

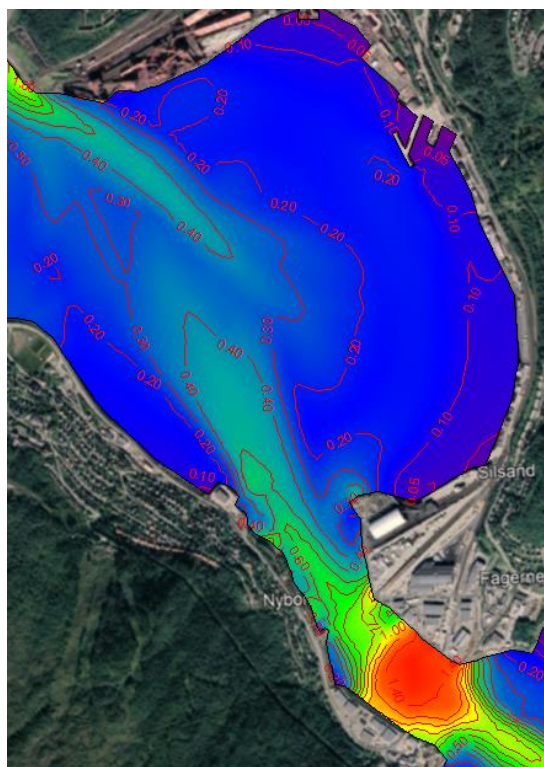
Til
Narvik Havn

Dokumenttype
Rapport

Dato
Marts, 2023

NARVIK HAVN

SIMULERING AF STRØM- FORHOLD



NARVIK HAVN SIMULERING AF STRØM-FORHOLD

Projektnavn **Dokumentation af bygbarhed og mulighed for udfyldning**
Projektnr. **1350046864**
Modtager **Narvik Havn**
Dokumenttype **Rapport**
Version **1**
Udarbejdet af **JQHN/THBU**
Kontrolleret af **JAK**
Godkendt af **JQHN**

Rambøll
Prinsensgade 11
DK-9000 Aalborg

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
<https://dk.ramboll.com>

Baggrundskort på forside er fra (Google Earth, 2023).

Rambøll Danmark A/S
CVR NR. 35128417

Medlem af FRI

INDHOLD

1.	Indledning	3
1.1	Planlagte udfyldninger ved Narvik Havn og ønskede analyser	3
1.2	Formålet med de opdaterede analyser præsenteret i nærværende rapport	7
1.3	Indhold i nærværende rapport	7
2.	Beskrivelse af tilgængelige måledata samt eksisterende hydrografi i projektområdet	9
2.1	Tilgængelige måledata fra området	10
2.1.1	Tilgængelige strømmålinger i 2011, (Novatek, 2011)	10
2.1.2	Tilgængelige vandstandsmålinger fra området, (Kartverket, 2023)	11
2.1.3	Tilgængelige vindmålinger fra området, (Norsk Klimaservicesenter, 2023)	13
2.1.4	Tilgængelige vanddybdemålinger fra området, (GeoNord, 2022)	15
2.2	Styrende parametre for hydrografien Narvik Havn	16
2.2.1	Opsummering af tidligere vurderinger af hydrografi fra 2021, baseret på (Rambøll, 2021)	16
2.2.2	Supplerende vurdering af styrende parametre for hydrografien ved Narvik Havn baseret på måledata	16
3.	Opsætning og kalibrering af model	20
3.1	Modelkalibrering	21
3.2	Evaluerede modelscenarier	25
3.2.1	Modelsценарier for planlagte udfyldninger	25
3.2.2	Modelsценарier for hydrografi	27
3.2.3	Opsummering af evaluerede modelscenarier	28
4.	Vurdering af påvirkning af lokale strømforhold fra planlagte udfyldninger	29
4.1	Simulerede typiske strømforhold for eksisterende situation og planlagte udfyldninger	29
4.1.1	Simulerede strømforhold for eksisterende situation	29
4.1.2	Simulerede strømforhold for planlagte <i>Udfyldning A</i>	33
4.1.3	Simulerede strømforhold for planlagte <i>Udfyldning B</i>	37
4.1.4	Simulerede strømforhold for planlagte <i>Udfyldning A og B</i>	41
4.2	Vurdering af påvirkning på lokale strømforhold fra planlagte udfyldninger	44
5.	Opsummering og konklusion	48
5.1	Usikkerheder relateret til nærværende strømsimuleringer	48
	Referencer	50
	Appendix A - Øjebliksplosts af ind- og udgående strøm for eksisterende situation	51
	Tidevandsdominerede strømforhold	51

Vinddominerede forhold	53
Appendix B - Øjebliksplosts af ind- og udgående strøm for situation med planlagte Udfyldning A	55
Tidevandsdominerede strømforhold	55
Vinddominerede forhold	57
Appendix C - Øjebliksplosts af ind- og udgående strøm for situation med planlagte Udfyldning B	59
Tidevandsdominerede strømforhold	59
Vinddominerede forhold	61
Appendix D - Øjebliksplosts af ind- og udgående strøm for situation med planlagte Udfyldning A og B	63
Tidevandsdominerede strømforhold	63
Vinddominerede forhold	65

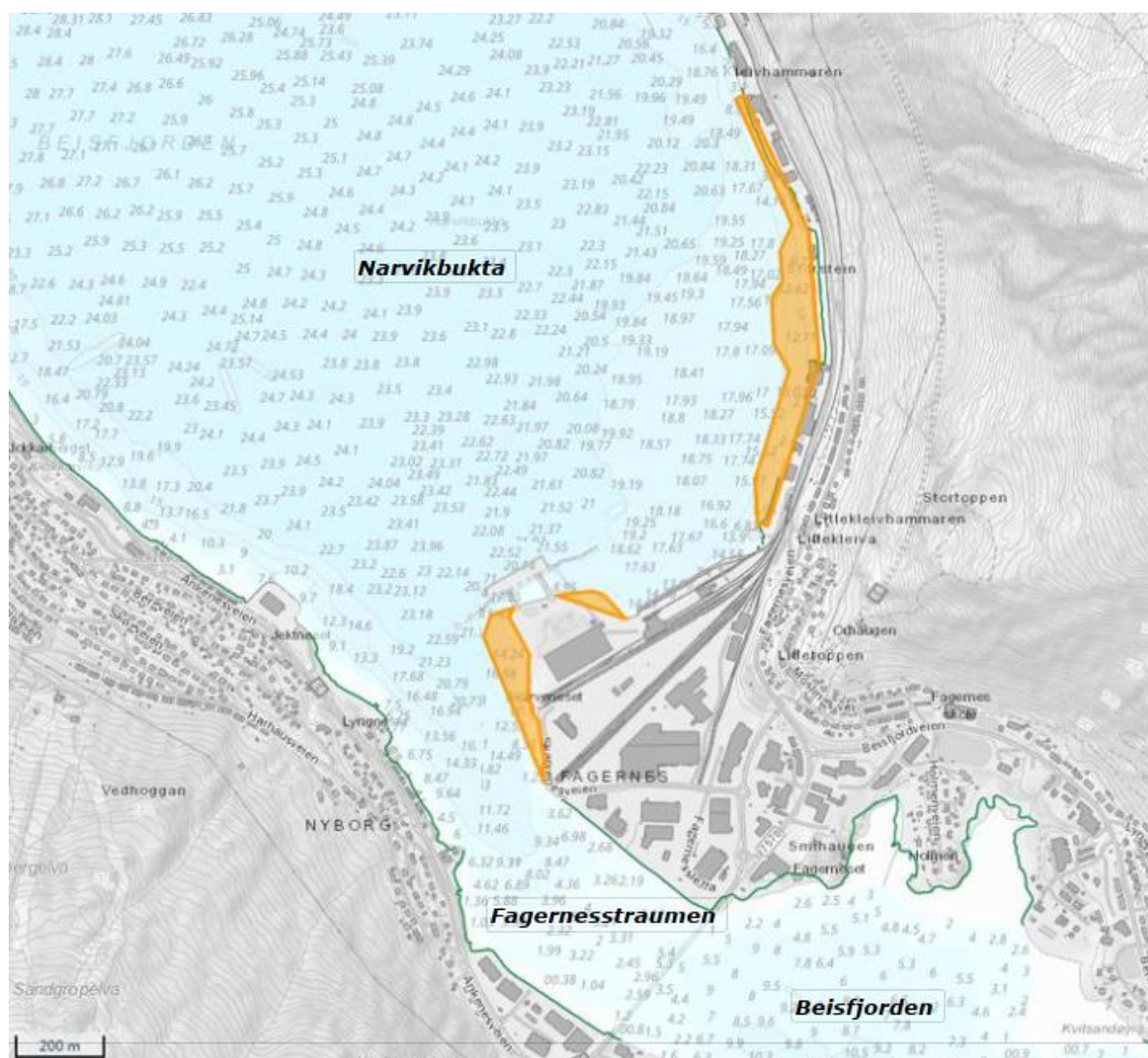
1. INDLEDNING

Narvik Havn vurderer landvindinger i Beisfjorden og ønsker i den forbindelse en beskrivelse samt en tilhørende analyse af hhv. nuværende- og fremtidige strømforhold, som et bidrag til at vurdere på bygbarhed ifm. reguleringsplanen.

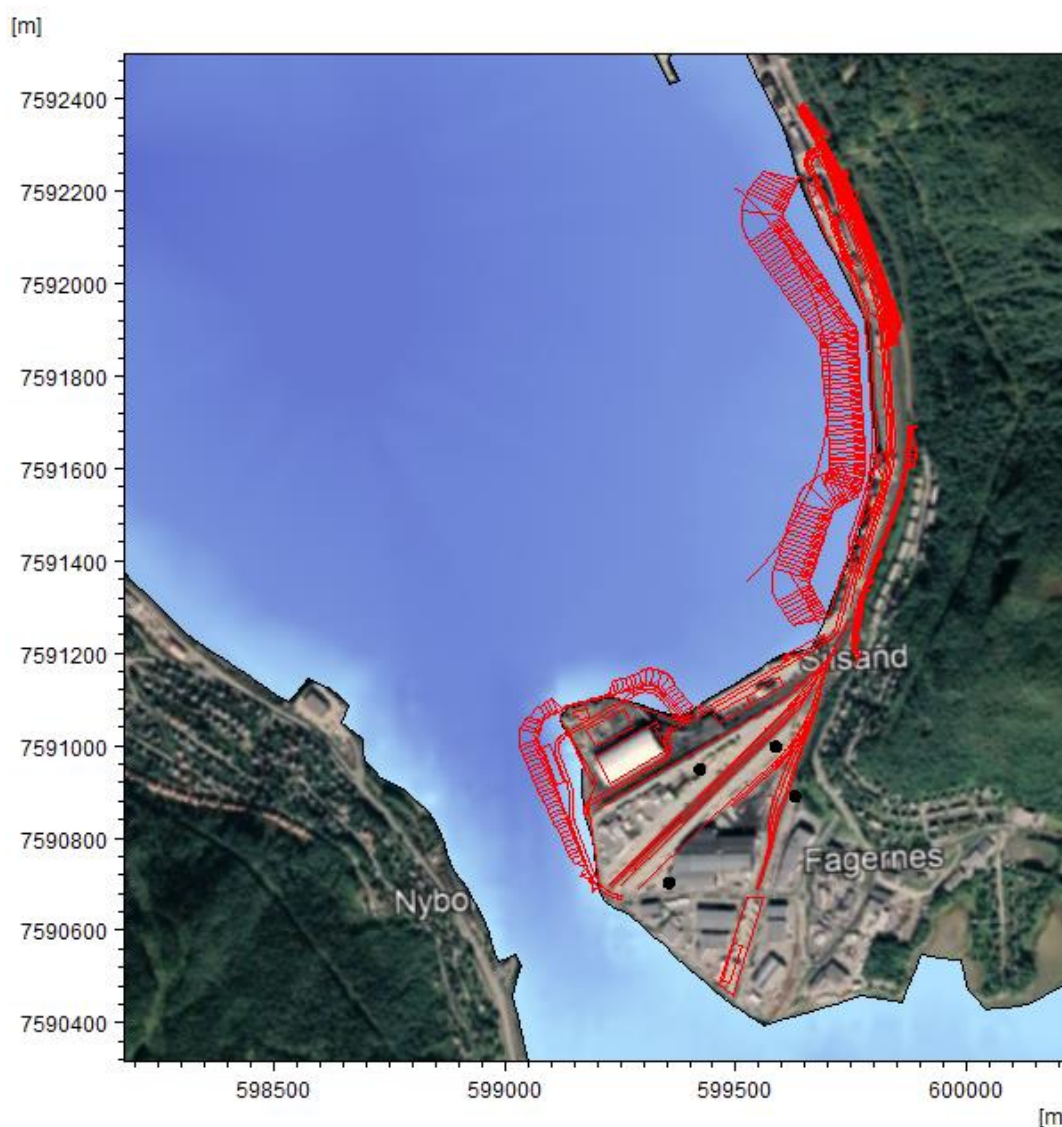
Nærværende rapport bygger videre på tidligere gennemførte analyser vedr. strømforhold ved ny planlagt landindvinding i Beisfjorden, Norge, hvilket er dokumenteret i rapporten; *"Sjøutfyllinger Narvikterminalen – Vurderinger av strømforhold"* (Rambøll, 2021).

1.1 Planlagte udfyldninger ved Narvik Havn og ønskede analyser

I forbindelse med udvikling af Narvikterminalen er der planlagt et nyt område på ca. 990.000 m² indeholdende jernbane-, bulk og havne-terminal. Det planlagte område, benævnt *"Udfyldning A"* i det følgende, er illustreret i figur 1-1 samt figur 1-2.

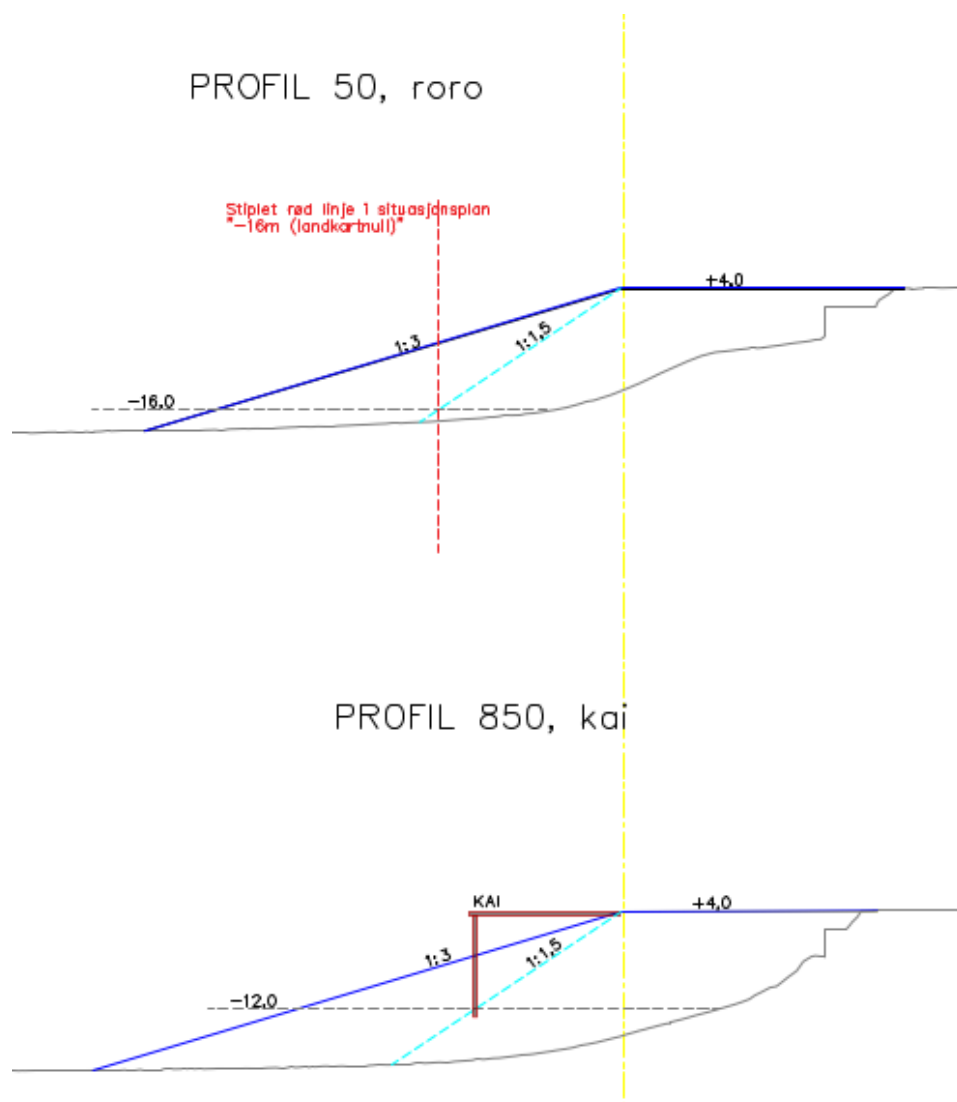


Figur 1-1: Omtrentlig afgrænsning af det nye planlagte udfyldningsområde ved Narvik Havn (orange skraveringer). Området benævnes samlet som *"Udfyldning A"* i det følgende. Kortet er fra (Rambøll, 2021).



Figur 1-2: Situationsplan af "Udfyldning A", Alternativ 3F. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

En illustration af planlagte tværsnit ved kajer ifm. *Udfyldning A* er vist i figur 1-3. Til nærværende analyser forudsættes en stensætning med hældning 1:3 langs periferien af planområdet.



Figur 1-3: Illustration af tværsnit ved "Udfyldning A".

Udover *Udfyldning A* er der planlagt en udfyldning på søarealet ved Ankenesstrand, benævnt "*Udfyldning B*" i det følgende, se figur 1-4. Som det fremgår af figur 1-2 og figur 1-4, vil begge planlagte udfyldninger delvist ligge placeret i Fagernesstraumen.



Figur 1-4: Omtrentlig afgrænsning af det nye planlagte udfyldningsområde ved Ankenesstrand. Området benævnes "Udfyldning B" i det følgende. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

Brugen af arealet ved *Udfyldning B* er endnu ikke endeligt fastlagt, men en foreløbig skitse er vist i figur 1-5. Til nærværende analyser forudsættes en stensætning med hældning 1:3 langs periferien af planområdet.



Figur 1-5: Foreløbig skitse af ønsket udvikling for planområdet ved Udfyldning B. (Concil, 2022), (Anima Arkitekter)

Tilsammen kan de planlagte udfyldninger, hhv. *Udfyldning A* og *Udfyldning B* medføre ændringer i lokale strømforhold i området, hvilket har afstedkommet et behov for at vurdere på strømforholdene hhv. før- og efter etableringen.

1.2 Formålet med de opdaterede analyser præsenteret i nærværende rapport

Formålet med gennemførelsen af opdaterede analyser præsenteret i nærværende rapport er at gennemføre vurderinger på strømforholdenes påvirkning ved udførelse af de planlagte udfyldninger. Mere specifikt opnås disse resultater ved anvendelse af tidligere strømmålinger i Fagernesstraumen til kalibrering af en hydraulisk model til simulering af vandstands- og strømforhold i Narvikbugten og Beisfjorden.

1.3 Indhold i nærværende rapport

Indholdet i de specifikke afsnit i nærværende rapport præsenteres i det følgende:

- **Afsnit 2: "Beskrivelse af tilgængelige måledata samt eksisterende hydrografi i projektområdet":** Der gives en indledende præsentation af lokale strømmålinger gennemført i perioden 31/08-2011 til 02-09-2011. Dataene anvendes efterfølgende til kalibrering og validering af bølgemodellen. Ligeledes præsenteres vandstands- og vindmålinger hentet fra offentlige kilder fra de norske myndigheder. Vandstandsdata og vinddata anvendes efterfølgende til forcering af modellen.
- **Afsnit 3: "Opsætning og kalibrering af model":** Opsætning- samt kalibrering af strømmodellen beskrives. Herudover præsenteres evaluerede modelscenarier for planlagte udfyldninger samt evaluerede modelleringsperioder.

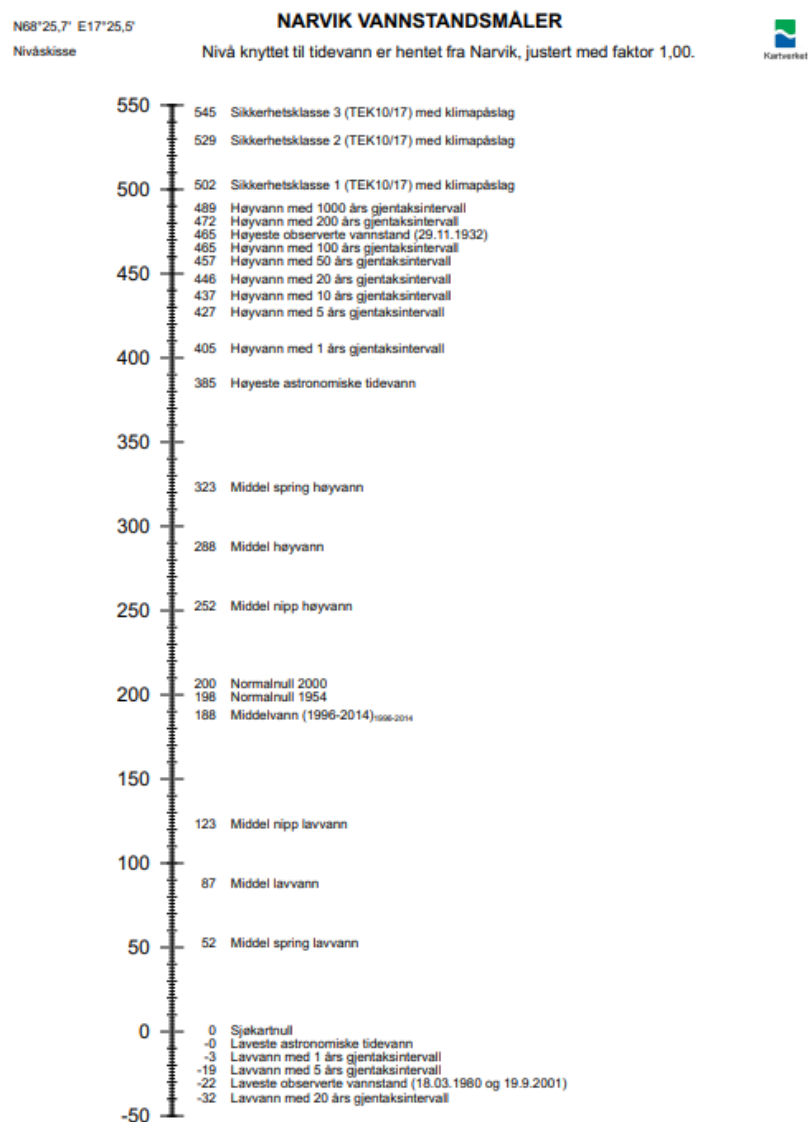
- **Afsnit 4: "Vurdering af påvirkning af lokale strømforhold fra planlagte udfyldninger":** Simulerede strømforhold for de specifikke scenarier opsummeres, og der vurderes på påvirkninger fra planlagte udfyldninger på lokale strømforhold i Narvik Bugten.
- **Afsnit 5: "Opsummering og konklusion":** Der gives en opsummering af væsentlige konklusioner fra foregående afsnit.

2. BESKRIVELSE AF TILGÆNGELIGE MÅLEDATA SAMT EKSISTERENDE HYDROGRAFI I PROJEKTOMRÅDET

De planlagte udfyldninger er alle beliggende i Narvikbukta, ved udmundingen af Beisfjorden. Beisfjorden er ca. 8 km lang og kan betegnes som en tærskelfjord med begrænset vandudskiftning. Tærskeldybden via Narvik-bugten og videre til Ofotfjorden og de åbne havområder er ca. 3-4 m, mens hoveddelen af Beisfjorden er 30-45 m dyb.

Strømforholdene i Narvikbugten er påvirket af tidevand. Tidevandet medfører således tidevandsstrøm med en periode på ca. 12 timer og 25 minutter. Forskellen imellem høj- og lavvande er forholdsvis stor (imellem ca. 1,5 – 3,5 m), og middelvandstanden ligger 2,88 m over "Sjøkartsnul", mens middellavvande ligger 0,87 m over Sjøkartsnul, se figur 2-1.

Udover tidevand kan vindpåvirkningen medføre vandstandsforskelle. Bl.a. er højvandstanden med 1-års returperiode 4,05 m over Sjøkartsnul, se figur 2-1.



Figur 2-1: Vandstands- og tidevandsniveauer ved Narvik. (Norgeskart, 2023)

2.1 Tilgængelige måledata fra området

Tilgængelige måledata fra beskrives i det følgende. Data vil efterfølgende anvendes til at beskrive eksisterende hydrografiske forhold i projektområdet.

2.1.1 Tilgængelige strømmålinger i 2011, (Novatek, 2011)

Der er i 2011 målt strømhastighed via både stationære strømmålere samt strømkors i nærheden af de planlagte udfyldningsområder. De stationære målinger blev gennemført ved tre stationer, hhv. position 1554 (på ca. 5 m vanddybde) og ved position 1284, som blev flyttet i løbet af måleprogrammet fra ca. 2 m vanddybde i starten af måleperioden til ca. 5 m vanddybde i slutningen af måleperioden. Resultater fra måleprogrammet er angivet i (Novatek, 2011), og er opsummeret i det følgende.

Måleperioder og placeringer af strømmålere er angivet i figur 2-2. Placeringer er yderligere illustreret i figur 2-3.

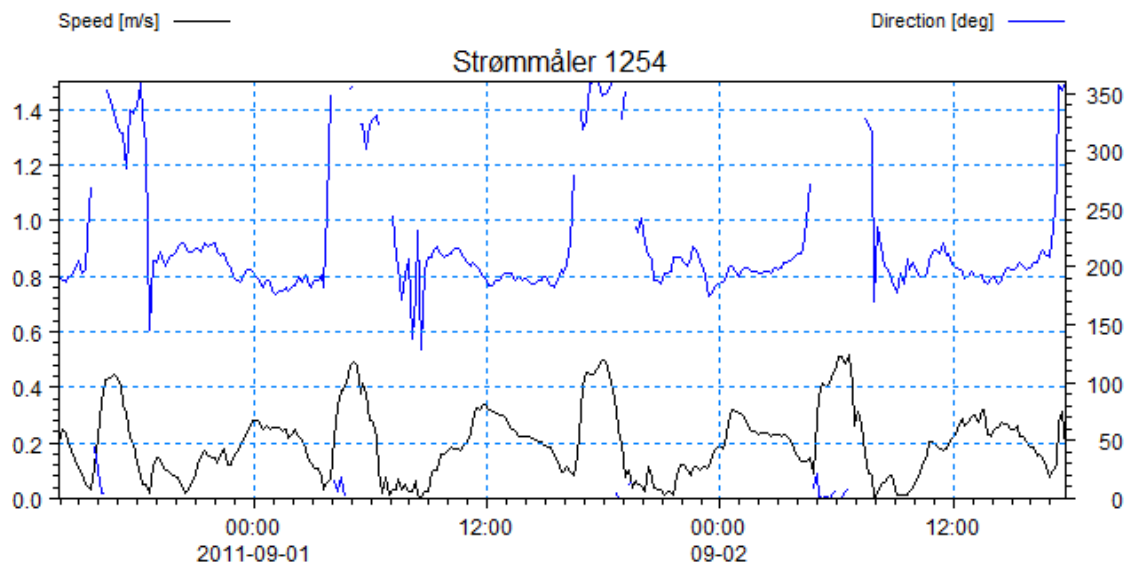
	Tid	X	Y	Dyp (m)
Strømmåler 1284	31/08 kl 14:33– 1/9 kl 14:53	7590328	599454	2
Strømmåler 1284	1/9 kl 15:13 – 2/9 17:43	7590928	599009	5
Strømmåler 1554	31/8 kl 13:57-2/9 kl 17:47	7591092	599011	5

Figur 2-2: Dybde og UTM-kordinater for placering af strømmålere. (Novatek, 2011)

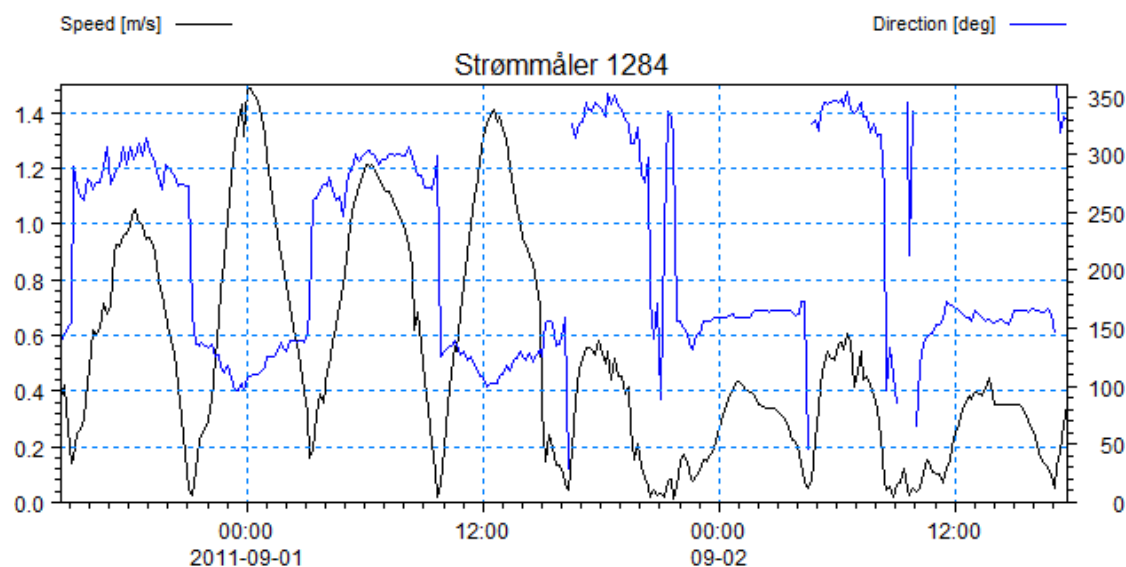


Figur 2-3: Placering af strømmålere ifm. måleprogram ved Narvik Havn i 2011. Af figuren fremgår desuden "Udfyldning A" (Rambøll, 2021)

Målte strømhastigheder og -retninger ved strømmåler 1254 og 1284 er vist i hhv. figur 2-4 og figur 2-5. Som det fremgår af figurene, skifter strømmen retning og hastighed med en periode på ca. 6 timer, hvilket skyldes tidevandsvariationen.



