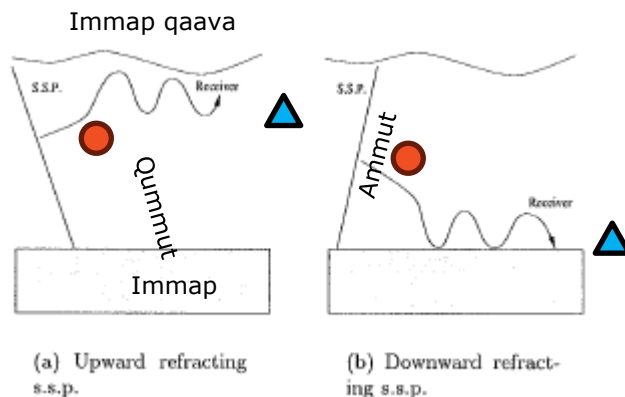
Nipip sukkassusiata nikerarnera c [m/s] immap itissusianik D [m] eqqartorneqakkajuppoq nipip sukkassusiata profil-iatut. (Farcas et al. 2016) naapertorlugu nipip sukkassusiata profiliata nipip siaruarnera sunnertarppaa an-nermik mekanismit uku marluk aallaavigalugit:

- > Profilip sivinganerata ("gradienten") **refraktion** (najunngarneq) pilersittar-paa, tassa nipip maligaasaasa siaruariartornerminni sammivia najunngar-lugu sangutillugu. Tamatumunnga tunngatillugu pissutsit immikkut ittut uani takutinneqarput Figur 5-5:
- > **Opad-refrakterende profiler:** Nipip sukkassusiisa profil-ii qummut sammisut, nipip sukkassusia immap qaavanut qanittumi annikin-nerpaaffillit. Nipip siaruariartornera qummut immap qaavata tungaanut "najunngariartussaaq". Nalinginnaasumik mallit angissusiini piusartuni mikisuararsuarnik (imaluunniit soqanngivittarluni) akustiskinik annaasaqartarpoq nipip immaq qaavanik sunniivigeqatigiinneranni. Taamalilluni profil-it taamaattut siaruariartornermut sakkukillisitsineq annikitsuinnaq malitsigissavaat, isorartusiartorneq malillugu.
- > **Nedad-refrakterende profiler:** Nipip sukkassusiisa profil-ii qummut sammisut, nipip sukkassusia immap naqqanut qanittumi annikin-nerpaaffillit. Taakku profil-it nipi immap naqqanut sangutinniassavaat. Nipip maligaasaa nukimmik annertungaatsiartumik annaasaqartarpoq immap naqqanik sunniivigeqatiginninnini tamaasa. Taamaalillutik pro-fil-it ammut najunngarniartut isorartussutsimi siaruatsaalineqarnermik qaffasinnerusumik pilersitsissapput.

Nipip sukkassusianik prof-ilit nassuiaruminaannerit pilersarput asser-suutigalugu immami imit tarajullit, tarajukitsut tarajoqanngitsulluunniit ikiariissaarnerinik aqqusaartuinermi. Pisuni taama ittuni profilit ilaasa assigissavaat tamatigoornerusumik pisartut.



Figur 5-5. Nipip sukkassusiata profil-ii generisk-iusut assersuutit



Figur 5-6. Generiske "ray traces" (strålegangs-diagrammer) for opad- og nedad-refrakterende lydhastighedsprofiler. Suliarineqarpoq malillugu (Lützen, 1998). Ningalillit aappalaartut tassaapput nipip pilerfia, nigalillilu tungujortunik tassaallutik tiguisut.

- > Immap naqqanik **akustisk kobling**: Immap naqqanut akustisk-inik piginnaasaqartumut, immap piginnaasaanut assigusumik, pilersoqassaaq vandsøjle-mit aamma immap naqqanut nukimmik akustisk-iusumik nuussinermik. Tamanna pissusiviusut aallaavigalugit nalunaarsorneqarsinnaavoq immap naqqanut akustisk-imik annaasaqarnertut. Pisumi taama ittumi isorartuumi siaruarnermi annertuumik katatsisoqassaaq. Illuatungaatigut immap naqqani assigiinngiaarnerusumik piginnaasaqartumi nipip nukingani annertunerusumik imaanut utersaartitsisinnaavoq, aamma taamaatumik isorartuumi siaruarnermi annikinnerusumik annaasaqarfiusinnaalluni.

Attavilernermi tamatumani piginnaasat pingaarnepaat tassaapput impedans akustiskiusoq $r \times c$ (massefylde gange lydhastighed) imaani aamma immap naqqani ikiariissaartut qullersaanni.

Misissuinermit matumunnga atatillugu mianersortumik pissuseqarnissaq qinerneqarsimavoq qulaani pissutsit taaneqartut tunngavigalugit. Taamaalilluni sallitinneqarsimavoq nipip sukkassusiata profilia makkunanga piginnaasaqartoq:

- > Nipip sukkassusiisa qummut sammisut, immap naqqanik nukimmik annaasaqarfiusumik sunniivigeqatigiinneq minnerpaaq anguniarlugu.
- > Nipip sukkassusiisa naligi 1600 m/s-init ungasinneroqisut immap naqqata matuani pineqartup ikiariissaarnerisa qatsinnersaanni. Tamatuma nipip vandsøjle-mut utersaarnera sakkortusassavaa immap naqqanullu annaasaq annikillisarlugu.

Piginnaanerit taakku nipip siaruarnerani mianersortumik isorartussutsimi annikitsumik annaasaqarfiussapput.

