



**SINTEF Fiskeri og havbruk AS**  
Havbruksteknologi

Postadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse:  
SINTEF Sealab  
Brattørkaia 17B

Telefon: 4000 5350  
Telefaks: 932 70 701

E-post: fish@sintef.no  
Internet: www.sintef.no

Foretaksregisteret: NO 980 478 270 MVA

# SINTEF RAPPORT

TITTEL

**Miljøkriterier på lokalitet**

FORFATTER(E)

Østen Jensen og Egil Lien

OPPDRAGSGIVER(E)

Standard Norge

RAPPORTNR. SFH80 A064058	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Britt Stokke Lønaas	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 82-14-03954-1	PROSJEKTNR. 840154	ANTALL SIDER OG BILAG 18
ELEKTRONISK ARKIVKODE Miljøkriterier på lokalitet-endelig.doc		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Arne Fredheim	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Arne Fredheim
ARKIVKODE	DATO 2005-11-28	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Jostein Storøy, Forskningsjef	

**SAMMENDRAG**

Denne rapporten er en grunnlagsrapport for de anbefalingene og endringene som foreslås i oppsummeringsrapporten for revisjonen av NS 9415.

I denne rapporten blir forskjellige sentrale deler rundt lokalitetsklassifisering av havbruksanlegg vurdert. Det blir gitt anbefalinger for de deler av NS 9415 som omhandler miljølaster, det vil si vind, strøm, bølger og havdønninger.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Havbruksteknologi	
GRUPPE 2	Miljølaster	
EGENVALGTE	Lokalitetsklassifisering	
	Revisjon av NS 9415	

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>3</b>
1.1	Beregning av vind og vindgenererte bølger	3
1.2	Effektiv strøklengde	3
1.3	Havdønninger	3
1.4	Strøm	3
1.5	Bølgespektre i fjorder	4
<b>2</b>	<b>Beregning av vind og vindgenererte bølger</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Effektiv strøklengde og signifikant bølgehøyde</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Havdønninger</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Strøm</b>	<b>11</b>
5.1	Strømkomponenter [4]	11
5.2	Strøm og lokalitetsklassifisering	11
5.3	Eksempel på årstidsvariasjoner	13
5.3.1	Målinger foretatt over et helt år	13
5.3.2	To måleperioder ved kystlokalitet	13
5.4	Krav til utregning av dimensjonerende strøm og minimumsverdi	15
<b>6</b>	<b>Bølgespektre i fjorder</b>	<b>16</b>
6.1	Valg av bølgespekter	16
<b>7</b>	<b>Referanser</b>	<b>18</b>

## 1 Konklusjon

### 1.1 Beregning av vind og vindgenererte bølger

NS 9415 angir fire forskjellige metoder for å beregne dimensjonerende vindhastighet. Det mest nøyaktige alternativet for vindhastighet på en gitt lokalitet vil være å benytte seg av målinger foretatt på lokalitet forutsatt at man måler over lang nok tid til å få med årstidsvariasjonene på lokaliteten. Kravet i dag er at man skal måle i tre måneder. med en så kort periode er derfor viktig at man måler på høsten eller vinteren slik at man unngår periodene med relativt lav vind (det er ofte mindre vind om sommeren). Et potensielt problem er anlegg som ligger veldig skjermet for vind da bølger genereres over større områder som kanskje ikke er så skjermet. Ved bruk av målt vind på lokalitet for å beregne bølgehøyde, må der derfor kreves en vurdering av at målingen kan benyttes til dette formålet.

### 1.2 Effektiv strøklengde

Metoden brukt i NS 9415 for beregning av vindgenererte bølger er antageligvis konservativ sammenlignet med andre tilgjengelige metoder. En årsak til dette er at det i standarden skiller i liten grad mellom uttrykkene ”strøklengde” og ”effektiv strøklengde”. Dette kan være litt misvisende, da strøklengde er en fysisk størrelse som kan måles på et kart mens effektiv strøklengde er en parameter som kan beregnes ut fra gitte regler.

En metode presentert av Carter gir generelt lavere verdier for samme vindhastighet og strøklengde, og tar i tillegg hensyn til varigheten til vinden. Saville har presentert en metode hvor man kan ta hensyn til fjordens lengde/bredde forhold for å korrigere effektiv strøklengde.

Forutsatt at det er mulig å få bekreftet at Carter bruker samme metode for å beregne strøklengde som metoden brukt i NS 9415 anbefales det å benytte metoden presentert av Carter for utregning av bølgehøyde, inkludert beregning effektiv strøklengde.

### 1.3 Havdønninger

Med havdønninger menes her bølger med relativt lange bølgeperioder. Ved beregning av bølger vil lokale forhold være ekstremt viktig på grunn av refleksjon og diffraksjon og det er derfor vanskelig å gi forenklete metoder for dette. Lange bølger kan være dimensjonerende for lange stive stålanlegg og bør vurderes spesielt for slike anlegg. I tillegg vil havdønninger sette opp et kraftig ”drag” sjøen som kan introdusere store krefter i fortøyning og innfesting mellom not og flyter. Det bør gjøres en vurdering om havdønninger er aktuelt for lokaliteten og dimensjonering av anlegg. Hvis havdønninger anses som viktig bør det gjøres en diffraksjon/refraksjonsanalyse for å beregne aktuell bølgehøyde og periode.

### 1.4 Strøm

Beregning av dimensjonerende strøm på en lokalitet er relativt komplisert. Flere komponenter bidrar til det totale strømbildet. Tidevannsstrøm, vindgenerert overflatestrøm, utbrudd fra kyststrømmen og vårflom på grunn av smelting av snø og is er som regel de viktigste bidragsyterne. Størrelsen på bidragene er årstidsavhengig og uavhengige. Hvis det er dominerende vindgenerert strøm bør det måles om vinteren, mens hvis det er dominerende tidevannsdominert bør det måles rundt vår eller høstjevndøgn.

Det bør innføres et krav om en minimums verdi for dimensjonerende strømhastighet. Det er vanskelig å dokumentere hva denne verdien eksakt bør. Men et utgangspunkt kan være verdien for kyststrømmen (0,4 m/s) og at man legger til en sikkerhetsmargin for vindgenerert strøm. I DNVs tentative regelverk var det et krav om en minimumsverdi for strøm på 0,5 m/s. SINTEF anbefaler at man enten måler strøm i 1 år og bruker langtidsstatistikk til å finne en dimensjonerende strøm for en gitt returperiode. Alternativt måle i kun en måned og finne en dimensjonerende strøm med gitt returperiode basert på dagens metodikk i NS 9415. Hvis den strømhastigheten man da kommer frem til er mindre enn 0,5 m/s må man allikevel bruke en dimensjonerende strømhastighet på 0,5 m/s. Kommer man frem til en strømhastighet som er større enn 0,5 m/s skal man naturligvis bruke den.

