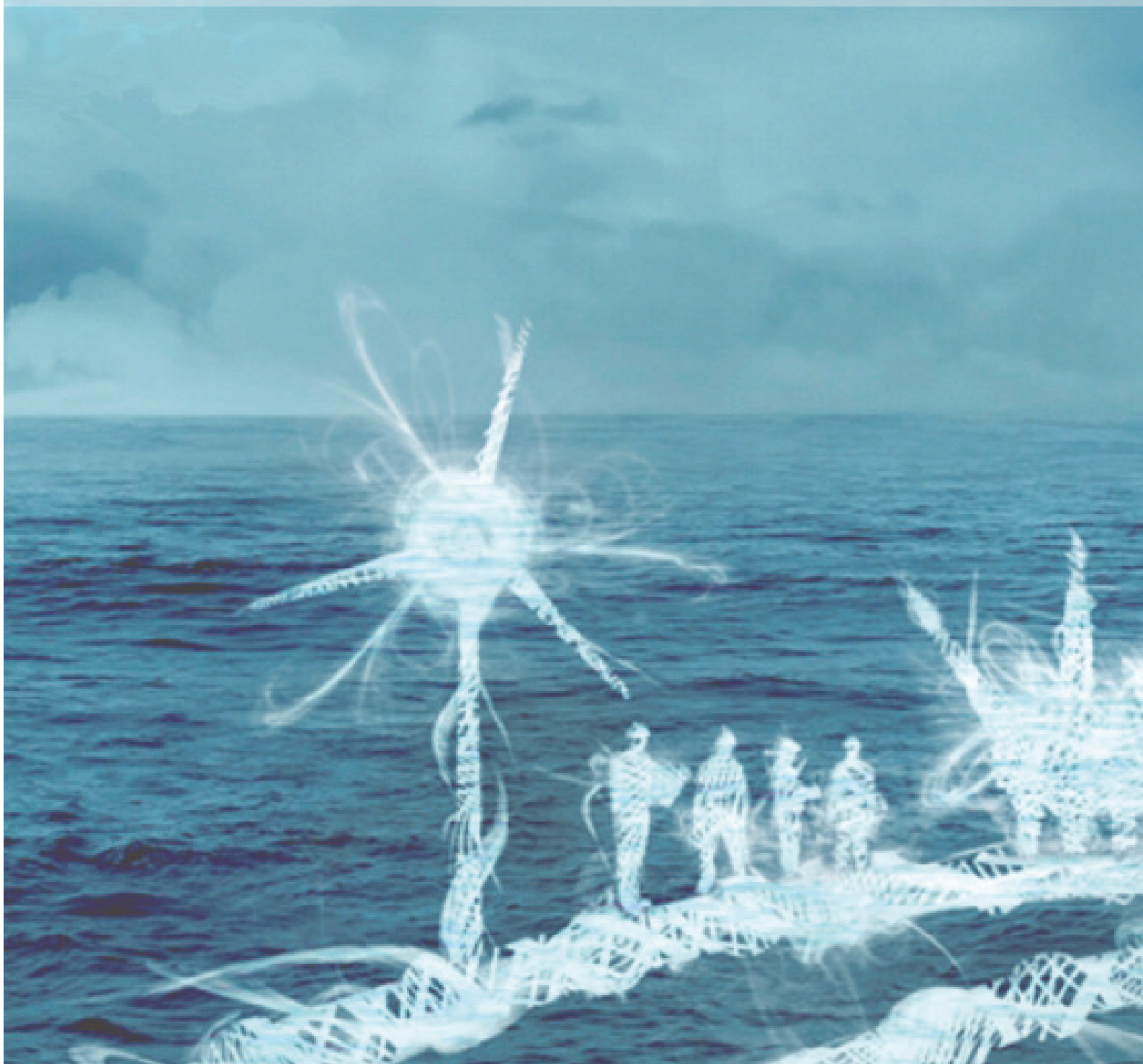


MEMO
SYREVÅGEN BØLGEBEREGNING



M E M O

9. mars 2018

Til Ståle Landaas, Syre Båtforening
Fra Øistein Johnsen, Uni Research Polytec

TITTEL **Syrevågen bølgeberegning**

SAMMENDRAG

Bakgrunn

Det foreligger plan om utbygning av eksisterende kaiområder i Syrevik, innerst i Syrevågen på Karmøy, Rogaland. I henhold til søknad og Karmøy kommunes plandokumenter innebærer utbygningen forlengelse av kai samt en pir omtrent 90° på det kommende kaianlegget, fra land og 20 m ut i munningen på Syreviken. Det er fremmet krav om tredjepartsvurdering av bølgeforhold i det aktuelle området og mulige påvirkninger på bølgemiljø som følge av utbyggingen.

Oppgaver

- Samle inn vinddata.
- Vinddataene er analysert for å oppnå langtids vindstatistikk.
- Beregne bølgehøyder i det aktuelle området
- Signifikante bølgehøyder med 1, 10 og 100 års retur periode er fastsatt.

Konklusjon

- Den 100-årige signifikante bølgehøyde er funnet å være 0.43 m og tilhørende spektral peak periode 1.76 s.
- Det kan argumenteres for at de langsiktige anslagene som gis, kan anses som konservative verdier for bølgehøydene i Syrevågen.

INNHOLD

Definisjoner	- 6 -
1 Introduksjon	- 7 -
2 Resultater	- 9 -
2.1 Vind	- 9 -
2.2 Bølger	- 13 -
2.3 Langtids bølgestatistikk	- 14 -
3 Weibull-fordelingen	- 15 -
4 Beregningsmetode for bølgehøyder	- 16 -
5 Referanser	- 19 -

DEFINISJONER

Statistikk

- **Returperiode:** gjennomsnittlig tidsintervallet mellom to påfølgende overstigninger av verdien til en statistisk variabel.
- **Weibull-fordelingen:** sannsynlighetsfordelingsfunksjon.