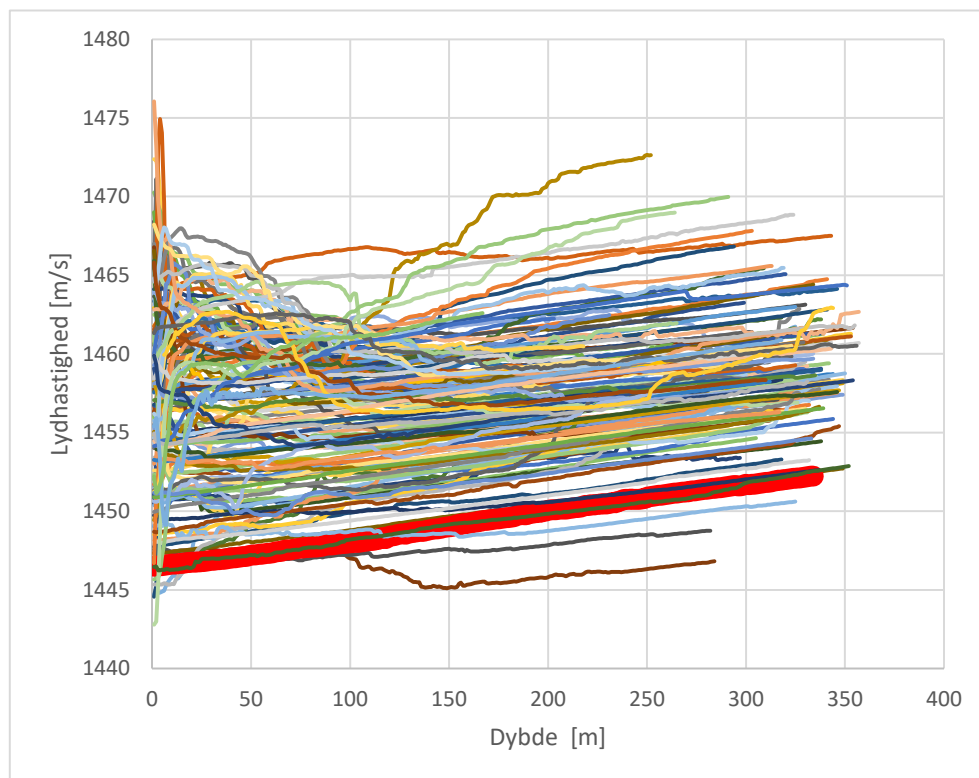
Paasissutissani nipip sukkassusiata profilia atorreqartoq

Vandsøjle-mi nipip sukkassusia aalajangerneqarsinnaavoq kissassutsip uuttorneratigut T [$^{\circ}\text{C}$] aamma tarajoqassutsip uuttorneratigut S [ppt], Medwin 1975) malillugu.

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.010T)(S - 35) + 0.016D$$

Suliassamut matumunnga atatillugu paasissutissat Greenland Ecosystem Monitoring (GEM) programme MarineBasis-Nuuk pissarsiarineqarsimapput Greenland Institute of Natural Resources-miit Nuummittumit (Pinngortitaleriffik).

Profil-inik uuttuinerit 200 sinneqartut Nuup eqqaani misissorneqarput piffissami 2005-imiit 2023-imut. Profil-it piffissami april-september-imeersut uani takutin-neqarput Figur 5-7. Immikkoortup siuliani piumasaqaatit tunngavigalugit titartakkami profil-i aappalaartumik silittumik titarnilik misissuineri atorreqarsinnaavoq. Takuneqarsinnaavoq taanna qummut najunngarniartuusoq, aamma profil-inut allanut sanilliullugu nipip sukkassuseqartoq annikinnermik.



Figur 5-7. Nipip sukkassusiinik profil-it 2005-miit 2023-imut (Pinngortitaleriffik). Profil-i aappalaartoq piviusuusaartitsilluni ilusilersuineri atorreqarpoq.

5.3.4 Geoakustik

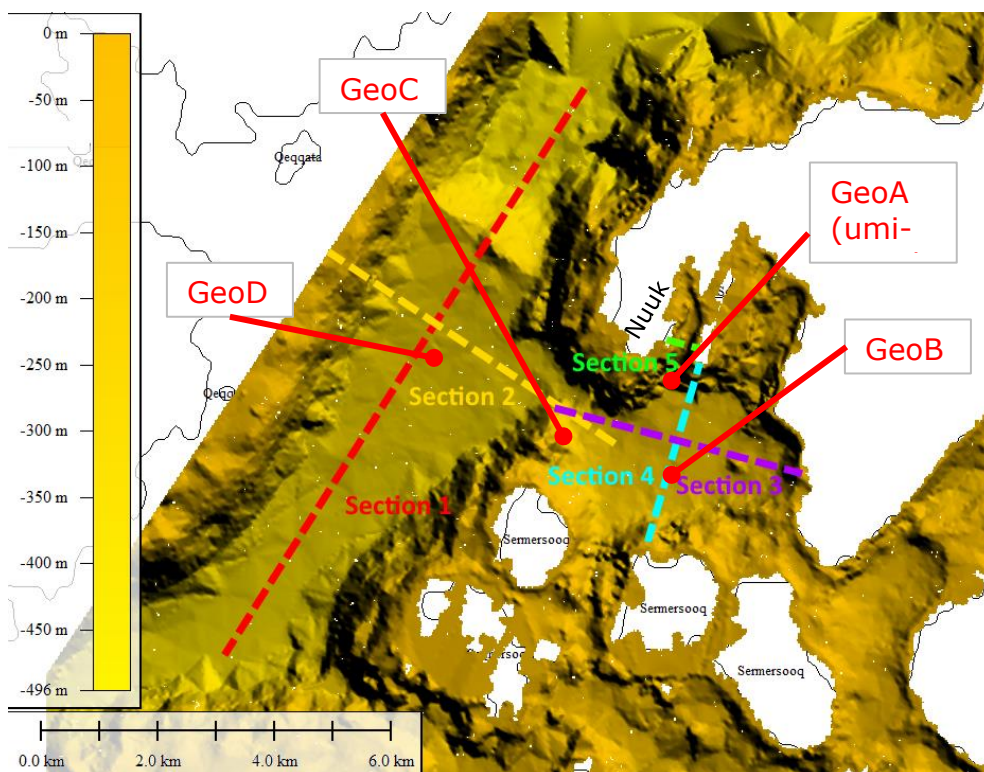
Immap naqqata piginnaasai akustisk-iusut ("geoakustisk") isumalerujussuupput immami 100 meterikkaanik arlalinnik ittissusilinni nipip siaruariartortarneranut. Tamakku peqatigiittarnerat nassuiaruminaattupilussuuvoq aamma paasiuminar-tunik naatsorsueriaatsimi maleruagassaliornissaq ajornakusoorluinnarpoq immap naqqata ikiariissaarnera aamma geoakustisk aallaavigalugit. Tassa imaani nipip siaruariartortarnera pisarpoq vandsøjle-mi aamma immap naqqatigut,

assersuutigalugu immap naqqata ikiariissaarnerini atsinnerusuniittuni ilaanna-kortumik utersaartitsisinnaapput vandsøjle-mut. Taamaattumik pingaarute-qarpoq immap naqqanut tunngatillugu atorsinnaasunik geoakustisk model-imik sananissaq.