Vår anbefaling er at det bør benyttes en returperiode på 50 år også for dimensjonerende strøm.

### 1.5 Bølgespektre i fjorder

Generelt vil bruk av kortkammert sjø redusere selve bølgebelastningene på merder. Årsaken er at merdene er så store belastningen langs periferien vil ha liten korrelasjon selv på tvers av bølgeretningen. Dette gir spesielt utslag på dimensjonering av fortøyning.

Unntaket er for hengslede stålanlegg. Her vil en kortkammert betraktning medføre store andre ordens tvungne deformasjoner av bryggelementene. En forenklet metode utviklet av SINTEF vil bli presentert i rapporten som omhandler interaksjon og totalsystem.

Innaskjærs vil både vind og bølger være vesentlig påvirket av landtopografien. Generelt vil bølgespektrene gjerne bli bredere enn man har i åpent farvann. Av den grunn ser vi det formålstjenlig å benytte enklere bølgespektermodeller hvor vi gjerne har en bredere topp, dvs. at vi fordeler bølgeenergien over et større spektrumsområde. Vi vil anbefale å benytte et 2 parameter PM spekter evt. 2 parameter ITTC spekter basert på signifikant bølgehøyde og periode.

Generelt vet vi at i lange uniforme fjorder vil sjøen være langt mer kortkammert dersom vinden blåser på tvers av fjorden enn om den blåser på langs, dette skyldes nok at variert land topografi vil gi stor variasjon i vindretning. Det er uklart om det finnes målinger på dette men det er enkelt å observere.

Hvis slike data ikke er å oppdrive kan det benyttes forenklede modeller basert på enkle topografibetraktninger. Det kan for eksempel benyttes en spredningskoeffisient på 8 ( $\cos^8$ ) for sjø på langs og 2 ( $\cos^2$ ) for sjø på tvers av en fjord. Likeledes bør koeffisienten for ytre skjærgård kunne settes konstant (for eksempel lik 3).

## 2 Beregning av vind og vindgenererte bølger.

Ved beregning av vindgenererte bølger gir NS 9415 [2] fire alternativ for hvordan vindhastighet kan beregnes. Nummereringen refererer til § i standarden:

§ 5.5.2 Bruk av fast verdi, 50-årsvind lik 35 m/s hvis ikke empiriske data foreligger for aktuell lokalitet ved prosjektering av hovedkomponenter og totalanlegg. For dimensjonerende last på flåter skal det brukes vinddata fra meteorologiske stasjoner med 50 års returperiode.

§ 5.5.3 Bestemmes i henhold til NS 3491-4 [3].

§ 5.5.4 Måling av vind. Maksimal vindfart skal være angitt som 10 minutters middelvind i referanse høyde 10 meter over sjøoverflaten. Målinger skal skje over en periode på 3 måneder med påfølgende statistisk analyse og ekstrapolering til langtidsstatistikk.

§ 5.5.5 Bruk av vinddata fra meteorologiske stasjoner. Data fra nærmeste eller de to nærmeste skal benyttes. Langtidsstatistisk middelfart skal estimeres ut fra antagelse om 50 års returperiode.

Alternativ 1, å bruke en 50-årsvind lik 35 m/s, er den enkleste og minst arbeidskrevende alternativet, men vil samtidig gi det mest konservative estimatet av vindhastigheten. Denne metoden anses å gi en vindhastighet for beregning av bølger som er god nok.

Alternativ 2, å bruke NS 3491-4 [3] vil nok generelt gi en lavere dimensjonerende vindhastighet for de aller fleste lokaliteter. NS 3491-4 [3] er en standard som brukes ved prosjektering av konstruksjoner. Den gir midlere vindhastighet over 10 minutter, 10 meter over flatt landskap. Denne metoden anses å gi en vindhastighet for beregning av bølger som er god nok.

Alternativ 3, vindmålinger, vindfart skal være angitt som 10 minutters middelvind i referanse høyde 10 meter over sjøoverflaten. Et potensielt problem er at det kun skal måles over tre måneder. Vindhastigheten variere ekstremt over året for enkelte områder. Om man måler i mai, juni og juli vil man nok få helt andre verdier enn om man måler i oktober, november og desember. Beregning av langtidsstatikk basert på en 3 måneders måleserie vil strengt kun gi langtidsdata for den målte perioden. Et potensielt problem er anlegg som ligger veldig skjermet for vind da bølger genereres over større områder som kanskje ikke er så skjermet. Ved bruk av målt vind på lokalitet for å beregne bølgehøyde, må det kreves en vurdering av at målingen kan benyttes til dette formålet.

Alternativ 4, måledata fra meteorologiske stasjoner. Så sant målestasjonen måler hele året, hvilket de sannsynligvis gjør, vil man unngå problem med årstidsvariasjon ved beregning av langtidsstatistikk. Det må kreves en vurdering om relevansen av måledata for den aktuelle lokaliteten, basert på avstand til de meteorologiske stasjonene og topografiske forhold. Generelt vil vindmålinger fra målestasjon gi vinddata med høy nøyaktige hvis lokalitet er nær målestasjon.

Ved estimering av dimensjonerende vindhastighet for vindgenererte bølger kan man koble varighet av vind opp mot generering av bølger ved å ta i bruk en metodikk som tar hensyn til vindens varighet. Et forslag til hvordan dette kan gjøres er gitt i neste kapittel.

### 3 Effektiv strøklengde og signifikant bølgehøyde

I standarden skiller det i liten grad mellom uttrykkene ”strøklengde” og ”effektiv strøklengde”. Dette kan være litt misvisende, da strøklengde er en fysisk størrelse som kan måles på et kart mens effektiv strøklengde er en parameter som kan beregnes ut fra gitte regler.

Mange metoder finnes for hvordan signifikant bølgehøyde skal beregnes ut fra effektiv strøklengde. Den største forskjellen mellom metodene er bestemmelsen av strøklengden, og hvor stor bredde (vinkelåpning) av strøket som skal regnes som aktivt inn mot målpunktet. Mens NVE krever en åpning på  $\pm 90^\circ$ , er tilsvarende åpning i Shore Protection Manual [6] (SPM)  $\pm 12^\circ$ . Innenfor denne sektoren skal strøket inndeles med radielle stråler, og i NVE's metode skal det benyttes en middelværdi med  $\cos^2$ -vektning, mens SPM [6] skal bruke aritmetisk middel.