Figur 2-4: Strømmålinger ved position 1254. Strømretninger er "gående mod". Målinger er fra (Novatek, 2011)

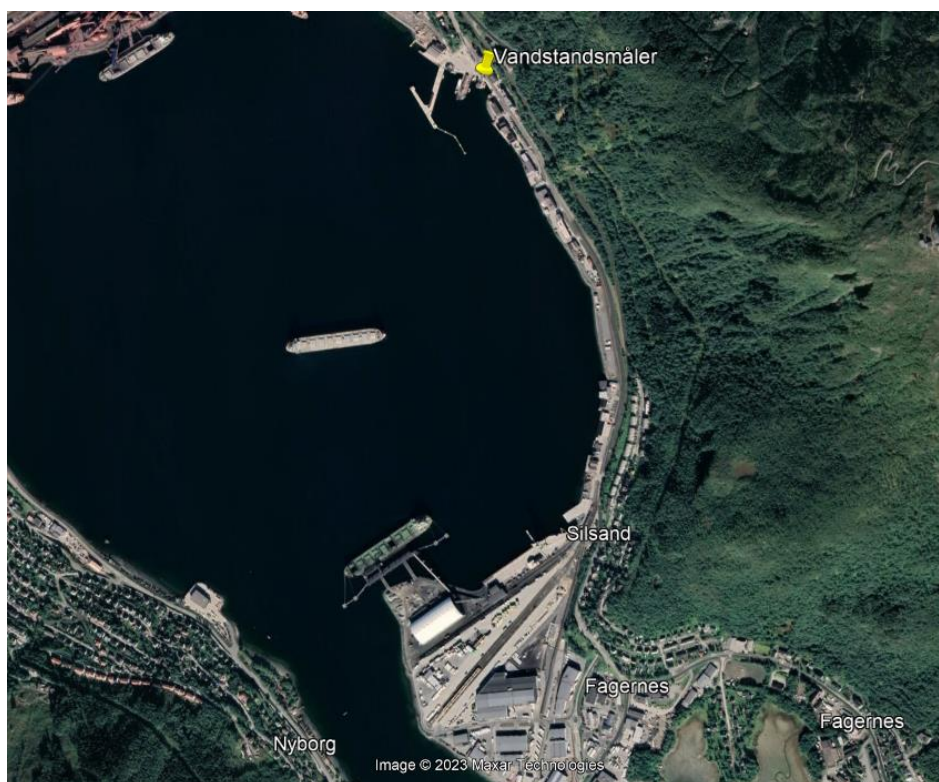


Figur 2-5: Strømmålinger ved position 1284. Strømretninger er "gående mod". Vær opmærksom på at måleren har flyttet position d. 1/9 kl. 15:53. Målinger er fra (Novatek, 2011)

Som det fremgår af figur 2-4 og figur 2-5, er strømhastigheden i den første halvdel af måleperioden signifikant højere ved position 1284 sammenlignet med position 1254, hvilket skyldes placeringen i Fagernesstraumen. Her har der i måleperioden forekommet strømhastighed på op til ca. 1,49 m/s (sydøstgående – når tidevandet har løbet ind i fjorden).

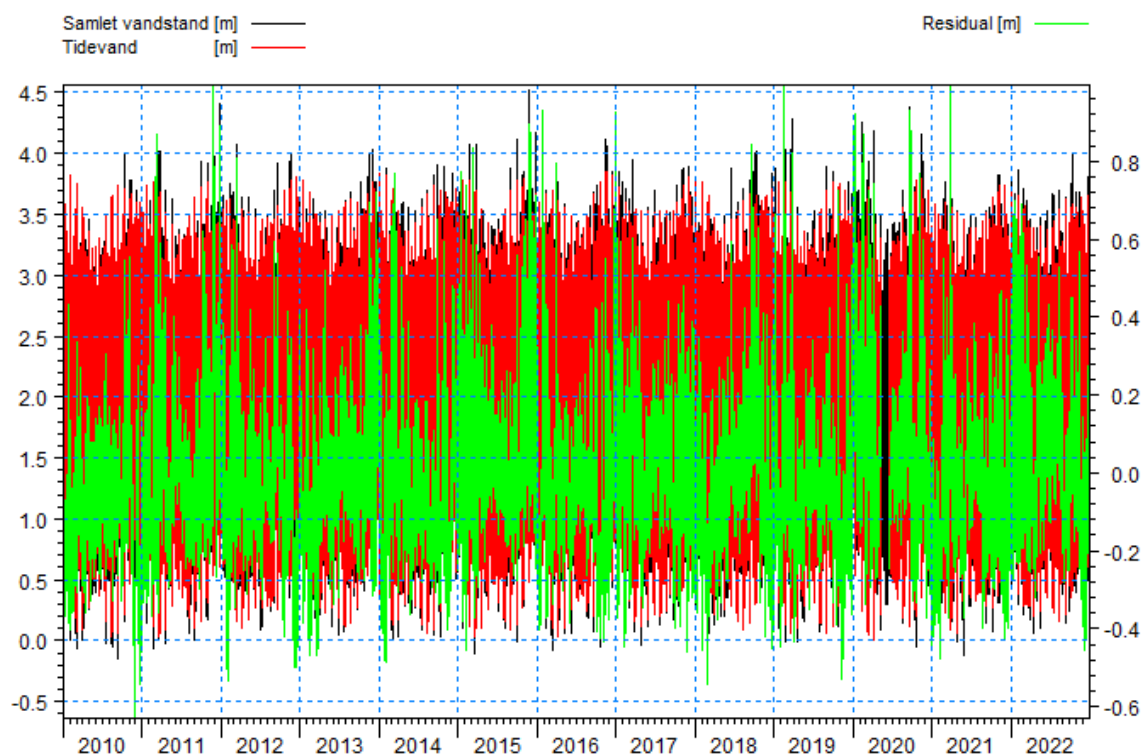
2.1.2 Tilgængelige vandstandsmålinger fra området, (Kartverket, 2023)

Vandstandsmålinger ved Narvik Havn er tilgængelige fra (Kartverket, 2023). Til nærværende analyser er der indhentet data i perioden 2010 – 2022. Data er målt ved Lat/Lon 68.43°;17.43° - se placering i figur 2-6.



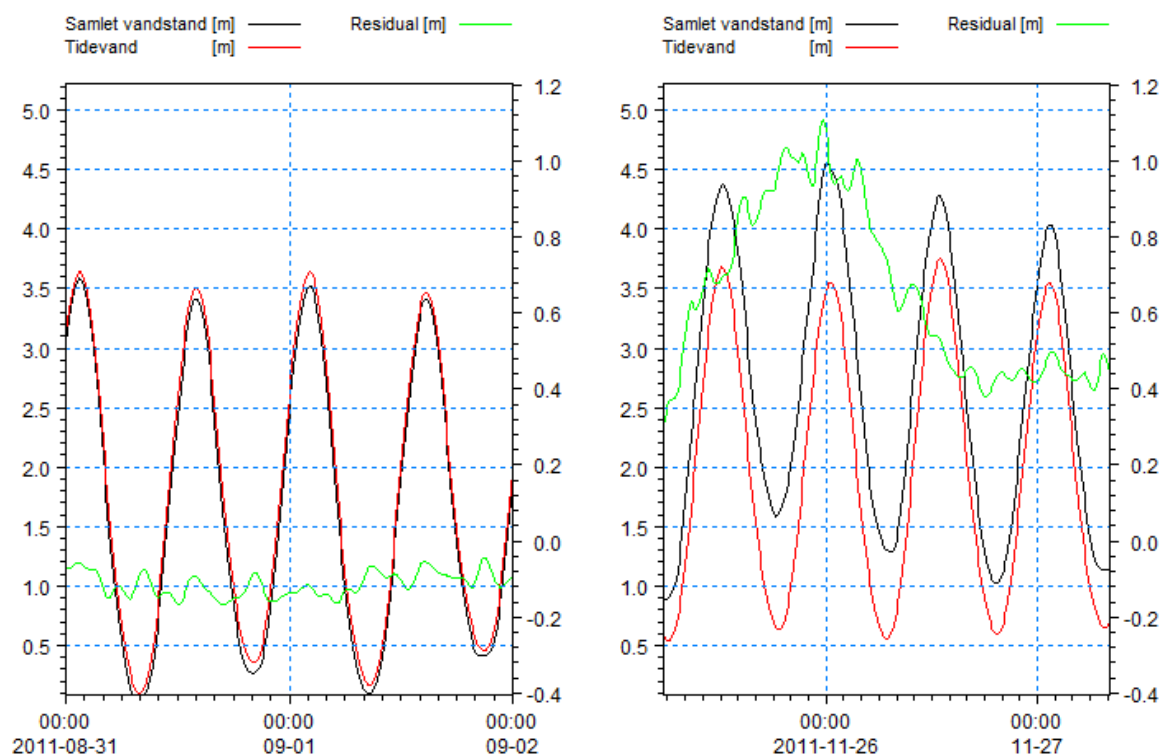
Figur 2-6: Placering af vandstandsmåler ved Narvik Havn. (Google Earth, 2023)

Vandstandsmålinger fra Narvik Havn i perioden 2010 – 2022 er vist i figur 2-7. Data inkluderer "samlet vandstand" (dvs. den totale målte vandstand), "tidevand" (dvs. den tidevandsgenererede vandstand ekskl. bidrag fra bl.a. vind), samt "residual" (dvs. vandstand genereret fra differensen imellem samlet vandstand og tidevand).



Figur 2-7: Vandstandsmålinger i perioden 2010 - 2022. Vertikalreference er søkortsnul. Data er fra (Kartverket, 2023).

Eksempler på perioder med hhv. stor- og lav overensstemmelse imellem samlet vandstand og tidevand er vist i figur 2-8. I figur 2-8 (venstre) er vist vandstandsforhold for samme periode hvortil der forekommer tilgængelige strømmålinger, jf. afsnit 2.1.1. Som det fremgår af figuren, har vandstandsforholdene for den pågældende måleperiode været domineret af tidevand.



Figur 2-8: Eksempler på perioder med hhv. stor overensstemmelse imellem samlet vandstand og tidevand (venstre) og lav overensstemmelse, dvs. stor residual-vandstand (højre). Data er fra (Kartverket, 2023).

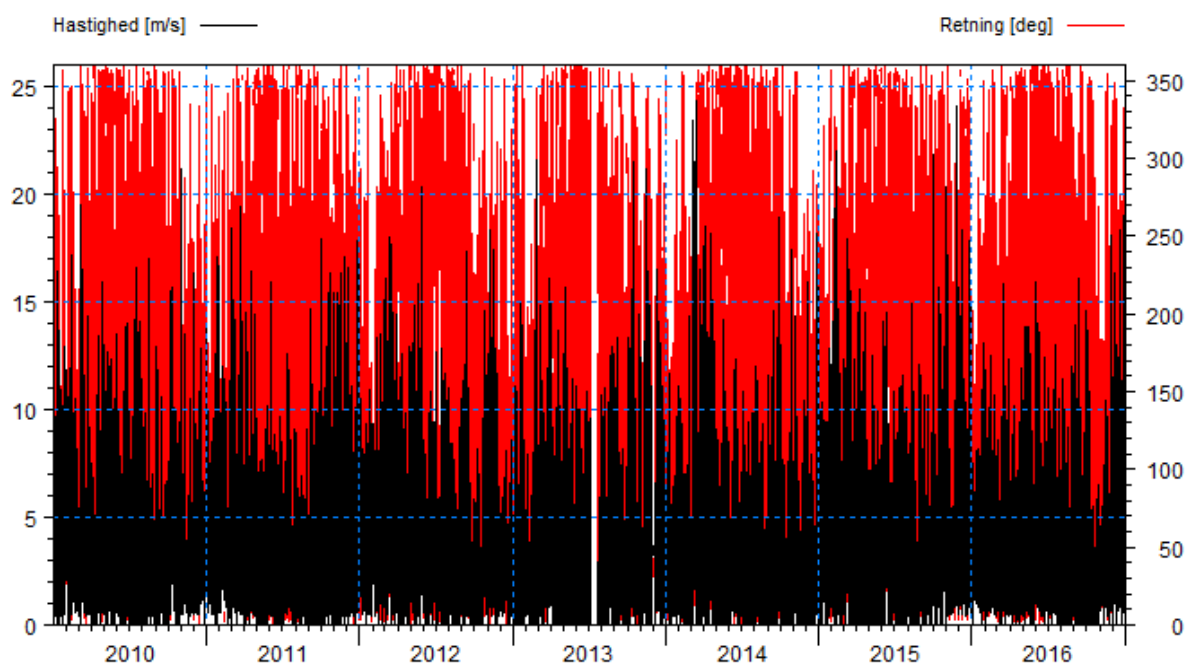
2.1.3 Tilgængelige vindmålinger fra området, (Norsk Klimaservicesenter, 2023)

Lokale vindmålinger er tilgængelige fra (Norsk Klimaservicesenter, 2023). Til anvendelse i nærværende analyser er der gjort brug af vinddata fra Narvik Lufthavn i perioden 2010 – 2017. Efter 2017 er der tilgængelige vindmålinger fra Narvik centrum (som dog ikke indgår i nærværende analyser). Data er målt ved Lat/Lon 68.44° ; 17.39° (se placering i figur 2-9).



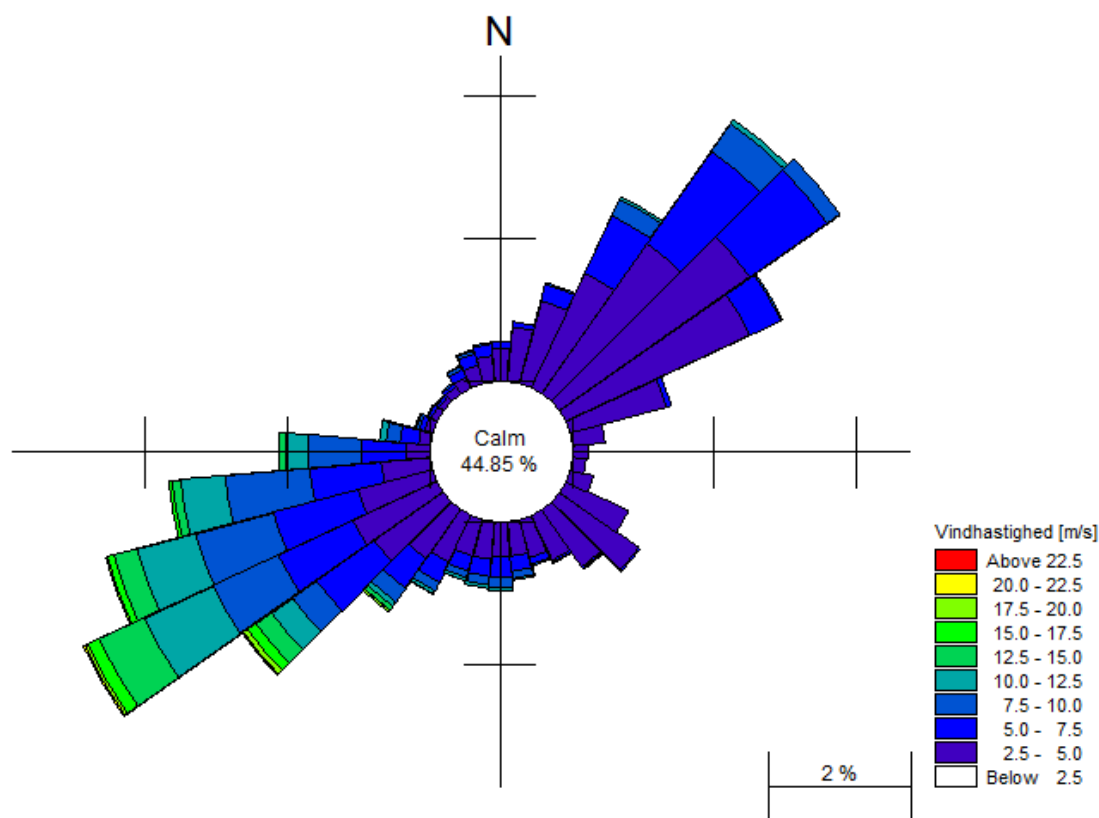
Figur 2-9: Måleposition for vinddata fra Narvik Lufthavn. (Google Earth, 2023)

Tidsserie for vindmålinger fra Narvik Lufthavn er vist i figur 2-10.



Figur 2-10: Tidsserie for vindhastighed og -retning (1 times middel) i perioden 2010 – 2017 fra Narvik Lufthavn (målt 31 meter over havet).

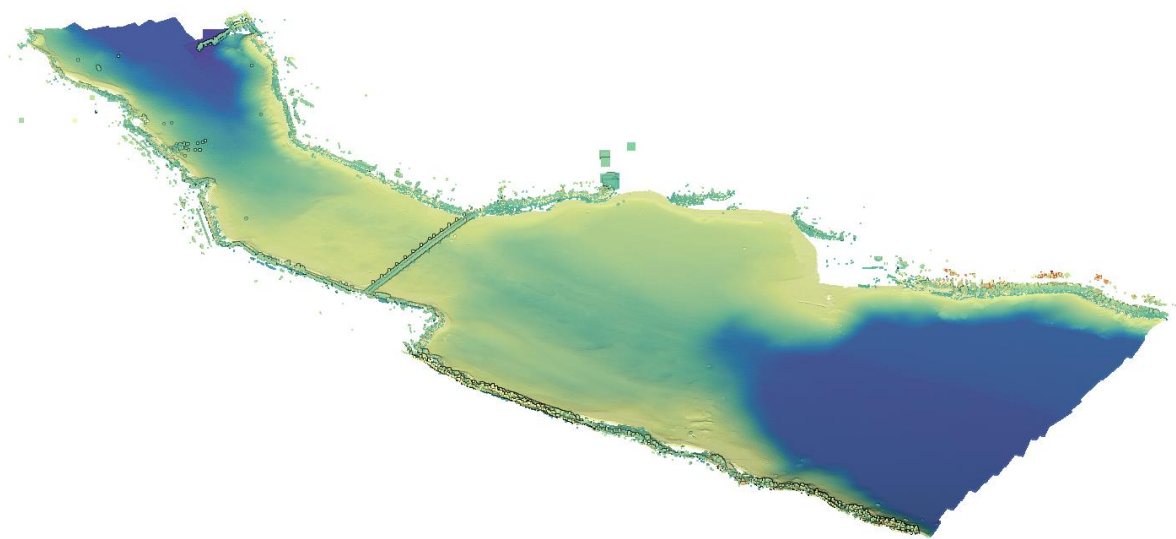
En såkaldt vindrose for måleperioden 2010 - 2017, som viser forekomst samt hastighed fordelt på vindretninger, er vist i figur 2-11. Som det fremgår af vindrosen, er mest dominerende vindretninger fra sydvest samt nordøst. Højeste vindhastigheder er fra sydvest.



Figur 2-11: Tidsserie for vindhastighed og -retning (1 times middel) i perioden 2010 – 2017 fra Narvik Lufthavn (målt 31 meter over havet).

2.1.4 Tilgængelige vanddybdemålinger fra området, (GeoNord, 2022)

Der er til nærværende analyser specielt indhentet vanddybder i området omkring Fagernesstraumen, som har stor betydning for hydrodynamikken i bl.a. Narvik Bugten. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 2.2. Et 3D-perspektiv af dybdemålingerne er vist i figur 2-12. Vanddybder er opmålt pr. 0,25 x 0,5 m finhed, og er anvendt som grundlag for etablering af bathymetri i den hydrauliske model. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 3.



Figur 2-12: 3D-perspektiv af målte vanddybder i projektområdet og specielt omkring Fagernesstraumen. (GeoNord, 2022)

2.2 Styrende parametre for hydrografien Narvik Havn

Styrende parametre for hydrografien i Narvik Bugten beskrives i det følgende. Indledningsvist opsummeres konklusioner fra tidligere vurderinger, hvilket er efterfulgt af en supplerende analyse af tilgængelige måledata fra området. Vurderingerne anvendes efterfølgende i afsnit 3 ifm. opsætning- og kalibrering af model (dvs. ifm. styrende hydrografi), samt ifm. fastsættelse af repræsentative modelscenarier.

2.2.1 Opsummering af tidligere vurderinger af hydrografi fra 2021, baseret på (Rambøll, 2021)

I notatet (Rambøll, 2021) er der gennemført vurdering af konsekvensen fra de planlagte udfyldninger (*Udfyldning A*) i figur 2-3 på strøm- og vandstandsforhold samt effekten af dette på erosion i Narvikbugten. Vurderingen blev baseret på skrivebordsvurderinger, men med udgangspunkt i strømmålingerne fra 2011, (Novatek, 2011), beskrevet i afsnit 2.1.1.

I (Rambøll, 2021) er det konkluderet, at Fagernesstraumen er styrende for den generelle hydrografi i området. Herudover kan Fagernesstraumen identificeres som det område, hvor strømhastighed og dermed bundforhold påvirkes mest af de planlagte udfyldninger.

Bundforholdene i Fagernesstraumen vurderes at være bestående af groft bundsubstrat der i mindre grad eroderes. Dog pointeres det, at landindvendingen kan give øget strømhastighed i Fagernesstraumen og ud mod Ankenes omkring 1,5 km mod NV. De grove bundsubstrater medfører, at tværsnittet ind mod Beisfjorden ikke forventes ændret på baggrund af de øgede strømforhold hvorfor vandudskiftningen i fjorden ikke forventes påvirket.

Det vurderes yderligere i (Rambøll, 2021), at projektområdet ikke påvirkes af ferskvandstilførsel fra elve og bække i området.

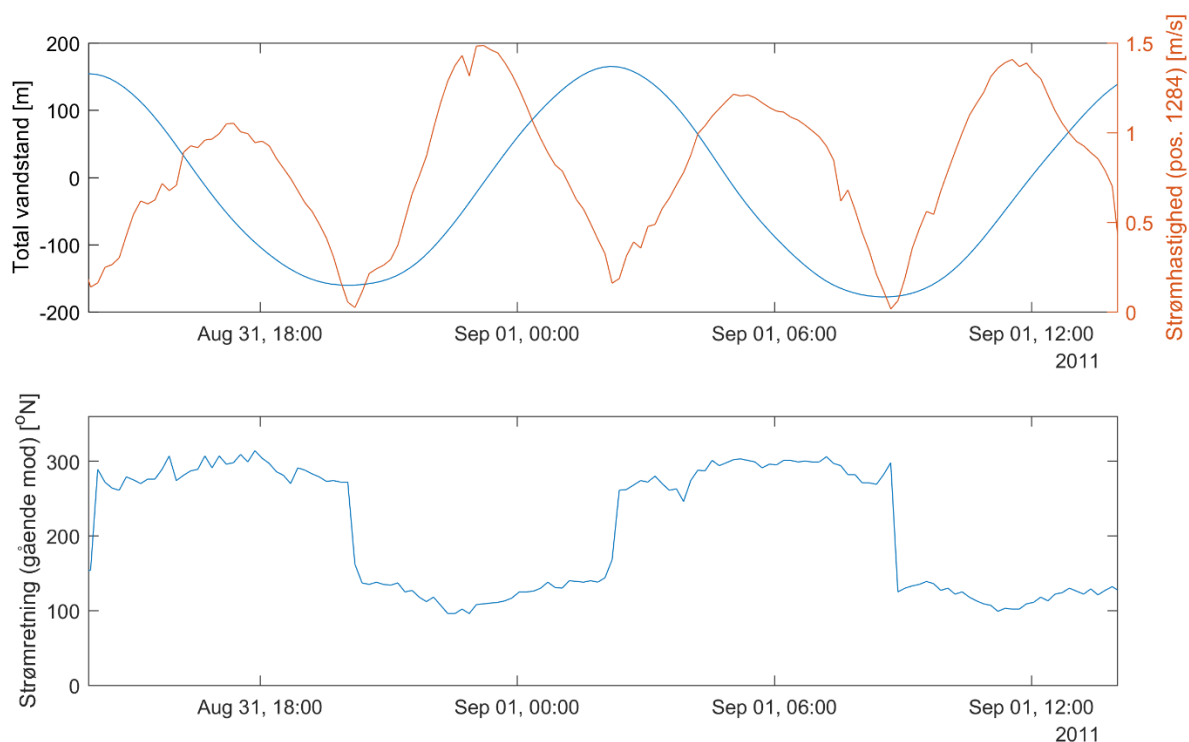
2.2.2 Supplerende vurdering af styrende parametre for hydrografien ved Narvik Havn baseret på måledata

Jf. afsnit 2.2.1 er den lokale hydrografi primært styret af vanddybder, tidevand, samt vind. I det følgende anvendes foreliggende måledata fra området til vurdering af sammenhænge imellem de disse styrende parametre.

Sammenhæng imellem vandstands- og strømforhold

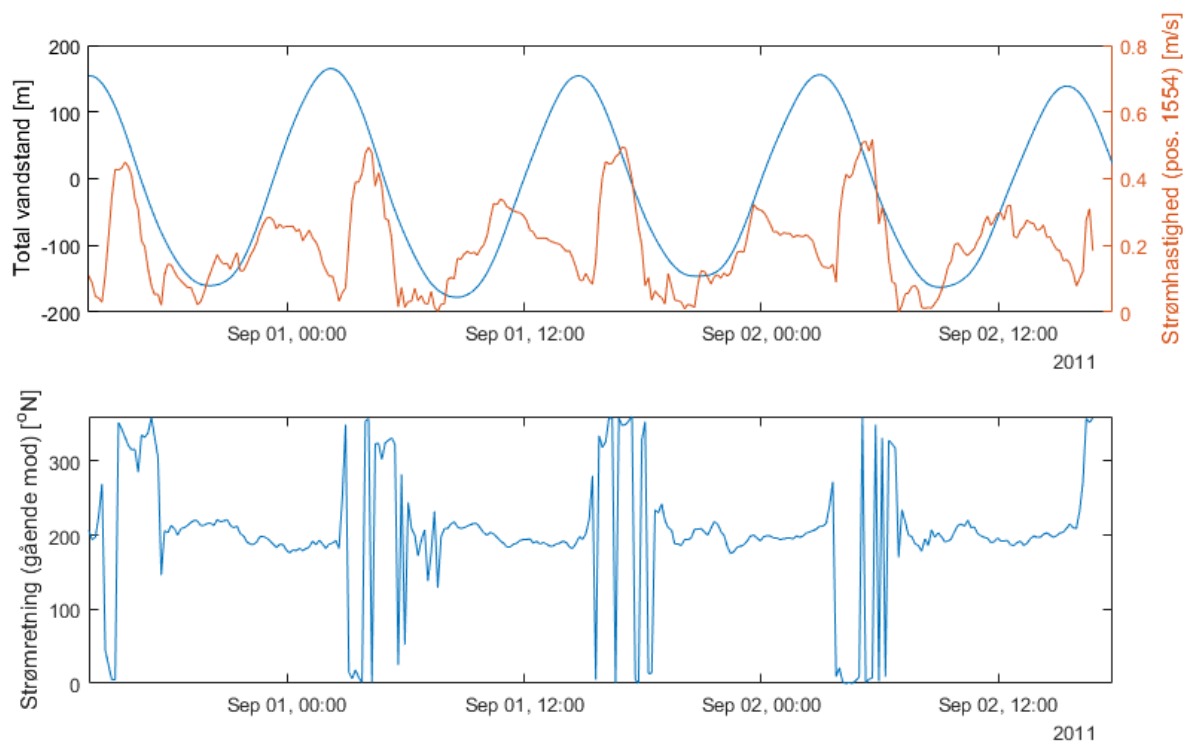
Baseret på data fra de gennemførte strømmålinger kan det konstateres, at der under tidevandsdominerede forhold i områder med lav vanddybde forekommer relativt høje strømhastigheder i Fagernesstraumen, jf. afsnit 2.1.1. Højeste strømhastigheder er målt ved de to positioner af måler 1284, hvorimod der forekommer en reduceret strømhastighed ved position 1554, hvilket formentlig skyldes den øgede vanddybde på denne placering – og dermed det øgede gennemstrømningstværsnit.

Figur 2-13 viser sammenhængen imellem vandstand ved Narvik Havn og strømretning, målt ved pos. 1284 jf. figur 2-3. Data dækker alene den første halvdel af måleperioden. Som det fremgår af figuren, er strømretningen gående mod ca. 300°N ved faldende tidevand (dvs. strømmen løber ud af Narvik Bugten), hvorimod strømmen er gående mod ca. 120°N ved stigende tidevand (dvs. strømmen løber ind i Narvik Bugten). For den pågældende måleperiode og måleposition kan det umiddelbart konstateres, at strømhastigheden er lidt højere når strømmen løber ind i bugten.



Figur 2-13: Sammenhæng imellem vandstand ved Narvik Havn og strømhastighed ved pos. 1284 (øverst) og strømrøtning ved pos. 1284 (nederst).

På samme vis som for pos. 1284 er der i figur 2-14 vist sammenhængen imellem vandstand ved Narvik Havn og strømrøtning ved position 1554. Som det fremgår af figuren, er strømrøtningen gående mod ca. 355°N ved faldende tidevand (dvs. strømmen løber ud af Narvik Bugten), hvorimod strømmen er gående mod ca. 200°N ved stigende tidevand (dvs. strømmen løber ind i Narvik Bugten). Grundet målerens beliggenhed ved den nordlige kyst ved udløbet af Fagernesstraumen er strømmen mere nord-/sydgående sammenlignet med ved målepositionerne (1284) inde i Fagernesstraumen. Ved tilfældet når strømmen løber ud af Narvik Bugten ses en lille variation i retningen som på visse tidspunkter er mod ca. 5°N . Dette skyldes formentlig lokale strømhvirvler, som udover retningen også påvirker hastigheden (hvilket kan ses af de to strømpeaks ved udgående strøm).



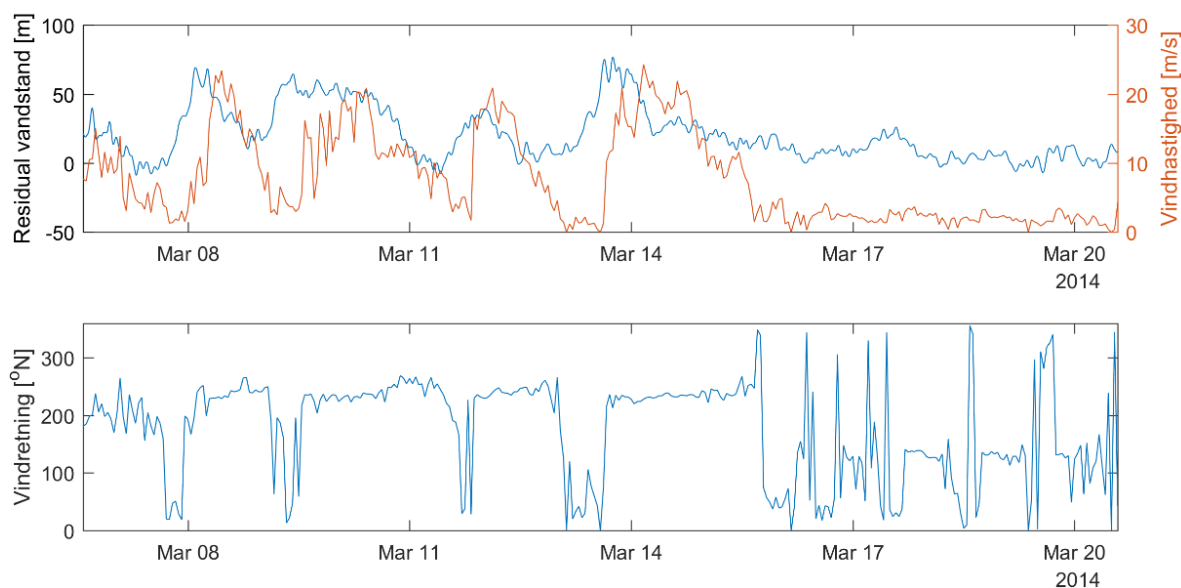
Figur 2-14: Sammenhæng imellem vandstand ved Narvik Havn og strømhastighed ved pos. 1554 (øverst) og strømretning ved pos. 1554 (nederst).

Sammenhæng imellem vind- og vandstandsforhold

Sammenhæng imellem residual vandstand ved Narvik Havn og vindhastighed målt ved Narvik Lufthavn er vist i figur 2-14 og figur 2-15 for perioder med hhv. blæsende vindforhold samt milde vindforhold.