Immap naqqata geoakustisk-imik piginnaasai nalilersorneqarsimapput COWI-p ujarassiuuisa Nuup eqqaani profil-inik sanaavi aallaavigalugit. Profil-inik isumasiuineq tunngaveqarpoq topografiskit aamma matymetriskit assit geomorfologisk aallaavigalugu misissorneqarnerannit. Isumasiuineq aamma tunngaveqarpoq sedimentit pillugit misissuinernit, pissutsit maani pineqartut assiginit.

Immap naqqata assingani Figur 5-8-mi takuneqarsinnaasut nalilerneqarpoq immap naqqani transektit assigiinngitsut tallimat atuarlugit, Section 1-5, taakunanga Section 5 tassaalluni umiarsualiviup pulammagiaa sanimut ikaarlugu. Profil-it sukumiisut transekt-inut tamanut ilanngunneqarput Bilag B-mi.

Profil-it geologisk-iusut tunngavigalkugit immap naqqanut profil-it geoakustisk-iusut sisamat atorneqarput, GeoA-D. Naatsorsueriaatsimi atorneqartumi taakku punktunut Figur 5-8-mi taaneqartunut atatinneqarput. Punktut taakku akornanni sumiiffinni model-ip atorpaa profil-it qaninnerpaat akornanni interpolation. Profil-it ikiariissaarnerat uan takuneqarsinnaavoq Tabel 5-1. Piginnaanerit geoakustisk Tabel 1.3 aallaavigalugu nalilerneqarsimapput (Jensen et al. 2011)-imi atortussiani assigusuni.



Figur 5-8. Batymetri aamma geologiskimik misissuinermit profil Section 1-5. GeoA-D-mi takutinneqarpoq piviusuusaartitsilluni ilusilersukkami immap naqqani sumiiffiit atorneqartut. Batymetri-data fra MIKE C-MAP (DHI 2024).

Tabel 5-1. Geoakustisk-it ikiariissaarneri. D [m] immap naqqaniit itissisua matumani pineqarpoq.

Atortussiap suussusia	GeoA	GeoB	GeoC	GeoD
	D [m]	D [m]	D [m]	D [m]
Qalliutaa	0-4	0-20	0-10	0-25
Ikerani	4-5	20-40	10-15	25-100
Qaarsoq	>5	>40	>15	>100

5Tabel -2. Geoakustisk-it ilisarnaataat. For kompressionsbølgeudbredelse er c_p [m/s] lydshastigheden, og a_p [dB/l] er dæmpningen.

Atortussiap suussusia	Massefylde	Kompressionsbølge	
	r [kg/m ³]	c_p [m/s]	a_p [dB/l]
Qalliutaa	1800	1600	0.20
Ikerani	1900	1650	0.30
Qaarsoq	2700	5250	0.10

Takuneqarsinnaavoq ikiqatigiinni itinerpaaq qaarsuusoq maligaasanik sukkasu-umik ingerlatsinnaasoq (høj kompressionshastighed). Ikiariisaartuni ikiariinni qullerpaani marlunni atortussiat tasisuaarput, nipillu siaruariartorneranik ingerlatitseqqittarlutik. Tunngaviusumik qaarsup ikiariissaarnera ilusilerneqartaria-qarpoq maligaasiornerit taakku marluk (kompressionsbølger aamma shear-bølger) atorlugit, pissutigalugu nipip nukinga (annikinneq) shear-bølge-nut nuunneqartussaammat. Taamatut nuussineq takuneqarsinnaavoq nukimmik akustisk-imik annaasaqarnerunermik isorartussuseq eqqarsaatigalugu. Taamaatorli profil-ini takuneqarsinnaavoq, qaarsoq annertuumik sediment-init qallerneqarsimasoq. Taamaammallu mianersortumik pissuseqarluni nipip siaruariartortarneranut model-imi taamaallaat kompressionsbølge-t piginnaaneri ilanngunneqarsimapput, jf.

5Tabel -2

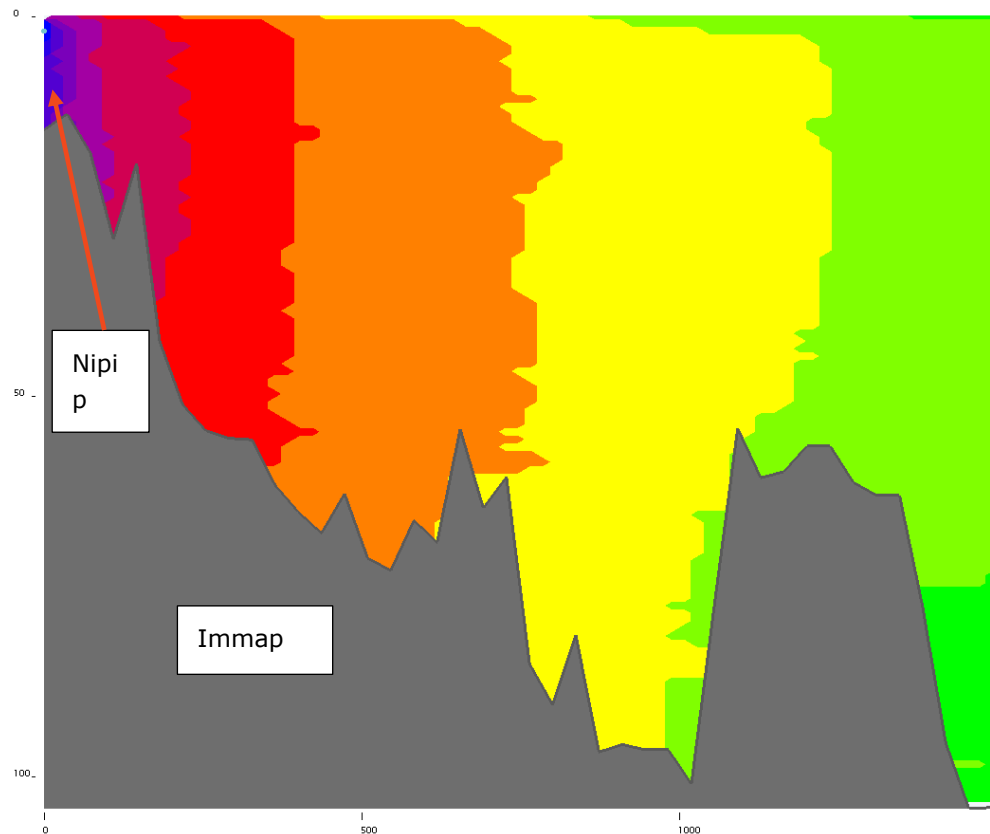
5.3.5 Immap qaavani akustiskimik katatsineq