Vind

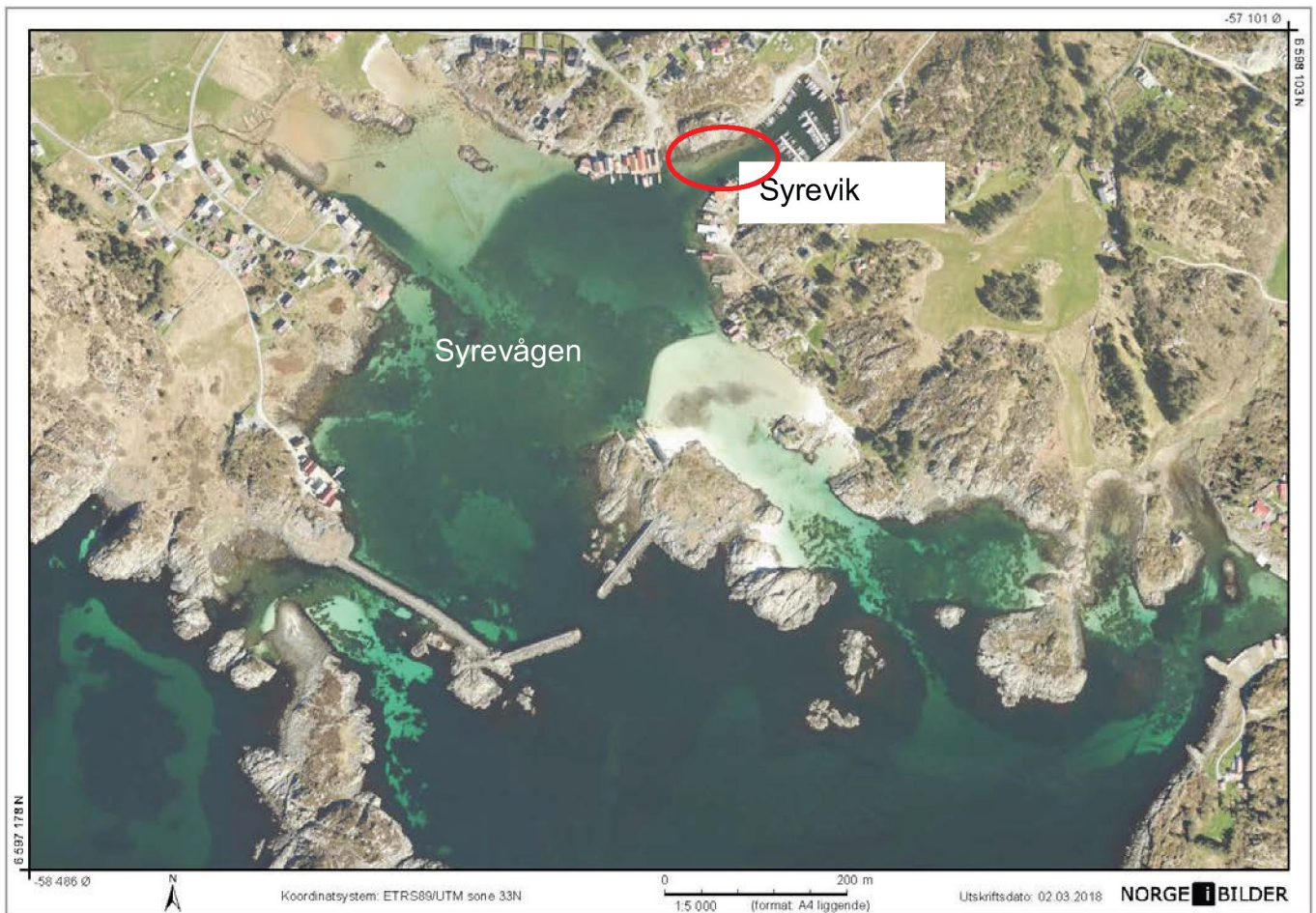
- **Vindretning:** retning som vinden blåser.
- **Vindkast:** midlertidig endring i vindhastigheten.
- **Vindrose:** en figur som viser prosent fordelingen av vindhastighet innen hver 30° sektor.
- **Vindhastighet:** Gjennomsnittlig hastighet for vind over en gitt snitt periode.

Bølger

- **Strøk:** lengden på området i retning av vinden som genererer bølger.
- **Maksimal bølgehøyde:** den høyeste verdien av bølgehøyder i et datasett.
- **Refleksjon:** fralands retur av en bølge i møte med et bratt svaberg, barriere eller lignende.
- **Sjøtilstand (sjøgang):** tilstanden til havet der statistiske egenskaper er tilnærmet konstant.
- **Signifikant bølgehøyde:** bølgehøyde beregnet 4 ganger standardavviket for høyden. (Gjennomsnittet av den høyeste tredjedel av bølgene i en post, også kalt signifikant bølgehøyde, er 5% lavere.)
- **Dønning:** sjøgang der bølgene er generert av vind ekstern fra området i stedet for genereres lokalt.
- **Signifikant bølgeperiode:** gjennomsnittlig period av den høyeste tredjedelen av bølgene i et datasett.
- **Bølgeretning:** retning som bølgene reiser.
- **Bølgehøyde:** den loddrette avstanden mellom bølgetopp og påfølgende bølgebunn.
- **Bølgeperiode:** 1) tiden det tar for en bølge å flytte en avstand på en bølgelengde. 2) tiden mellom passering av to bølgekammer forbi et fast punkt.