Et annet forhold som er viktig å merke seg, er at NVE's metode og SPM [6] begge forutsetter at strøket lar seg representere av ett enkelt tall som er en form for vektet middelværdi. For relativt åpne strøk, som tilnærmet sirkulære eller kvadratiske magasiner kan det være en god tilnærming, men for fjorder som er lange og smale kan det være vanskelig å få ett enkelt tall til å representere hele strøket. Det er forholdsvis enklere med SPM-metoden, fordi en sektor på  $\pm 12^\circ$  er lettere å rette inn mot f. eks. en fjordarm enn en sektor på  $\pm 90^\circ$ .

Det har vært en betydelig utvikling i synes på hvilken spredning som bør brukes. SPM [6] angav i 1962 og i 1977 en sektor på  $\pm 45^\circ$  med enkel  $\cos$ -vektning. I 1977-utgaven kom også en korreksjon som innførte en reduksjonsfaktor for lange og smale strøk, denne korreksjonen presenteres senere i dette kapittelet.

I 1984-utgaven av SPM [6] går man imidlertid bort fra dette, og advarer mot bruk av reduksjonsfaktoren på grunn av fjordens lengde/bredde forhold for effektivt strøk. I denne utgaven sies det også klart at  $\cos^2$ -vektningen har vist seg å være for bred, og i et senere tillegg til utgaven anbefales aritmetisk middel innenfor  $\pm 12^\circ$ .

I NS 9415 brukes vindhastigheten beskrevet tidligere og effektiv strøklengde for å estimere signifikant bølgehøyde. Bølgehøyde,  $H_s$  [m], og pikperiode,  $T_p$  [s], beregnes fra vindfarten,  $U$  [m/s], og strøklengde,  $F$  [m] ut fra følgende formler:

$$U_A = 0.71U^{1.23} \quad (1)$$

$$H_s = 5.112 \cdot 10^{-4} U_A F^{1/2} \quad (2)$$

$$T_p = 6.238 \cdot 10^{-2} (U_A F)^{1/3} \quad (3)$$

hvor  $U_A$  [m/s] er her den justerte vindfarten. Spisshetsparameteren,  $\gamma$  [-], kan finnes fra følgende uttrykk:

$$\gamma = 44 (H_s / F)^{2/7} \quad (4)$$

Dette er samme uttrykk som er gitt i SPM [6], som tidligere nevnt spesifiserer SMP [6] at man skal bruke en effektiv strøklengde og et aritmetisk middel innenfor  $\pm 12^\circ$ .

NS 9415 kan gi veldig konservative estimat av bølgehøyden spesielt hvis varigheten til vinden er begrenset. Andre mindre konservative alternativer finnes hvor vindens varighet tas hensyn til.

Tucker presenterer i ”Waves in ocean engineering” [1] et uttrykk for signifikant bølgehøyde hvor vindens varighet også tas med. Disse formlene er basert på JONSWAP resultater [4]. Signifikant bølgehøyde vil da avhenge om det er vindens varighet eller strøklengden som er den begrensende faktor. For sjøtilstander hvor strøklengde er begrensende faktor er bølgehøyde, pikperiode og nullkryssingsperiode gitt ved

$$H_s = 0.0163F^{1/2}U \quad (5)$$

$$T_p = 0.566F^{0.3}U^{0.4} \quad (6)$$

$$T_z = 0.439F^{0.3}U^{0.4} \quad (7)$$

I formel (5), (6) og (7) skal strøklengde gis i km. For sjøtilstander hvor vindens varighet er den begrensende faktor er de gitt ved

$$H_s = 0.0146D^{5/7}U^{9/7} \quad (8)$$

$$T_p = 0.540D^{3/7}U^{4/7} \quad (9)$$

$$T_z = 0.419D^{3/7}U^{4/7} \quad (10)$$

hvor  $D$  er vindens varighet i timer. Ligningene sier at det ikke finnes en unik sammenheng mellom strøklengde og varighet. Settes (5) lik (8) fås en annen sammenheng enn hvis (6) settes lik (9). Bruk av Spisshetsparameteren gir en tredje sammenheng. I situasjoner hvor det kan være usikkert om det er strøklengde eller varighet som begrenser bølgehøyde er det blitt foreslått at sjøtilstanden er begrenset av strøklengde hvis

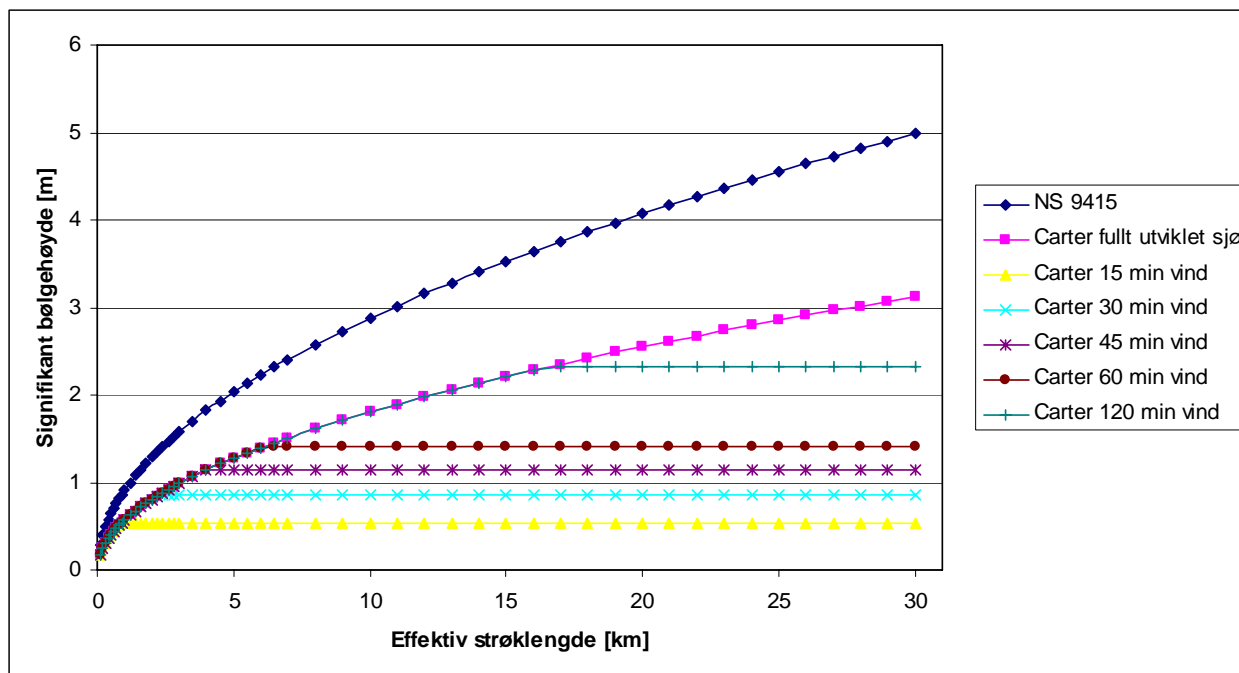
$$D > 1.167F^{0.7}U^{-0.4} \quad (11)$$

Denne sammenhengen er funnet ved å sette (5) lik (8). Ved denne linja vil forskjellen i pikperiode funnet fra (6) eller (9) variere med 3 %. Som regel vil bølgehøyde være viktigere enn pikperioden og variasjonen på 3 % får i praksis liten betydning.

