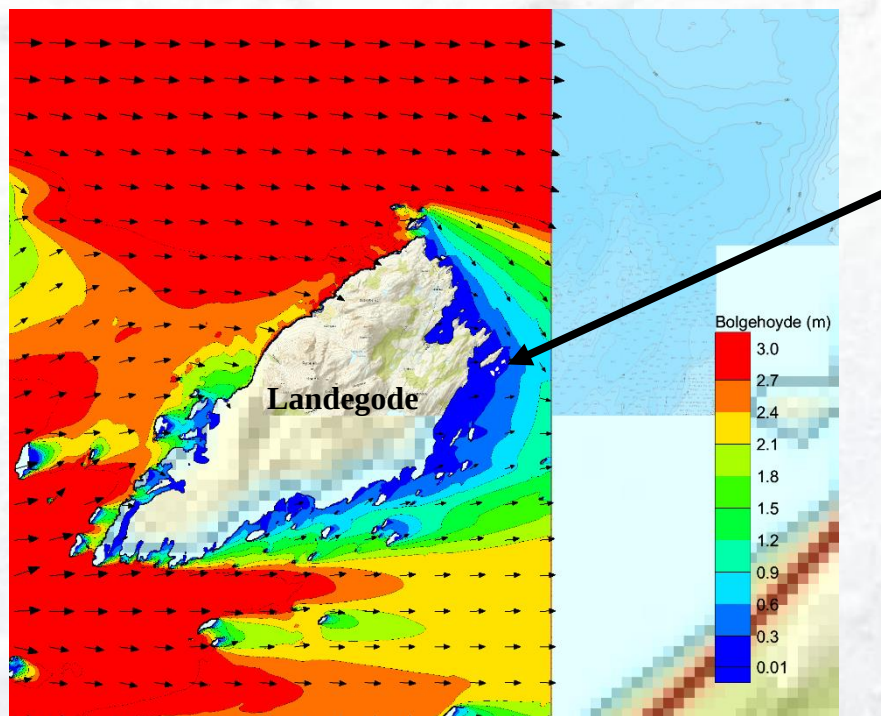


Havbølgeomodelleringer for lokalitet Bjørnøy, Bodø kommune, Nordland, 2016



Forsidebilde: Resultat fra simulering med bølgemodellen CMS-Wave. Fargeskalaen viser signifikant bølgehøyde og pilene viser bølgetogenes retning. Bjørnøy-lokaliteten er vist med pilspissen til den sorte pilen (kartkilde for bakgrunnskart: www.fdir.no). Resultatene viser simuleringer med havdønninger fra rett vest, og det er tydelig at Landegode skjermer lokaliteten Bjørnøy effektivt.

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 Havbølgemodelleringer for lokalitet Bjørnøy, Bodø kommune, Nordland, 2016	
Forfatter(e) / Author(s) Øyvind Leikvin	Akvaplan-niva rapport nr / report no 7769.01
	Dato / Date 21.04.2016
	Antall sider / No. of pages 21
	Distribusjon / Distribution Gjennom oppdragsgiver
Oppdragsgiver / Client Lofoten Sjøprodukter AS Mortsundveien 379 8370 Leknes	Oppdragsg. referanse / Client's reference Roger Mosseng
Sammendrag / Summary <p>Bølgeomodellingene for lokaliteten Bjørnøy har vist at det er størst eksponering ved lokaliteten med vindgenererte bølger fra nordøst (45 grader). Største signifikante bølgehøyde (H_s) med 50 års returperiode er da 2.8 m i anlegget. Nabosektorene mot mer vestlige retninger (0 – 30 grader) og mot 60 grader har bølgehøyder på mellom 2.0 og 2.5 m. Typiske bølgeperioder fra disse retningene er 5 – 8 s.</p> <p>Fra mer vestlige retninger blir bølgeeksponeringen vesentlig svekket som følge av at Landegode og Bjørnøy skjermer lokaliteten mot bølger fra nordvest, vest og sørvest. Mot sør-sørvestlige, sørlige og sørøstlige retninger er det igjen lenger strøklengde inn mot lokaliteten, slik at vindgenererte bølger høyere enn 1.0 m kan oppstå. Høyeste signifikante bølgehøyde med 50 års returperiode fra disse sørlige retninger (210 grader) er ifølge modellsimuleringene 1.6 m.</p> <p>Simuleringene med kombinert sjøtilstand (havbølger + vindbølger) får noenlunde samme eller ørlite mindre bølgehøyder enn ved kun lokalt vindgenererte bølger, for alle retninger.</p> <p>Havdønninger alene gir maksimalt opp mot drøye 0.3 m høye bølger, uansett retning. Lokaliteten Bjørnøy er altså lite eksponert for havdønninger, og det er de lokalt genererte vindbølgene som gir kraftigst bølgeeksponering ved lokaliteten Bjørnøy, uansett retning.</p> <p>Modellingene har vist at øyer og grunne områder vest og nord for lokaliteten er effektive når det gjelder å redusere bølgehøyden inn mot interesseområdet. Øyene Landegode og Bjørnøya skjermer lokaliteten Bjørnøy for bølgeeksponering, spesielt fra sektoren mellom sørvest og nordvest.</p> <p>Analyse av vinddata fra nærmeste meteorologiske stasjoner gir vesentlig lavere vindverdier enn vanlig metodikk fra Norsk Standard, og dermed også lavere bølgeeksponering ved lokalitet Bjørnøy enn gjengitt ovenfor.</p>	
Prosjektleder / Project manager  _____	Kvalitetskontroll / Quality control  _____
Øyvind Leikvin	Frank Gaardsted

© 2016 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.....	6
2.1 Modellbeskrivelse, CMS-Wave.....	6
2.2 Modelloppsett for Bjørnøy i Bodø kommune	7
2.2.1 Lokaliteten Bjørnøy	7
2.2.2 Modelloppsett	7
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 KONKLUSJON.....	20
REFERANSER.....	21

Forord

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

Akvaplan-niva takker for oppdraget.

Olvind Leikvin

Tromsø, 21. april 2016

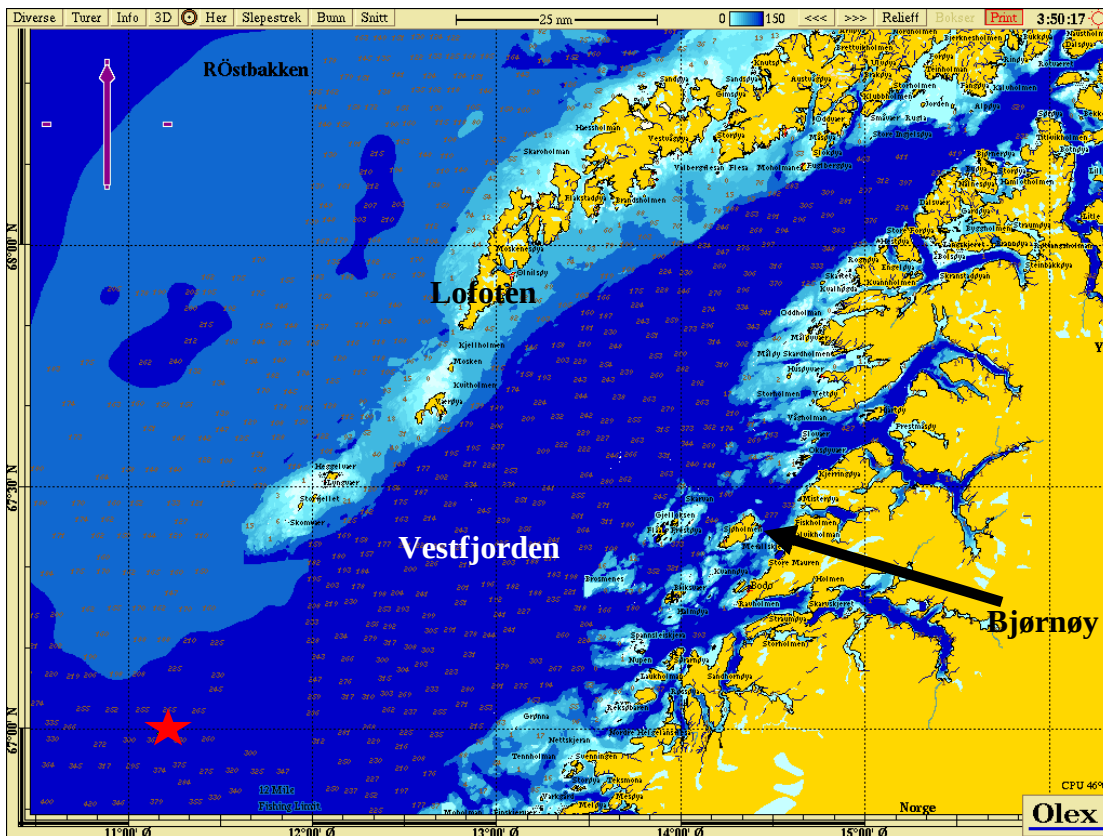
1 Innledning

Akvaplan-niva AS har på oppdrag fra Lofoten Sjøprodukter AS modellert vindgenererte bølger, innkommende havdønninger og kombinasjonen av disse på lokaliteten Bjørnøy i Bodø kommune, Nordland. Lokaliteten ligger omtrentlig på koordinaten 67°25.0' N og 14°25.7' Ø, sørøst for den lille øya Bjørnøy som igjen ligger like øst for Landegode (Figur 1, Figur 2 og Figur 3).

