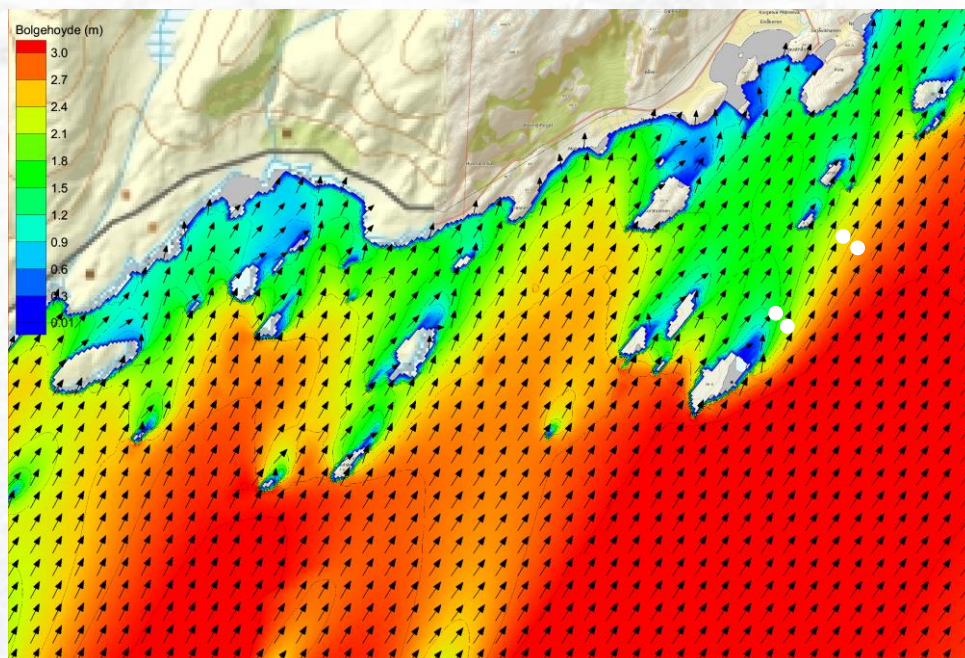


Havbølgeomodelleringer for lokalitet 36817 Kariskjæret, Bodø kommune, Nordland



Forsidebilde: Resultat fra simulering med bølgemodellen CMS-Wave. Fargeskalaen på oppe til venstre side viser signifikant bølgehøyde og pilene viser bølgetogenes retning. Lokaliteten Kariskjøret er markert med hvite punkter til høyre i bildet (kartkilde for bakgrunnskart: www.fiskeridir.no).

Akvaplan-niva AS

Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur

Org.nr: NO 937 375 158 MVA

Framsenteret

9296 Tromsø

Tlf: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01

www.akvaplan.niva.no

**Rapporttittel / Report title****Havbølgeomodelleringer for lokalitet 36817 Kariskjæret, Bodø kommune, Nordland****Forfatter(e) / Author(s)**

Øyvind Leikvin

Akvaplan-niva rapport nr / report no

8373.01

Dato / Date

12.12.2019

Antall sider / No. of pages

19

Distribusjon / Distribution

Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / ClientLofoten Sjøprodukter AS,
Mortsundveien 379,
8370 Leknes**Oppdragsg. referanse / Client's reference**

Roger Mosseng

Sammendrag / Summary

Bølgeomodellingene for lokalitet 36817 Kariskjæret har vist at det er størst eksponering ved lokaliteten både med kun lokalt genererte vindbølger og kombinasjonen av havdønninger og lokalt vindgenererte bølger fra sørvest (210 grader). Største signifikante bølgehøyde (H_s) med 50 års returperiode er da 2.5 m i anlegget med en periode på 6.7 s for kun vindbølger og 7.7 s for kombinert sjøtilstand.

Resultatene for simuleringene med kun lokalt genererte vindbølger følger samme mønster som for kombinert sjøtilstand i retningene det blir kjørt med havdønninger (180 – 285 grader), med unntak av sørlige retninger som gir vesentlig høyere bølger med kun vind.

Simuleringene med kun havdønninger gir svært beskjedne bølger, med maksimalt 0.5 m fra vestlige retninger (255 grader). Perioden til havdønningene er på mellom 14 s og 17 s.

Simuleringene viser at de lokalt vindgenererte bølgene generelt har noe kortere bølgelengde (typisk mellom 4 og 9 s), sammenliknet med bølgene fra kombinert sjøtilstand (typisk mellom 6 og 11 s).

Analyse av energispekteret i modellsimuleringene av bølgene viser at det er de lokalt genererte vindbølgene som gir mest bidrag til bølgeenergien ved lokalitet Kariskjæret.

Modellingene har vist at øyer og grunne områder omkring lokaliteten er effektive når det gjelder å redusere bølgehøyden inn mot interesseområdet.

Prosjektleder / Project manager

Øyvind Leikvin

Kvalitetskontroll / Quality control

Thomas Heggem

© 2019 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	2
1 INNLEDNING	3
2 METODIKK.....	5
2.1 Modellbeskrivelse, CMS-Wave.....	5
2.2 Modelloppsett for Kariskjæret i Bodø kommune	6
2.2.1 Lokalitet 36817 Kariskjæret	6
2.2.2 Modelloppsett	6
2.3 Inngangsdata til modellen CMS-Wave.....	10
2.3.1 Vindhastighet.....	10
2.3.2 Bølgehøyde.....	10
2.3.3 Energispekter	11
3 RESULTATER.....	12
4 OPPSUMMERING	18
REFERANSER.....	19

Forord

Foreliggende rapport med bølgemodelleringer for havsjø er utarbeidet for Lofoten Sjøprodukter AS v/ Roger Mosseng.

Akvaplan-niva takker for oppdraget.



Øyvind Leikvin

Tromsø, 12.12.2019

1 Innledning

Akvaplan-niva AS har på oppdrag fra Lofoten Sjøprodukter AS modellert lokalt vindgenererte bølger, innkommende havdønninger og kombinasjonen av disse på lokaliteten Kariskjæret i Bodø kommune, Nordland. Lokaliteten ligger omtrentlig på posisjonen 67°23.0'N og 14°22.9'Ø, like sørøst for Landegode og omtrent 11 km nord for Bodø (Figur 1, Figur 2).

I en lokalitetsundersøkelse, jfr. NS9415 (2009), skal det simuleres for vindinduserte bølger produsert med vindstyrke med 50-års returperiode i minst alle 8 hoved-himmelretninger. Disse beregningene foretas i forbindelse med standard lokalitetsrapport (Dalheim Eriksen, 2016). I tillegg skal det modelleres for kombinasjonen av hav- og vindsjø, dersom lokaliteten vurderes å være eksponert for havdønninger. Denne rapporten omhandler en slik havsjømodellering, og er en tilleggs-studie til lokalitetsrapporten.

Lokaliteten har delvis lysåpning mot det åpne hav mot vest-sørvestlige retninger (227 - 257 grader), men en del mindre øyer og grunne farvann demper havdønninger effektivt fra denne sektoren.