Utrykkene presentert av Tucker [1] kan brukes i de tilfellene hvor vind har blåst med konstant hastighet over

1. hele strøklengden  $F$  over lang nok tid til at det er oppnådd likevekt (for begrenset strøklengde).
2. hele varigheten  $D$  over en lang strøklengde til det er oppnådd likevekt (for begrenset varighet).

Selv om man har en sjøtilstand som er begrenset av strøklengde og ikke varighet vil uttrykkene gitt av Tucker [1] gi en lavere signifikant bølgehøyde enn NS 9415, se Figur 1.



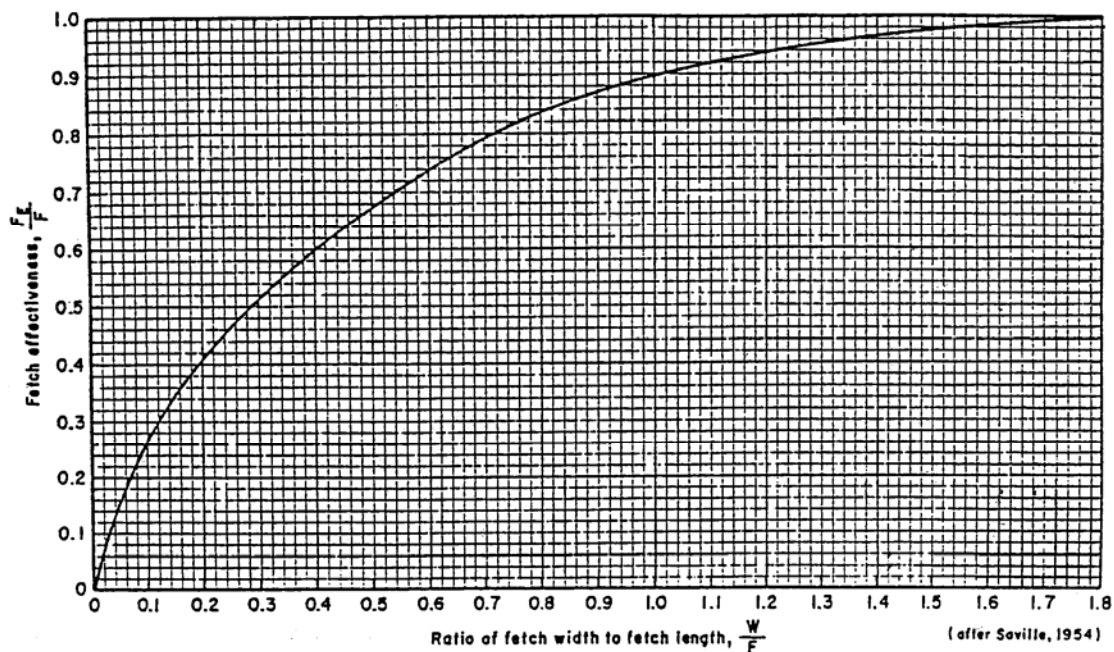
**Figur 1** Signifikant bølgehøyde som en funksjon av strøklengde.

Som Figur 1 viser vil NS 9415 gi veldig høye verdier sammenlignet med Tucker, spesielt for vind med begrenset varighet, forutsatt at man beregner effektiv strøklengde på samme måte. Bølgehøyden bli overestimert med ca 60 %. For vind med kort varighet vil forskjellen bli enda større.

I trange fjordsystemer vil det ikke være mulig å sette opp de samme bølgehøydene som på åpent hav. Det kan være aktuelt å bruke en metodikk presentert av Saville [5] for å korrigere for lengde/bredde forhold til fjorden. Men denne metodikken er utviklet for dammer. Vanndybde i dammer kan være lavere enn i en typisk fjordsystem, samt at strandsone kan være forskjellige i dammer og fjordsystemer. Hvordan disse effektene påvirker reduksjonene til bølgehøyde på grunn av lengde/bredde forhold er uklart. På grunn av forskjeller i fjordsystem og topografi, og noe uklarhet i effekten som reduserer bølgehøyden på grunn av lengde/bredde forhold, bør denne metoden benyttes med forsiktighet og bruken bør dokumenteres.

Figur 2 gir korreksjonsfaktoren som en funksjon av lengde/bredde forholdet til dammen. For en fjord med varierende bredde kan man for eksempel finne en effektiv bredde som tar hensyn til at fjorden har varierende bredde.





**Figur 2 Strøklengde effektivitet som en funksjon av bredde og lengde på fjorden.**

Som Figur 2 viser reduseres den effektive strøklengden for smale fjorder. Plottet i Figur 2 kan beskrives ved en fjerde ordens polynom funksjon gitt i ligning (12).

$$\frac{F_e}{F} = -0.2577 \left( \frac{W}{F} \right)^4 + 1.2434 \left( \frac{W}{F} \right)^3 - 2.3316 \left( \frac{W}{F} \right)^2 + 2.205 \left( \frac{W}{F} \right) + 0.0307 \quad (12)$$

Formelen er gyldig hvis forholdet mellom bredde ( $w$ ) og lengde ( $F$ ) av fjord er mindre enn 1,8. Hvis forholdet er større vil det ikke være noen reduksjon i strøklengde.

#### **4 Havdønninger**

Dette er lange og relativt lave bølger som kommer inn i fjordsystemer og som kan være kritiske for enkelte konstruksjoner, som for eksempel flytende og nedsenkede broer og andre lange stive konstruksjoner. Den anleggstypen som kan få vesentlige belastninger vil være lange slanke stive anlegg som for eksempel røranlegg av typen Rabben. Dette er stive lange røranlegg med forholdsvis liten steghøyde. Rene ”sagging-” og ”hogging-” moment kan være kritiske. Havdønninger vil sette opp et kraftig ”drag” sjøen som kan introdusere store krefter i fortøyning og innfesting mellom not og flyter.

Det er vanskelig å finne forenklede metoder for å bestemme havdønninger innenfor kystlinjen. De lange, lave havdønningene vil påvirkes av variasjoner i vanddyp, grunner, øyer og holmer. Det må benyttes fjordmodeller hvor det tas hensyn til refraksjon og diffraksjon i selve fjordsystemet og det finnes ingen forenklede metoder for dette.