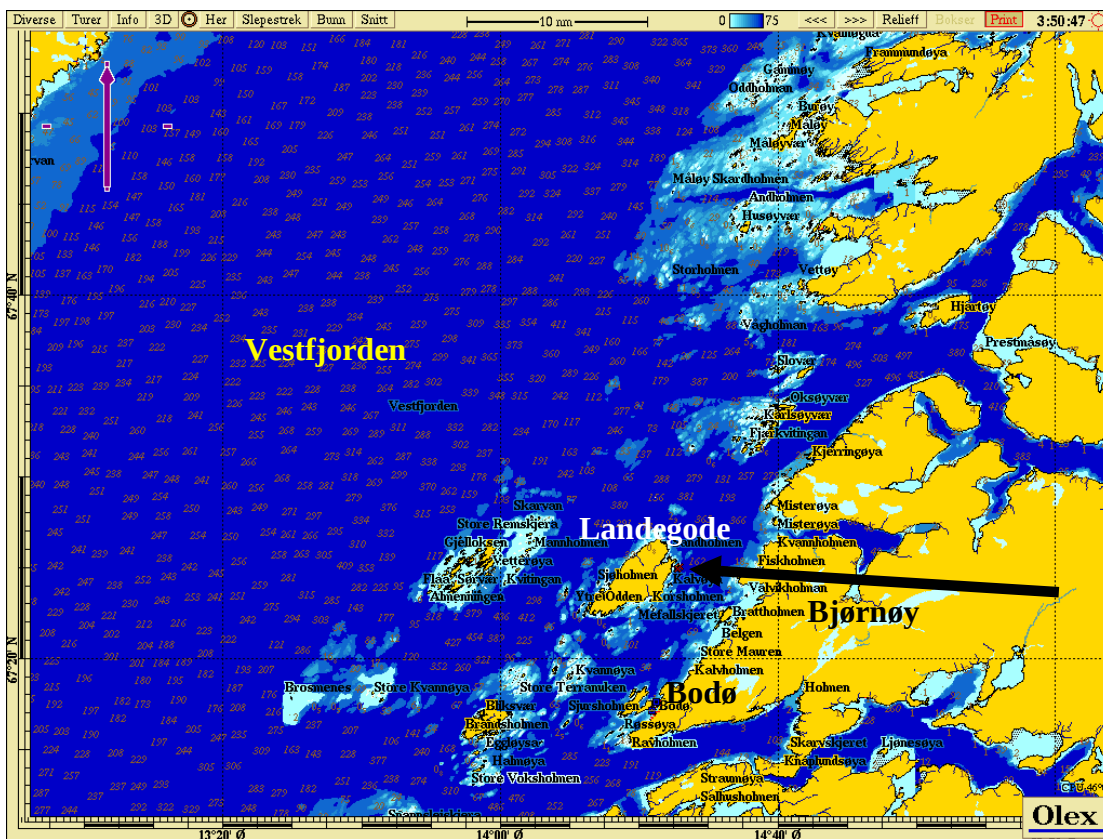
I en lokalitetsundersøkelse, jfr. NS9415 (2009), skal det simuleres for vindinduserte bølger produsert med vindstyrke med 50-års returperiode i minst alle 8 hoved-himmelretninger. Disse beregningene foretas i forbindelse med standard lokalitetsrapport. I tillegg skal det modelleres for kombinasjonen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

Lokaliteten har nesten kontinuerlig lysåpning mot midtre deler av Vestfjorden i den nordlige sektoren mellom 356 og 5 grader (Figur 1, Figur 2 og Figur 3). Øyene Landegode og Bjørnøy skjærer for havdønninger fra nordvestlige, vestlige og sørvestlige retninger. Strøklengden er lang mot nord, mot Lofotveggen (~25 km), slik at betydelige vindgenererte bølger forventes herfra. Det er imidlertid store gruntområder ca. 20 – 40 km nord for Landegode og Bjørnøy, som vil bryte ned en del av denne bølgeenergien.

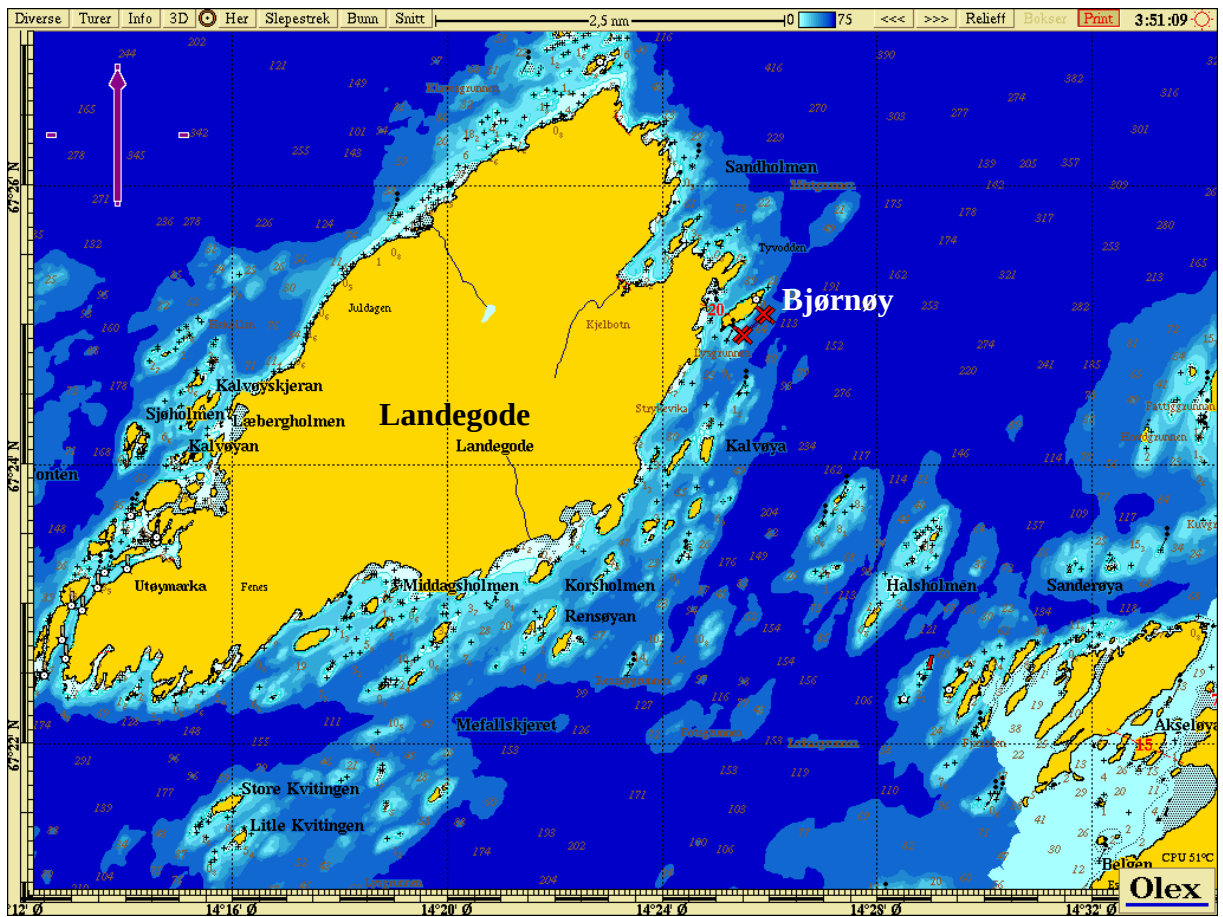
Lokaliteten vil altså trolig være eksponert først og fremst for vindgenererte bølger fra nærområdet og fra midtre deler av Vestfjorden, med mulig innslag av havdønninger fra sørvestlige og nordvestlige retninger. Det er disse retningssektorene og tilgrensende retninger som simuleres i denne studien.



Figur 1: Oversiktskart over Vestfjorden og plasseringen av Bjørnøy-lokaliteten. Kart over området rundt lokaliteten Bjørnøy i Bodø kommune, Nordland. Lokaliteten er merket omtrentlig med sort pil. Posisjonen hvor inngangsdata fra met.no's regionale bølgemodell (WAM) er hentet fra, er illustrert med rød stjerne nede til venstre i bildet (kartkilde: www.olex.no).



