



KYSTVERKET

LASTHÅNDBOK FOR KYSTVERKETS FASTE INSTALLASJONER



KV-2006-01-REV4-03.03.08

1.	INNLEDNING	3
1.1.	GENERELL INFORMASJON	3
1.2.	REFERANSER.....	3
1.3.	GYLDIGHET	4
1.4.	LOVGIVNING.....	4
1.4.1.	Plan og bygningsloven	4
1.4.2.	Lov om kulturminner	5
1.4.3.	Forurensningsloven.....	5
1.4.4.	Havne og farvannsloven.....	6
1.4.5.	Fiskeri-interesser	6
2.	LOKALITETSKLASSIFISERING	7
2.1.	LOKALITETSKLASSIFISERING	7
2.2.	VIND.....	7
2.3.	SNØ.....	9
2.4.	VANNSTAND	9
2.5.	STRØM	9
2.6.	BØLGER	10
2.7.	IS	11
2.8.	TEMPERATURER.....	13
2.9.	MARIN BEGROING	14
2.10.	KARTLEGGING AV DYBDE PÅ SJØLOKALITET	14
2.11.	GRUNNUNDERSØKELSE AV FJELL OG/ELLER SEDIMENT FOR INSTALLASJONER I SJØ.....	14
3.	DIMENSJONERENDE LAST	15
3.1.	GENERELT	15
3.2.	KLIMAFORVERRING	15
3.3.	BRUDDGRENSETILSTANDEN (ULS).....	15
3.4.	UTMATTINGSGRENSETILSTANDEN (FLS).....	16
3.5.	ULYKKESGRENSETILSTANDEN (ALS).....	16
3.6.	BRUKSGRENSETILSTANDEN (SLS).....	16
3.7.	DEFINISJON AV KARAKTERISTISK VERDI FOR LASTER	16
3.8.	LASTFAKTORER	18
3.9.	KOMBINASJON AV MILJØLASTER.....	19
4.	BRUKSLASTER	20
4.1.	GENERELT	20
4.2.	PERMANENTE LASTER.....	20
4.3.	VARIABLE BRUKSLASTER	20
5.	MILJØLASTER	21
5.1.	GENERELT	21
5.2.	LASTER FRA VIND	21
5.3.	LASTER FRA STRØM	23
5.4.	BØLGER NÆR KYSTEN.....	24
5.5.	BØLGER OG DØNNINGER PÅ DYPT VANN	25
5.6.	BØLGER OG DØNNINGER PÅ ENDELIG VANNDYP OG PÅ GRUNT VANN	27
5.7.	BRYTENDE BØLGER	29
5.8.	LASTER FRA BØLGER OG STRØM I SJØ	32
5.9.	LASTER FRA BRYTENDE BØLGER I SJØ, LASTER FRA BØLGESLAG	34
5.10.	ALTERNATIV BEREKNING AV BØLGELASTER.....	36
5.11.	BØLGEOVERSKYLLING PÅ LAND	36
5.12.	SLITASJE FORÅRSAKET AV SANDPARTIKLER I BØLGER.....	39
5.13.	ISLASTER	40
5.14.	LASTER FRA SNØ.....	44
5.15.	TEMPERATURLASTER.....	44
5.16.	HYDROSTATISK TRYKK.....	45
6.	ULYKKESLASTER.....	46

6.1.	INNLEDNING	46
6.2.	PÅKJØRSEL AV BÅT	46
6.2.1.	<i>Dimensjonering mot båtstøt</i>	<i>46</i>
6.2.2.	<i>Kontroll av reststyrke</i>	<i>47</i>
6.2.3.	<i>Krav til bruddmønster</i>	<i>47</i>
6.3.	STØT FRA KYSTVERKETS EGNE FARTØY	48
6.3.1.	<i>Installasjoner på eksponert lokalitet, utsatt for bølger fra åpent hav</i>	<i>48</i>
6.3.2.	<i>Installasjoner på skjermet lokalitet, utsatt for båt- og vind-generert sjø</i>	<i>49</i>
6.4.	DRIVENDE OBJEKT	49
6.5.	BRANN	49
6.6.	EKSPLOSJON	49
7.	TEMPORÆRE LASTER - MARINE OPERASJONER.....	51
7.1.	INNLEDNING	51
7.2.	LØFT MED BÅTKRAN	51
7.3.	TRANSPORT OG LØFT MED HELIKOPTER	52

1. Innledning

1.1. Generell informasjon

Lokalitet : Installasjonens byggeplass, på land eller i sjø.
Installasjon : Et bunnfast fundament for en lykt, på land eller i sjø.
Lykt : Utrustning som normalt monteres på toppen av installasjonen.
Utrustning : All struktur som ikke deltar i lokal/global styrke, pluss fastmontert utstyr og utstyr som midlertidig plasseres på installasjonen.
Karakteristisk last : Last som velges slik at den tilsvarer en foreskrevet sannsynlighet for ikke å bli overskredet i løpet av en valgt referanseperiode, ref. /1.1/.
Dimensjonerende last : Karakteristisk last multiplisert med en lastfaktor

Lasthåndboken (LH) skal benyttes ved dimensjonering av Kystverkets installasjoner. LH kan også benyttes i produktutvikling ved utforming av nye typer installasjoner. Hensikten med LH er å øke treffsikkerheten ved bestemmelse av dimensjonerende laster. Dette skal føre til at installasjoner derved får dimensjoner og strukturell stivhet som samsvarer med påkjenninger på lokaliteten. LH stiller også krav til innhenting av data for vær og vind, og dessuten innhenting av data angående vandyp og bunnmateriale på lokaliteten.

Bruk av LH medfører at det må legges betydelig mer vekt på beregning av lastene som påvirker installasjoner. Innhenting av miljødata og kan hende måling av strømhastighet og retning er nye tiltak som ivaretas av LH. Kystverket ønsker at de nye tiltakene skal kombineres med at man reduserer antall typer installasjoner. LH skal ideelt sett kun benyttes når en ny type installasjon skal dimensjoneres.

LH ivaretar kun beregningen av dimensjonerende laster, men Kystverket planlegger dessuten å utarbeide en håndbok til bruk ved dimensjoneringen av installasjoner. Det er også planer om å utarbeide en håndbok som skal ivareta produktutviklingsprosessen, det vil si forhold som angår klassifisering av installasjoner, klassifisering av lokaliteter, standardisering, bruk av nye materialer etc.

1.2. Referanser

Følgende standarder er benyttet i utarbeidelse av denne Lasthåndboken, og skal i følge norsk lov benyttes ved beregning av dimensjonerende laster på installasjoner:

På land

/1.1/ NS3490 Prosjektering av konstruksjoner, krav til pålitelighet
/1.2/ NS3491-4 Prosjektering av konstruksjoner, Dimensjonerende laster, Del 4: Vindlaster
/1.3/ NS3491-7 Prosjektering av konstruksjoner, Dimensjonerende laster, Del 7: Ulykkeslast
/1.4/ NS5514 Kraner og løfteutstyr, stålkonstruksjoner, beregninger
/1.5/ NS3491-3 Prosjektering av konstruksjoner, Dimensjonerende laster, Del 3: Snølaster

I sjø

/2.1/ NPD Regulations relating to loadbearing structures in the petroleum activities
/2.2/ NPD Guidelines to Regulations relating to loadbearing structures in the petroleum --
/2.3/ NPD Guidelines relating to loads and load effects to Regulations relating to ----
/2.4/ NORSOK standard N-003
/2.5/ NS3481 Grunnundersøkelser og geoteknisk prosjektering for marine konstruksjoner

Følgende veiledede retningslinjer er dessuten benyttet i utarbeidelse av Lasthåndboken:

- /3.1/ DS409E Code of Practice for Safety of structures
- /3.2/ DS410E Code of Practice for Loads for the Design of Structures
- /3.3/ Offshore Standard DNV-OS-J101 Design of offshore wind turbine structures
- /3.4/ Islaster på konstruksjoner, H.F.Burcharth, AUC, Alborg
- /3.5/ Environmental conditions and environmental loads, DnV Classification notes 30.5
- /3.6/ Håndbok 184, Lastforskrifter for bruer og ferjekaier i det offentlige vegnett, Staten Vegvesen 2001-1
- /3.7/ Rules for planning and execution of marine operations, DnV 2000
- /3.8/ API-RP2A
- /3.9/ Tidevanntabeller for den Norske kyst
- /3.10/ Atlas of tides on the shelves of the Norwegian and the Barents Seas”, Gjevik B., Nøst E. and Straume T. 1990, Department of mathematics, Oslo
- /3.11/ Kystverkets molohåndbok
- /3.12/ Farledsnormalen, Kystverket (høringsutkast datert 28.10.05)
- /3.13/ IALA, Forskrifter utgitt av International Association of Lighthouses Authorities

1.3. Gyldighet

- Begrensning, geografi : Kyst og innsjøer/elver med båttrafikk, det vil si områder hvor ”Havne og Farvannsloven” gjelder. Lasthåndboken er tiltenkt brukt langs Norges kyst og i Norske innsjøer/elver, men den kan anvendes på Svalbard etc. forutsatt at spesielle laster ivaretas.
- Begrensning, konstruksjon : Installasjoner

1.4. Lovgivning

1.4.1. Plan og bygningsloven

Plan og Bygningslov (PLBL) inneholder bestemmelser om konsekvensutredninger av større utbyggingsprosjekter.

"Formålet med en konsekvensutredning er å klargjøre virkninger av tiltak som kan ha vesentlige konsekvenser for miljø, naturressurser eller samfunn."

Kystdirektoratet har utarbeidet interne retningslinjer vedrørende regelverket om konsekvensutredninger. Her kan en lese nærmere omkring hvilke tiltak som kreves konsekvensutredet og hvordan utredningsprosessen skal foregå.

I forbindelse med havne- og farvannsrelaterte tiltak er det enten kommunens planetat eller Kystdirektoratet som er prosessstyrende og godkjennende ansvarlig myndighet, avhengig av tiltakets omfang. Spørsmål rettes dit.

PLBL inneholder bestemmelser om kommunal planlegging. Juridisk bindende arealdisponering i et område fastsettes gjennom kommunal godkjenning av kommuneplanens arealdel eller reguleringsplaner/bebyggelsesplaner. Avhengig av tiltakets omfang fastsetter PLBL krav om utarbeidelse av reguleringsplan. Dette avklares med kommunal planmyndighet.

I tillegg inneholder PLBL ulike byggesaksbestemmelser. For en rekke utbyggingstiltak kreves tillatelse i hht. PLBL. For en rekke mindre tiltak er det imidlertid tilstrekkelig å gi kommunal myndighet melding om tiltaket i forkant av oppstart.

PLBL stiller også krav til utbygger og til selve utførelsen.

Det er utarbeidet en "Forskrift om konsekvensutredninger etter plan- og bygningslovens kapittel VII-a". Loven og forskriften kan leses på Internett, f eks hos Lovdata:
<http://www.lovdata.no/>

1.4.2. Lov om kulturminner

Lov om Kulturminner ble vedtatt 09.06.78. Loven inneholder blant annet bestemmelser om:

- Automatisk fredede kulturminner (kulturminner som er fredet i kraft av alder e.l. uten eget fredningsvedtak)
- Undersøkelsesplikt for å finne ut om kulturminner finnes i et tiltaksområde
- Tillatelser til eventuelle inngrep.

Lovteksten og tilhørende forskrifter kan leses på Internett, f eks hos Lovdata:
<http://www.lovdata.no/>

Begrepet Automatisk fredede kulturminner omfatter i grove trekk alle spor av menneskelig aktivitet eldre enn 1537 (d.e. innføringen av reformasjonen i Norge), og samiske kulturminner eldre enn 100 år.

For løse kulturminner og skipsfunn gjelder egne regler.

Utbygger kan pålegges å bekoste utgravinger/sikring av kulturminner før utbygging skjer. Det er utbyggeren som er ansvarlig for å undersøke om utbyggingen vil berøre automatisk fredede kulturminner.

Fylkeskommunen i den enkelte fylkeskommune er rett adresse for henvendelser om inngrep i mulige kulturminner, og fylkeskommunens kulturminneforvaltning vil etter egen vurdering involvere Riksantikvaren eller Samisk Kulturminneråd eller det aktuelle arkeologiske/marinarkeologiske museum.

For å være sikret en rask saksgang anbefales det imidlertid *i tillegg* å ta direkte kontakt med arkeologisk/marinarkeologisk museum.

1.4.3. Forurensningsloven

Dersom prosjektet involverer opptak eller deponering eller dumping av masser som kan inneholde forurensinger (tungmetaller, tjærestoffer, plantegifter, etc), skal det søkes om tillatelse fra forurensingsmyndighetene.

Med hjemmel i *Lov om forurensninger og om avfall av 13. mars 1981 (Forurensningsloven)* er det vedtatt *Forskrift om regulering av mudring og dumping i sjø og vassdrag*. Forskriften gjelder fra 04-12-1997.

Forskriften angir et generelt forbud mot dumping fra skip av stoffer og gjenstander, men med unntak for følgende avfallstyper som kan tillates dumpet etter grundig vurdering:

1. muddermasser, løsmasser og stein
2. skip med metallskrog frem til 31.12.1998
3. andre skip frem til 31.12.2004
4. fiskeavfall fra fiskeforedling/prosessering på land
5. annet avfall/materiale helst i spesielle situasjoner hvor deponering på land medfører uakseptabel fare eller skade.

Fylkesmannens Miljøvernavdeling (FMVA) i det aktuelle fylke mottar og behandler søknader etter punktene 1- 4 ovenfor, mens SFT er saksbehandler for punkt 5 og for alle tilfeller i norsk økonomisk sone utenfor territorialgrensen.

Forskriften kan leses i sin helhet på Internett, f eks på SFT's hjemmeside <http://www.sft.no/41.html> eller direkte i lovdatabasen hos Lovdata: <http://www.lovdata.no/>

1.4.4. Havne og farvannsloven

Lov om Havner og farvann m.v. (HFL) trådte i kraft 01 jan 1985.

”Formålet med loven er å legge forholdene til rette for en best mulig planlegging, utbygging og drift av havner og å trygge ferdselen.”

Alle tiltak i sjø krever tillatelse i hht. HFL. Hvorvidt myndighet tilligger Fiskeridepartementet, Kystdirektoratet, Kystverkets distriktskontorer eller kommunal havnemyndighet, avhenger av tiltaket og dets omfang. *Alle henvendelser om utbygging skjer først til det aktuelle kystdistrikt.*

Den fullstendige lovtekst og tilhørende forskrifter kan leses på f eks Lovdata Internett, på adressen : <http://www.lovdata.no/all/nl-19840608-051.html>

1.4.5. Fiskeri-interesser

Ved bygging av installasjoner kan det være behov for å foreta undervanns-sprenging. I slike tilfeller skal fiskerisjefen i fylket konsulteres for å fastslå om det finnes

- ☐ fiskeressurser av villfisk som det skal tas hensyn til,
- ☐ oppdrettsanlegg i nærhet av anleggsstedet.

Innhenting av klarering for slik sprenging er en del av planprosedyren.

Myndighet i disse spørsmål har:

- ☐ Fiskerisjef
- ☐ Fylkesmannens Miljøvernavdeling
- ☐ Kystverket
- ☐ Fiskeridepartementet.

Fiskerisjefen skal kunne rettlede for å bestemme om det finnes

- ☐ fiskeressurser av villfisk som det skal tas hensyn til,
- ☐ oppdrettsanlegg i nærhet av anleggsstedet.

2. Lokalitetsklassifisering

2.1. Lokalitetsklassifisering

Samtlige miljøparametere på lokaliteten som kan påvirke installasjonen skal kartlegges og tas hensyn til i dimensjoneringen. Miljøparametere kan innhentes av kompetente institusjoner eller beregnes ved hjelp av data gitt i Lasthåndboken. Det er gitt retningslinjer for hvilke data som skal beregnes eller måles.

På enkelte lokaliteter kan det være nødvendig å kartlegge andre dimensjonerende miljøparametere som forurensende utslipp, laster fra is/isfjell, is-fot, stedsavhengige ulykkeslaster, etc. som ikke omtales i Lasthåndboken.

2.2. Vind

Midlere vindhastighet V_{REF} for ytre kyststrøk kan hentes fra tabell 2.2.2 eller figur 2.2.1. Vindhastigheter hentet fra tabell 2.2.2 eller figur 2.2.1 kan ha vilkårlig retning.

Vindhastigheter og vindretninger for en lokalitet kan alternativt beregnes av for eksempel DNMI eller andre kompetente institusjoner. Spesielle lokale effekter ivaretas for eksempel av data levert av DNMI. Vindhastigheter fra samtlige retninger skal tas hensyn til.

V_{REF} er midlere vindhastighet i en 10 minutters periode, 10 meter over flatt terreng med spredt vegetasjon, se ref. /1.2/. Det er 98 % sannsynlighet for at hastigheten ikke overskrides i et enkelt år, dvs. en returperiode på 50 år. For omregning til andre sannsynligheter se ref. /1.2/.

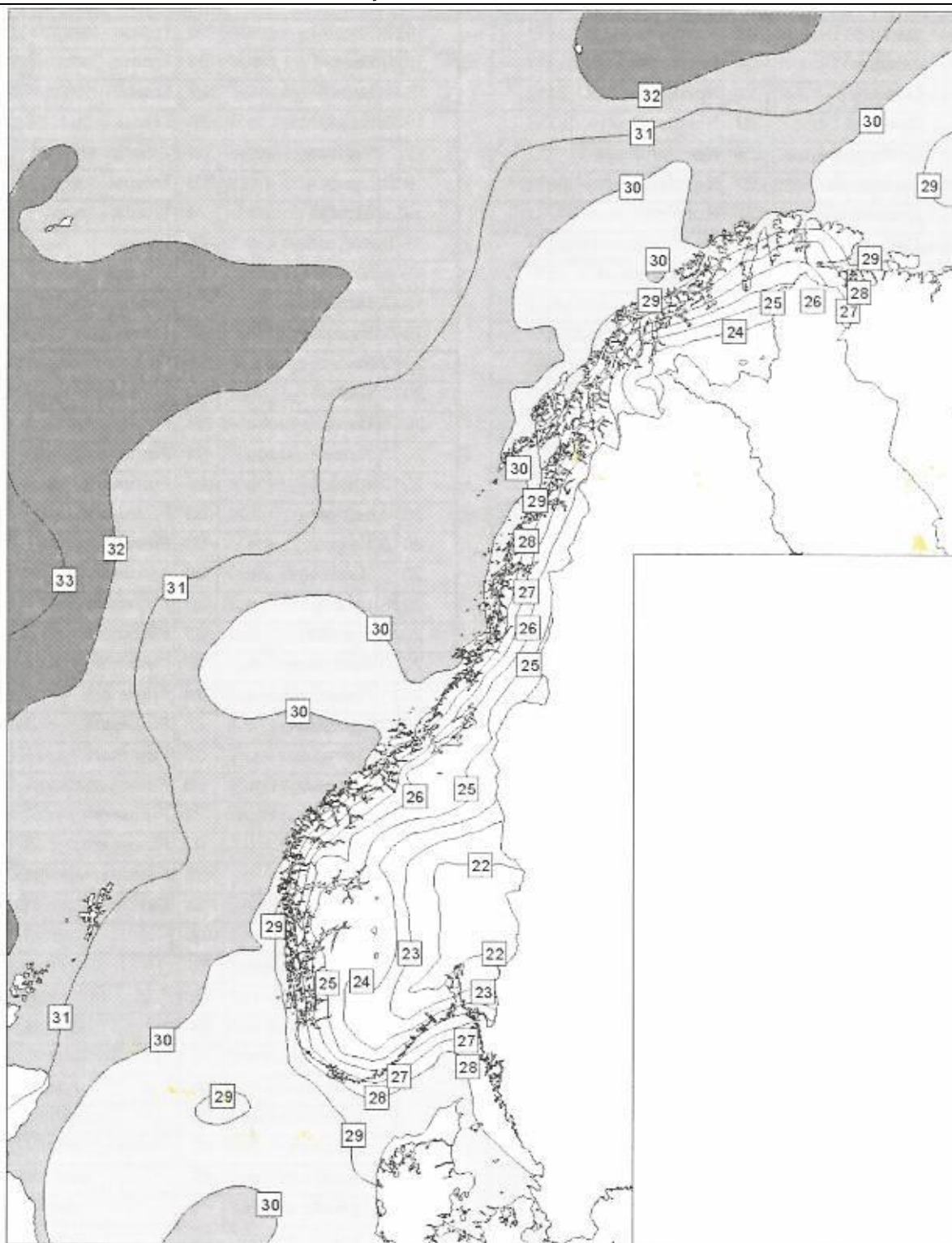


FIG 2.2.1 Midlere vindhastighet V_{REF} gitt for hele landet.