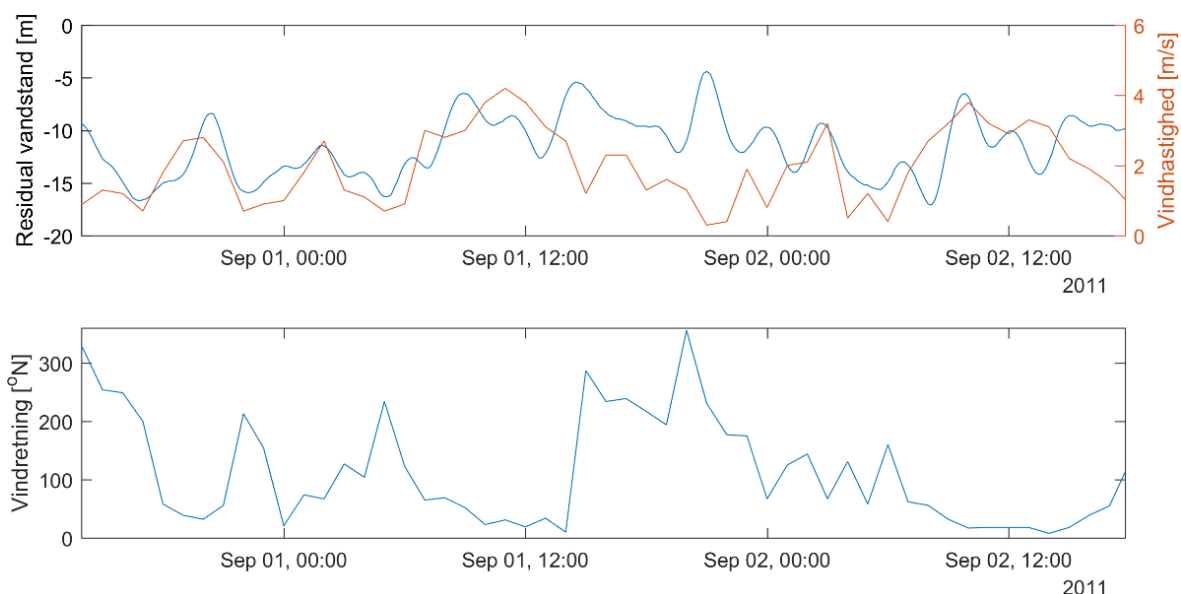
Som det fremgår af figur 2-14, er der en forholdsvis signifikant korrelation imellem vindhastighed og residual vandstand for nærværende tilfælde hvor vinden er fra vestlige retninger. Grunden hertil er at vinden vil skubbe vandet ind i Narvik Bugten, hvilket medfører opstuvning af vand (vindstuvning), og dermed høj residual vandstand.

For den viste periode i figur 2-14 kan det desuden konstateres, at der forekommer en vis faseforskydning imellem høj vandstand og høj vindhastighed fra vestlig retning, hvilket formentlig skyldes at lavtrykket bevæger sig fra vest og dermed allerede har medført høj vandstand i Narvik Bugten inden vindhastigheden har nået sit højeste niveau.



Figur 2-15: Sammenhæng imellem residual vandstand ved Narvik Havn og vindhastighed målt ved Narvik Lufthavn (*øverst*) og vindretning målt ved Narvik Lufthavn (*nederst*) i en periode hvor der har forekommet vekslende vindhastighed og -retning.

Figur 2-15 viser sammenhæng imellem residual vandstand og vindhastighed for samme periode hvori der foreligger strømmålinger. Af figuren fremgår det, at der i perioden har forekommet relativt lav vindhastighed, og dermed lav residual vandstand.

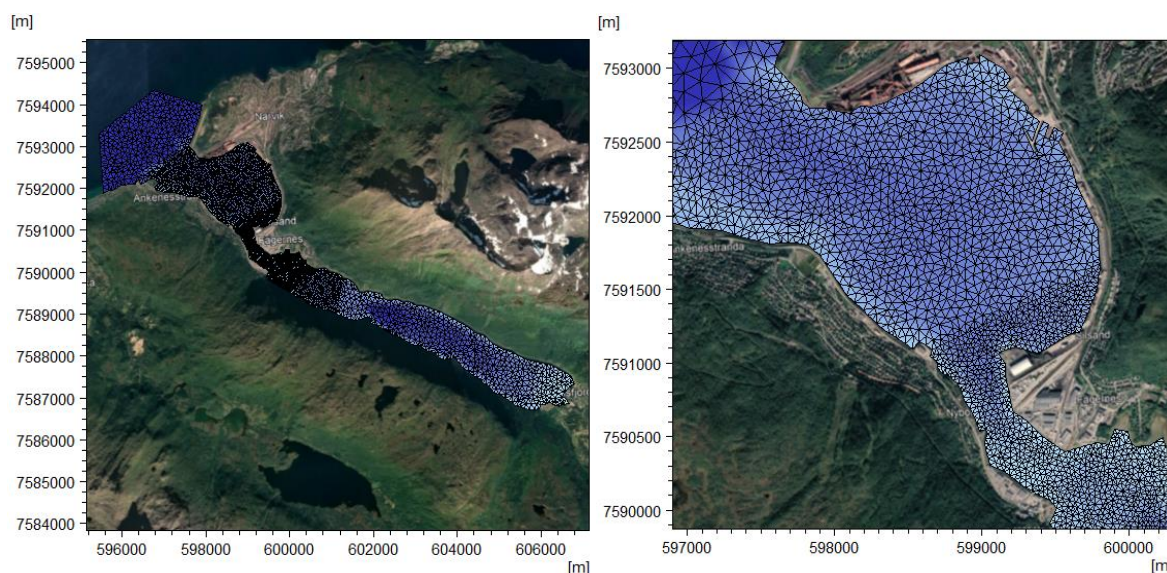


Figur 2-16: Sammenhæng imellem residual vandstand ved Narvik Havn og vindhastighed målt ved Narvik Lufthavn (*øverst*) og vindretning målt ved Narvik Lufthavn (*nederst*) i en periode med milde vindforhold (samme periode hvor der er målt strømhastighed).

3. OPSÆTNING OG KALIBRERING AF MODEL

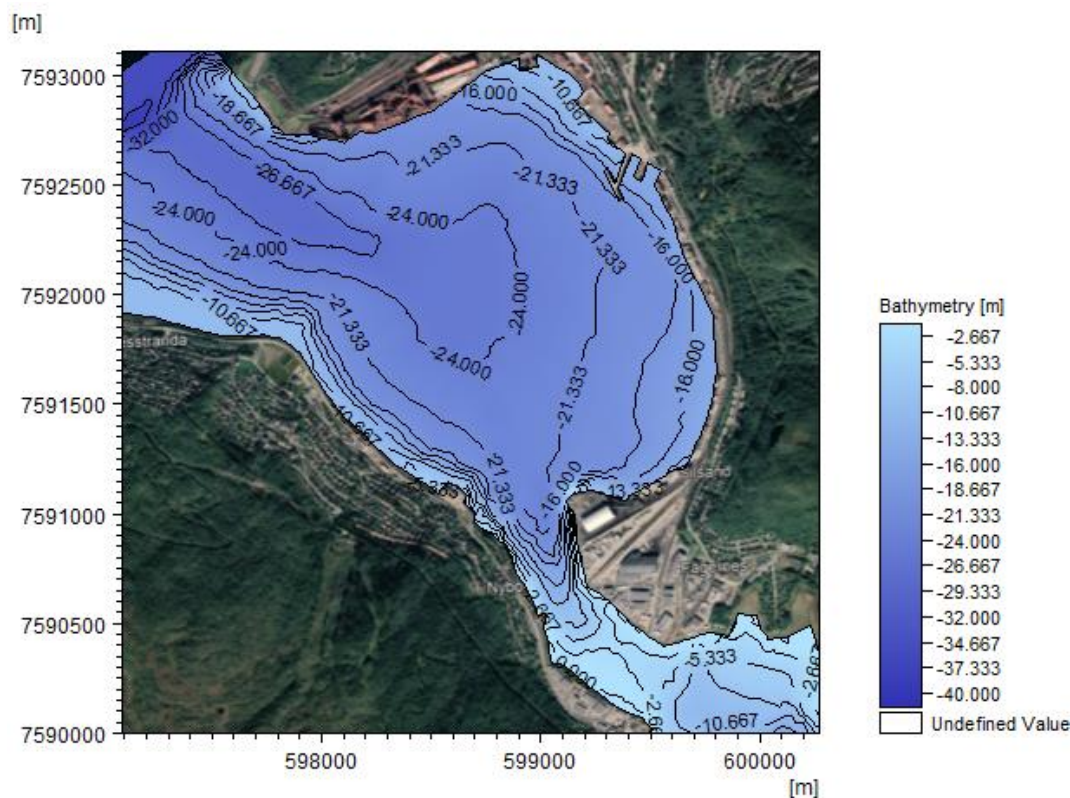
Simulering af strømforhold i Narvikbugten er gennemført ved anvendelse af MIKE3 HD, udviklet af DHI. Modellen er en såkaldt 3D-*"Reynolds Averaged Navier-Stokes"*-model, som er opbygget i DHI-softwaren MIKE3 FM. Modellen er i stand til at simulere strømfelter under hensyntagen til vandstandsændringer samt vindpåvirkning. Herudover inkluderes effekter fra varierende dybdeforhold og bundruheder.

Det anvendte modeldomæne i MIKE3 HD-modellen og diskretiseringen af modelområdet er vist i figur 3-1. Modelområdet er inddelt i 6443 såkaldte mesh-elementer i hvert af de 5 vertikale sigma-lag. Diskretiseringen (opdelingen af modelområdet i et beregningsnet) er et kompromis imellem beregningstid og præcision. MIKE3 giver mulighed for anvendelse af et differentieret beregningsnet med grovere (større) beregningsfelter i større afstand til Narvik Havn, og mere detaljeret diskretisering tæt ved havneområdet samt områder med stor indflydelse på strømforholdene. Dette giver større modelnøjagtighed tæt ved projektlokaliteten, samtidig med at det er muligt at simulere længere tids-perioder på den tilgængelige CPU-kapacitet.



Figur 3-1: Diskretisering af beregningsmodel. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

Til opstilling af bathymetri-modellen er der anvendt data fra tilgængelige søkort samt fra MIKE DHI C-map (som indeholder digitaliserede vanddybder fra søkort), samt dybdedata indhentet ifm. nærværende analyser, jf. afsnit 2. Vanddybder i modellen er illustreret i figur 3-2.



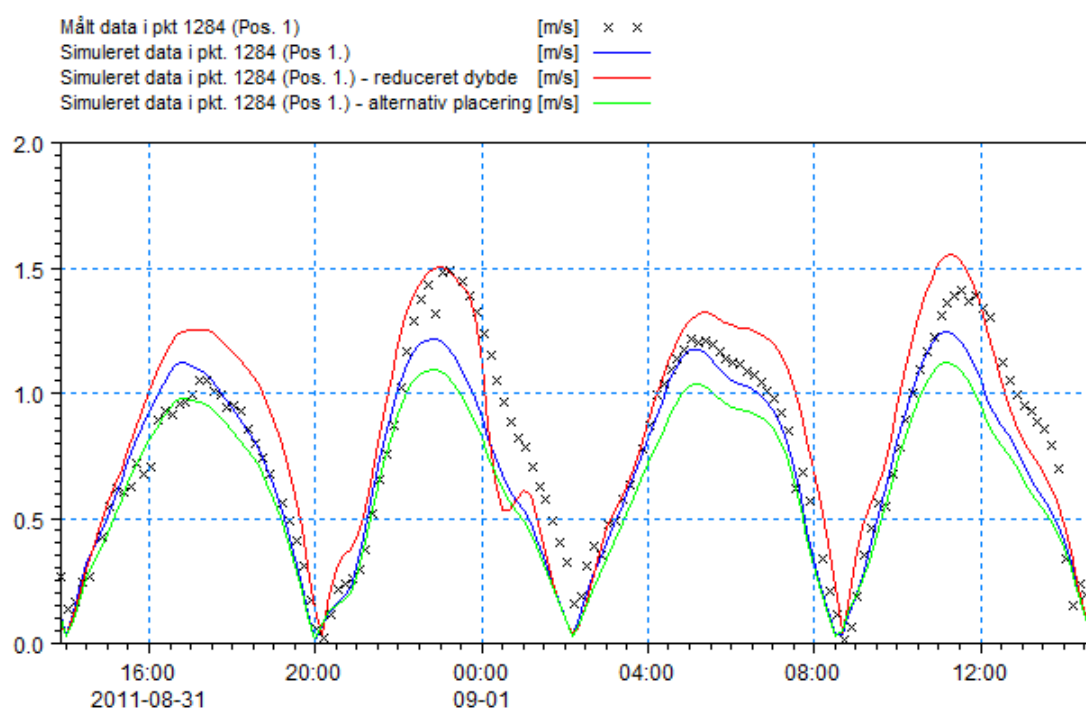
Figur 3-2: Illustration af vanddybder i modellen. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

På modelranden (mod Ofotfjorden) påsættes tidsserie for målte vandstande ved Narvik Havn. Desuden forceres modellen med de målte vindhastigheder, med henblik på at inkludere den lokale påvirkning fra vind i modeldomænet (som et ekstra bidrag til påvirkningen af residualvandstanden som allerede er inkluderet på modelranden).

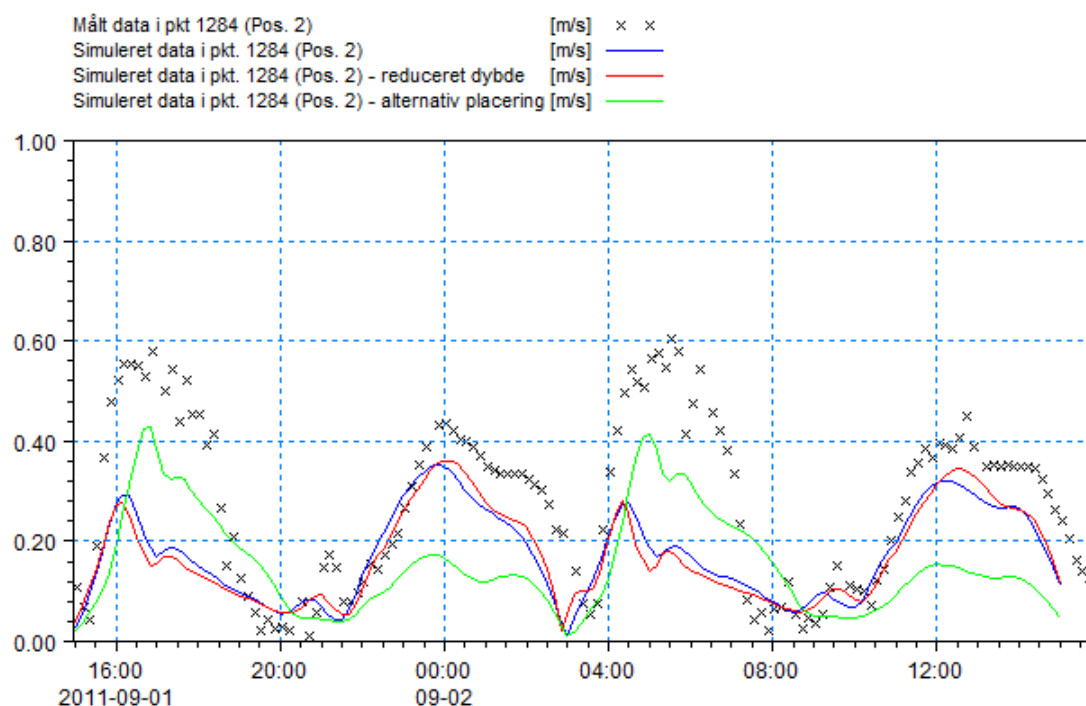
3.1 Modelkalibrering samt følsomhedsanalyser

Kalibreringen af den opsatte og anvendte model er udført ved en sammenligning af hhv. simulerede- og målte (Novatek, 2011) strømhastigheder. Sammenligninger er vist i figur 3-3 - figur 3-5 (blå kurve), for de tre målepositioner. Kalibreringen er gennemført ved at regulere bundruheden i modellen, indtil der haves en relativt realistisk overensstemmelse mellem modellerede- og målte hastigheder.

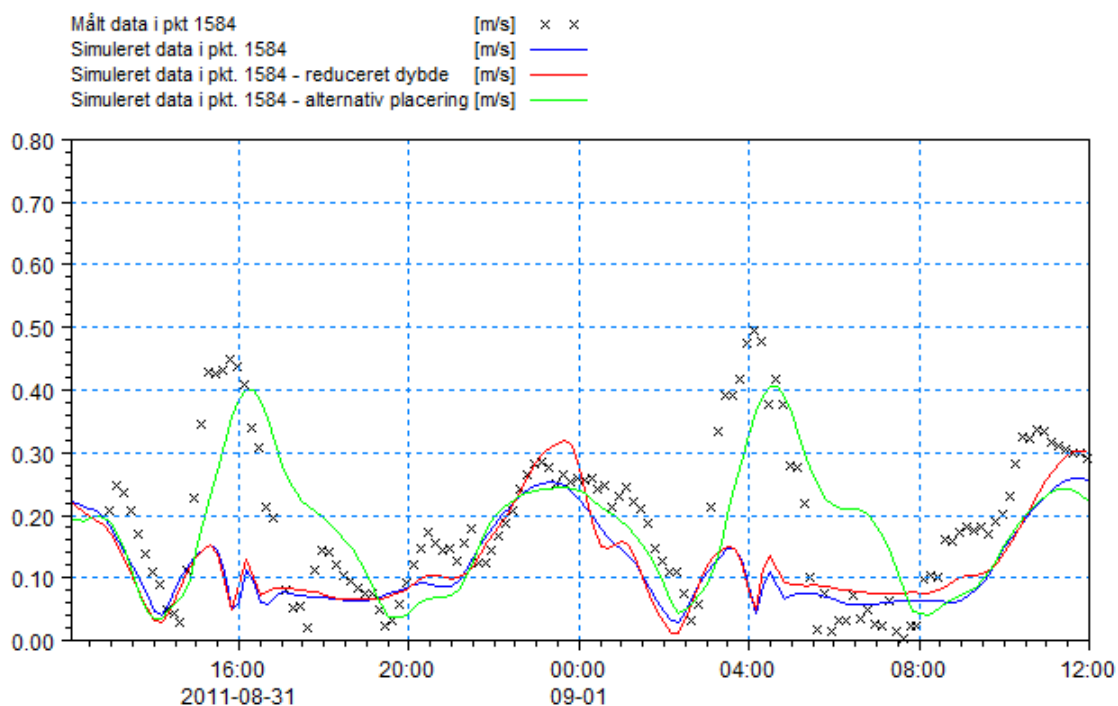
Som det fremgår af figur 3-3, haves en relativt god overensstemmelse mellem modellerede (blå kurve) og målte data ved Position 1284 (1), der er beliggende i det relativt lavvandede område i Fagernesstraumen. Ved Position 1284 (2) samt Position 1584, hvor strømhastigheden er lavere sammenlignet med i Fagernesstraumen, fanges ikke helt hvert andet strømhastigheds-peak, som opstår når strømmen løber ud af bugten (dvs. ved nordøst-gående strøm).



Figur 3-3: Sammenligning imellem målt- og modelleret strømhastighed ved position 1284 (1).



Figur 3-4: Sammenligning imellem målt- og modelleret strømhastighed ved position 1284 (2).



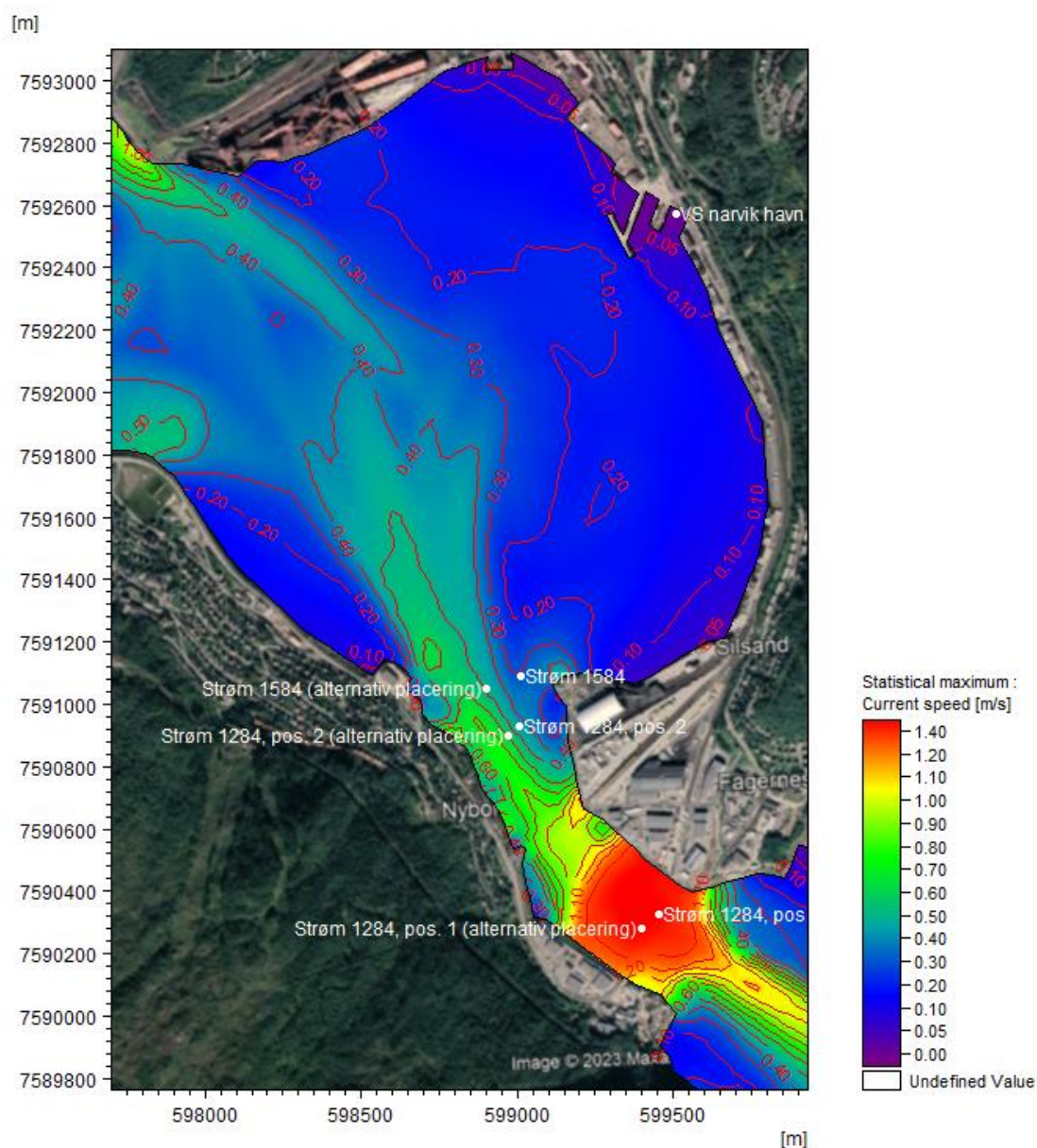
Figur 3-5: Sammenligning imellem målt- og modelleret strømhastighed ved position 1584.

Baseret på følsomhedsvurderinger er det konstateret, at grunden til at modellen ikke helt fanger alle strømpeaks, kan være små ændringer i vanddybdeforhold som var anderledes i 2011 (hvor strømmålingerne blev foretaget) sammenlignet med 2022/2023, hvorfra anvendte pejlinger forekommer. Bl.a. viser det sig, at relativt små ændringer i vanddybdeforhold, på ca. 1 m omkring Fagernesstraumen, medfører relativt store ændringer i strømhastighed ved de tre målepositioner. Vanddybdeændringer hen over strømningstværsnittet har således stor betydning for strømdybdebredden. En anden årsag til forskelle imellem målte og modellerede strømhastigheder kan være eventuelle ændringer i kystforhold mv., som påvirker lokale strømninger. Resultater fra følsomhedsvurderinger er desuden inkluderet i figur 3-3 - figur 3-5.

I figur 3-6 er positionen for den "alternative placering" fra figur 3-3 - figur 3-5 (grøn kurve) vist sammen med variation af højeste simulerede strømhastigheder i løbet af den simulerede periode. Som det fremgår af figurene, er der specielt ved måleposition 1284 (2) samt 1584 en stor variation i strømhastighederne hen over tværsnittet, hvormed strømhastighederne er meget følsomme overfor placeringen af måleren/positionen af dataudtrækket.

Som det fremgår af figur 3-3 - figur 3-5, opnås den bedste overensstemmelse imellem målte og modellerede strømhastigheder, hvis modelresultaterne trækkes ud i en position, der svarer til "de alternative placeringer".

Med baggrund i kalibreringen og følsomhedsanalyserne vurderes det, at modellen, til trods for de mindre uoverensstemmelser mellem modellerede og målte strømdata, kan anvendes til at levere forholdsvis repræsentative relative vurderinger af indflydelse fra planlagte udfyldninger på de lokale strømforhold – især i perioder domineret af tidevandsvarierende vandstands – og strømforhold. Da vurderingerne gennemføres ved relative betragtninger, vurderes det at eventuelle modelfejl udlignes. Det anbefales dog, at der på sigt suppleres med nyere strømmålinger, som inkluderer effekter fra seneste dybdeforhold samt mere varierende strømforhold. Desuden kunne måleprogrammet inkludere data fra supplerende målepositioner i Narvik Bugten.



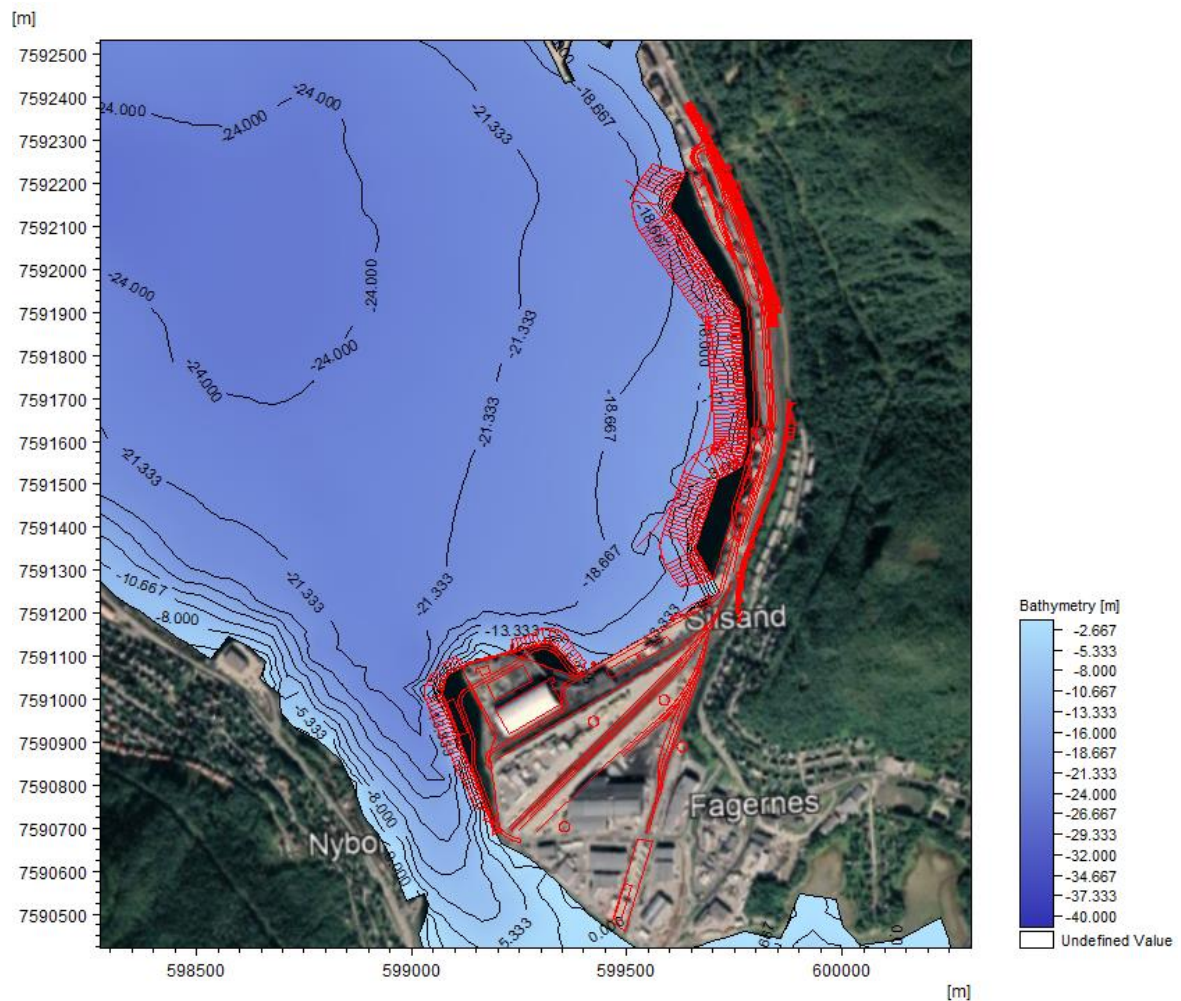
Figur 3-6: Illustration af maks. opnået strømshastighed for måleperioden i 2011 samt alternative målepositioner anvendt ifm. følsomhedsanalyse. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

3.2 Evaluerede modelscenarier

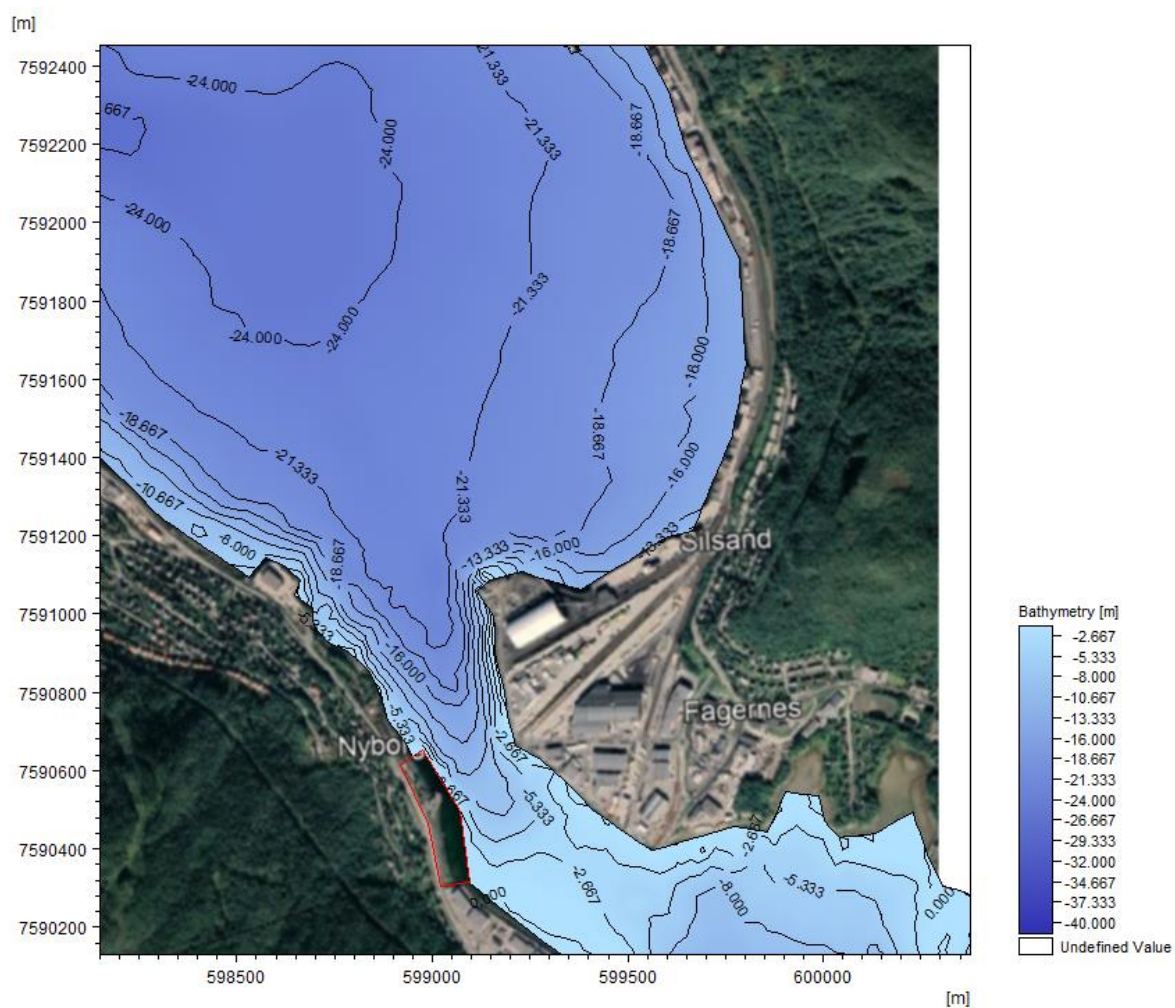
Evaluerede modelscenarier beskrives i det følgende. Indledningsvist præsenteres scenarier for udfyldninger, hvorefter de hydrografiske scenarier præsenteres.