Isorartussuseq annertusiartortillugu nipip sakkortussusia milliartortarpoq, nipip maligaasai immap qaavatigut ingerlanerani. Katataq taanna annertusiartortarpoq mallit portusiartortillugit frekvensimillu sunniivigeqatigiittarlutik, aallaavitullu aatsaat kHs-eqarfimmi sunniuteqartarluni aamma isorartusiartornermi (Urick 1983). Mianersortumik aallaaveqarluni annaasaqaat taanna ilaatinneqanngilaq matumani piviususaartitsilluni ilusilersuinermi.

5.4 Nipip siaruarneranik piviusuusaartitsilluni ilusiliineq

Piviusuusaartitsilluni nipip siaruarneranik ilusilersuinermit atornerqarpoq software dBSea ver. 2.3.4 (Marshall Day Acoustics 2024). Sakkoq taanna immap iluani nipip siaruarnera pillugu algoritme-nik numerisk-iusunik arlalinnik toqqagassaqarpoq.

3D atorlugu batymetri-data (immap itissusia) sumiiffimmi piviusuusaartitsilluni ilusilersuinermit dBSea-p nipip siaruariartortarnera ilusilersorpa 2D transekt-inut arlalinnut nipip aallaavii taaneqartut aallaavigalugit. Figur 5-9 -mi takutinneqarpoq assersuut transekt-imut naatsorsorneqartumut. Paasiuminarnissaa pine-rullugu immap naqqa ataasiinnarmik qalipaaserneqarpoq, massa model atorlugu nipip siaruarnera annerpaaq immap naqqani pingaluartoq. Nipeqarfik sorpas-suarnit katitigaavoq, assersuutigalugulu aalajangiutivillugu oqaatigiuminaappoq itissutsimi sorlermi nipi qaffasinnerpaajusarnerseq. Tamatuma saniatigut qulakkeerneqarsinnaanngimmat uumasut imarmiut miluumasut itissutsimi sumi-innerat, nalinginnaasumik atornerqartarpoq transekt-imik naatsorsuinermit innererit **“Max-Over-depth”**-iusut (Energistyrelsen 2023). Nipeqarfimmik mian-ersortumik paasinninneruvoq.



Figur 5-9. 2D-transekt-imik assersuut. Akse sanimoortoq tassa nipip pilerfianit isortartususeq. Akse qummukartoq tassa immap itissusia. Qalipaatis nipip sakkortussianik takutitsippit, qorsuk appasinnerpaalluni tungujortorlu qaffasinnerpaajulluni.

Qarasaasiami artoq Software uani atornerqarpoq SEL 1/3-oktavit naatsorsorneranni uku tunngavigalugit:

- > Nipip pilerfiata qeqqa atuisumit nalunaarneqartoq
- > Batymetri

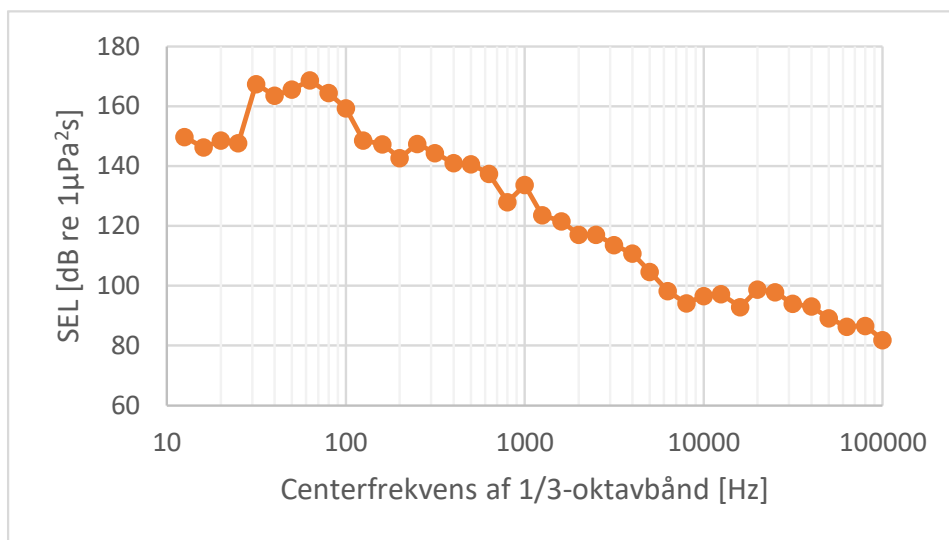
- > Immap naqqata-ikiariissaarnera aamma geoakustik
- > Oceanografi

Suliami matumani algoritmit marluk ataqatigiissinneqarput frekvenseqarfik aallaavigalugu:

- > 12,5 Hz til 1 kHz: Parabolic Equation med 5 Padé Terms
- > 1,25 kHz -miit 100 kHz -mut: Ray Tracing

Kisitsinermit naleqqersuutit qassutaasatut ilusillit, sanimut 20 meter opløsning-illit qummullu 1 meter opløsning-illit naatsorsuutigineqarput.

Assersuummi takutinneqartumi, SEL-qeqqani inernerusumi, puttasup uuttuinermit atorneqartup sumiiffiani (position) (Kristensen og Maxon 2015) koordinatini Easting 464555, Northing 7115262 (UTM 22N). Tamanna qaartitsiffigisamiit 560 meter missaani ungasissusilimmiippoq. Tamakkiisumik qaffasissuseq 175 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$. Takuneqarsinnaavoq nukiup annersaa appasissumik frekvensimiit-toq 31,5-miit 100 Hz-mut.