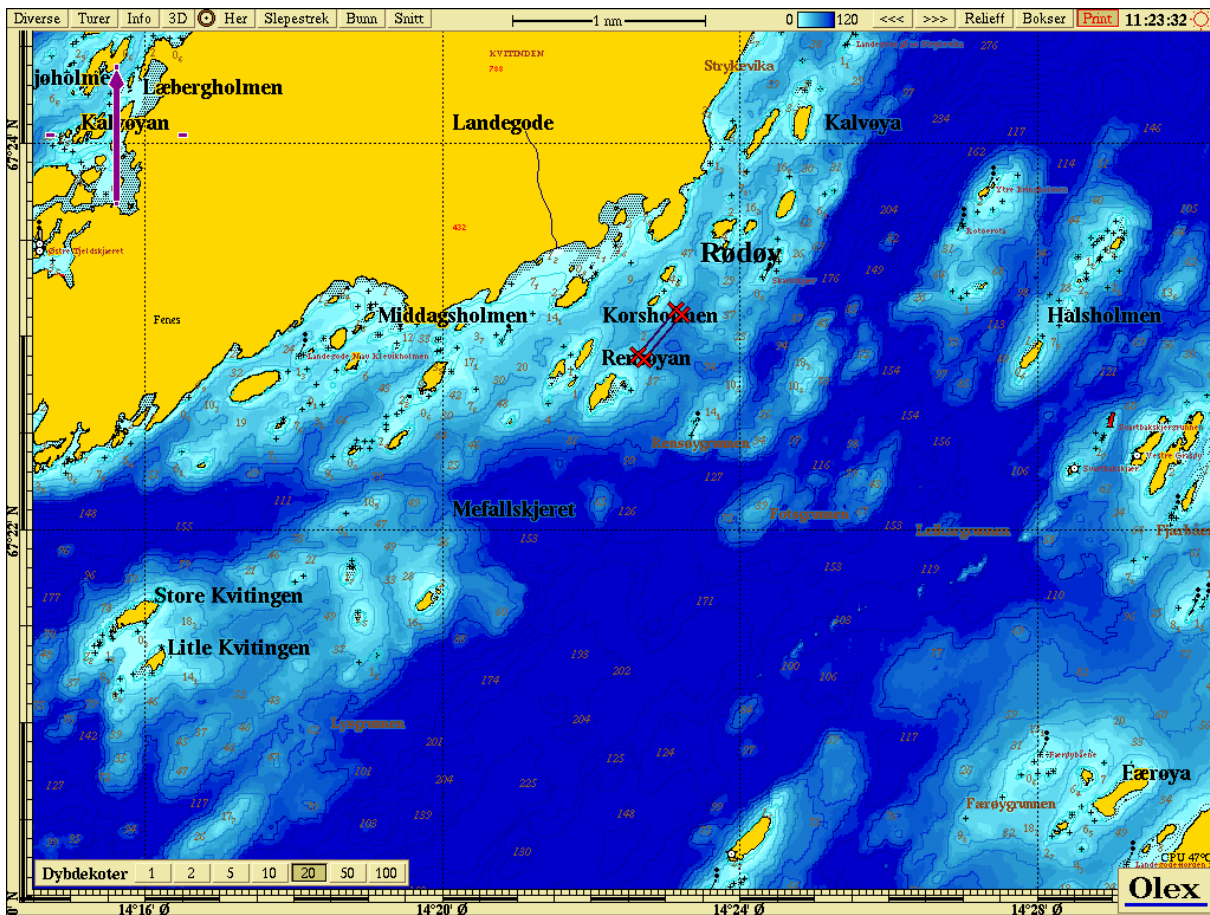
Det er en relativt lang strøklengde fra nordøst på typisk 16 km, og på omkring 10 km fra sør, med mulighet for moderat eksponering overfor lokalt vindgenererte bølger.

Fra vestlig til nordlig sektor beskytter øya Landegode for bølgeeksponering.

Lokaliteten vil derfor være eksponert for havdønninger og vindinduserte bølger hovedsakelig fra sørvest. Lokaliteten vil utover dette være eksponert for vindinduserte bølger fra nordlige, østlige og nordøst og sør. Det blir simulert for alle retningssektorer i denne studien, men havdønninger blir kun simulert fra sørvestlige og utvalgte nordlige retninger.



Figur 1: Kart over regionen ved lokaliteten Kariskjæret i Bodø kommune, Nordland. Posisjonen til lokaliteten er illustrert med rød pil. Posisjonen hvor inngangsdata fra Met.no's regionale bølgemodell (NORA10) er hentet fra, er illustrert med en rød sirkel nederst til venstre i bildet (kartkilde: www.norgeskart.no).



Figur 2: Fokusert kart med bunntopografi over nærområdet til lokalitet Kariskjæret. Anlegget er avmerket med 4 røde kryss omtrent midt i bildet, like sørøst for Landegode (kartkilde: www.olex.no). Merk at det er en del gruntnområder i omtrent alle himmelretninger, ut fra lokaliteten.

2 Metodikk

2.1 Modellbeskrivelse, CMS-Wave

Modellen CMS-Wave (Coastal Modeling System Wave model) er benyttet til å kartlegge bølgeeksponeringen for havdønninger, vindgenererte bølger og kombinasjonen av disse på lokaliteten Kariskjæret.

CMS-Wave er en todimensjonal bølgemodell som kan simulere forplantning og demping av havdønninger inn mot kystnære strøk. Vind og strøm kan inkluderes i simuleringene. Kildeteksten til CMS-Wave er skrevet og vedlikeholdt av U.S. Army Corps of Engineers (Sanchez m.fl., 2012). Modellen bruker SMS (www.aquaveo.com) som grafisk brukergrensesnitt. Inngangsdata er bunntopografi, innkommende bølger (høyde, retning og energispekter), vindstyrke og vindretning. Modellen antar konstante grensebetingelser (vind, bølger, strøm) og beregner en statisk, konstant løsning (steady state). Inngående bølgespektrum på den ytre rand mot havet er gitt av en regional bølgemodell, NORA10 (Reistad m.fl., 2011). Dersom strøm inkluderes antas denne å være konstant med dypet.

Modellen bruker en endelig element-metode med et kartesisk grid. En godt kartlagt batymetri (bunntopografi) er en forutsetning for å få gode simuleringer. Modellen beregner kvantitativt endringene i bølgeparametre (bølgehøyde, retning og spektralfordeling) når bølgen beveger seg fra havet og inn mot grunt vann ved kysten (typisk < 40 m dyp).

Bølgeeffekter som inkluderes i modellsimuleringene er:

1. Refraksjon (dreining av bølger som følge av endret vanndybde og strøm)
2. Diffraksjon (dreining av bølger som følge av obstruksjoner)
3. Grunningseffekter (økt bølgehøyde på grunn av redusert gruppehastighet/ bølgelengde; bølgedemping som følge av friksjon mot bunn)
4. Bølge mot bølge, interaksjon

I tillegg kan følgende effekter implementeres:

5. Bølgegenerering på grunn av vind
6. Refleksjon
7. Bølgebrytning*
8. Bølge mot strøm, interaksjon*

*Ikke benyttet i dette prosjektet, se kapittel 2.2.2.

2.2 Modelloppsett for Kariskjæret i Bodø kommune

2.2.1 Lokalitet 36817 Kariskjæret

Lokalitet 36817 Kariskjæret ligger i Bodø kommune i Nordland, like sørøst for øya Landegode og ca. 11 km nord for Bodø.

Mellom vestlig og nordlig sektor befinner Landegode seg (ca. 260 – 25 grader) og vil hindre bølgeaktivitet herfra. Fra mer østlige retninger (ca. 25 – 45 grader) er det flere mindre øyer og grunne farvann som vil kunne dempe bølgeaktiviteten ved Kariskjæret (se blant annet Figur 2). Fra 45 – 60 grader er det en sektor med strøklengde på mellom 14,5 og 16 km. Fra mer sørlige retninger er strøklengden på mellom 5 og 12 km, med små avbrudd av mindre øyer som gir redusert strøklengde og redusert bølgeenergi inn mot lokaliteten.