Figur 2: Kart over regionen rundt lokaliteten Bjørnøy (kartkilde: www.olex.no).



Figur 3: Fokusert kart med bunntopografi over nærområdet til lokalitet Bjørnøy. Anlegget er avmerket med fire røde kryss (kartkilde: www.olex.no).

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 Bjørnøy.

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. Kildekoden 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 er gitt av en regional bølgemodell, WAM (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 endring 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 vanddyp og strøm)
2. Diffraksjon (bølgedreining 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 implementert i dette prosjektet, se kapittel 2.2.2.

2.2 Modelloppsett for Bjørnøy i Bodø kommune

2.2.1 Lokaliteten Bjørnøy

Lokaliteten Bjørnøy ligger i Bodø kommune i Nordland, sørøst for Bjørnøy som ligger like øst for Landegode.

Bjørnøy og spesielt Landegode skjermer lokaliteten for eksponering fra det åpne hav utenfor Vestfjorden. Fra sørvestlige og nord-nordvestlige retninger kan det muligens forventes noe havdønninger, men dette er i så fall avbøydte havdønninger fra henholdsvis skjærgården utenfor Bodø og fra midtre deler av Vestfjorden. Gruntområder og skjær vil også redusere bølgeenergien fra disse retningene.

Anleggets hjørnekoordinater er gitt i Tabell 1, og anleggets plassering er illustrert i Figur 3.

Tabell 1: Koordinater til de fire hjørnepunktene til anlegget (Nordvest, Nordøst, Sørvest og Sørøst), de to nordlige punktene til matautomatanlegget (Midtvest og Midtøst), samt flåten ved lokaliteten. Koordinatene er gitt både i geografiske koordinater og UTM-koordinater (datum: WGS84)

Hjørne til lokaliteten	Geografiske koordinater		UTM, sone 33	
	N	Ø	Y	X
Nordvest	67°25.067'	14°25.900'	7478066	475645
Nordøst	67°25.052'	14°25.939'	7478038	475673
Midtvest	67°24.974'	14°25.647'	7477895	475463
Midtøst	67°24.959'	14°25.685'	7477867	475490
Sørvest	67°24.920'	14°25.496'	7477796	475354
Sørøst	67°24.904'	14°25.535'	7477766	475382
Flåte	67°24.941'	14°25.727'	7477833	475520

2.2.2 Modelloppsett

Bølgemodellering har blitt utført for området mellom Lofoten i nord til Meløy sør for Bodø, og med fire ulike grid fra fire ulike hovedretninger. Modellen er oppdelt i retningssektorer med 15 grader per sektor. Modellen har blitt kjørt med kun innkommende havdønninger, med kun vind og med kombinasjonen av disse. Griddene, med nordøstlig, nordvestlig, vestlig og sørvestlig orientering, dekker til sammen 19 forskjellige retningssektorer mellom 165 og 75 grader (mellom sør-sørøstlig og øst-nordøstlig retning).

Det kan forventes betydelige vindgenererte bølger fra nord og nordøstlige retninger og mulig innslag av havdønninger fra nordvestlige, vestlige og sørvestlige retninger. For å dekke hele denne sektoren brukes det altså disse fire grid for bølgemodellering i dette oppsettet;

- ett som beregner vindgenererte bølger fra nord og nordøstlige retninger
- ett som beregner vindgenererte bølger/ havdønninger fra nordvestlige retninger
- ett som beregner vindgenererte bølger/ havdønninger fra vestlige retninger
- ett som beregner vindgenererte bølger/ havdønninger fra sørvestlige retninger

Vindgenererte bølger fra østlige retninger antas som beskjedne i omfang, og blir modellert med den forenklete bølgemodellen AdUndas. Resultatene fra østlige retninger er presentert i selve lokalitetsrapporten (Eriksen, 2015).

Alle de fire griddene overlapper hverandre mer eller mindre. Ved eventuell overlapping presenteres kun resultatene fra simuleringene med største bølgehøyder i denne rapporten.

I det første gridet og deler av det fjerde gridet i modellsimuleringene i denne studien med CMS-Wave er kun vind inkludert som drivende kraft, mens det i resten av retningene er modellert med kombinasjon av vind og havdønninger, kun havdønninger og kun vind.

Bunnmålinger som ligger til grunn for batymetrien i griddene er primærdata innkjøpt av Statens Kartverk Sjøkartverket. Det er valgt å legge til grunn et dyp 3 m over sjøkartnull i hele modellområdet, som omtrentlig tilsvarer situasjon med springflo.

Gitteroppløsningen i alle de fire griddene er 60-100 m. I tillegg er det nøstet inn et høyoppløselig grid like i nærheten av lokalitet Bjørnøy med 20-25 m oppløsning, for alle de fire griddene. De finere gridene dekker altså et mindre område i umiddelbar nærhet til lokaliteten, fortrinnsvis på lo side vedrørende innkommende havbølger.

Viktigste dimensjoner til de fire griddene er gitt i Tabell 2. Tabellen viser at antall beregningsceller varierer mellom ca. 1.5 millioner og 3.2 millioner for de største og mindre oppløste griddene, samt mellom drøye 200 000 og 700 000 for de små og forfinede griddene i nærheten av lokaliteten Bjørnøy.

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).

		Stort grid				Nøstet, lokalt grid			
Grid	Sektor (15 graders oppløsning)	Cellestørrelse [m]	Celler	Sum antall celler	Omtrentlig areal [km ²]	Cellestørrelse [m]	Celler	Sum antall celler	Omtrentlig areal [km ²]
1 (NØ)	0 - 75	60	2016 x 1599	3.2 millioner	121 x 96 km ²	25	843 x 608	0.5 millioner	21 x 15 km ²
2 (NV)	285 - 15	100	1711 x 957	1.6 millioner	171 x 96 km ²	20	638 x 367	0.2 millioner	13 x 7 km ²
3 (V)	210 - 315	100	1352 x 1424	1.9 millioner	135 x 142 km ²	20	1008 x 668	0.7 millioner	20 x 13 km ²
4 (SV)	165 - 255	70	1339 x 974	1.5 millioner	94 x 68 km ²	20	613 x 661	0.4 millioner	13 x 12 km ²

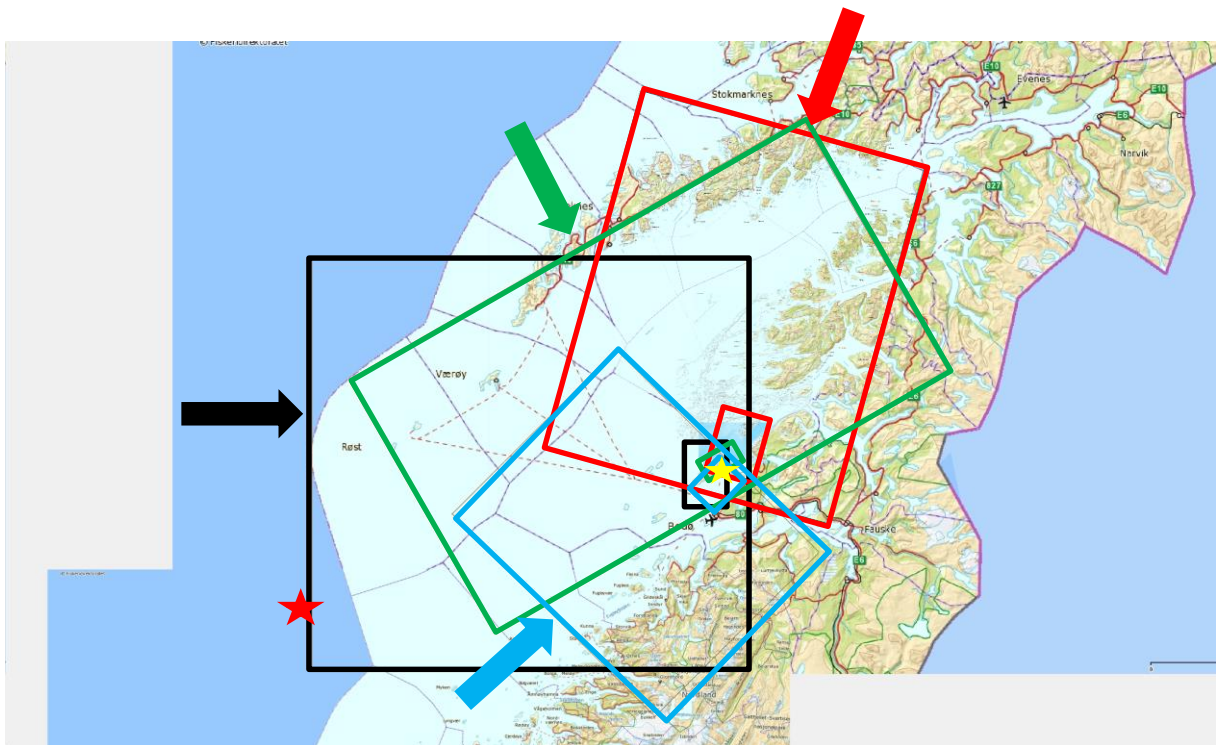
Dekningsområdet til de ulike griddene i modellen, med innkommende hovedretninger markert med piler, er illustrert i Figur 4. Både de store griddene med grovere oppløsning og de mindre griddene med finere oppløsning er vist.