Figur 5-10. Qaartitsiffiusumit 560 meterit missaanni ungasissusilimmit tigoqqaaviusumi nipip qeqqa naatsorsorneqartoq. Itissuseq 15 m. Spektre takutinneqartoq SEL [dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$].

5.4.1 Peak-imi nipip naqitsinerata qaffasissusii naatsorsuutigineqartut

Akustisk-imik uuttuut tunngavisoq naatsorsuinermit atortoq SEL-iuvoq, toqaannartumik naatsorsorneqarluni. Nipimik kalerrineq Peak nipip naqitsinera annerpaaq $L_{p,pk}$ [dB re $1\mu\text{Pa}$] pisumi massakkorpiaq pisumeersuuvoq (øjebliksniveau), siaruarfiusumi nikerarnernut sukkasuunut malussarissorujussuaq (assersuutigalugu malinnut), aamma nipip qiteqarfiata ilaani frekventit qaffasissut immikkuualuttortaannut. Uuttuut taanna toqaannartumik ilusilerniassallugu ajornakusoorpoq, aamma tassunga taarsiullugu atorneqakkajuppoq empirisk-imik aalajangigaq SEL-ip aamma $L_{p,pk,r}$ -ip akornani, takuuk assersuut (Lippert et al. 2015).

Piviusuusaartitsilluni ilusilersuinermi matumani misiliilluni qaartitsinemri nr. 2-mi (Kristensen aamma Maxon 2015) misilittakkat atorneqarput, 800 meterinik isorartussuseqartumi uuttuinermi makku takuneqarlutik:

$$L_{p,pk} = L_{E,p} + 18 \text{ dB}$$

Her er $L_{E,p}$ [dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$] det uvægtede SEL totalniveau.

5.5 Nipimik sakkukillisaaneq

Puaasartitsilluni assiaqutit nalinginnaasumik atugaapput, qaartitsinermit immap iluani nipimik sakkukillisaatitut. Qaartiterinissamut pilersaarummi (COWI 2024) allaaserineqarput puaasartitsilluni assiaqutit sunniuteqartarnerannut akustistikimut tunngaviit. Taamatuttaaq pujaasartitsilluni assiaqutit atorluarsinnaasut angujumallugit inassuteqaatit allaaserineqarsimapput.

Piviusuusaartitsilluni ilusilersuinermit matumani aallaavigineqarpoq Rambøll-ip misiliilluni qaartitsinera, puaasartitsilluni assiaqutit marloqiusat atorlugit qaartineqartoq entreprenør-imit (Kristensen og Maxon 2015). Nalunaarummi allasimavoq:

- > Puaasartitsilluni assiaqutinut atorneqarput sullullut, tamarmik 50 meterinik takissusillit, 40 mm PE100, PN10 sullullit putullit.
- > Sullulik (ruujori) tamarmik immikkut silaannarmik 138 l/s-imit immerneqarput, assingaa 8,3 m³/minut
- > Assiaqutit taakku marluk imminnut 10 meter miss. ungasitsigipput.
- > Nalunaarusiami assit aallaavigalugit nalilerneqarpoq assiaqut ilorleq qaartitsiffiusumit 10 meter missaanni ungasitsigisumiittoq.

Ilimagineqarpoq puaasartitsilluni assiaqutit pillugit ilitsersuutit (COWI 2024) mallinnerisigut nipimik sakkukillisaaneq annertusarneqarsinnaasoq.

6 Inernerit

Naatsorsuinermi inernerit katersorneqarsimapput immikkoortumi 2.

7 Inaarutaasumik oqaaseqaatit

Kilisaatinut umiarsualiviliamut atatillugu, qaartiterinissami pilersaarummi naatsorsuutigineqartut tunngavigalugit, aamma immap naqqanut imaanullu tunngasut pillugit paasissutissat sukumiisut tunngavigalugit, ullormut qaartitsinissami nipiliornermi tatisineq naatsorsorneqarsimavoq. Pilerfiup sakkortussusia akustiskiusoq uuttortarneqarpoq misiliilluni qaartitsineq, piviusoq, nr. 2-mi (Kristensen og Maxon 2015) tunngavigalugu, nipip siaruartarneranut model-it atorlugit. Taamaalilluni naatsorsuutitut ilaatinneqarpoq uuttuinermit nalunaarusiami kingullermik taaneqartumi puaasartitsilluni assiaqutinik marlunnik atuinermit nipimik appartitsineq anguneqarsimasoq piviusoq.

Taaneqareersutut naatsorsuutit suliarineqarput qaartiterinissamut pilersaarut aallaavigalugu, naatsorsuutigineqarporlu, assersuutigalugu qaartitsivissami ataatsimi putut ikinneruppata imaluunniit qaartitsissutissat TNT-ækvivalens-inik minnerusunik atuisoqartillugu, taava nipi minnerusoq pilersinneqassaaq, matumani naatsorsuusiarineqarsimasunut sanilliullugu.

8 Litteratur

Ainslie MA, McColm JG (1998) A simplified formula for viscous and chemical absorption in sea water. *J Acoust Soc Am* 103:1671–1672.
<https://doi.org/10.1121/1.421258>

Arons AB (1954) Underwater Explosion Shock Wave Parameters at Large Distances from the Charge. *J Acoust Soc Am* 26:343–346.
<https://doi.org/10.1121/1.1907339>

Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) (2023) Nationwide Recommendations for Impact Pile Driving Sound Exposure Modeling and Sound Field Measurement for Offshore Wind Construction and Operations Plans. Sterling

Cheong, S.-H., Wang, L., Lepper, P., & Robinson, S. (2020). *Characterisation of Acoustics Fields Generated by UXO Removal - Phase 2*.