Fra sørvestlige retninger er det mindre sektorer med svært lange strøklengder, med muligheter for havdønninger. Det er imidlertid mange mindre øyer og grunne farvann fra disse retninger som vil begrense eksponeringen betydelig.

Lokaliteten har mer eller mindre lysåpning i retningssektoren mellom 227 og 257 grader, mot vest-sørvestlige retninger. Det er fra denne retningssektoren og tilgrensende retninger at det først og fremst forventes innkommende havdønninger.

Anleggets hjørnekoordinater er gitt i Tabell 1, og anleggets plassering er illustrert i Figur 2.

Tabell 1: Koordinater til hjørnepunktene til lokaliteten Kariskjæret i Bodø kommune i Nordland. Koordinatene er gitt både i geografiske koordinater og UTM-koordinater (datum: WGS84).

Hjørnepunkt til lokaliteten	Geografiske koordinater		UTM, sone 33	
	N	Ø	X	Y
Nordvest	67°23.134'	14°23.132'	473633	7474494
Sørvest	67°22.904'	14°22.628'	473268	7474070
Sørøst	67°22.879'	14°22.703'	473322	7474023
Nordøst	67°23.109'	14°23.210'	473688	7474447

2.2.2 Modelloppsett

Det forventes havdønninger inn mot lokaliteten hele sektoren fra sørlige til vestlige retninger, selv om det er en del øyer og gruntområder som beskytter lokaliteten. Det velges derfor å kjøre for havdønninger og kombinert sjøtilstand fra 180 grader (sør) til og med 285 grader (vest). Resten av retningene blir simulert for kun vindgenererte bølger innenfor regionen.

For å dekke alle himmelretninger med 15 graders oppløsning er det satt opp 6 ulike grid, som overlapper hverandre mer eller mindre. Dersom overlapping skjer, rapporteres alltid største signifikante bølgehøyde i denne studien.

For alle griddene er det laget to grid for hver simulering;

1. ett større regionalt grid med noe grovere oppløsning med cellestørrelse på 75 m, med utstrekning i størrelsesorden 50 – 170 km i lengde og bredde,
2. ett mindre, finmasket lokalt grid med cellestørrelse 15 m, som nøster inn verdiene fra det grovere gridet på randen. Disse har utstrekning i størrelsesorden 6 – 17 km i lengde og bredde.

En oversikt over dimensjonene til de 6 griddene er gitt i Tabell 2, mens en illustrasjon av griddene er gitt i Figur 3.

Et utsnitt av beregnings-cellene for et av de finere lokale griddene (15 m oppløsning) ved lokaliteten Kariskjæret er vist i Figur 4, sammen med bunntopografien i modellen.

Havstrømmer ved lokaliteten er målt fra 9. juni – 9. juli 2016 på 5 m dyp og fra 6. februar – 8. mars 2014 på 15 m dyp. Resulterende maksimalverdier var på 31 cm/s og 20 cm/s på henholdsvis 5 og 15 m dyp. Dette tilsvarer 57 og 37 cm/s for 50 års returperiode (Dalheim Eriksen, 2016). Da havstrømmer i nærområdet forventes å være betydelig mindre enn 1 m/s, vil de ifølge Smith m.fl. (1998) ikke bidra til betydelige endringer i transformasjonen av havbølger. Derfor inkluderes ikke havstrømmer i simuleringene (se punkt 8 i kapittel 2.1).

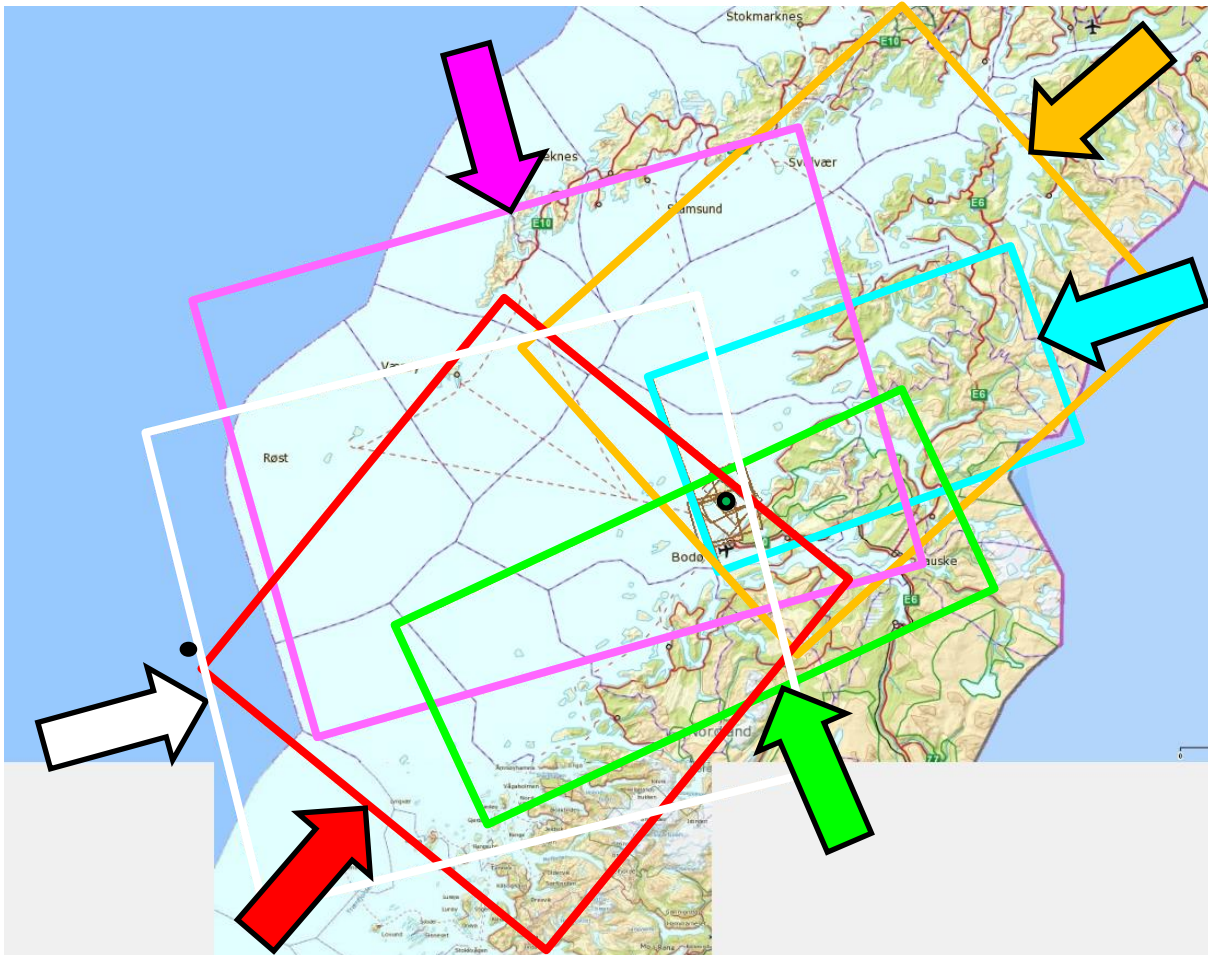
Refleksjon er inkludert i modellsimuleringene.

Bølgebrytning er ikke inkludert i modellsimuleringene. Det vurderes som en konservativ tilnærming for bølgehøyden å ikke inkludere bølgebrytning, da denne effekten forårsaker ytterligere reduksjon av bølgeenergi.