For anlegg som potensielt er utsatt for betydelige belastninger fra havdønninger og bølger fra åpent hav, bør det derfor settes krav til utregning av bølger ved bruk av diffraksjon/refraksjons metoder, for å bestemme belastningene på anlegget. Alternativt kan man gjøre bølgemålinger. Hvis man velger å gjøre bølgemålinger bør disse gjøres over en såpass lang periode at man med god sikkerhet kan bruke langtids statistikk for å beregne dimensjonerende bølgehøyde med 10 og 50 års returperiode.

## 5 Strøm

### 5.1 Strømkomponenter [4]

Det er flere typer krefter som er av betydning for dannelse av strøm og som forandrer strømmen når den først er dannet. Blant de genererende krefter, som altså gir direkte opphav til strømmen, er

- Vindkrefter, lang og kortperiodiske.
- Månens og solens tiltrekningskraft.
- Lufttrykkvariasjoner.
- Krefter på grunn av tetthetsvariasjoner

Av disse er det de to første som vanligvis er de viktigste. Blant årsakene til endring av strøm når den først er dannet, kan nevnes

- Jordas rotasjon (Coriolis-krefter)
- Indre friksjon
- Tyngdekrefter
- Bunnfriksjon
- Topografi

Fokus i denne rapporten vil være på hvilke krefter som genererer strøm og ikke hvordan strøm endres.

”Det spesielle for strøm i forhold til bølger og vind at de ekstreme strømhastighetene ofte er forårsaket av helt andre mekanismer enn de som dominerer jevnt over. Konsekvensen av dette er at de ekstremene nødvendigvis ikke er i samsvar med det måledataene indikerer. Dette gjør at ekstrapoleringer til lange returperioder er en meget tvilsom affære, forutsatt at en ikke har en svært lang tidsserie tilgjengelig.” [4]

Dette betyr at bruk av korte tidsserier som en måned for beregning av dimensjonerende strøm er meget usikkert. Dette bør reflekteres i sikkerhetsfaktorer og beregningsmetodikk.

### 5.2 Strøm og lokalitetsklassifisering

Å bestemme dimensjonerende strømhastighet på en lokalitet er relativt komplisert da strømhastigheten lokalitet kan ha veldig store eller veldig små sesongvariasjoner avhengig av flere faktorer. Ved noen lokaliteter domineres strømbildet av tidevannstrømmen og her vil vær og vind ha liten innflytelse på hastighet og retning til strømmen. Andre plasser vil strømbildet domineres fullstendig av meteorologiske forhold mens noen plasser vil strømhastigheten være størst under når snøen smelter og fjordsystemet tilføres mye vann fra elver.

Tidevannsstrømmen er stort sett lik hele året, men små variasjoner finnes ved vårjevndøgn og høstjevndøgn, sesong innvirkningen på strømhastigheten er relativt liten. Lokaliteter hvor strømsituasjonen domineres av tidevannstrømmen vil vanligvis oppleve små sesongvariasjoner. Strømmen er som regel relativt konstant over vanddypet. Ved trange sund vil ofte

tidevannstrømmen være ganske stor og vil i enkelte tilfeller dominere over bidraget fra vindgenerert overflatestrøm.

Vindgenerert overflatestrøm er vanligvis sterkest i vinterhalvåret. Denne typen strøm blir typisk satt opp av høst og vinterstormer. Hvis stormen har lang nok varighet og stor nok styrke vil masse vann stuves opp og når vinden løyer vil vannet fosse tilbake. Som navnet sier er dette en overflatestrøm som ikke virker veldig langt ned i vanddypet. De fleste oppdrettsanlegg er plassert i overflaten. Det er få nedsenkbare anlegg i bruk i Norge, dermed vil vindgenerert overflatestrøm ha en stor innvirkning på oppdrettsanlegget. I Nordsjøen er det vanlig å regne vindindusert hastighet på overflaten lik 2 % av vindhastigheten i 10 meters høyde [4]. Dette er strøm som vanligvis virker hovedsaklig i overflaten mens vinden står på og ikke virker så veldig langt ned i dypet. Hvis store mengder vann har blitt stuvet opp og kommer fossende ut igjen fra fjordsystemet vil det være vanskeligere å gi en "tommelfingerregel" for hvor stort bidraget til strømhastigheten vil være og bør vurderes for de enkelte tilfellene hvor det kan være aktuelt. Vannstandsmålinger kan for eksempel brukes til å estimere hvor mye ekstra vann som har blitt stuvet opp. Antas det at dette vannet må strømme ut over et gitt tverrsnitt i løpet av en begrenset tidsperiode kan bidrag til strømhastighet beregnes.

Vårflom i forbindelse med is og snøsmelting vil i mange tilfeller bidra kraftig til strømhastigheten. Dette skjer typisk mellom april og juni. Denne effekten kan tidvis være så stor at den dominerer over alt annet. Hvis anleggets lokalitet tilsier at man kan forvente sterk strøm i forbindelse med snø og is smelting bør det vurderes å foreta strømmålinger i denne perioden.

Utbrudd fra kyststrøm vil enkelte steder føre til en enorm økning i strømhastighet. Dette oppstår når man over en lengre periode har relativt kraftig vind fra sør vest og masse vann stuves opp i Kattegat. Når vinden løyer er det enorme mengder vann som skal transporteres. Kyststrømmen som går nordover langs norske kysten øker da kraftig i volum og dette må jo naturligvis gjøres i bredden. Man kan da få utbrudd fra kyststrømmen som går inn i fjordene langs vestlandet. Målinger viser at effektene kan gjøre seg gjeldende relativt langt inn i fjordene. Dette fenomenet har man på vestlandet opp til Statt. Dette skjer vanligvis i forbindelse med høst og vinterstormene. Hyppigheten kan være så høy som hver 14. dag enkelte plasser. Som et eksempel kan nevnes at før utbrudd av fra kyststrømmen ble observert utenfor vestkysten av Norge var estimert 100 års verdi av hastigheten i overflaten 1,0 - 1,5 m/s. Etter denne observasjonen ble 100 års verdien økt til 2,0 - 2,5 m/s [4]. Dette er en hastighets økning på hele 1,0 m/s. Dette understreker viktigheten av å måle strømhastigheten på riktig tid av året og over et såpass langt tidsrom at man får med slike variasjoner.