1 INTRODUKSJON

Det foreligger plan om utbygning av Syre Båtforenings eksisterende kaiområder i Syrevik, innerst i Syrevågen på Karmøy, Rogaland. Ihht plandokumentene innebærer utbygningen forlengelse av kai (KAI1) samt en pir (SBS4) omtrent 90° på det kommende kaianlegget, fra land og 20 m ut i munningen på Syreviken. Se oversiktsbilde for orientering (Figur 1) og plantegninger (Figur 2) nedenfor. Det vil graves langs land i anleggsområdet for å oppnå en ~2 m dybde. Piren er tenkt pælet (åpen under dekke) og kledt med trespjeld i forkant.



Figur 1: Oversiktsbilde av Syrevågen på sør Karmøy, Rogaland. Syre Båthavn ligger innerst i Syreviken, i den nordøstlige delen av vågen.



Figur 2: Plantegning for de planlagte arbeidene ytterst i Syreviken.

Det foreligger krav fra kommunen om å redegjøre for bølgeforhold og eventuell påvirkning på lokale bølgeforhold som resultat av utbygningen. Analysen presentert i dette dokumentet vil bistå med vind- og bølgedata som beslutningsgrunnlag og endelig utforming av piren.

Bølgedata er ikke tilgjengelig for Syrevågen og må derfor beregnes. Syrevågen er beskyttet mot tungsjø (dønninger) av en molo, og Syrevik ligger ytterligere beskyttet innerst i den nordøstlige delen av vågen. Det er derfor rimelig å anta at sjøtilstanden er fullt styrt av vindhastigheten, vindens varighet og lengde over vann som vinden blåser (strøket). Det forventes derfor at man kun opplever nevneverdig bølgepågang fra sørvestlig retning (sammenfallende med vindretning).

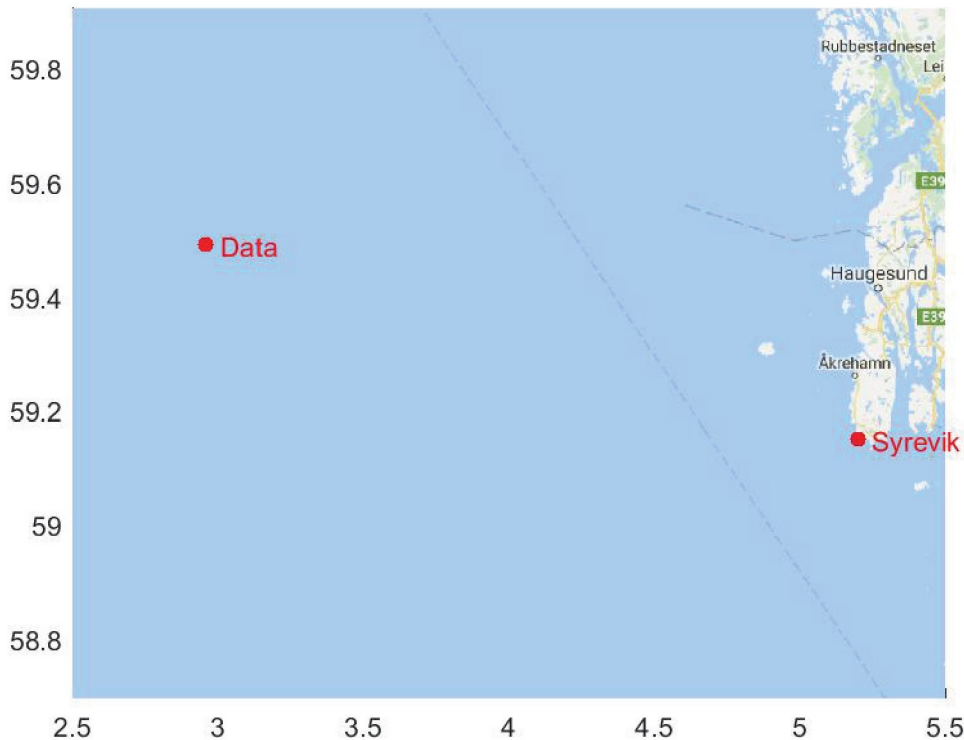
Resultatene av analysen er oppgitt i kapittel 2. Det teoretiske grunnlaget og metode brukt i analysen er presentert i kapittel 3 and 4.