Det er benyttet en vannstand på 3 m over sjøkartnull i simuleringene, noe som også vurderes som en konservativ tilnærming. Med dypere vann vil mindre av energien i bølgene gå tapt, og bølgehøyden vil bli større. Modellering med høyvann kan imidlertid i noen få tilfeller ved langgrunne farvann gi lavere bølgehøyde, fordi bølgeenergien da kan fordeles over et større område.

Tabell 2: Oversikt over dimensjoner til de ulike griddene som er kjørt for de ulike retningssektorer (rett nord er 0 grader og rett øst er 90 grader). De ulike griddene er markert med farger, samsvarende med illustrasjonen av griddene i Figur 3.

		Stort grid				Nøstet, lokalt grid				Grid-vinkel
Grid	Sektor (15 graders oppløsning)	Celle-størrelse [m]	Celler	Sum antall celler	Omtrentlig areal [km ²]	Celle-størrelse [m]	Celler	Sum antall celler	Omtrentlig areal [km ²]	
1 VSV	195-285	75	1702 x 1987	3.4 millioner	128 x 149	15	662 x 800	0.5 millioner	10 x 12	76
2 SV	180-240	75	1555 x 1682	2.6 millioner	117 x 126	15	751 x 656	0.5 millioner	11 x 10	39
3 NV	270 - 15	75	2200 x 1588	3.5 millioner	165 x 119	15	1143 x 793	0.9 millioner	17 x 12	164
4 NE	345 - 75	75	1441 x 1770	2.6 millioner	108 x 133	15	851 x 637	0.5 millioner	13 x 10	228
5 E	90 - 120	75	719 x 1330	1.0 millioner	54 x 100	15	749 x 614	0.5 millioner	11 x 9	250
6 SE	75 – 195	75	1950 x 760	1.5 millioner	146 x 57	15	896 x 368	0.3 millioner	13 x 6	335



Figur 3: Modellområde for CMS-Wave-simuleringene med de 6 ulike grid som beskrevet i Tabell 2. Hvert av de 6 griddene har farge som beskrevet i denne tabellen, og med pil som viser hvilken side av griddet hvor dønninger og/ eller vind kommer inn. Dønninger og/ eller vind er simulert med opptil 45 grader til hver side for pilene, slik at det er en del overlapp. Ved overlapp rapporteres høyeste bølgehøyder. Lokaliteten Kariskjæret er indikert med et grønt punkt/ sort sirkel omtrent i midten av bildet. De små rektanglene i midten av bildet nær lokaliteten markerer de nøstede modellområdene, ett for hvert av de store griddene. Posisjonen hvor inngangsdata fra Met.no's regionale bølgemodell (NORA10) er hentet fra, er illustrert med et sort punkt til venstre i bildet ved siden av hvit pil (kartkilde: www.kystinfo.no).

2.3 Inngangsdata til modellen CMS-Wave

2.3.1 Vindhastighet

Vindhastigheten i modellområdet er beregnet ut fra en 50-års returperiode i henhold til norsk standard for vindlaster NS-EN 1991 (2009) (Tabell 3). I simuleringene er denne beregnede vindhastigheten brukt som inngangsdata. Vindfeltet antas konstant i tid og rom over hele modellområdet. Vindfeltet ved lokaliteten er satt i henhold til data fra Bodø kommune. Vindhastighetene er omregnet til terrengruhetskategori I, som tilsier kystnære strøk. Det er også inkludert retningsfaktorer i henhold til NS-EN 1991 (2009).

Tabell 3: Statistiske ekstremverdier av referansevindhastighet (m/s) fra alle retninger 10 m over bakken i Bodø kommune i Nordland (omregninger fra NS-EN 1991, 2009). Det er benyttet terrengkategori I (oppskalert med faktor 1.17) og det er skalert med retningsfaktorer.

Returperiode 50 år	Vindretning											
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°
Vindhastighet (m/s)	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	32.8	33.9	35.1	33.9	32.8
Returperiode 50 år	Vindretning											
	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Vindhastighet (m/s)	31.6	32.8	33.9	35.1	35.1	35.1	35.1	33.9	32.8	31.6	31.6	31.6

2.3.2 Bølgehøyde

Innkommende bølger til modellområdet som beregnes i denne studien med CMS-Wave er hentet fra Meteorologisk institutt (Met.no) regionale modell NORA10 som dekker Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet (Reistad m.fl., 2011). Met.no har beregnet verdier med 50-års returperiode fra dette regionale nøstede modelloppsett av bølgemodellen WAM (The global ocean Wave prediction Model). Met.no's modell har horisontal romlig oppløsning på ca. 10 km og retningsoppløsning på 30°. Resultater er innhentet fra et modellpunkt til Nora10-modellen som ligger ved den ytre vest-sørvestlige randen til grid nummer 1 som simuleres med CMS-Wave i denne studien (se Figur 3 og Tabell 2). Gridpunktet i Met.no's modell har koordinater 66°59.4'N og 11°09.6'Ø. Bølgeverdiene her antas som representative for bølger som kommer inn fra dypområdet i Norskehavet i vest, og resultatene har blitt brukt som grensebetingelse til CMS-Wave-simuleringene i dette prosjektet (Tabell 4 og Tabell 5).

I CMS-Wave-modelleringene antas det at et bølgetog starter ute på havet og kommer inn mot modellområdet fra vestlige og sørvestlige retninger og med bølgehøyde og periode som spesifisert i Tabell 4 og Tabell 5. Det antas at havbølger med høy energi, som når inn til lokaliteten Kariskjæret, først og fremst kommer fra retninger mellom ca. 210 og 255 grader, fra sørvestlige retninger. Det har blitt satt opp dønninger opp til 30 grader til hver side for denne hovedsektoren, slik at havdønninger blir simulert fra mellom 180 og 285 grader. Fra andre retninger har det ikke blitt satt opp dønninger på modellranden.

Griddene hvor det antas at det kan komme havdønninger har blitt modellert eksplisitt for vindbølger, samt eksplisitt for havdønninger. Deretter har også den kombinerte sjøtilstanden av vindbølger og havdønninger blitt simulert.

For griddene hvor det antas at det ikke kommer nevneverdige havdønninger, har det kun blitt modellert eksplisitt for vindbølger. Vindbølgene starter da med verdien 0 ved ytre rand, og bølgene skapes med vindpåvirkningen og transformeres inn mot lokaliteten av vind, bunntopografi, kystlinje og andre effekter.

Tabell 4: Statistiske ekstremverdier for signifikant bølgehøyde (m) fra Met.no's WAM hindcast bølgemodell. Posisjonene hvor verdiene er hentet fra er ett punkt i det åpne hav (se Figur 1 og Figur 3).

Returperiode 50 år	Bølgeretning			
	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°
Signifikant bølgehøyde [m]	9.1	12.3	15.8	14.8

Tabell 5: Som i Tabell 4, men med interpolerte verdier for signifikant bølgehøyde (m). Disse retningene samsvarer med retningene for returperioder for vind i kapittel 2.3.1. Tabellen inkluderer også peak-periode, funnet ved typisk relasjon mellom bølgehøyde og –periode i området (se kapittel 2.3.3).

Hjørnepunkt	Bølgeretning						
	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°
Signifikant bølgehøyde [m]	9.1	10.7	12.3	13.6	15.8	15.3	14.8
Peak-periode [s]	13.7	14.6	15.5	16.2	17.3	17.1	16.8

2.3.3 Energispekter

Resultatene fra den regionale NORA10-modellen (se kapittel 2.1) gir et estimat for den øvre grensen for bølgehøyde ved modellranden. Denne bølgehøyden brukes til å definere energispekteret på randen, dvs. en typisk fordeling av bølgeenergi som funksjon av periode. Bølgeenergien som kommer inn i modellområdet vil som regel endre seg etter hvilken retning den kommer fra.