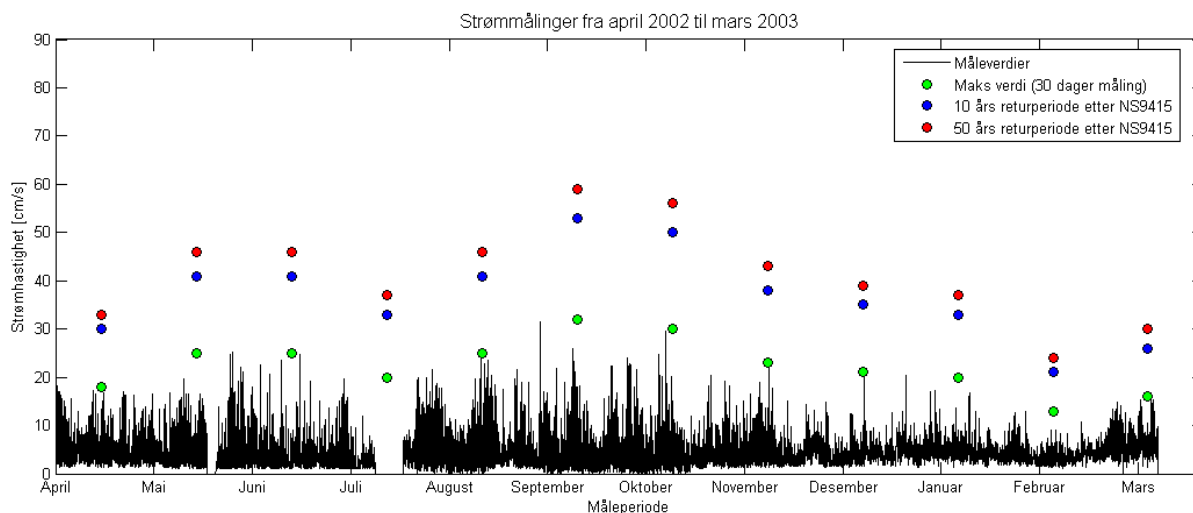
Ved måling i korte perioder som en til tre måneder er det viktig at det måles i riktig tidsrom. Dette vil variere mellom lokaliteter, avhengig av om det er en lokalitet med dominerende vindgenerert eller tidevannsstrøm. Hvis det er dominerende vindgenerert strøm bør det måles om vinteren, mens hvis det er dominerende tidevannsdominert bør det måles rundt vår eller høstjvedøgn.

Dagens ekstrapoleringsfaktorer som er gjengitt i NS 9415, er basert på et utvalg av et års måleserier. Det er gjort en Weibull analyse av måleseriene for å beregne 1, 10, og 50 års maksimalverdier. Basert på disse maksimalverdiene er det så beregnet en faktor for bruk til estimering av ekstremverdier basert på en måned måleperiode. Det er med andre ord stor usikkerhet i bruk av denne metoden.

### 5.3 Eksempel på årstidsvariasjoner

#### 5.3.1 Målinger foretatt over et helt år

Figur 3 viser strømmålinger foretatt over et helt år. Målingene ble foretatt med en Doppler måler og strømhastighet og retning ble logget sammen med saltholdighet, trykk og vanntemperatur. Ved et par perioder ble det ikke registrert verdier (blant annet rett før målingene skulle avsluttes), antageligvis på grunn av problemer med loggeutstyr. I disse periodene er strømhastighet satt lik null i grafen.

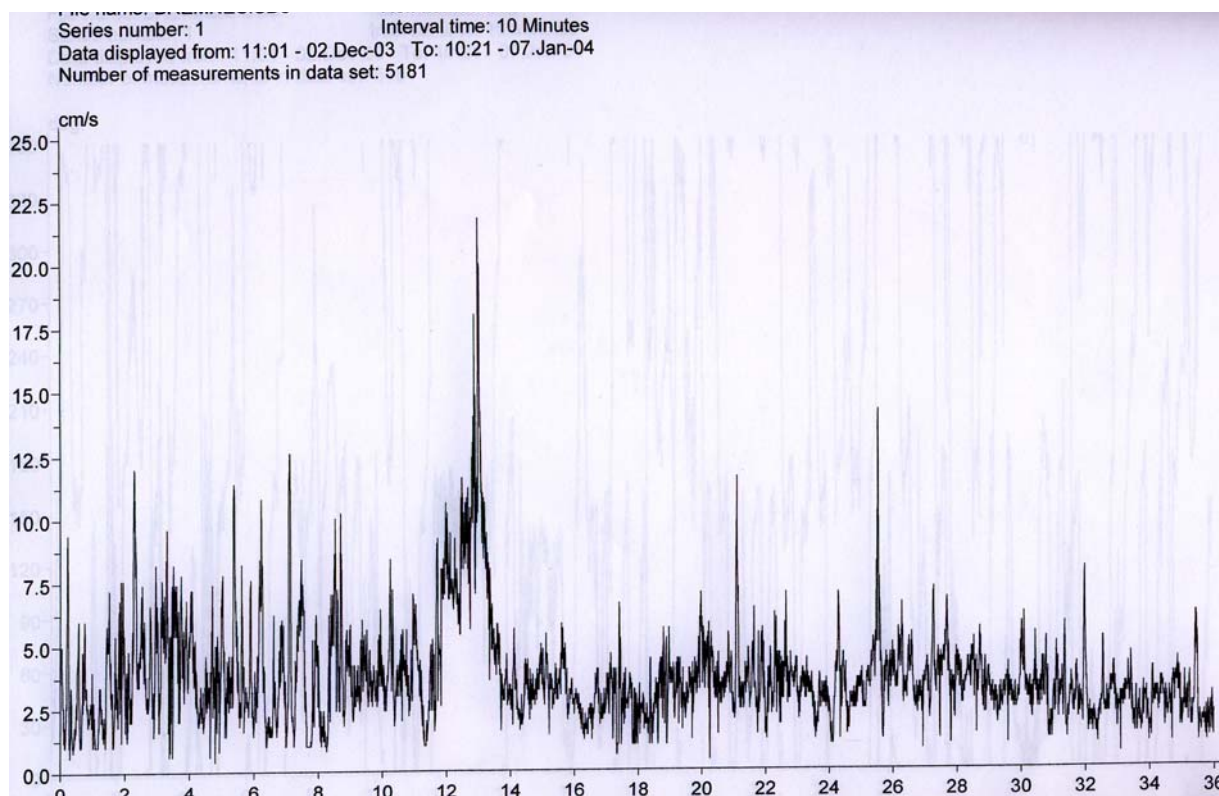


**Figur 3 Strømmålinger over et helt år, maksverdier og 10 års returperiode.**

Som figuren viser er årstidsvariasjonen relativt store. Måleserien ble startet medio april 2002 og avsluttet primo april 2003. Punktene angir den største observerte verdien i løpet av en måleperiode på 30 dager (15 dager før og etter målepunkt). Figuren viser faren med å måle kun en kort periode og deretter kun multiplisere med en faktor for å få dimensjonerende strøm med 10 års retur periode. En måleserie foretatt februar 2003 ville gitt en maks måling på 13 cm/s og dermed en dimensjonerende strømhastighet med 10 års returperiode på  $1,65 \cdot 13 = 21,5$  cm/s. I mai, juni, august, september, oktober og november er største måling større enn det som da ville vært 10 års dimensjonerende strøm ut fra februar målingen. Bakgrunnen for en strømhastighet med 10 års returperiode er at den kun overskrides en gang i løpet av 10 år. I dette tilfellet ble den oversteget minst seks ganger, i enkelte av månedene ble den oversteget mer enn en gang.