2 RESULTATER

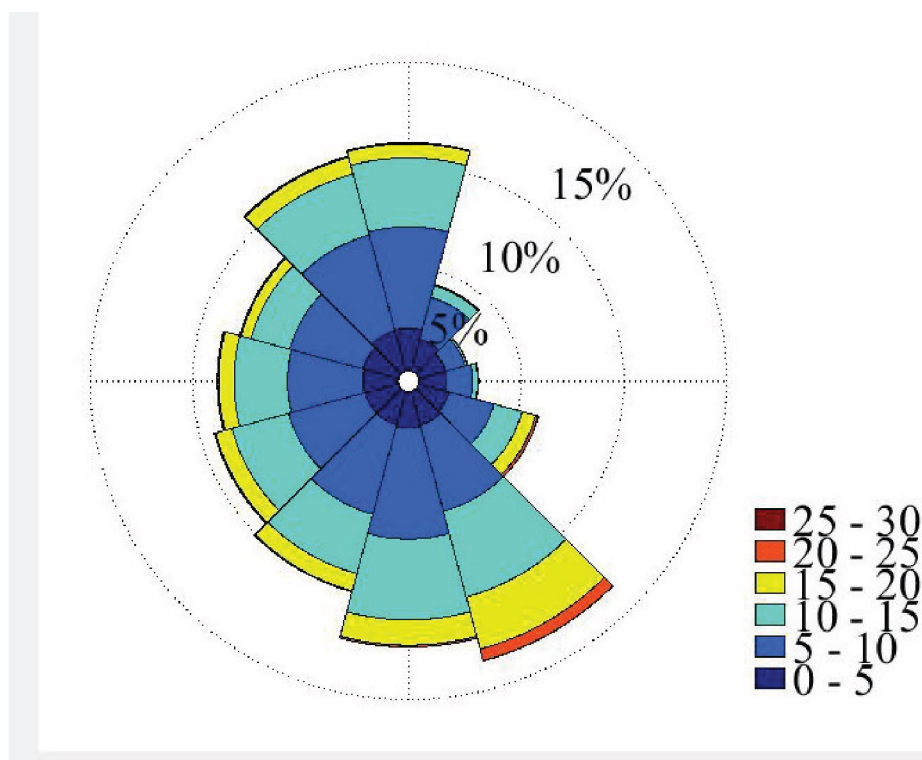
2.1 VIND

Vinddata fra Syrevågen er ikke tilgjengelig. Vi antar at offshore vinddata vest for Haugesund (Figur 3) er representative for nordlige, vestlige og sørlige vinder. Disse data er tilgjengelig og dekker perioden 1957-2015 med 1 time oppløsning.

Figur 4 viser et retningsdiagram (vindrose) for vindstyrken ved offshorepunktet for perioden 1957-2015. Vindrosen fremstiller prosentvis observasjoner, i dette tilfelle vindstyrke, innen hver 30° sektor. Den årlige retningsfordelingen av vindhastighet ved offshorepunktet er gitt i Tabell 1. Langtidsstatistikk for vind er gitt i Tabell 2 sammen med parametrene som inngår i sannsynlighetsfordelingen



Figur 3 Kart over ytre Haugalandet og utenforliggende havområde. Syreviken (WGS84 desimal (lat, lon): 59.15, 5.23) og punkt for vinddata ('Data', WGS84 desimal (lat, lon): 59.49, 2.96) er markert med rødt.



Figur 4 Retningsdiagram (vindrose) for vindstyrken ved offshorepunktet for perioden 1957-2015.

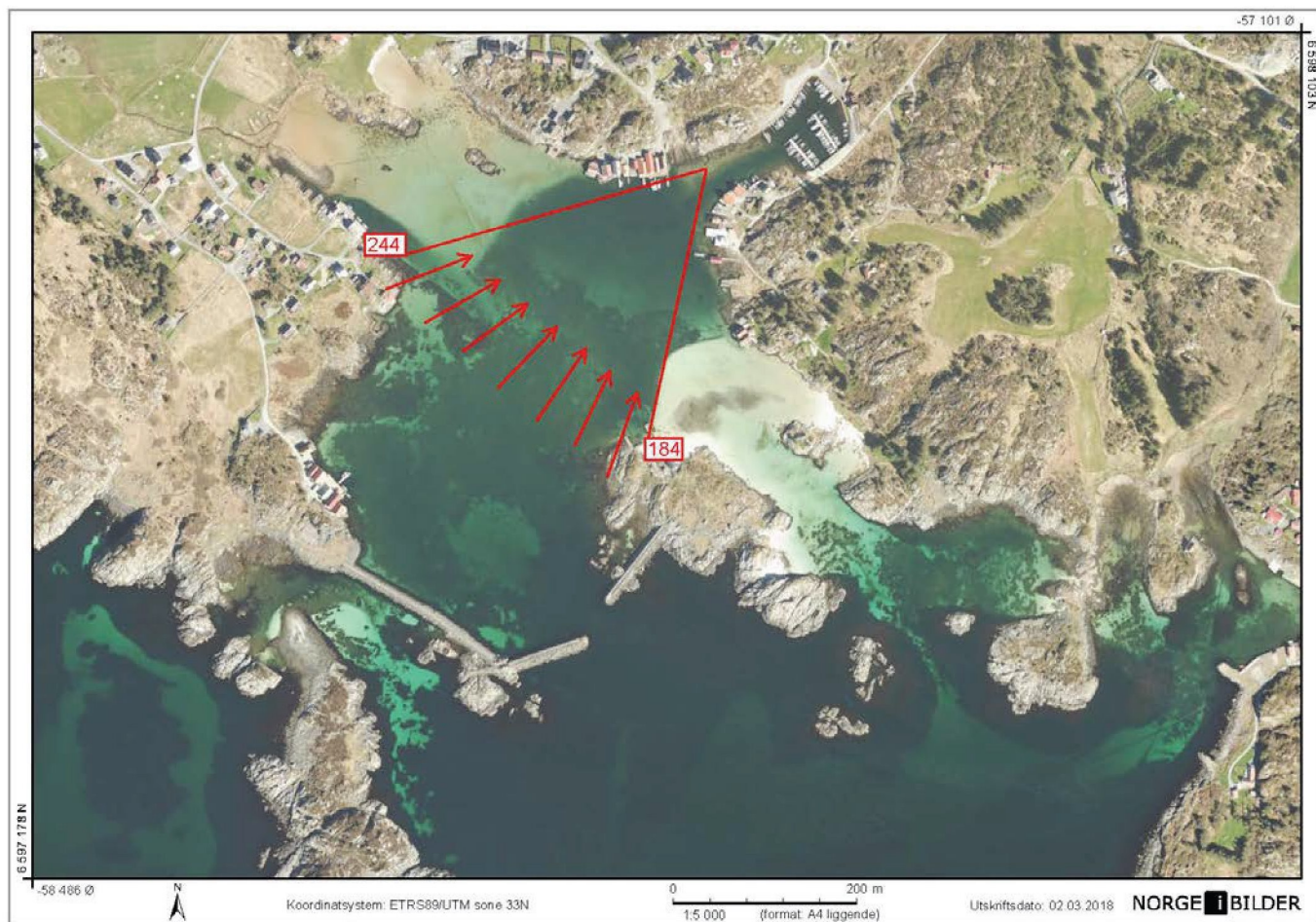
Tabell 1 Årlig retningsfordeling av vindhastighet ved offshorepunktet. Den prosentvise fordelingen reflekterer sannsynligheten for at vindhastigheten er under terskel gitt i første kolonne. Vindhastigheten er 10 minutter middelerdi, 10 m over havnivå. 0° er definert som nord, og økende vinkel med urviseren.