Formen til dette energispekteret på randen er beskrevet ved et JONSWAP energispekter¹. Spekteret forklarer bølgehøyder som funksjon av perioder.

Det innkommende bølgetoget beskrives med to parametere: spredningsfaktoren til frekvensen (γ), som er satt til 2.1, samt spredningsfaktoren for retningen (α), som er satt til 10. Disse tallene gir konservative verdier (mye energi, dvs. stor bølgehøyde og lang periode) med hensyn til typiske bølger langs norskekysten (Nygaard & Eik, 2004).

¹ JONSWAP (Joint North Sea Wave Project) spektre er en empirisk sammenheng som definerer distribusjonen av energi over frekvens i havet. Se for øvrig Hasselmann m.fl. (1973).

3 Resultater

For presentasjon av resultater for bølgemodellering ble det plukket ut fire kontrollpunkter som omtrentlig tilsvarer de fire hjørnepunkter til anleggets område ved lokaliteten Kariskjøret. Bølgehøyde og periode i disse punktene fra simuleringene med kun havdønninger er gitt i Tabell 6, kun vind i Tabell 7, samt kombinasjon av havdønninger og vind i Tabell 8. Tabell 9 er et sammendrag av Tabell 6 - Tabell 8, og viser høyeste bølgehøyde med tilhørende periode for hvert kontrollpunkt i hver sektor, uansett drivkraft til bølgene.

Største bølgehøyder på 2.5 m oppstår ifølge simuleringene på lokaliteten Kariskjøret når enten kun lokalt vindgenererte bølger eller en kombinasjon av havdønninger og lokalt vindgenererte bølger er til stede fra sørvestlig retning (210 grader) (Figur 5, Figur 6). Tilhørende perioder til høyeste bølgehøyder som inntreffer er typisk 6.7 s for kun vind og 7.7 s for kombinert sjøtilstand. Nabosektorene har bølgehøyder på 2.3 m (195 grader) og 2.1 m (225 grader). Når drivkrefter i form av vind og innkommende dønninger dreier mot mer nordlige retninger, demper bølgehøyden seg gradvis til ca. 0.4 m ved dønninger og vind fra nordvestlig retning. Fra mer sørøstlige retninger og østlige retninger er dempingen mindre, og bølgehøyden holder seg på mellom 1.6 og 2.0 m for alle retninger mellom sørlig og østlig retning. Med videre dreining mot nordøstlig retning demper bølgene seg gradvis til 0.5 m fra nordlig retning. I sektoren mellom nordlig og vestlig retning er bølgehøyden på mellom 0.4 og 0.6 m, før den øker betydelig igjen til 1.1 m fra vest-sørvest (255 grader). Typiske bølgeperioder for den kombinerte sjøtilstand med returperiode på 50 år er på mellom 6 og 11 s.

Kun lokalt vindgenererte bølger gir omtrent samme resultater som kombinasjonen av dønninger og lokalt vindgenererte bølger for retningene mellom 210 og 285 grader, med forskjeller på maksimalt 0.1 m. For de sørlige retningene (180 og 195 grader) gir kombinert sjøtilstand henholdsvis 0.6 og 0.4 m lavere bølger enn med kun lokalt vindgenererte bølger. Bølgeperioden er noe kortere for de lokalt vindgenererte bølgene sammenliknet med den kombinerte bølgetilstand (4 – 9 s vs. 7 – 11 s).

Med kun havdønninger som kilde til bølgeenergien er det bølgene fra vest og vest-sørvest (240 - 270 grader) som er høyest, med 0.4 – 0.5 m (Figur 7). Naboretningene gir 0.3 m bølgehøyde (225 grader og 285 grader). Fra andre retninger blir den signifikante bølgehøyden marginal med kun havdønninger som drivkraft til forplantningen av bølger (< 0.2 m). Årsaken til de beskjedne maksimale bølgehøydene for havdønninger er de mange små øyer og gruntområder vest og sørvest for lokaliteten som begrenser den innkommende bølgeaktiviteten og bølgeenergien. Ifølge simuleringene er typiske perioder for innkommende havdønninger på mellom 14 og 17 s.

Simuleringene gir generelt høyest bølgehøyde for de to nordligste hjørnepunktene, hvor det nordøstlige hjørnepunktet gir aller største bølger, uansett retning og drivkraft. Forskjellen mellom de ulike hjørnepunktene er maksimalt 1.0 m over anlegget, hvor det sørvestlige hjørnepunktet som regel er mest beskyttet.

Illustrasjoner av bølgeenergi vs. frekvens for retningen med høyeste signifikante bølgehøyde på lokaliteten) er gitt i Figur 8, med resultater av simuleringer med kun havdønninger (255 grader), kun vind (210 grader) og kombinasjon av havdønninger og vind (210 grader).

Simuleringer med kun vind fra 210 grader viser størst bølgeenergi (maksimalt 3.2 m²/Hz) ved 0.15 Hz. Dette samsvarer med en bølgeperiode på 6.7 s, i tråd med resultatene i Tabell 7.

Simuleringer med kun havdønninger gir størst energi fra 255 grader (maksimalt 0.1 m²/Hz) ved 0.06 Hz, som indikerer svært liten energi fra dønninger på lokaliteten Kariskjæret. Dette samsvarer med en bølgeperiode på 16.7 s, i tråd med resultatene i Tabell 6.

Den kombinerte tilstanden av havdønninger og vind fra 210 grader gir størst energi (maksimalt 3.0 m²/Hz) ved 0.16 Hz, som betyr marginalt lavere maksimalverdi enn med kun vind. Dette gir en bølgeperiode på 6.3 s, som er noe lavere enn resultatene i Tabell 8. Da er det et annet hjørnepunkt til lokaliteten med lavere bølgehøyde som får beregnet noe lenger bølgeperiode (7.7 s). Bølgeenergien er fordelt nesten identisk som for kun lokalt genererte vindbølger, for alle frekvenser. Dette tilsier at de lokalt genererte vindbølgene er viktigste drivkraft til bølgeenergien og styrer den kombinerte sjøtilstand ved lokaliteten Kariskjæret.

Tabell 6: CMS-Wave modellresultater for signifikant bølgehøyde (H_s) fra hjørnepunktene til anlegget og bølgeperioden (T_p) ved lokaliteten Kariskjæret. Det er her kun kjørt med innkommende havbølger og ingen vind. De mørklagte feltene er for å vise retninger hvor simuleringer utelates fordi det ikke forventes dønninger fra disse retninger.

Hjørnepunkt	Signifikant bølgehøyde med 50 års returperiode											
Bølge- og vindretning	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°
Bølgehøyde, NV (H _s) [m]												
Bølgehøyde, SV (H _s) [m]												
Bølgehøyde, SØ (H _s) [m]												
Bølgehøyde, NØ (H _s) [m]												
Lengste bølgeperiode ved anlegg (T _p) [s]												
Bølge- og vindretning	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Bølgehøyde, NV (H _s) [m]	0.05	0.09	0.16	0.26	0.39	0.44	0.41	0.31				
Bølgehøyde, SV (H _s) [m]	0.04	0.07	0.14	0.23	0.35	0.39	0.37	0.28				
Bølgehøyde, SØ (H _s) [m]	0.04	0.08	0.15	0.24	0.37	0.42	0.39	0.30				
Bølgehøyde, NØ (H _s) [m]	0.05	0.09	0.16	0.26	0.41	0.46	0.43	0.33				
Lengste bølgeperiode ved anlegg (T _p) [s]	14.3	14.3	14.3	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7				

Tabell 7: CMS-Wave modellresultater for signifikant bølgehøyde (H_s) fra hjørnepunktene til anlegget og bølgeperioden (T_p) ved lokaliteten Kariskjæret. Det er her kun kjørt med vind.