#### 5.3.2 To måleperioder ved kystlokalitet

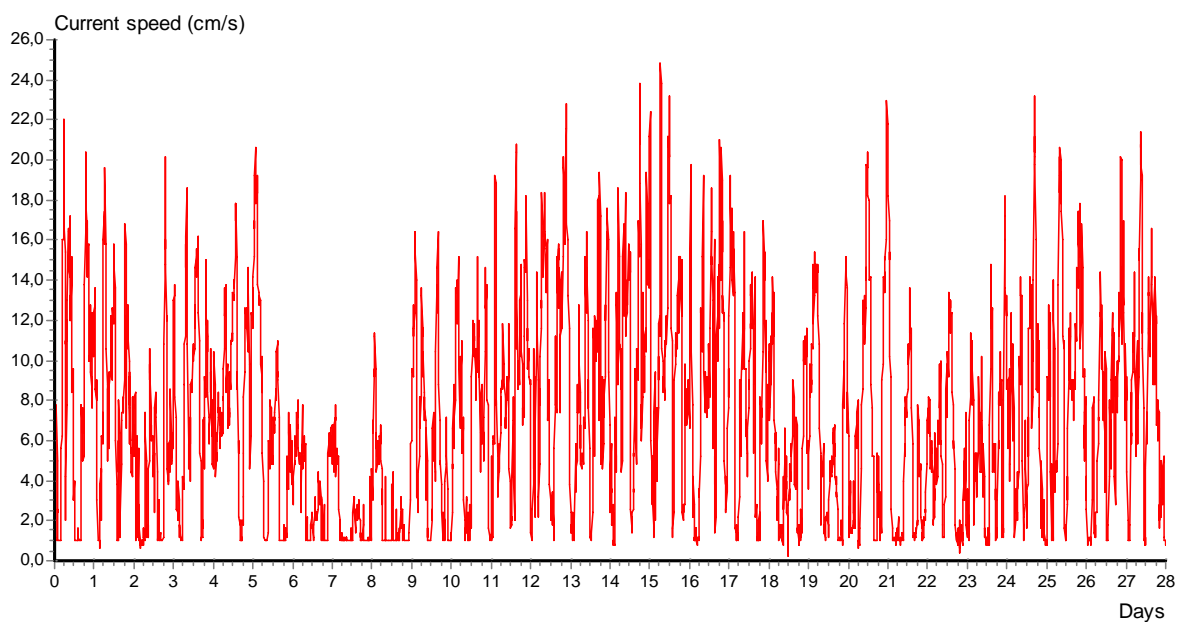
Figur 4 og Figur 5 viser strømmålinger fra en kystlokalitet i Møre og Romsdal. Som figurene viser er variasjonene relativt store i løpet av måleperioden.



**Figur 4 Vinter målinger fra en lokalitet i Møre og Romsdal sommeren 2005.**

Figur 4 viser strømmålinger utført mellom den 2. desember 2003 og 7. januar 2004. Den høyeste målte strømhastigheten var på 22 cm/sek. Kun 0,05 % av målingene ligger over 15 cm /sek. Resten av målingene viste mye lavere verdier.

Series number: 1 Interval time: 10 Minutes  
 Data displayed from: 17:47 - 09.Jul-05 To: 17:47 - 06.Aug-05  
 Number of measurements in data set: 4033



**Figur 5 Sommer målinger fra samme lokalitet.**

Figur 5 viser strømmåling tatt i tidsrommet 9. juli til 6. august 2005. Maksimal strøm ble målt til 25 cm/sek. Nå var hele 7,7 % av målingene mellom 15 og 25 cm/sek.

Som figurene viser er sesongvariasjonen relativt stor. Maksimal verdiene er ikke så veldig ulike, men hyppigheten av høye verdier er mye tettere ved måling nummer to (Figur 5). I og med at antall målinger med høye verdier er såpass liten i den første målingen, se Figur 4, sier det seg selv at med litt uflaks kunne man fått målt en maksimal verdi som er altfor lav og dermed ville dimensjonerende strøm med 10 års returperiode også blitt for lav.

Måleresultatene har blitt vurdert opp mot nærliggende meteorologiske stasjoner uten at det er påvist noen sammenheng mellom målte strømverdier og vindobservasjoner for disse periodene. Eksempelet viser at det å estimere dimensjonerende strømhastigheten på en lokalitet kan være vanskelig spesielt hvis varigheten av målingene ikke er lang nok. Som Figur 4 viser kan man få estimert en altfor lav maks strøm hvis måleperioden er for kort eller på feil tid av året. Før man gjør en lokalitetsklassifisering bør det vurderes når på året man kan forvente sterkest strøm og gjøre målingene på denne tiden av året eller eventuelt kompensere for lave målinger på annet vis.

#### **5.4 Krav til utregning av dimensjonerende strøm og minimumsverdi**

Basert på dokumentasjonen og vurderingene ovenfor er det klart at dagens praksis med strømmåling en tilfeldig måned i året ikke er god nok for beregning av dimensjonerende strøm.

Det er ikke funnet noen dokumentasjon eller underbyggelse for at man bør benytte 10 år og ikke 50 år returperiode for strøm. For anlegg med forventet levetid på 10 – 20 år bør det benyttes en 50 års verdi.

Det bør innføres et krav om en minimums verdi for dimensjonerende strømhastighet. SINTEF mener denne verdien bør settes til 0,5 m/s i den mest utsatte retningen definert ut fra lokal topografi. Det er ikke enighet i FoU prosjektet om denne verdien. Det er vanskelig å dokumentere hva denne verdien eksakt bør. Men et utgangspunkt kan være verdien for kyststrømmen (0,4 m/s) og at man legger til en sikkerhetsmargin for vindgenerert strøm. I DNVs tentative regelverk var det et krav om en minimumsverdi for strøm på 0,5 m/s.

Et alternativt til krav om minimum strøm er måling i seks måneder eller et år benyttet sammen med langtids statistikk (f.eks. Weibull fordeling) for å dokumentere lavere strømhastigheter. Dette vil gi de beste resultatene, men krever større ressurser.