Vind [m/s]	Vindretning												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	Omni
<2	0.29	0.26	0.28	0.27	0.27	0.27	0.26	0.23	0.27	0.27	0.26	0.29	3.23
<4	1.29	1.07	0.99	0.96	1.04	1.08	1.08	1.04	1.08	1.11	1.14	1.25	13.13
<6	3.01	2.18	1.72	1.74	2.07	2.45	2.67	2.48	2.38	2.40	2.55	2.91	28.57
<8	4.98	3.11	2.15	2.30	3.03	4.17	4.91	4.37	3.95	3.90	4.12	4.89	45.89
<10	7.01	3.73	2.36	2.63	3.81	6.04	7.18	6.20	5.54	5.39	5.48	6.86	62.23
<12	8.79	4.08	2.44	2.78	4.44	7.87	9.12	7.72	6.94	6.70	6.56	8.49	75.93
<14	10.00	4.27	2.46	2.86	4.98	9.56	10.61	8.81	8.02	7.66	7.21	9.56	86.00
<16	10.64	4.35	2.48	2.90	5.42	11.05	11.57	9.50	8.71	8.26	7.60	10.19	92.66
<18	10.94	4.38	2.48	2.91	5.72	12.25	12.12	9.90	9.08	8.60	7.82	10.57	96.78
<20	11.07	4.38	2.48	2.91	5.89	12.99	12.36	10.07	9.23	8.75	7.94	10.74	98.80
<22	11.11	4.39	2.48	2.91	5.97	13.37	12.43	10.10	9.28	8.81	7.98	10.79	99.62
<24	11.12	4.39	2.48	2.91	6.01	13.53	12.45	10.11	9.29	8.82	8.00	10.80	99.91
<26	11.12				6.03	13.57	12.45	10.11	9.29	8.82	8.01	10.81	99.99
<28	11.12				6.03	13.57		10.11	9.30	8.82	8.01	10.81	100.00
<30	11.12				6.03	13.57				8.82		10.81	100.00
Total	11.12	4.39	2.48	2.91	6.03	13.57	12.45	10.11	9.30	8.82	8.01	10.81	100.00
Snitt	8.72	6.45	4.95	5.66	8.81	11.00	9.41	9.02	9.08	8.93	8.30	8.79	8.90
Maximum	28.60	22.50	22.70	22.50	28.00	28.00	25.60	27.10	26.10	28.50	27.10	28.50	28.60

Tabell 2 Retningsbestemte og omni-retningsbestemte Weibull-parametre og tilhørende ekstremverdier for 1 time midlere vindhastighet 10 m over havnivå på offshore datapunkt. Varighet på hendelsen er 1 time.

Retning	Sektor sanns. [%]	Weibull-parametre			Årlig sannsynlighet for overskridelse			
		Form	Skala [m/s]	Pos [m/s]	0.63 [m/s]	10 ⁻¹ [m/s]	10 ⁻² [m/s]	10 ⁻⁴ [m/s]
-	-	-	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
0°	11.12	2.220	9.626	0.000	23.0	26.1	28.9	33.7
30°	4.39	2.001	8.420	0.000	20.5	24.2	27.4	32.8
60°	2.48	1.721	5.924	0.425	16.2	19.8	23.0	28.5
90°	2.91	1.510	7.139	0.470	22.7	28.4	33.6	42.9
120°	6.03	1.924	10.800	0.000	28.0	33.0	37.3	44.8
150°	13.57	2.207	11.662	0.000	28.3	32.2	35.5	41.3
180°	12.45	2.308	11.088	0.000	25.8	29.1	32.1	37.1
210°	10.11	2.337	10.381	0.000	23.6	26.7	29.4	34.0
240°	9.30	2.260	10.249	0.000	23.8	27.1	30.0	34.9
270°	8.82	2.181	10.023	0.000	23.9	27.4	30.4	35.6
300°	8.01	2.160	9.776	0.000	23.3	26.8	29.9	35.0
330°	10.81	2.233	9.854	0.000	23.3	26.6	29.4	34.2
0° - 360°	100.00	2.102	10.100	0.000	28.8	32.1	35.1	40.3

Vindretningene som forventes å kunne sette opp vindsjø av betydning inn mot Syreviken og det aktuelle anleggsområdet er begrenset til sørvestlig retning, fra ca 184° til 244°, som vist i Figur 5. Dette er ifølge vindstatistikken retninger som har noe lavere sannsynlighet enn nordlige og sørlige vinder, samt noe lavere forventet vindhastighet enn de mest dominerende vindretningene.



Figur 5 Vindretninger som kan påvirke sjøtilstand inn mot båthavnen i Syrevik er avgrenset til 184° – 244° (0° er definert som nord).

2.2 BØLGER

Signifikante bølgehøyder og tilhørende bølgeperiode beregnes som en funksjon av vindhastighet, vindretning og strøklengde som beskrevet i Kapittel 4. Påfølgende tabeller (Tabell 3 - Tabell 5) viser signifikant bølgehøyde og bølgeperiode for vindhastigheter fra 10 til 30 m/s for retninger fra 150° til 270° inn mot Syreviken og det planlagte kaiområdet.

Tabell 3 Signifikant bølgehøyde (H_{m0}) og bølgeperiode (T_p) inn mot Syreviken som funksjon av vindhastighet (U) ved vindretninger 150° og 180°.