KYST STREKNING	SVERIGE-OSLO	OSLO-KRISTIANSAND	KRISTIANSAND-BERGEN	BERGEN-RUSSLAND
Vindhastighet [m/s]	28	27	29	30

TABELL 2.2.2 Midlere vindhastighet V_{REF} , 10 minutt middelvind målt 10m over havoverflate/bakkenivå, med 50-års returperiode, med vilkårlig retning, for ytre kyststrøk.

2.3. Snø

Karakteristisk snølast for ytre kyststrøk kan hentes fra /1.5/.

2.4. Vannstand

Karakteristisk vannstand med 50-års returperiode for lokaliteten kan bestemmes i følge /3.9/, /3.10/ eller fra statlige kart. Følgende verdier skal identifiseres:

- ❖ Høyeste (HHV) og laveste (LLV) observerte vannstand
- ❖ Astronomisk tidevannsstand, HAT og LAT
- ❖ Midlere vannstand MVS

2.5. Strøm

10-års strøm (10-års returperiode) på en lokalitet skal bestemmes med en strømmåling (på 1-2 vanddyb), eller bestemmes fra pålitelig informasjon fra nærliggende lokalitet. Det avgjøres i hvert enkelt tilfelle om strømmåling er nødvendig eller ikke. Strømhastighet og strømretning(er) skal fastlegges. Beregninger skal alltid ta hensyn til vindgenerert strøm, uavhengig av målt/beregnet strøm.

Eventuelle strømmålinger skal utføres av et kompetent firma. Strømmålinger på en lokalitet skal foregå over en periode på minimum 1 måned. Strømhastighet og retning skal måles nær havflaten og nær bunnen. For eksempel 1-5m under havflaten og 1-5m over bunnen avhengig av vanddybde. På grunne lokaliteter er det tilstrekkelig å måle strømhastigheten ved en elevasjon. Strøm med 10-års returperiode kan beregnes ved at målt strøm (1 måneds returperiode) multipliseres med faktor 1,65. Strøm med 50-års returperiode kan beregnes ved at målt strøm (1 måneds returperiode) multipliseres med faktor 1,85.

Rapporten som dokumenterer strømmålinger på en lokalitet skal inneholde følgende informasjon:

- ❖ Målt strømhastighet og retning skal presenteres grafisk for en 360 graders sektor, minimum en verdi for hver 22,5 grader.
- ❖ 10-års returperiode strømhastighet og retning skal presenteres grafisk for en 360 graders sektor, minimum en verdi for hver 22,5 grader.
- ❖ 50-års returperiode strømhastighet og retning skal presenteres grafisk for en 360 graders sektor, minimum en verdi for hver 22,5 grader. Gjelder lokaliteter med sjøis.
- ❖ Strømretning i forhold til kart nord (mot Nord eller fra Nord) skal gå klart fram av den grafiske framstillingen
- ❖ Vindgenerert strøm skal være inkludert i målinger eller den skal adderes vha. erfaringsverdier eller relevante empiriske data

2.6. Bølger

Bølger som ankommer dypt vann foran en gitt lokalitet kan beregnes/estimeres med brukbar nøyaktighet av kompetent personell basert på strøklengde, vandyp, bunntopografi og så videre. Dette kapittel gir veiledning til hvordan bølger som ankommer dypt vann foran en lokaliteten kan bestemmes.

Dette kapittel berører ikke forhold på endelig vandyp eller grunt vann (for eksempel brytende bølger eller bølger som angriper konstruksjoner på land, på et skjær, og så videre). Slike lokale forhold ivaretas i kapittel 5.

På dypt vann foran en gitt lokalitet ankommer det vindgenererte bølger og/eller bølger fra åpent hav og/eller bølger fra passerende skip. Relevante bølger, angitt for eksempel som signifikante verdier (H_s , T_p) med 50-års returperiode, skal identifiseres på følgende måter:

- ❖ Bølger fra åpent hav (H_s) kan beregnes av kompetente institusjoner. Bølgehøyde og retning skal presenteres grafisk for en 360 graders sektor, minimum en verdi for hver 22,5 grad. Mest sannsynlig største/minste pik-periode (T_p) skal presenteres på samme måte.
- ❖ Data fra figur 2.6.1. kan alternativt benyttes for bølger fra åpent hav, forutsatt at det i tillegg tas hensyn til globale prosesser som påvirker bølgene på vei inn mot lokaliteten (refraksjon, shoaling, diffraksjon, dissipasjon og strømpåvirkning).
- ❖ Lokalt vindgenererte bølger (H_s) og pik-perioder (T_p) kan beregnes som angitt i dette kapittel. Bølgehøyde og retning skal presenteres grafisk for en 360 graders sektor, minimum en verdi for hver 22,5 grader. Pik-bølgeperioden skal presenteres på samme måte.
- ❖ Bølger fra passerende skip skal, når det er sannsynlig at slike bølger utgjør karakteristiske verdier, beregnes av kompetent personell. Mest sannsynlig største bølgehøyde (H_{MAKS}), tilhørende periode (T_{MAKS}) og relevante bølgeretninger skal identifiseres.

Beregningsmetode for lokalt vindgenererte bølger:

Vindhastighet, 50-års returperiode, 10m høyde, 10 minutt middelvind	:	$V_{(10m,10min)}$	[m/s]
Justert vindhastighet	:	$V_A = 0,71 * V_{(10m,10min)}^{1,23}$	[m/s]
Strøklengde	:	F	[m]
Signifikant bølgehøyde (50-års)	:	$H_S = 5,112 * 10^{-4} * U_A * F^{1/2}$	[m]
Pik-periode	:	$T_P = 6,238 * 10^{-2} * U_A * F^{2/3}$	[s]

For vindretninger innaskjærs der strøkbredden er mindre enn strøklengden, kan effektiv strøklengde F_E benyttes i stedet for F .

Ved omregning av signifikant til maksimal bølgehøyde kan følgende forhold benyttes:

$$H_{MAKS} = 1,9 * H_S$$

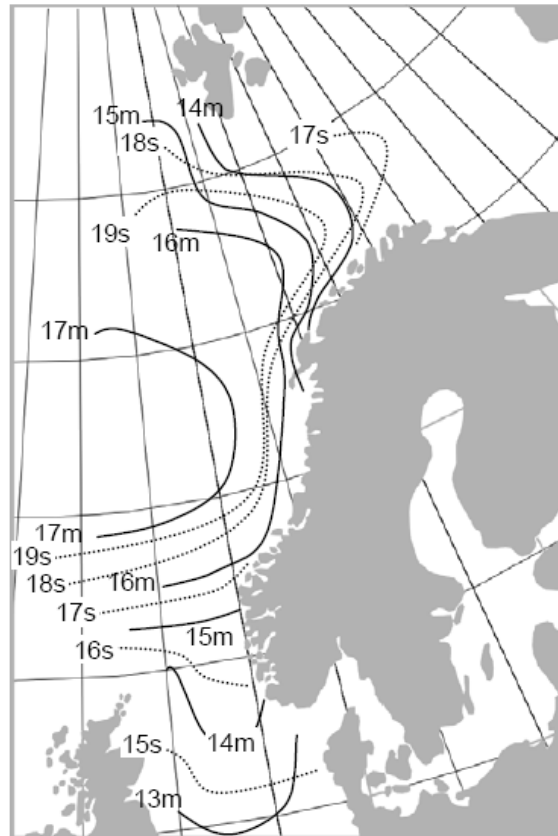


FIG 2.6.1 Karakteristiske bølger (H_s og T_p) fra åpent hav, som ankommer kysten uberørt av grunt vann eller skjærgården, kan hentes fra denne figur, ref. /2.4/. Bølgehøydene har 100-års returperiode (3-timers varighet), konverteres til 50-års returperiode vha. forholdet $H_{s/1,1}$.

2.7. Is

Alle forhold relatert til drivis, isdannelse på sjø og is-akkumulering på selve konstruksjonen skal identifiseres for lokaliteten. Følgende kategorisering kan benyttes på is:

- ❖ Is-akkumulering på grunn av sjøsprøyt på alle ikke-oppvarmede flater over MVS
- ❖ Is-akkumulering på grunn av nedbør på alle ikke-oppvarmede flater over MVS
- ❖ Sammenhengende isdekke (overflateis)
- ❖ Drivende isflak
- ❖ Skruis (dannes ved opphopning av isflak)
- ❖ Drivende isfjell og/eller isflak fra arktiske strøk

Is-akkumulering fra sjøsprøyt skal ikke adderes til is-akkumulering på grunn av nedbør. Karakteristiske data for is-akkumulering, med 50-års returperiode, er presentert i tabell 2.7.1.

Høyde over MVS	Ekspontert, $H_s \geq 1\text{m}$ [mm]	Skjernet, $H_s < 1\text{m}$ [mm]	Is tetthet [kg/m ³]
0-5 [m]	10	10	850
5-10 [m]	Lineær reduksjon 10-0	Lineær reduksjon 10-0	850

TABELL 2.7.1 Is-akkumulering fra sjøsprøyt.

Høyde over MVS	Eksponert, $H_s \geq 1\text{m}$ [mm]	Skjermet, $H_s < 1\text{m}$ [mm]	Is tetthet [kg/m ³]
0-5 [m]	10	10	850
5-10 [m]	Lineær reduksjon 10-0	Lineær reduksjon 10-0	850

TABELL 2.7.2 Is-akkumulering fra nedbør.

I følge figur 2.7.3 er det ikke sannsynlig at arktisk sjøis når Norskekysten, forutsatt at en legger 50-års (eller 100-års) returperiode til grunn. Isfjell er imidlertid observert utenfor kysten av Øst-Finnmark i 1881 og 1929. Installasjoner skal ikke dimensjoneres for E-laster fra drivende isflak eller drivende isfjell som kommer fra arktiske farvann. Dersom installasjoner eventuelt skal dimensjoneres for ulykkeslast fra kollisjon med arktiske isfjell eller arktisk drivis (A-last), skal dette være spesifisert.



FIG 2.7.3 Sørlig grense for sjøis i Barentshavet, ref./2.3/, kontinuerlig linje markerer 100-års returperiode for isgrensen.

Ved lokalitetsklassifisering skal eventuell is-aktivitet identifiseres, det vil si at karakteristiske is-data i tabell 2.7.4-2.7.6 angitt med tegnet $\square$ skal bestemmes. Lokalitetsklassifisering skal utføres av en kompetent institusjon.

Is tykkelse, 50-års returperiode [m]	Bruddspenning i trykk (Referansestyrke, 50-års rp.) [MPa]	Densitet [Kg/m ³]	Bruddspenning ved bøyning [MPa]
$\square$	$\square$	917	$\square$

TABELL 2.7.4 Is data for lokalitet med is-aktivitet, sammenhengende isdekke.

Is tykkelse, 50-års returperiode [m]	Bruddspenning i trykk (Referansestyrke, 50-års rp.) [MPa]	Densitet [Kg/m ³]	Friksjon Is-betong [-]	Friksjon Is-stål [-]	Areal på typiske isflak [m]
$\square$	$\square$	917	0,20	0,10	$\square$

TABELL 2.7.5 Is data for lokalitet med is-aktivitet, drivende isflak.

Is tykkelse, 50-års returperiode [m]	Bruddspenning i trykk (Referansestyrke, 50-års rp.) [MPa]	Densitet [Kg/m ³]	Høyde på is- opphopning [m]
☐	☐	917	☐

TABELL 2.7.6 Is data for lokalitet med is-aktivitet, skruis på lokalitet.

Ved beregning av eventuelle ekspansjonskrefter fra is skal det tas hensyn til at isens bruddspenning i trykk er avhengig av tøyningshastigheten.

Ref. /3.6/ kan benyttes til å bestemme bruddspenning for is i trykk og bøyning, for ferskvann og for sjøvann.

2.8. Temperaturer

Dersom det ikke foreligger temperaturmålinger for en lokalitet, kan de to følgende temperaturoversikter benyttes i dimensjoneringen. Merk at de laveste sjøtemperaturer gjelder strengt tatt kun åpent hav, og ikke skjermet farvann. I skjermet farvann vil vanddyp, ferskvannstilførsel, tidevann etc. føre til at det lokalt kan opptre lavere vintertemperaturer i sjø enn de som er gitt i figur 2.8.2. Figur 2.8.2 bør ikke benyttes til beregning av isdannelse på sjø, for skjermet farvann.

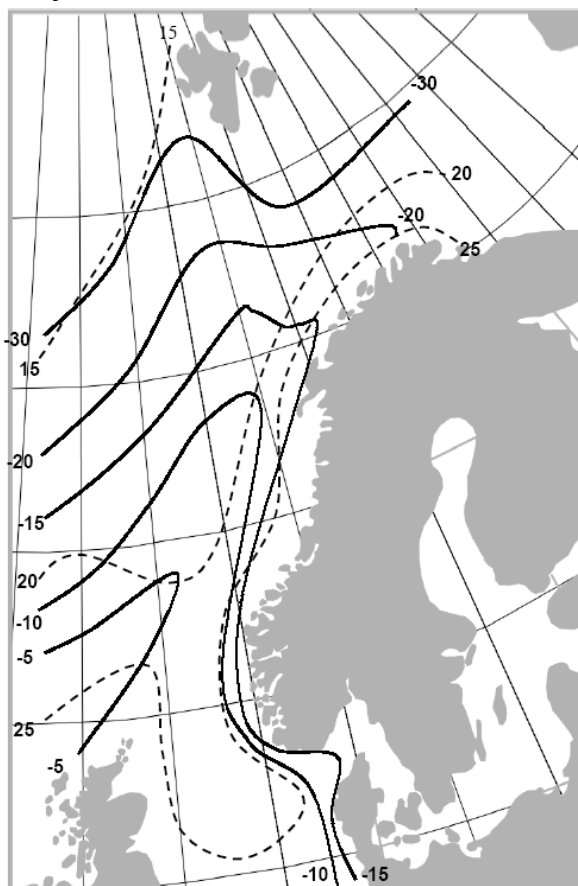


FIG 2.8.1 Høyeste og laveste lufttemperatur [°C] for kyststrekningen, med 100-års returperiode. 50-års returperiode temperatur finnes ved å dividere på 1,10.

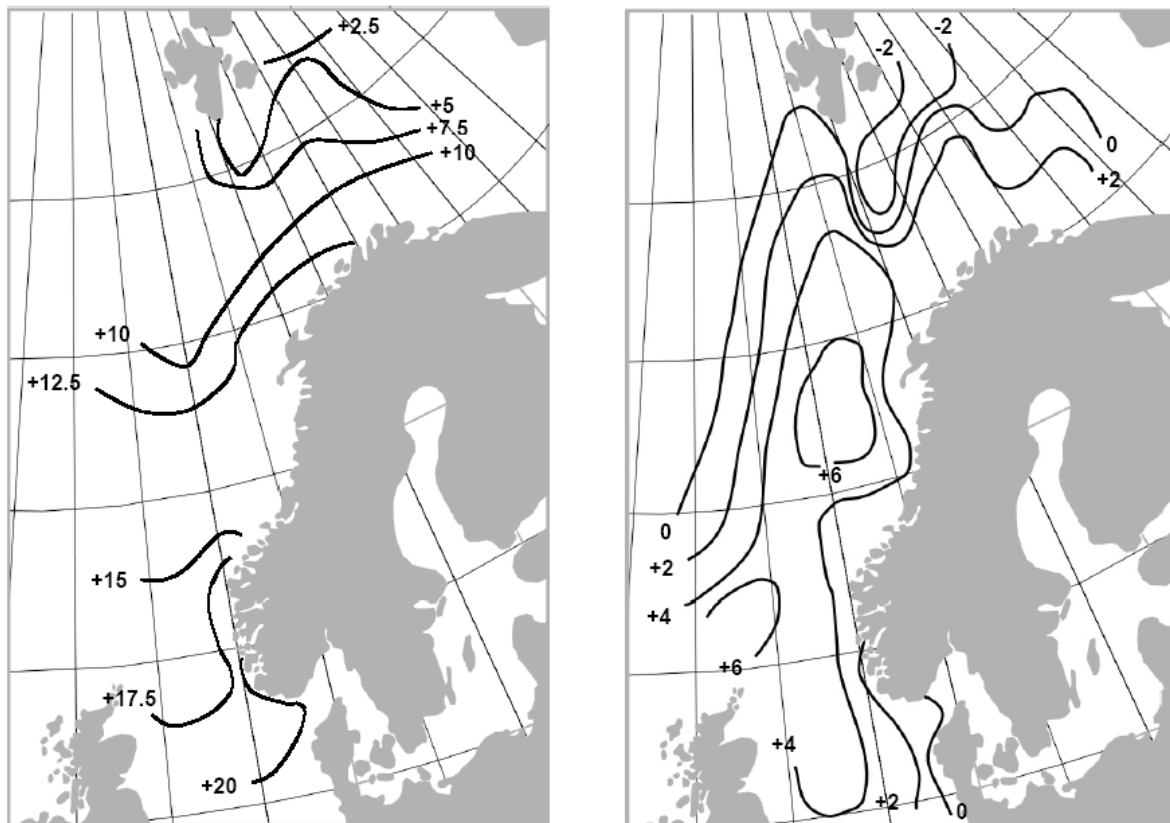


FIG 2.8.2 Høyeste (til venstre) og laveste sjøtemperatur [°C], med 100-års returperiode.

2.9. Marin begroing

Marin begroing kan antas å øke lineært fra installasjonstidspunkt til det er gått 2 år. Marin begroing kan antas å ha en midlere tetthet på 1325 kg/m^3 . Tabellen nedenfor angir karakteristisk tykkelse på marin begroing, dersom mer nøyaktige målinger ikke er tilgjengelig for lokaliteten. Verdiene er redusert (i forhold til ref/2.4/) siden bølgeintensiteten nær land, og da spesielt på utsatte steder, ikke tillater noe særlig begroing.

Begroing skal antas å opptre på samtlige overflater under MVS.

VERTIKALAVSTAND	SVERIGE- 59° N	59° N -RUSSLAND
MVS-bunn	10mm	10mm

TABELL 2.9.1 Tykkelse på begroing på en overflate (dr) på installasjoner i sjø kan anvendes uavhengig av byggemateriale.

2.10. Kartlegging av dybde på sjølokalitet

Det kan benyttes ekkolodd i kombinasjon med et posisjoneringssystem som angir posisjon i horisontalplanet. Det skal lages et kart, med angitt målestokk, som dekker området på bunnen der installasjonen skal monteres.

2.11. Grunnundersøkelse av fjell og/eller sediment for installasjoner i sjø

Grunnundersøkelse og geoteknisk prosjektering skal utføres i samsvar med /2.5/.

3. Dimensjonerende last

3.1. Generelt

Dimensjonering av installasjoner skal foretas etter partsfaktormetoden. Det vil si ved beregningskontroll av de fire grensetilstandene bruddgrensetilstanden, utmattingsgrensetilstanden, ulykkesgrensetilstanden og bruksgrensetilstanden

Dimensjonerende last for en grensetilstand bestemmes som den ugunstigste kombinasjon av karakteristiske laster multiplisert med lastfaktorer.

De regelverk og standarder som er benyttet som grunnlag for utarbeidelse av denne Lasthåndboken tar pr. i dag ikke hensyn til ”**klimaforverring**”. Kapittel 3.2 angir hvilke tiltak som skal iverksettes og kravene i kapittel 3.2 skal gjelde med mindre noe annet er spesifisert i hvert enkelt prosjekt.