3.2.1 Modelscenarier for planlagte udfyldninger

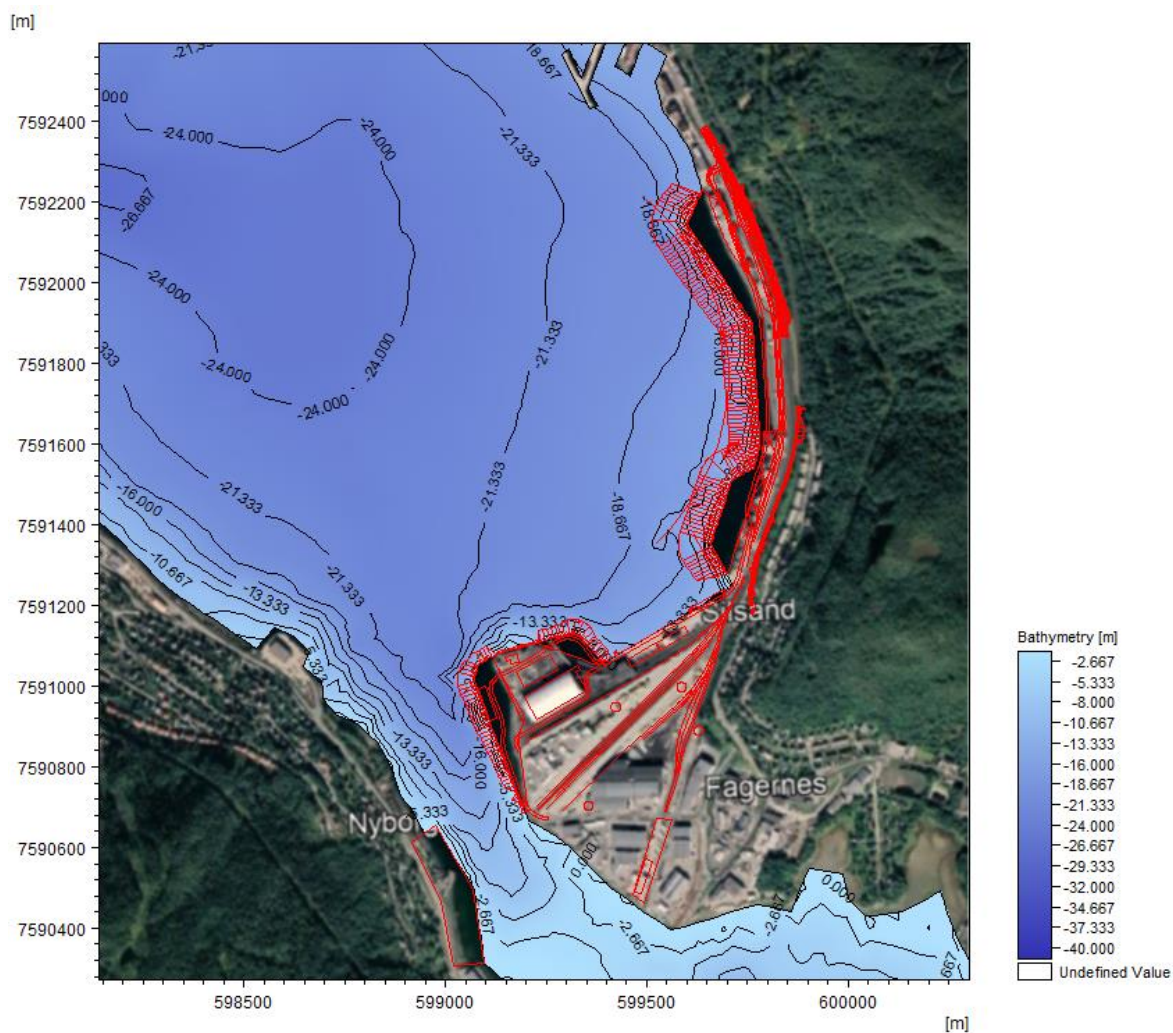
Scenarier for planlagte udfyldninger i modellen er illustreret i figur 3-7 - figur 3-9. Ifm. stensætninger er der i modellen forudsat en hældning ca. 1:3 (jf. afsnit 1.1).



Figur 3-7: Illustration af planlagt Udfyldning A i modellen. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).



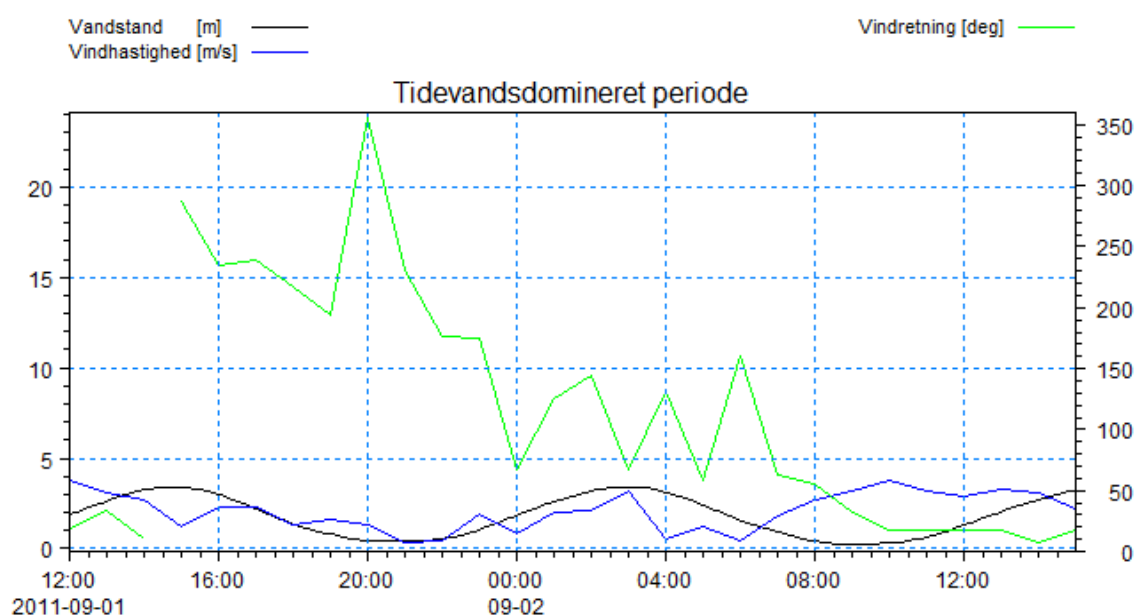
Figur 3-8: Illustration af planlagt Udfyldning B i modellen. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).



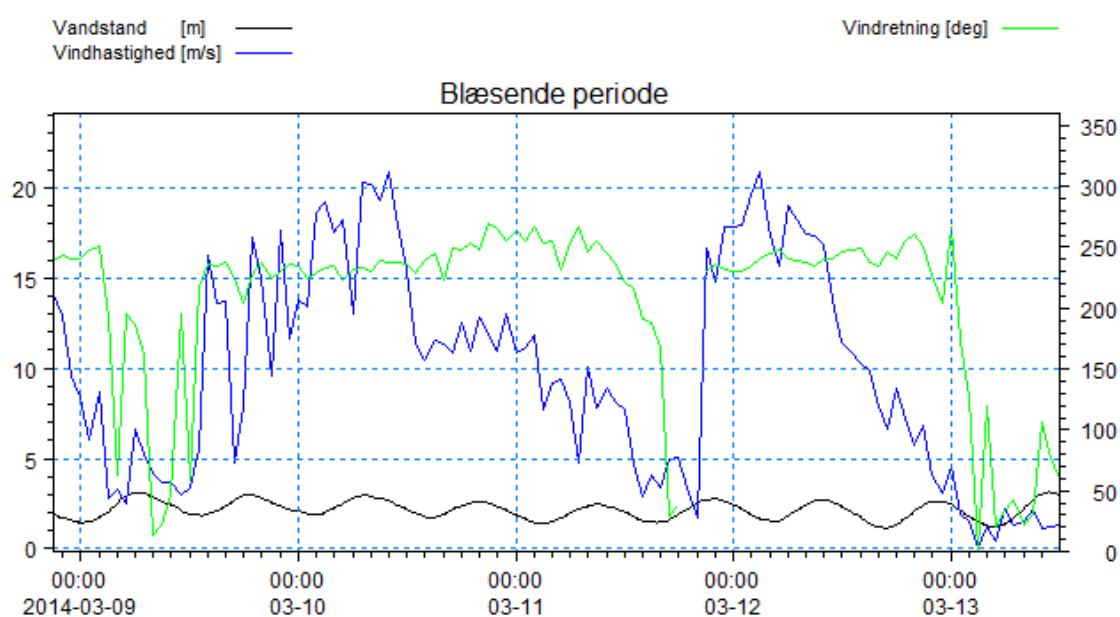
Figur 3-9: Illustration af planlagt Udfyldning A og B i modellen. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

3.2.2 Modelscenarier for hydrografi

Til vurdering af indflydelse fra planlagte udfyldninger evalueres hhv. en tidevandsdomineret periode samt en periode hvor der forekommer blæst, da disse parametre er styrende for strømforhold i Narvik Bugten, jf. afsnit 2.2. Målte vandstande samt vindforhold for de to evaluerede perioder er vist i hhv. figur 3-10 og figur 3-11.



Figur 3-10: Tidsserie af vandstandsforhold samt vindforhold for tidevandsdomineret periode (modelsценarie 1).



Figur 3-11: Tidsserie af vandstandsforhold samt vindforhold for blæsende periode (modelsценarie 2).

3.2.3 Opsummering af evaluerede modelsценарier

Evaluerede modelsценарier for udfyldninger samt hydrografiske forhold er opsummeret i tabel 3-1. Som det fremgår af tabellen, udgør kombinationen af planlagte udfyldninger samt hydrografiske scenarier (samt vurdering af eksisterende forhold) tilsammen i alt 8 modelsценарier.

	Eksisterende forhold	Udfyldning A	Udfyldning B	Udfyldning A og B
Tidevandsdomineret periode (Scenarie 1)	Eksisterende (1)	Udfyldning A (1)	Udfyldning B (1)	Udfyldning A og B (1)
Blæsende periode (Scenarie 2)	Eksisterende (2)	Udfyldning A (2)	Udfyldning B (2)	Udfyldning A og B (2)

Tabel 3-1: Opsummering af evaluerede modelsценарier.

4. VURDERING AF PÅVIRKNING AF LOKALE STRØMFORHOLD FRA PLANLAGTE UDFYLDNINGER

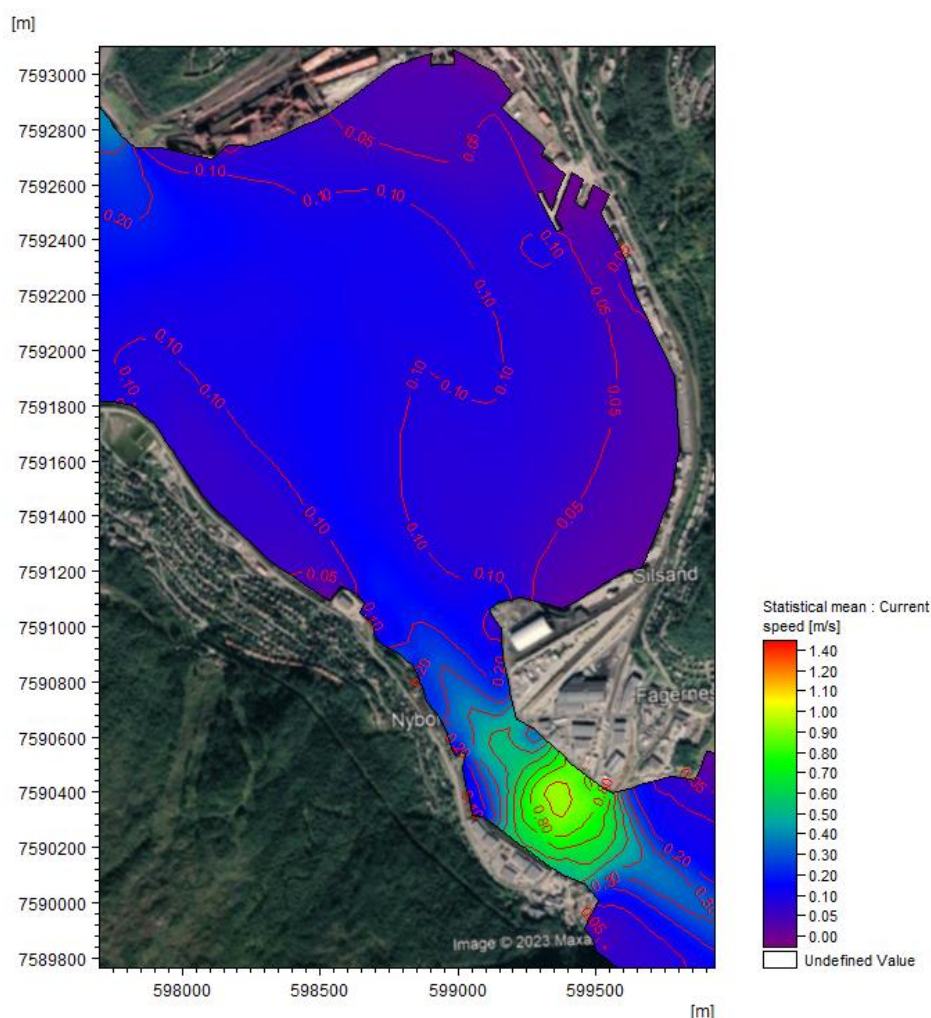
Nærværende afsnit indeholder en vurdering af påvirkningen af strømforholdene som følge af de planlagte udfyldninger. Vurderingerne er baseret på modelberegninger for de opstillede modelscenarier beskrevet i afsnit 3. Indledningsvist vises resultater fra de simulerede scenarier i afsnit 4.1, hvilket efterfølges af en sammenligning af strømforholdene for de forskellige scenarier i afsnit 4.2.

4.1 Simulerede typiske strømforhold for eksisterende situation og planlagte udfyldninger

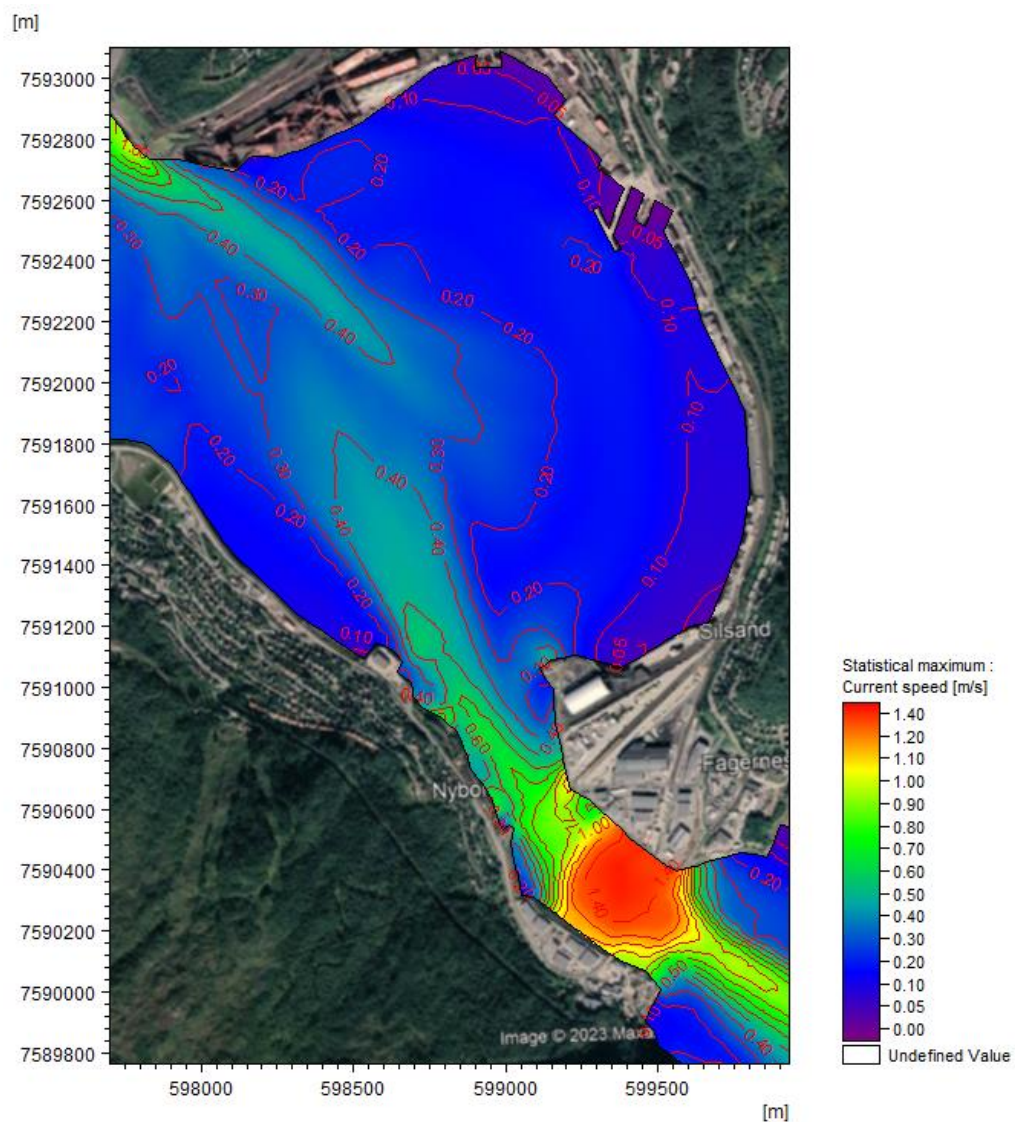
Simulerede strømforhold for eksisterende situation samt for de planlagte udfyldninger, vises i det følgende. Indledningsvist vises strømforhold for eksisterende situation, dvs. uden planlagte udfyldninger i området.

4.1.1 Simulerede strømforhold for eksisterende situation

Simuleret middel- og maks. strømhastighed for eksisterende situation under tidevandsdominerede forhold er vist i hhv. figur 4-1 og figur 4-2.

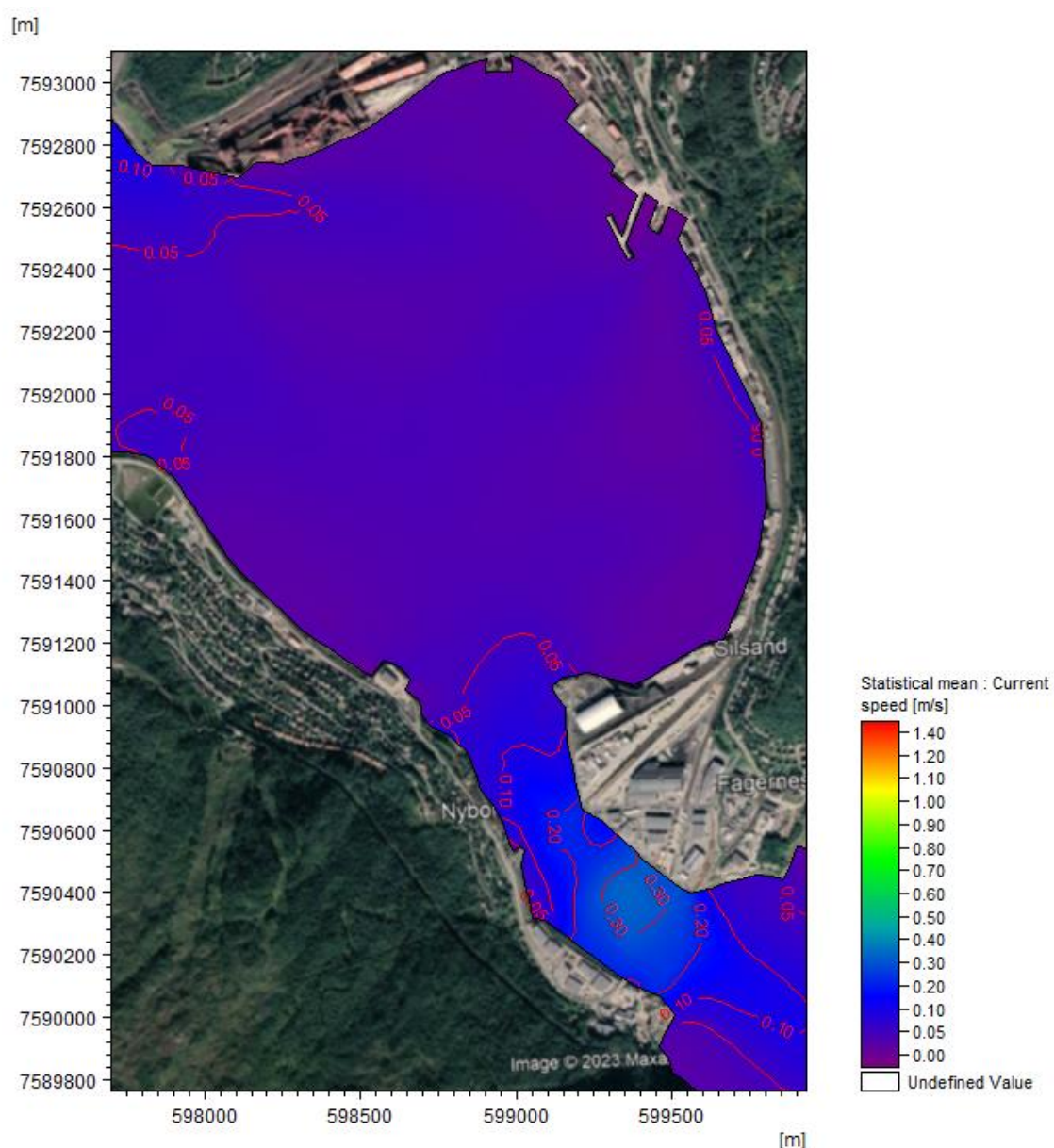


Figur 4-1: Simuleret middelstrømhastighed under tidevandsdominerede forhold, samt for eksisterende situation uden udfyldninger, dvs. scenarie "Eksisterende (1)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

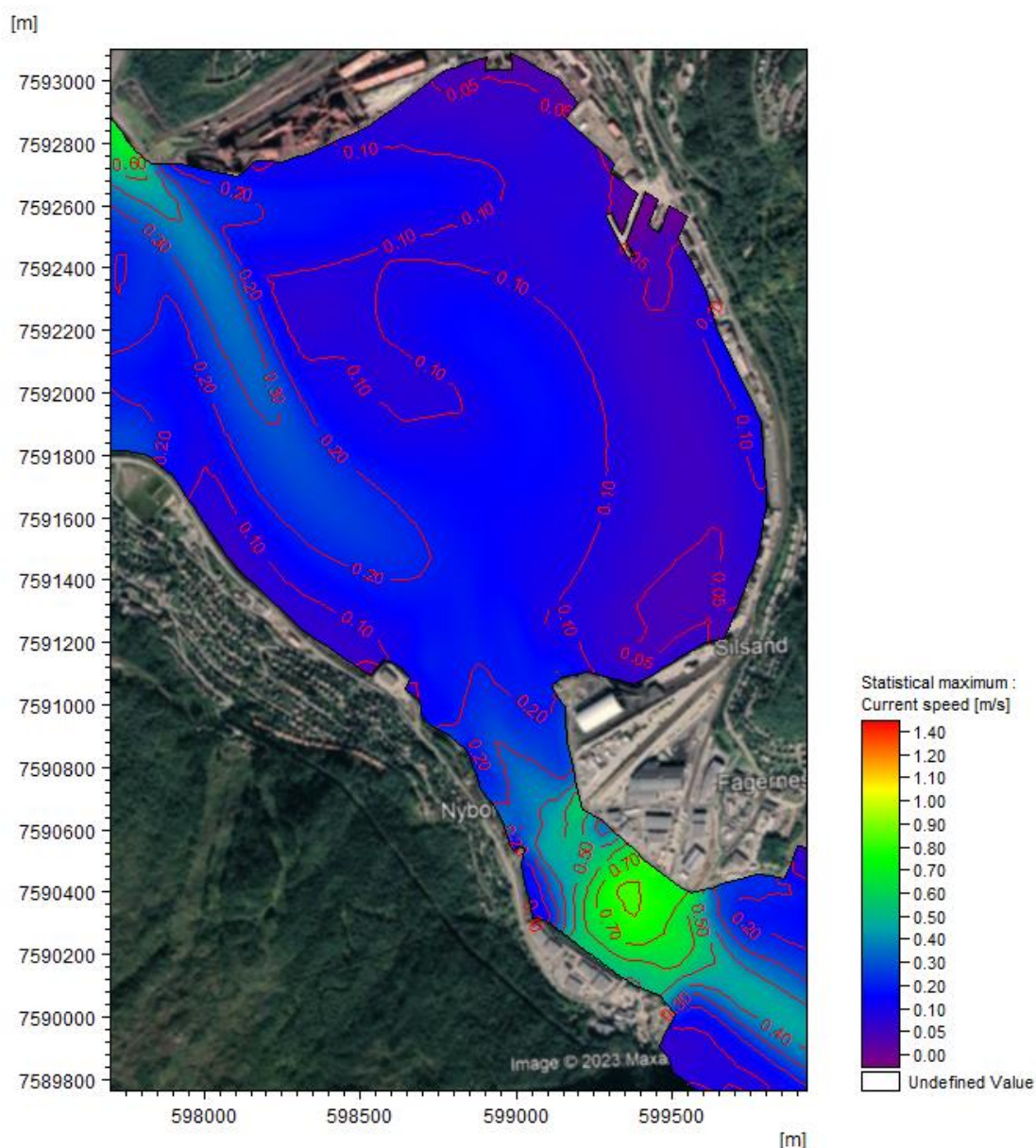


Figur 4-2: Simuleret maks.-strømhastighed under tidevandsdominerede forhold, samt for eksisterende situation uden udfyldninger, dvs. scenarie "Eksisterende (1)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

Simuleret middel- og maks. strømhastighed for eksisterende situation under blæsende forhold er vist i hhv. figur 4-3 og figur 4-4.