Vindretning 150°				Vindretning 180°		
U	H_{m0}	T_p		U	H_{m0}	T_p
[m/s]	[m]	[s]		[m/s]	[m]	[s]
10	0.03	0.94		10	0.08	1.08
12	0.04	1.02		12	0.10	1.16
14	0.04	1.09		14	0.12	1.24
16	0.05	1.15		16	0.14	1.31
18	0.06	1.21		18	0.16	1.38
20	0.07	1.27		20	0.19	1.44
22	0.08	1.32		22	0.21	1.51
24	0.09	1.37		24	0.24	1.57
26	0.10	1.42		26	0.27	1.62
28	0.11	1.47		28	0.30	1.68
30	0.12	1.52		30	0.32	1.73

Tabell 4 Signifikant bølgehøyde (H_{m0}) og bølgeperiode (T_p) inn mot Syreviken som funksjon av vindhastighet (U) ved vindretninger 210° og 240°.

Vindretning 210°				Vindretning 240°		
U	H_{m0}	T_p		U	H_{m0}	T_p
[m/s]	[m]	[s]		[m/s]	[m]	[s]
10	0.11	1.12		10	0.09	1.07
12	0.14	1.2		12	0.11	1.16
14	0.17	1.28		14	0.13	1.23
16	0.20	1.36		16	0.16	1.31
18	0.23	1.43		18	0.18	1.37
20	0.26	1.5		20	0.21	1.44
22	0.30	1.56		22	0.24	1.5
24	0.34	1.62		24	0.27	1.56
26	0.37	1.68		26	0.30	1.61
28	0.41	1.74		28	0.33	1.67
30	0.45	1.79		30	0.36	1.72

Tabell 5 Signifikant bølgehøyde (H_{m0}) og bølgeperiode (T_p) inn mot Syreviken som funksjon av vindhastighet (U) ved vindretning 270° .

Vindretning 270°		
U	H_{m0}	T_p
[m/s]	[m]	[s]
10	0.04	0.96
12	0.05	1.04
14	0.06	1.1
16	0.07	1.17
18	0.08	1.23
20	0.09	1.29
22	0.10	1.34
24	0.12	1.4
26	0.13	1.45
28	0.14	1.49
30	0.16	1.54

2.3 LANGTIDS BØLGESTATISTIKK

Langtids bølgestatistikk oppnås ved å kombinere den langsiktige vindstatistikken (Tabell 2) og bølgehøydedata gitt i Tabell 3 - Tabell 5. Tabell 6 viser signifikante bølgehøyder inn mot Syreviken og det planlagte kaiområdet for 1, 10 og 100-års retur perioder.

Tabell 6 Signifikant bølgehøyde ved innløpet til Syreviken for 1, 10 og 100-års returperioder.

Sektor	Sektor sanns.	Vindhastighet			Signifikant bølgehøyde		
		1-year	10-year	100-year	1-year	10-year	100-year
	[%]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]
0	11.12	23.0	26.1	28.9			
30	4.39	20.5	24.2	27.4			
60	2.48	16.2	19.8	23.0			
90	2.91	22.7	28.4	33.6			
120	6.03	28.0	33.0	37.3			
150	13.57	28.3	32.2	35.5	0.11	0.14	0.17
180	12.45	25.8	29.1	32.1	0.27	0.31	0.35
210	10.11	23.6	26.7	29.4	0.34	0.39	0.43
240	9.30	23.8	27.1	30.0	0.27	0.31	0.36
270	8.82	23.9	27.4	30.4	0.12	0.14	0.16
300	8.01	23.3	26.8	29.9			
330	10.81	23.3	26.6	29.4			
360	100.00	28.8	32.1	35.1			

Tabell 6 viser at de høyeste bølgene kommer fra sør-vest. Den 100-årige signifikante bølgehøyde er 0.43 m. Den tilhørende bølgeperioden er 1.76 s.

Vindene ved offshorepunktet er sannsynligvis noe høyere i Syrevågen. Bølgehøydene gitt i tabellene kan således betraktes som en øvre grense og en konservativt anslått signifikant bølgehøyde for byggeområdet. Merk at det er vedvarende vind som bidrar til bølgegenerering og ikke vindkast.

Generelt er det ikke ønskelig at signifikant bølgehøyde overskrider 0.25 m i en småbåthavn. Overskridelse kan forekomme ytterst i viken.

Bratte svaberg eller bunnfaste installasjoner kan gi opphav til bølgerrefleksjon. Refleksjon kan skape vanskeligere bølgeforhold og lokalt høyere bølger enn det signifikant bølgehøyde gir uttrykk for og må ikke undervurderes. Geografisk er det ingenting som tilsier at refleksjon vil utgjøre et problem i den utsatte sektoren. En steinsatt eller fullstøpt pir vil kunne medføre refleksjoner av innkommende bølgeenergi og virke negativt på miljøet i umiddelbar nærhet. En pir på pæler vil være et avbøtende tiltak mot bølgerrefleksjon, ved at bølgeenergien passerer og / eller spres.

3 WEIBULL-FORDELINGEN

Den langsiktige sannsynlighetsfordelingen av vindhastighet, signifikant bølgehøyde og strømhastighet er modellert i form av en tre-parameter Weibull-fordeling:

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left[\frac{x - \varepsilon}{\theta}\right]^\gamma\right\} \quad x \geq \max(0, \varepsilon) \quad (3.1)$$

hvor

x	Statistisk variabel
ε	Locationparameter
θ	Skalaparameter
γ	Formparameter

I tilfelle $\varepsilon < 0$; er $F(0) > 0$ hvilket betyr (signifikant) andel av dataene har verdi $x = 0$.