3.2. Klimaforverring

Følgende lastøkning skal ivaretas på lokaliteter hvor bølger, forårsaket av ugunstig vindretning, ankommer uskjermet (av holmer og skjær) fra åpent hav:

- Karakteristisk vindhastighet : 5%
- Karakteristisk bølgehøyde : 13%
- Karakteristisk bølgeperiode : 6,2%

For samtlige lokaliteter gjelder:

- Økning i vannstand (HHV) : 20cm (vestlandet)
- Økning i vannstand (HHV) : 30cm (nord Norge)
- En eventuell økning i karakteristisk strømhastighet skal ivaretas (lokalitetsavhengig)

På mer skjermede lokaliteter på kysten av vestlandet (fra Egersund til og med Trondheim) og for nord Norge (Nordland, Troms og Finnmark) skal følgende lastøkning ivaretas:

- Signifikant bølgehøyde (vestlandet) : Hs økes med 0,25m
- Signifikant bølgehøyde (nord Norge) : Hs økes med 15%

3.3. Bruddgrensetilstanden (ULS)

Det skal dokumenteres at installasjonen har tilstrekkelig sikkerhetsmargin mot at følgende tilstander inntreffer:

- ❖ Velting
- ❖ Seigt brudd
- ❖ Tap av stabilitet, knekking
- ❖ Sprøbrudd

3.4. Utmattingsgrensetilstanden (FLS)

Det skal kontrolleres at installasjonen har tilstrekkelig sikkerhetsmargin mot at det oppstår utmattingssprekker i sveiser, kjerver og andre utsatte områder.

3.5. Ulykkesgrensetilstanden (ALS)

Det skal kontrolleres at installasjonen har tilstrekkelig reststyrke til å hindre progressivt sammenbrudd på grunn av spesifiserte ulykkeslaster.

3.6. Bruksgrensetilstanden (SLS)

I bruksgrensetilstanden skal det kontrolleres at installasjonen oppfyller spesifiserte brukskrav. Følgende er eksempel på brukskrav som normalt er spesifisert for hver type installasjon:

- ❖ Største tillatt sideveis utbøyning, angitt ved lyskilde, for alle retninger
- ❖ Største tillatte rotasjon, angitt relativt til installasjonens rotasjonsakse
- ❖ Største tillatte nedbøyning av dekk og gangveier

3.7. Definisjon av karakteristisk verdi for laster

A) Permanent last (P) og variabel funksjonslast (L)

A1) Statisk last

Permanent last er statisk last som er uavhengig av tiden (egenvekt etc.). Permanent last skal normalt spesifiseres med en maksimalverdi, maksimalverdien benyttes som karakteristisk verdi.

Variable statiske funksjonslaster (drivstoff, batteri, persontrafikk, kranløft, etc.) skal spesifiseres for hver enkelt type installasjon, og skal ikke tillates overskredet. Karakteristisk verdi er lik spesifisert verdi.

A2) Dynamisk last

Variable dynamiske funksjonslaster (vibrasjoner fra motorer etc.) kan forårsake utmatting, og skal vurderes som en mulig utmattinglast.

B) Naturlast (E)

Når konstruksjonens stivhet tillater det, kan det forutsettes at installasjonene står i ro i forhold til bølgepartikkelbevegelser. Signifikante bevegelsesamplituder skal tas hensyn til ved beregning av naturlaster på myke installasjoner.

Naturlaster er laster som varierer med tiden. Naturlaster kan ha både statisk og dynamisk virkning på en fast installasjon. Begge lastvirkninger skal vurderes, og kan betraktes som i B1 og B2 under:

B1) Statisk last

- ❖ statisk last (forårsaket av is, snø, begroing etc.)
- ❖ kvasi-statiske laster (forårsakes av vind, strøm, bølger, og oppdrift)

Karakteristisk verdi defineres som den last som har en fastlagt sannsynlighet $p = 1 - \frac{1}{N}$,

basert på årseksstremer, for at den ikke overskrides et enkelt år. $\frac{1}{N}$ tilsvarer årlig sannsynlighet for overskridelse, returperioden N [år].

B2) Dynamisk last

- ❖ dynamisk bølgelast, forårsakes av 1. ordens bølgekrefter
- ❖ virvelindusert vibrasjon (VIV), kan forårsakes av vind, strøm og bølger

Ved kontroll av dynamiske lasteffekter skal samtlige dynamiske lastveksler undersøkes i analysene.

C) Utmattingslast

Utmattingslaster forårsakes av dynamiske laster (normalt L eller E laster). Utmattingslaster skal bestemmes som gitt i C1 og C2 under:

C1) Konstant amplitude

Langtidsfordelingen bestemmes ved spenningsamplitude og antall svingninger som opptrer i levetiden.

C2) Stokastisk prosess

Utmattingslasten skal beskrives med en relevant langtidsfordeling som ivaretar lasthistorien for hele levetiden. Når ikke annet er spesifisert kan det antas at langtidsfordelingen av spenningsamplituder kan representeres med Weibullfordelingen. Det kan benyttes en Weibullparameter $h = 1,0$ når ikke annet er spesifisert for installasjonen.

Antall lastvekslinger skal multipliseres med faktorene gitt i tabell 3.6.1.

TILGJENGELIGHET FOR INSPEKSJON	
UNDER MVS+1m	OVER MVS+1m
2	1

TABELL 3.6.1 Dimensjonerende utmattingsfaktorer.

D) Ulykkeslast (A)

Karakteristiske verdier for ulykkeslaster er normalt angitt i kapittel 6.

Ved fastsettelse av alternative karakteristiske verdier for andre ulykkeslaster kan en anta at årlig sannsynlighet for overskridelse er lik 0.02, det vil si en last som opptrer en gang i løpet av 50 år.

Enkelte konstruksjoner skal ha ekstra reststyrke, det vil si at progressiv kollaps ikke opptrer, til å overleve at en av flere vitale strukturkomponenter svikter på grunn av en ulykkeslast. Dette vil i så fall være spesifisert.

Enkelte lokaliteter/installasjoner krever at det utføres en risikoanalyse for å identifisere mulige feilmoder og bestemme størrelse på mulige ulykkeslaster og omfang av skade. Dette vil i så fall være spesifisert.

E) Deformasjonslast (D)

Deformasjonslaster kan være laster som forårsakes av følgende forhold:

- ❖ Deformasjon av installasjon forårsaket av temperatur
- ❖ Siging av fundament
- ❖ Fabrikasjonsavvik som kan medføre unøyaktighet
- ❖ Fabrikasjonsavvik, pga. krymping ved sveising, støping etc.
- ❖ Utbøyning eller rotasjon av installasjon på grunn av naturlaster

Deformasjonslaster kan utelates dersom de elimineres, for eksempel ved kalibrering, etter installasjon.

F) Temporær last

Laster som opptrer under kortvarige marine operasjoner kan være av typen P, L, E, D, A. Størrelsen på karakteristiske verdier for temporære laster skal fastsettes slik at de tar hensyn til type operasjon, lokaliteten og varigheten av operasjonen.

Karakteristiske verdier for temporære laster er normalt angitt i kapittel 7.

3.8. Lastfaktorer

I tabell 3.7.1 er lastfaktorer angitt. Tabellen angir dessuten relevante lastkombinasjoner.

LAST KONDISJON	LAST KATEGORIER				
	P	L	D	E	A
ULSa	1,3	1,3	1,0	0,7	1,0
ULSb	1,0	1,0		1,3	
SLS	1,0	1,0		1,0	
FLS		1,0		1,0	
ALSa	1,0	1,0	1,0		1,0
ALSb	1,0	1,0		1,0	

TABELL 3.7.1 Lastfaktorer for samtlige grensetilstander, gjelder installasjoner utsatt for sjø-relaterte laster.

Det er tilstrekkelig at den karakteristiske lastkondisjon ULS a eller b dokumenteres.

Lastkondisjon ALSa skal anvendes når det skal kontrolleres at en installasjon skal ha tilstrekkelig restkapasitet til å overleve en spesifisert ulykkeslast.

Lastkondisjon ALSb skal anvendes dersom det skal kontrolleres at en installasjon også skal ha tilstrekkelig restkapasitet til å tåle at ett vitalt strukturelement svikter. For eksempel at ett av flere bein på et fundament svikter.

Dimensjonerings-situasjoner som skal påvises, jf. ligning (12) til (15)	Permanente laster		Dominerende variabel last	Andre variable laster ²⁾	Ulykkeslast
	$\xi_j \gamma_{Gj}$ hhv. γ_{Gj}	γ_F	$\psi_{0i} \gamma_{Qi}$ hhv. γ_{Qi}	$\psi_{0i} \gamma_{Qi}$	
B1 (12)	1,35 / 1,0 ¹⁾	1,1/0,9 ¹⁾	1,05	1,05	-
B2 (13)	1,20 / 1,0 ¹⁾	1,1/0,9 ¹⁾	1,5	1,05	-
B3 ulykkeslast (14)	1,0	1,0	ψ_{11} ³⁾	ψ_{2i} ³⁾	1,0
B3 ulykkeslast, seismisk (15)	1,0	1,0	ψ_{21} ³⁾	ψ_{2i} ³⁾	1,0

¹⁾ Den faktoren som gir den ugunstigste lastvirkning, skal benyttes. For egenlast kan imidlertid den samme faktoren benyttes for alle spenn i en kontinuerlig bjelke/plate, bortsett fra utragende deler.

²⁾ For variabel last forårsaket av påførte deformasjoner settes faktoren $\psi_{0i} \gamma_{Qi} = 0,7$, med mindre annet er gitt i prosjekteringsstandarden for det angjeldende materialet.

³⁾ Verdier for ψ_1 og ψ_2 , se tabell E.2

MERKNAD 1 For global likevekt (stivt legeme) skal tilfelle A i tabell E.1.1 benyttes. For påvisning av sikkerhet mht. brudd i grunnen skal tilfelle C i tabell E.1.1 benyttes.

MERKNAD 2 Dimensjonerende verdi for jordtrykk, se NS ENV 1997-1, ref. 9.3.1 (3)

TABELL 3.7.2 Lastfaktorer for samtlige grensetilstander, gjelder for konstruksjoner på land som ikke settes for bølge og strømlaster. Se /1.1/ for definisjon av størrelser gitt i tabell.

3.9. Kombinasjon av miljølast

MILJØLAST TYPE	E-LASTER						VANNSTAND
	VIND	BØLGER	STRØM	IS_AKKUMULERING	IS	SNØ	
E1	50	50	10	50			HHV eller LLV
E2	50		50	50	50	50	HHV eller LLV

TABELL 3.7.3 Kombinasjon av E-laster angitt som returperiode [år]. E-last type E1 skal alltid undersøkes for alle installasjoner. E2 skal benyttes for lokaliteter med sjø-is.

4. Brukslaster

4.1. Generelt

Brukslaster er laster som skriver seg fra egenvekt av installasjonen, eller laster som er et resultat av bruk/operasjon av installasjonen eller utrustning på installasjonen. Alle brukslaster skal spesifiseres, og skal tas hensyn til når installasjonen dimensjoneres. Karakteristisk kombinasjon av samtlige brukslaster skal benyttes i dimensjoneringen.

4.2. Permanente laster

Permanente laster er statiske laster som for eksempel:

- ❖ Egenvekt av installasjonen
- ❖ Vekt av fastmontert utrustning
- ❖ Vekt av begroing, dersom dens vekt er signifikant

4.3. Variable brukslaster

Variable brukslaster er laster som normalt tilhører en eller begge ULS-grensetilstander.

Variable brukslaster kan normalt antas å opptre som følger:

- ❖ i pent/moderat vær under inspeksjon/vedlikehold/reparasjon (ULSa), og/eller
- ❖ under ekstreme vær situasjoner (ULSb),

Eksempel på laster:

- ❖ Vekt av maks antall personer på installasjonen
- ❖ Vekt av variable laster som drivstoff, batteri osv.
- ❖ Vekt av utstyr/utrustning (kortvarig eller langvarig)
- ❖ Vibrasjonslaster fra roterende maskineri og liknende
- ❖ Laster fra kranløft, fra kran på installasjonen eller ved løft fra båt
- ❖ Laster fra helikopterløft
- ❖ Trykk i tanker

OMRÅDE	TYPE LAST	PUNKTLAST [kN]	JEVNT FORDELT LAST [kN/m ²]	LASTRETNING	LAST AREAL FOR PUNKTLAST
Rekkverk	Persontrafikk		1,5	Horisontalt	
Leider/stige	Persontrafikk	2		Vertikalt	100*100mm
Dekk	Persontrafikk	2	1	Vertikalt	100*100mm

TABELL 4.3.1 Laster på grunn av persontrafikk på installasjoner.

5. Miljølaster

5.1. Generelt

Miljølaster er også variable laster i den forstand at de varierer i størrelse og retning over tid. Miljølaster har vanligvis dynamisk oppførsel, men når det er mulig benyttes en kvasi-statisk karakteristisk verdi i dimensjoneringen av installasjoner. Egensvingning, virvelavløsning, dynamiske islaster og utmatting må håndteres som dynamiske laster/lastvirkning.

Typiske installasjoner har slanke bein, siden de har tverrsnittsdimensjoner (D) som er små i forhold til bølgelengden (λ). Dersom de tilfredsstiller forholdet $\lambda > 5D$ er de småvolumkonstruksjoner. Installasjonens konstruksjonselement vil være drag eller massedominert, avhengig av forholdet mellom karakteristiske bølgehøyder på lokaliteten og tverrsnittsdimensjonen D .

Installasjoner som påvirkes av karakteristiske bølger med forholdet $\lambda \leq 5D$ er storvolumkonstruksjoner. Konstruksjoner som bygges på fastland, men som i perioder kan bli utsatt for bølgelaster, kan tilhøre kategorien småvolumkonstruksjon eller storvolumkonstruksjon.

5.2. Laster fra vind

Vindlaster forårsaker statisk eller dynamiske laster på installasjoner, eller på enkeltelement på installasjonen.

Kvasistatisk last

Vindtrykket kan antas å forårsake statisk last på installasjoner. Referansehastigheten V_{REF} er gitt i kapittel 2. Karakteristisk vindtrykk skal bestemmes ved hjelp av følgende formel:

$$Q_{KAST} = k_w * V_{REF}^2 \quad [N/m^2] \text{ der } k_w \text{ er vindlastfaktor}$$

Figur 5.2.1 angir verdier på k_w . Vindlasten på installasjoner kan beregnes i samsvar med /1.2/.

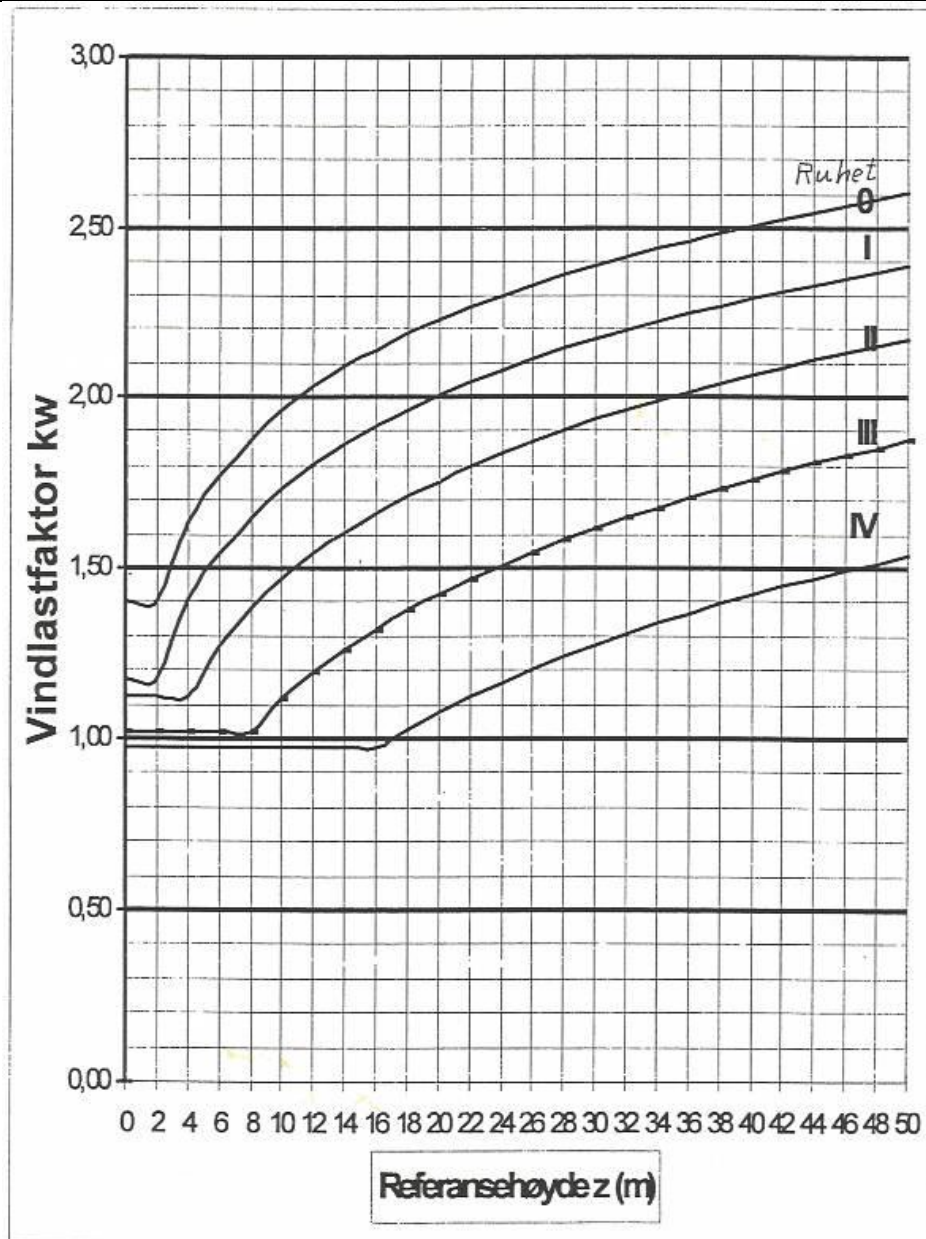


FIG 5.2.1 Verdier for vindlastfaktor k_w . Ivaretar omregning av vindhastighet til en midlingsperiode på ett sekund, ved 10m over bakkenivå (dvs. vindkast).

Q_{KAST} er avhengig av konstruksjonens høyde over terreng/havnivå Z [m], og terrengruhetskategori. Se tabell 5.2.2.

Ruhetskategori	Terrengbeskrivelse
0	Åpent opprørt hav
1	Kystnær, opprørt sjø. Åpne vidder og strandsoner uten trær eller busker

TABELL 5.2.2 Beskrivelse av terrengruhetskategori.

Dynamisk vindlast

Vind forårsaker vibrasjoner på grunn av virvelavløsning, dette fenomen opptrer for alle vindhastigheter. Installasjonen, eller et element i installasjonen, kan få store svingeamplituder dersom avløsningsfrekvensen er lik en av elementets egensvingefrekvenser (resonans). Det skal undersøkes om en installasjon, eller element i installasjonen, kan bli eksitert i en eller

flere av dens egensvingemoder. Landbaserte installasjoner skal kontrolleres i samsvar med /1.2/ og installasjoner i sjø skal kontrolleres i samsvar med /3.5/ eller /1.2/.

Dersom resonans opptrer i installasjonen, eller i et element i installasjonen, skal det utføres en virvelavløsningsanalyse. Svingefrekvens, antall svingninger i levetiden, svingeamplitude og tilhørende spenning i installasjonen beregnes.

Resonans kan medføre slitasje/skade på utrustning, eller utmattingssprekker i kjerver.

Dersom det opptrer signifikante spenningsamplituder (over terskelverdi) i kjerver/sveiser, skal det utføres utmattingsskontroll av sveiser/kjerver. Det skal etableres en langtidsfordeling for vindlasten som skal danne grunnlag for utmattingsberegningene.

5.3. Laster fra strøm

Strøm kan forårsake statisk eller dynamisk last på installasjonen.

Kvasistatisk last

Karakteristisk statisk last fra strøm skal inkluderes i bølgelastberegninger. Se relevante kapittel som omhandler beregning av bølgelaster.

Dynamisk last

Strøm forårsaker vibrasjoner på grunn av virvelavløsning, dette fenomen opptrer for alle strømhastigheter. Installasjonen, eller et element i installasjonen, kan få store svingeamplituder dersom avløsningsfrekvensen er lik en av elementets egensvingefrekvenser (resonans). Det skal alltid undersøkes om en installasjon, eller elementer i installasjonen, kan bli eksitert i en eller flere av dens egensvingemoder.

Resonans kan opptre i følgende situasjoner:

”In-line” oscillasjon	: $1,0 < v_R < 3,5$	
”Cross-flow” oscillasjon	: $4,8 < v_R < 12,0$	
Strømhastighet normalt på rør	: u	[m/s]
Elementets diameter	: D	[m]
Redusert hastighet	: $v_R = \frac{u}{f_I D}$	[-]
Installasjon/elementets egenfrekvens	: f_I	[Hz]

Dersom resonans opptrer i installasjonen, eller i et element i installasjonen, skal det utføres en virvelavløsningsanalyse. Svingefrekvens, antall svingninger i levetiden, svingeamplitude og tilhørende spenning i installasjonen beregnes.