Figur 4-3: Simuleret middelstrømhastighed under blæsende forhold, samt for eksisterende situation uden udfyldninger, dvs. scenarie "Eksisterende (2)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

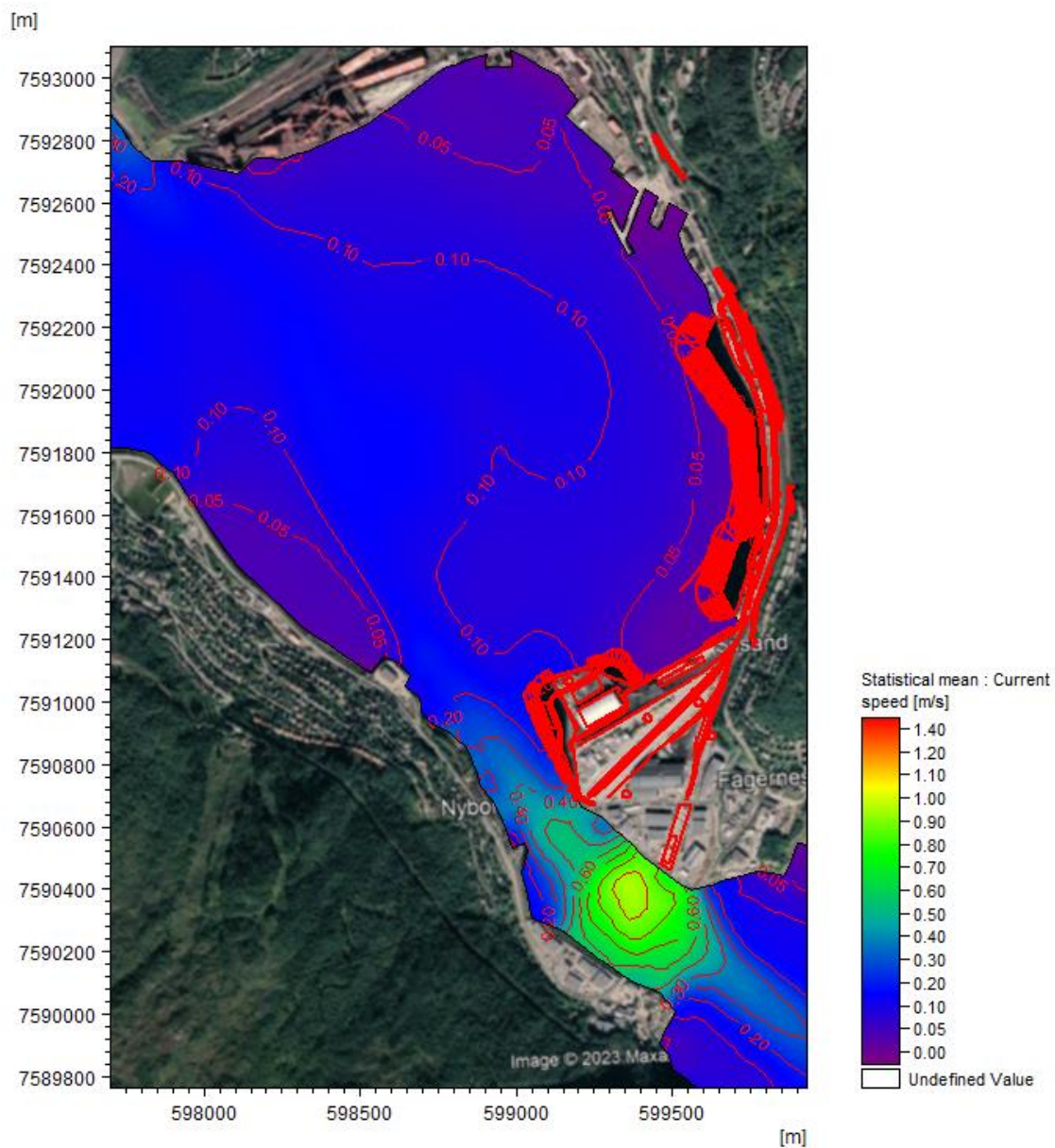


Figur 4-4: Simuleret maks.-strømhastighed under blæsende forhold, samt for eksisterende situation uden udfyldninger, dvs. scenarie "Eksisterende (2)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

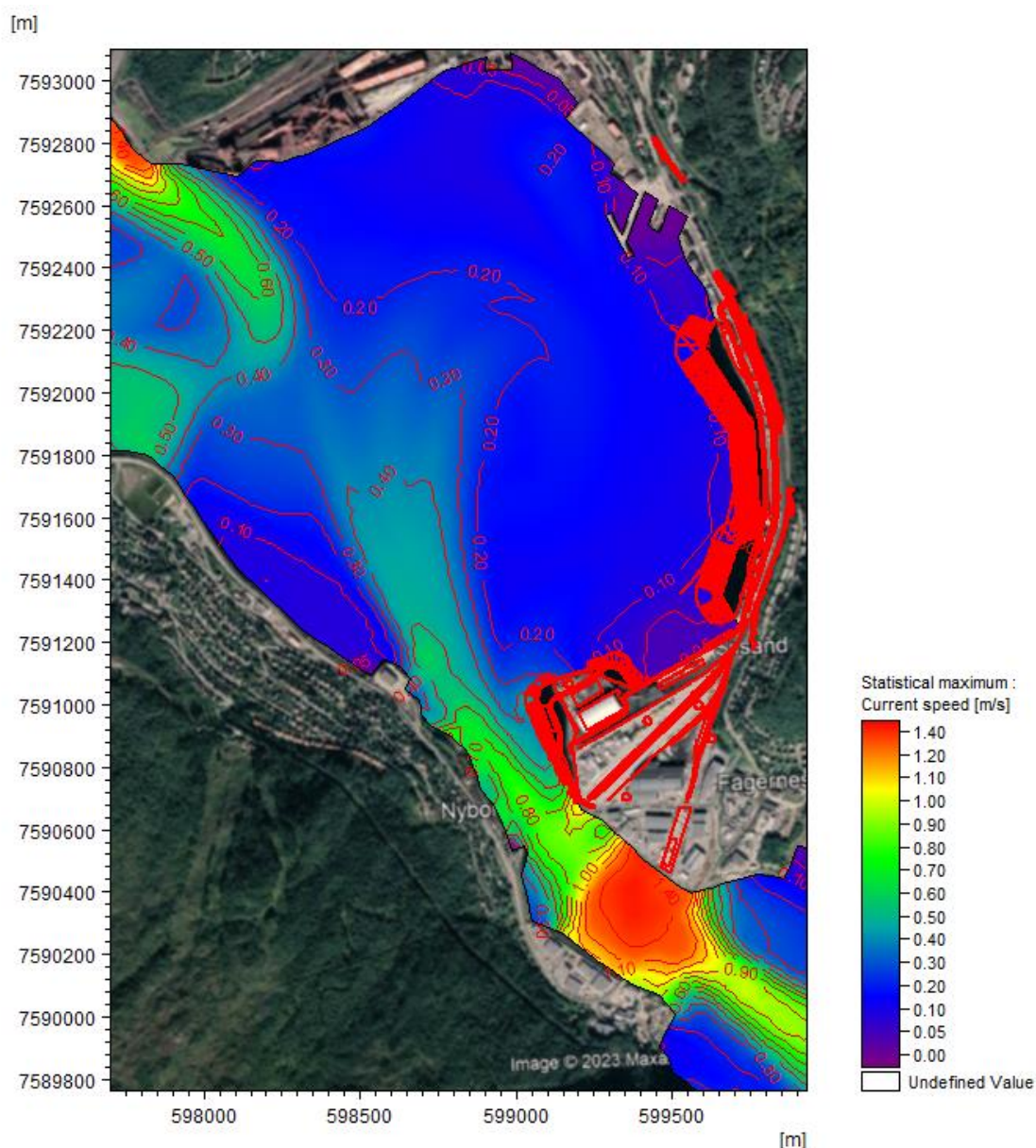
Som det fremgår af figur 4-1 - figur 4-4 opnås de højeste strømhastigheder for scenariet med tidevandsdominerede forhold, hvilket potentielt skyldes den større tidevandsamplitude i denne periode. Således kan det konstateres, at den mest dominerende faktor for strømforhold er vandstandsvariationen, og i mindre grad vinden.

4.1.2 Simulerede strømforhold for planlagte Udfyldning A

Simuleret middel- og maks. strømhastighed for scenariet med Udfyldning A under tidevandsdominerede forhold er vist i hhv. figur 4-5 og figur 4-6.

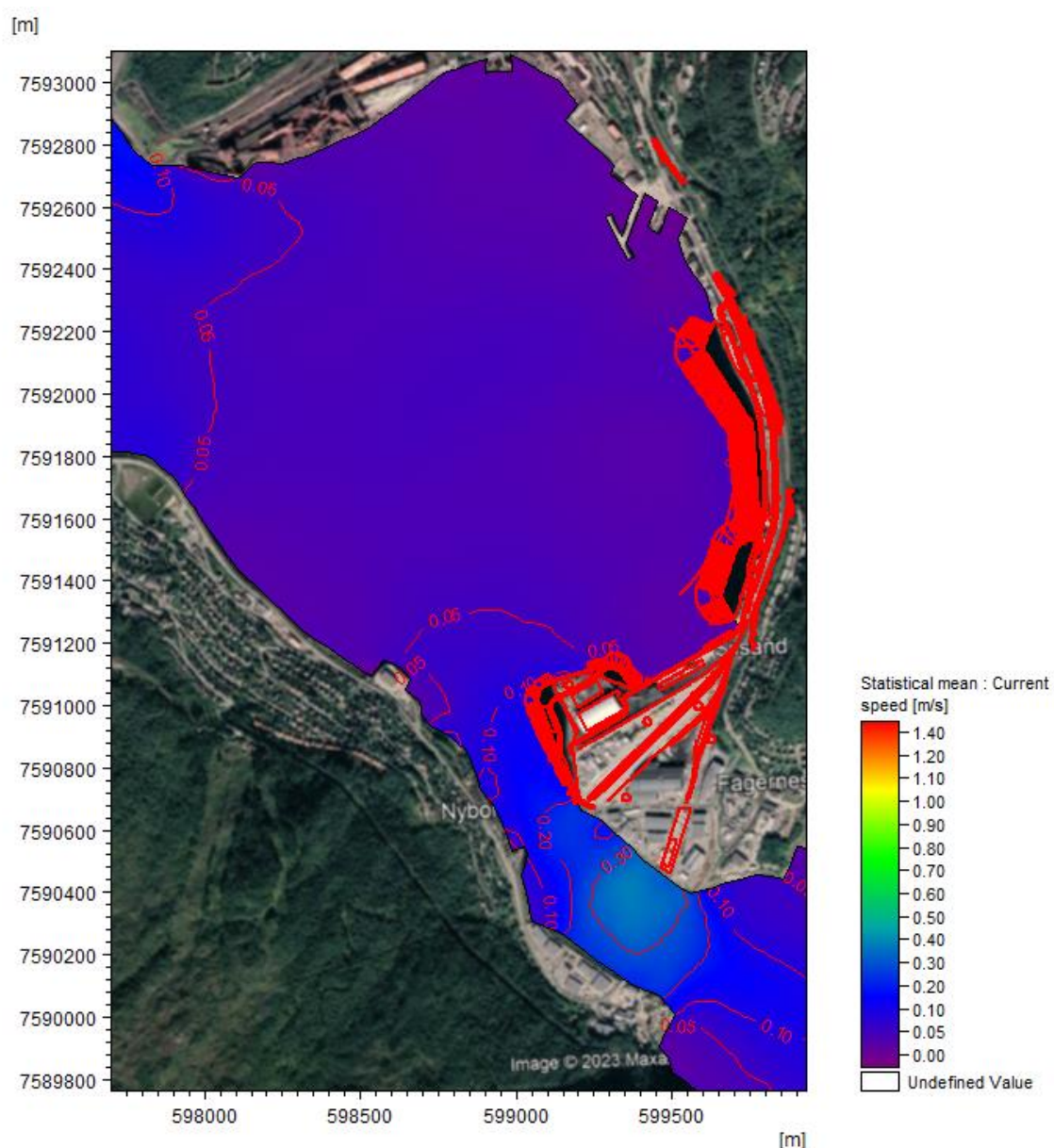


Figur 4-5: Simuleret middelstrømhastighed under tidevandsdominerede forhold, samt for situationen med den planlagte Udfyldning A, dvs. scenarie "Udfyldning A (1)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

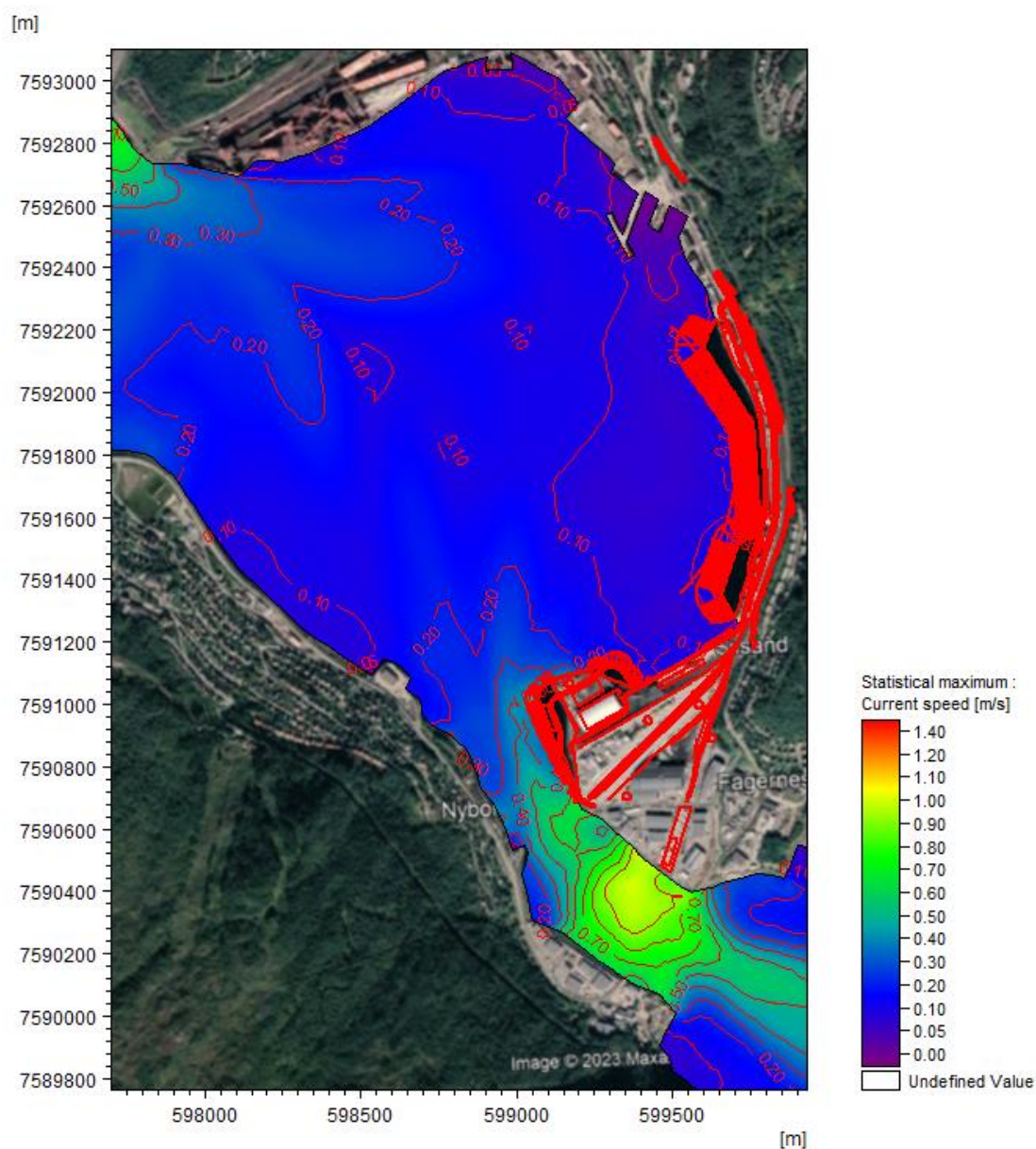


Figur 4-6: Simuleret maks.-strømhastighed under tidevandsdominerede forhold, samt for situationen med den planlagte Udfyldning A, dvs. scenarie "Udfyldning A (1)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

Simuleret middel- og maks. strømhastighed for Udfyldning A under blæsende forhold er vist i hhv. figur 4-7 og figur 4-8.



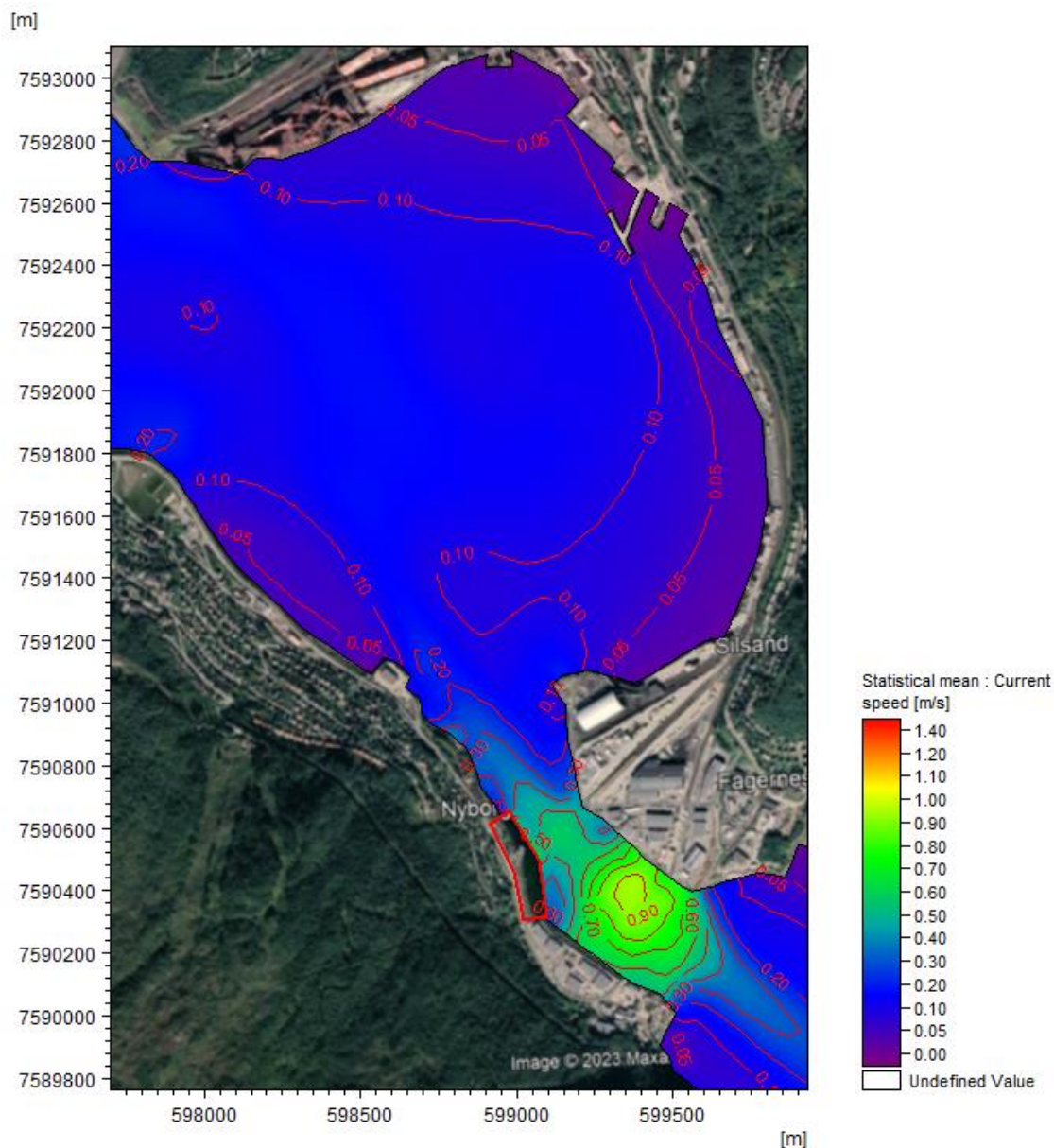
Figur 4-7: Simuleret middelstrømhastighed under blæsende forhold, samt for situationen med den planlagte Udfyldning A, dvs. Scenarie "Udfyldning A (2)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).



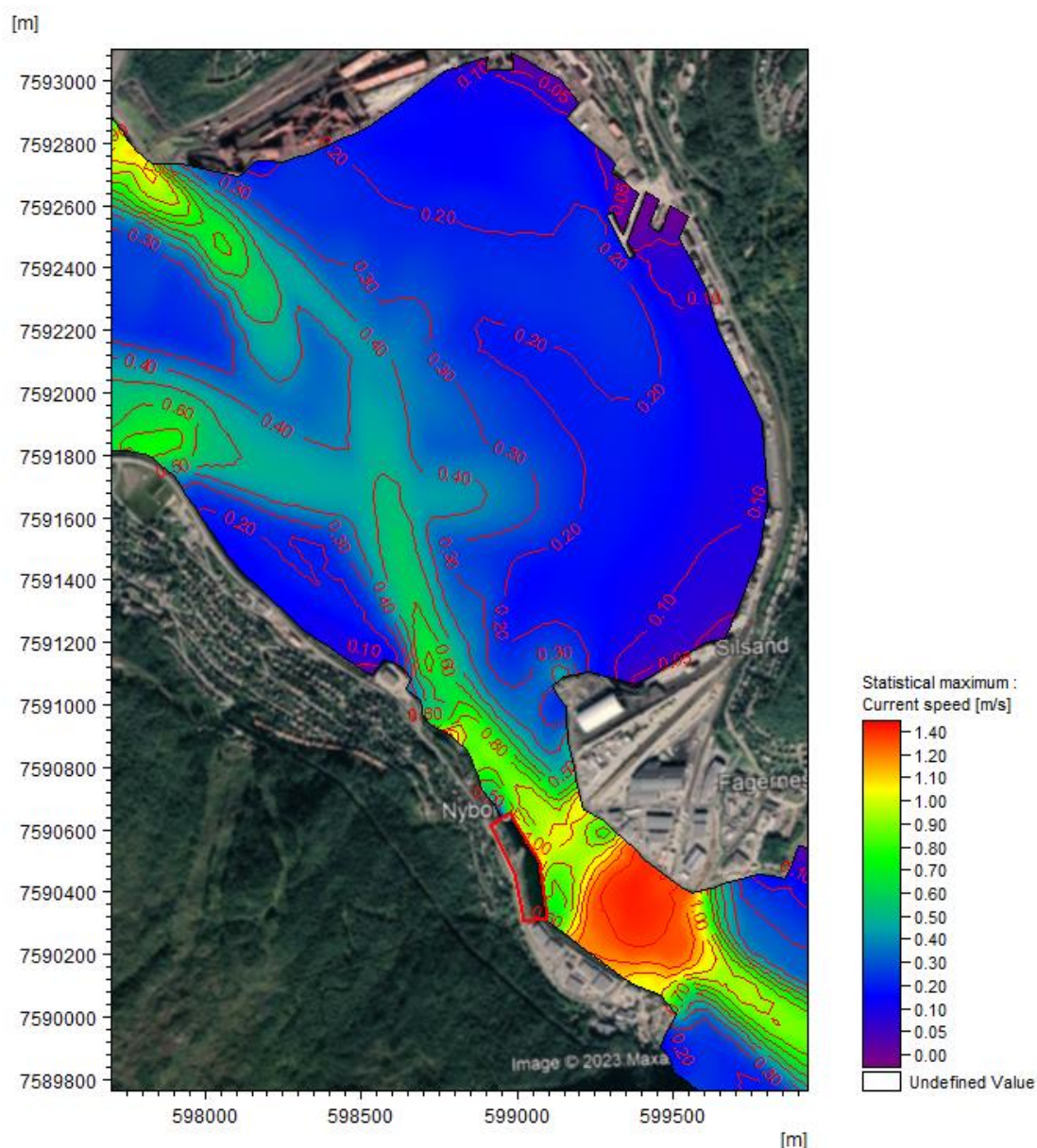
Figur 4-8: Simuleret maks.-strømhastighed under blæsende forhold, samt for situationen med den planlagte Udfyldning A, dvs. Scenarie "Udfyldning A (2)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

4.1.3 Simulerede strømforhold for planlagte Udfyldning B

Simuleret middel- og maks. strømhastighed for scenariet med den planlagte Udfyldning B under tidevandsdominerede forhold er vist i hhv. figur 4-9 og figur 4-10.

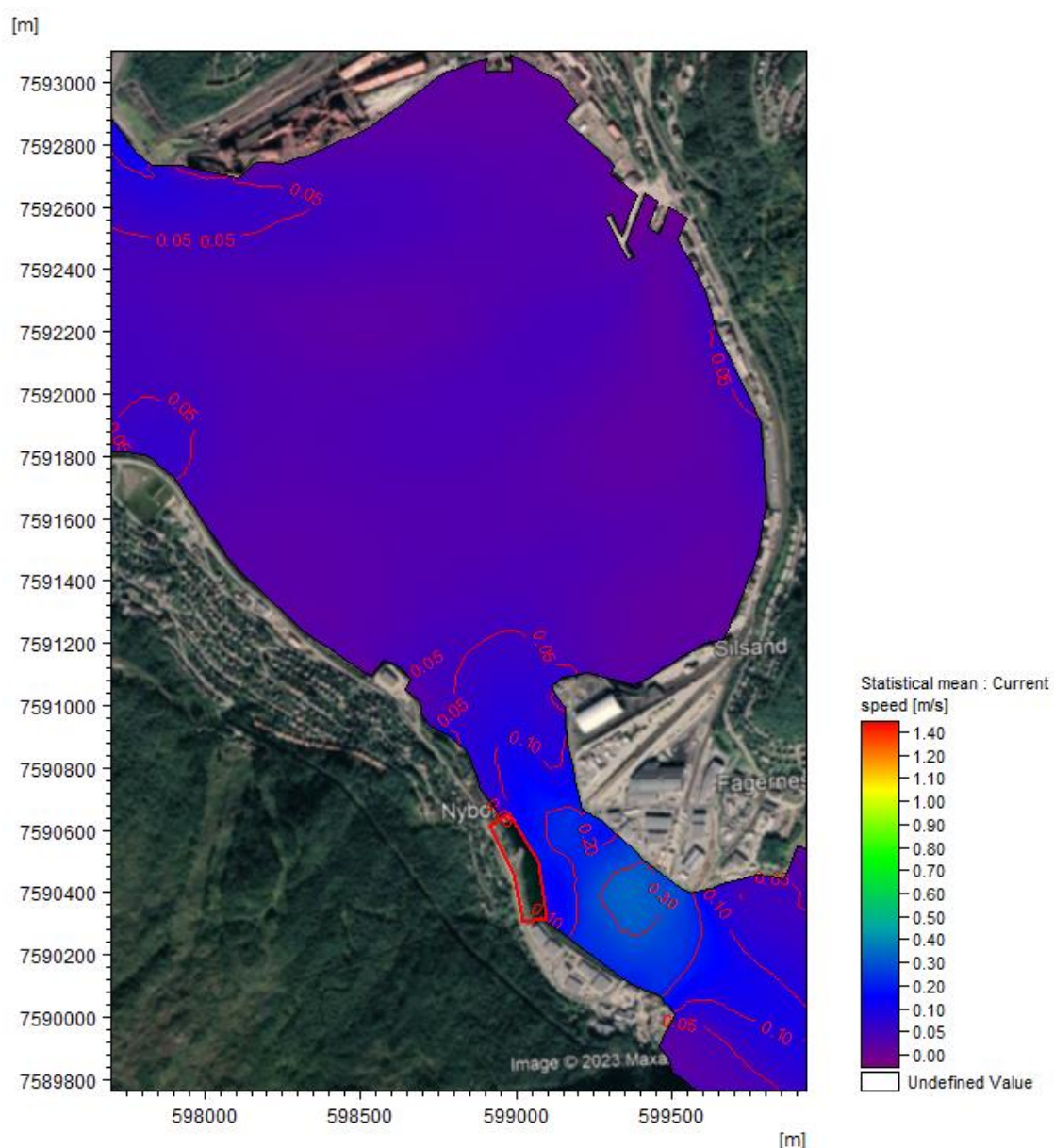


Figur 4-9: Simuleret middelstrømhastighed under tidevandsdominerede forhold, samt for situationen med den planlagte Udfyldning B, dvs. Scenarie "Udfyldning B (1)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

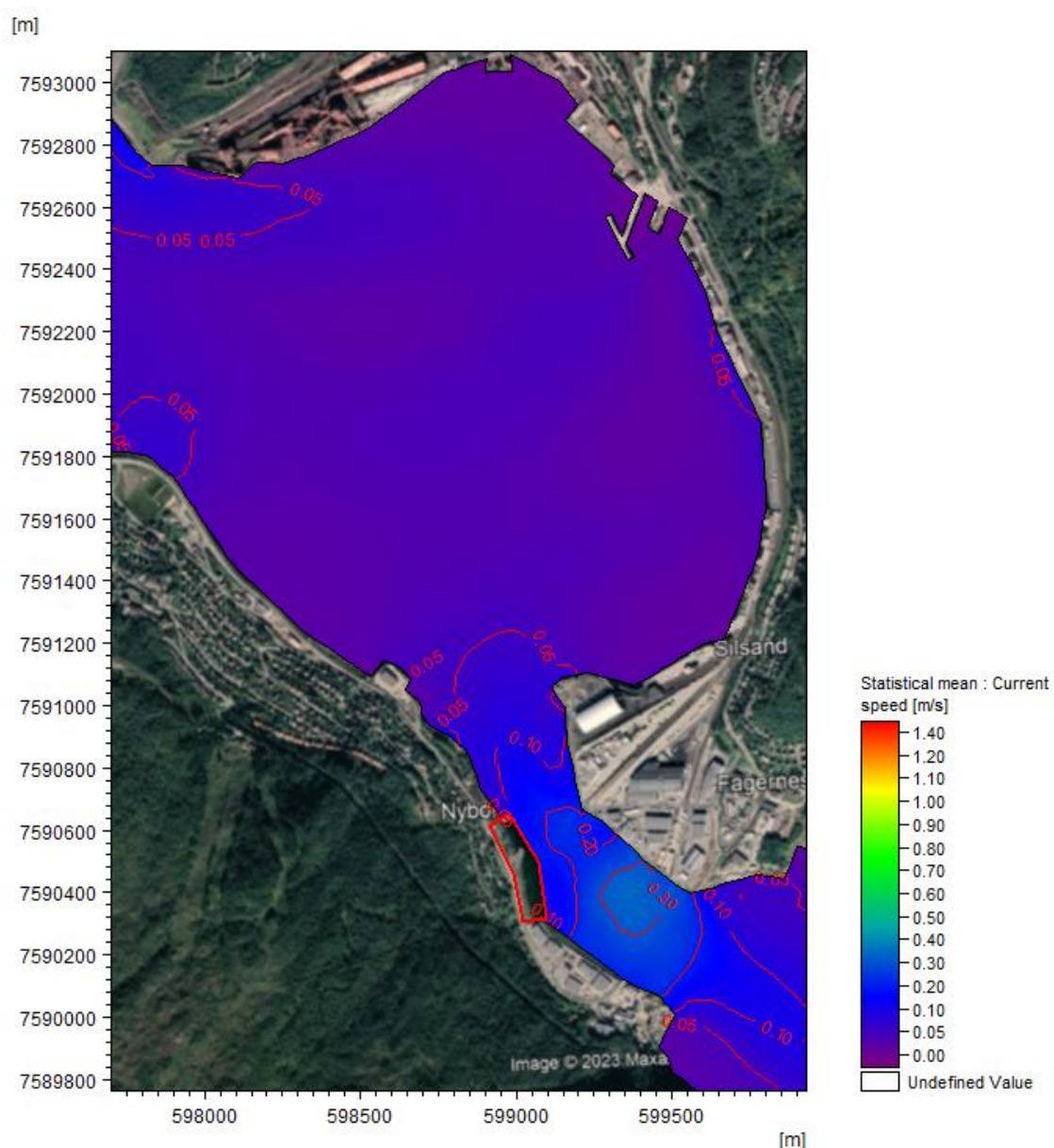


Figur 4-10: Simuleret maks.-strømhastighed under tidevandsdominerede forhold, samt for situationen med den planlagte Udfyldning B, dvs. Scenarie "Udfyldning B (1)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

Simuleret middel- og maks. strømhastighed for Udfyldning B under blæsende forhold er vist i hhv. figur 4-11 og figur 4-12.



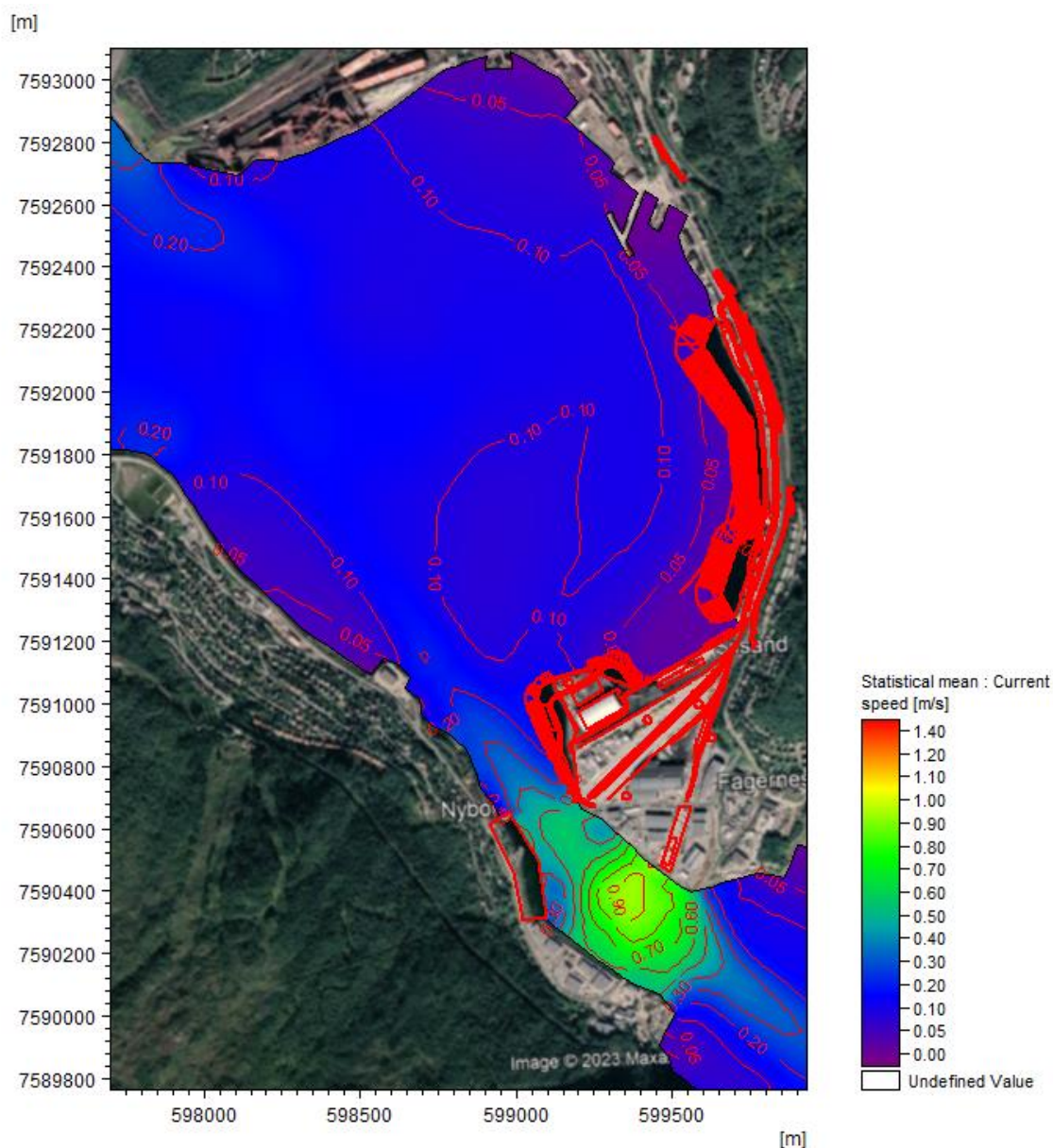
Figur 4-11: Simuleret middelstrømhastighed under blæsende forhold, samt for situationen med den planlagte Udfyldning B, dvs. Scenarie "Udfyldning B (2)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).