Ekstremverdier, x_R , tilsvarende en returperiode, R, oppnås ved å invertere ligningen (3.1) for en kumulativ sannsynlighet $F = 1 - \tau/pR$, feks.:

$$x_R = \varepsilon + \theta \left[-\ln\left(\frac{\tau}{pR}\right) \right]^{1/\gamma} \quad (3.2)$$

der

τ	Varighet av hendelse [1 time (vind), 3 timer (bølger) eller 10 minutter (strøm)]
p	Sektor- eller månedlig sannsynlighet (= 1/12 for månedlig omni-retningsfordeling)
R	Returperiode

Parametrene i Weibull-fordelingen er anslått ved hjelp av momentmetoden.

4 BEREGNINGSMETODE FOR BØLGEHØYDER

Når data fra bølgemålinger anses mangelfulle eller er ikke-eksisterende for et område er det ofte nødvendig å beregne de forventede bølgehøyder basert på tilgjengelige vindinformasjon. Beregningsmetoden forutsetter at sjøtilstanden er fullt bestemt av vindhastighet, varighet av vind og avstand vinden blåser over vann (strøklengden). Dette er oppfylt for Syrevågen i retning Syreviken. Man kan se bort fra dønninger i området.

Sjøtilstanden beskrives ofte av tre nøkkelparametre:

H_{m0}	Signifikant bølgehøyde
T_p	Spektral peak periode (bølgeperiode)
θ_m	Midlere bølgeretning

Dersom vindens varighet er langt nok, kan alle bølgeparametere som beskriver sjøtilstanden uttrykkes i ikke-dimensjonal form basert på en enkelt parameter, kalt det ikke-dimensjonale strøk;

$$\overline{F} = \frac{gF}{u_*^2} \quad (4.1)$$

der F er strøklengde, g tyngdeakselerasjonen og u_* friksjonshastigheten. Friksjonshastigheten kan uttrykkes i form av vindhastighet U_{10} ved 10 m høyde over havnivå:

$$u_*^2 = C_D U_{10}^2 \quad (4.2)$$

hvor

$$C_D = (0.80 + k_0 U_{10}) \cdot 10^{-3} \quad k_0 = 0.065 \text{ s/m} \quad (4.3)$$

Signifikant bølgehøyde, bølgeperiode og minimum varighet (nødvendig for generering av strøkbegrenset sjø) av vind, T , er i ikke-dimensjonale form gitt av;

$$\overline{H}_{m0} = \frac{gH_{m0}}{u_*^2} \quad (4.4)$$

$$\bar{T}_p = \frac{gT_p}{u_*} \quad (4.5)$$

$$\bar{T} = \frac{gT}{u_*} \quad (4.6)$$

Empiriske resultat for forholdet mellom de ulike ikke-dimensjonale bølgeparameterne har blitt publisert av ulike forfattere. De anbefalte JONSWAP resultatene av Hasselmann et al. er:

$$\bar{H}_{m0} = k_1 \bar{F}^{1/2} \quad k_1 = 0.0506 \quad (4.7)$$

$$\bar{T}_p = k_2 \bar{F}^{1/3} \quad k_2 = 0.903 \quad (4.8)$$

$$\bar{T} = k_3 \bar{F}^{2/3} \quad k_3 = 23.3 \quad (4.9)$$

Usikkerheten i bølgeberegningene er typisk $\pm 10\%$. Usikkerheten i beregnet bølgeperiode er generelt noe høyere.

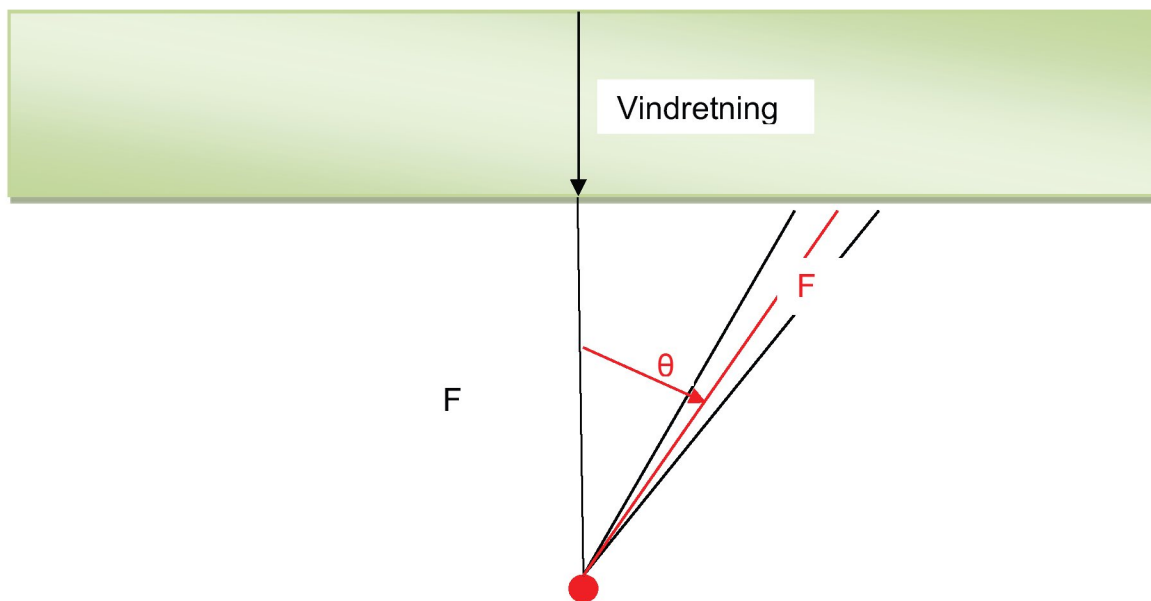


Figure 1 Sektorinndeling for vindretning ved beregning av den totale bølgeenergien i et gitt punkt.