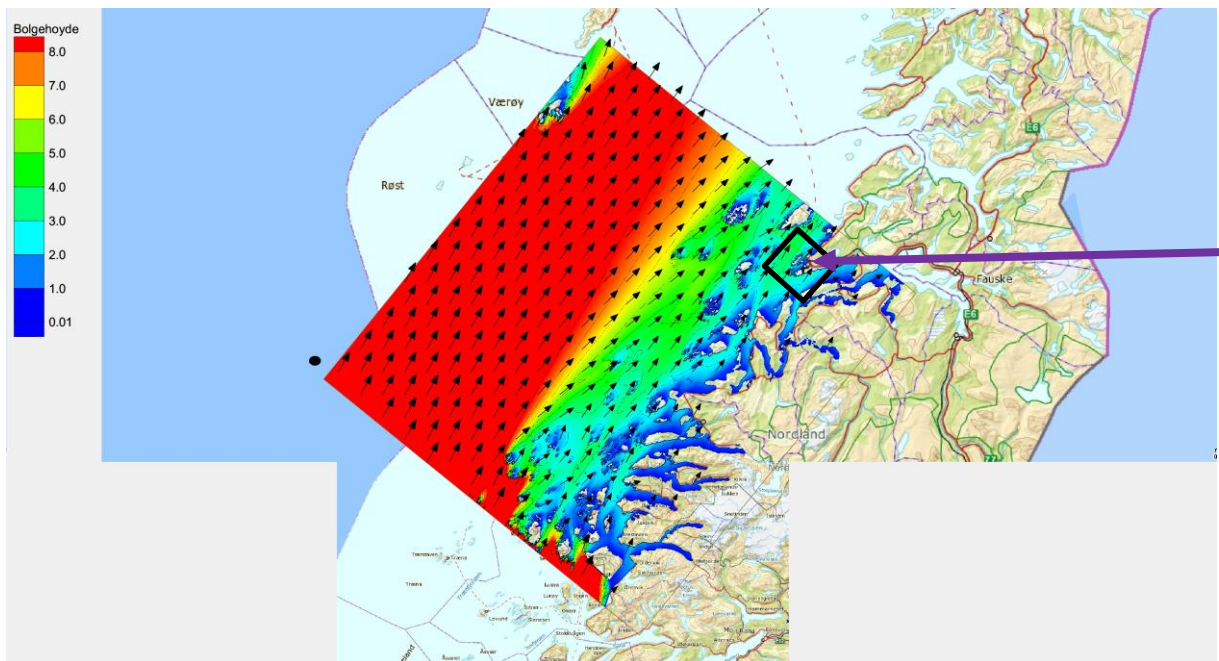
Hjørnepunkt	Signifikant bølgehøyde med 50 års returperiode											
Bølge- og vindretning	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°
Bølgehøyde, NV (H_s) [m]	0.41	0.71	1.22	1.62	1.74	1.27	1.47	1.72	1.54	1.75	1.76	1.84
Bølgehøyde, SV (H_s) [m]	0.50	0.68	1.21	1.67	1.80	1.28	1.60	1.90	1.65	1.72	1.72	1.76
Bølgehøyde, SØ (H_s) [m]	0.51	0.72	1.29	1.75	1.85	1.28	1.61	1.90	1.64	1.72	1.71	1.78
Bølgehøyde, NØ (H_s) [m]	0.44	0.75	1.32	1.72	1.79	1.28	1.47	1.73	1.55	1.75	1.76	1.83
Lengste bølgeperiode ved anlegg (T_p) [s]	7.7	7.7	6.2	6.2	5.3	4.5	4.0	4.2	4.2	4.3	4.2	4.2
Bølge- og vindretning	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Bølgehøyde, NV (H_s) [m]	1.98	2.20	2.31	1.88	1.30	1.12	0.59	0.40	0.38	0.36	0.34	0.37
Bølgehøyde, SV (H_s) [m]	1.74	1.64	1.48	1.30	1.01	0.67	0.45	0.33	0.44	0.37	0.37	0.42
Bølgehøyde, SØ (H_s) [m]	1.87	1.97	1.98	1.60	1.03	0.68	0.48	0.34	0.47	0.39	0.40	0.45
Bølgehøyde, NØ (H_s) [m]	1.98	2.30	2.52	2.06	1.34	1.11	0.61	0.41	0.39	0.37	0.36	0.39
Lengste bølgeperiode ved anlegg (T_p) [s]	4.5	5.6	6.7	7.1	9.1	7.1	9.1	8.3	8.3	7.7	7.7	7.7

Tabell 8: CMS-Wave modellresultater for signifikant bølgehøyde (H_s) fra hjørnepunktene til anlegget og bølgeperioden (T_p) ved lokaliteten Kariskjæret. Det er her kjørt med kombinasjon av havdønninger og vind. De mørklagte feltene er for å vise retninger hvor simuleringer utelates fordi det ikke forventes kombinert sjøtilstand/ dønninger fra disse retninger.

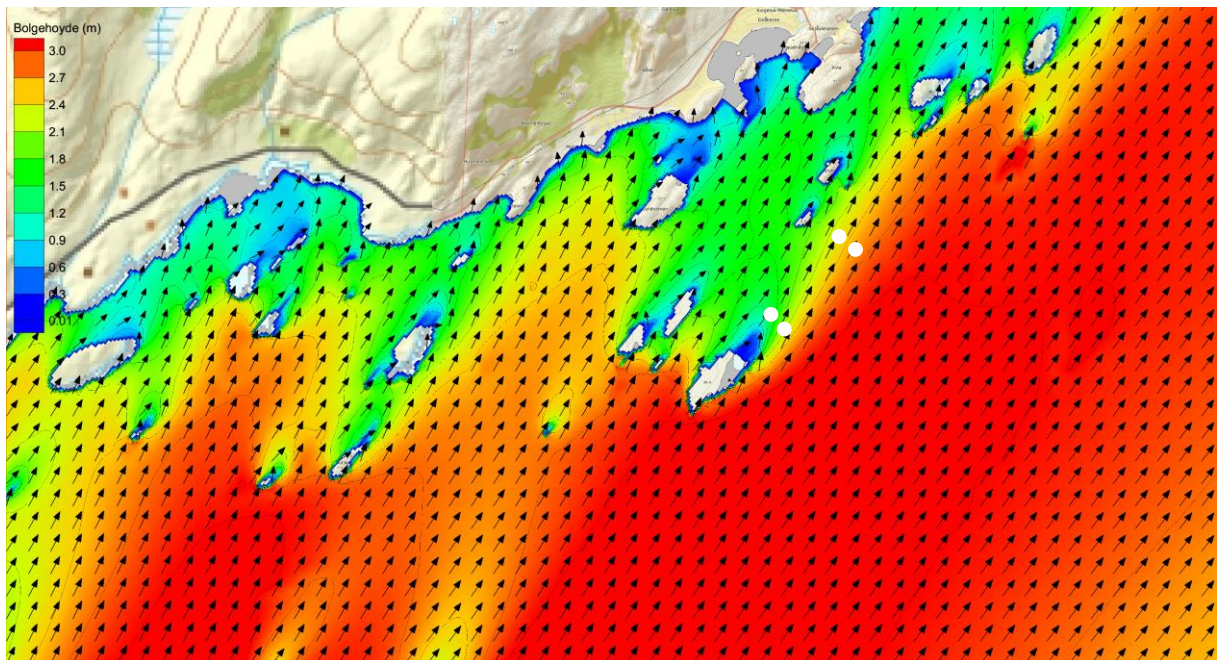
Hjørnepunkt	Signifikant bølgehøyde med 50 års returperiode											
Bølge- og vindretning	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°
Bølgehøyde, NV (H_s) [m]												
Bølgehøyde, SV (H_s) [m]												
Bølgehøyde, SØ (H_s) [m]												
Bølgehøyde, NØ (H_s) [m]												
Lengste bølgeperiode ved anlegg (T_p) [s]												
Bølge- og vindretning	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Bølgehøyde, NV (H_s) [m]	1.42	1.83	2.29	1.96	1.30	1.11	0.62	0.42				
Bølgehøyde, SV (H_s) [m]	1.14	1.25	1.47	1.35	1.00	0.63	0.44	0.48				
Bølgehøyde, SØ (H_s) [m]	1.29	1.59	1.96	1.66	1.04	0.63	0.48	0.49				
Bølgehøyde, NØ (H_s) [m]	1.43	1.91	2.49	2.14	1.34	0.65	0.64	0.46				
Lengste bølgeperiode ved anlegg (T_p) [s]	3.6	6.2	7.7	8.3	11.1	3.7	11.1	2.8				