Et utsnitt av beregningscellene ved lokaliteten Bjørnøy er vist i Figur 5. Det er et av de høytoppløste griddene med 20 m oppløsning som er illustrert.

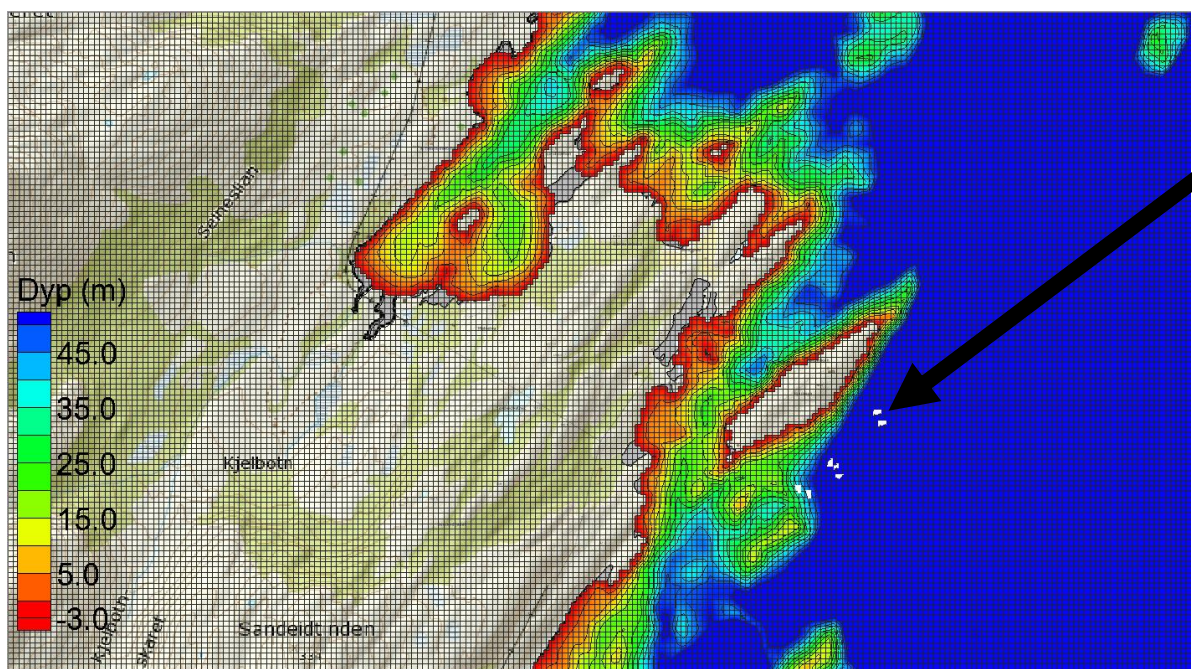
Havstrømmer ved lokaliteten er målt (i perioden 06.02.2014 - 06.03.2014) til å være maksimalt 15.4 cm/s i de øvre vannmassene og i gjennomsnitt 4.4 cm/s (Eriksen, 2014). Da havstrømmer i nærområdet forventes å være betydelig mindre enn 1 m/s, vil de ifølge Smith m.fl. (1998) ikke bidra til betydelige endringer i transformasjonen av havbølger. Derfor inkluderes ikke havstrømmer i simuleringene (se punkt 8 i kapittel 2.1).

Refleksjon er inkludert i modellsimuleringene for de nøstede høytoppløste griddene i nærområdet til lokaliteten.

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.



Figur 4: Modellområde for CMS-Wave-simuleringene rammet inn i blått (sørvestre grid), sort (vestre grid), grønt (nordvestre grid) og rødt (nordøstre grid) med piler som viser hvilken side av griddet inngangsdata (vind og bølger) kommer inn. Nøstede modellområder er de mindre firkantene illustrert i tilsvarende farger. Plasseringen av Bjørnøy-lokaliteten er indikert med en gul stjerne, og omtrentlig plassering av datapunkt for inngangsdata fra met.no's regionale modell er vist med rød stjerne (kartkilde: www.fdir.no).



Figur 5: Illustrasjon av det kartesiske 20 m x 20 m gitteret (i sorte ruter) brukt i CMS-Wave-modelleringene ved Bjørnøy. Bunntopografien er avtegnet i farger, med skala fra -3 (3 m høyvann) til 50 m. Fargeskala er vist nede til venstre (kartkilde for bakgrunnskart: www.fdir.no). Lokalitetens plassering er markert med 4 hvite prikker i hjørnepunktene, 2 prikker til nordøstlige avgrensinger av matautomanlegget, samt 1 prikk omtrent i midten av anlegget mot øst. Denne viser plassering av flåte.

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 er satt i henhold til data fra Bodø kommune, ved lokaliteten. 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) 10 m over bakken i Bodø kommune i Nordland (omregninger fra NS-EN 1991, 2009), fra alle retninger unntatt østlige og nord-nordøstlige retninger. Det er benyttet terrengkategori I (oppskalert med faktor 1.17). Det er også skalert med retningsfaktorer.

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

2.3.2 Bølgehøyde

Innkommende bølger til modellområdet er hentet fra Meteorologiske institutts (met.no) regionale modell 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 i WAM-modellen som er plassert ved den ytre vestlige randen til det vestre gridet (grid 3 i Tabell 2), og er vist i Figur 4 med rød stjerne. Dette 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 fra Norskehavet i vest eller nordvest (Tabell 4 og Tabell 5).

I CMS-Wave-modelleringene antas det at et bølgetog starter ute på havet og kommer inn mot modellområdet utenfor Vesterålen fra retningen og med bølgehøyde og periode som spesifisert i Tabell 4 og Tabell 5. Det antas at bølger med høy energi, som når inn mot Bjørnøy-lokaliteten først og fremst kommer fra retninger mellom ca. 165 og 75 grader (fra mellom sørlig og nordøstlig retning). Innslag av havdønninger forventes å kunne komme fra sektorer mellom 195 og 315 grader, på grunn av avbøyning, om enn i beskjedent omfang.

I vestlige og nordvestlige retninger sett fra lokaliteten Bjørnøy befinner Landegode og Bjørnøy seg og skjerner for bølger fra sørvestlige, vestlige og nordvestlige retninger (se Figur 3).

For det nordøstlige og for deler av det sørvestlige gridet har det blitt modellert eksplisitt for vindbølger. Deretter har også den kombinerte bølgetilstanden av vindbølger og havdønninger, samt eksplisitt havdønninger blitt simulert for de andre retningene mellom 195 og 15 grader.

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 4).

Returperiode 50 år	Bølgeretning							
	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°	345°-15°	15°-45°
Signifikant bølgehøyde [m]	9.1	12.3	15.8	14.8	12.1	10.6	10.1	7.5

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 for nordvestre grid													
	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°
Signifikant bølgehøyde [m]	9.1	10.7	12.3	13.6	15.8	15.3	14.8	13.5	12.1	11.4	10.6	10.4	10.1	8.8
Peak-periode [s]	13.7	14.6	15.5	16.2	17.3	17.1	16.8	16.1	15.4	15.0	14.5	14.4	14.3	13.5

2.3.3 Energispekter

Resultatene fra den regionale WAM-modellen (se kapittel 2.3.2) 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 (η), 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 ble det plukket ut fire kontrollpunkter omtrentlig tilsvarende hjørnepunktene til anlegget ved lokaliteten Bjørnøy, to punkter som tilsvarende nordøstlige punkter til matautomatanlegg, samt ett punkt som tilsvarende plassering av fôrflåten. 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 for bølgene. Figur 6, Figur 8 og Figur 10 viser grafikk av hvordan bølgene propagerer når de går innover mot kysten, med henholdsvis kombinasjon av vind og havdønninger fra vest-sørvest (210 grader), kun havdønninger fra rett vest (270 grader) og med kun vind fra nordøst (45 grader).

Resultatene i Figur 6 og Figur 10 viser retningene med kraftigst eksponering henholdsvis fra sørvest og fra nordøst. Figur 8 viser resultater fra eksponering fra vest, hvor så og si all bølgeenergien blir dempet av øyene Landegode og Bjørnøy. Fokuserede bilder, med tanke på nærområdet til lokalitet Bjørnøy, er gitt for de respektive simuleringer i Figur 7, Figur 9 og Figur 11.

Figur 6 - Figur 11 illustrerer hvordan bølgehøyden blir effektivt redusert når havbølgene møter øyer, grunne områder, og bøyer seg rundt nes.