I tilfeller med ved uregelmessige strøklengder deler vi sjøområdet inn i sektorer med omtrentlig konstant strøklengde. Bølgeenergiens bidrag beregnes for hver sektor og legges sammen for å bestemme den totale energien på stedet av interesse som angitt nedenfor:

$$H_{m0} = \sqrt{\sum_{i=1}^n P_i H_{m0,i}^2 (F \cdot \cos(\theta_i - \theta_w), U)} \quad (4.10)$$

hvor

(4.11)

$$P_i = \int_{\theta_{i,low}}^{\theta_{i,high}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\theta_i - \theta_w)^2}{2\sigma^2}\right) d\theta$$

θ_i er midlere retning, $\theta_{i,low}$ laveste grense og $\theta_{i,high}$ øvre grense i retning av i-te sektor. θ_w er vindretning og σ er standardavviket av retningsfordelingen av bølgeenergien. Det anbefales at σ velges til $\sigma = 25^\circ$.

Området som forventes å kunne bidra med bølger inn mot Syrevågen er begrenset. Vi har valgt å dele området inn i 6 10° sektorer fra 184° til 244° . Vi legger til grunn vindhastigheter opp til 30 m/s i de innkommende retningene 150° , 180° , 210° , 240° og 270° . Nord er definert som 0° .

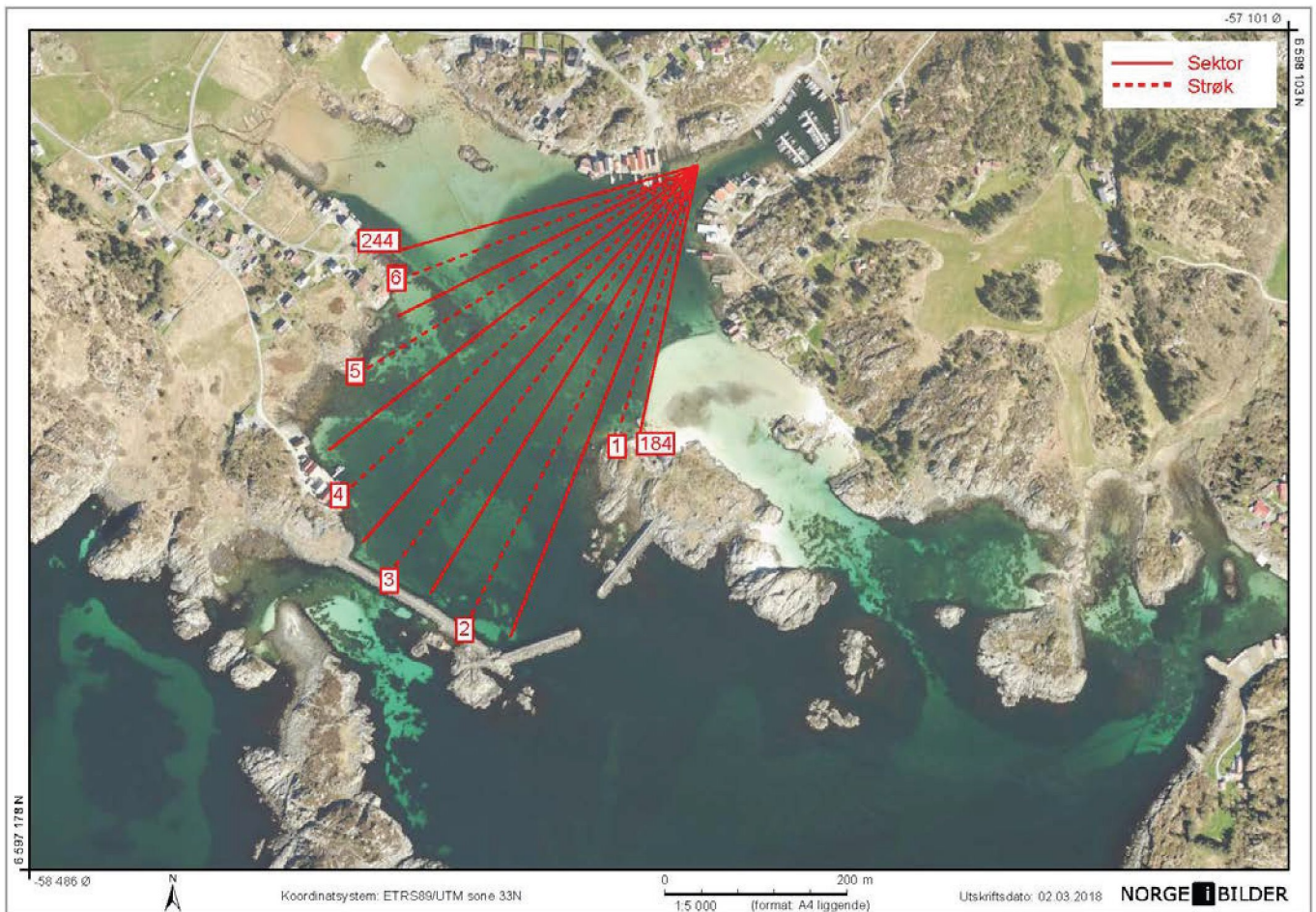


Figure 2 Sektorinndeling for bølgeberegning i Syrevågen.

5 REFERANSER

Data kilder

Norwegian Meteorological Institute, NORA10.

Rapporter and journalartikler

Hasselmann, K, Barnett, T P, Bouws, E, Carlson, H, Cartwright, D E, Enke, K, Ewing, J A, Gienapp, H, Hasselmann, D E, Kruseman, P, Meerburg, A, Müller, P, Olbers, D J, Richter, K, Sell, W and Walden, H (1973), Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay During the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe A* (8⁰), Nr. 12, 95 pp.