Tabell 9: CMS-Wave modellresultater for signifikant bølgehøyde (H_s) fra anlegget og bølgeperioden (T_p) ved lokaliteten Kariskjæret. Det er her gjengitt høyeste bølgehøyde, uansett hjørnepunkt, fra alle retninger og med kun vind, kun havdønninger samt kombinasjonen av disse. Makshøyde uansett drivkrefter og uansett retning er også gjengitt. De mørklagte feltene er for å vise retninger hvor simuleringer utelates da det ikke forventes dønninger eller kombinert sjøtilstand fra disse retninger.

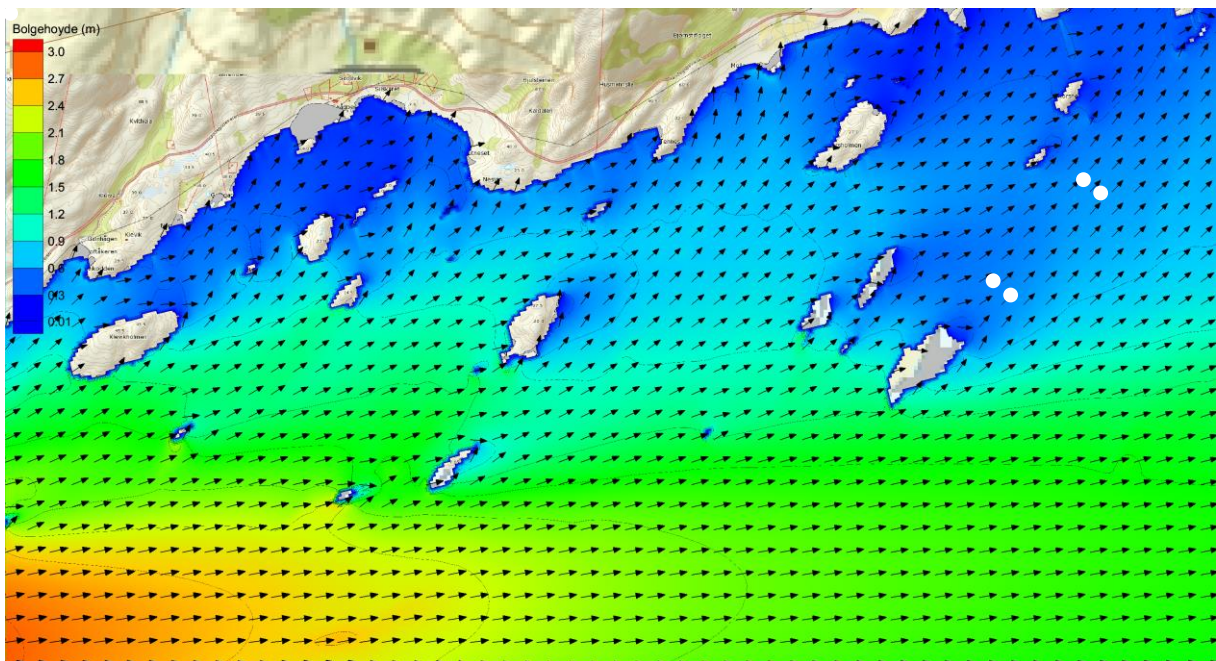
Bølge og vindretning (kompassgrader)	Signifikant bølgehøyde med 50 års returperiode [m]			
	Kun vind	Kun havdønninger	Kombinasjon	Makshøyde uansett drivkrefter
0°	0.51			0.51
15°	0.75			0.75
30°	1.32			1.32
45°	1.75			1.75
60°	1.85			1.85
75°	1.28			1.28
90°	1.61			1.61
105°	1.90			1.90
120°	1.65			1.65
135°	1.75			1.75
150°	1.76			1.76
165°	1.84			1.84
180°	1.98	0.05	1.43	1.98
195°	2.30	0.09	1.91	2.30
210°	2.52	0.16	2.49	2.52
225°	2.06	0.26	2.14	2.14
240°	1.34	0.41	1.34	1.34
255°	1.12	0.46	1.11	1.12
270°	0.61	0.43	0.64	0.64
285°	0.41	0.33	0.49	0.49
300°	0.47			0.47
315°	0.39			0.40
330°	0.40			0.40
345°	0.45			0.45
Maksimal bølgehøyde uansett retning	2.52	0.46	2.49	2.52