COWI (2023) Qeqertaq Avallermi umiarsualivimmik allilerineq. Sanaartornissamut pilersaarut

COWI (2024) Nuummi umiarsualivimmik allilerineq. Kilisaatinut umiarsualivik. Immap naqqani qaartiterinissamut pilersaarut

dBSea (2024) Validation of the model. In: Website.
<https://www.dbsea.co.uk/validation/> . Tiguneqarpoq 6 mar 2024

DHI (2024) MIKE C-MAP. Available from:
<https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-c-map>

Energistyrelsen (2023) Guideline for underwater noise - Installation of impact or vibratory driven piles. Copenhagen

Farcas, A., Thompson, P. M., & Merchant, N. D. (2016). Underwater noise modelling for environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 57, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.012>

Hannay DE, Zykov M (2022) Underwater Acoustic Modeling of Detonations of Unexploded Ordnance (UXO) for Orsted Wind Farm Construction, US East Coast

Hempen GL, Ruben HJ (2005) Underwater blast pressures from confined rock removal shots The Kill Van Kull deepening project. In: Proceedings of the Thirty-first Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. International Society of Explosive Engineers, Orlando (FL), pp 91–100

Institute of Natural Resources Greenland Ecosystem Monitoring (GEM).
www.data.g-e-m.dk . Tiguneqarpoq 13. februar 2024

Jensen FB, Kuperman WA, Porter MB, Schmidt H (2011) Computational Ocean Acoustics, 2nd edn. Springer New York, New York, NY

Kristensen PP, Maxon CM (2015) Ny containerterminal Nuuk - Måling af undervandsstøj ved prøvesprængning. Copenhagen

Lippert, T., Galindo-Romero, M., Gavrilov, A. N., & von Estorff, O. (2015). Empirical estimation of peak pressure level from sound exposure level. Part II: Offshore impact pile driving noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(3), EL287–EL292. <https://doi.org/10.1121/1.4929742>

Lützen R (1998) Acoustic communication with an unmanned submarine. Master of Science Thesis, Technical University of Denmark

Mashall Day Acoustics (2024) dBSea. <https://www.dbsea.co.uk/> . Tiguneqarpoq 6 mar 2024

Nauta MR (2012) Refleksionsseismisk undersøgelse ved Ny Atlanthavn, Nuuk 2012. Asiaq Rapport 2012-13.

Southall BL, Finneran JJ, Reichmuth C, et al (2019) Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquat Mamm* 45:125–232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>

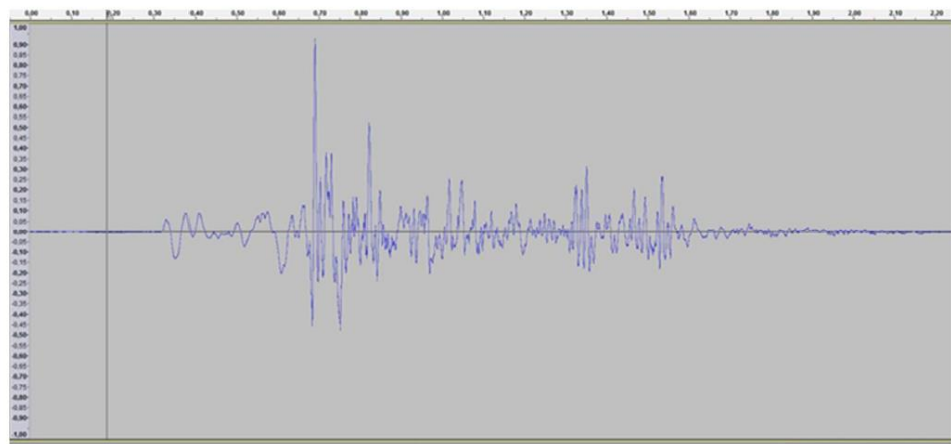
Tripathy GR, Shirke RR (2015) Underwater Drilling and Blasting for Hard Rock Dredging in Indian Ports - A Case Study. *Aquat Procedia* 4:248–255. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.034>

Urick, R. J. (1983), *Principles of Underwater Sound* (Third). Peninsula Publishing.

Weston, D. (1960), Underwater explosions as acoustic sources. *Proceedings of the Physical Society*, 76, 233–249.

Bilag A Akustisk terminologi - akustisk pillugu oqaatsit ator neqartartut

Nipi nalinginnaasumik allaaserineqartarpoq naqitsinerup maligaasiortutut [Pa] naqitsineq kaajallallugu, nalunaarneqarsinnaallunilu soorlu naqitsineq piffissamut naleqqiullugu imaluunniit frekvensit qiteqarfii, soorlu nipimut uuttuut frekvensimut [Hz]-imut naleqqiullugu. Taamaalilluni Figur 8-1-mi takutinneqarpoq nipip naqitsineranik tidsserie (maani takutinneqartooq V atorlugu, Pa -mi nipip naqitsineranut proportionaliusumik). Takuneqarsinnaavoq uuttuut piffissap ingerlanerani (akse sanimukartumi) nikerartooq agguaqatigiissitsinermi (det hydrostatiske tryk, nassuiarneqartooq ima trykfluktuationen 0 Pa), aamma nipip naqitsinerani positive og negative værdier takuneqarsinnaasut.



Figur 12. Prøvesprængning nr. 2 - Tidssignal for prøvesprængningen. Enheder: x-akse = sekunder; y-akse = volt.

Figur 8-1. (Kristensen og Maxon 2015)-mi nipi tidsserietut takutillugu assersuut.

Nipimut tunngatillugu 1/3-oktavspektre ator neqakulavoq, frekvens-eqarfinni assigiinngitsuni nipip nukinga paasinarnerrummat. Immap iluani akustik aamma signalanalyse paasiuminartumik atuarusukkaanni nittartagaq www.dosits.org innersuunneqarsinnaavoq.

Nalinginnaasumik "niveau" (tuluttut "level") atorlugu akustisk angissusilerneqartarpoq decibel-imik, dB.

Piffissami nutaajunerusumi akustisk-imik uuttuutit nassuiarneqarput nunat tamalaat akornanni atuuttuni ISO 18405-imi aamma 18406-imi. Qallunaat nunaannut tunngatillugu ilanngullugit innersuunneqarsinnaavoq Guidelinen for undervandsstøj (Energistyrelsen 2023).

Tulliuttuni takutinneqassapput uuttuutit tunngaviusut, atuartussarlu aamma atuakkanut najoqqutarineqarsimasunut innersuunneqarsinnaavoq.