Resonans kan medføre slitasje/skade på utrustning, eller utmattingssprekker i kjerver.

Dersom det opptrer signifikante spenningsamplituder (over terskelverdi) i kjerver/sveiser, skal det utføres utmattingsskontroll av sveiser/kjerver. Det skal etableres en langtidsfordeling for strømlasten som skal danne grunnlag for utmattingsberegningene.

5.4. Bølger nær kysten

I denne Lasthåndboken forutsettes det at bølgelaster på installasjoner kan beregnes ved hjelp av regulær bølgeteori. Grunnen er at det forutsettes at "design-bølge-metoden" skal anvendes ved dimensjonering av installasjoner. Det vil si at Lasthåndboken ikke gir retningslinjer for bruk av irregulær bølgeteori. Irregulær bølgeteori kan imidlertid benyttes når det er hensiktsmessig.

Små bølger på dypt vann kan beskrives numerisk med lineær teori. Dersom lineær teori (Airy bølger) benyttes til beregning av hastighet, akselerasjon, bølgeoverflatehevning etc. på endelig/grunt vanddyp, medfører det at beregnede bølgelaster kan bli for store eller for små. Lasthåndboken forutsetter at det skal anvendes anerkjente metoder og relevante bølgeteorier slik at installasjonene blir optimalt dimensjonert. Figurene nedenfor viser hvorfor dette må etterleves.

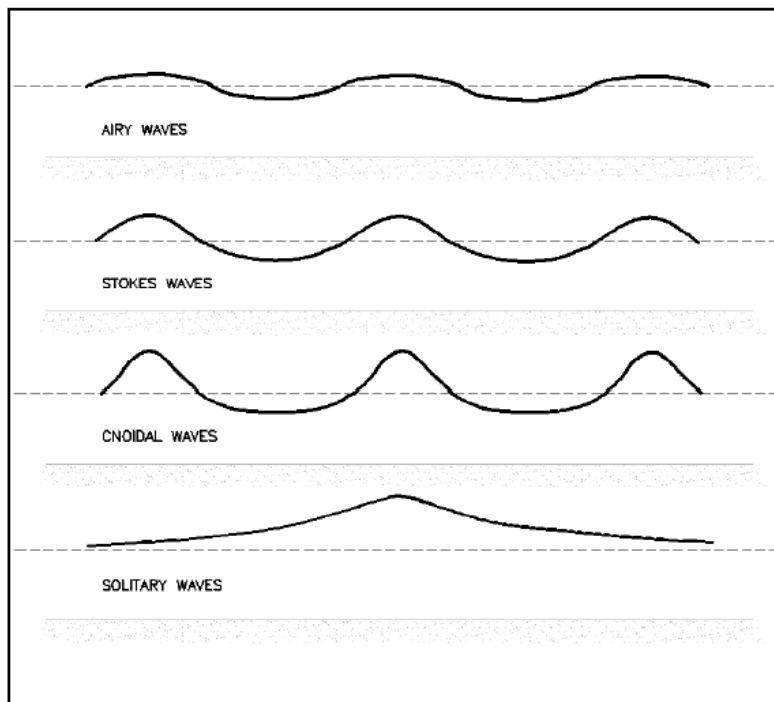


FIG 5.4.1 Bølger endrer form avhengig av steilhet og avhengig av forhold mellom vanddyp og bølgehøyde etc. Alle bølgeteorier har begrenset gyldighet.

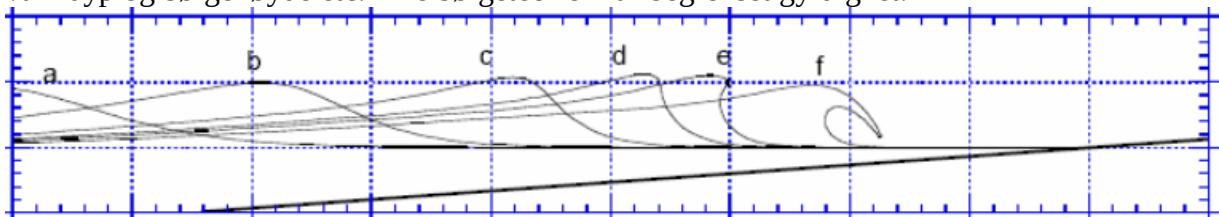


FIG 5.4.2 En enkel bølgetopp (solitary wave) som ankommer land.

Installasjoner kan plasseres på dypt vann, på undervannsskjær, eller på land slik at de i uvær påføres laster fra bølger. Denne Lasthåndboken skal gi retningslinjer for samtlige lasttilstander. Neste figur er ikke et forsøk på generell kategorisering av lokaliteter, men en kategorisering basert på bølgebelastning og tilhørende tilgjengelige beregningsmetoder.

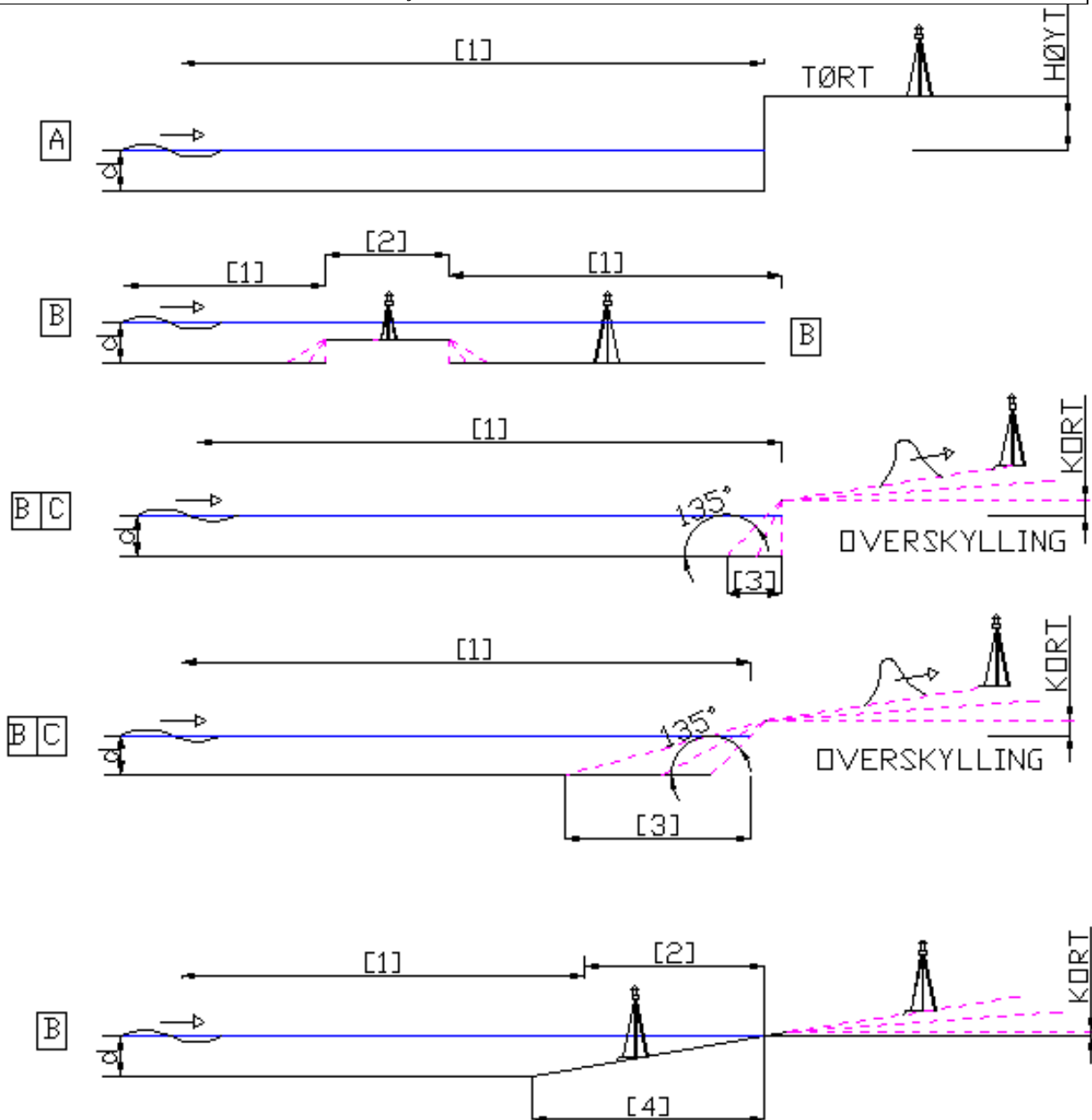


FIG 5.4.3 Installasjoner utsatt for sjølaster kan normalt antas å tilhøre en av de viste kategorier. [1] angir område der brytning forårsaket av bølgesteilehet kan opptre, [2] angir område der brytning kan opptre på grunn av vanddyptet, [3] angir steil helning over en distanse som er så kort at bølgen ikke bryter, [4] angir slak helning med tilstrekkelig lengde som gjør at brytning opptrer. Avbrutt (rosa) linje angir alternativ (bunn) helning. Bokstavene A,B,C angir Lokalitetskategori.

5.5. Bølger og dønninger på dypt vann

Ved beregning av bølgelaster på installasjoner i sjø skal det benyttes en kvasi-statisk lastmodell. Småvolumkonstruksjoner skal normalt dimensjoneres i samsvar med "design-bølge-metoden", som forutsettes benyttet i dette kapittel.

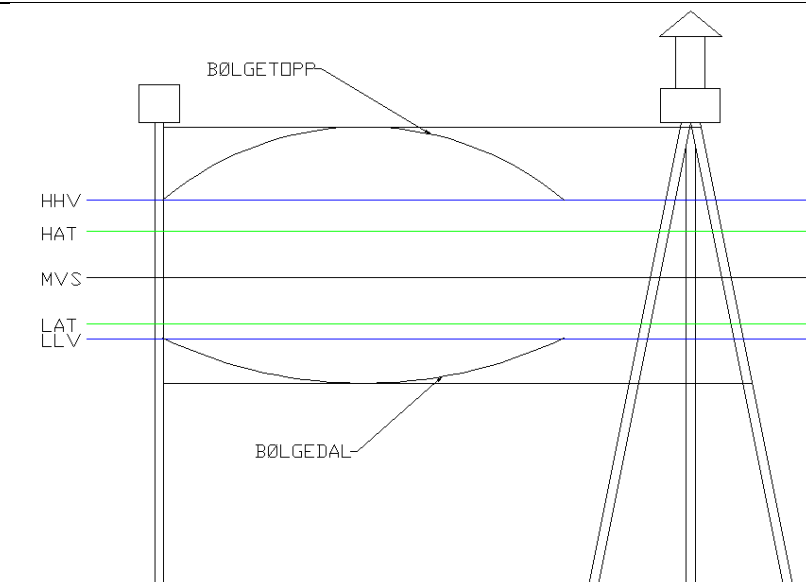


FIG 5.4.1 Karakteristisk bølgetopp og bølgedal angitt i forhold til toppen av fundament. Karakteristisk bølgetilstand opptrer normalt ved HHV. Horisontale element med beliggenhet mellom øverste topp og laveste dal kan bli utsatt for bølgeslag.

Installasjonene skal dimensjoneres for alle karakteristiske kombinasjoner av bølgehøyde og bølgeperiode (H,T). Det vil si at følgende forhold må ivaretas:

- ❖ Designbølgehøyde $H = H_{MAKS}$ og tilhørende periode T skal beregnes
- ❖ Karakteristiske kombinasjoner av (H, T) skal identifiseres
- ❖ Relevante bølgeretninger skal identifiseres

Designbølge-perioden kan velges som karakteristisk verdi innenfor et bølgeperiodeområde beregnet etter følgende formel:

$$\sqrt{4,5 * H_{MAKS}} \leq T \leq \sqrt{7,68 * H_{MAKS}} \quad [\text{s}] \quad \text{forutsatt dypt vann, dvs. } d > 0,5\lambda$$

Ivareta brytningskriteriet på dypt vann, brytning inntreffer ved: $\frac{H}{\lambda} = 0,143$

der: d = vanndyp [m], λ = bølgelengden [m].

Bølgekinematikken kan representeres med Stokes 2.-5. ordens teori.

Bølgekinematikken kan representeres med lineær teori forutsatt at bølgeasymmetri ivaretas.

Bølgekinematikken kan alternativt representeres med bølgeteorier gitt i figur 5.5.1

Bølgekinematikken kan representeres med lineær teori i utmattingsberegninger

Bølgeasymmetri kan ivaretas ved "Wheeler Stretching" dersom lineær teori benyttes.

Bestemmelse av bølgekinematikk betyr at følgende størrelser skal beregnes:

Horisontal vannpartikkelhastighet, varierer i rom og i tid,	$u(x, z, t)$	: u [m/s]
Vertikal vannpartikkelhastighet, varierer i rom og i tid,	$w(x, z, t)$	: w [m/s]
Avstand fra stillevannslinje til bølgetopp		: h_C [m]
Avstand fra stillevannslinje til bølgebunn		: h_T [m]

5.6. Bølger og dønninger på endelig vanndyp og på grunt vann

I forhold til kapittel ovenfor som omfatter dypt vann skal følgende forhold ivaretas på endelig vanndyp (intermediate waterdepth) og på grunt vann:

Endelig vanndyp : $0,05\lambda < d \leq 0,50\lambda$ d = vanndyp [m], λ = bølgelengden[m]
Grunt vann : $d < 0,05\lambda$

Bølgekinematikk kan modelleres med følgende teorier:

Stokes 2.-5.ordens teori, hvis : $H < 0,5d$ eller $\frac{d}{\lambda} > \frac{1}{8}$ eller $U_R < 79$

”Cnoidal” teori, hvis : $\frac{d}{\lambda} < \frac{1}{8}$ og $U_R > 20$ der: $U_R = \frac{H\lambda^2}{d^3}$ = Ursells tall

”Solitary wave” teori hvis: : $U_R < 20$, relevant for dønninger som går mot grunt vann

”Solitary wave” teori hvis: : Benyttes alltid ved overskylling på land eller på en kai.

Alternativt kan figur 5.5.1. benyttes for bølger i sjø.

Følgende bølgbrytningskriterier kan benyttes:

Når stokes/cnoidal teori benyttes : $\frac{H_B}{d_B} = 0,78$ d_B er brytende vanndyp

Når solitary wave teori benyttes : $\frac{H_B}{d_B} = 0,83$, eller når $u_C = c$, u_C = horisontal

bølgepartikkelhastighet ved bølgetopp [m/s], c = fasehastighet [m/s]

Bølgehøyden H som bryter (ved d_B) skifter navn til H_B , siden $H_B > H$

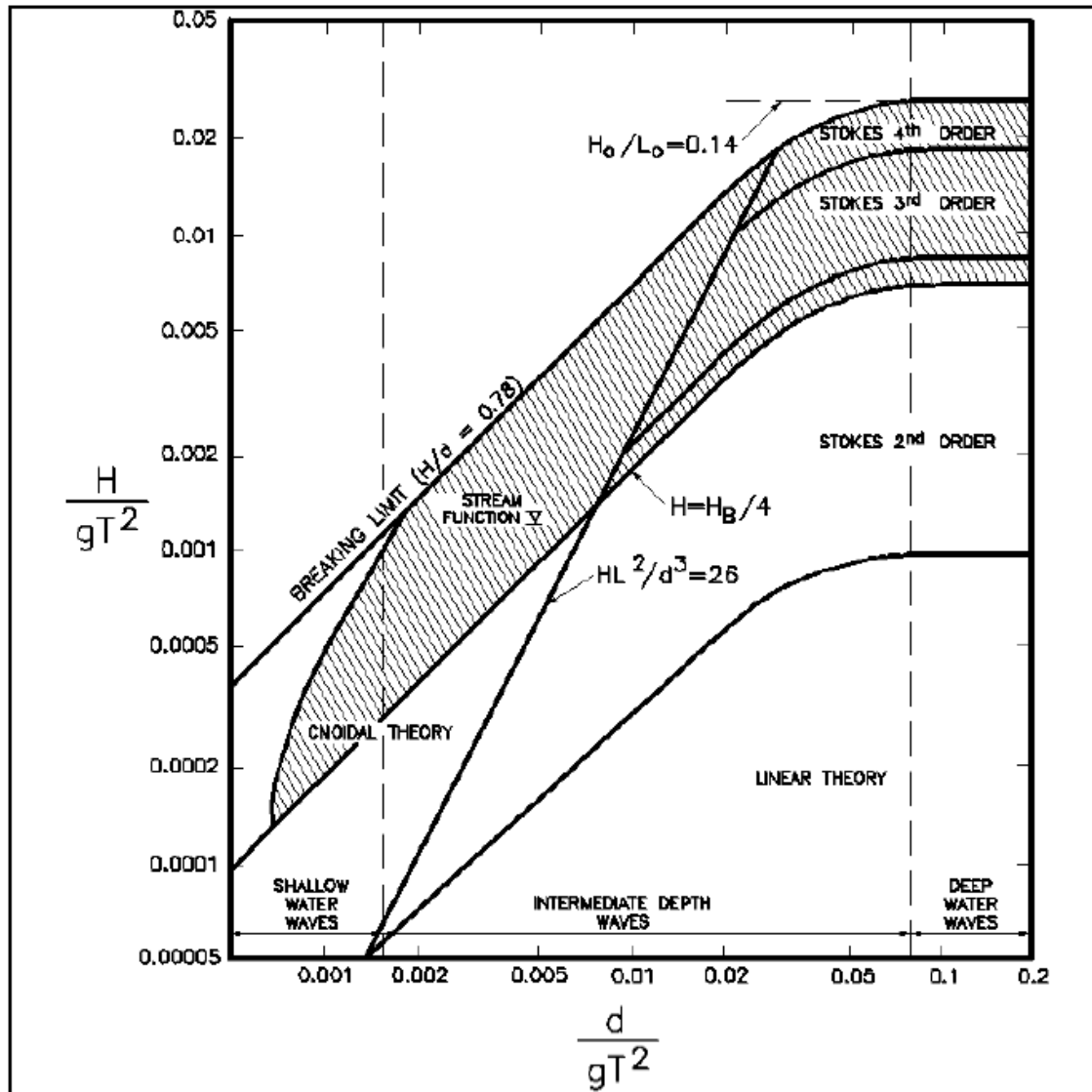
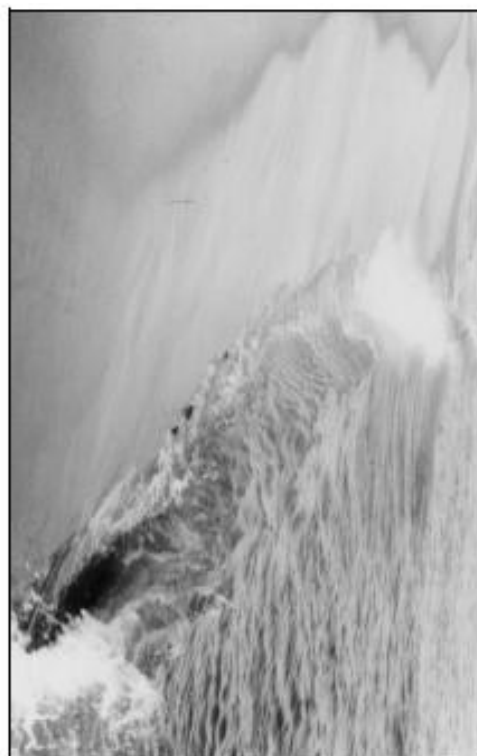


FIG 5.5.1 Figur som viser gyldigheten til relevante bølgeteorier. $T[s]$, $H[m]$, $h[m]$, $g[m/s^2]$. Også bølgebrytningskriterier er vist. Ref. API-RP2A.