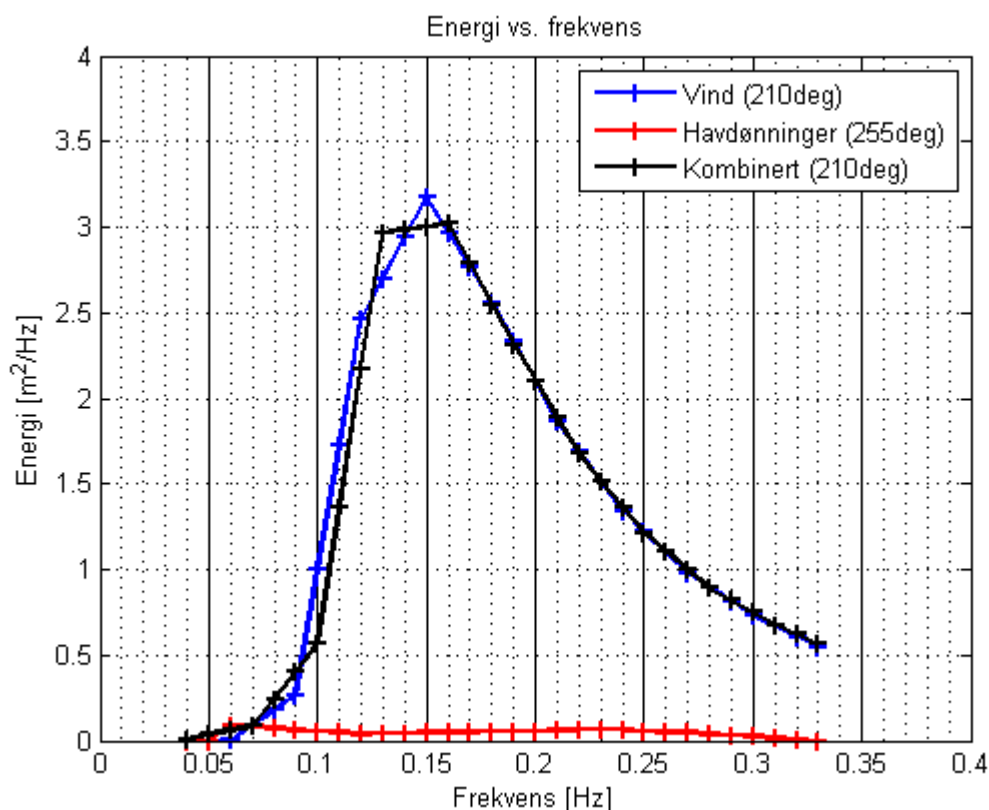
Figur 5: CMS-Wave-modellering ved lokaliteten Kariskjæret (posisjon indikert med lilla pil) i Bodø kommune i Nordland, med kombinasjon av havdønninger og lokalt vindgenererte bølger fra sørvest (210 grader). Det er fra denne retningen at størst bølgehøyde inntreffer ved anlegget (2.5 m), også ved kun lokalt vindgenererte bølger (2.5 m). Bølgeretning er indikert med de sorte, mindre pilenes retning. Signifikant bølgehøyde (H_s) er gitt med fargekonturer, og fargeskala er oppe til venstre. Det grove griddet (fargenes omriss) og det fine griddet (sort liten firkant) er illustrert (kartkilde for bakgrunnskart: www.kystinfo.no). Posisjon for inngangsdata fra Met.no's modell er illustrert med sort punkt til venstre for modellområdet (se kapittel 2.3.2).



Figur 6: Samme som i Figur 5, men her er det fokus på nærområdet til anlegget på lokalitet Kariskjæret, med den næstede modellkjøringen (se Figur 3 og sort firkant i Figur 5). Anlegget er markert med hvite kontrollpunkter omtrent midt i bildet. Fargeskala er oppe til venstre i figuren (kartkilde for bakgrunnskart: www.fiskeridir.no). Simuleringene med kun vind gir omtrent tilsvarende bølgeregime som i denne figuren, når vind kommer fra 210 grader.



Figur 7: Samme som i Figur 6, men her er det simulert med kun havdønninger fra vestlig retning (255 grader). Det er fra denne retningen lokaliteten Kariskjæret får høyest havdønninger (0.5 m) (kartkilde for bakgrunnskart: www.fiskeridir.no).



Figur 8: Bølgeenergi vs. frekvens for sørvestlig retning (210 deg) for kombinert sjøtilstand og for kun lokalt vindgenererte bølger, samt for vestlig retning (255 grader) for kun havdønninger. Det er disse retninger som gir høyest signifikant bølgehøyde ved lokaliteten Kariskjæret for disse tre ulike simuleringene i form av kun vind, kun havdønninger samt kombinert sjøtilstand.

4 Oppsummering

Bølgemodellering har blitt utført for området mellom Ranfjorden i sør, Hamarøy i nordøst og Røst i nordvest, med fokus på lokaliteten Kariskjæret i Bodø kommune. Modellkjøringene er oppdelt i retningssektorer med 15 grader per sektor. Videre er det simulert med kun innkommende havdønninger, med kun vind og med kombinasjonen av disse to for retningene mellom 180 og 285 grader. Dette utgjør til sammen 8 forskjellige retningssektorer. De resterende 16 retningssektorer er simulert kun for vind (300 – 165 grader).

Bølgemodelleringene for lokalitet 36817 Kariskjæret har vist at det er størst eksponering ved lokaliteten med kun vindbølger og med kombinasjonen av havdønninger og lokalt vindgenererte bølger fra sørvestlig retning (210 grader). Største signifikante bølgehøyde (H_s) med 50 års returperiode er da 2.5 m i anlegget med en periode på henholdsvis 6.7 s og 7.7 s for disse to tilfellene.

Simuleringene med kun lokalt vindgenererte bølger gir noenlunde samme verdier som kombinert sjøtilstand for alle retninger hvor det er kjørt med havdønninger. Unntak er for de sørlige retninger med høyere bølger for kun vind. De lokalt vindgenererte bølgene har generelt noe kortere bølgelengde, typisk mellom 4 og 9 s, sammenliknet med bølgene med kombinasjon av havdønninger og vind med typisk bølgelengde på mellom 6 og 11 s.

Naboretningene til 210 grader gir også bølger på over 2 m. Ellers gir alle andre retningene en maksimal signifikant bølgehøyde med 50 års returperiode på mellom 1 og 2 m. Unntaket er for retningene mellom 270 og 15 grader, altså fra vestlige, nordvestlige og nordlige retninger, hvor bølgehøyden er under 1 m.

Simuleringene med kun havdønninger gir svært beskjedne signifikante bølgehøyder, med maksimalt 0.5 m fra vestlige retninger (255 grader). Perioden til havdønningene er på mellom 14 s og 17 s.

Analyse av energispekteret i modellsimuleringene av bølgene viser at det er de lokalt vindgenererte bølgene som gir størst bidrag til bølgeenergien ved lokaliteten Kariskjæret.

Modelleringene har vist at øyer og/ eller grunne områder omkring lokaliteten er effektive når det gjelder å redusere bølgehøyden inn mot interesseområdet.

Referanser

- Dalheim-Eriksen, S., 2016. *Lofoten Sjøprodukter AS, Lokalitetsrapport Kariskjæret*. Akvaplan-niva AS rapport no. 8359.01. 15 sider.
- Hasselmann K., T.P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D.E. Cartwright, K. Enke, J.A. Ewing, H. Gienapp, D.E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Müller, D.J. Olbers, K. Richter, W. Sell, and H. Walden, 1973. *Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*. Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Reihe, A(8) (Nr. 12), p. 95.
- Nasjonalt tillegg, NA - Eurokode 1: *Laster på konstruksjoner - Del 1-4: Allmenne laster – Vindlaster*, 2009. NS-EN 1991-1-4:2005/NA:2009. ICS: 91.010.30, 91.080.01. 48 sider.
- NS (Norsk Standard) 9415, 2009. *Flytende oppdrettsanlegg - Krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift*. ICS: 65.150, 67.260. 108 sider.
- Nygaard, E. & Eik, K. J., 2004. *Application of STWAVE in Norwegian coastal water*. In: Proceedings, 8th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting. 9 sider.
- Reistad, M., Breivik, Ø., Haakenstad, H., Aarnes, O.J., Furevik, B. and Bidlot, J.-R., 2011. *A high-resolution hindcast of wind and waves for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea*. Journal of Geophysical Research, Vol. 116, C05019, doi: 10.1029/2010JC006402.
- Sanchez, A., Lin, L., Demirbilek, Z., Beck, T., Brown, M., Li, H., Rosati, J.D., Wu, W. and Reed, C., 2012. *Draft CMS User Manual, June 20, 2012. (No. ERDC/CHL-TR-11-X)*. Engineer Research and Development Center Vicksburg MS Coastal and Hydraulics Lab. pp 332.
- Smith, J. M., Militello, A., and Smith, S. J., 1998. *"Modeling waves at Ponce de Leon Inlet, Florida."* Proc. 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Environment Canada, Downsview, Ontario, 201-214.