Det bør vurderes å åpne opp for unntak for enkelte spesielle anlegg, f.eks yngel anlegg hvis disse ligger ekstremt godt skjermet. et argument mot dette er at det er indikasjoner som tyder på at det har større miljømessige konsekvenser for villaksen om fisk rømmer som yngel, enn som stor matfisk.

## 6 Bølgespektre i fjorder

### 6.1 Valg av bølgespekter.

Innaskjærs vil både vind og bølger være vesentlig påvirket av landtopografien. Generelt vil bølgespektrene gjerne bli bredere enn man har i åpent farvann. Av den grunn ser vi det formålstjenlig å benytte enklere bølgespektermodeller hvor vi gjerne har en bredere topp, dvs. at vi fordeler bølgeenergien over et større spektrumsområde.

Dette har ikke store implikasjoner på responsen på havbruksanlegg, men det vil i hovedsak redusere antall input parametere i bølgebeskrivelsen. Benyttes eksempelvis Shore Protection Manual evt. Carters metode [1] som begge er basert på strøklengde og vindhastighet, er det resulterende sjøspekteret gitt av  $H_s$  og  $T_m$  evt.  $T_p$ . Sammenhengen mellom  $T_m$  og  $T_p$  er gitt som:

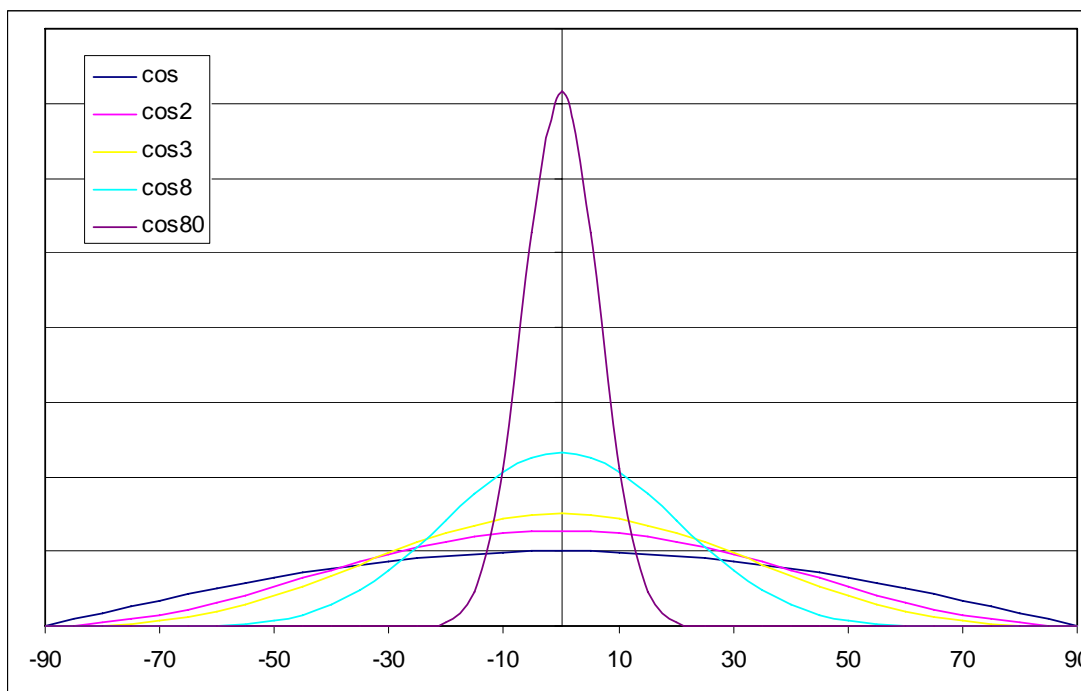
$$T_p = 0,7717 \cdot T_m \quad (13)$$

Vi vil anbefale å benytte et 2 parameter PM spekter evt. 2 parameter ITTC spekter basert på  $H_s$  og  $T_p$ , signifikant bølgehøyde og periode. I og for seg er dette egentlig en spesialversjon av dagens anbefalte JONSWAP spekter, med parameter  $\gamma=1$ . Dette spekteret er bredere enn standard JONSWAP spekter med en lavere peak verdi. Det er på en enklere form og vil gi en større spredning av energien.

Generelt vet vi at i lange uniforme fjorder vil sjøen være langt mer kortkammert dersom vinden blåser på tvers av fjorden enn om den blåser på langs, dette skyldes nok at variert land topografi vil gi stor variasjon i vindretning. Det er uklart om det finnes målinger på dette men det er enkelt å observere.

Hvis slike data ikke er å oppdrive kan det benyttes forenklede modeller basert på enkle topografibetraktninger. Det kan for eksempel benyttes en spredningskoeffisient på 8 ( $\cos^8$ ) for sjø på langs og 2 ( $\cos^2$ ) for sjø på tvers av en fjord. Likeledes bør koeffisienten for ytre skjærgård kunne settes konstant (for eksempel lik 3).





**Figur 6 Spredningskoeffisient.**

Generelt vil bruk av kortkammeret sjø redusere selve bølgebelastningene på merder. Det vil si at den totale bølgebelastningen reduseres. Årsaken er at merdene er så store belastningen langs periferien vil ha liten korrelasjon selv på tvers av bølgeretningen.

Unntaket er for hengslede stålanlegg. Her vil en kortkammer betraktning medføre store andre ordens tvungne deformasjoner av bryggelementene. En til dels ukorrelert vertikal bevegelse av parallelle bryggerer vil gi store skjærdeformasjoner av bryggelementer på tvers. Det ser ut til at disse deformasjonene kan være dimensjonerende med hensyn til bryggenes kapasitet.

Metoder for å ivareta denne effekten bør absolutt inkluderes i standarden. SFH arbeider med å finne forenklete metoder å inkludere denne effekten.

## **7 Referanser**

- [1] Waves in ocean engineering, M.J. Tucker & E.G. Pitt. 2001.
- [2] NS Norsk Standard. NS 9415. Flytende oppdrettsanlegg. Krav til utforming, dimensjonering, utførelse, installasjon og drift. ICS 65.150; 67.260. 1. utgave august 2003. Oslo. 2003.
- [3] NS Norsk Standard. NS 3491-4. Prosjektering av konstruksjoner. Dimensjonerende laster. Del 4: Vindlaster. ICS 91.080.01 1. utgave mai 2002. Oslo. 2002.
- [4] Hydrodynamikk og havmiljø (Kompendium), Dag Myrhaug, august 1994.
- [5] The effect of fetch width on wave generation. Technical Memorandum No. 70, U.S. Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, 9 pp. Saville, T., Jr., 1954.
- [6] US Army CoE, Shore Protection Manual, 1977, 1984 og senere utgaver.