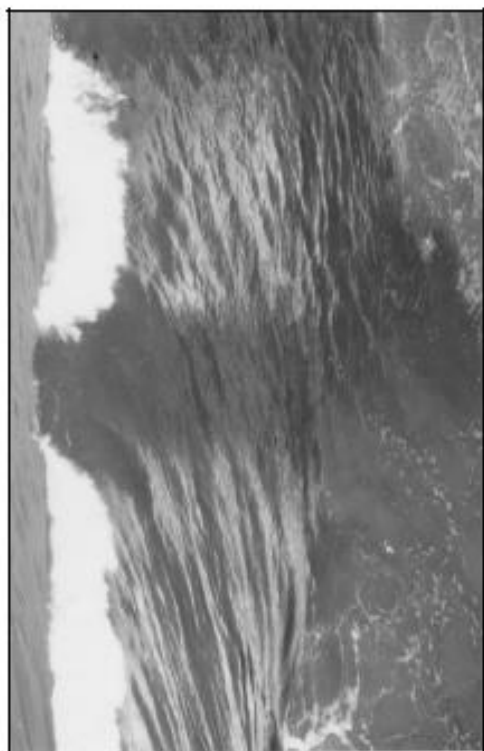
5.7. Brytende bølger



b) Plunging breaking wave



d) Collapsing breaking wave



a) Spilling breaking wave



c) Surging breaking wave

FIG 5.7.1 Eksempler på tre typer brytende bølger ”spilling”, ”plunging” og ”surging”. ”Spilling” kan opptre hvor som helst, mens ”plunging” (ved bratt skråning) og ”surging” (ved slak skråning) opptre på grunt vann.

Bølger kan bryte på dypt vann, brytning bestemmes da av bølgesteilheten (H/λ), og ikke av vanddypet.

Bølger på endelig eller grunt vann som nærmer seg land, der vanddypet reduseres, får økt steilhet (H/λ) fordi bølgelengden avtar og høyden øker. Når steilheten når en kritisk verdi, som er avhengig av (H/d) og av helningen på havbunnen (β), bryter bølgen. Bølgen kan eventuelt fortsette, og bryte (flere ganger) før den når land.

Bunnhelning kan være en vesentlig parameter ved beregning av brytende bølger. Bunnhelning (ved ujevn bunn) bestemmes som midlere stigning målt over en horisontal avstand som tilsvarer en bølgelengde (måles fra havet fram til punktet bølgen bryter).

Neste figur viser typisk form på de tre typer brytende bølger som anvendes ved dimensjonering av kystkonstruksjoner.

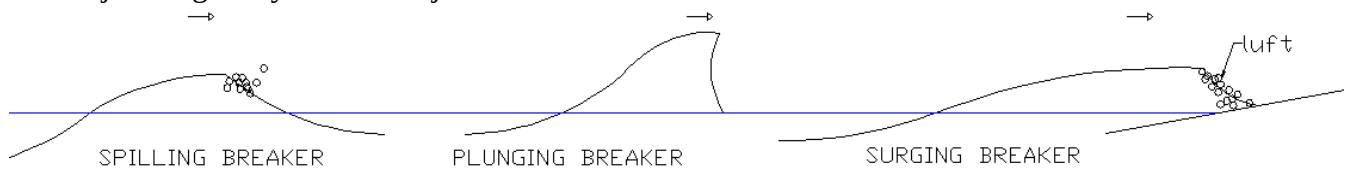


FIG 5.4.2 Kategorisering av brytende bølger.

For installasjon som står plassert på et punkt der brytning er sannsynlig skal det kontrolleres hvilken type brytende bølge som opptrer. Neste figur kan benyttes til dette formålet.

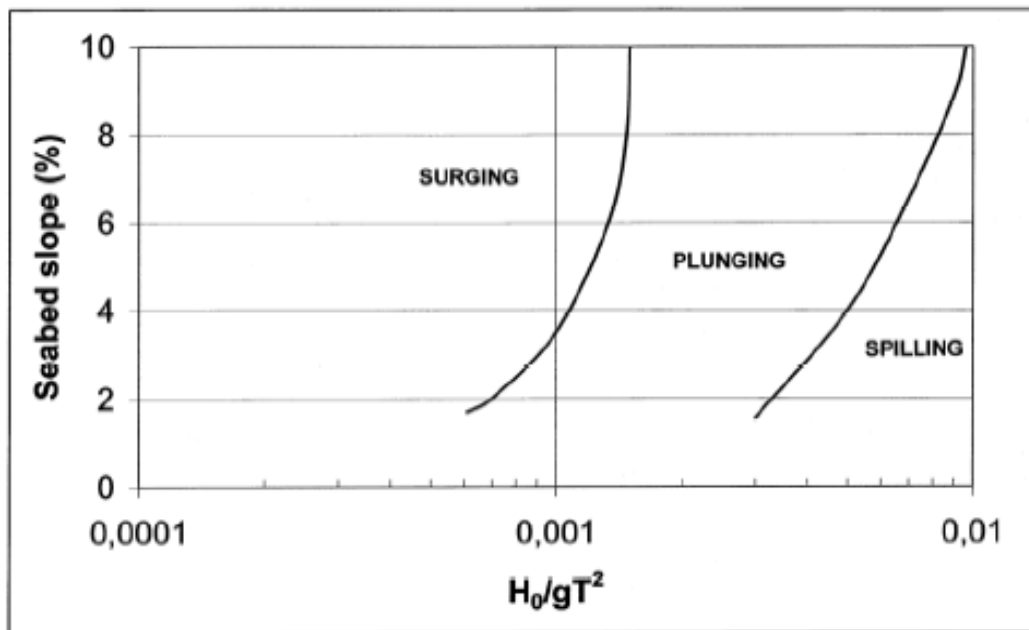


FIG 5.7.2 Overgang mellom ulike typer brytende bølger vist som funksjon av bunnstigning, bølgehøyde og periode på dypt vann (H_0 og T). Ref /3.3/.

Ved beregning av bølgekinematikk i brytende bølger er det nødvendig å bestemme følgende størrelser:

- Brytende bølgehøyde : H_B
- Brytende vanddyp : d_B

- Brytningsdybde indeks $\gamma_B = \frac{H_B}{d_B}$
- Brytningshøyde indeks $\Omega_B = \frac{H_B}{H_0}$
- Bølgehøyde for bølgen som ankommer lokalitet H_0 (på dypt vann)

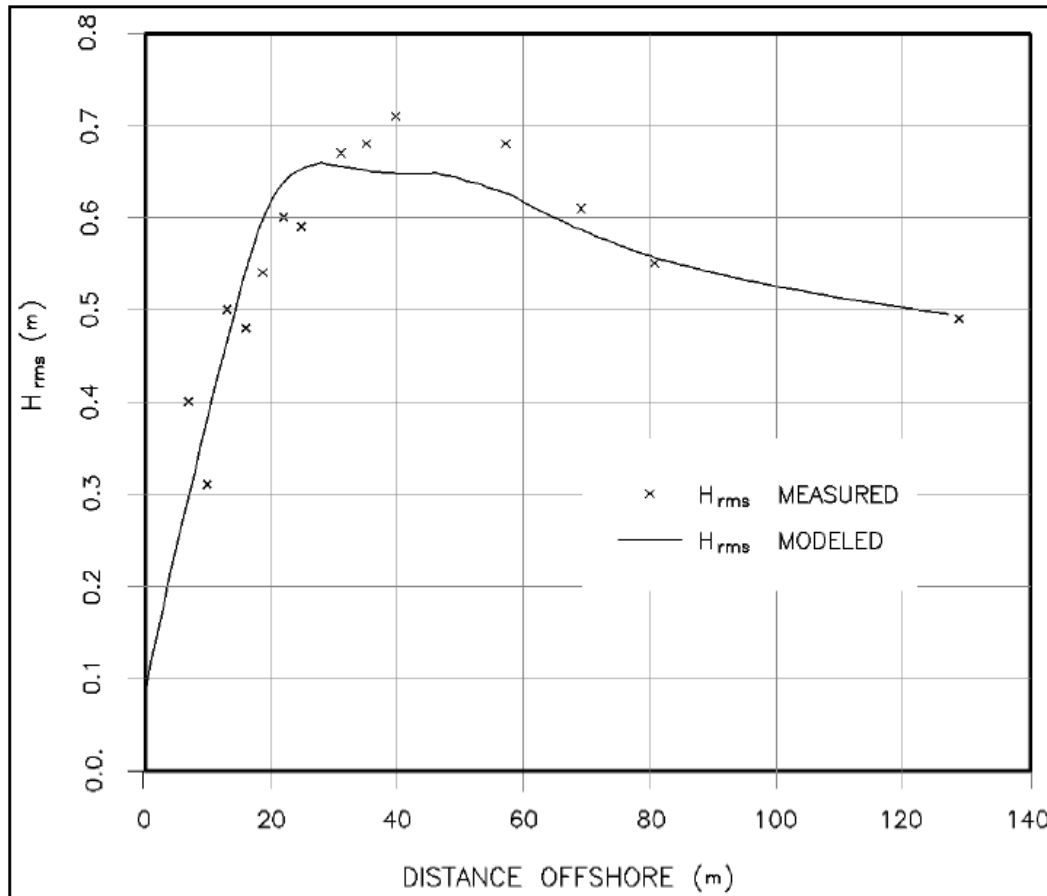


FIG 5.7.1 Eksempel på beregnet brytende (irregulær) bølgehøyde, ved bølgebrytning på en slak strand. Kurven gjelder ett konkret tilfelle og har ikke generell gyldighet.

Bølger som ankommer grunt vann vil få økt asymmetri, det vil si at bølgetoppen heves og vil derfor påføre en installasjon ekstra belastning. Bølgeasymmetri ivaretas ved at det anvendes relevant bølgeteori i hvert tilfelle. Følgende størrelser, som også tilhører bølgekinematikken, skal beregnes:

- Bølgens asymmetri, avstand fra vannlinje til topp h_C
- Bølgens asymmetri, avstand fra vannlinje til dal h_T

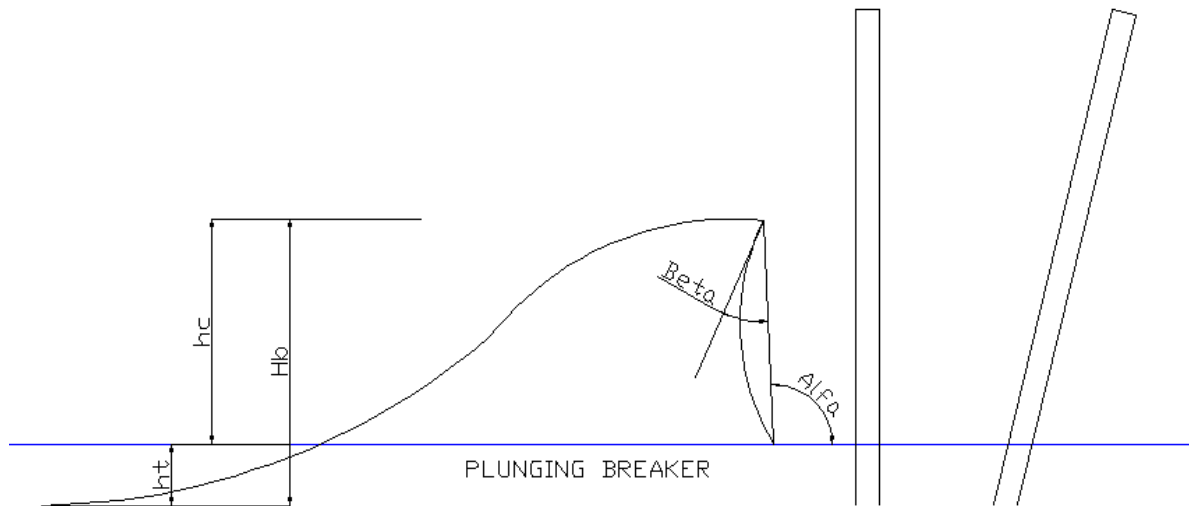


FIG 5.7.2 Figuren viser h_c , h_t og h_b for en brytende bølge.

5.8. Laster fra bølger og strøm i sjø

Bølger kan forårsake statisk og dynamisk last på en installasjon.

Kvasistatisk lastvirkning

Installasjoner kan dimensjoneres mot karakteristiske statiske bølgelaster ved hjelp av lineær statisk last/styrke-analyse.

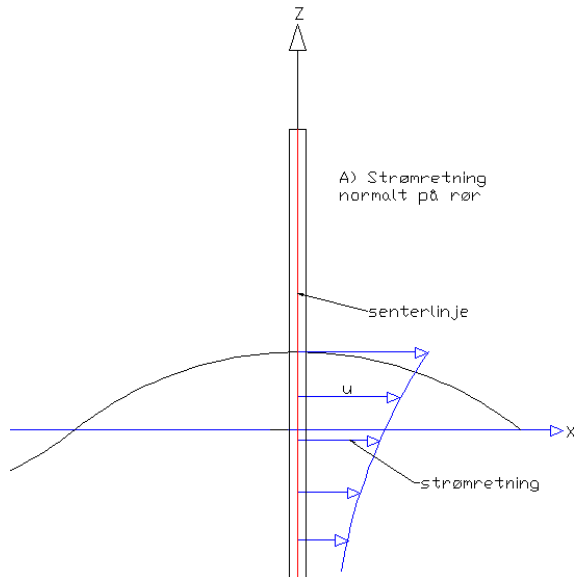
En installasjon kan som tidligere nevnt i enkelte spesielle tilfeller (hvis kvadratisk tverrsnitt eller sirkulært tverrsnitt der $\lambda < 5D$) tilhøre kategorien storvolumkonstruksjon. Da skal det benyttes potensialteori siden Morison's ligning ikke er gyldig.

Bølgelaster på småvolumkonstruksjoner kan beregnes ved hjelp av Morison's ligning. Det forutsettes at alle installasjoner har så stor stivhet at de kan betraktes som faste konstruksjoner uten signifikant sideveis bevegelse på grunn av bølger. Karakteristisk strømhastighet på lokaliteten adderes til bølgepartikkelhastigheten. Se veiledning nedenfor.

Betingelse for bruk av Morison's ligning	: $\lambda \geq 5D$
Bølgelengde	: λ [m]
Karakteristisk tverrsnittsdimensjon (diameter)	: D [m]
Bølgelast normalt på et slankt legeme (rør)	: $dF = (dF_M + dF_D)$ [N/m] (1) (Se figur, situasjon A)
Massetreghetskraft normalt på rørets senterlinje	: $dF_M = \rho \Delta a + \rho C_M \Delta_R a$ [N/m]
Massetetthet, sjøvann	: $\rho = 1025$ [kg/m ³]
Added mass koeffisient, for begrodd rør	: C_M
Vannpartikkelakselerasjon normalt på rørets senterlinje	: a [m/s ²]
Volum	: Δ [m ³ /m] $\Delta = \pi R^2$ for et sirkulært rør
Referansevolum, for beregning av C_M	: Δ_R [m ³ /m] $\Delta_R = \pi R^2$ for et sirkulært rør
Radius for et rør (med sirkulært tverrsnitt)	: R [m]
Tykkelsestillegg, pga. marin begroing	: dr [m]
Rørdiameter som brukes i beregning	: $D = 2(R + dr)$ [m]
Dragkraft normalt på rørets senterlinje	: $dF_D = \frac{1}{2} \rho C_D u u A$ [N/m]

Eksponert areal, pr. meter rør	: $A = D$	[m ² /m]
Hastighet normalt på rørets senterlinje	: $u = u_w + u_c$	[m/s]
Bølgepartikkelhastighet normalt på rørets senterlinje	: u_w	[m/s]
Strømhastighet i strømretningen	: u_c	[m/s]

Note (1): Formel gjelder situasjon A, og er gyldig på en kort strekning der hastighet og akselerasjon kan antas konstant.



Horisontal last på <u>ett</u> rør kan beregnes som følger	: $F = \int_{-d}^{\eta} dF dz$	[m]
Veltemoment, ved $z=-d$, for <u>ett</u> rør kan beregnes som følger	: $M = \int_{-d}^{\eta} z * dF dz$	[Nm]
Bølgeoverflate	: η	[m]

Vannpartikkelhastighet, vannpartikkelakselerasjon, fasehastighet, bølgehøyde, avstand fra stillevannslinje til bølgetopp, C_D og C_M beregnes med den bølgeteori som skal anvendes i hvert enkelt tilfelle.

Dynamisk lastvirkning

Bølger kan forårsake vibrasjoner på grunn av virvelavløsning. Installasjonen, eller et element i installasjonen, kan få store svingeamplituder dersom avløsningsfrekvensen er lik en av elementets egensvingefrekvenser (resonans). Det skal alltid undersøkes om en installasjon, eller elementer i installasjonen, kan bli eksitert i en eller flere av dens egensvingemoder.

Resonans kan opptre i følgende situasjoner:

A) Ved relativt korte bølger, der	: $K_C < 30$	
”In-line” oscillasjon	: $1,0 < v_R$	
”Cross-flow” oscillasjon	: $3,0 < v_R < 9,0$	
Bølgepartikkelhastighet normalt på rør	: u	[m/s]
Maksimal bølgepartikkelhastighet	: u_M	[m/s]
Strømhastighet	: u_c	[m/s]
Elementets diameter	: D	[m]

Redusert hastighet	: $v_R = \frac{u}{f_I D}$	[-]
Installasjon/elementets egenfrekvens	: f_I	[Hz]
Keulegen Carpenter's tall (i strøm og bølger)	: $K_C = u_M \frac{T}{D} (1 + \frac{u_C}{u_M})^2$	
B) Ved lenger bølger, der	: $K_C > 30$	
"In-line" oscillasjon	: $1,0 < v_R < 3,5$	
"Cross-flow" oscillasjon	: $4,0 < v_R < 8,0$	

Dersom resonans opptrer i installasjonen, eller i et element i installasjonen, skal det utføres en virvelavløsningsanalyse. Svingefrekvens, antall svingninger i levetiden, svingeamplitude og tilhørende spenning i installasjonen beregnes.

Resonans kan medføre slitasje/skade på utrustning, eller utmattingssprekker i kjerver.

Dersom det opptrer signifikante spenningsamplituder (over terskelverdi) i kjerver/sveiser, skal det utføres utmattingsskontroll av sveiser/kjerver. Det skal etableres en langtidsfordeling for bølgelasten som skal danne grunnlag for utmattingsberegningene.

5.9. Laster fra brytende bølger i sjø, laster fra bølgeslag

Brytende bølger (last på vertikale element) eller slag fra bølger (last på horisontale element) forårsaker statisk og dynamisk last på installasjonen eller dens konstruksjonselement.

Kvasistatisk lastvirkning

Installasjoner kan dimensjoneres for karakteristisk statisk last ved hjelp av en lineær statisk last/styrke-analyse. Dersom installasjonen er relativt stiv er dette en pålitelig metode.

Samtlige typer brytende bølger kan forårsake hydrodynamisk statisk last uten sjokktrykk (samme trykk som beregnes i kapittel 5.8.) Det skal forutsettes at brytende bølger av type "plunging breaker" også kan forårsake sjokktrykk. Sjokktrykket på vertikalt eller skrått rør kan beregnes slik figur 5.9.1 viser.