Det var generelt noe forskjell på bølgehøyden for de fire hjørnene inne i anlegget, og forskjellen kunne være opptil ca. 2 m. Som regel var det ytterpunktet i nordøst som var kraftigst eksponert for bølgene og ytterpunktet i sørvest som var minst eksponert.

Største signifikante bølgehøyder på 2.8 m med returperiode på 50 år oppstod ifølge simuleringene på lokaliteten Bjørnøy når kun vindgenererte bølger er tilstede, og det blåser kraftig fra nordøst (45 grader) (Figur 11). Nabosektorene mot mer nordlige retninger (0, 15 og 30 grader) hadde alle bølgehøyder på ca. 2.5 m med kun vind som drivkraft til bølgene. Nabosektoren i mer østlig retning, 60 grader, hadde bølgehøyde på 2.2 m.

Fra mer nordvestlige og vestlige retninger avtok bølgeeksponeringen kraftig. Fra nordvest (315 grader) og videre mot mer vestlige retninger inntil sørvestlig retning (225 grader) var bølgeeksponeringen på under 1 m ved lokaliteten Bjørnøy, med kun vind tilstede.

Fra sør-sørvestlige retninger (195 til 225 grader) var det kraftigere eksponering igjen for lokalt vindgenererte bølger, med bølgehøyder på over 1 m og opp mot 1.6 m. Fra sør-sørøstlige retninger dempet bølgehøyden seg gradvis til ca. 1.0 m og noe lavere.

Typiske bølgeperioder for vindgenererte bølger var på mellom 3.3 og 7.7 s. Visse unntak med noe lenger bølgeperioder forekom, men da var som regel bølgehøyden relativt lav.

Med kun havdønninger som kilde til bølgeenergien var bølgeeksponeringen ved lokalitet Bjørnøy svært beskjeden, med maksimal høyde på 0.3 m. Laveste havdønninger ved lokaliteten med returperiode på 50 år ble funnet ved sektoren rett vest, 270 grader (Figur 8 og Figur 9). Ifølge simuleringene var typiske perioder for havdønningene med returperiode på 50 år på mellom 11.1 og 16.7 s.

Kombinert sjøtilstand av havdønninger og lokalt vindgenererte bølger ga tilnærmet samme bølgehøyder som med kun vind som drivkraft. Forskjellen mellom disse var typisk på maksimalt 0.1-0.2 m. Maksimal signifikant bølgehøyde ved kombinert sjøtilstand ble simulert til å være 2.5 m fra retning 15 grader. Østligere retninger ble ikke simulert, fordi bidraget fra havdønninger var minimalt.

Oppsummering i Tabell 9 viser at det er de lokalt vindgenererte bølgene som er viktigste drivkraft til bølgeenergien ved lokaliteten Bjørnøya fra de ulike retningene.

Illustrasjoner av bølgeenergi vs. frekvens for retningen og hjørnepunktet med høyest energi for simuleringer med kun havdønninger, kun vind og kombinasjonen av havdønninger og vind er gitt i Figur 12.

Resultater fra simuleringer med kun havdønninger, og som gir høyest havdønninger, gir svært lite energi (maksimalt $0.2 \text{ m}^2/\text{Hz}$ ved 0.06 Hz) sammenliknet med simuleringer med vind inkludert. Maksimalenergien for havdønninger gir en bølgeperiode på 16.7 s , i tråd med resultatene i Tabell 6. Det er svært lite energi ved høyere frekvenser (kortere bølgeperioder) for havdønningene.

Simuleringer med kun vind viser høyest energi (maksimalt $3.9 \text{ m}^2/\text{Hz}$) ved 0.13 Hz . Tilhørende bølgeperiode er 7.7 s , i tråd med resultatene i Tabell 7. Her er energien mer jevnt fordelt utover høyere frekvenser (kortere bølgeperioder) enn for kun havdønninger.

Den kombinerte tilstanden av havdønninger og vind gir også høyest energi (maksimalt $2.7 \text{ m}^2/\text{Hz}$) ved 0.13 Hz . Dette gir en periode på 7.7 s , i tråd med resultatene i Tabell 8. Her er bølgeenergien fordelt noenlunde tilsvarende som for de vindgenererte bølgene, men maksimalverdien er vesentlig lavere. Dessuten er det noe lavere energi på de høyere frekvenser (kortere bølgeperioder).

Figur 12 illustrerer og bekrefter altså at det er de lokalt genererte vindbølgene som er regjerende for sjøtilstanden ved lokalitet Bjørnøy.

Tabell 6: CMS-Wave modellresultater for signifikant bølgehøyde (H_s) fra hjørnepunktene til anlegget og bølgeperioden (T_p) ved lokaliteten Bjørnøy. Det er her kun kjørt med innkommende havbølger og ingen vind.

Hjørnepunkt	Bølge- og vindretning												
	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°
Bølgehøyde, NV (H_s) [m]	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.0	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
Bølgehøyde, NØ (H_s) [m]	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
Bølgehøyde, MNV (H_s) [m]	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Bølgehøyde, MNØ (H_s) [m]	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Bølgehøyde, SV (H_s) [m]	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Bølgehøyde, SØ (H_s) [m]	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Lengste bølgeperiode ved anlegg (T_p) [s]	14.3	14.3	11.1	16.7	16.7	8.3	16.7	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3

Tabell 7: Som i Tabell 6, men her er kun kjørt med vind og ingen innkommende havdønninger.

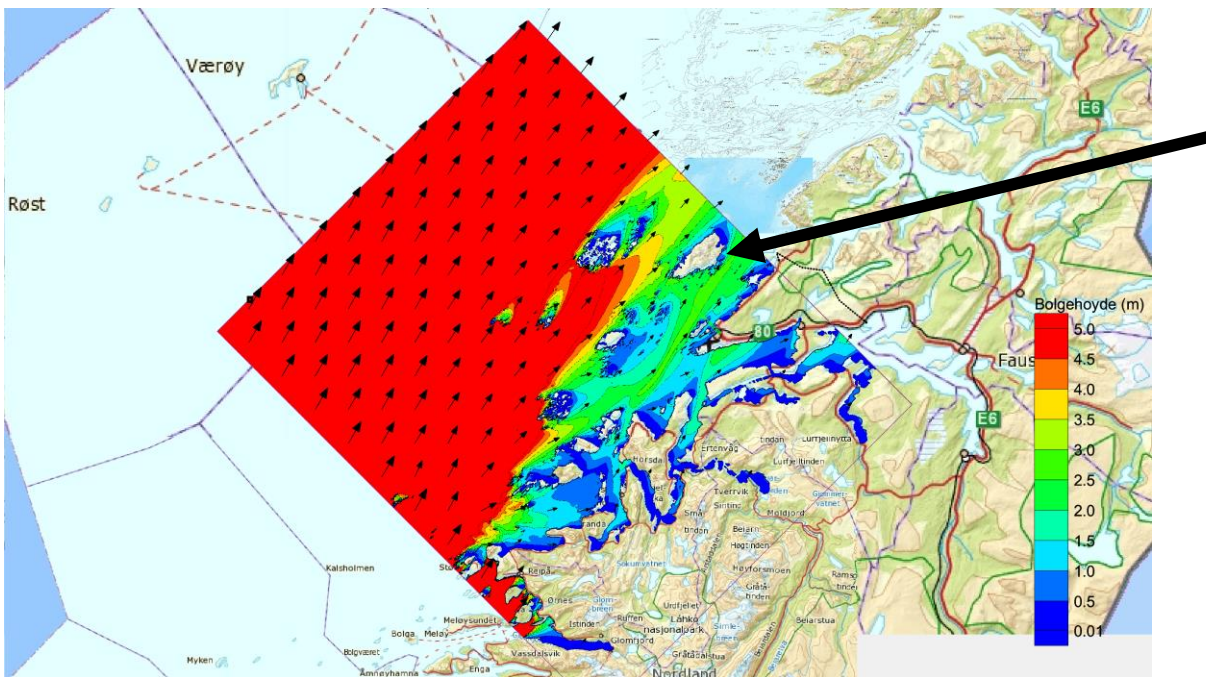
Hjørnepunkt	Bølge- og vindretning																		
	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°
Bølgehøyde, NV (H_s) [m]	0.9	0.8	1.5	1.6	1.2	0.6	0.4	0.2	0.3	0.4	0.7	1.1	1.5	2.1	2.3	2.4	2.7	2.2	1.8
Bølgehøyde, NØ (H_s) [m]	0.9	0.8	1.5	1.6	1.2	0.6	0.4	0.2	0.4	0.4	0.7	1.2	1.7	2.4	2.5	2.5	2.8	2.2	1.8
Bølgehøyde, MNV (H_s) [m]	1.0	0.8	1.4	1.5	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	1.4	1.7	2.1	2.5	2.1	1.8
Bølgehøyde, MNØ (H_s) [m]	1.0	0.8	1.4	1.5	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	1.6	1.9	2.3	2.6	2.2	1.8
Bølgehøyde, SV (H_s) [m]	1.0	0.8	1.3	1.4	1.0	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	1.4	1.9	2.4	2.1	1.8
Bølgehøyde, SØ (H_s) [m]	1.0	0.8	1.3	1.4	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	1.1	1.5	2.0	2.5	2.1	1.8
Bølgehøyde, Flåte (H_s) [m]	0.9	0.8	1.4	1.5	1.2	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.8	1.8	2.1	2.4	2.7	2.2	1.8
Lengste bølgeperiode ved anlegg (T_p) [s]	3.3	3.6	4.2	4.2	3.8	7.1	9.1	9.1	11.1	11.1	10	10	10	7.7	7.7	6.2	7.7	5.3	4.5

Tabell 8: Som i Tabell 6, men her er kjørt med kombinasjon av vind og innkommende havdønninger.