Nipip naqitsinerata sakkortussusia L_p

Lydtrykniveauet er decibel-niveauet for lydtrykket p [Pa], bestemt som:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

Her er $p_0=1 \mu\text{Pa}$ referenceværdien for lydtryk i vand.

Peak lydtrykniveau $L_{p,pk}$

Piffissami takuneqartumi T [s] tassaavoq Peak-lydtryksniveauet L_p dB-værdien, nipip naqitsinera tamakkiisoq aallaavigalugu (positivt eller negativt) piffissap ingerlanerani.

Sound Exposure Level $L_{E,p}$

Sivikitsukullammik akustisk-imik kalerrisaarut sivisussusilik $T=t_2-t_1$ [s] assersuutigalugu qaartitsineq, tassaavoq Sound Exposure $E_{p,T}$ [Pa^2s] tassa kalerri-inermi nipip nukinga. Sound Exposure nassuiarneqarpoq nipip naqitsinera kipparissortutut ilisarnaquserneqarsimasoq p [Pa]:

$$E_{p,T} = \int_{t_1}^{t_2} p(t)^2 dt$$

Matuma kingorna Sound Exposure Level ima nassuiarneqarpoq:

$$L_{E,p} = 10 \cdot \log_{10} \frac{E_{p,T}}{E_0} \text{ dB}$$

tassani nipip innersuussaq $E_0=1\mu\text{Pa}^2\text{s}$.

Nipip pilerfiata sakkortussusia $L_{S,E}$

Nipi tassangaannartoq, soorlu qaartitsineq, nipip pilerfiani sakkortussuseq $L_{S,E}$ [dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{m}^2\text{s}$] nassuiarneqartoq piffissamut ilaasutut, kipparissukkaartumi nipip naqitsinera pilerfimmit 1 meterisut ungasitsigisumi isusissaanngitsumut nukimmillu annaasaqarfiusinnaanngitsumut inissinneqarsimasoq aamma pilerfik eqqortoq assigalugu Sound Exposure Level-ilik. Atuakkiani uuttuut taanna taaneqartarpoq pilerfimmi sakkortussusetut "Source Level" imaluunniit "SL" referenceværdi-tut $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}@1\text{m}$ atorneqartarluni.

Sukumiisumik nassuiaat taaguutit pillugit standard-imi ISO 18405-imi.

Siaruarnermi katataq, Transmission Loss aamma Propagation Loss

"TL" tassaavoq nassiussinermi annaasaq transmissionstab, sumiiffiit marluk aalajangersimasut r_1 og r_2 [m] akornanni sakkortussusimik katatsinerusoq immap naqqani akustisk-eqarfimmi. Tassani $r_{1,2}$ nipip pilerfianiit radius-iuvoq.

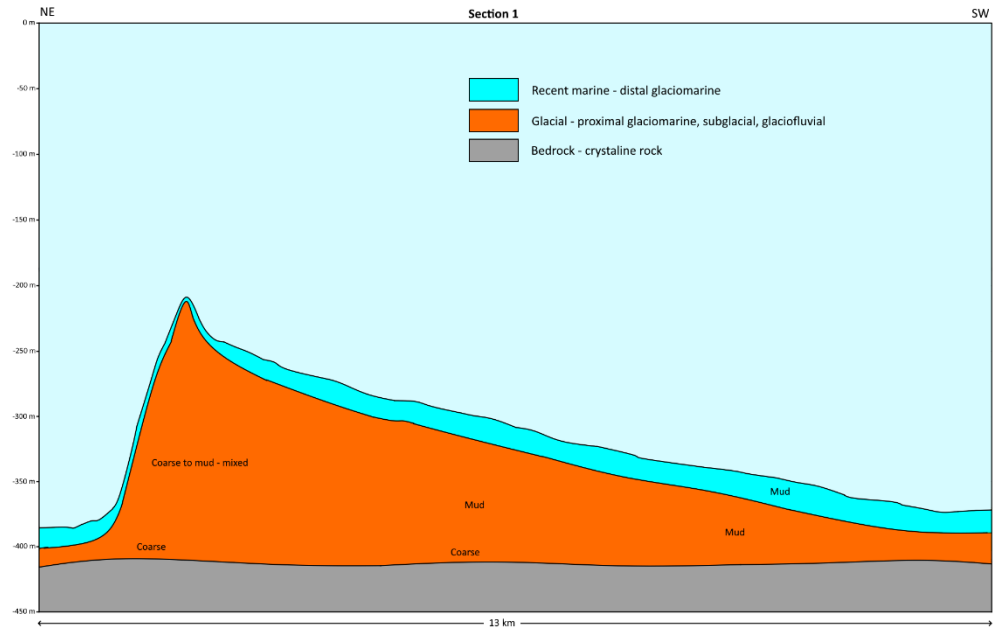
$$TL = L(r_1) - L(r_2) \text{ dB}$$

Nalinginnaasumik aallaavigineqartarpoq $r_2 > r_1$.

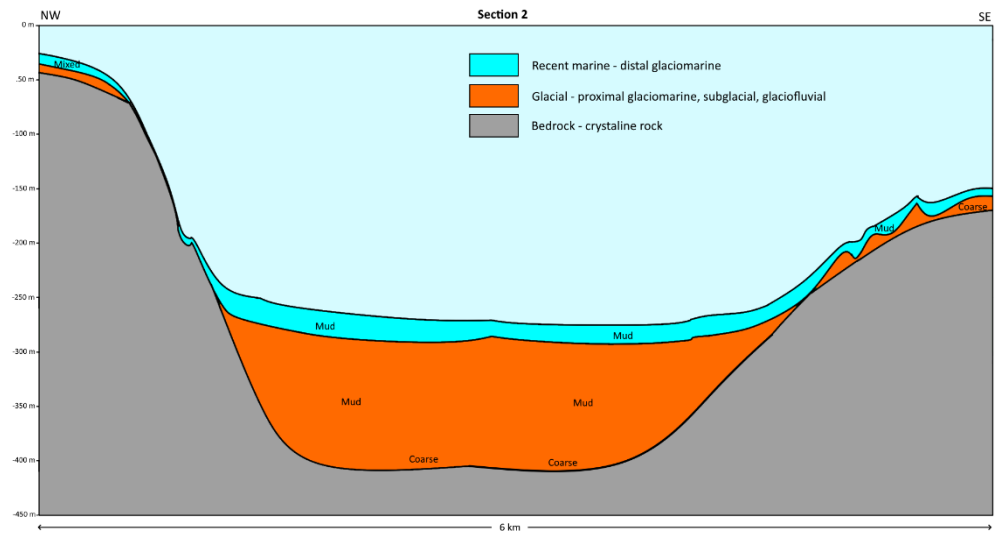
r_1 tunngatitaappat pilerfimmit 1 meterimut, taava tamatumani pineqarpoq siaruariartornermi nukup katakkiartuaarnera nipip pilerfiata tiguisussallu akornanni r_2 . Matumani taaguut atorneqakulavoq "Propagation Loss", "PL", soorlu SEL-uuttuummut:

$$PL_{E,p} = L_{S,E} - L_{E,p}(r) \text{ dB}$$

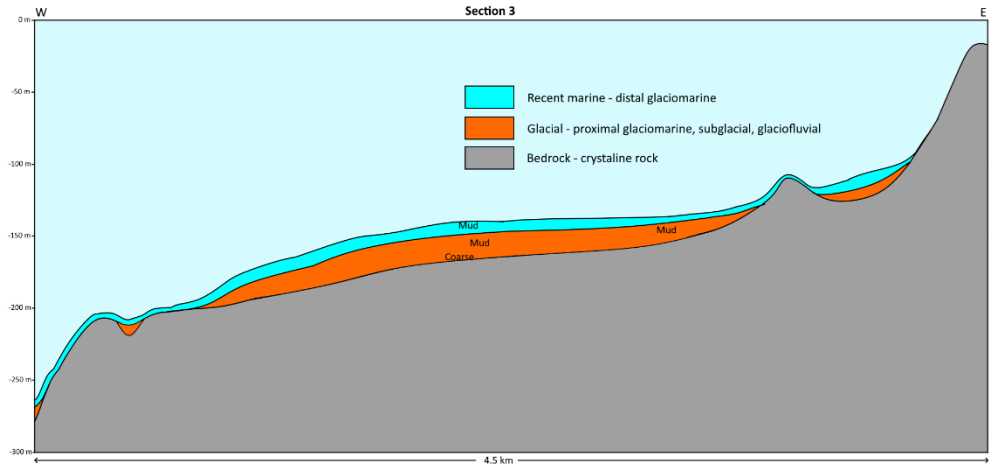
Bilag B Geologiske profiler



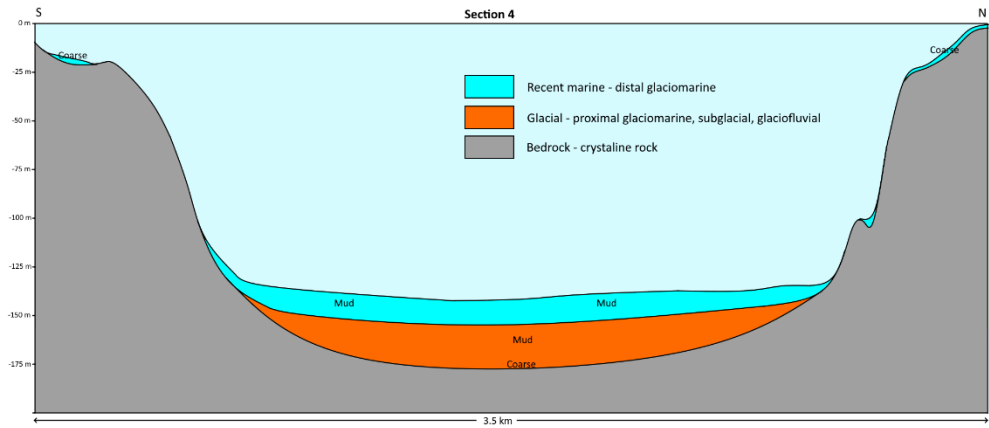
Figur 8-2. Geologisk profili sinaaniit Section 1.



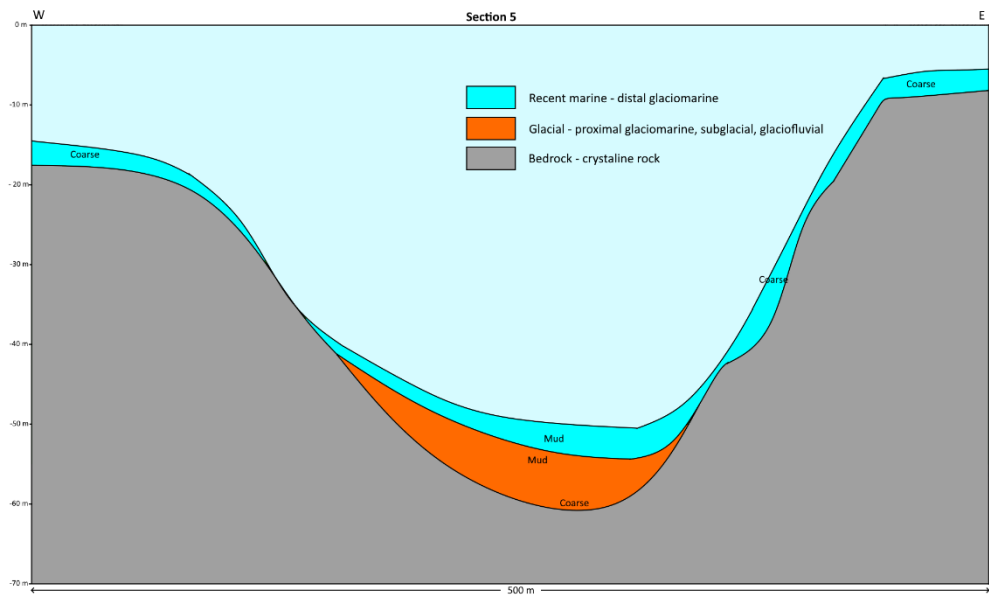
Figur 8-3. Geologisk profili sinaaniit Section 2.



Figur 8-4. Geologisk profiil sinaaniit Section 3.



Figur 8-5. Geologisk profiil sinaaniit Section 4.



Figur 8-6. Geologisk profiil sinaaniit Section 5 (umiarsualiviup pulammagiaa).