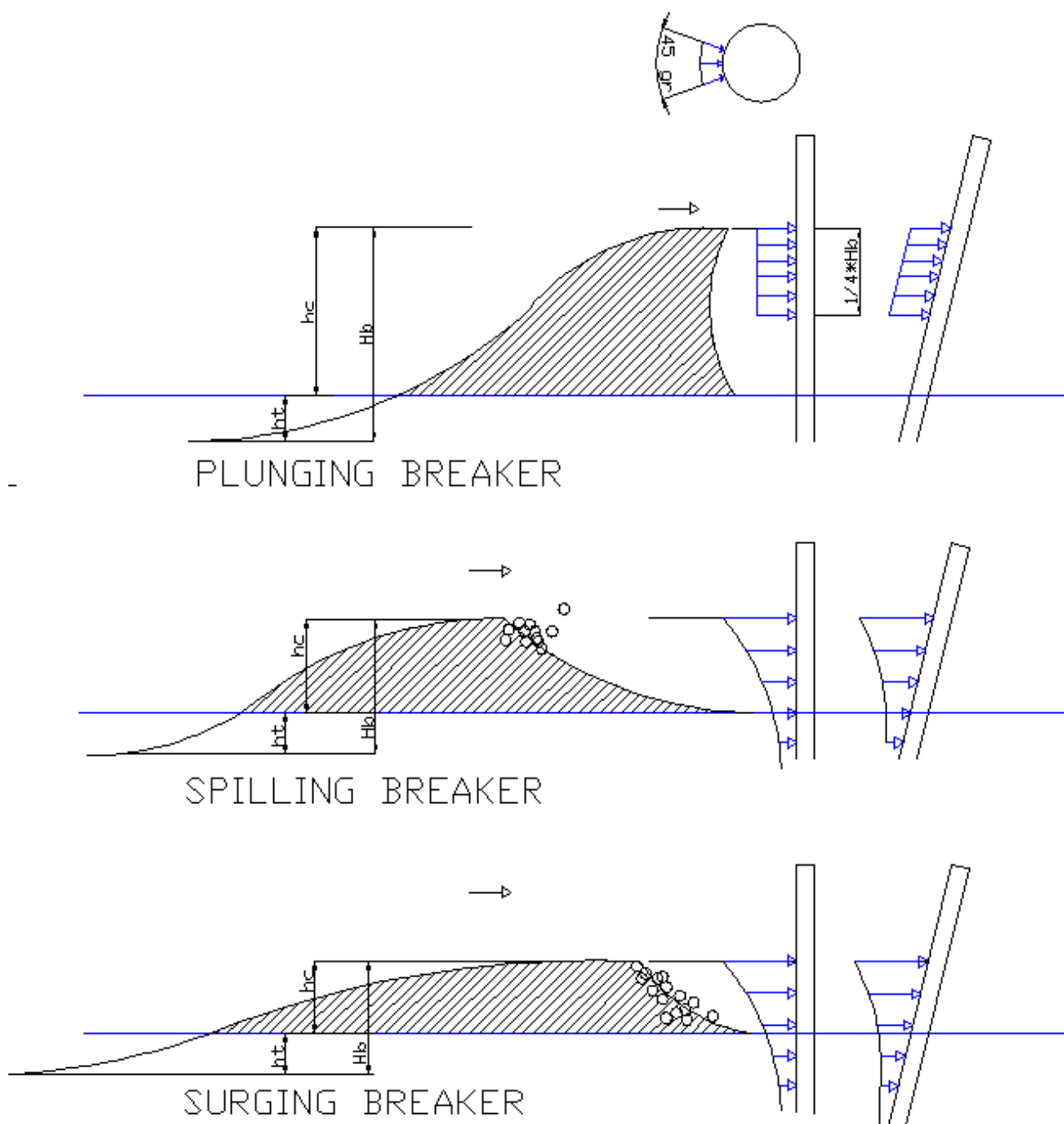


FIG 5.9.1 Hydrodynamisk trykk og sjokktrykk fra brytende bølger.

Laster fra brytende bølger kan beregnes med følgende prosedyre:

Hydrodynamisk last på sirkulær sylinder (se kapittel 5.8)	: $dF = \frac{1}{2} \rho u u C_D A$ [N/m]
Statisk sjokktrykk på sirkulær sylinder, ”plunging breaker”:	$F_s = \frac{1}{2} \rho c^2 C_s A^* \gamma_{DAF}$ [N]
Bølgens fasehastighet	: c [m/s]
Sjokktrykk koeffisient (slamming)	: $C_s = 3.0$
Brytende bølgehøyde	: H_B [m]
Eksponert areal,	: $A^* = \frac{1}{4} H_B * D * 0.38$ [m ²]
Bølgens fasehastighet	: c [m/s]
Dynamisk forsterkningsfaktor	: $\gamma_{DAF} = 1.50$

Bølgeslag fra for eksempel brytende bølge, eller vertikalt bølgeslag på et horisontalt rør, har meget kort varighet (millisekund). Derfor skal bølgeslag antas å angripe kun ett element i gangen på et begrenset område.

Bølgeslag opptrer også på horisontale rør. Merk at alle typer bølger kan forårsake bølgeslag på horisontale rør, forutsatt at bølgens overflate kan treffe røret. Kun bølger med retning +/-10 grader relativt til akse normalt på rør kan antas å forårsake bølgeslag. Bølgeslag på horisontale rør beregnes med de samme formler som bølgeslag på vertikale rør.

Dynamisk lastvirkning

Bølgeslag forårsaker et transient svingeforløp. Svingningsforløpet kan antas å variere lineært, en kan anta at ett slag forårsaker 20 oscillasjoner. Installasjonen (eller det konstruksjonselement som påføres et slag) vil svinge med sin egensvingefrekvens. Disse opplysninger benyttes til å etablere lastens langtidsfordeling.

Svingninger som kan forårsake signifikante spenningsamplituder i sveiser og kjerver (over terskelverdi), skal kontrolleres mot utmatting.

5.10. Alternativ beregning av bølgelaster

Statistiske bølgelaster forårsaket av ikke-brytende bølger kan alternativt beregnes med CFD-dataprogram. Det understrekes at dette gjelder CFD-program som anvender en RANS-kode (Reynold-Average-Navier-Stoke kode) der viskøse effekter ivaretas. CFD-beregninger skal benyttes med forsiktighet i dimensjonering av installasjoner frem til de er validert mot andre metoder (manuelle beregninger, fullskalamålinger eller modellforsøk).

5.11. Bølgeoverskylling på land

Overskylling kan antas å tilsvare ”grønt vann” på dekk for skip, og det forutsettes at samme fremgangsmåte benyttes ved beregning av bølgelaster på installasjoner utsatt for overskylling.

Det skal utføres en betraktning som avklarer om overskyllende bølger når fram til installasjonen, dessuten skal høyden estimeres. En forenklet og konservativ metode er presentert i neste figur.

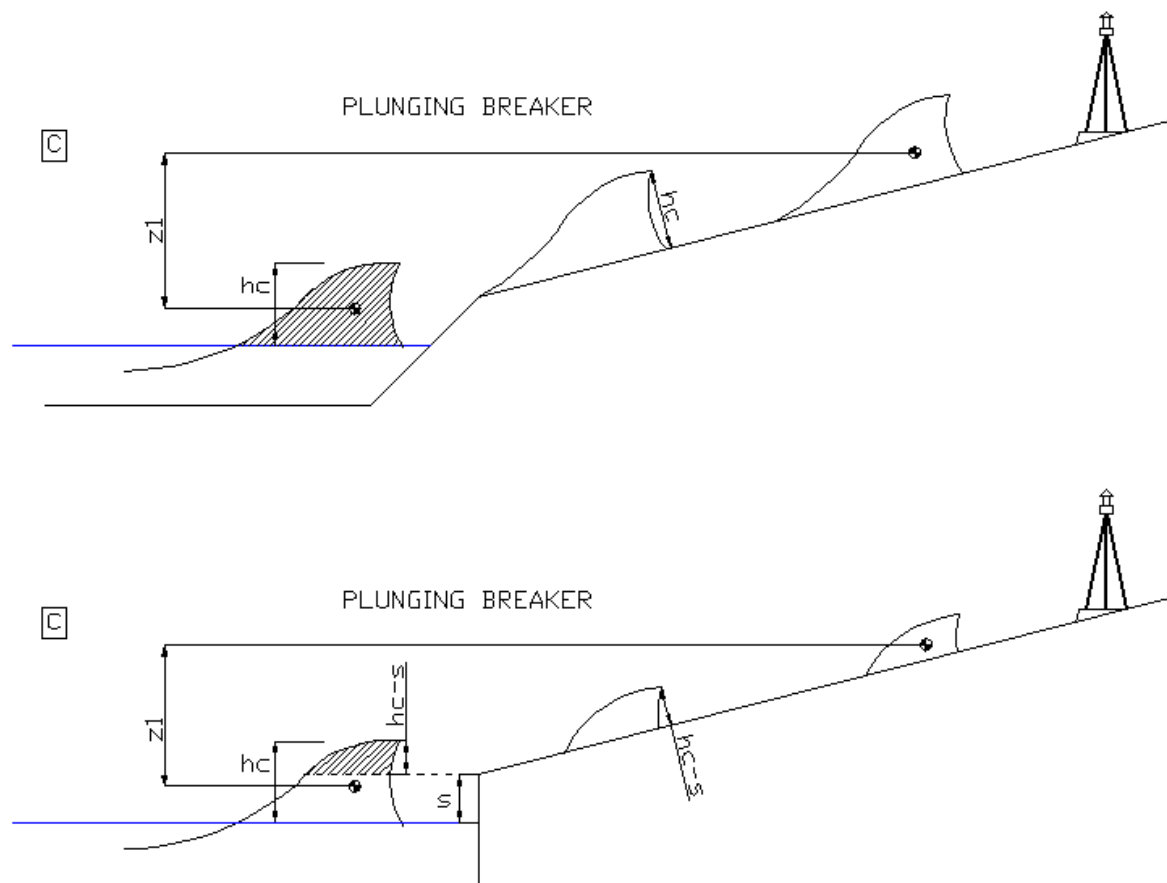


FIG 5.11.1 Beregning av bølgens teoretisk største forflytning ved overskylling. Dette gjelder forflytning av selve bølgetoppen, og ikke "run-up" av vannmassen. "Run-up" definerer hvor langt vannmassen kan strømme, men det er antatt å være en mindre dramatisk effekt av bølgen.

Forklaring til figur 5.11.1

Skravert område representerer et idealisert 2-dimensjonalt tverrsnitt av vannmassen som kan antas å forsure en bratt stigning (nederst) eller en slak stigning (øverst) ved overskylling. Kategori C er definert i figur 5.4.3. Merk at ved slak stigende bunn (øverst) antas at hele bølgetoppen overskyller land, mens ved bratt hellende bunn (nederst) antas at kun den del av bølgetopp som ikke reflekteres fører til overskylling. For begge tilstandene kan en anta begrensning i overskylling basert på følgende konservative energibetraktning:

- Vertikal forflytning av bølgetverrsnittets tyngdepunkt : $Z1 = \frac{c^2}{2g}$ [m]
- Bølgens fasehastighet før landstigning : c [m/s]
- Tyngdens akselerasjon : $g = 9,81$ [m/s²]
- Bølgetopp høyde ved vannkant : hc [m]
- Høyde fra vannlinje opp til kant : s [m]

Bølger som overskyller land eller kaiområder skal beregnes med "solitary wave" bølgeteori. Det skal dessuten antas at bølgen antar samme form som en "plunging breaker". Bølgelast på sirkulære rør kan beregnes etter samme metode som angitt i kapittel 5.9. Se figur 5.11.2, merk at eksponert areal nå øker i vertikal utstrekning (H^*), og at bølgehøyden tilsvarer høyden $hc-s$. Høyden ($hc-s$) beregnes som vist i figur 5.11.1.

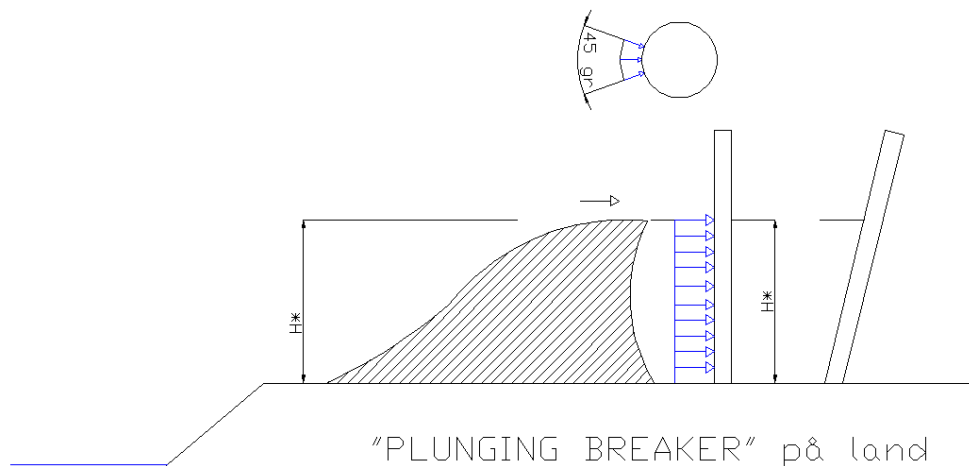


FIG 5.11.2 Bølge som overskyller land/kai.

Bølger kan, på enkelte lokaliteter og under ekstreme værforhold, forårsake at steiner enkeltvis løftes og føres mot land. Neste figur viser antagelser som kan benyttes til å avgjøre om en installasjon kan påføres laster fra stein i bølger. Dette kan skje for lokalitet av kategori D (se figur 5.4.3) dersom der finnes stein av den størrelse som bølger på lokaliteten klarer å løfte på en strekning lik $\frac{1}{2}$ bølgelengde foran vannkant, på et vanddyb mindre eller lik $1,5h_c$. En enkelt stein kan antas å følge en vilkårlig bane som begrenses av en sirkelbue med høyde tilsvarende h_c og med lengde tilsvarende $\frac{1}{2}$ bølgelengde inn på land.

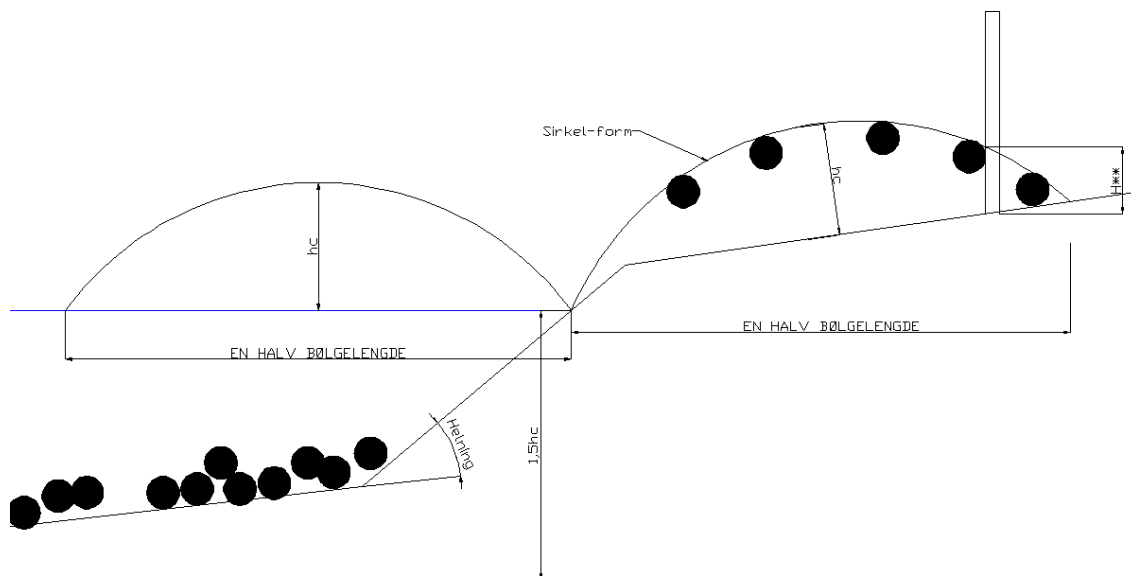


FIG 5.11.3 Kategorisering av lokalitet hvor overskylling med stein kan forekomme.

Figur 5.11.4 angir ved hvilke strømningshastigheter en stein med gitt vekt/størrelse "løftes", det vil si forflyttes om nødvendig vertikalt. Høyden H^{**} angir området på installasjonen som kan påføres kollisjonslast fra stein. Det er gjort antagelser av steinformen (en kule), drag koeffisient ($C_d=0,15$), Reynoldstall ($R_n>3E5$) og steinvekt (5 ulike tettheter er angitt). [Dersom steintypen på lokaliteten ikke er kjent kan en anta egenvekt $3T/m^3$.] Det kan

nevnes at steiner som har større ruhet enn en glatt kule vil få mer turbulens og en lavere Cd-verdi, derfor er $C_d=0.15$ antatt å være et relevant estimat, men verdien er usikker.

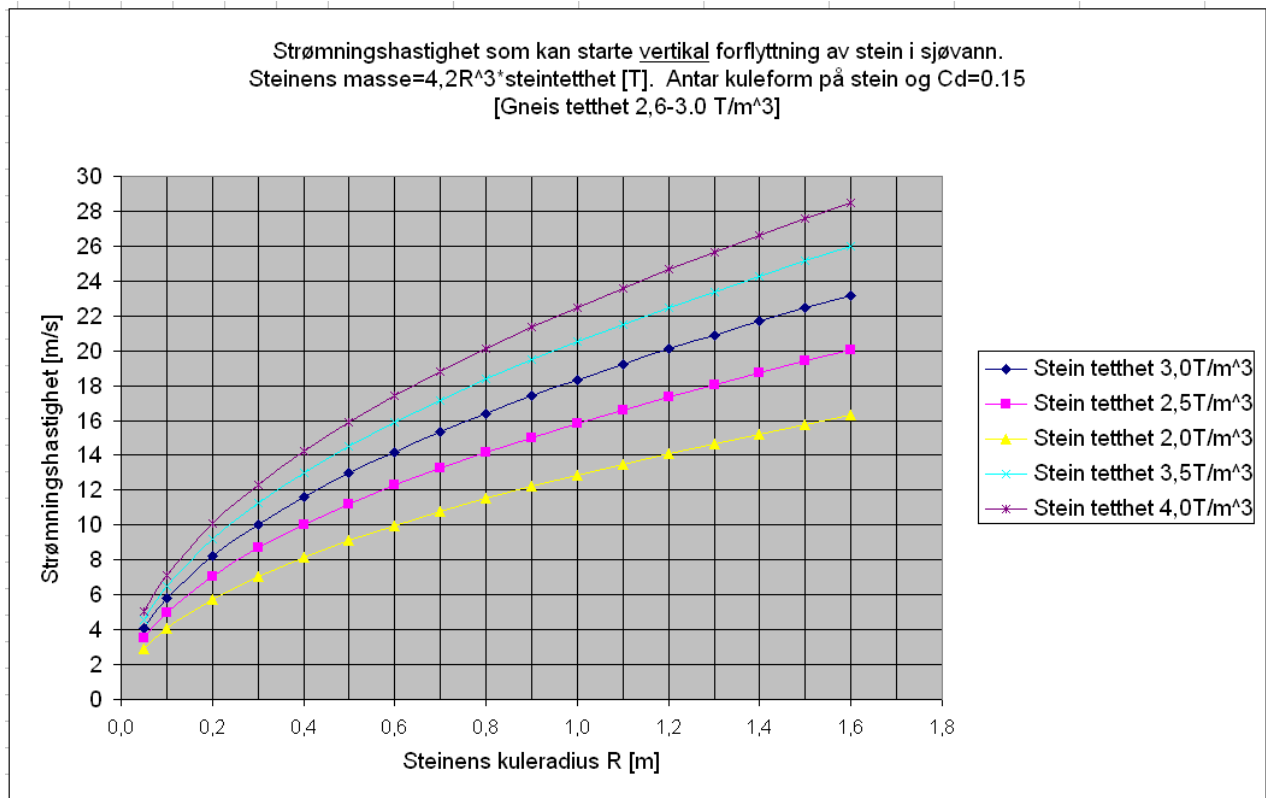


FIG 5.11.4 Figur som angir sammenheng mellom strømningshastighet og steinstørrelse (radius).

Ved bestemmelse av steindimensjon (R) skal bølgens fasehastighet benyttes i figuren ovenfor (strømningshastighet). Det skal forutsettes at følgende massekrefter kan påføres installasjoner som treffes av slike steiner:

Største stein masse	: $M = 4,2 \cdot R^3 \cdot \rho_{STEIN}$ [Tonn]
Stein tetthet (3T/m³ kan alternativt benyttes)	: ρ_{STEIN} [kg/m³]
Bølgers fasehastighet	: c [m/s]
Kinetisk energi i stein	: $E_{KIN} = \frac{1}{2} Mc^2$ [kJ]

5.12. Slitasje forårsaket av sandpartikler i bølger

På enkelte lokaliteter kan bølger virvle opp sandpartikler. Vann blandet med sandpartikler kan over lang tid medføre slitasje på installasjonens overflate. Denne lastvirkning har normalt ikke betydning for installasjoner som benyttes i andre bransjer med for eksempel 10-20 års levetid, men kan vise seg å ha betydning for Kystverkets installasjoner med krav til 50 års levetid.

Siden denne miljølasten ikke er tilstrekkelig dokumentert, er det inntil videre ikke nødvendig å foreta tiltak for å beskytte installasjoner mot denne lastvirkningen.

5.13. Islaster

A Isflak i bevegelse på grunn av vind og/eller strøm

Når isflak treffer en konstruksjon er isens bruddform avgjørende for størrelsen på islasten. Dett gjelder brudd på grunn av knusing, bøyning eller kløyving. Etter et brudd vil lasten elimineres inntil en eventuell ny pålasting. Siden bruddformen normalt ikke kan forutses, skal hver bruddform undersøkes, og den verste bruddformen tilsvarer karakteristisk islast fra isflak i bevegelse.