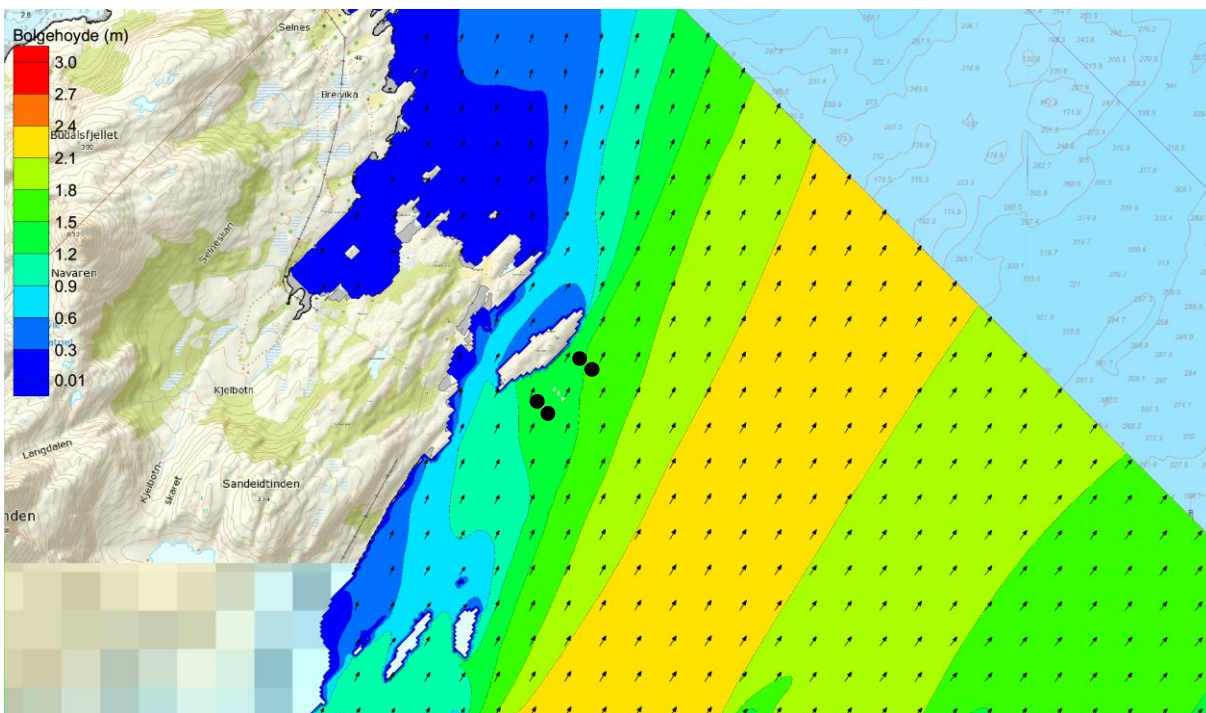
Hjørnepunkt	Bølge- og vindretning												
	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°
Bølgehøyde, NV (H _s) [m]	1.4	1.5	1.2	0.7	0.4	0.2	0.4	0.6	0.7	1.1	1.5	1.9	2.2
Bølgehøyde, NØ (H _s) [m]	1.4	1.5	1.2	0.7	0.4	0.2	0.5	0.6	0.8	1.2	1.7	2.1	2.5
Bølgehøyde, MNV (H _s) [m]	1.3	1.4	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6
Bølgehøyde, MNØ (H _s) [m]	1.3	1.4	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9
Bølgehøyde, SV (H _s) [m]	1.3	1.3	1.0	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
Bølgehøyde, SØ (H _s) [m]	1.3	1.3	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
Lengste bølgeperiode ved anlegg (T _p) [s]	4.5	4	3.7	8.3	11.1	8.3	16.7	14.3	10	10	10	7.7	7.7

Tabell 9: Som i Tabell 6, men her er kun trukket ut de høyeste bølgehøydene fra Tabell 6 - Tabell 8, for hvert punkt i hver retningssektor.

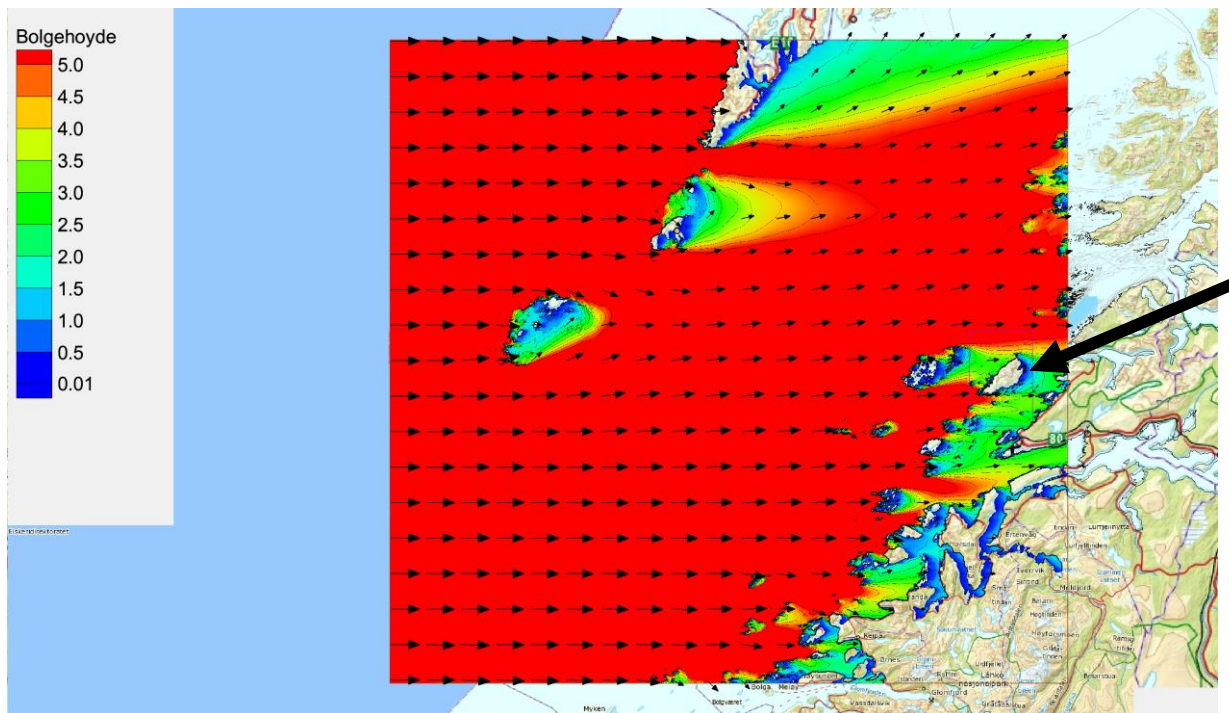
Hjørnepunkt	Bølge- og vindretning																		
	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°
Bølgehøyde, NV (H _s) [m]	0.9	0.8	1.5	1.6	1.2	0.6	0.4	0.2	0.3	0.4	0.7	1.1	1.5	2.1	2.3	2.4	2.7	2.2	1.8
Bølgehøyde, NØ (H _s) [m]	0.9	0.8	1.5	1.6	1.2	0.6	0.4	0.2	0.4	0.4	0.7	1.2	1.7	2.4	2.5	2.5	2.8	2.2	1.8
Bølgehøyde, MNV (H _s) [m]	1.0	0.8	1.4	1.5	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	1.4	1.7	2.1	2.5	2.1	1.8
Bølgehøyde, MNØ (H _s) [m]	1.0	0.8	1.4	1.5	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	1.6	1.9	2.3	2.6	2.2	1.8
Bølgehøyde, SV (H _s) [m]	1.0	0.8	1.3	1.4	1.0	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	1.4	1.9	2.4	2.1	1.8
Bølgehøyde, SØ (H _s) [m]	1.0	0.8	1.3	1.4	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	1.1	1.5	2.0	2.5	2.1	1.8
Bølgehøyde, Flåte (H _s) [m]	0.9	0.8	1.4	1.5	1.2	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.8	1.8	2.1	2.4	2.7	2.2	1.8
Lengste bølgeperiode ved anlegg (T _p) [s]	3.3	3.6	4.2	4.2	3.8	7.1	9.1	9.1	11.1	11.1	10	10	10	7.7	7.7	6.2	7.7	5.3	4.5