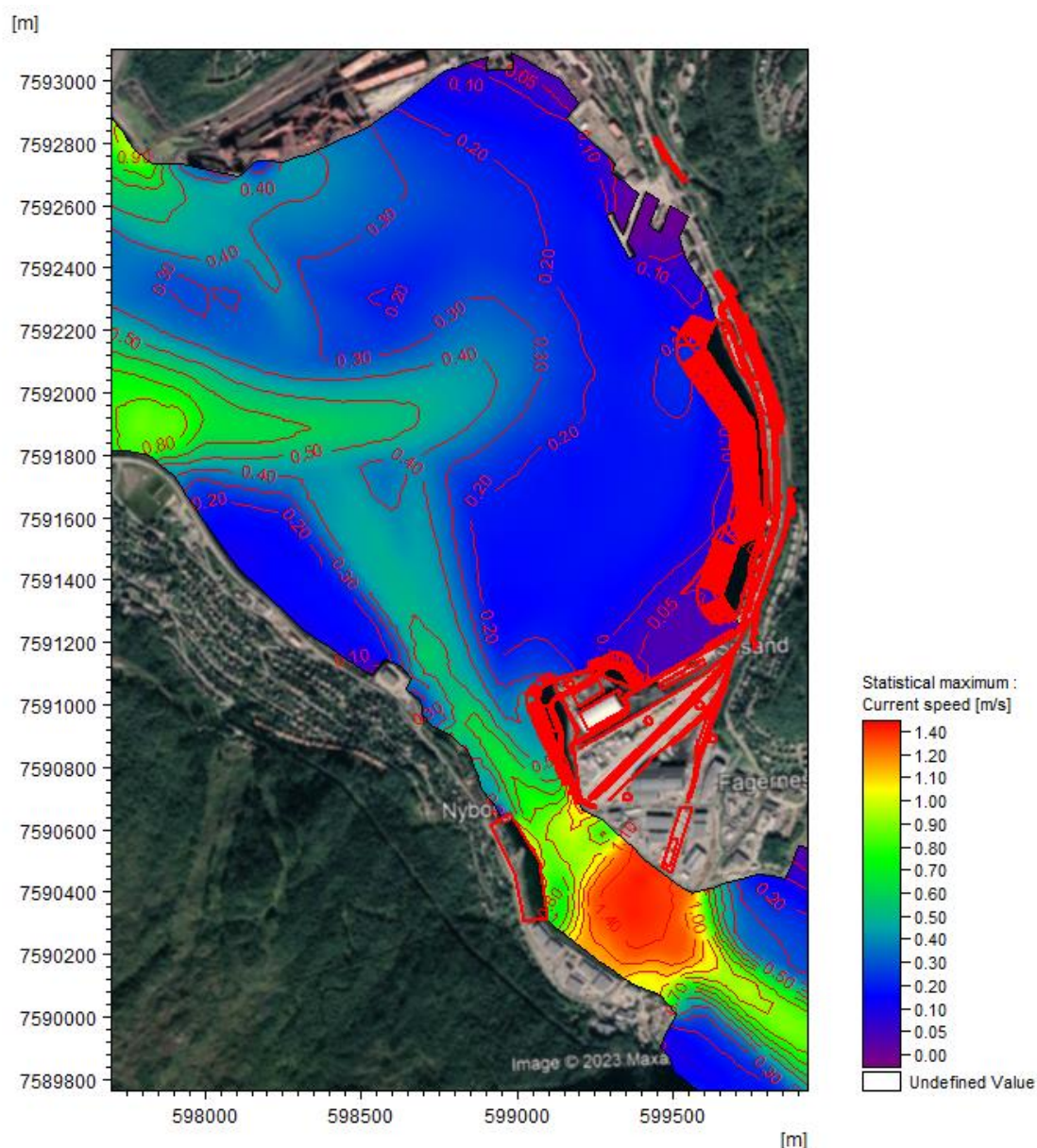
Figur 4-12: Simuleret maks.-strømhastighed under blæsende forhold, samt for situationen med den planlagte Udfyldning B, dvs. Scenarie "Udfyldning B (2)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

4.1.4 Simulerede strømforhold for planlagte Udfyldning A og B

Simuleret middel- og maks. strømhastighed for scenariet med de planlagte Udfyldning A og B under tidevandsdominerede forhold er vist i hhv. figur 4-13 og figur 4-14.

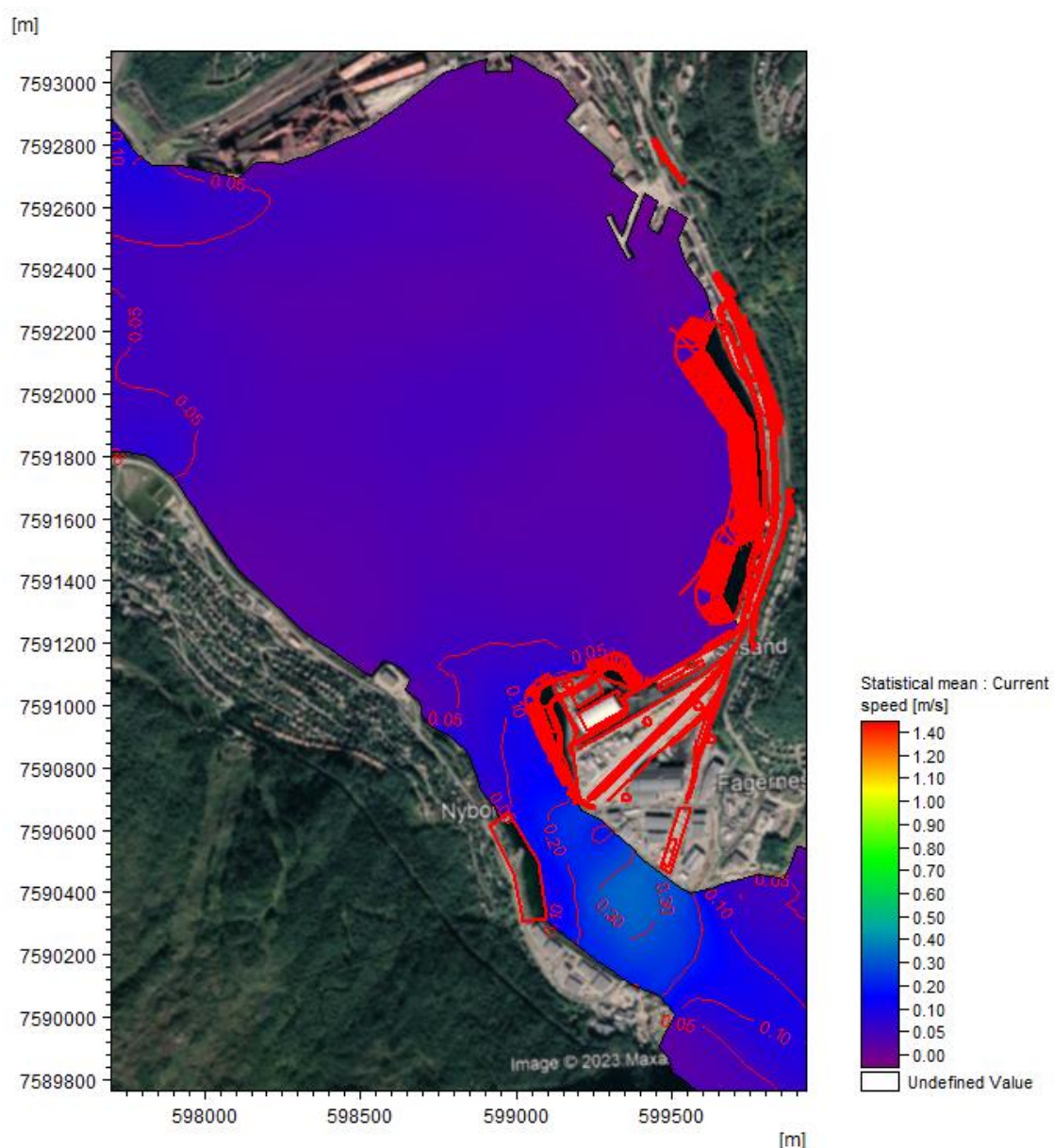


Figur 4-13: Simuleret middelstrømhastighed under tidevandsdominerede forhold, samt for situationen med de planlagte Udfyldning A og B, dvs. scenarie "Udfyldning A og B (1)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

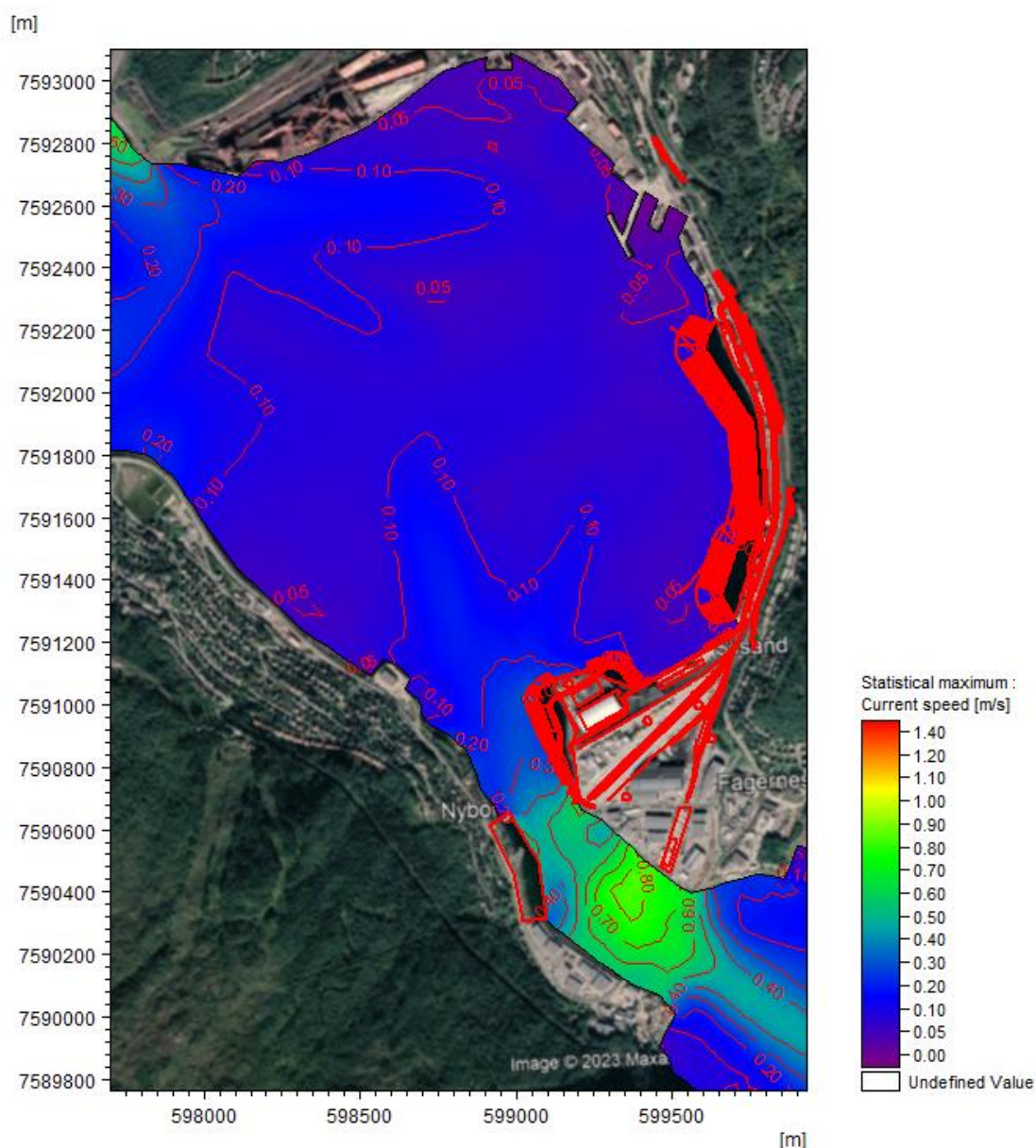


Figur 4-14: Simuleret maks.-strømhastighed under tidevandsdominerede forhold, samt for situationen med de planlagte Udfyldning A og B, dvs. scenarie "Udfyldning A og B (1)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

Simuleret middel- og maks. strømhastighed for Udfyldning A og B under blæsende forhold er vist i hhv. figur 4-15 og figur 4-16.



Figur 4-15: Simuleret middelstrømhastighed under blæsende forhold, samt for situationen med de planlagte Udfyldning A og B, dvs. Scenarie "Udfyldning A og B (2)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).



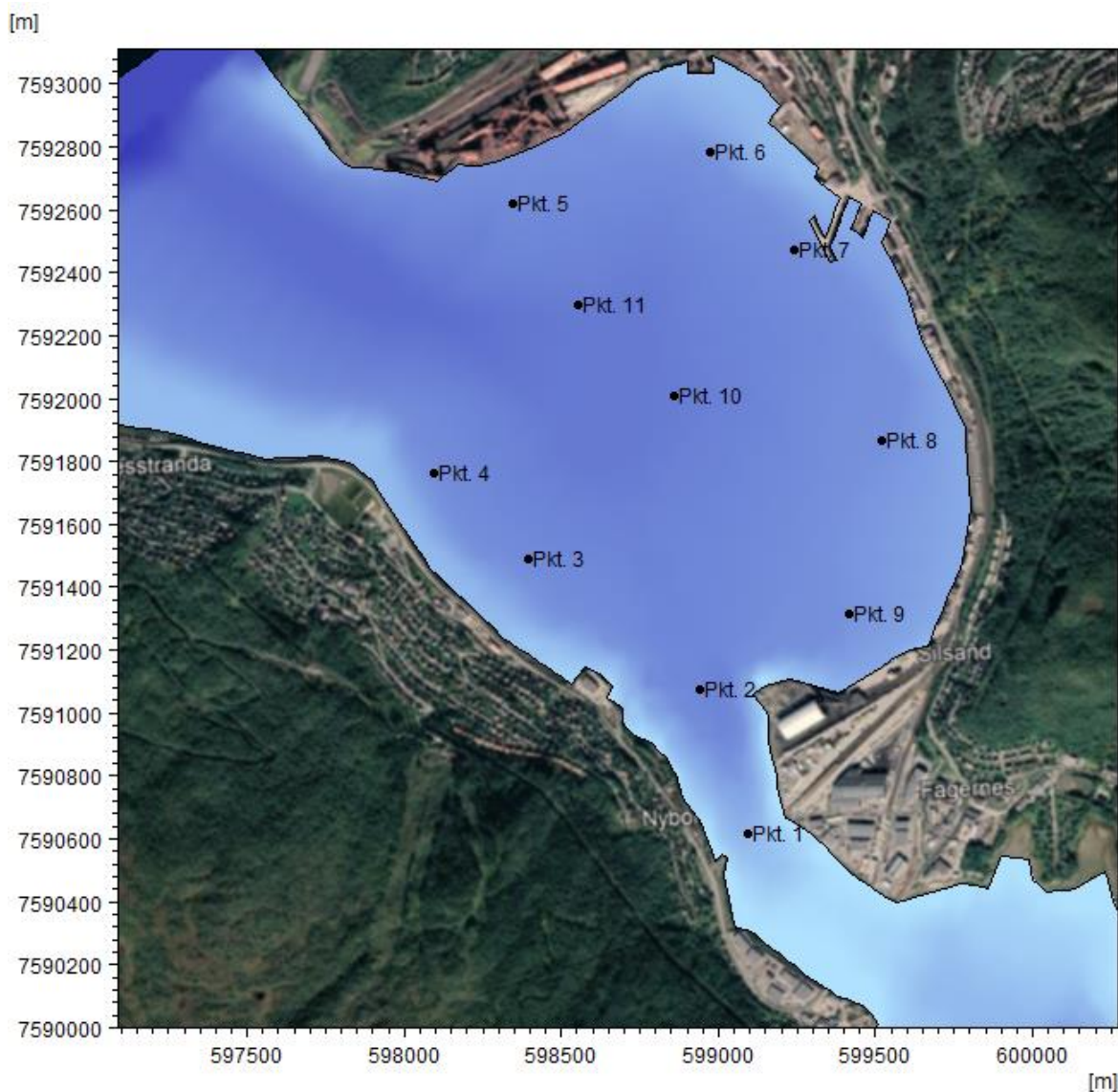
Figur 4-16: Simuleret maks.-strømhastighed under blæsende forhold, samt for situationen med de planlagte Udfyldning A og B, dvs. Scenarie "Udfyldning A og B (2)" jf. tabel 3-1. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

4.2 Vurdering af påvirkning på lokale strømforhold fra planlagte udfyldninger

Påvirkninger af lokale strømforhold fra planlagte udfyldninger vurderes i det følgende.

Vurderingerne baseres på relative sammenligninger for de forskellige fremtidige scenarier med resultaterne opnået ved simulering af eksisterende forhold. Således bør der ikke lægges stor vægt på de absolutte simulerede strømhastigheder, men mere vægt på ændringen i strømforholdene som følge af de planlagte udfyldninger sammenlignet med eksisterende forhold.

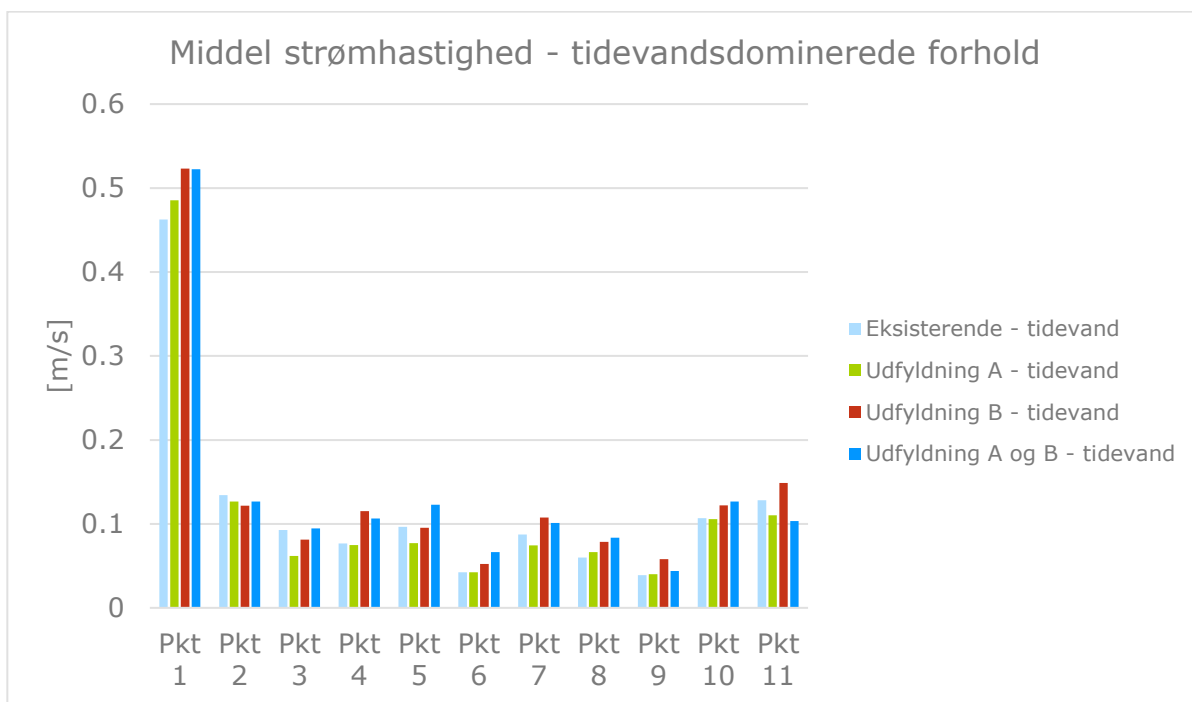
Strømforhold for de forskellige evaluerede scenarier er vurderet i de specifikke punkter vist i figur 4-17. Punkterne dækker både Fagernesstraumen, samt kystlinjen langs Narvik Bugten.



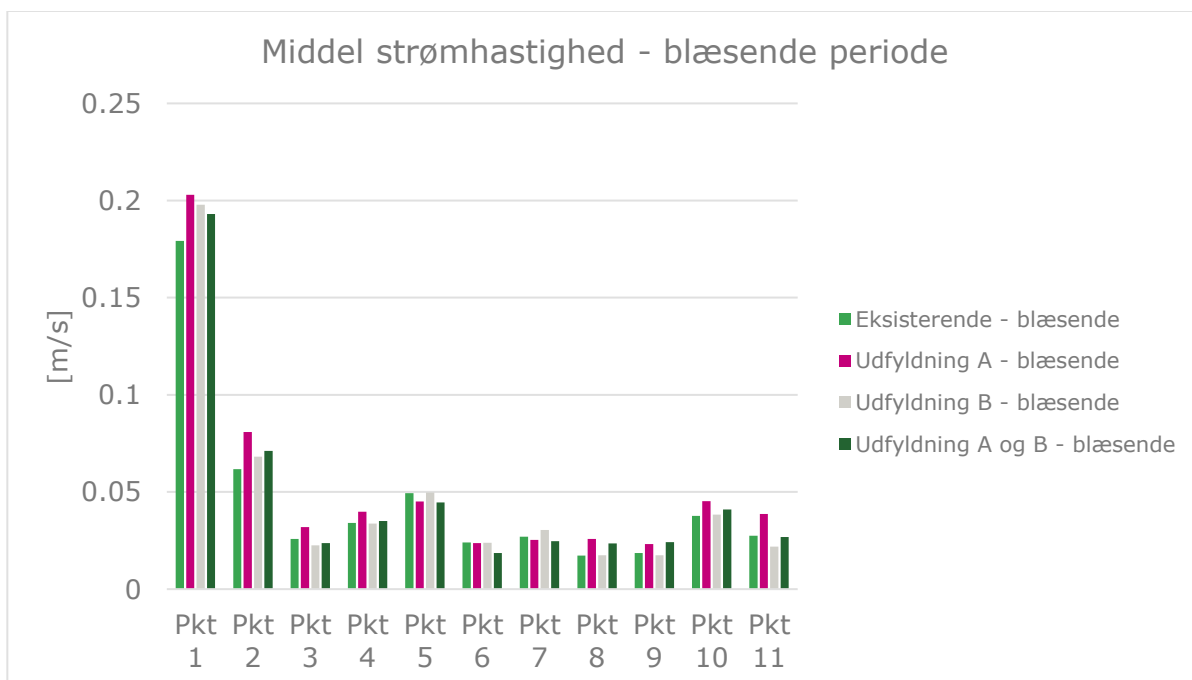
Figur 4-17: Output-punkter til vurdering af indflydelse fra planlagte udfyldninger på lokale strømforhold. Baggrundsfotos er fra (Google Earth, 2023).

Simulerede middelstrømhastigheder i de 11 outputpunkter i figur 4-17, for scenarierne med hhv. tidevandsdominerede forhold samt relativt kraftig vind, er vist i hhv. figur 4-18 og figur 4-19. Som det fremgår af figurene, er der for de to vurderede perioder opnået de højeste middelstrømhastigheder for scenariet med tidevandsdominerede forhold. Dette skyldes den større tidevandsamplitude i perioden med tidevandsdominerede forhold, sammenlignet med den blæsende periode. Således kan det også konstateres, at den største påvirkning af strømforhold i Narvik Bugten er som følge af tidevand og i mindre grad som følge af vindpåvirkning.

Som det fremgår af figur 4-18 og figur 4-19 vil de planlagte udfyldninger generelt i større og mindre grad medføre forøgelse af strømhastigheder. Hertil ses der dog ikke nogen klar tendens ift. hvilke udfyldninger, der medfører den største påvirkning. Generelt set er påvirkningerne af strømforholdene relativt små, sammenlignet med de i forvejen relativt dynamiske forhold i Narvik Bugten.

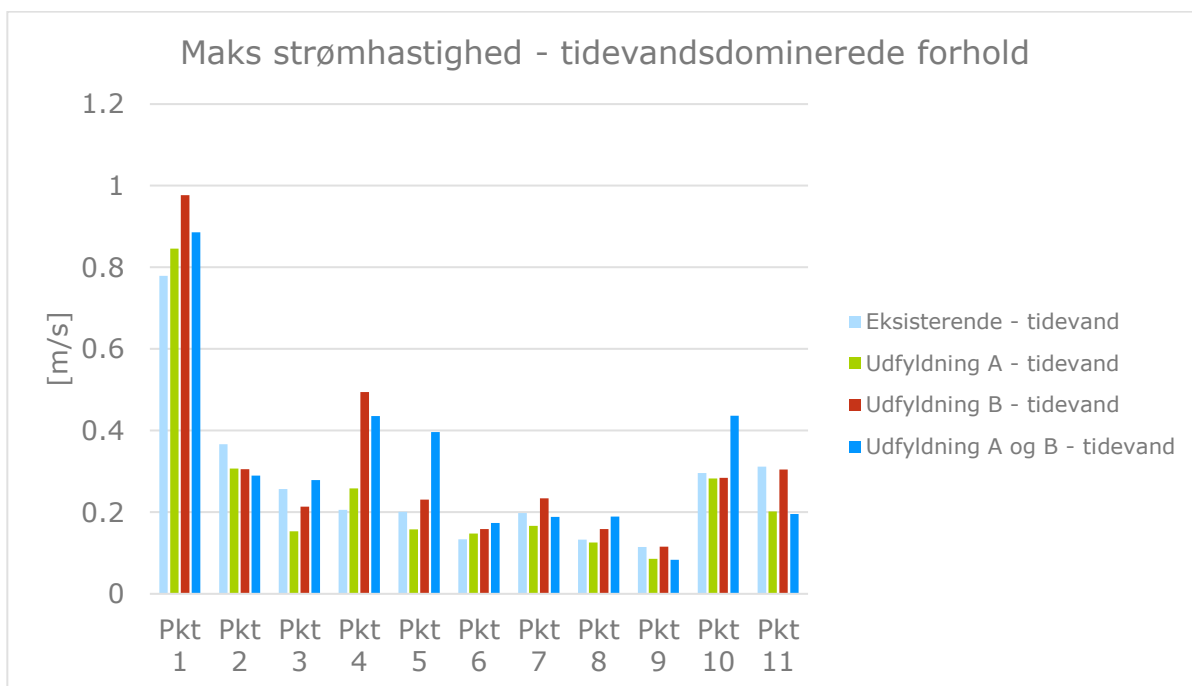


Figur 4-18: Sammenligning af simulerede middel-strømshastigheder i løbet af vurderet periode med tidevandsdominerede strømforhold.

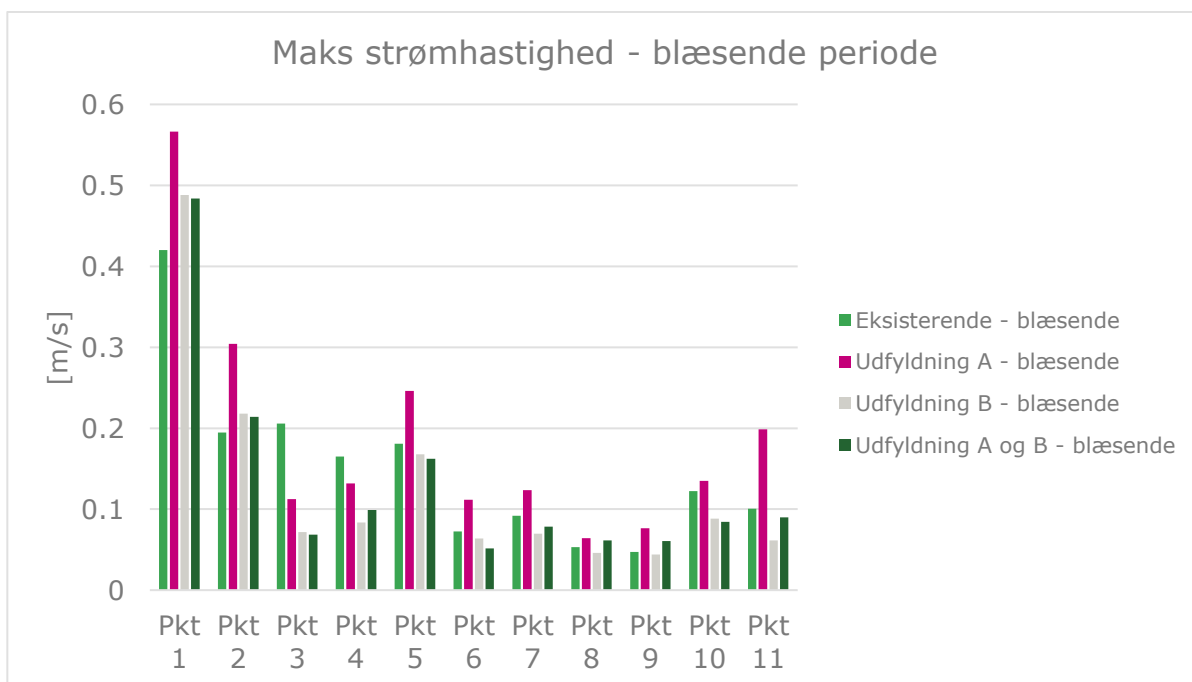


Figur 4-19: Sammenligning af simulerede middel-strømshastigheder i løbet af vurderet periode med relativt kraftig vind.

Simulerede momentane maks. strømshastigheder i de 11 outputpunkter i figur 4-17, for scenarierne med hhv. tidevandsdominerede forhold samt relativt kraftig vind, er vist i hhv. figur 4-20 og figur 4-21. På samme vis som for tilfældet med påvirkning af middel-strømshastigheder, ses relativt små påvirkninger af momentane maks. strømshastigheder.



Figur 4-20: Sammenligning af simulerede maks. strømhastigheder i løbet af vurderet periode med tidevandsdominerede strømforhold.



Figur 4-21: Sammenligning af simulerede maks. strømhastigheder i løbet af vurderet periode med relativt kraftig vind.