Knusing

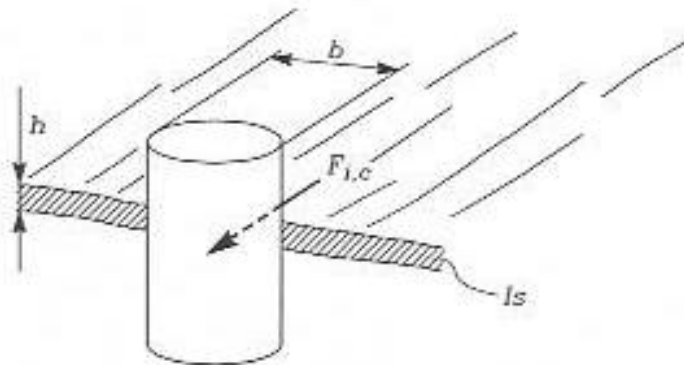


FIG 5.13.1 Isflak knuses ved kontakt med et slankt vertikalt sirkulært rør.

Ref. /3.6/ skal benyttes ved beregning av kvasistatiske krefter på pel som utsettes for last fra isflak i bevegelse som knuses i kontakt med pel.

Kløyving

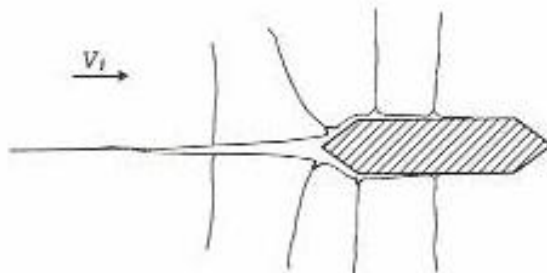


FIG 5.13.2 Isflak kløyves pga. kileformet pel. Et sirkulært vertikalt rør kan også kløyve is.

Ref. /3.6/ skal benyttes ved beregning av kvasistatiske krefter på pel som utsettes for last fra isflak i bevegelse som kløyves i kontakt med pel.

Brudd

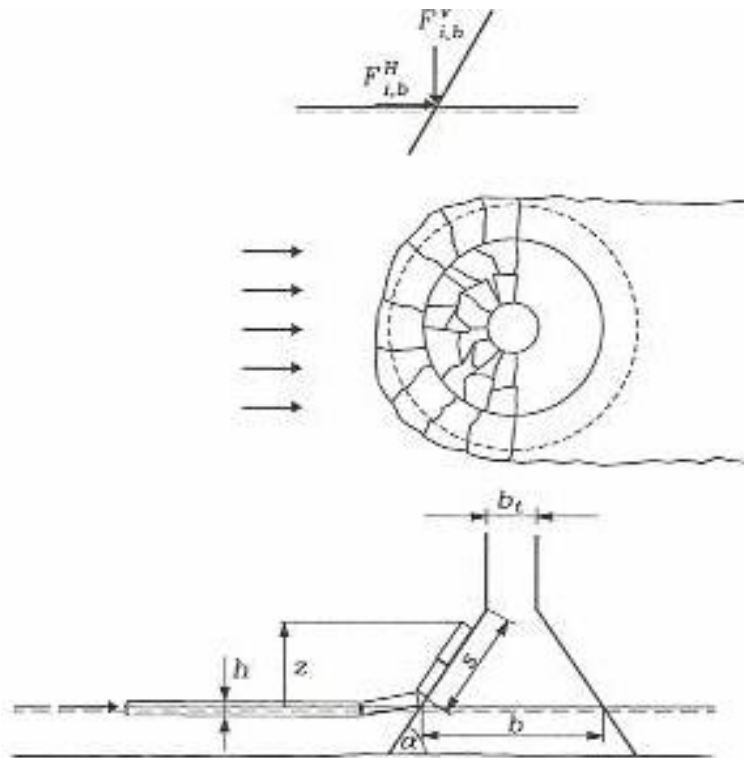


FIG 5.13.3 Isflak som svikter ved brudd.

Dersom installasjonen har konisk form vil isflak i bevegelse presses oppover installasjonen inntil de svikter ved brudd. Konisk form er normalt å foretrekke på lokaliteter med is siden de reduserer islasten. Installasjonen påføres en horisontal og en vertikal last som begge er forårsaket av isens bruddlast pluss lasten fra is som presse oppover installasjonen.

Ref. /3.6/ kan benyttes ved beregning av kvasistatiske krefter på skråstilt pel/konstruksjon som utsettes for last fra isflak i bevegelse som svikter i brudd ved kontakt med installasjon. Ralstons metode kan alternativt benyttes.

Her gjengis Ralstons metode for beregning av islast på slanke koniske installasjoner. [Ralstons metode kan ikke uten videre benyttes på installasjoner av typen 3-beining fordi metoden forutsetter et bruddmønster som vist i figur 5.13.3.]

Horisontal islast : $F_{i,b}^H = [A_1 r_C h^2 * 10^6 + A_2 \gamma_w h b^2 + A_3 \gamma_w h (b^2 - b_t^2)] \bar{A}_4 * 10^{-3}$ [kN]

Vertikal islast : $F_{i,b}^V = [B_1 F_{i,b}^H + B_2 \gamma_w h (b^2 - b_t^2)] * 10^{-3}$ [kN]

Isens trykkstyrke : $r_C = \sigma_f$ [MPa]

Spesifikk tetthet : $\gamma_w = (1025 * g)$ for sjøvann, (9810) for ferskvann [N/m³]

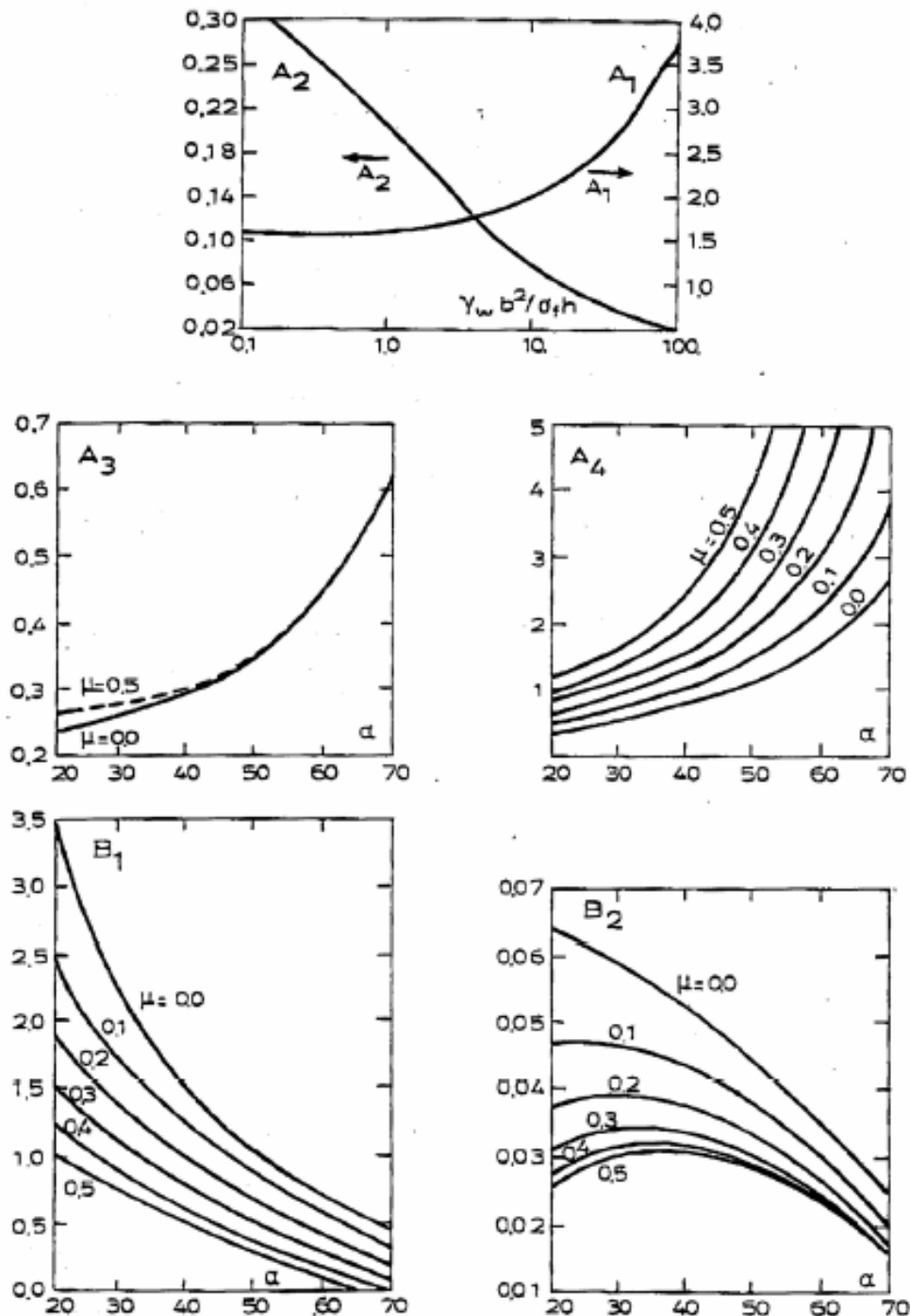


FIG 5.13.4 Koeffisienter i Ralstons formler. μ er friksjonskoeffisient mellom is og installasjonens overflate.

Dynamisk lastvirkning

Isflak i bevegelse som presses mot en installasjon bygd av ett vertikalt rør (eller flere) svikter ved en av tre bruddformer. Bruddprosessen representerer en dynamisk last med en forutsigbar frekvens som kan sette myke vertikale installasjoner i svingninger. Dersom islastens frekvens er nær installasjonens egenfrekvens, kan dette føre til resonans ("tuning") og dynamisk forsterkning av svingeutslaget. Følgende kriterium kan avgjøre om resonans opptrer:

Resonans opptrer, for vertikal installasjon, hvis	$: \frac{V_{IS}}{h * f_N} > 0,3$	
Isflakets hastighet	$: V_{IS}$	[m/s]
Istykkelse	$: h$	[m]
Installasjonens 1. egensvingemode lateralt	$: f_N$	[Hz]

Myke installasjoner, bygd av for eksempel ett vertikal rør, skal undersøkes med en dynamisk analyse dersom resonans opptrer. Dersom signifikante spenninger (over terskelverdi) opptrer i sveiser og andre kjerver skal det også utføres en utmattingsanalyse av disse områdene.

Ved beregning av hastigheten til isflak skal skyvkraft fra karakteristisk vind og strøm adderes.

B Horisontal ekspansjonslast fra kontinuerlig is på grunn av temperaturendring

Termisk utvidelse eller kontraksjon har størst betydning ved hurtig temperaturendring, og da spesielt ved snøfri is.

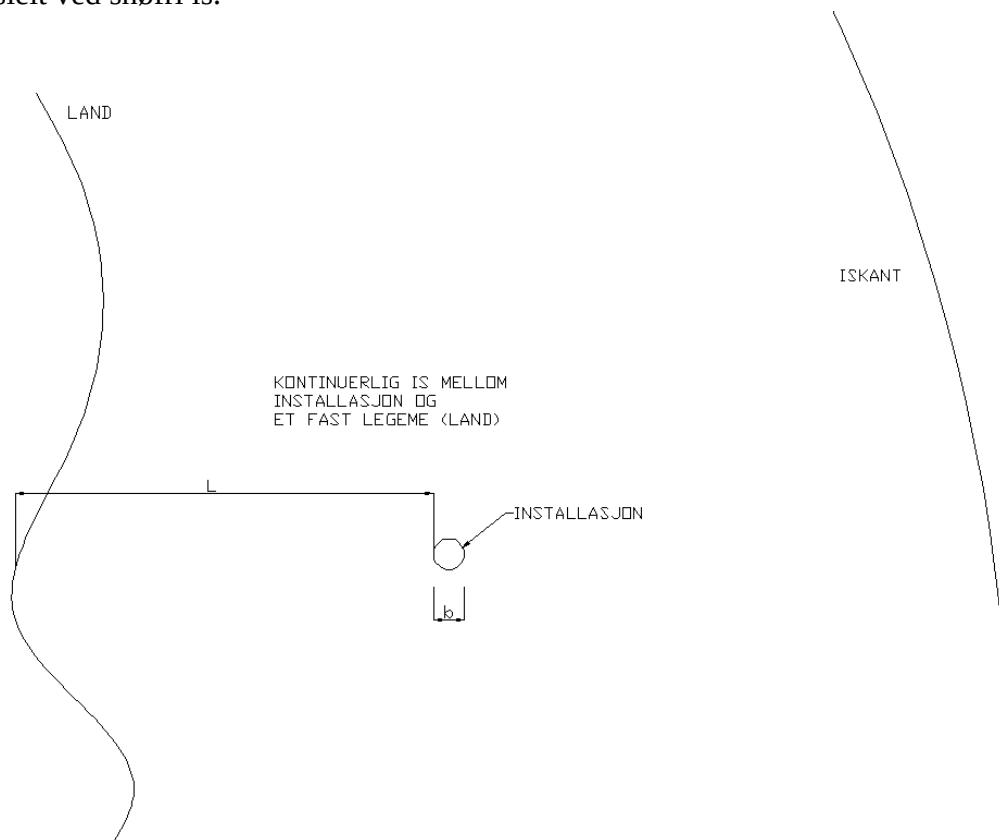


FIG 5.13.3 Eksempel på kontinuerlig isdekke mellom installasjon og fastland.

Ref. /3.6/ skal benyttes ved beregning av kvasistatiske krefter på installasjon som utsettes for last fra fast isdekke ved temperaturendringer.

C Vertikal islast fra fast isdekke som fryser fast til installasjonens bein

På følgende lokaliteter:

- hvor det kan dannes sjøis
- hvor det er liten eller moderat tidevannsendring, $\leq 1,0\text{m}$ regnet fra HAT til LAT
- hvor det kan være rolig vann med beskjedne bølger i lange perioder vinterstid,

skal det forutsettes at isflak kan fryse fast til samtlige bein på installasjonen. Oppdriften på isflak som fryser fast forårsaker islasten.

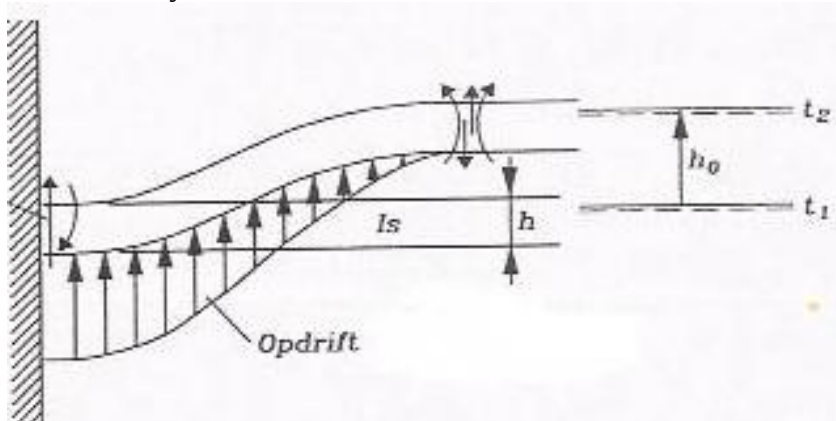


FIG 5.13.6 Positiv vertikallast på ett bein på grunn tidevannshevning (h_0 , t_1 , t_2) av fastfrost is.

Ref. /3.6/ skal benyttes ved beregning av kvasistatiske vertikalkrefter på installasjon som utsettes for isflak som fryser fast til installasjonen.

D Laster fra fast isdekke gjennom hvelvvirkninger

Ref. /3.6/ skal benyttes ved beregning av laster fra fast isdekke gjennom hvelvvirkning.

E Opphopning av isflak, skruis

Islaster på installasjoner som står på lokaliteter hvor det kan forekomme opphopning av isflak må vurderes individuelt i hvert enkelt tilfelle.

5.14. Laster fra snø

Laster fra snø er statisk last som normalt kan fordeles jevnt på horisontale flater. Akkumulasjon av is og snø skal ikke adderes. Karakteristisk kombinasjon av snø og akkumulert is skal antas i dimensjoneringen (E-last).

5.15. Temperaturlaster

Temperaturlaster (utvidelse eller kontraksjon) oppstår ved store temperaturendringer. Temperaturlaster kan opptre i konstruksjoner eller konstruksjonselement som er fastholdt mot utvidelse eller kontraksjon.

5.16. Hydrostatisk trykk

Installasjoner eller annen utrustning på installasjonen under vannflaten utsettes for hydrostatisk trykk. Hydrostatisk trykk skal beregnes for det tidspunkt den mest sannsynlig høyeste bølgetopp opptrer, ved HHV.

Hydrostatisk trykk ved z : $p(z) = -\rho_s g z * 10^{-3} \text{ [kN/m}^2\text{]}$
Vertikalavstand under vannoverflaten (bølgetopp) : z [m]
Gravitasjonskonstant : g [m/s²]

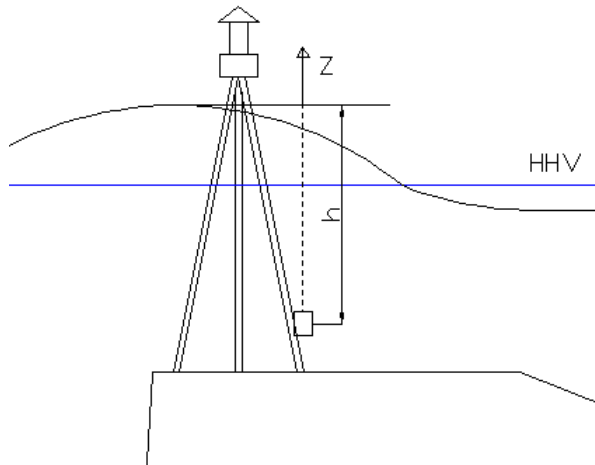


FIG 5.16.1 Hydrostatisk trykk på konstruksjon under vannflate, når høyeste bølgetopp passerer.

6. Ulykkeslaster

6.1. Innledning

Ulykkeslaster gjelder kun installasjoner i sjø. Installasjoner skal normalt bare dimensjoneres for ulykkeslaster gitt i kapittel 6.3-6.4.

Ulykkeslaster forårsaket av uvedkommende skal forhindres ved gjeldende regelverk:

- ❖ Det er i følge ”Lov om havner og farvann, §7” ikke tillatt å fortøye farkoster til Kystverkets installasjoner, heller ikke ombordstigning er tillatt.

For enkelte installasjoner er det nødvendig å oppnå et høyere sikkerhetsnivå, dette vil i så fall være spesifisert. Eksempel på slike installasjoner kan være:

- ❖ Installasjoner som representerer en risiko for sjøfarende etter en kollisjon med båt
- ❖ Installasjoner som skal dimensjoneres for å overleve kollisjon med båt

For installasjoner som skal dimensjoneres for et høyere sikkerhetsnivå skal det utføres en risikovurdering. Risikovurderingen, som for eksempel kan være en risikoanalyse, skal identifisere alle relevante feilmoder, konsekvenser av feilmoder og tilhørende krav til installasjonen.

6.2. Påkjørsel av båt

Det forutsettes at ulykkeslaster fra passerende båter normalt ikke vil overskride ulykkeslaster som kan forventes fra Kystverkets egne fartøy under installasjon, inspeksjon, vedlikehold og reparasjon av installasjonene.

For installasjoner som skal ha et høyere sikkerhetsnivå kan en velge mellom en eller flere av følgende alternative framgangsmåter for dimensjonering.

6.2.1. Dimensjonering mot båtstøt

Installasjoner som skal dimensjoneres for å overleve påkjørsel av båt skal risikovurderes, og det forutsettes at følgende parametere bestemmes:

- ❖ Karakteristisk båt. Definert ved deplasement, lengde, bredde, byggemateriale
- ❖ Båtens byggemateriale (velg blant materialene stål, aluminium, kompositt)
- ❖ Kollisjonslastens utstrekning vertikalt, relativt til stillevannslinje
- ❖ Karakteristisk hastighet ved påkjørsel
- ❖ Kollisjonslastens retning relativt til installasjon

De forutsetninger som installasjonen skal oppfylle etter kollisjonen skal spesifiseres. Dette kan være krav til maksimal sideveis utbøyning, en øvre grense for lokal skade, osv.

Følgende beregningsmetode kan benyttes for installasjoner som skal dimensjoneres for å overleve laster fra påkjørsel av båt.