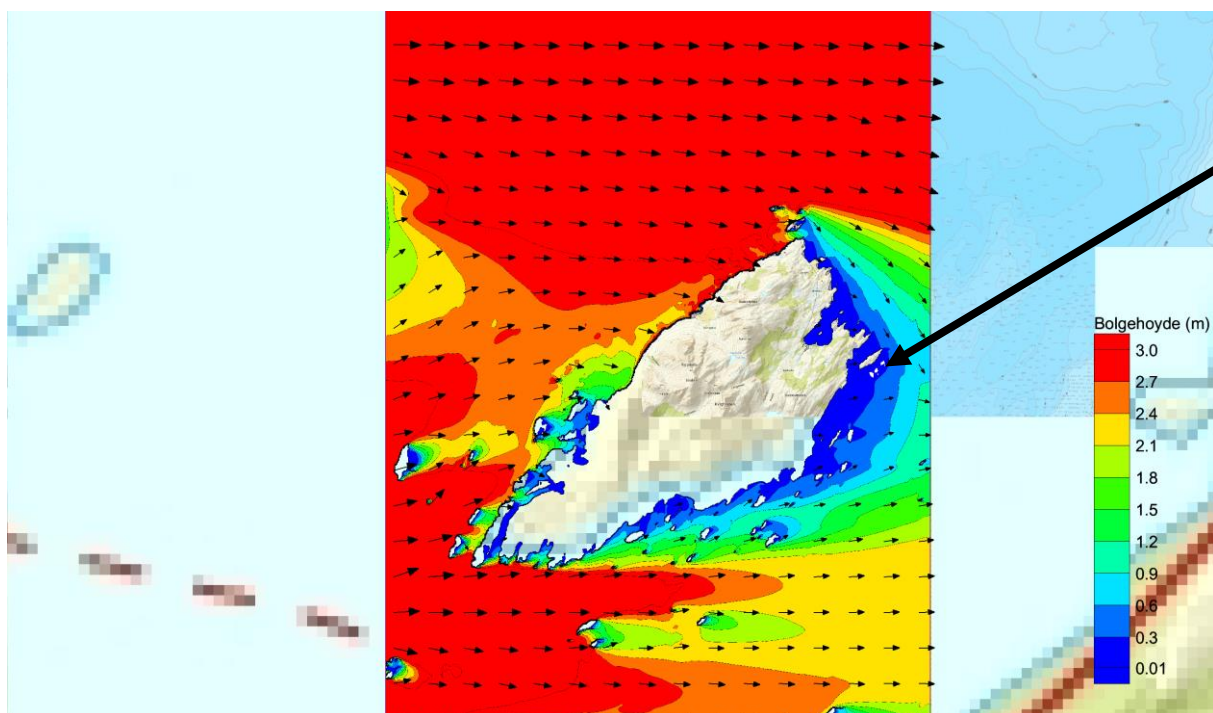
Figur 6: CMS-Wave-modellering ved lokaliteten Bjørnøy (markert med stor sort pil) i Bodø kommune i Nordland, med havbølger og vind som kommer fra vest-sørvest (210 grader). Det er fra denne retningen at størst bølgehøyde inntreffer ved anlegget fra de sørvestlige retninger kun vind (1.6 m, ikke vist) og ved kombinert sjøtilstand (1.5 m). Bølgeretning er indikert med pilenes retning. Signifikant bølgehøyde (H_s) er gitt med fargekonturer, og fargeskala er nede til høyre. Det grove gridet (fargenes omriss) og det fine griddet (sort liten firkant) er illustrert. Merk at bølgehøyder helt sør i modellområdet nær land, mot modellområdets sørvestlige rand, ikke er reelle. Innkommende bølger er konstante langs hele denne randen. Simuleringene er optimalisert for området omkring lokaliteten Bjørnøy (kartkilde for bakgrunnsbilde: www.fdir.no).



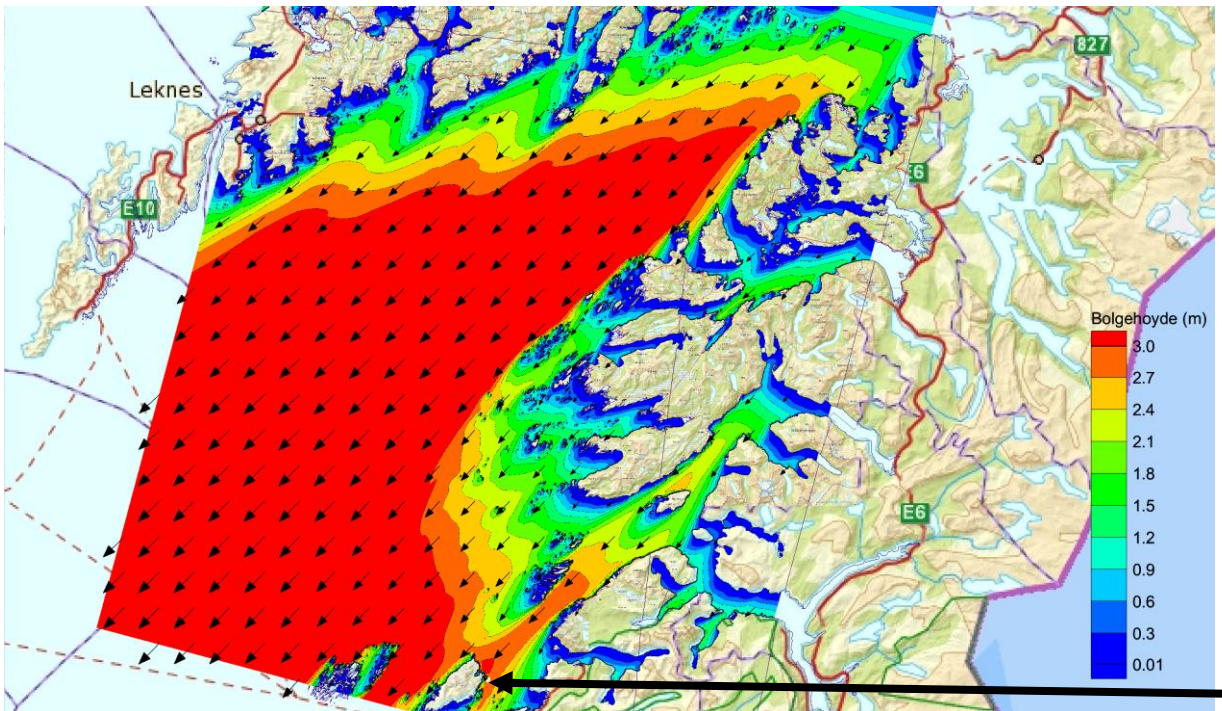
Figur 7: Samme som i Figur 6, men her fokusert på nærområdet til lokaliteten Bjørnøy. Lokalitetens hjørner er merket med sorte punkter (kartkilde for bakgrunnsbilde: www.fdir.no).



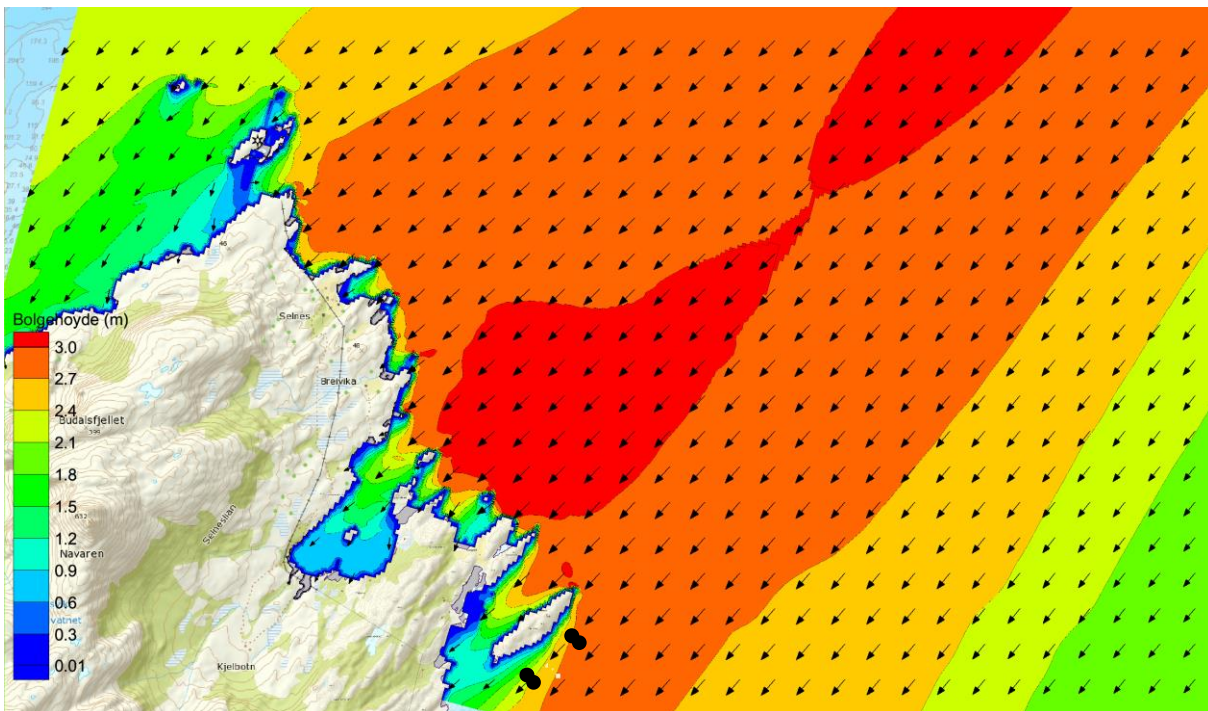
Figur 8: Modellsimuleringer med det vestre grid, med kun havdønninger fra rett vest (270 grader). Lokaliteten Bjørnøy er indikert med stor sort pil. Fargeskala er til venstre (kartkilde for bakgrunnsbilde: www.fdir.no).