5. OPSUMMERING OG KONKLUSION

Narvik Havn vurderer landvindinger i Beisfjorden og ønsker i den forbindelse en beskrivelse samt en tilhørende analyse af hhv. nuværende- og fremtidige strømforhold, som et bidrag til at vurdere på bygbarhed ifm. reguleringsplanen.

Nærværende rapport bygger videre på tidligere gennemførte vurderinger vedr. strømforhold i Narvik Bugten, baseret på skrivebordsbetragtninger. Hertil er der i nærværende analyser anvendt en 3D-hydraulisk model til simulering af lokale strømforhold, med henblik på at vurdere på eventuelle påvirkninger af strømforholdene som følge af de planlagte udfyldninger, hhv. *Udfyldning A* og *Udfyldning B*.

Indledningsvist er der gennemført en vurdering af de styrende parametre for de lokale strømforhold i Narvik Bugten. Hertil er det konstateret, at den mest dominerende faktor er tidevandsvariationen i området. Desuden er der en mindre påvirkning fra vind, som dog kun i mindre omfang påvirker den lokale hydrodynamik. Til nærværende vurderinger er der simuleret hhv. en tidevandsdomineret periode samt en blæsende periode.

Kraftigste strømhastigheder ses i Fagernesstraumen, hvor vanddybden, og dermed gennemstrømningstværsnittet, er mindst. Højeste strømhastigheder opstår for de evaluerede perioder ved indgående strøm til Narvik Bugten, dvs. når der haves stigende tidevandstand. Strømhastigheder ved Narvik Terminalen er relativt lave, og opstår som følge af hvirveldannelser i Narvik Bugten pga. af de relativt høje strømhastigheder i Fagernesstraumen.

Baseret på sammenligninger af simulerede strømforhold for hhv. den eksisterende situation samt scenarierne inkl. de planlagte udfyldninger kan det konstateres, at de planlagte landindvindinger umiddelbart kun vil medføre relativt små påvirkninger af strømforhold. I Fagernesstraumen, hvor strømhastigheden i forvejen er høj, vil reduktionen i strømningstværsnittet, som forventet, medføre en forøgelse af strømhastigheden. I den resterende del af bugten ses også lidt højere hastigheder, afhængig af udbredelsen og beliggenheden af strømhvirvler.

5.1 Usikkerheder relateret til nærværende strømsimuleringer og forslag til supplerende analyser

Til kalibrering af anvendte hydrodynamiske model er der anvendt målte strømdata fra 2011. Ved sammenligning imellem simulerede- og målte strømhastigheder er det konstateret, at modellen ikke helt fanger alle strømpeaks.

Som følge af det sparsomme datagrundlag til kalibrering og validering af modellen er der gennemført udvalgte følsomhedsanalyser. Baseret herpå er det konstateret, at selv små vanddybdeændringer kan medføre forholdsvis store forskelle i simulerede strømforhold. Det er således vurderet, at årsagen til uoverensstemmelserne mellem målte og modellerede strømhastigheder potentielt kan skyldes forskelle i de lokale vanddybdeforhold, som i modellen stammer fra 2022/2023, sammenlignet med forholdene i 2011, hvor strømmålingerne er gennemført.

Overordnet er det dog vurderet, at modellen er i stand til, med relativt god præcision, at simulere relative forskelle i strømforholdene som følge af de planlagte udfyldninger – sammenlignet med eksisterende forhold. Dog bør der ikke lægges vægt på de modellerede absolutte strømhastigheder i nærværende rapport, men alene den relative ændring og påvirkningsområde. Dette betyder således også, at simulerede strømhastigheder i nærværende rapport ikke kan anvendes direkte til f.eks. design mv. Hertil bør kalibreringsgrundlaget for modellen forbedres, og

der bør undersøges supplerende modelscenarier (som potentielt kan være mere ekstreme). Nærværende vurderinger/simuleringer bør betragtes som værende på skitseniveau og alene ift. at vurdere på den overordnede påvirkning af strømforholdene som følge af udfyldningerne.

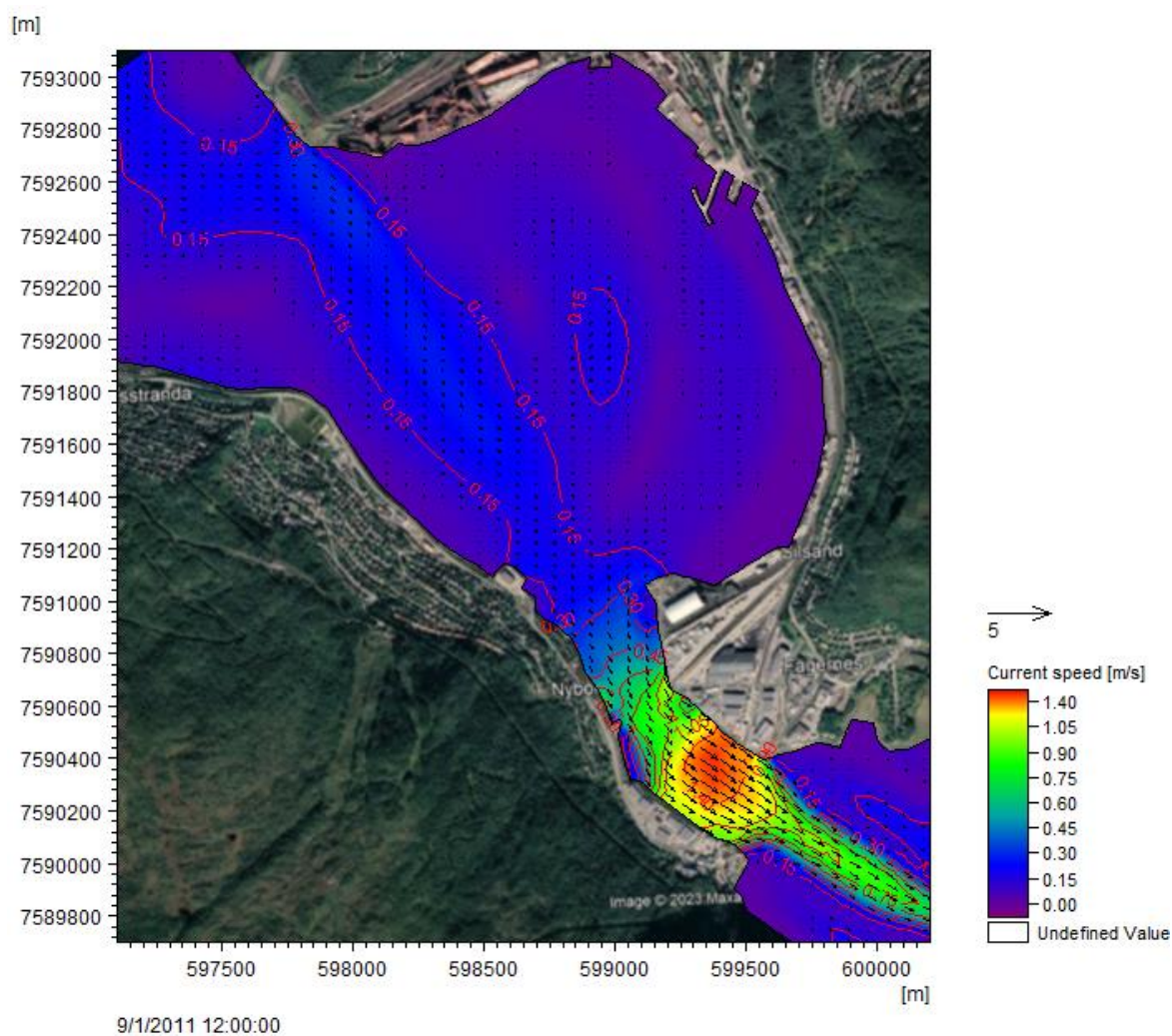
Modellen vurderes at medføre den bedste præcision relativt tæt ved Fagernesstraumen, hvor strømdata er tilgængelige for modelkalibrering, og mindre præcis længere inde i bugten, hvor der ikke foreligger kalibreringsdata. Til det videre arbejde kan det overvejes at forbedre kalibreringsgrundlaget for modellen til også at inkludere strømmålinger længere inde i Narvik Bugten og til at indeholde mere varierende strømforhold. Strømmålingerne bør foretages indenfor nogenlunde samme periode hvorfra der også haves tilgængelige pejlinger.

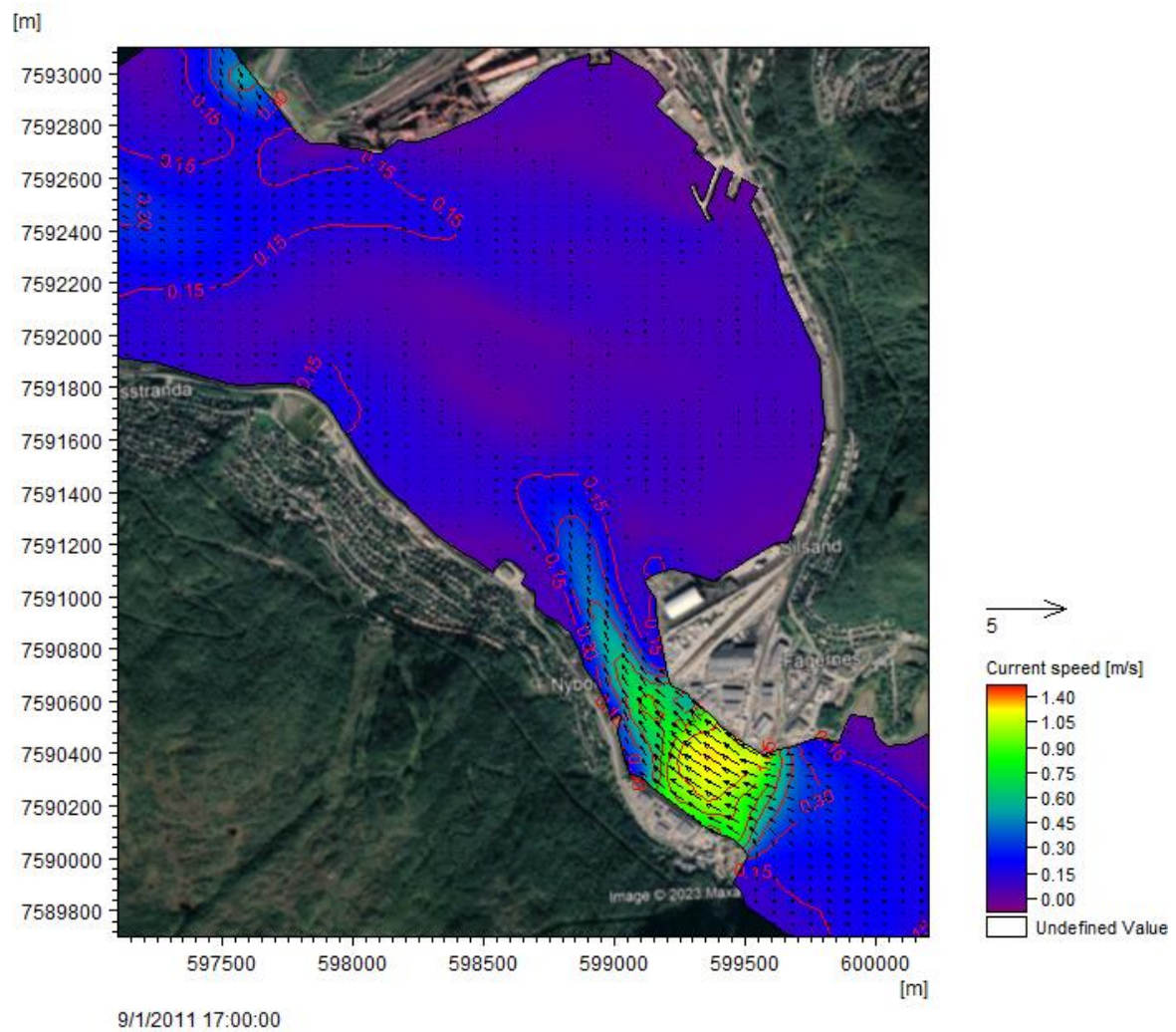
REFERENCER

- Concil. (2022). *Planinitiativ - Detailregulering for Lyngeset næringsområde*.
- GeoNord. (2022). *Sjøbunnskartlegging Narvik-Beisfjorden*.
- Google Earth. (2023).
- Kartverket. (2023). Hentet fra https://api.sehavniva.no/tideapi_no.html
- Liu, Z., & Burcharth, H. F. (1999). *Port Engineering*. Aalborg Universitet, Inst. for Vand, Jord og Miljøteknik.
- Norgeskart. (2023). Hentet fra <https://norgeskart.no/>
- Norsk Klimaservicesenter. (2023). Hentet fra <https://seklima.met.no/>
- Novatek. (2011). *Strømmåling på 2 og 5 meters dyp ved Silsand - Narvik Kommune*.
- Rambøll. (2021). *Sjøutfyllinger Narvikterminalen - Vurderinger av strømforhold*.

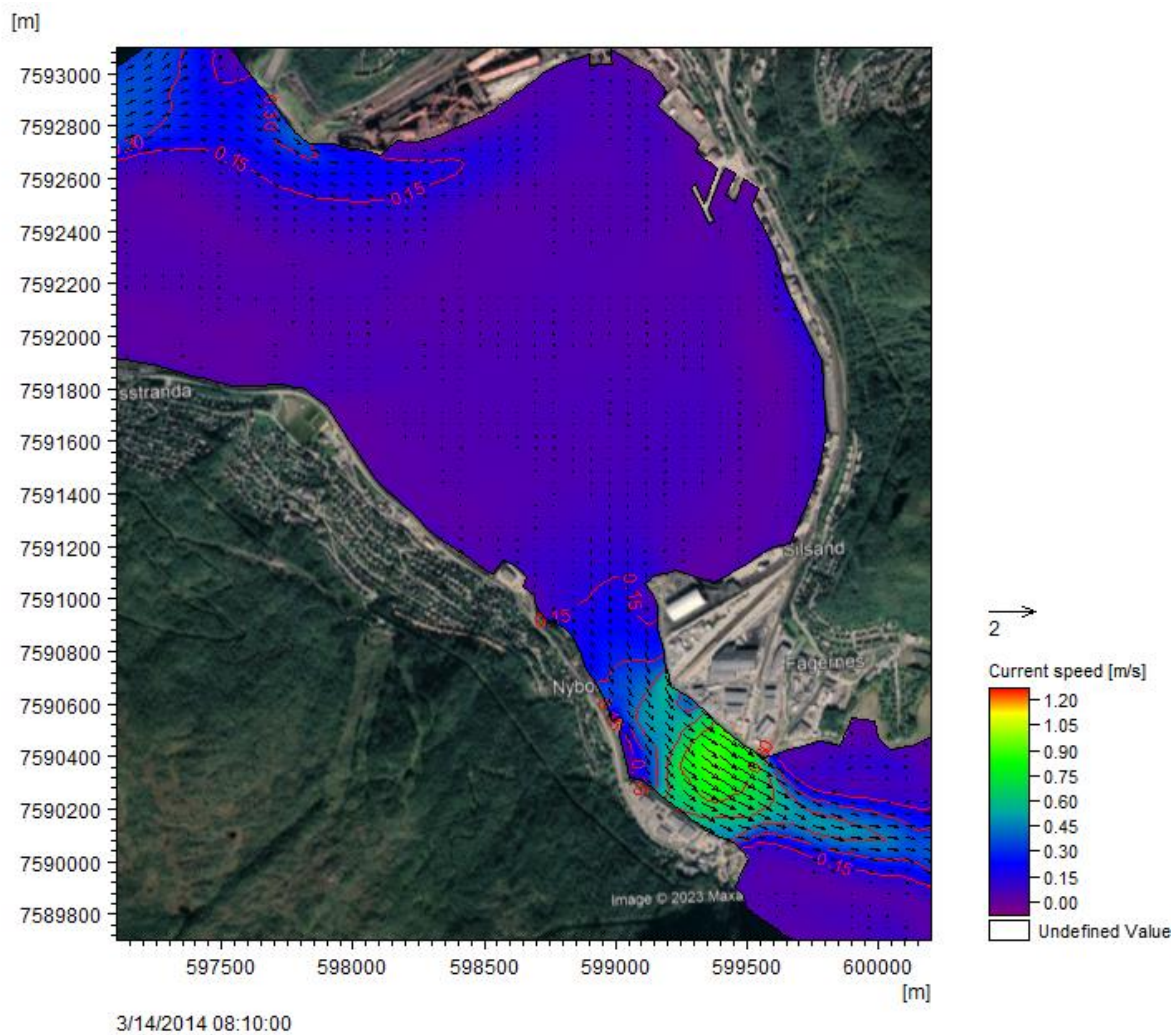
APPENDIX A - ØJEBLIKSPLOTS AF IND- OG UDGÅENDE STRØM FOR EKSISTERENDE SITUATION

Tidevandsdominerede strømforhold

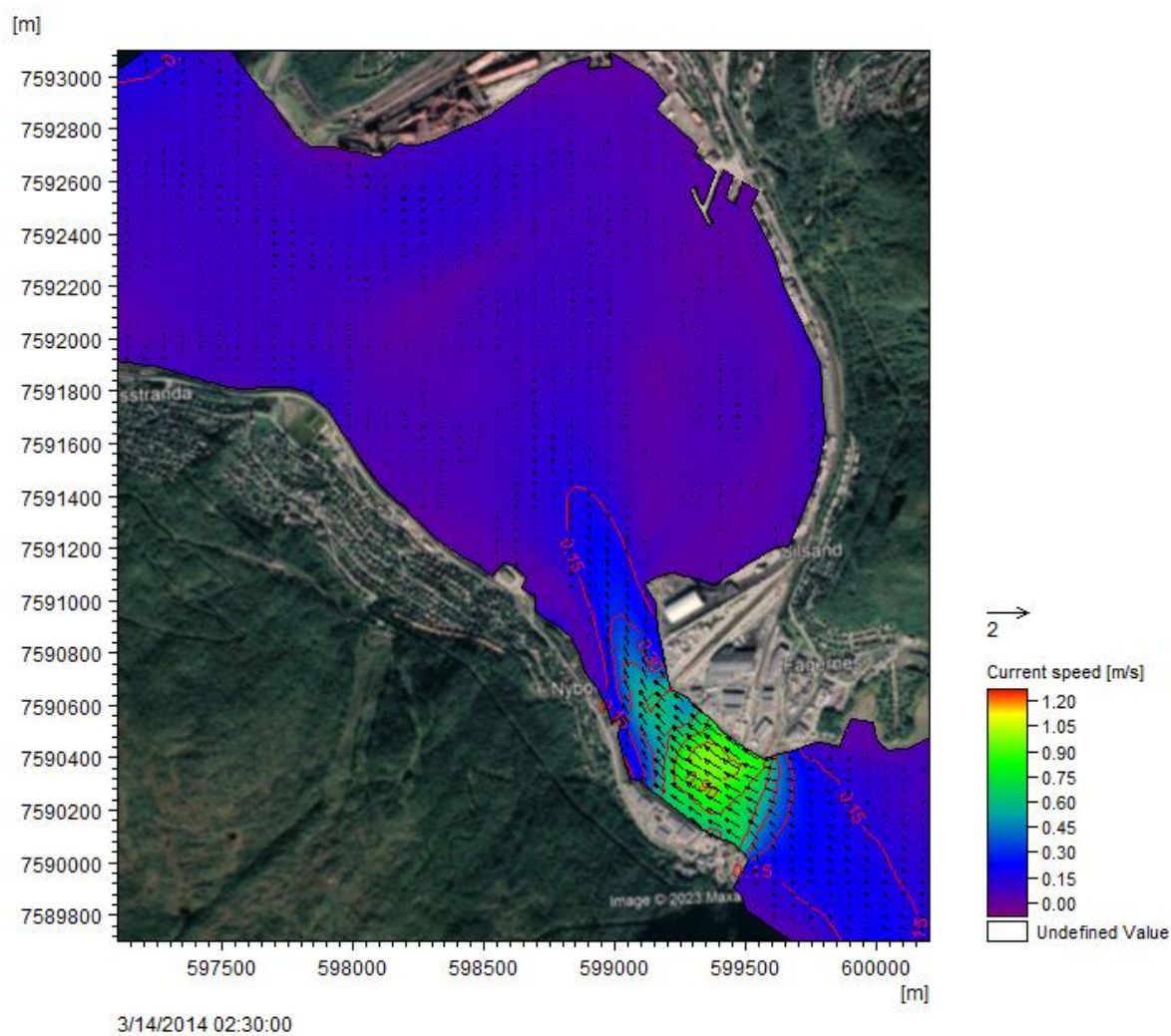




Vinddominerede forhold



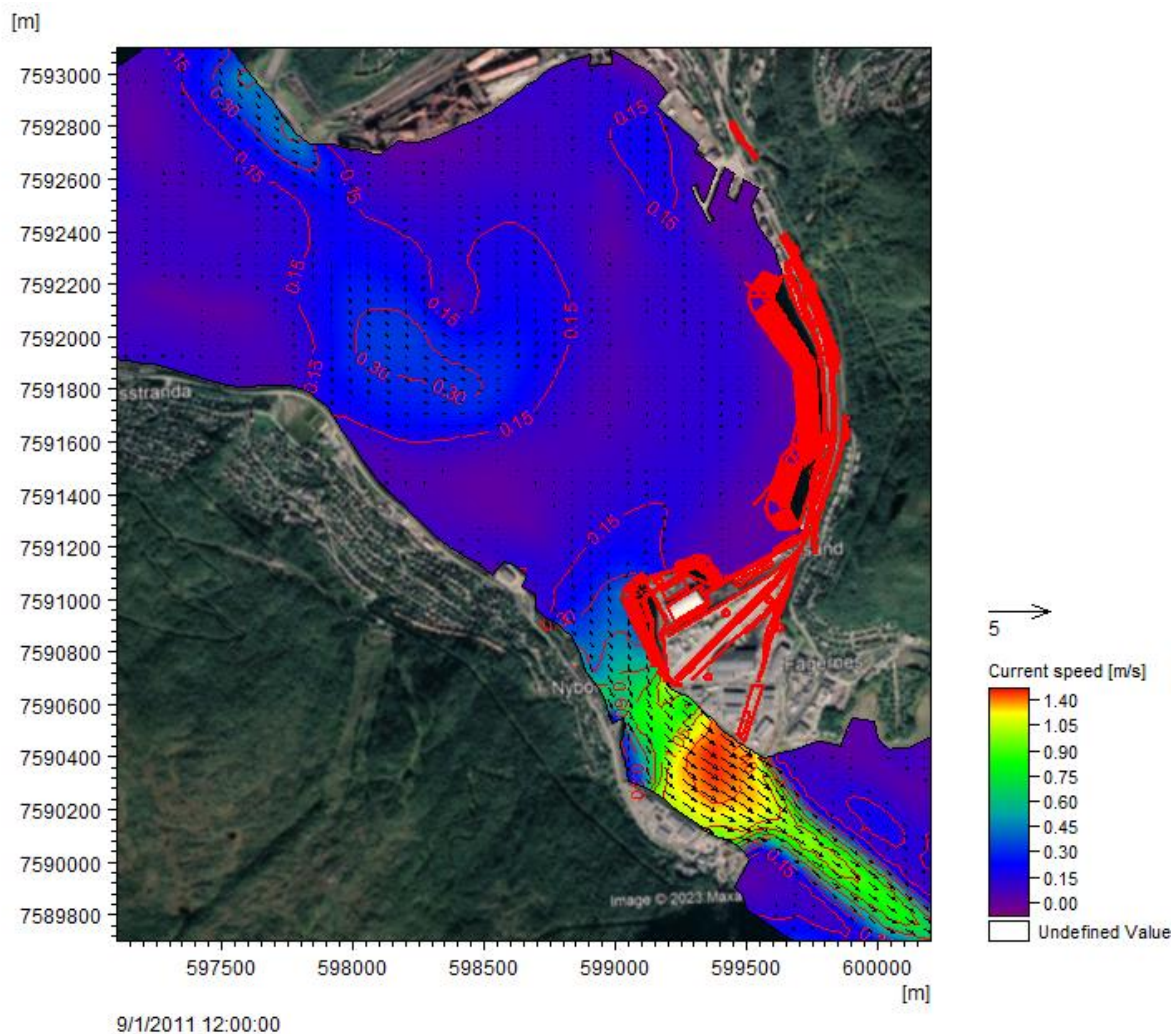
Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).



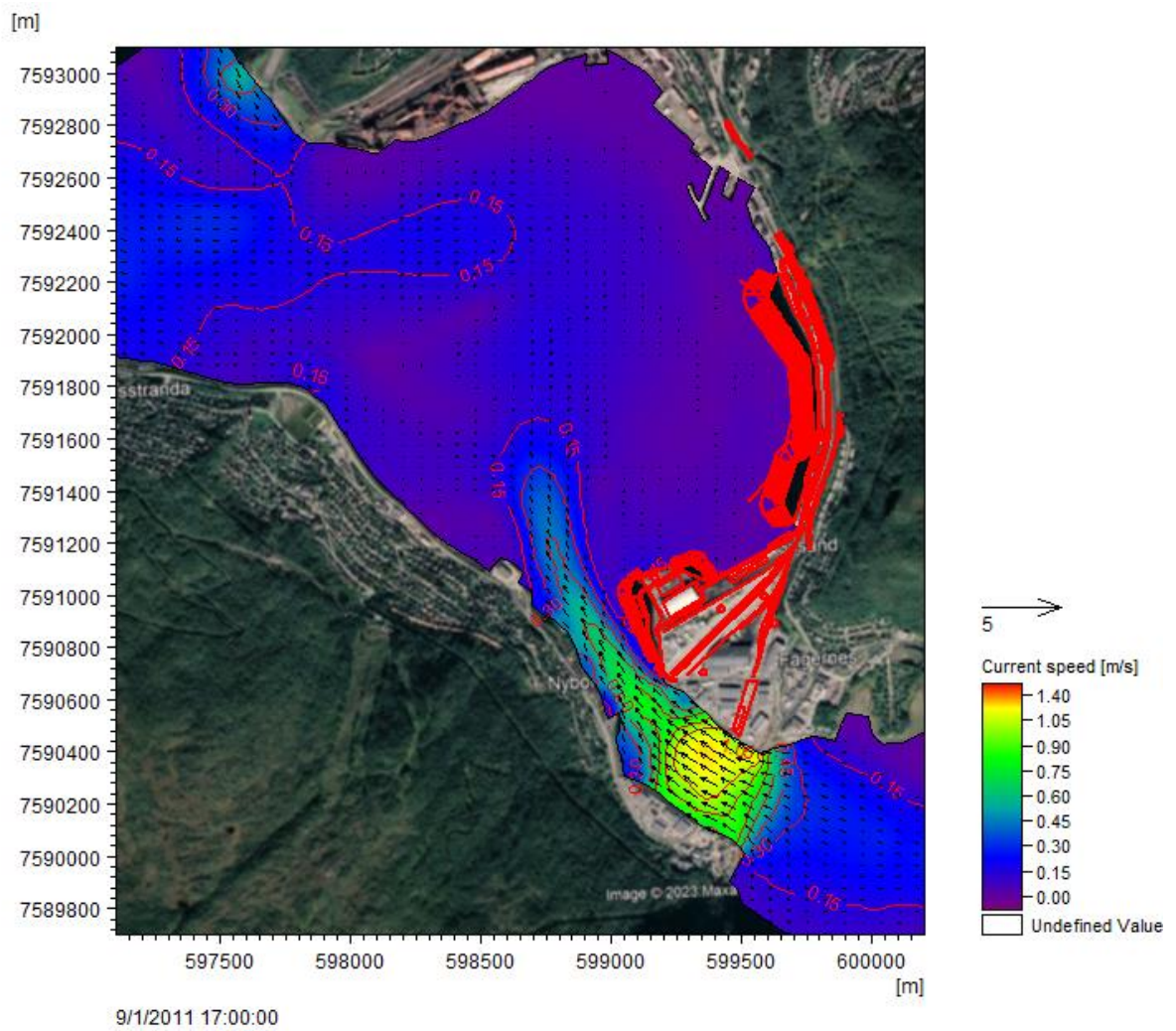
Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