Strukturell respons for skip og installasjon er vist som last-deformasjonsforløp i figur 6.2.1.1. Deformasjonsarbeidet som utføres på skipet og på installasjonen tilsvar skravert areal under

de to kurvene. Kollisjonslasten vil være avhengig av konstruksjonenes deformasjonsarbeid, og kollisjonslasten må finnes ved iterasjon. Følgende forhold beskriver energibalansen for kinetisk og potensiell energi under støtet:

$$E_S = E_{S,S} + E_{S,I} = \int_0^{w_{S,MAX}} R_S dw_S + \int_0^{w_{I,MAX}} R_I dw_I \quad [\text{Nm}]$$

Kinetisk energi : $E_S = \frac{1}{2}(m_S + a_S)v_S^2 \quad [\text{Nm}]$

Skipets masse, *added mass* og kollisjonshastighet : m_S, a_S, v_S

Deformasjonsarbeid i skip og installasjon : $E_{S,S}, E_{S,I}$

Støtlast på skip og på installasjon : R_S, R_I

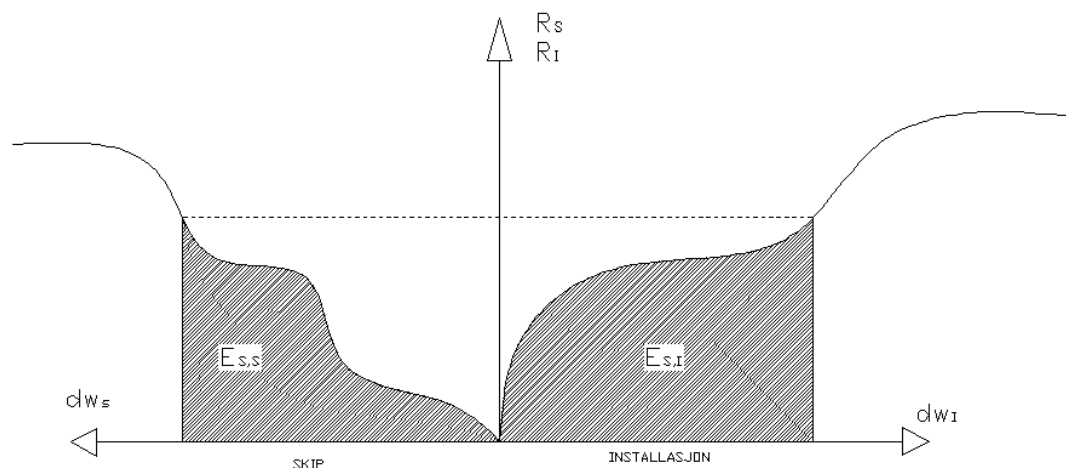


FIG 6.2.1.1 Last/deformasjonsforløp for skip og installasjon.

6.2.2. Kontroll av reststyrke

Installasjoner kan alternativt dimensjoneres slik at de opprettholder sine funksjoner selv om en kollisjon med båt medfører en av følgende mulige konsekvenser (som identifiseres i en risikovurdering) ved en kollisjon:

- ❖ Ett bein svikter fullstendig
- ❖ Ett skråstag eller et annet bærende element svikter fullstendig

Dimensjoneringsoppgaven går da ut på å kontrollere at installasjonen vil fungere tilfredsstillende (skal spesifiseres nærmere) etter kollisjonen ved at den har tilstrekkelig reststyrke etter kollisjonen.

6.2.3. Krav til bruddmønster

Enkelte installasjoner kan representere en fare for sjøfarende etter en påkjørsel fra båt, fordi den skadde installasjonen blir mindre synlig eller får endret/uheldig form.

Risikovurderingen skal identifisere alle relevante karakteristiske data for båttrafikken på lokaliteten, og hvorvidt installasjonen representerer vesentlig fare for sjøfarende etter

påkjørsel. I så fall skal det stilles følgende krav til installasjonen ved påkjørsel av et fartøy med karakteristisk størrelse, retning og fart:

- ❖ Installasjonen skal kollapse på en forutsigbar måte
- ❖ Bruddet bør opptre ved bunnivå
- ❖ Installasjonen skal ikke skade fartøyet under kollisjonen (dvs. ror og propell?)
- ❖ Installasjonen skal ikke representere en fare for fartøy etter kollisjonen

Dimensjoneringen av installasjonen vil da innebære at det skal sannsynliggjøres med tilfredsstillende sikkerhet at installasjonen kolliderer slik at den ikke utgjør vesentlig fare for fartøy under eller etter en kollisjon.

6.3. Støt fra Kystverkets egne fartøy

Under installasjon, inspeksjon, vedlikehold og reparasjon skal det utøves kyndig sjømannskap ved operasjon av Kystverkets egne fartøy. Relevante tiltak avhengig av vær/årstid (se også kapittel 7) skal forhindre at installasjoner overbelastes.

Alle sjø-installasjoner skal uansett dimensjoneres for ulykkeslaster gitt i kapittel 6.3.1-6.3.2.

6.3.1. Installasjoner på eksponert lokalitet, utsatt for bølger fra åpent hav

Installasjoner på eksponert lokalitet (bølger over $H_{\text{MAKS}}=6\text{m}$) skal dimensjoneres for følgende støtlaster:

- ❖ Karakteristisk deplasement : 50 [Tonn]
- ❖ Karakteristisk støthastighet : 0,2 [m/s]
- ❖ Skipets byggemateriale : Stål

Beregningsmetode gitt i kapittel 6.2.1 skal anvendes. Støtlasten skal antas å treffe innenfor elevasjon $\pm Z_1$ relativt til stille vannsnivå LLV-HHV, støtlastelevasjoner er gitt i figur 6.3.1.1.

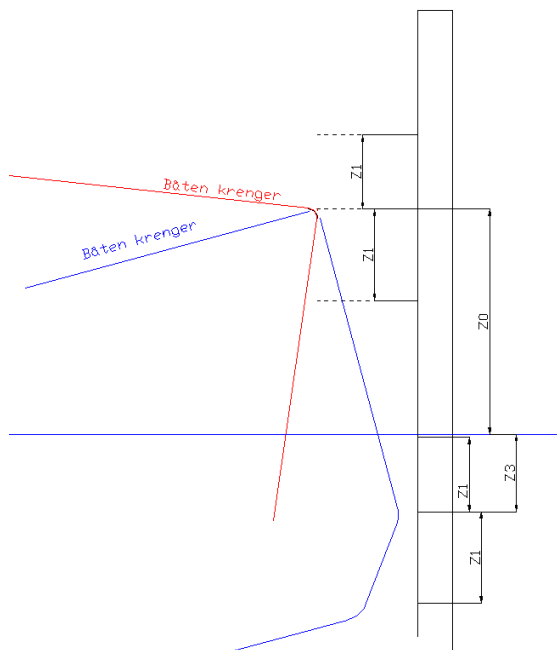


FIG 6.3.1.1 Relevante elevasjoner for kollisjonslast. $Z_0=3\text{m}$, $Z_3=1\text{m}$, $Z_1=1\text{m}$.

6.3.2. Installasjoner på skjermet lokalitet, utsatt for båt- og vind-generert sjø

Installasjoner på skjermet lokalitet (bølger under $H_{\text{MAKS}}=6\text{m}$) skal dimensjoneres for følgende støtlaster:

- ❖ Karakteristisk deplasement : 30 [Tonn]
- ❖ Karakteristisk støthastighet : 0,1 [m/s]
- ❖ Skipets byggemateriale : Stål

Beregningsmetode gitt i kapittel 6.2.1 skal anvendes, støtlastelevasjon er gitt i figur 6.3.1.1.

6.4. Drivende objekt

Installasjoner på sjølokaliteter skal dimensjoneres for støtlast fra et sylindrisk objekt:

- ❖ Karakteristisk deplasement (masse) : 300 [kg]
- ❖ Karakteristisk støthastighet : 2,0 [m/s]
- ❖ Objektets materiale : Stål
- ❖ Objektets diameter : 0,5 [m]

Beregningsmetode gitt i kapittel 6.2.1 skal anvendes. Lastelevasjon og lastgeometri er gitt i figur 6.4.1.

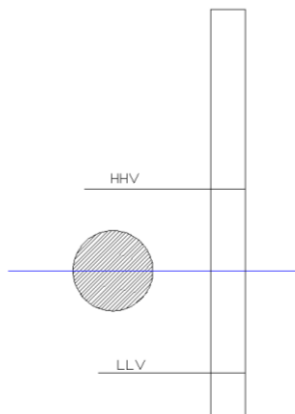


FIG 6.4.1 Elevasjon for støtlast fra drivende objekt. Anta at støtlasten kan treffe innenfor området LLV til HHV.

6.5. Brann

Installasjoner bygges normalt av ikke-brennbart materiale. Installasjoner skal derfor ikke dimensjoneres for brann, med mindre dette er spesifisert.

6.6. Eksplosjon

Eksplosjoner kan opptre i lukkede eller delvis lukkede rom på grunn av at eksplosive gasser antennes av varme flater eller gnist. Følgende eksplosive gasser kan forekomme på enkelte installasjoner:

- Gass fra batterier
- Bensin/diesel damp

Gnistkilder kan være elektrisk apparatur eller diesel/bensinaggregat. Lagerrom og maskinrom etc. i installasjoner skal alltid ventileres. Ventilene skal sørge for at vind forårsaker god og kontinuerlig gjennomlufting, uavhengig av vindretning. Samlet tverrsnitt på ventilasjonskanaler gjennom maskinrom eller rom med batteri skal dekke 20% av rommets utvendige omkrets med høyde ikke under 100mm.

Det er normalt ikke risiko for eksplosjoner i installasjoner. Installasjoner skal derfor ikke dimensjoneres for eksplosjonslaster, med mindre dette er spesifisert.

7. Temporære laster - Marine operasjoner

7.1. Innledning

Miljølaster (E-laster) som anvendes ved dimensjonering skal normalt ha 10-års returperiode i byggeperioden. Dette gjelder temporære konstruksjoner eller temporære faser for selve installasjonen i installasjonsperioden. Det skal da benyttes vanlige ULS lastfaktorer og materialfaktorer i dimensjoneringen.

Kortvarige sjø-operasjoner kan imidlertid planlegges utført i rolig vær, forutsatt at operasjonen planlegges utført innenfor en sikker værmeldingsperiode. For slike operasjoner defineres en øvre grense for sjøtilstanden slik at last og respons begrenses til den mest sannsynlig største last/respons som forventes å opptre i løpet av operasjonen.

Øvre grense for sjøtilstanden (operasjonsbegrensning) under en marin operasjon kan normalt spesifiseres ved en øvre grense V_{Maks} for vindhastigheten (nærmere bestemt 10 minutters middelvind 10 meter over havflaten). For enkelte operasjoner kan det imidlertid være nødvendig å sette operasjonsbegrensning på bølgehøyde, strømhastighet, bølgelengde, osv.

En sikker værmeldingsperiode regnes normalt som:

Sikker værmeldingsperiode fra 01.05-30.09	: 48 timer
Sikker værmeldingsperiode fra 30.09-01.05	: 24 timer

Det skal innhentes værmelding med 6-timers til 24-timers intervall, avhengig av hvor kritisk operasjonen er. Værmeldingen skal rapportere alle kritiske værd data, både før og under operasjonen.

Referanse /3.7/ kan benyttes der Lasthåndboken ikke gir detaljert veiledning.

7.2. Løft med båtcran

Løfteoperasjoner skal generelt tilfredsstille følgende gjeldende regler/normer:

- ❖ Løfteoperasjoner på fastlandet : Arbeidstilsynets forskrifter, og Ref. /1.4/
- ❖ Løfteoperasjoner ved kai, og i sjø : Arbeidstilsynets forskrifter, og Ref. /3.7/

Ved planlegging av løft med èn kran, av konstruksjoner over eller under vann, skal følgende forhold fastlegges ved beregning av lasten i kroken:

Krav under løftet	: $Kranens\ WLL > DHL$	
Karakteristisk last i kroken	: $DHL = DAF(W * \gamma_w + W_{RIG}) + F_{SPL}$	[Tonn]
Dynamisk forsterkningsfaktor	: DAF	(Avhenger av type kran, type båt og værforhold)
Vektusikkerhetsfaktor	: γ_w	(Må bestemmes i hvert enkelt tilfelle) [-]
Konstruksjonens vekt	: W	[Tonn]
Vekten av løfteutstyret (rigging)	: W_{RIG}	[Tonn]
Ekstra last ved løft under vann	: F_{SPL}	[Tonn]

Ved løft under vann påføres konstruksjoner hydrodynamiske laster som bestemmes av konstruksjonens form, løftehastighet, arbeidsbåtens bevegelseegenskaper i bølger og værforhold under operasjonen. F_{SPL} må beregnes i hvert enkelt tilfelle.

Lasten i en løftestropp (F) må beregnes i hvert enkelt tilfelle. F avhenger av karakteristisk last i kroken (DHL), stropplengde, stroppvinkel og tyngdepunktets plassering. Karakteristisk last i stroppen skal beregnes som følger:

Skjevlastfaktor, $n < 4$	: SKL=1,00	
Skjevlastfaktor, $n \geq 4$	: SKL=1,25	
Antall løftestropper	: n	[N]
Stroppvinkel relativt til horisont	: α	[grader]
Karakteristisk last i en stropp	: $S = DHL/n/\sin(\alpha) * SKL$	[N]

Løfteører skal dimensjoneres for å motstå følgende last:

Dimensjonerende last i ett løfteøre	: $F_{ØRE} = S * \gamma_F * \gamma_C$
Lastfaktor (ULS)	: $\gamma_F = 1,30$
Konsekvensfaktor	: $\gamma_C = 1,30$

Ved dimensjonering av løfteører skal det tas hensyn til følgende forhold:

- ❖ Karakteristisk lastretning, i vertikalplan : Bestemmes av stroppvinkel
- ❖ Karakteristisk lastretning, i horisontalplan : Ta hensyn til mulig sidelast fra stropp
- ❖ Karakteristisk moment : Sjakkell kan forårsake ekstra moment

Løfteører bør festes på konstruksjonen slik at deres sveiser primært utsettes for skjærspenninger, og ikke strekkspenninger.

Det bør benyttes en guide-anordning ved installasjon av konstruksjoner. En primær guide anordning kan ivareta posisjonering. Ved installasjon av større konstruksjoner kan det benyttes en ekstra sekundær guide som ivaretar konstruksjonens orientering.

7.3. Transport og løft med helikopter

Løfteoperasjoner med helikopter skal tilfredsstillende eventuelle gjeldende regler/normer:

- ❖ Løfteoperasjoner med helikopter : (Viser til Luftfartstilsynet)

Ved planlegging av løft/transport med helikopter (med en løftekrok) skal følgende forhold fastlegges ved beregning av lasten i kroken:

Krav under helikoptertransport	: <u>Helikopterkrokens WLL > DHL</u>	
Karakteristisk last i kroken	: $DHL = DAF(W * \gamma_W + W_{RIG}) + F_{SPL}^V$	[Tonn]
Dynamisk forsterkningsfaktor	: DAF	(Avhenger av type helikopter og vær)
Vektusikkerhetsfaktor	: γ_W	(Må bestemmes i hvert enkelt tilfelle) [-]
Konstruksjonens vekt	: W	[Tonn]
Vekten av løfteutstyret (rigging)	: W_{RIG}	[Tonn]
Ekstra vertikallast under transport	: $F_{SPL}^V = \frac{1}{2} 1,22 * v_v^2 * C_D * A_v * \cos^2(\beta)$	[Tonn]

Horisontallast under transport	: $F_{SPL}^H = \frac{1}{2} 1,22 * v_H^2 * C_D * A_H * \sin^2(\beta)$	[Tonn]
Eksponert areal	: A_v, A_H	[m ²]
Konstruksjonens helningsvinkel	: β	[grader]
Hastighet, vind +helikopterhastighet: v		[m/s]
Vertikalkomponent av v , pga. β	: v_v	[m/s]
Horisontalkomponent av v , pga. β	: v_H	[m/s]
Dragkoeffisient	: C_D (Avhengig av konstruksjonens form)	[-]

Ved løft med helikopter påføres konstruksjoner aerodynamiske laster som bestemmes av konstruksjonens form, helikopterhastighet og vindhastighet. Konstruksjonen vil få en helningsvinkel under transporten som bestemmes av likevekt mellom tyngdekraft og vindlaster. F_{SPL} må beregnes i hvert enkelt tilfelle, se figur 7.5.1.

Før helikopterløft bør det klargjøres primære guider som ivaretar posisjonering og sekundære guider som ivaretar orientering under nedsettingen.

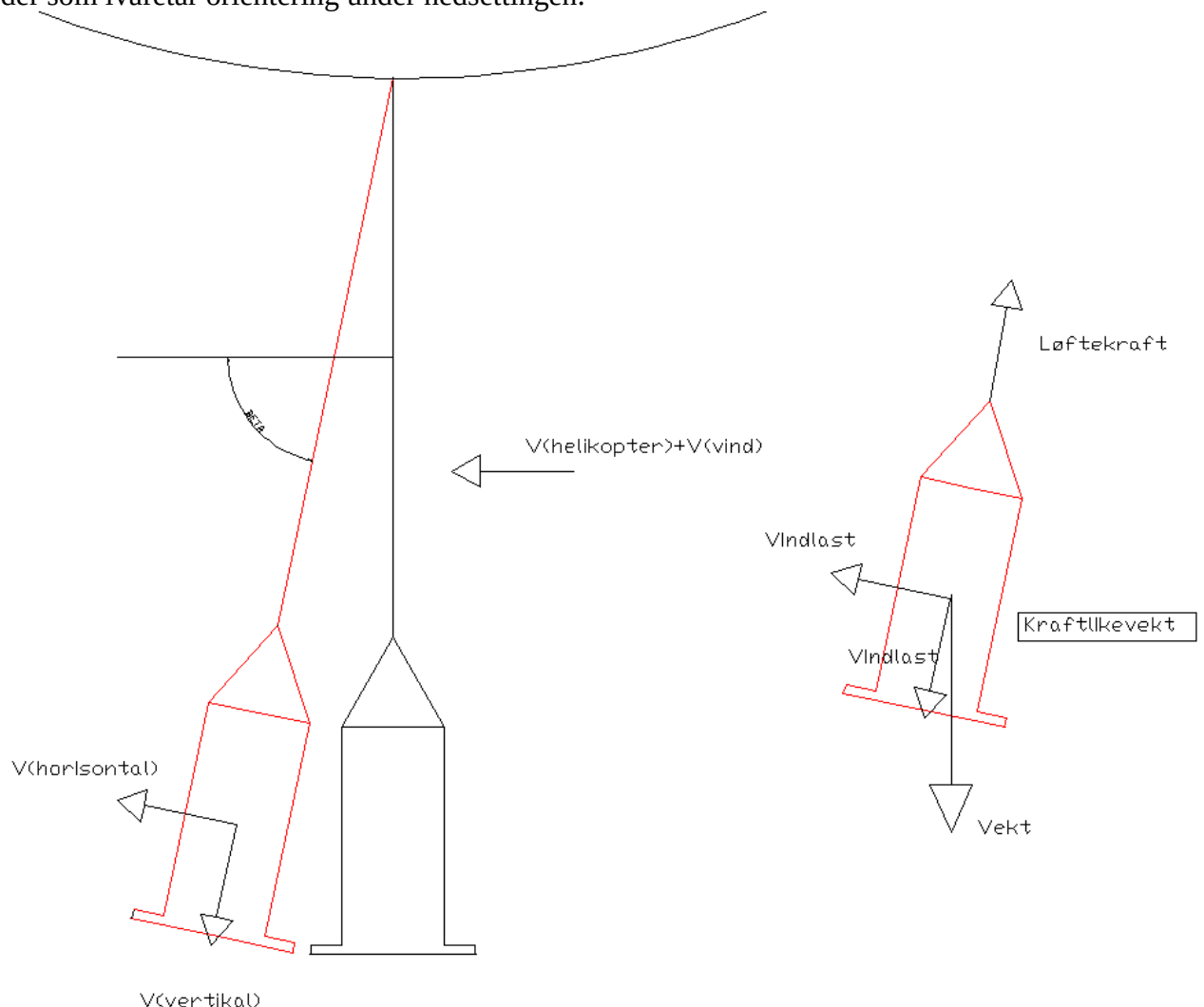


FIG 7.5.1 Forklaring på lufthastigheter og krefter som virker på en konstruksjon som transporteres med helikopter.