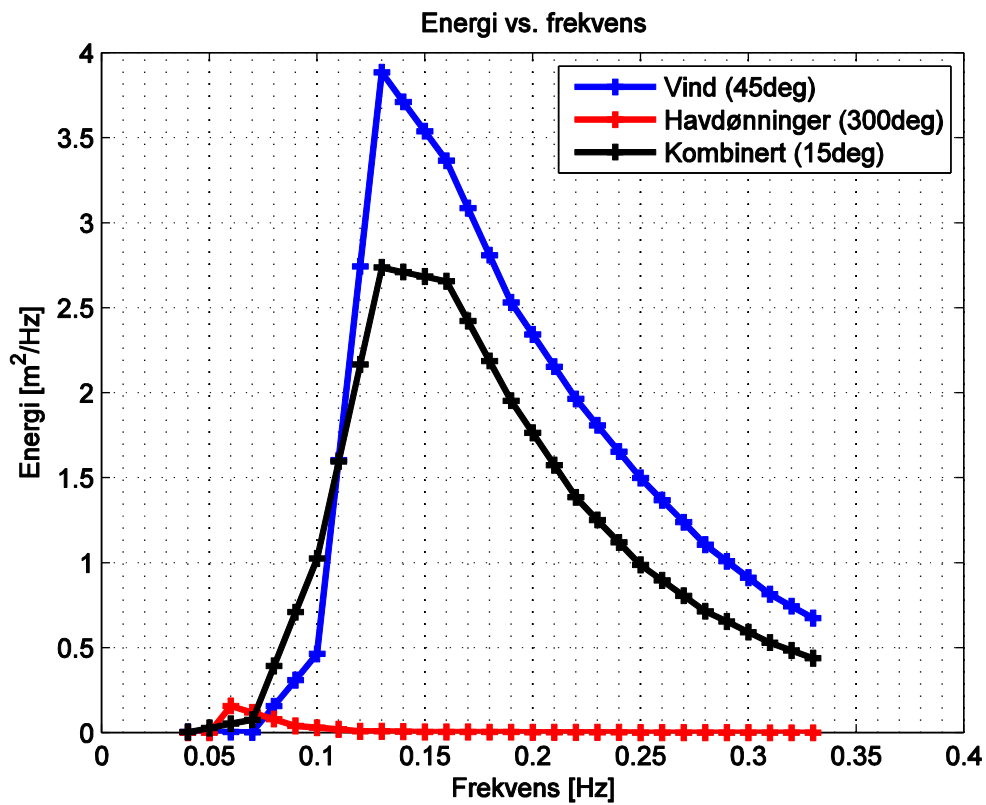
Figur 9: Samme som i Figur 8, men her med fokus på det forfinede gridet bestående av nærområdet til lokalitet Bjørnøy ved øya Landegode. Lokalitetens plassering er illustrert med spissen til den store sorte pila. Figuren illustrerer tydelig hvordan Landegode og øya Bjørnøy skjermer for eksponering for havdønninger fra vest (kartkilde for bakgrunnsbilde: www.fdir.no).



Figur 10: Modellsimuleringer med det nordøstre griddet, fra 45 grader, med kun vind tilstede. Det er fra denne retningen det oppnås størst signifikant bølgehøyde ved lokalitet Bjørnøy (2.8 m), uansett retning. Lokalitetens plassering er angitt med stor sort pil. Fargeskala er til høyre (kartkilde for bakgrunnsbilde: www.fdir.no).



Figur 11: Samme som i Figur 10, men med fokus på det forfinede griddet i nærområdet til lokalitet Bjørnøy. Lokalitetens hjørnepunkter er gitt med fire sorte prikker nederst i bildet. (kartkilde for bakgrunnsbilde: www.fdir.no).



Figur 12: Bølgeenergi vs. frekvens for retningen og hjørnepunktet (nordøst) som gir høyest bølgehøyde for kun vind (45 grader, blå), innkommende havdønninger (300 grader, rød) og kombinasjon av havdønninger og vind (15 grader, sort).

4 Konklusjon

Bølgemodellingene for Bjørnøy har vist at det er størst eksponering ved lokaliteten med vindgenererte bølger fra nordøst (45 grader). Største signifikante bølgehøyde (H_s) med 50 års returperiode er da 2.8 m i anlegget. Nabosektorene mot mer vestlige retninger (0 – 30 grader) og mot 60 grader har bølgehøyder på mellom 2.0 og 2.5 m. Typiske bølgeperioder fra disse retningene er 5 – 8 s.

Fra mer vestlige retninger blir bølgeeksponeringen vesentlig svekket, som følge av at Landegode og Bjørnøy skjærer for bølger fra nordvest, vest og sørvest. Mot sør-sørvestlige, sørlige og sørøstlige retninger er det igjen lenger strøklengde inn mot lokaliteten, slik at vindgenererte bølger over 1 m kan oppstå. Høyeste bølgeeksponering fra disse sørlige retninger er fra 210 grader (1.6 m).

Simuleringene med kombinert sjøtilstand får noenlunde samme eller marginalt mindre bølgehøyder enn med kun lokalt vindgenererte bølger, for alle retninger.

Havdønninger alene gir maksimalt opp til drøye 0.3 m bølger, uansett retning.

Det er altså de lokalt genererte vindbølgene som gir kraftigst bølgeeksponering ved lokaliteten Bjørnøy, uansett retning. Det er først og fremst fra retningene 165 – 240 grader (sørøstlig – vest- sørvestlig) og fra 315 – 75 grader (nordvestlig – sør-sørøstlig) at de vindgenererte bølgene er av betydelig størrelse.

Det er ikke foretatt bølgemodellering med CMS-Wave-modellen for sektorene mellom 90 og 150 grader.

Modelleringene har også vist at øyer og grunne områder nord, vest og sørøst for lokaliteten er effektive når det gjelder å redusere bølgehøyden inn mot interesseområdet. Øyene Landegode og Bjørnøya skjærer lokaliteten Bjørnøy mot bølgeeksponering, spesielt fra sektoren mellom sørvest og nordvest.

Analyse av vinddata fra nærliggende meteorologiske stasjoner (Helligvær og Bodø) tilsier at det er relativt sjelden kraftig eksponering overfor vind fra 45 grader (Leikvin, 2015). Hyppigheten er liten, og vindstyrken vesentlig lavere enn verdien funnet med metodikken til norsk standard for vindlaster NS-EN 1991 (2009) har gitt. Modellsimuleringer med mer realistiske inngangsverdier for vind basert på disse faktiske måleserier som vist i Leikvin (2015), gir for eksempel en reduksjon av vindgenerert bølge ved lokaliteten Bjørnøy fra 2.8 m med standard-metoden til 2.3 m med bakgrunn i måleseriene for vind.

Referanser

- Eriksen, S.D., 2014. *Strømmåling Lofoten Sjøprodukter AS. Lokalitet Bjørnøy; vannutskifting-, spredning- og bunnstrøm*. Akvaplan-niva rapport no. 6869.02. 6 sider.
- Eriksen, S.D., 2016. *Lokalitetsrapport, lokalitet 34997 Bjørnøy. Lofoten Sjøprodukter AS, Revidert 22.04.2016*. Akvaplan-niva rapport no. 7589.03. 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.
- Leikvin, Ø., 2015. *Notat APN vind Bjørnøy Bodø 2015*. Akvaplan-niva notat. Prosjekt 7770. 9 sider.
- 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, 2011.
- 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.