APPENDIX B - ØJEBLIKSPLOTS AF IND- OG UDGÅENDE STRØM FOR SITUATION MED PLANLAGTE UDFYLDNING A

Tidevandsdominerede strømforhold

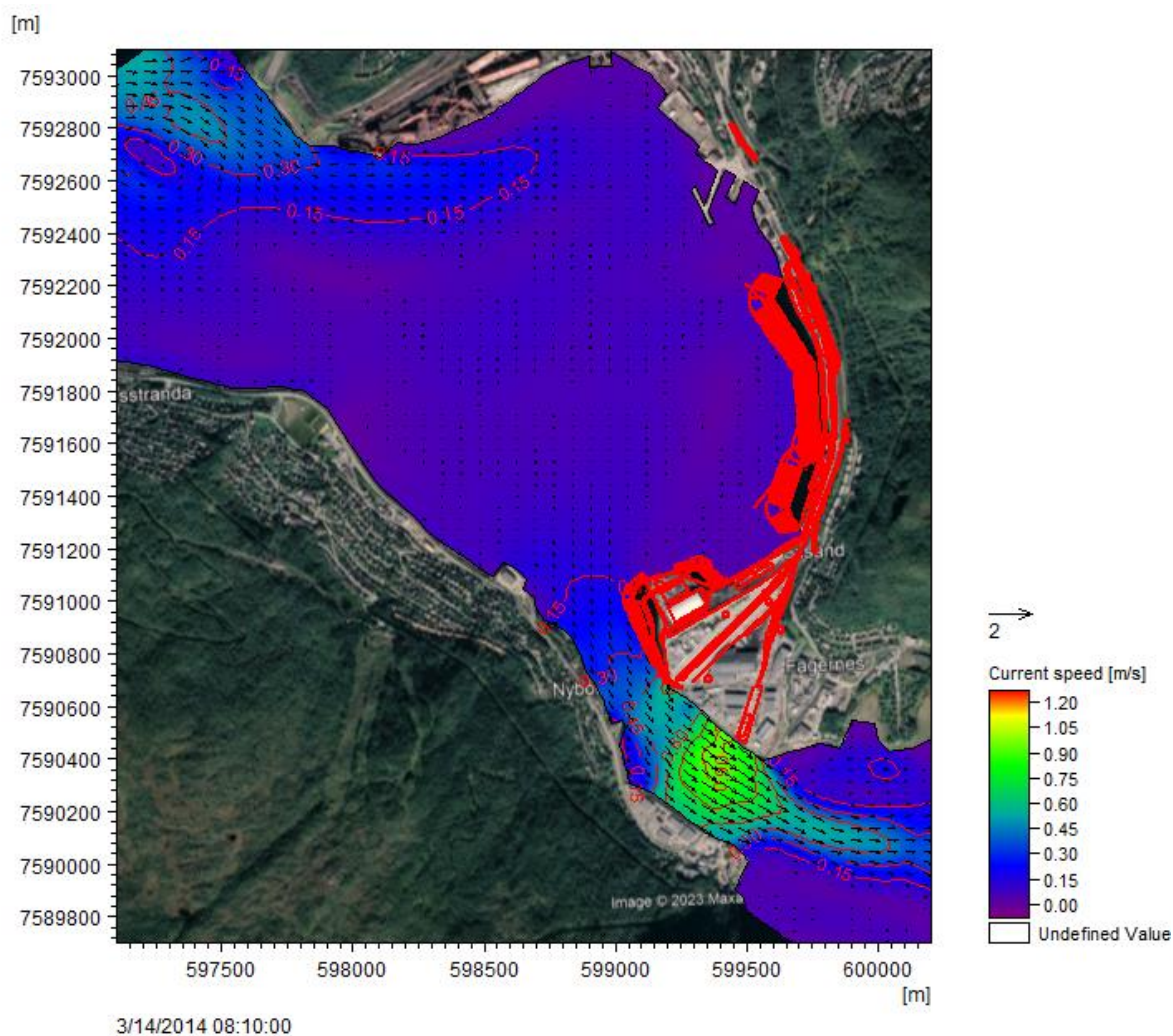


Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

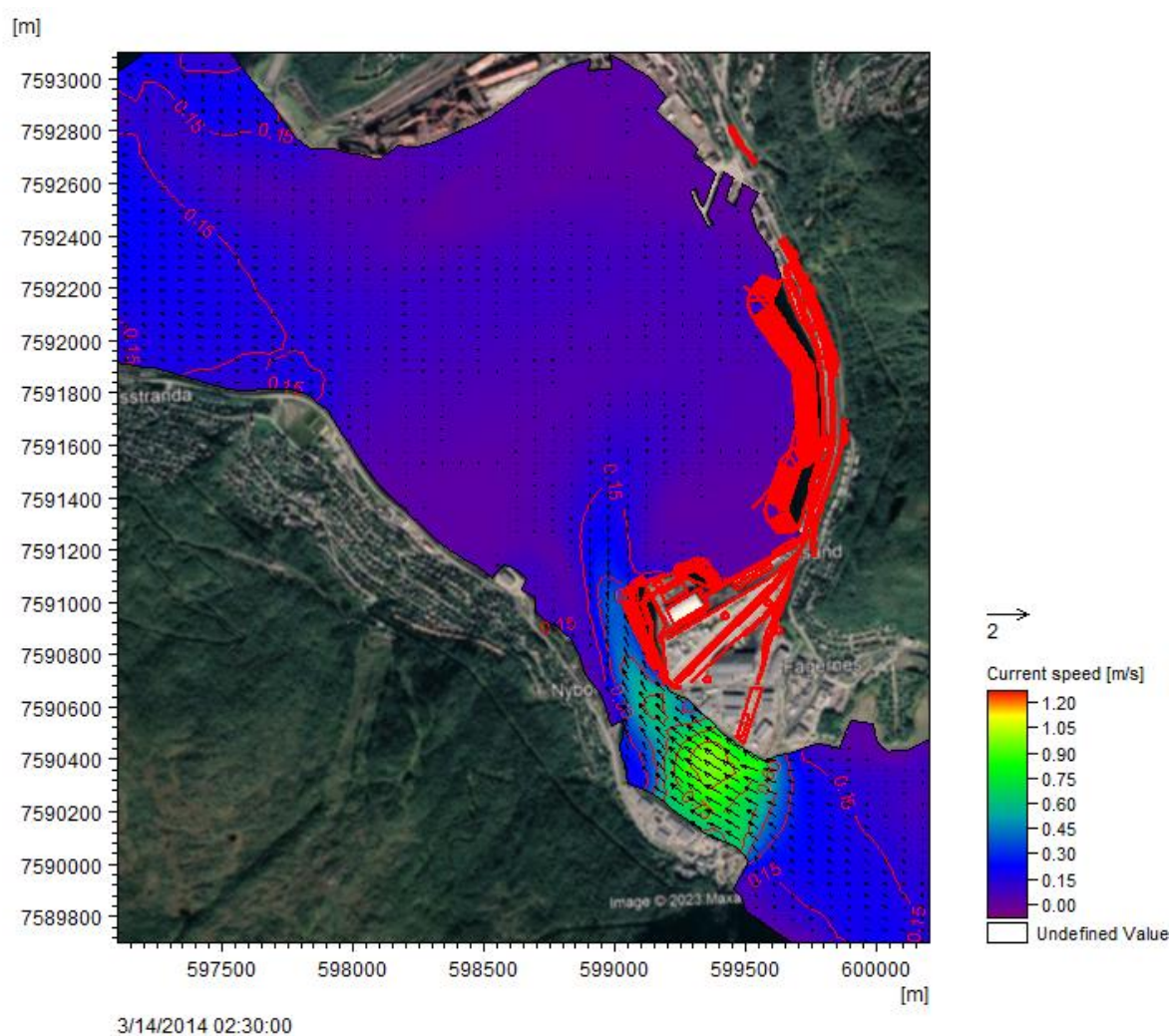


Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

Vinddominerede forhold



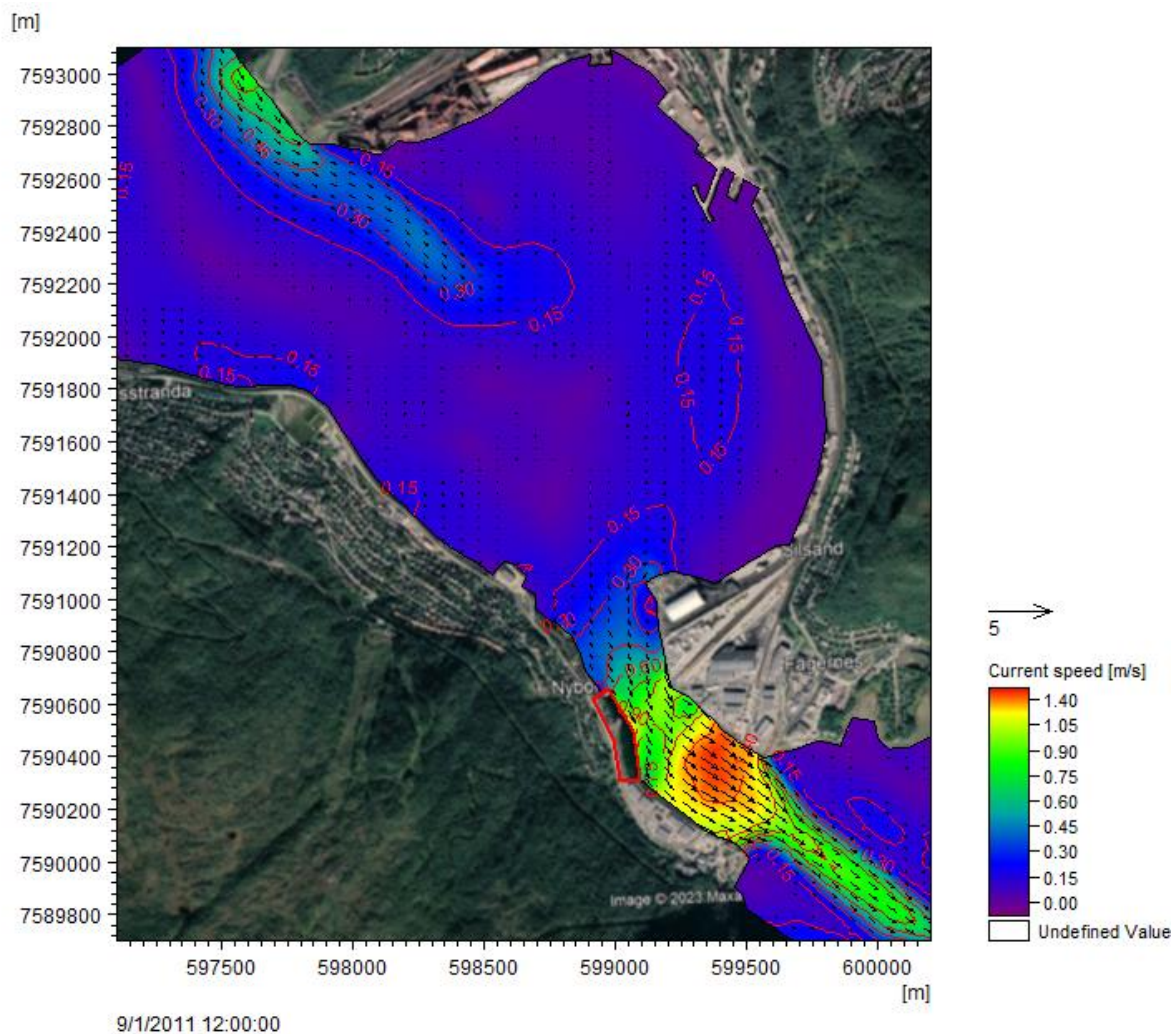
Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).



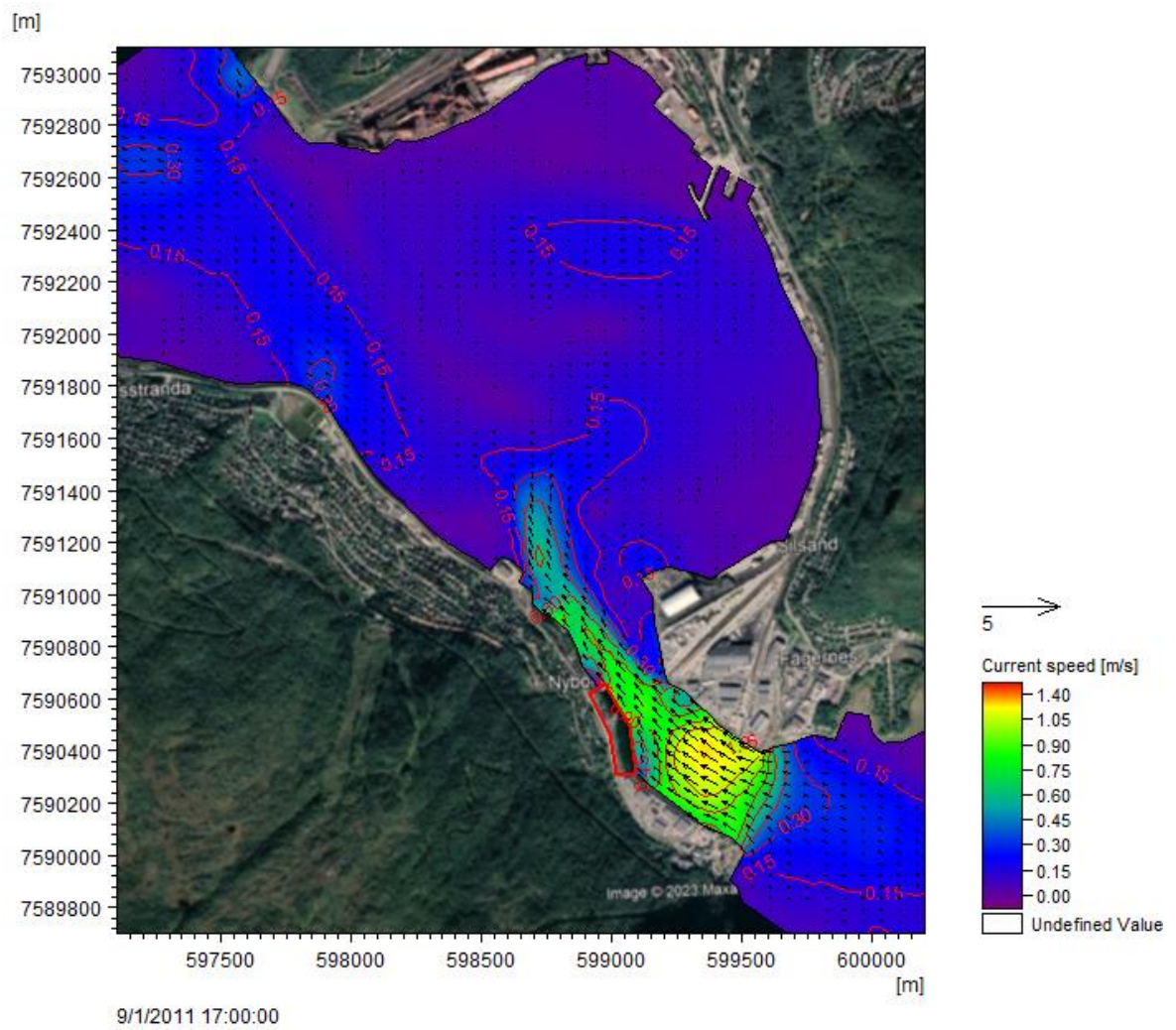
Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

APPENDIX C - ØJEBLIKSPLOTS AF IND- OG UDGÅENDE STRØM FOR SITUATION MED PLANLAGTE UDFYLDNING B

Tidevandsdominerede strømforhold

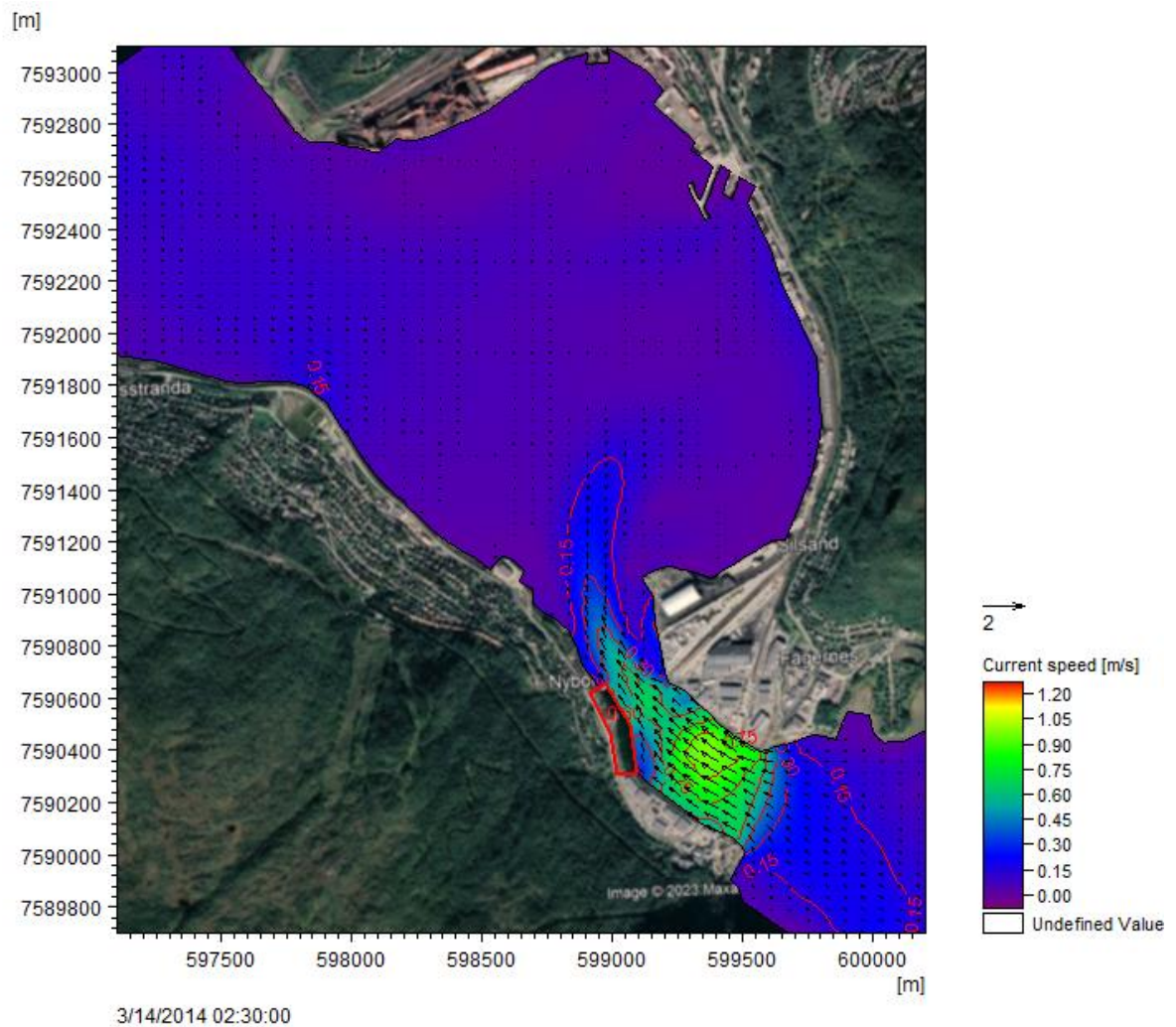


Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).



Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

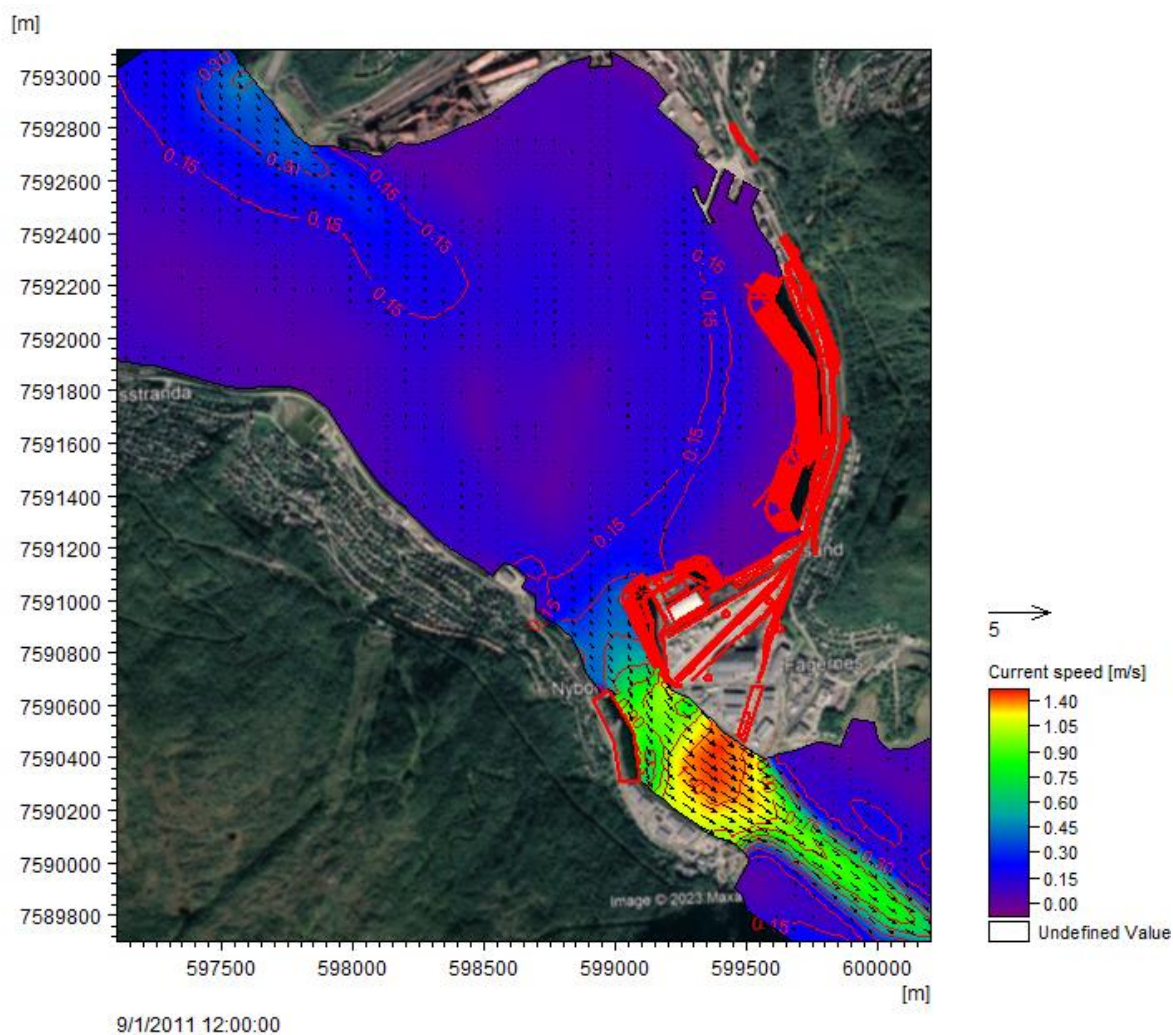
Vinddominerede forhold

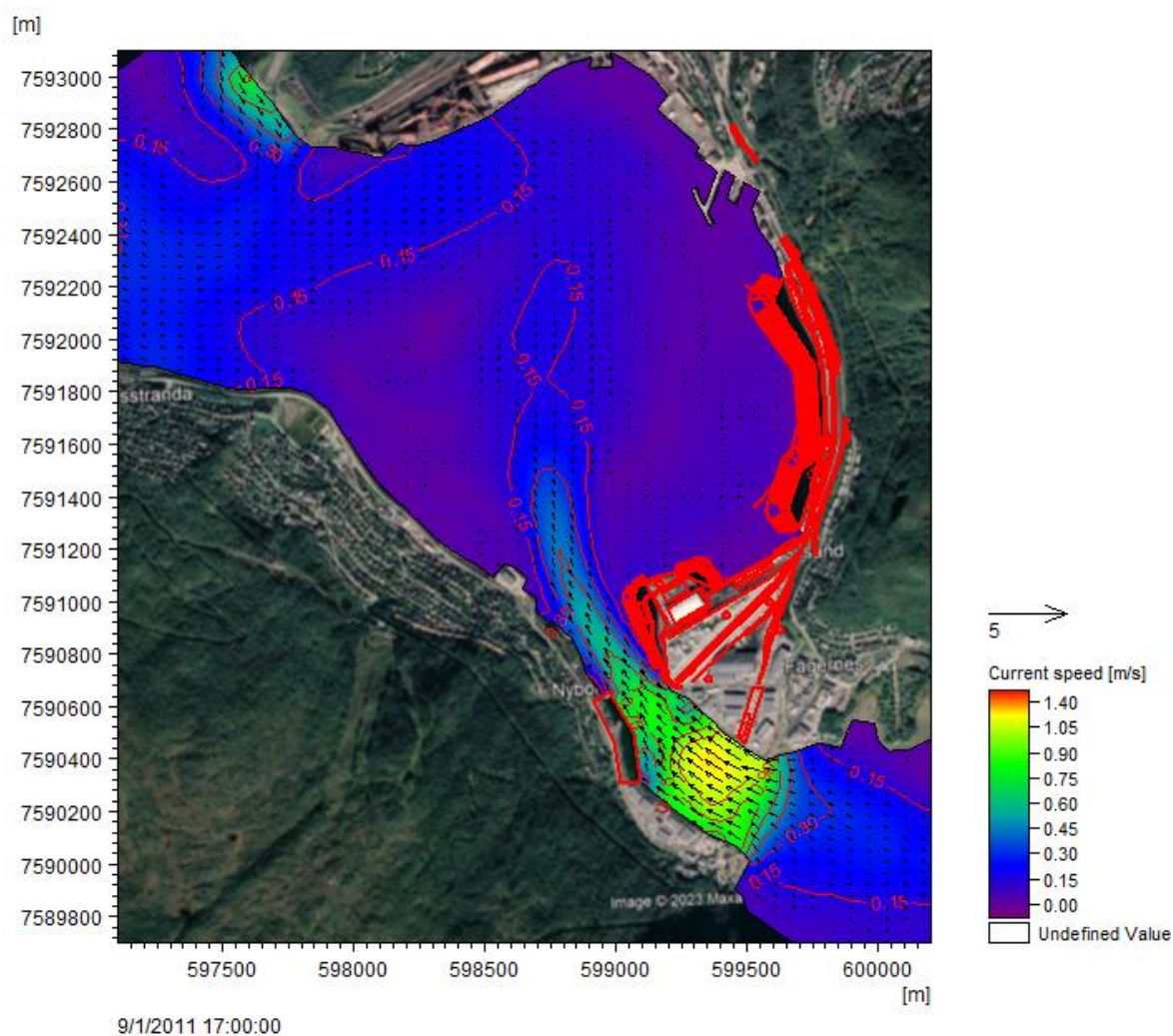


Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

APPENDIX D - ØJEBLIKSPLOTS AF IND- OG UDGÅENDE STRØM FOR SITUATION MED PLANLAGTE UDFYLDNING A OG B

Tidevandsdominerede strømforhold

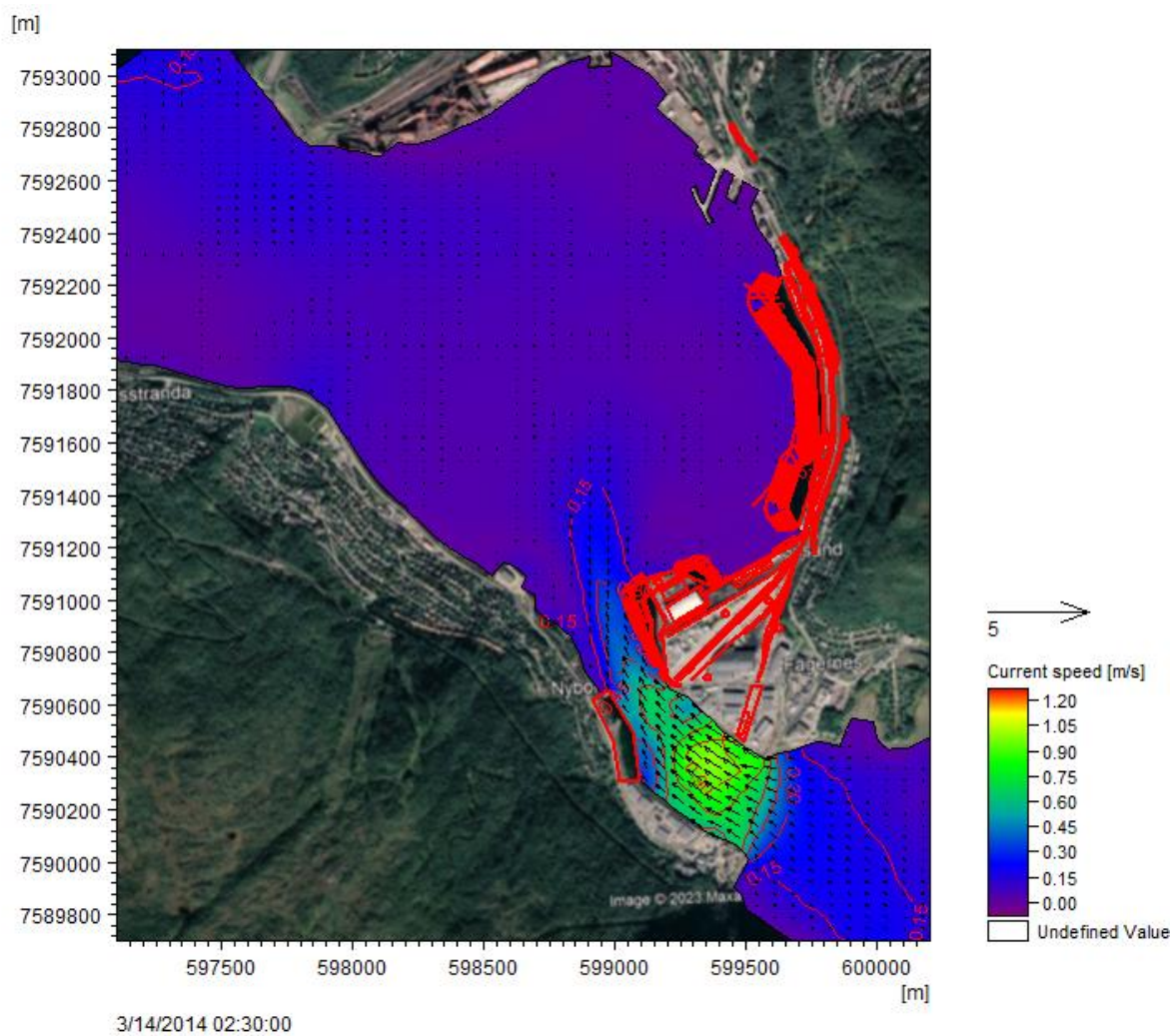




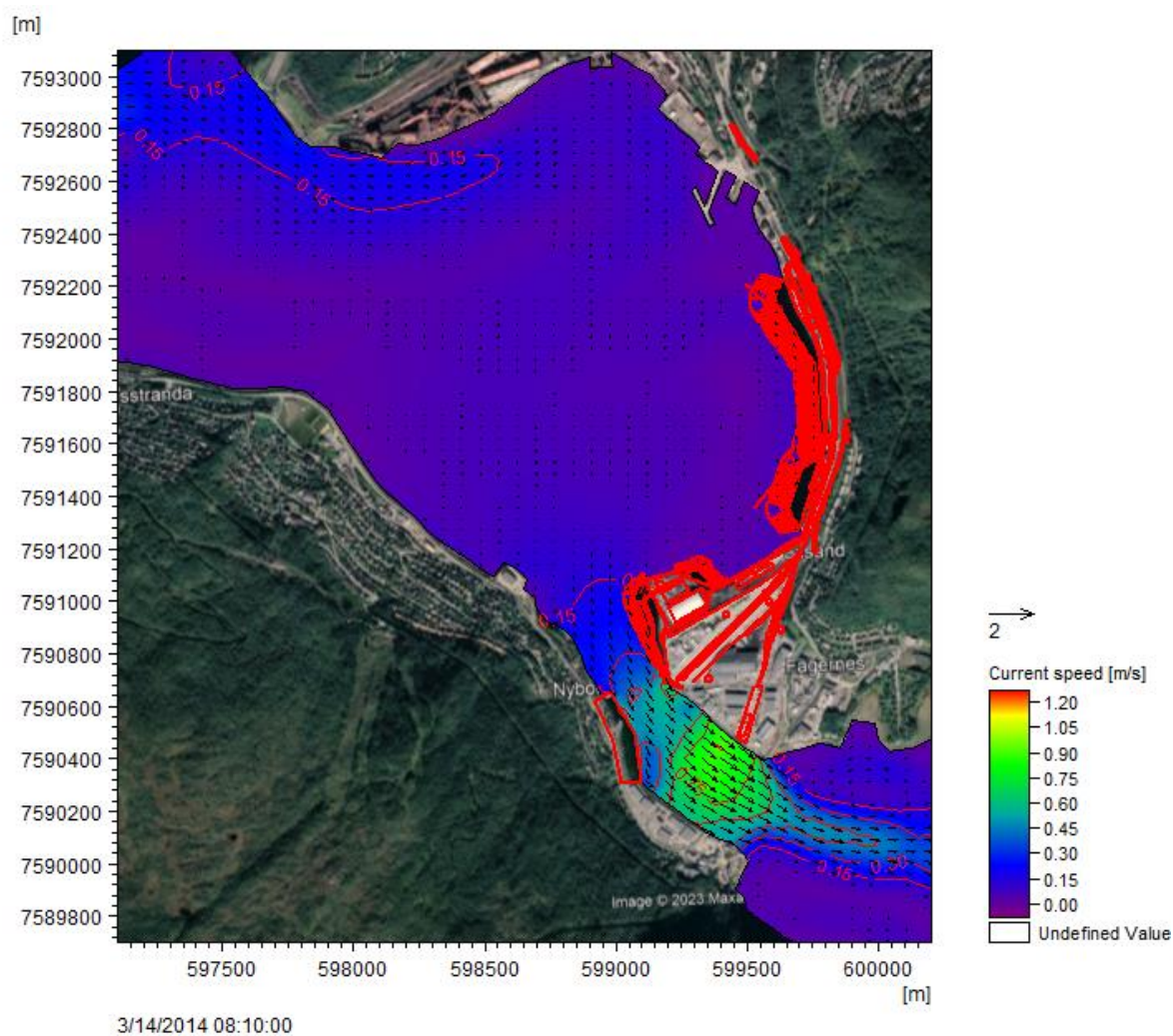
9/1/2011 17:00:00

Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).

Vinddominerede forhold



Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).



Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2023).